



**HAL**  
open science

# Évolution des paysages végétaux en Languedoc durant l'Holocène : apport de la palynologie à l'étude des milieux et des agrosystèmes

Ludovic Dolez

► **To cite this version:**

Ludovic Dolez. Évolution des paysages végétaux en Languedoc durant l'Holocène : apport de la palynologie à l'étude des milieux et des agrosystèmes. Sociologie. Université Paul Valéry - Montpellier III, 2018. Français. NNT : 2018MON30076 . tel-02158027v2

**HAL Id: tel-02158027**

**<https://theses.hal.science/tel-02158027v2>**

Submitted on 18 Jun 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# THÈSE

Pour obtenir le grade de  
**Docteur**

Délivré par **Université Paul-Valéry Montpellier III**

Préparée au sein de l'école doctorale 60  
**Territoires, Temps, Sociétés, Développement**

et de l'unité de recherche  
**Archéologie des Sociétés Méditerranéennes (ASM)**

Doctorat en Archéologie

Spécialité :  
**Préhistoire, protohistoire et paléoenvironnements  
méditerranéens et africains**

Présentée par  
**Ludovic Dolez**

**ÉVOLUTION DES PAYSAGES VÉGÉTAUX  
EN LANGUEDOC DURANT L'HOLOCÈNE :  
APPORT DE LA PALYNOLOGIE À L'ÉTUDE  
DES MILIEUX ET DES AGROSYSTEMES**

Soutenue le 18 Décembre 2018 devant le jury composé de

Mme Nathalie COMBOURIEU-NEBOUT, Directrice de recherche au CNRS, UMR 7194 MNHN, Paris	Rapporteur
Mr Jean-Frédéric TERRAL, Professeur des Universités, Université de Montpellier	Rapporteur
Mme Odile PEYRON, Directrice de recherche au CNRS, UMR 5554 ISEM, Montpellier	Examineur
Mme Carole BÉGEOT, Maître de conférences, Université de de Franche-Comté, Besançon	Examineur
Mr David LEFÈVRE, Professeur des Universités, Université Paul-Valéry Montpellier III	Directeur de thèse
Mr Serge D. MULLER, Maître de conférences, Université de Montpellier	Co-directeur de thèse



# THÈSE

Pour obtenir le grade de  
Docteur

Délivré par **Université Paul-Valéry Montpellier III**

Préparée au sein de l'école doctorale 60  
Territoires, Temps, Sociétés, Développement

et de l'unité de recherche  
Archéologie des Sociétés Méditerranéennes (ASM)

Doctorat en Archéologie

Spécialité :  
**Préhistoire, protohistoire et paléoenvironnements  
méditerranéens et africains**

Présentée par  
**Ludovic Dolez**

**ÉVOLUTION DES PAYSAGES VÉGÉTAUX  
EN LANGUEDOC DURANT L'HOLOCÈNE :  
APPORT DE LA PALYNOLOGIE À L'ÉTUDE  
DES MILIEUX ET DES AGROSYSTEMES**

Soutenue le 18 Décembre 2018 devant le jury composé de

Mme Nathalie COMBOURIEU-NEBOUT, Directrice de recherche au CNRS, UMR 7194 MNHN, Paris	Rapporteur
Mr Jean-Frédéric TERRAL, Professeur des Universités, Université de Montpellier	Rapporteur
Mme Odile PEYRON, Directrice de recherche au CNRS, UMR 5554 ISEM, Montpellier	Examineur
Mme Carole BÉGEOT, Maître de conférences, Université de de Franche-Comté, Besançon	Examineur
Mr David LEFÈVRE, Professeur des Universités, Université Paul-Valéry Montpellier III	Directeur de thèse
Mr Serge D. MULLER, Maître de conférences, Université de Montpellier	Co-directeur de thèse





# THÈSE

En vue de l'obtention du titre de docteur en Archéologie

Spécialité :

**Préhistoire, protohistoire et paléoenvironnements méditerranéens et  
africains**

Délivrée par **Université Paul-Valéry Montpellier III**

Préparée au sein de l'école doctorale 60  
**Territoires, Temps, Sociétés, Développement**

et de l'unité de recherche  
**Archéologie des Sociétés Méditerranéennes (ASM)**

Présentée par  
**Ludovic Dolez**

## **ÉVOLUTION DES PAYSAGES VÉGÉTAUX EN LANGUEDOC DURANT L'Holocène : Apport de la palynologie à l'étude des milieux et des agrosystèmes**

Soutenue le 18 Décembre 2018 devant le jury composé de

Mme Nathalie COMBOURIEU-NEBOUT, Directrice de recherche au CNRS, UMR 7194 MHNH, Paris	Rapporteur
Mr Jean-Frédéric TERRAL, Professeur des Universités, Université de Montpellier	Rapporteur
Mme Odile PEYRON, Directrice de recherche au CNRS, UMR 5554 ISEM, Montpellier	Examineur
Mme Carole BÉGEOT, Maître de conférences, Université de de Franche-Comté, Besançon	Examineur
Mr David LEFÈVRE, Professeur des Universités, Université Paul-Valéry Montpellier III	Directeur de thèse
Mr Serge D. MULLER, Maître de conférences, Université de Montpellier	Co-directeur de thèse

---

## Remerciements

Ce travail de thèse n'aurait jamais pu voir le jour sans l'aide inestimable de nombreux acteurs qui ont pris le temps de me conseiller, de me guider et de me soutenir. J'aimerais donc prendre le temps ici de leur adresser mes sincères remerciements.

Une pensée particulière va d'abord à mes directeurs de thèse que je remercie chaleureusement : David Lefèvre, dont le suivi et les conseils avisés m'ont permis d'y voir plus clair dans ce travail et m'ont aidé à mener à bien ce projet, ainsi que Serge Muller, qui m'a soutenu depuis le Master II (et même avant) et dont les avis, les encouragements, et la gentillesse m'ont été d'une aide précieuse, et notamment dans les moments de doute.

J'adresse également mes plus vifs remerciements à Nathalie Combourieu-Nebout et Jean-Frédéric Terral, mes rapporteurs, ainsi qu'à Odile Peyron et Carole Bégeot, qui m'ont tous fait un grand honneur en acceptant de participer au jury et d'évaluer ce travail.

Rien de cela n'aurait été possible sans le Contrat Doctoral du LabEx Archimede, et le soutien et les moyens de deux programmes de recherche financés par le LabEx Archimede, - « *Dynamiques littorales et sociétés en Agathois depuis le Néolithique : relations sociétés - environnement en Méditerranée* » coordonné par Benoît Devillers et « *Évolution d'un paysage fluvio-lagunaire : interaction homme/milieu autour des étangs narbonnais* » coordonné par Corinne Sanchez -, ainsi que ceux du programme collectif de recherche « Ports Antiques de Narbonne » dirigé par Corinne Sanchez.

Je remercie le laboratoire ASM, et notamment l'équipe AMR (Archéologie des milieux et des ressources) pour leur accueil et les ressources mises à ma disposition sans lesquelles cette recherche n'aurait pu exister. Je remercie aussi tous les chercheurs associés aux programmes précités et tout particulièrement Hervé Bohbot, Jean-Philippe Degeai, Benoit Devillers et Corinne Sanchez pour leurs précieux concours à tout moment ainsi que pour m'avoir aidé à construire ce projet de recherche. Je remercie aussi Tiphaine Salel, avec qui j'ai eu beaucoup de plaisir à travailler sur la vallée de l'Aude, travail qui a mené à un article et qui en produira d'autres, je l'espère, la partie sur la vallée de l'Aude de ce présent travail étant réalisée en complément de sa thèse "Dynamique des environnements fluvio-lagunaires du Narbonnais à l'Holocène (Golfe du Lion, France)" (2018).

Je remercie aussi le laboratoire ISEM, dans lequel j'ai commencé à roder dès la Licence, pour son accueil et la mise à disposition de matériel et de ressources ainsi que ses chercheurs, doctorants, étudiants et personnels qui ont tous permis, à un moment ou un autre, de trouver des solutions aux problèmes soulevés par cette recherche. J'aimerais remercier particulièrement Marie-Pierre Ledru et Vincent Montade de m'avoir conseillé pour ce protocole d'extraction, qui a tout simplement permis le traitement de mes données. Je remercie aussi Séverine Fauquette et Ingeborg Soulié-Märsche pour leurs conseils et leur gentillesse qui m'ont mis du baume au cœur au quotidien ainsi que Célia Beaudouin, qui m'a aidé à identifier certains éléments, les dinoflagellés, qui me posaient quelques soucis. Merci aussi à Sandrine Canal pour les bons moments passés lors des traitements des sédiments.

Mes remerciements vont également à Sandra Reboullet et Séverine Vidal du LabEx, qui ont toujours très vite et très efficacement répondu à mes questions et demandes.

Je tiens aussi à remercier chaleureusement Luc Jallot, Karine Roger, Frédéric Grosse ainsi que la Société Languedocienne de Préhistoire et tous les autres acteurs permettant la vie du site archéologique de Cambous, site qui m'a permis de découvrir de nouveaux pans de la recherche et qui m'a procuré (et continue de le faire) de nombreux moments de joie à travers les activités d'expérimentation et de médiation.

Je tiens à remercier spécialement mes proches (David, Fiona, Ester, Amaury, Olivier, Ambre, Élisabeth, Adrien, Luka et les autres) pour leurs conseils, leurs avis et leur soutien sans lequel rien n'aurait été possible.

Enfin, un grand merci à Ingrid pour son aide extrêmement précieuse, son dévouement et ses encouragements sans faille ainsi que pour le bonheur qu'elle m'apporte au quotidien ; et je la remercie de me supporter même dans les moments où je ne suis pas facile à vivre.



---

*« L'histoire ne se limite pas à relater le passé. Elle n'est pas une simple évocation, sur un mode plus ou moins romanesque, des événements antérieurs à notre époque. Si elle n'était que cela, elle serait sans doute bien intéressante, mais elle ne vaudrait que comme une noble distraction, une activité ludique, au mieux une marque de respect pour ce qui fut et qui n'est plus.*

*En réalité, l'histoire est bien plus que cela. Elle est un travail scientifique sur le passé ; ou plus exactement sur ce qu'il nous en reste, pour mettre au jour et pour tenter d'expliquer le pourquoi et le comment des activités des hommes qui nous ont précédé sur la planète. Elle s'efforce de comprendre les ressorts de ce qu'ils ont entrepris, les motivations de leurs actions, les valeurs qui les ont guidés, ou encore les effets de leurs décisions. L'histoire éclaire les raisons et les déraisons de l'humanité dans son avancée chaotique depuis la nuit des temps jusqu'à nos jours. »*

Christian Nique, recteur de l'académie de Montpellier et Chancelier des Universités (2004-2009)

---

## Table des matières

Remerciements .....	3
Table des matières .....	7
Chapitre I : Introduction et contexte.....	9
1. Problématique.....	10
2. Axes de recherche .....	12
3. Environnements actuels.....	13
3.1. Région d'étude .....	13
3.2. Diversité des paysages : entre reliefs et végétations.....	15
4. Histoire des paysages végétaux et de l'anthropisation du territoire languedocien depuis le Dernier Glaciaire.....	23
4.1. Tardiglaciaire .....	26
4.2. Préboréal et Boréal.....	26
4.3. Atlantique .....	27
4.4. Subboréal .....	28
4.5. Subatlantique .....	28
Chapitre II : Matériel et méthodes.....	35
1. La palynologie : un outil de reconstitution des paléoenvironnements .....	35
1.1. Principe de la palynologie .....	35
1.2. Choix des sites de carottage et méthodologie d'étude du matériel.....	39
1.3. L'analyse pollinique.....	41
2. Analyses de la composition élémentaire du sédiment (XRF).....	48
3. Datations .....	48
3.1. Narbonne BVA03 .....	49
3.2. Bagnas B1 .....	49
Chapitre III : Résultats .....	51
1. Le carottage BVA03 (Etang de Vendres, Narbonne, vallée de l'Aude).....	51
1.1. Lithostratigraphie .....	51
1.2. Datations et modèle d'âge .....	53
1.3. Diagrammes polliniques et détermination des palynozones.....	56
1.4. Palynomorphes non polliniques et autres informations.....	82
1.5. Données de géochimie élémentaire (XRF) .....	86
2. Le carottage B1 - Agde .....	91

2.1. Lithostratigraphie .....	91
2.2. Datations et modèle d'âge .....	93
2.3. Diagrammes polliniques et détermination des palynozones .....	97
2.4. Autres données polliniques .....	119
2.5. Données de géochimie élémentaire (XRF) .....	122
3. Contrôle de la sédimentation .....	126
Chapitre IV : Analyse de l'outil palynologique .....	129
1. Modalités de l'apport des grains de pollen : .....	129
2. Enregistrement et conservation du matériel pollinique dans les sédiments .....	131
3. Biais taphonomiques dans nos données .....	134
Chapitre V : Identification des signaux et des paysages dans les vallées de l'Aude et de l'Hérault ...	145
1. Biogéographie des assemblages végétaux .....	145
2. Origine du signal pollinique .....	147
3. Les paysages régionaux et lointains .....	149
4. Un évènement particulier : la défluviation de l'Aude .....	151
Chapitre VI : Contribution à l'histoire de la végétation languedocienne (vallées de l'Aude et de l'Hérault) depuis la fin du Tardiglaciaire : l'apport de deux nouvelles séquences lagunaires bien datées .....	155
1. Dynamiques de végétation régionale .....	155
2. Milieux littoraux et végétations locales .....	162
Chapitre VII : Apport de la palynologie à l'étude de l'anthropisation holocène du territoire languedocien occidental .....	167
1. Histoire des forêts montagnardes et du hêtre en Languedoc .....	167
2. Histoire du matorral méditerranéen sur calcaire : la garrigue .....	170
3. Anthropisation du territoire languedocien et influences sur les paysages végétaux .....	173
Conclusion .....	183
Références .....	187
Table des illustrations : .....	207
Annexes .....	211

## Chapitre I : Introduction et contexte

« *Personne ne peut plus ignorer l'importance de l'environnement naturel : il est partie intégrante de notre espace de vie et nourrit nos préoccupations quotidiennes.* » (Walter, 1988)

L'Histoire de l'environnement en tant que discipline s'avère, somme toute, assez récente et est encore en plein essor (Locher & Quenet, 2009). Pourtant, la préoccupation de l'Homme pour son environnement a toujours été une nécessité. Dès l'origine, la quête de ressources a conduit l'Homme à connaître et identifier les éléments qui constituaient son environnement : « *c'est en développant les techniques nécessaires pour se procurer de la nourriture, pour rechercher et créer des abris et pour préserver la cohésion du groupe social que les êtres humains ont réussi à survivre jusqu'à ce jour* » (Bar-Yosef, 2006). L'invention de l'écriture nous permet d'en apprendre davantage sur la perception que l'homme a eu de son environnement. Dès l'Antiquité, des auteurs se sont attachés à décrire leur environnement (par exemple : Plin l'ancien, *Histoire naturelle* ; Strabon, *Géographie* ; Tite Live, *Histoire romaine*), parfois dans le but d'optimiser sa domestication, comme par exemple Columelle et ses traités d'agronomie (Columelle, *De l'agriculture*).

À l'époque moderne, la nature fascine, comme l'illustre le développement des cabinets de curiosités au XVI<sup>e</sup> siècle, dont les collections servaient d'outils pour analyser et comprendre l'organisation du monde et de la nature (Rivallain, 2001). Nous pouvons également citer, à la même époque, l'exemple des premiers herbiers au sens moderne du terme : la compilation et la conservation volontaire d'échantillons de plantes séchées (Kauffeisen, 1930). Ces pratiques manquent pourtant encore de rigueur et de justesse scientifique, au sens où nous l'entendons maintenant. Ainsi, dans les cabinets de curiosité par exemple, coexistent des éléments réels et d'autres fictifs, inventés de toutes pièces (Rivallain, 2001). Ces intérêts naturalistes sont évidemment liés à leur époque : en rupture avec le Moyen-Âge, la Renaissance est marquée par une volonté de compréhension du monde naturel. On passe d'ailleurs parallèlement d'une vision cosmologique théocentrée à une vision anthropocentrée (Weber, 1976). Pour autant la perception des interactions écologiques et des interactions Homme-environnement, *a fortiori* sur le long terme, fut pendant encore quelque temps loin des préoccupations humaines.

De nos jours, ces questions sont essentielles. Nous vivons dans une période de grandes inquiétudes, où de nombreux questionnements tant éthiques qu'économiques et environnementaux se posent vis-à-vis des activités humaines. Les changements environnementaux induits par l'Homme à travers ses activités, notamment le réchauffement climatique global, amènent à réfléchir profondément sur notre adaptabilité et notre place, en tant qu'individus et espèce, sur notre planète et dans la biosphère (par exemple : Oreskes, 2004; Walther et al., 2002; Watson et IPCC, 2001). Grâce aux progrès scientifiques réalisés en particulier dans les modèles de prédiction, l'homme a pris conscience des enjeux pour son avenir. Pèse ainsi sur nos épaules un des plus grands défis de l'Humanité : ajuster nos activités et nous adapter, consciemment et consciencieusement. Or, pour planifier notre avenir, pour fixer un cap pour notre futur et celui des prochaines générations, il est essentiel de prendre un peu de recul et de regarder en arrière, de comprendre notre passé, plus ou moins lointain, et d'étudier l'évolution des activités humaines, de l'environnement et des liens qui les unissent depuis le début de l'anthropisation des territoires, c'est-à-dire durant l'Holocène.

L'Holocène, seconde période du Quaternaire qui débute à environ 11700 cal. BP (Rasmussen et al., 2006 ; Walker et al., 2009), est la phase climatique dans laquelle nous vivons aujourd'hui. Cette période est primordiale dans l'histoire des sociétés humaines. En effet, c'est au cours de cet interglaciaire que des groupes humains vont développer, à partir du Néolithique, l'agropastoralisme, se sédentariser et finalement poser les fondations des sociétés modernes (Demoule, 2008 ; Diamond, 1998 ; Vigne, 2011, 2015 ; Zeder, 2006, 2015). Depuis le Néolithique, les activités de l'Homme ont eu un impact conséquent sur l'environnement (par exemple : Behre, 1988; Carrere et Forest, 2003; Pons et Quézel, 1998; Reille et Pons, 1992), mais la réciproque vaut aussi (De Menocal, 2001). En effet, même si l'Homme impacte fortement et rapidement son milieu, il reste soumis à de nombreuses conditions naturelles. Il n'est donc pas question de mainmise d'un élément mais bien de co-évolution entre l'Homme, ses activités et son environnement. Un territoire particulièrement marquant du point de vue de ces thématiques est le littoral méditerranéen français. Très peuplé, présentant une importante mosaïque de paysages et riche d'une longue histoire tant naturelle qu'humaine (Gayraud, 1981 ; Jallot, 2008), il s'agit d'un espace doublement contraint par les conditions climatiques et anthropiques (par exemple : Azuara et al., 2015; CEPF, 2010; Jalut, 2005). À ce titre, il illustre le besoin impératif de connaissances sur l'histoire de ces milieux pour produire un avenir réfléchi.

Le Languedoc, plus particulièrement, est un territoire exceptionnel pour ces questionnements, car il présente, sur un espace relativement peu étendu, une grande diversité de milieux, allant des lagunes littorales aux massifs montagneux, en passant par de grandes plaines alluviales ou des coteaux de faibles altitudes (C.R.P.F., 1998, 2001). L'histoire de la végétation et de l'anthropisation sur le long terme de ce territoire nous permet de comprendre l'origine des paysages actuels et d'avoir des pistes pour leur devenir tout en tentant d'appréhender, d'un point de vue plus global, les modes de vie et de pensée des premières sociétés.

## 1. Problématique

L'histoire du Languedoc, tant naturelle qu'humaine, est bien connue aujourd'hui. Cependant, même si l'impact des activités anthropiques dans l'évolution des paysages de l'ensemble de la région méditerranéenne est attestée dès le Néolithique (par exemple : Court-Picon et al., 2010; Leveau et al., 2016), leur importance est sujette à discussion, car chronologiquement et géographiquement variable en fonction des particularités locales des sociétés humaines (Reille & Pons, 1992). Tandis que les études archéologiques se concentrent souvent sur des modes de vie particuliers, à l'échelle du site et de ses environs, ainsi que sur des temps relativement courts comparée à l'histoire des dynamiques végétales holocènes, les études paléoenvironnementales, plus axées sur le temps long, peinent à parler de temps humains et de la spatialisation des activités et des particularités intra-régionales de l'anthropisation d'un vaste territoire.

Par exemple, des recherches effectuées sur le littoral languedocien apportent la vision d'un milieu physique très mobile, en mettant notamment en évidence les mouvements du cordon littoral et l'évolution des zones lagunaires sous la double influence de l'élévation du niveau marin et des apports détritiques, ainsi que les dynamiques de végétation et d'anthropisation (par exemple :

Ambert, 1995, 2000, 2001, Azuara et al., 2015, 2018 ; Blanchemanche et al., 2003 ; Court-Picon et al., 2010 ; Devillers & Provansal, 2003 ; Jorda et al., 2008a). Ces évolutions des milieux sont assez bien comprises aujourd'hui, mais la question des activités humaines en elles-mêmes et de la gestion des ressources naturelles ne sont traitées qu'à une échelle locale. Or, une réflexion sur l'histoire de l'anthropisation d'un territoire littoral ne peut être pleinement appréhendée qu'en combinant la vision locale (plan d'eau lagunaire, plaine littorale), avec la perspective du bassin versant et de l'arrière-pays qui conditionne les apports sédimentaires, les potentialités agricoles et la disponibilité des ressources.

Pour obtenir la vision de l'exploitation des milieux et des ressources végétales, un certain nombre d'études palynologiques ont été réalisées sur le littoral méditerranéen français, notamment en Provence et dans le delta du Rhône (par exemple : Laval et Médus, 1989; Triat-Laval, 1982; Triat-Laval et Reille, 1981; Triat, 1975), ainsi qu'en Languedoc (Azuara et al., 2015, 2018 ; Court-Picon et al., 2010 ; Planchais, 1982, 1987, Planchais et al., 1977b, 1977a, 1991 ; Planchais & Parra Vergara, 1984). Ces études sur le temps long montrent une végétation en constante évolution, une pression anthropique importante de l'Homme sur son environnement depuis le Néolithique et ont ainsi permis de définir les grands axes de l'évolution des paysages holocènes. Les travaux récents de Puertas (1997; 1998a; 1998b; 2000) se sont intéressés à l'influence des activités anthropiques sur l'environnement de la région du site de Lattara (Lattes). Malgré leur qualité, ces travaux sont pour la plupart anciens, souvent concentrés sur la frange littorale et peu précis en termes de datation ; les dates proposées ne sont que rarement étalonnées, et lorsqu'elles le sont, elles ne prennent que rarement en compte certains biais majeurs comme l'âge-réservoir (Sabatier et al., 2010, 2012 ; Siani et al., 2000). L'acquisition de données nouvelles, la revalorisation des travaux anciens et la comparaison avec les travaux régionaux récents bien datés (Azuara et al., 2015, 2018 ; Court-Picon et al., 2010) ainsi qu'une vision plus régionale et chronologiquement affinée est nécessaire à la compréhension de l'histoire des paysages, des liens entre l'Homme et son environnement, et des modalités d'exploitation du territoire languedocien.

Le présent travail de thèse se propose ainsi d'analyser les interactions passées entre les activités de l'Homme, et principalement les agrosystèmes, et les paysages qui l'hébergent et le font vivre et ce, depuis le dernier changement environnemental majeur, celui du réchauffement climatique holocène. Dans ce travail, nous cherchons à comprendre, de manière fine, l'évolution des paysages végétaux et des agrosystèmes en Languedoc durant les dix derniers millénaires. Cette thématique, cherchant autant à lier et comparer les différentes aires du territoire languedocien qu'à comprendre les changements globaux, s'appuie sur la bipartition hydrologique de cette province. À travers l'étude de deux principaux bassins versants, celui de l'Aude et celui de l'Hérault, nous voulons étudier les particularités locales, les dynamiques spécifiques tout en tentant une approche plus générale de la domestication des vallées méditerranéennes par l'Homme. Ces deux bassins hydrologiques permettent aisément cette confrontation car, bien que distincts par certains aspects d'ordre locaux, ils restent profondément liés dès qu'il s'agit d'anthropisation. En effet, l'Aude et l'Hérault, tous deux fleuves côtiers, ont leurs embouchures distantes de seulement 20 km. Il est ainsi aisé d'imaginer des contacts entre peuples de ces vallées. De plus, l'anthropisation de ces territoires est ancienne (par exemple : Guilaine et Manen, 2007), et avec le développement de la colonie phocéenne d'Agde vers le II<sup>e</sup> siècle BC, puis la fondation de Narbonne par les romains en 118 BC, les bassins versants, tous deux composés d'une mosaïque de milieux et paysages, vont de même subir, dès l'Antiquité,

l'influence d'une grande ville pratiquant le commerce maritime au débouché de leur fleuve respectif. En observant ainsi ces deux bassins versants, représentatifs de l'évolution des paysages et du développement économique régional, cette étude permettra la mise en évidence des dynamiques globales d'occupation du territoire à l'échelle du Languedoc, mais aussi les adaptations aux particularités locales ainsi que les changements induits dans les paysages régionaux.

À cette double thématique d'ordre géographique s'ajoute un axe chronologique. Ce travail, basé sur le temps long, se veut aussi inscrit dans les temps humains. Au regard de cette double préoccupation chronologique, cette thèse cherche ainsi à combiner les grands changements environnementaux millénaires aux pratiques humaines plus changeantes, centennales ou décennales.

## 2. Axes de recherche

Pour pouvoir proposer cette vision fine multi-scalaire, notre travail se situe à l'interface des sciences humaines (Histoire et Archéologie) et des sciences naturelles (Paléoécologie essentiellement). La discipline principale employée est la palynologie, car l'étude des grains de pollen fossilisés permet la reconstitution des assemblages végétaux et des paysages au cours des 6 à 8 derniers millénaires de l'Holocène (Reille, 1990a). Dans le but de reconstituer spatialement les dynamiques végétales à l'échelle des bassins versants étudiés, en sus de celle des territoires littoraux, nous devons prendre en compte à la fois les éléments biogéographiques de la flore concernée (étagement altitudinal de la végétation; Ozenda, 1985) et les sources polliniques des milieux étudiés, comprenant un apport éolien (pluie pollinique), composé principalement de taxons locaux et régionaux (environ 30 km de la zone d'étude ; Jacobson et Bradshaw, 1981; Reille, 1990), et un apport fluvial représentant une végétation plus lointaine (Planchais, 1984).

La complexité de la sédimentation et de l'enregistrement pollinique en milieu lagunaire (liée aux apports éolien et fluvial, à l'influence de la mer, aux variations locales de salinité, aux variations locales des conditions taphonomiques, à la remontée du niveau de la mer au cours de l'Holocène, à l'occurrence plus ou moins régulière de niveaux de tempêtes, à de fréquents hiatus sédimentaires, etc.) a, dans un premier temps, motivé un travail méthodologique portant sur l'analyse des biais liés à la méthode palynologique ou inhérents à notre démarche particulière. Ce travail préliminaire doit permettre de mieux comprendre les données obtenues en minimisant les erreurs d'interprétation et en augmentant leur fiabilité en tenant compte de l'origine de l'enregistrement pollinique et des divers biais potentiels. Les deux premiers chapitres de la discussion, qui posent les bases méthodologiques de nos interprétations, sont nécessaires à l'analyse, dans un second temps, du lien entre paysages végétaux et agrosystèmes languedociens, ou autrement dit, de l'influence respective des activités humaines et des facteurs naturels (forçage climatique, perturbations naturelles, dynamique successionale) sur les dynamiques paysagères.

Pour cela, la troisième partie de la discussion sera dévolue à l'étude de la dynamique des paysages et des végétations régionales depuis la fin du Tardiglaciaire, à l'échelle des bassins versants de l'Aude et de l'Hérault (Languedoc). Elle vise à permettre de mieux comprendre le contexte environnemental changeant au sein duquel les populations humaines se sont développées et ont évolué jusqu'aux sociétés actuelles. Ce chapitre discutera également des dynamiques locales des zones littorales



proches d'Agde et de Narbonne et des modifications des milieux, principalement herbacés, en lien avec l'évolution des systèmes lagunaires.

Enfin, la quatrième partie de la discussion met l'accent sur l'anthropisation holocène du Languedoc occidental et sur l'influence de l'Homme sur les paysages végétaux. Ce travail est réalisé par (1) l'identification des grands schémas de cette dynamique conjointe, (2) par la comparaison des dynamiques végétales des deux vallées étudiées, et (3) par l'étude de certaines formations végétales emblématiques du territoire, comme la garrigue de l'étage Méso-Méditerranéen ou les hêtraies de l'étage Montagnard.

### **3. Environnements actuels**

#### **3.1. Région d'étude**

La région étudiée correspond aux départements de l'Aude et de l'Hérault et s'étend d'est en ouest, de Montpellier au pays Lauraguais, et du nord au sud des massifs méridionaux du Massif Central aux Corbières (figure 1). Ces dernières sont un massif servant de contrefort nord aux Pyrénées, qui culmine au pic de Bugarach, à 1231 m d'altitude.

Au nord, s'élève une zone montagneuse, orientée sud-ouest/nord-est, qui correspond à la partie la plus méridionale du Massif central. Cette zone comprend plusieurs petites chaînes de montagne :

(1) la Montagne Noire, à l'ouest, qui culmine au pic de Nore, à 1211 m ;

(2) les Monts de l'Espinouse, comprenant plusieurs sommets dont l'Espinouse (1124 m) et le mont Caroux (1091 m) ;

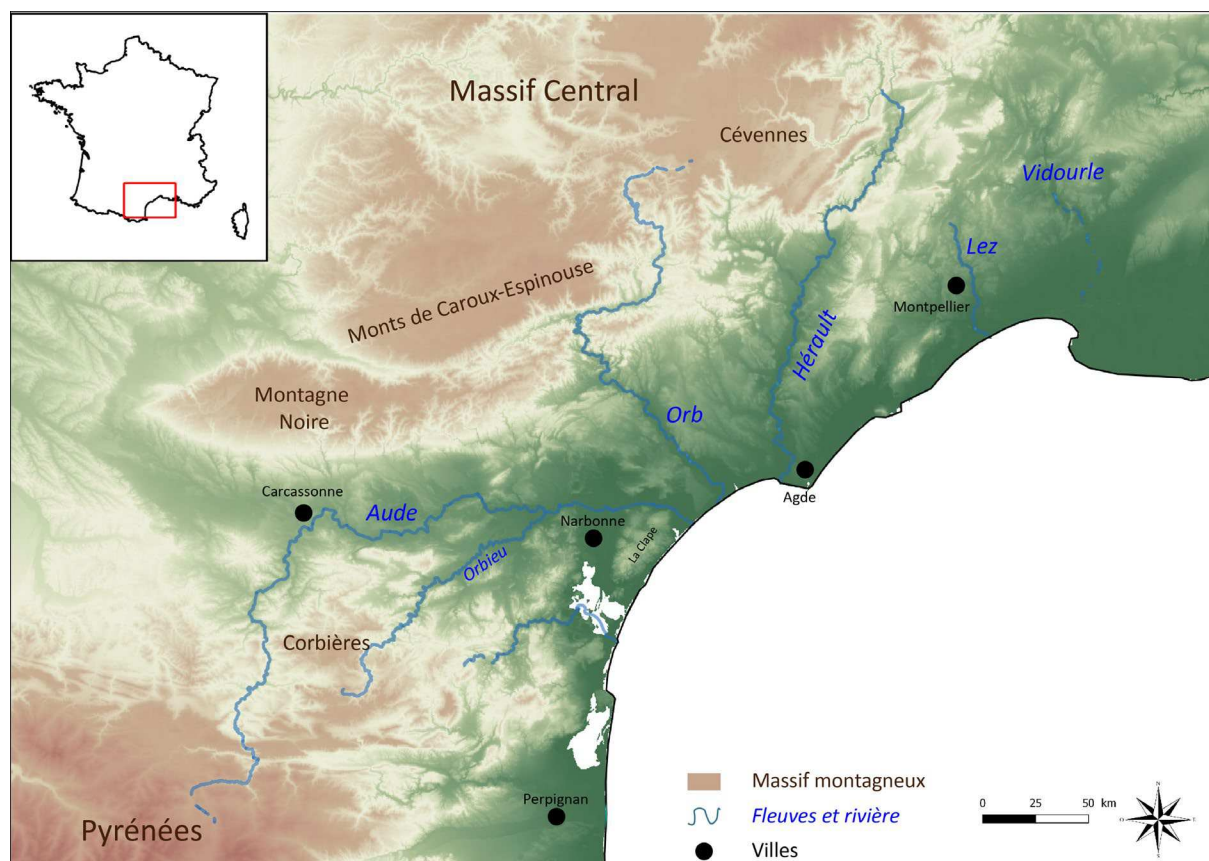
(3) les Monts de Lacaune, qui se situent au Nord du Massif de l'Espinouse et atteignent 1270 m d'altitude au Puech de Rascas et 1269 m au Puech de Montgrand ;

et (4) la partie sud-occidentale des Cévennes (figure 1).

Entre ces reliefs, se dessine une grande zone de plaines littorales qui peut se diviser en deux parties : la plaine de l'Aude à l'ouest, et celle de l'Hérault au nord-est. La plaine de l'Aude est orientée selon un axe ouest-est entre Carcassonne et Narbonne. Après Narbonne, le massif de la Clape (petit massif calcaire littoral) sépare la plaine en deux. Une partie s'oriente vers le Sud et rejoint les étangs de Bages-Sigean, tandis que l'autre contourne la Clape par le nord et rejoint l'étang de Vendres. La plaine de l'Hérault est orientée nord-sud de Clermont-l'Hérault à Agde et est limitée à l'Est, dans sa partie méridionale, par l'étang de Thau. La jonction entre ces deux grandes plaines se fait au niveau d'une plus petite, la plaine de l'Orb, orientée nord-sud entre Cessenon-sur-Orb et Valras-Plage.

Le territoire étudié est ainsi naturellement organisé en deux parties correspondant aux bassins versants des deux principaux fleuves régionaux : l'Hérault au nord et l'Aude au sud. Le fleuve Hérault, orienté nord-sud, prend sa source sur le Massif de l'Aigoual, dans les Cévennes, à 1290 m d'altitude et se jette dans la Méditerranée à Agde, après un parcours de 147 km (Sandre, 2012a). En entaillant les massifs calcaires des basses Cévennes, il crée des gorges et un paysage accidenté qui ne

s'apaisera que dans sa basse vallée. Le bassin versant de l'Hérault, d'une superficie de 2580 km<sup>2</sup> environ, est aujourd'hui couvert à 64 % de forêts et de milieux semi-naturels, et à 32 % par des terres agricoles, rapport mettant bien en avant l'aspect accidenté et difficile à exploiter de la haute vallée, malgré une pente relativement faible (Sandre, 2012a).



**Figure 1. Carte de la région d'étude**

Le fleuve Aude, quant à lui, parcourt 224 km entre sa source à 2185 m dans le massif du Carlit (Pyrénées) et son embouchure méditerranéenne, entre Vendres et Fleury, au niveau des « Cabanes de Fleury », hameau dont le nom provient des pêcheurs installés dans des cabanes en roseaux au XIX<sup>e</sup> siècle. Au début de son cours, l'Aude est orienté sud-nord, puis s'infléchit vers l'est à partir de Carcassonne, contournant les Corbières par l'ouest, puis par le nord. Après Narbonne, l'Aude contourne le massif de La Clape par le nord. Des études récentes ont montré que ce n'avait pas toujours été le cas, et que le bras principal se jetait dans la mer au sud de Narbonne jusqu'au XIV<sup>e</sup> siècle AD (Dolez, 2012 ; Dolez et al., 2015 ; Robin, 2011 ; Sanchez et al., 2016). Le bassin versant de l'Aude, d'environ 5300 km<sup>2</sup>, est partagé, dans des proportions très similaires, entre surfaces agricoles (48,5 %) et forêts et milieux semi-naturels (48,3 %). Ainsi, malgré une forte pente au début de son cours, la longueur du fleuve et les grandes terrasses alluviales qu'il offre à partir de Carcassonne sont plus propices aux cultures que le bassin héraultais (Sandre, 2012b).

Un troisième fleuve, l'Orb, sépare les deux vallées. Parcourant 136 km depuis sa source au mont Bouviala (884 m) jusqu'à son embouche à Valras-Plage, il dispose d'un plus petit bassin versant que

les deux fleuves précités, couvrant seulement 1580 km<sup>2</sup> (DREAL LR, 2005 ; Sandre, 2012c). Cette petite vallée fait la jonction entre les grandes plaines de l'Aude et de l'Hérault.

Une autre limite de cette zone d'étude est formée par la mer Méditerranée à l'est. Le littoral, orienté nord-est/sud-ouest est en pente douce vers la mer (<1 %) et offre de nombreuses lagunes plus ou moins ouvertes. Entre Agde et Valras-Plage, les anciens étangs ont disparu, comblés à partir du Moyen Âge (Abbé, 2005 ; Limouzin & Nique, 2007), cette zone d'environ 20 km forme la seule partie non lagunaire du littoral.

### 3.2. Diversité des paysages : entre reliefs et végétations

En dépit de ce réseau hydrologique principalement bicéphale, il ne faut pas penser que les paysages représentent seulement deux entités. Au contraire, en arpentant ce territoire, on ne peut qu'être frappé par la diversité des paysages qui le composent : « *les structures morphologiques et géologiques conjuguées à l'influence déterminante du climat, modèlent non pas un, mais des paysages méditerranéens* » (Durand, 2003). Entre plateaux calcaires, montagnes granitiques, vallées encaissées, vastes plaines alluviales ou encore littoral en pente douce, la diversité des particularités locales est importante et se reflète dans la végétation (figure 2).

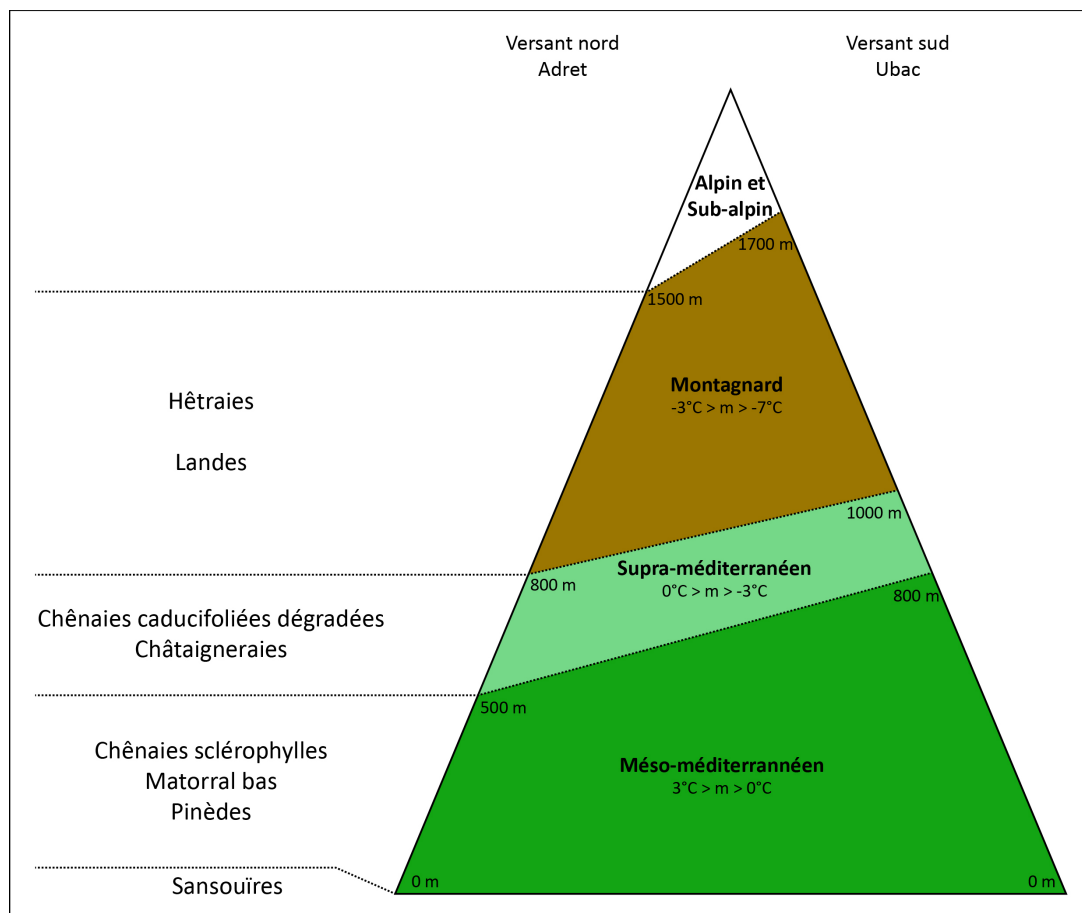
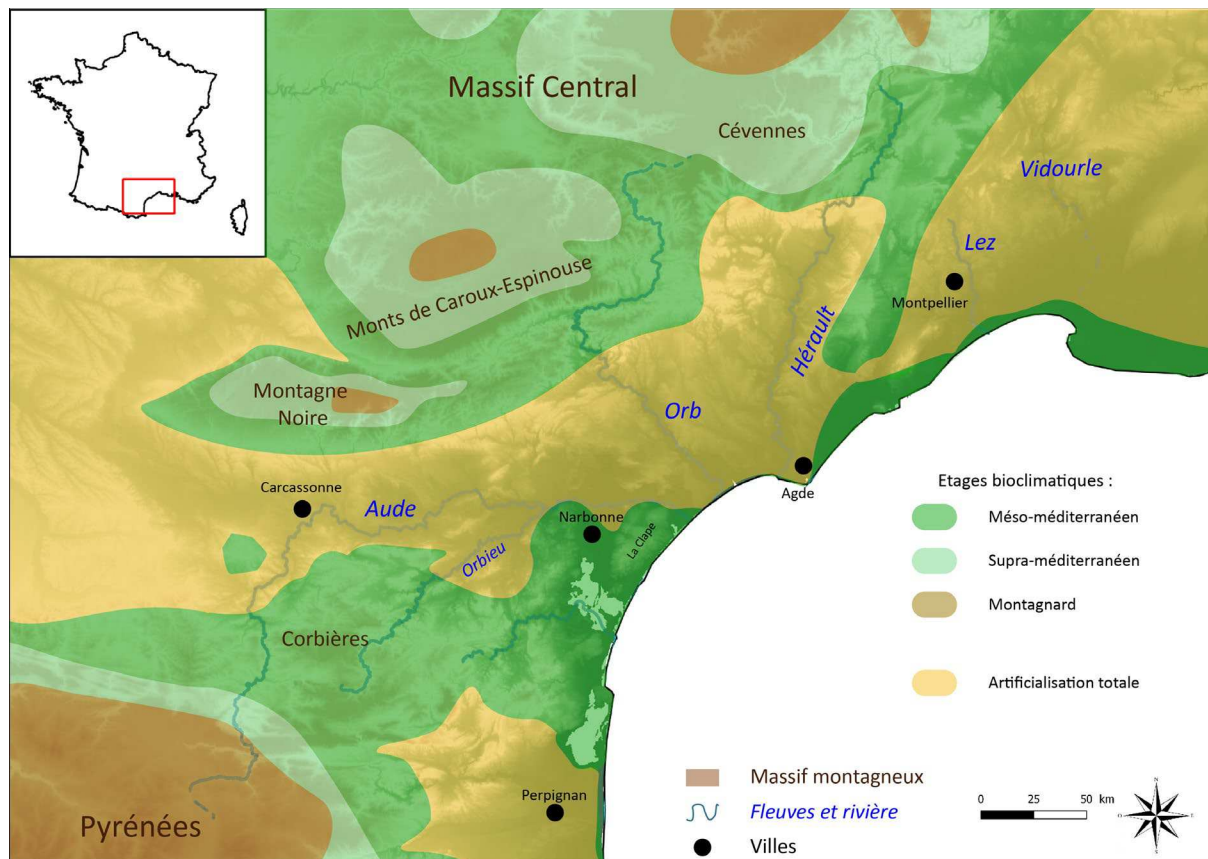


Figure 2a. Schéma de l'étagement de la végétation dans la région d'étude



Le littoral languedocien, principalement lagunaire, abrite de nombreuses zones humides plus ou moins salées et couvertes d'une végétation herbacée à l'image des sansouïres (ou enganes), dominées par les salicornes vivaces (*Arthrocnemum macrostachyum*, *Sarcocornia fruticosa*), les saladelles (*Limonium* spp.), les salicornes annuelles (*Salicornia* spp.), l'obione (*Halimione portulacoides*) ou encore des Poacées telles que le phragmite (sagne ou roseau, *Phragmites australis*) (figure 3). On trouve des zones boisées avec des pins (*Pinus pinaster*, *P. halepensis*, *P. pinea*), des pistachiers lentisques (*Pistacia lentiscus*), des filaires (*Phillyrea angustifolia*) et quelques genévriers (*Juniperus phoenicea*) sur les vieilles dunes des plages d'accrétion (C.R.P.F., 1998, 2001 ; Corre, 1985) (figure 4).



**Figure 3. Sansouïres de Villeneuve-lès-Maguelone, Hérault (Photographie Ingrid Remer)**



**Figure 4. Pinède littorale de Vic-la-Gardiolle, Hérault (Photographie Christian Ferrer / Wikimedia Commons / CC BY-SA 3.0)**

En arrière de ce littoral sableux, le paysage des plaines est essentiellement sous contrôle anthropique et dédié à l'agriculture, présentant de grandes surfaces plantées de vignes et de fruitiers (figure 5). Des cultures céréalières sont parfois présentes, mais majoritairement concentrées vers le Lauraguais, dans l'ouest de la plaine de l'Aude (C.R.P.F., 1998, 2001 ; DREAL LR, 2010 ; EEA, 2012)(figure 6).



**Figure 5. Cultures viticoles de la vallée de l'Hérault, Galabert (Les Matelles) (Photographie personnelle)**



**Figure 6. Cultures en Lauraguais, Villasavary, Aude (Photographie Pinpin / Wikimedia Commons / CC BY-SA 3.0)**

Sur les collines bordant les plaines, des espaces agricoles sont encore présents, mais se mélangent à différentes formations forestières. Sur les collines siliceuses, la végétation est dominée par le châtaignier, qui forme des châtaigneraies d'origine anthropique (figure 7). Sur les collines calcaires, se trouve une formation végétale particulière à la région méditerranéenne : la garrigue. La garrigue est un matorral, c'est-à-dire une formation arbustive de dégradation. Elle constitue dans la région

méditerranéenne française un stade de dégradation de la chênaie caducifoliée (Reille & Pons, 1992). La garrigue est essentiellement localisée dans l'étage Méso-Méditerranéen (défini par  $0 < m < 3^{\circ}\text{C}$  ; avec  $m$ , dite moyenne d'Emberger, qui est la moyenne des minima du mois le plus froid ; étage entre environ 0 et 500-800m d'altitude dans la région d'étude). Elle est essentiellement composée d'essences méso-méditerranéennes, telles que le chêne vert (*Quercus ilex*), le chêne kermès (*Quercus coccifera*) et les filaires (*Phillyrea angustifolia* et *P. latifolia*), associées à des taxons supra-méditerranéens, tels que le chêne blanc (*Quercus pubescens*), et complétée par de nombreuses essences arbustives méso- ou supra-méditerranéennes, telles que les genévriers (*Juniperus oxycedrus* et localement, *J. communis*) ou le buis (*Buxus sempervirens*). La garrigue peut être plus ou moins dense et haute en fonction de particularités locales, telles que la profondeur du sol ou les activités anthropiques passées (C.R.P.F., 1998, 2001 ; DREAL LR, 2010 ; Durand, 2003 ; EEA, 2012 ; Rameau et al., 2008) (figure 8).

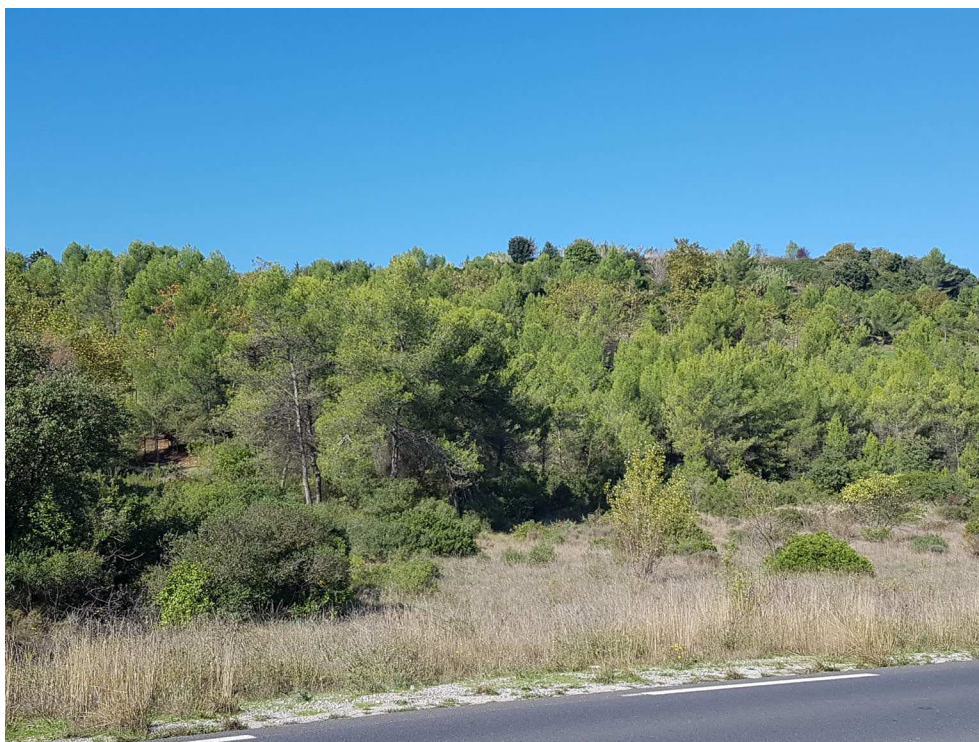


Figure 7. Chataigneraie cévenole (Photographie Alain Lagrave, Parc National des Cévennes)



**Figure 8. Garrigue héraultaise, Viols-en-Laval, Hérault (Photographie personnelle)**

L'étage Méso-Méditerranéen abrite également d'importantes pinèdes à pin d'Alep (*Pinus halepensis*). Le pin d'Alep étant une essence pionnière et pyrophile qui se réinstalle aisément après incendie, son abondance locale traduit très généralement une récurrence élevée des feux au cours des décennies passées. Ces formations peuvent également parfois résulter d'actions de reboisement, notamment en arrière de certaines zones littorales et sur les collines jusqu'à 600 m d'altitude (C.R.P.F., 1998, 2001 ; DREAL LR, 2010 ; EEA, 2012 ; Rameau et al., 2008) (figure 9).



**Figure 9. Pinède à pin d'Alep, Saint-Gély-du-Fesc, Hérault (Photographie personnelle)**



Sur les contreforts des reliefs de l'arrière-pays, l'étage Supra-Méditerranéen (défini par  $-3 < m < 0$  ; ce qui correspond à une altitude entre 500-800m et 800-1000m) abrite des forêts décidues dominées par le chêne blanc souvent accompagné par le buis, *Buxus sempervirens*, sur sols calcaires (figure 10) et par le châtaignier (*Castanea sativa*) sur sols siliceux (figure 11) (C.R.P.F., 1998, 2001 ; DREAL LR, 2010 ; EEA, 2012). Ces paysages collinéens étant souvent proches et imbriqués, la limite des deux étages méditerranéens n'est généralement pas nette. Le caractère secondaire de la végétation du Méso-Méditerranéen (garrigue et pinèdes, principalement) permet en outre, sur les zones qui ne sont plus exploitées, un retour du chêne pubescent dans l'étage Méso-Méditerranéen, ce qui ajoute encore à la confusion. Aussi, l'agencement en altitude de ces assemblages de végétation dépend de nombreux facteurs locaux, comme le type et la qualité du sol ou encore le climat local. L'étage Supra-Méditerranéen abrite également quelques forêts relictuelles de pin de Salzmann (*Pinus nigra* subsp. *salzmannii*), endémique ibéro-languedocienne. La plus célèbre localité de ce taxon emblématique du sud des Cévennes est située sur le plateau et les falaises qui entourent St-Guilhem-le-Désert.



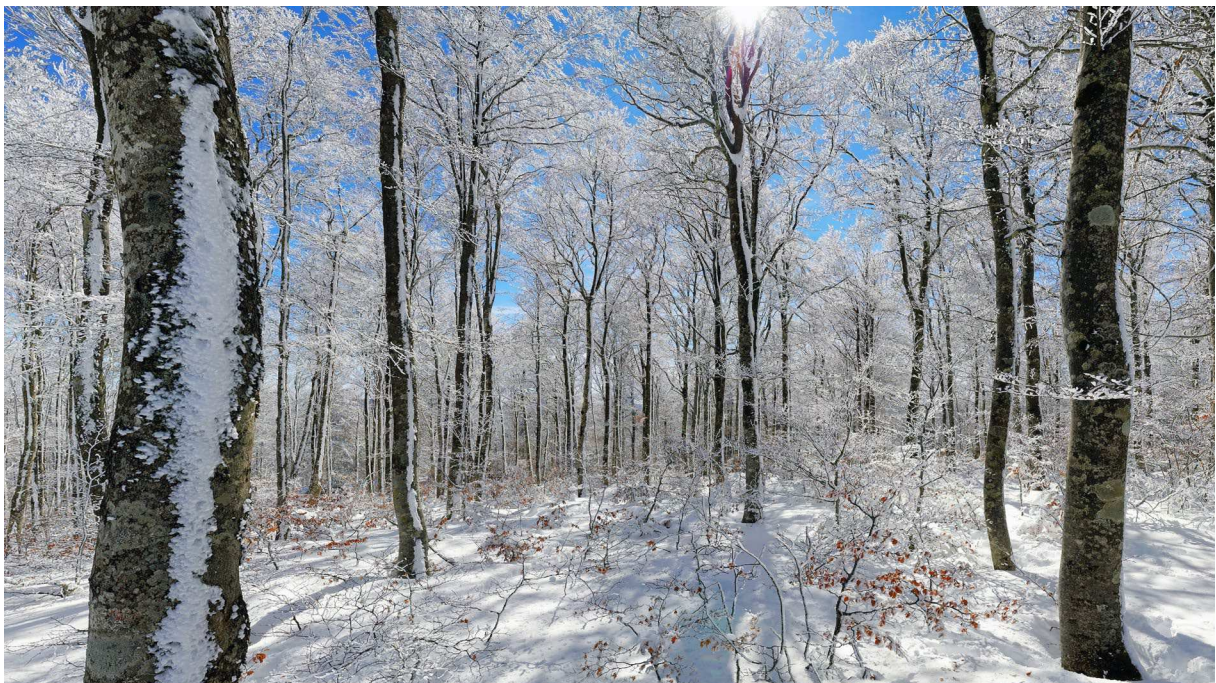
**Figure 10. Chênaie caducifoliée sur calcaire, Hérault (Photographie Killian Girardin)**

En altitude, sur les massifs montagneux des Pyrénées ou du sud du Massif Central, se trouvent des forêts mixtes, codominées par le sapin (*Abies alba*) et le hêtre (*Fagus sylvatica*), parfois accompagnées de chêne blanc dans leur partie inférieure (C.R.P.F., 1998, 2001 ; DREAL LR, 2010 ; Durand, 2003 ; EEA, 2012 ; Rameau et al., 2008) (figure 12). Les hêtraies-sapinières caractérisent l'étage Montagnard, qui ici, peut être qualifié de méditerranéen ( $-7 < m < -3^{\circ}\text{C}$  ; soit entre environ 800-1000m et 1500-1700m d'altitude).

Ces paysages ont tous une histoire liée à celle de la présence humaine et certains sont même entièrement façonnés de main d'Homme. Pour comprendre le territoire étudié et ses dynamiques, il est essentiel de connaître les grandes phases de son histoire naturelle et humaine.



**Figure 11. Forêt décidue du Mont Aigoual, versant sud (Photographie Jean-Marc Planchon / Wikimedia Commons / CC BY-SA 3.0)**



**Figure 12. Hêtraie du Mont Aigoual, Prat Peyrot (Photographie Benoit Biache / Wikimedia Commons / CC BY-SA 3.0)**

#### **4. Histoire des paysages végétaux et de l'anthropisation du territoire languedocien depuis le Dernier Glaciaire**

Les paysages actuels du Languedoc ont été en grande partie modelés par les activités humaines à partir du Néolithique (par exemple : Dolez et al., 2015 ; Pons and Quézel, 1985 ; Quézel, 1999 ; Reille and Pons, 1992). En se sédentarisant et en pratiquant l'agropastoralisme, l'Homme a échangé un modèle d'exploitation des ressources naturelles contre le façonnage du territoire à son profit. Remontons un peu dans le temps pour bien comprendre l'influence millénaire des sociétés, afin de mieux cerner l'histoire conjointe des paysages languedociens et des populations y vivant et en vivant.

Il est toujours délicat, quand on raconte l'Histoire, de définir un point de départ. Dans notre cas, il est essentiel de connaître l'état antérieur aux grands changements holocènes, c'est-à-dire celui du Tardiglaciaire, qui marque la fin du Dernier Glaciaire du Pléistocène (Würm; Penck and Brückner, 1909). Ainsi, la vision des derniers faciès avant l'intervention humaine permettra de bien saisir l'histoire des changements environnementaux liés à l'Homme. Une figure synthétique (figures 13 et 14) est proposée afin de faciliter la lecture de l'abrégé de l'histoire humaine et naturelle du Languedoc que nous exposons.

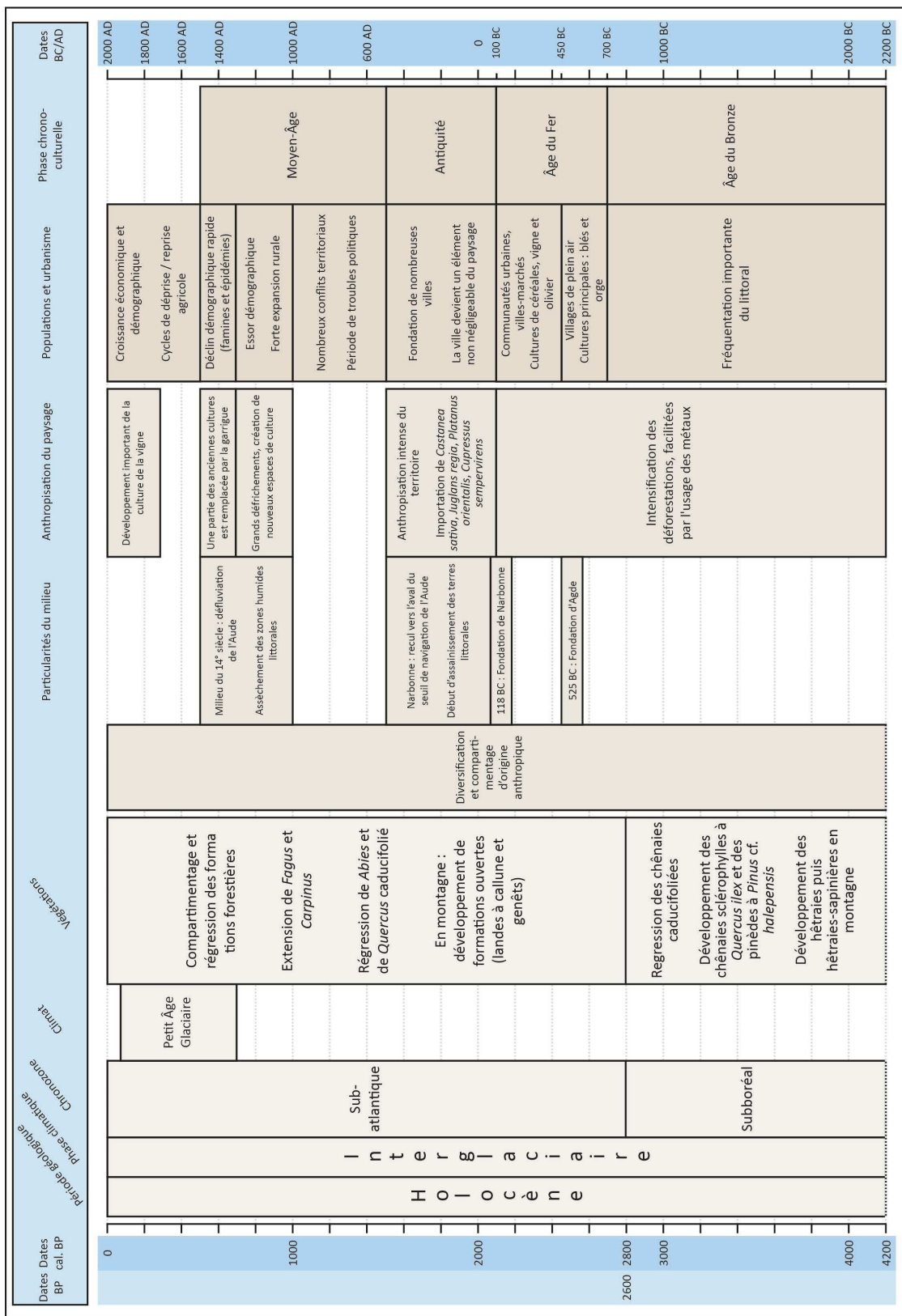


Figure 13. Synthèse de l'histoire naturelle et humaine du Languedoc (1/2)

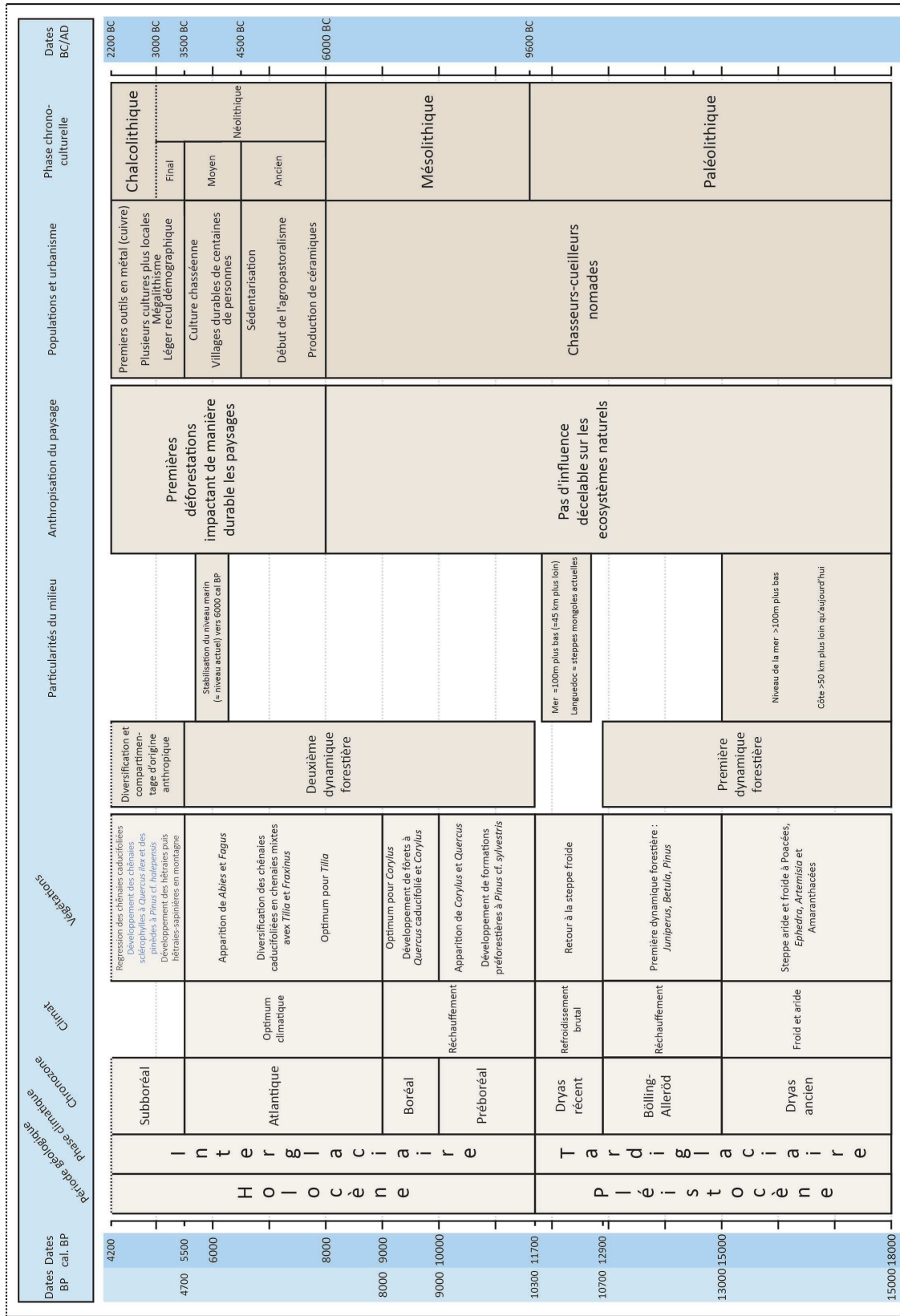


Figure 144. Synthèse de l'histoire naturelle et humaine du Languedoc (2/2)

#### 4.1. Tardiglaciaire

Au début du Tardiglaciaire, durant le Dryas ancien (18000 – 15000 cal. BP), l'environnement ne correspond en rien à ce que nous connaissons aujourd'hui. Le niveau de la mer est plus de 100m plus bas qu'actuellement (Lambeck & Bard, 2000), et une steppe glaciaire à Poacées, Amaranthacées, *Artemisia* et *Ephedra* domine le paysage (De Beaulieu, 1977 ; Quézel, 1999).

S'ensuivent les phases Bölling et Alleröd, deux phases tempérées séparées dans le nord de l'Europe par une période de refroidissement, le Dryas moyen. Ce refroidissement n'étant pas visible dans la région méditerranéenne, nous réunissons ces deux périodes en une seule, le Bölling-Alleröd. Durant le Bölling-Alleröd (15000 – 12800 cal. BP), un réchauffement climatique a entraîné une première reconquête forestière à travers le développement successif de formations de genévriers, de bouleaux, puis de pins (Reille et al., 1996). Ces pinèdes de pins type sylvestre ont dominé l'ensemble de l'Europe jusqu'au Préboréal (11700 cal. BP environ). Un refroidissement brutal lors du dernier épisode froid du Tardiglaciaire, le Dryas récent (12900 – 11700 cal. BP ; Rasmussen et al. 2006; Carlson 2013), a entraîné une régression des pinèdes plus ou moins importante selon les régions au profit des formations steppiques (Reille et al., 1996). En Languedoc, au Dryas récent, les pinèdes régressent et se concentrent dans les plaines et sur le littoral méditerranéen (De Beaulieu, 1977 ; Reille & Lowe, 1993). Ce déclin profite momentanément aux formations steppiques à armoises et Amaranthacées, souvent mêlées de genévriers et de bouleaux. On peut aussi rencontrer, par endroits, des formations forestières ouvertes avec présence de *Quercus* ou *Corylus* (De Beaulieu, 1977 ; Dolez, 2012 ; Dolez et al., 2015 ; Laval & Médus, 1989 ; Triat-Laval, 1978). Durant ce dernier épisode, le niveau de la mer Méditerranée demeure inférieur d'environ 100m au niveau actuel (Lambeck & Bard, 2000). Une particularité du Languedoc étant d'avoir une pente très douce dans les basses vallées, ce niveau de la mer bas implique un littoral situé à environ 40 - 50 km au large de la ligne de côte actuelle. Durant ces périodes, la région est occupée par des groupes humains de nomades chasseurs-cueilleurs de la culture magdalénienne, comme l'attestent par exemple la grotte Gazel à Sallèles-Cabardès dans l'Aude et les grottes près de Laroque dans l'Hérault (par exemple Bazile et Monnet-Bazile, 2000; Fontana, 1999; Ravoux, 1966).

#### 4.2. Préboréal et Boréal

L'Holocène est une période interglaciaire, dont le début est marqué par un changement radical du contexte climatique. La première phase de l'Holocène, nommée Préboréal (11700 – 10000 cal. BP), correspond au début du réchauffement climatique qui entraîne la remontée progressive du niveau de la mer (Lambeck & Bard, 2000 ; Vella & Provansal, 2000). Cette évolution climatique entraîne aussi le retour en altitude des formations pré-forestières pionnières à pins (*Pinus type sylvestris*), puis l'apparition des chênes caducifoliés (*Quercus type pubescens*) et du noisetier (*Corylus*), qui ferment les milieux (Triat-Laval, 1979a). Durant le Boréal (10000 – 9000 cal. BP), la poursuite du réchauffement permet aux feuillus de s'étendre et de constituer des forêts décidues, d'abord dominées par *Corylus*, puis par *Quercus pubescens* et *Ulmus* (Triat-Laval, 1978). Cette phase correspond à l'optimum du noisetier, qui restera par la suite inféodé aux chênes. Durant cette première partie de l'Holocène, des groupes humains mésolithiques occupent certains espaces, mais leurs activités de subsistance (chasse et cueillette) n'ont pas d'influence décelable sur les écosystèmes naturels (Geddes, 1987).

### 4.3. Atlantique

Durant la période Atlantique (9000 – 5500 cal. BP), l'optimum climatique permet aux chênaies décidues de se diversifier en accueillant progressivement d'autres taxons, tels que *Tilia* et *Fraxinus* (Reille et al., 1996). En montagne, apparaissent le sapin (*Abies alba*) et le hêtre (*Fagus sylvatica*). Le sapin arrive depuis des refuges localisés dans les Balkans, les Alpes dinariques et le nord de l'Adriatique (Muller et al., 2007 ; Terhürne-Berson et al., 2004). Les stations refuges du sapin identifiées dans les Pyrénées (Jalut, 1970, 1973 ; Pons et al., 1974 ; Reille & Lowe, 1993) et dans le sud de l'Italie (Bennett et al., 1991 ; Lang, 1992) sont isolées génétiquement et semblent ne pas avoir joué de rôle dans la reconquête (Muller et al., 2007 ; Terhürne-Berson et al., 2004 ; Vicario et al., 1995). Le hêtre, quand à lui, proviendrait d'un refuge principal localisé dans les Alpes dinariques et le nord de l'Adriatique, probablement relayé par de petits refuges secondaires localisés en de nombreux endroits du pourtour méditerranéen (Magri, 2008). Aussi, le développement du hêtre n'a pas été synchrone dans les différentes régions du sud du Massif Central. S'il semble apparaître à partir de 6600 cal. BP dans la Montagne Noire et l'arrière-pays narbonnais (Dolez et al., 2015 ; Pulido Avila, 2006), il est enregistré dès 8000 cal. BP à Sète (Court-Picon et al., 2010) et seulement vers 4300 cal. BP à Lattes (Puertas, 1997). Triat-Laval (1978) enregistre même ce taxon vers 10000 cal. BP dans le diagramme des Frignants, en Camargue. Cette précocité traduit cependant probablement une pollution du sédiment (remaniement), ou plus plausiblement une erreur de datation, car la chênaie décidue apparaît déjà très bien implantée et diversifiée à cette date.

À la fin de l'Atlantique, aux alentours de 6000 cal. BP, le niveau de la mer se stabilise autour du niveau actuel, créant un littoral en partie lagunaire (Dubar & Anthony, 1995 ; Lambeck & Bard, 2000 ; Vella & Provansal, 2000). Durant cette période, l'Homme s'essaye progressivement à de nouvelles pratiques et change son mode de vie : il se sédentarise et développe l'agropastoralisme. À quelques kilomètres à l'ouest d'Agde, le site de Pont de Roque-Haute, daté de 7700 cal. BP (5700 BC), est un des plus anciens témoins du début du Néolithique languedocien (Guilaine & Manen, 2007). Les premiers habitats sédentaires sont plutôt saisonniers et expriment la complémentarité entre nouvel agropastoralisme et anciennes traditions cynégétiques (Geddes, 1987). Les nombreux sites archéologiques découverts entre le massif de la Clape et les Corbières suggèrent que, comparativement à d'autres régions, le Languedoc est densément peuplé depuis la fin du Paléolithique (Gayraud, 1981). C'est dans ce contexte d'une importante démographie qu'une première grande culture humaine homogène se développe sur le territoire languedocien entre 6500 et 5500 cal. BP (4500-3500 BC) : la culture chasséenne, considérée comme « la première grande civilisation paysanne de la France méditerranéenne » (Cholvy, 1993). Abandonnant la tradition d'habitats sédentaires peu durables du Néolithique ancien, ces peuples chasséens créent des villages de plusieurs centaines de personnes. Ces implantations, accompagnées du développement de l'agropastoralisme, commencent à marquer les paysages, surtout à la fin de cette période où l'utilisation de la force de traction du bœuf permet une importante emprise agricole (Beeching et al., 1998 ; Blaise, 2009). Si ces habitats sont le plus souvent en plein air, l'utilisation de grottes et abris sous roche est encore attestée, sans doute pour les déplacements saisonniers et les transhumances (Cholvy, 1993). Les activités de chasse et de cueillette, encore fortement présentes, témoignent d'un certain reliquat culturel, du moins au niveau des pratiques (Bréhard et al., 2010).

Cette homogénéité de culture et de pratique disparaît vers le 5<sup>e</sup> millénaire avant aujourd'hui (3<sup>e</sup> millénaire BC), au profit de plusieurs faciès plus locaux, comme les cultures de Véraza dans l'Aude et

les Pyrénées Orientales, et de Fontbouisse entre les fleuves Rhône et Hérault (Jallot, 2008 ; Martin Colliga, 1977). Cette phase, qui correspond à l'épanouissement du mégalithisme régional (Limouzin & Nique, 2007), est marquée par le début d'un léger recul démographique général (Cholvy, 1993). Cependant, sur le territoire héraultais, l'humain est encore fortement présent, comme le montrent les très nombreux villages affiliés à la culture de Fontbouisse (Cholvy et al., 1982).

#### 4.4. Subboréal

Durant le Subboréal (5 500 – 2 800 cal. BP), la végétation change rapidement, sous l'influence de la pression anthropique croissante et notamment des coupes forestières. En montagne, le hêtre se développe pour dominer les paysages, souvent au détriment du sapin, beaucoup plus sensible aux coupes forestières (Muller et al., 2007 ; Pulido Avila, 2006). Cet essor, daté entre 4800 et 3800 cal. BP sur le pourtour méditerranéen français (e.g. Dolez, 2012; Dolez et al., 2015; Laval et Médus, 1989; Planchais, 1985, 1982; Puertas, 1997) apparaît lié aux premières déforestations en montagne durant le Néolithique final et le début de l'Âge du Bronze. L'âge obtenu par Triat-Laval (1978) aux Frignants, en Camargue, pour l'expansion du hêtre (5400 cal. BP) est très précoce par rapport aux autres évidences régionales et confirme le problème de chronologie, sans doute dû à l'effet réservoir, déjà évoqué ci-dessus. Parallèlement à ces changements localisés en altitude, les déboisements anthropiques impactent aussi les forêts décidues méso-méditerranéennes. Le chêne vert (*Quercus ilex*), qui résiste mieux aux perturbations que le chêne blanc (*Quercus pubescens*), profite de ces coupes et s'étend sur l'ensemble des régions méditerranéennes françaises en formant des chênaies sclérophylles secondaires (Heinz & Thiebault, 1998 ; Pulido Avila, 2006 ; Reille & Pons, 1992 ; Triat, 1975). Ces coupes forestières, facilitées par l'utilisation des métaux (cuivre puis bronze), permettent de créer de nouveaux espaces ainsi que d'obtenir une ressource utilisée de nombreuses manières tels que la construction, l'outillage, ou encore le chauffage et la cuisson. Les découvertes archéologiques de nombreux objets de provenances lointaines témoignent de la fréquentation importante du territoire littoral languedocien dès l'âge du Bronze (Gascó, 2011).

#### 4.5. Subatlantique

A partir de 2800 cal. BP, durant le Subatlantique, l'occupation humaine s'accroît et les paysages sont de plus en plus sous contrôle, ou au moins forçage, anthropique. L'intensification des activités humaines mène à une régression importante des formations forestières de basse altitude. Les formations sclérophylles et les forêts décidues résiduelles sont progressivement coupées, notamment pour faire de la place aux parcelles dédiées aux cultures (céréales, vignes, oliviers, fruitiers), attestées dans les analyses paléoenvironnementales (Dolez, 2012 ; Dolez et al., 2015 ; Pulido Avila, 2006 ; Reille & Pons, 1992).

Dès la fin de l'Âge du Bronze, vers 2700 cal. BP (700 BC), on remarque un léger accroissement démographique, en lien avec une sensible amélioration des systèmes agricoles (Cholvy, 1993 ; Cholvy et al., 1982). Mais cette recrudescence démographique ne se fera pleinement ressentir que durant l'Âge du Fer (Gayraud, 1981). Avec l'épanouissement des sociétés humaines, l'environnement devient de plus en plus assujéti à l'Homme, l'évolution des paysages étant contrainte par les



comportements expansionnistes et les activités économiques des groupes humains. À partir de l'Âge du Fer, l'étude du territoire languedocien ne peut se faire qu'en tenant compte des particularités locales de l'histoire des Hommes, des implantations et de leurs productions. Le premier Âge du Fer, entre 700 et 450 BC, est marqué par la désertion des grottes et la fondation de villages de plein air, rappelant ainsi le Chasséen. Ces agropasteurs cultivent principalement les céréales, parmi lesquelles le blé amidonnier, le blé tendre et l'orge, dont des restes ont été retrouvés carbonisés (Cholvy et al., 1982). Durant le deuxième Âge du Fer, entre 450 et 120 BC, se forment des communautés urbaines qui, exploitant le surplus de production des populations locales, créent des villes-marchés, telles Espeyran dans le Gard, Lattes et Bessan dans l'Hérault ou encore Pech Maho dans l'Aude, et commercent avec les autres populations de la Méditerranée (Cholvy et al., 1982 ; Gailledrat et al., 2003). Cultivant toujours principalement des céréales, ces groupes exploitent aussi la vigne, et produisent du vin en petite quantité, mais cette denrée reste surtout importée (McGovern et al., 2013). La culture de l'olivier, plus tardive, pourrait être, tout du moins en partie, destinée à la production d'huile, comme le laisse supposer la découverte du pressoir de Brignon, dans le Gard (Cholvy et al., 1982).

Dès 525 BC, un comptoir commercial phocéén (Agde ou Agâthe) est installé sur le littoral et au débouché du fleuve Hérault (Ugolini et al., 2002). Acquérant le titre de colonie de Marseille en 400 BC, il prendra rapidement de l'importance, commerçant avec les peuples du pourtour méditerranéen et ceux de l'arrière-pays celte (Garcia, 2004). La ville disposait d'un port, encore non repéré mais qui pourrait se situer dans l'étang du Bagnas (Cholvy et al., 1982), permettant le commerce maritime et fluvial, comme l'attestent les nombreux objets découverts dans le cours de l'Hérault (bateaux, amphores, statuaires). Parmi ces artefacts anciens, se trouve une magistrale statue hellénistique de bronze datée du IV<sup>e</sup> siècle BC (l'Ephèbe d'Agde), trouvée dans le fleuve et témoignant de l'importance, sinon de la richesse, de la cité capable d'importer ce genre d'œuvres. Liant un arrière-pays exploité au reste du monde, ce comptoir, ainsi que son port, est aussi un témoignage flagrant de la capacité de l'Homme à profiter de son environnement, sinon le remanier, selon ses besoins, en échangeant une Nature qu'il voit sienne contre celle d'un autre.

Durant l'Antiquité, de nouvelles essences d'arbre font leur apparition. Les populations gallo-romaines importent dans le sud de la France des espèces d'origine orientale : le châtaignier (*Castanea sativa*) et le noyer (*Juglans regia*) pour la culture, le Platane (*Platanus orientalis*) et le Cyprès (*Cupressus sempervirens*) pour l'ornement (Conedera et al., 2004 ; Muller, 2004). En montagne, les coupes forestières répétées entraînent l'expansion généralisée des formations ouvertes (Pons & Reille, 1988), de type landes à callune (*Calluna vulgaris*) et à Génistées (*Cytisus oromediterraneus* et *C. scoparius*, essentiellement) (Reille, 1988), que l'on peut encore observer aujourd'hui en Montagne Noire, sur le Caroux, sur l'Aigoual ou sur le Mont Lozère. Outre ces grands espaces modifiés et contrôlés par l'Homme, un autre élément prend de plus en plus d'ampleur dans le paysage : la ville. L'urbain se développe, se diversifie, s'étend et se ramifie.

En Languedoc, la période antique est fortement marquée par la romanisation. Dans cette région en construction, de nombreuses colonies de droit latin sont fondées *ex nihilo* ou à partir d'un substrat local au cours de la seconde moitié du I<sup>er</sup> siècle BC, souvent au pied d'anciens oppida autochtones, comme par exemple Béziers (*Baeterra*), qui volera en partie l'autorité politique et économique d'Agde au Haut-empire, ou encore Nîmes (*Nemausus*), Carcassonne (*Carcaso*), Saint-Thibéry (*Cessero*) ou Roussillon (*Ruscino*) (Pline l'ancien, *Histoire naturelle*, III, 5 ; Cholvy et al., 1982). De

nombreux hameaux et bourgs ruraux (*vici* selon Cholvy et al. 1982), ainsi que des *villae* et leurs domaines, font le lien entre ces villes.

Cette anthropisation intense du territoire prend ses racines dans les liens, commerciaux ou conflictuels, qui unissent Rome aux peuples locaux (Volques, Ibères et Ligures), ainsi que d'une volonté de contrôle et d'extension des routes commerciales de la Méditerranée. Avec cette intense expansion et dans un but de surveillance et de contrôle de la route littorale ibéro-gauloise, empruntée par Hannibal Barca pour envahir le territoire romain en 218 BC (Tite Live, Hist. Rom., XXI, 24), est créée en 118 BC la colonie de Narbonne (*Narbo*). La ville est bientôt renforcée par le don de Jules César, en 45 BC, de terrains aux vétérans de la X<sup>e</sup> légion (Pline l'ancien, Hist. Nat., III, 5). Bien que partant d'une optique militaire certaine, comme l'affirme Cicéron en qualifiant la ville d'« observatoire et rempart de Rome » (Cicéron, Pro Font., V, 13), Narbonne devient rapidement un centre économique incontournable. Fondée au débouché du fleuve Aude (l'*Atax* des romains), elle profite d'un système portuaire fluvial permettant le commerce maritime (Ambert, 2000 ; Gayraud, 1981).

La ville a aussi un rôle central dans les routes commerciales terrestres, car au carrefour de la voie d'Aquitaine, reliant Narbonne à Carcassonne, Toulouse et Bordeaux, et de la voie domitienne, la rapprochant de la péninsule ibérique. Ainsi, à la croisée de ces grandes routes commerciales de l'Occident, Narbonne devient très vite une concurrente sérieuse de Marseille (Cholvy et al., 1982). Diodore de Sicile appuiera même l'importance de la ville en témoignant de sa situation avantageuse et de sa richesse, et la qualifiera de « *plus important entrepôt de cette contrée* » (Diodore de Sicile, Bibl. Hist., V, 38), tandis que Strabon définira la Narbonne antique comme le port « *de la Gaule entière, tant elle surpasse les autres villes maritimes par l'importance et l'activité de son commerce* » (Strabon, Géo., IV, 1, 12). Ce rôle de plateforme commerciale de première importance repose sur l'échange des ressources de l'arrière-pays et des territoires plus lointains, tel l'étain breton arrivant par la voie d'Aquitaine, faisant ainsi une grosse concurrence à Marseille (Diodore de Sicile, Bibl. Hist., V, 38). En plus d'exporter le sel, production des salines locales (Sidoine Apollinaire, Carm., XXIII, v.43), Narbonne commercialise les métaux présents en grande quantité dans les montagnes régionales. Les Corbières fournissent du cuivre et du plomb argentifère, tandis que la Montagne Noire et le Minervois offrent de l'argent et de l'or (Gayraud, 1981). Strabon présentera même les Cévennes comme « *une terre qui regorge d'or* » (Strabon, Géo., IV, 1,13).

Cette prépondérance du commerce dans la vie de Narbonne est aussi attestée par des sources épigraphiques, qui témoignent du rôle majeur, relativement à d'autres villes romaines même commerçantes, des *negotiatores* (négociants) et des *publicani* (percepteurs des impôts, dans ce contexte, percepteurs des taxes sur le commerce). Ces sources renseignent également sur le rang social attribué aux métiers courants. On retrouve d'abord les commerçants, et surtout les *naviculares*, les gérants de petits bateaux servant au transbordement des marchandises depuis des bateaux à plus fort tirant d'eau. Viennent ensuite les activités de métallurgie et de textile, qui restent socialement au-dessus des autres activités du quotidien (Gayraud, 1981).

Ainsi, durant l'Antiquité, toute la région profite de cette puissance économique et notamment d'un commerce maritime de première importance, bien documenté par les notes épigraphiques (Gayraud, 1981). Mais les activités plus rurales, quant à elles, sont beaucoup moins détaillées. Pourtant, avec une population estimée entre 25 000 et 35 000 personnes durant l'Antiquité pour la seule ville de

Narbonne (Gayraud, 1981), le volume des denrées consommées localement ne peut être négligeable, de même que les activités agropastorales. Selon Oribase, se basant sur les écrits de Xénocrate d'Aphrodisias, un auteur du I<sup>er</sup> siècle AD, la pêche et l'ostréiculture sont des éléments importants de l'économie de bouche locale (Oribase, Coll. Med. II, 58, 96). Des espaces cultivés sont aussi attestés (Pline l'ancien, Hist. Nat., III, 5), le bas-pays, cultivable grâce à l'assainissement des terres (Gayraud, 1981) est dédié à l'olivier et au figuier (Strabon, Géo., IV,1,2), tandis que les plaines et vallées exploitent les céréales dont le blé, l'orge et le millet (Strabon, Géo., IV,1,2 ; Pline l'ancien, Hist. Nat., XVIII, 46). Enfin, les coteaux de l'arrière-pays sont consacrés aux vignes (Pline l'ancien, Hist. Nat., XIV, 3). En compilant ces attestations, nous pouvons imaginer une vallée de l'Aude très anthropisée, avec de nombreux espaces de cultures et des espaces naturels relégués en altitude sur les montagnes. Cependant, malgré ces mentions, les attestations anciennes restent très lacunaires et peu détaillées. Les sources épigraphiques montrent une carence importante, en nombre, dans la désignation de ces métiers de la terre en comparaison des très nombreuses itérations des métiers du commerce. On peut ainsi se demander si les producteurs jouissaient d'un statut social inférieur, indignes d'être nommés, ou même si l'agropastoralisme de la Narbonnaise était suffisant à nourrir la région qui, bénéficiant de son rôle central dans le commerce, pouvait importer des denrées en masse.

Narbonne, installée dans un environnement politique et géographique adéquat lui permettant de rapidement s'établir comme capitale régionale, va pourtant subir les effets pernicioeux de son positionnement stratégique. Son principal atout, le port fluvio-maritime, est en effet installé dans un environnement changeant lagunaire. En effet, au début de notre ère, Pomponius Mela et Pline l'ancien décrivent cette même zone, comme une lagune reliée à la mer par un grau (Pomponius Mela, Géo. II, 5 ; Pline l'ancien, Hist. Nat., III, 5). Aussi, Strabon explique que l'Aude est navigable jusqu'en amont de la ville, durant les premiers âges de la cité, tandis que pour Pomponius Mela, aux alentours de 43 AD, la navigation sur ce fleuve s'arrête à Narbonne (Pomponius Mela, Géo., II,5 ; Strabon, Géo., IV,1,14). Enfin, quelques décennies plus tard, Lucain indique que les navires d'Italie (plus lourds) ne peuvent plus remonter le fleuve, ce qui implique un système d'avant-port nécessaire au commerce (Ambert, 2000; Lucain, Phars., I). Cette régression vers l'aval du seuil de navigation et l'évolution rapide du système littoral mène à un incessant besoin d'adapter l'environnement aux pratiques humaines (Gayraud, 1981 ; Ollivier et al., 2009 ; Sanchez & Jézégou, 2011). De nombreux travaux d'aménagements antiques ont été relevés, comme l'artificialisation du cours de l'Aude au sein de la lagune de Bages-Sigean afin d'éviter son ensablement (Sanchez et al., 2016 ; Sanchez & Jézégou, 2011). Cette volonté de faire perdurer le système portuaire, essentiel à la ville, mène à des travaux toujours plus lourds (Ollivier et al., 2009 ; Sanchez & Jézégou, 2011) et pose la question du retour sur investissement de ces aménagements.

Au cours du haut Moyen Âge, le Languedoc connaît une période de grands troubles politiques. Du V<sup>e</sup> au X<sup>e</sup> siècle AD, les derniers romains combattent de nouveaux peuples pour le contrôle de ce territoire. Narbonne, après quelques siècles d'hégémonie régionale devient une proie d'excellence. La ville se fait conquérir par Athaulf et ses armées de Wisigoths en 413 AD (Limouzin & Nique, 2007). Malgré la création d'un évêché à Agde au VI<sup>e</sup> siècle qui rend un peu de sa superbe à la ville et au territoire héraultais, c'est le début d'une longue période de guerres et de razzias dans la région. Les Francs, lorgnant aussi le Languedoc, contestent l'autorité du royaume Wisigoth qui change souvent de géométrie en se faisant repousser vers l'Espagne. Durant ces quelques siècles, le Languedoc, et en particulier sa principale ville Narbonne, change de protecteur de nombreuses fois, parfois pour des

durées très brèves (Limouzin & Nique, 2007). Au début du VIII<sup>e</sup> siècle, de nouveaux intervenants, les Arabes Omeyyades en provenance d'Afrique, poussent le royaume Wisigoth à l'effondrement. Sur cette lancée, ayant conquis l'Afrique du Nord et l'Espagne, ils poussent en Languedoc et prennent même Narbonne en 719 de notre ère. La ville est reprise en 759 par les Francs, qui tentent d'y imposer la paix, mais le territoire languedocien reste soumis aux razzias, telles celle d'Abd Al Malik en 793 (Limouzin & Nique, 2007). En 859 AD, Narbonne est à nouveau pillée, par les Vikings cette fois.

Cette instabilité politique semble n'impacter que légèrement l'arrière-pays, qui conserve une économie de production relativement stable jusqu'au XI<sup>e</sup> siècle AD (Cholvy, 1993), impliquant ainsi une basse vallée toujours très anthropisée et dédiée aux cultures. On sait aussi, d'après un géographe arabe du XII<sup>e</sup> siècle, Mohammed Ibn Abu Bakr al-Zuhri, que la ville de Narbonne continue son activité commerciale à travers un port situé à l'intérieur de la cité et qui a dû nécessiter des aménagements importants depuis la période décrite par Lucaïn : « *Cette ville est traversée en son milieu par un grand fleuve, c'est le plus grand fleuve du pays des Francs ; un grand pont l'enjambe. Entre la ville et la mer, la distance est de deux parasanges [environ 10 km]. Les navires venant de la mer remontent le fleuve jusqu'en aval de ce pont. Au centre de la ville, il y a des quais et des moulins construits par les anciens [les romains ?], personne ne pourrait plus en bâtir de semblables* » (Hadj-Sadok, 1968).

Durant le Moyen Âge central (XI<sup>e</sup> – XIII<sup>e</sup> siècles AD), le Languedoc est toujours soumis aux pillages et autres rapines, principalement des Sarrasins, Normands et Hongrois (Limouzin & Nique, 2007). C'est aussi le début des guerres de religion dans lesquelles l'Église fait son possible pour imposer sa tradition, souvent par la force. Les Cathares sont bien connus dans la région pour leurs démêlés avec l'Église, mais ils ne représentent que le sommet de l'iceberg de la contestation dogmatique. D'autres groupes, tels les Pétrobusiens ou encore les Vaudois, sillonnent le territoire et prêchent leurs convictions, ce que l'Église de Rome prend comme une menace contre sa suprématie. Une véritable croisade contre ces groupes « hérétiques » débute alors : jusqu'à 80 inquisiteurs seront actifs simultanément dans la région, avec pour charge de traquer, condamner et faire expier leurs péchés aux dissidents, expiation revêtant souvent la forme d'un bûcher (Limouzin & Nique, 2007).

Parallèlement à cette insurrection religieuse, se produit un net essor démographique, accompagné d'une forte expansion rurale et d'un accroissement de la production agricole (Cholvy, 1993 ; Cholvy et al., 1982 ; Limouzin & Nique, 2007). Le paysage est encore modelé pour faire apparaître de nouvelles zones de culture. C'est une période de grands défrichements des reliquats d'espaces naturels et d'assèchement des zones humides (Abbé, 2005 ; Cholvy, 1993 ; Cholvy et al., 1982), comme par exemple les étangs côtiers de Capestang et Montady (Abbé, 2005 ; Limouzin & Nique, 2007). Dans un texte de 1235, dans lequel deux ordres ecclésiastiques de Coussergues demandent l'arbitrage d'un litige, on note qu'ils annoncent qu'au moins 50% des terres cultivées sur leur territoire ont été créées dans les 40 dernières années (Cartulaire du chapitre d'Agde, Cholvy et al. 1982). Cet essor considérable des territoires dédiés à l'agriculture semble toutefois compartimenter la région, le Haut Languedoc étant tourné vers les céréales, tandis que le Bas Languedoc cultive plutôt la vigne (Cholvy et al., 1982).

Le Moyen-Âge tardif, entre les XIV<sup>e</sup> et XV<sup>e</sup> siècles, est une période de malheurs. Outre les conflits religieux et politiques, de nouveaux maux ravagent la région. Un de ces fléaux est la « guerre de cent ans ». Bien qu'éloignée des escarmouches entre souverains français et anglais, et même si cette

guerre impacte surtout la noblesse, le Languedoc, comme les autres territoires ruraux, est touché par les pillages. La région est au cœur des rivalités expansionnistes des royaumes de Majorque et d'Aragon, menant parfois les combats sur le territoire languedocien (Cholvy, 1993 ; Cholvy et al., 1982 ; Limouzin & Nique, 2007).

Cette période est marquée par une forte densité démographique. Le manque de terres cultivables de qualité, malgré les énormes efforts effectués durant le Moyen-Âge central en ce sens, associé à une baisse de la production en partie causée par le début du Petit Âge Glaciaire, entraîne des famines qui sévissent dans la région (Cholvy et al., 1982 ; Limouzin & Nique, 2007). Guerres et famines, voilà un terrain particulièrement fécond pour les grandes épidémies qui vont ravager l'Europe. La Grande peste noire de 1348 va, avec ses résurgences, décimer au moins 30% de la population languedocienne (Cholvy, 1993 ; Cholvy et al., 1982 ; Limouzin & Nique, 2007), causant ainsi un dépeuplement des campagnes et un abandon de certaines parcelles qui vont se faire coloniser par la garrigue (Cholvy et al., 1982).

En complément de ces fléaux, un changement environnemental d'importance se produit au milieu du XIV<sup>e</sup> siècle : la défluviation de l'Aude (Sanchez et al., 2011). Des textes anciens (Mouynès, 1877) indiquent que la crue majeure, responsable de ce changement de cours, a causé de nombreux dégâts aux aménagements urbains et notamment aux installations fluviales de Narbonne. Cette défluviation, qui fait passer l'Aude au nord du massif de la Clape, semble réduire fortement l'activité fluvio-maritime de la ville qui doit transformer ses activités et tenter de coûteux aménagements qui ne redonneront pourtant pas à Narbonne sa situation d'antan (Sanchez et al., 2011).

Dès le début du XVI<sup>e</sup> siècle et l'apaisement des tensions, le Languedoc connaît un nouvel essor démographique. La production alimentaire peinant à suivre le rythme, le manque de ressource devient un frein passager à cette reconquête vers 1550, mais la situation se stabilise et la croissance, tant démographique que socio-économique reprend timidement (Cholvy, 1993).

Le XVII<sup>e</sup> siècle connaît un retour des épidémies. La variole et la peste causant de gros dégâts humains (Cholvy et al., 1982), la production agricole, surtout céréalière, décroît fortement entre 1685 et 1722 (Cholvy, 1993). Ce sera seulement au cours du XVIII<sup>e</sup> siècle que la croissance agricole reprendra, privilégiant la vigne au détriment des céréales (Cholvy et al., 1982 ; Limouzin & Nique, 2007).

Plus récemment, des cycles épisodiques alternant exodes ruraux et reconquêtes des anciens terroirs vont progressivement affiner la mosaïque territoriale façonnée depuis le Néolithique et donner la forme actuelle des paysages.



## Chapitre II : Matériel et méthodes

Une étude de cette ampleur ne peut s'appréhender pleinement qu'en croisant plusieurs approches. Le principal marqueur utilisé ici étant la végétation passée, nous avons mis en avant l'approche palynologique. Pour compléter ces données et pallier les biais inhérents à cette discipline, nous avons utilisé, bien entendu, des données historiques et archéologiques, mais aussi des analyses XRF (spectrométrie de fluorescence des rayons X) et des datations radiocarbone. Voici maintenant une présentation des outils employés et leurs modalités d'application.

### 1. La palynologie : un outil de reconstitution des paléoenvironnements

#### 1.1. Principe de la palynologie

La palynologie est une discipline affiliée à la botanique qui a pour vocation l'analyse de marqueurs particuliers : les grains de pollen. Ces derniers sont les gamétophytes mâles des plantes à fleurs. L'outil palynologique peut avoir de nombreuses applications, comme par exemple reconstituer les végétations et les conditions climatiques passées (paléopalynologie), identifier les périodes sensibles pour les allergiques au pollen (aéropalynologie) ou contrôler l'origine du miel (melissopalynologie). Dans notre étude, la palynologie est utilisée pour sa capacité de reconstitution des assemblages végétaux passés, à travers l'identification de grains fossiles conservés dans un sédiment anoxique.

L'étude des grains fossilisés est permise par deux caractéristiques du pollen. Tout d'abord, la paroi des grains de pollen est composée de sporopollénine, un polymère naturel extrêmement résistant aux attaques chimiques et sensible seulement à l'oxydation. Ainsi, les grains de pollen peuvent être conservés durant des dizaines de millénaires dans des milieux adéquats, c'est à dire des milieux humides anoxiques, tels que les lacs ou les tourbières. En outre, du fait de la grande résistance à la corrosion de la sporopollénine, les grains fossiles peuvent être extraits du sédiment par des procédés chimiques afin d'être analysés individuellement (Reille, 1990a).

D'autre part, ces grains disposent d'une très grande spécificité morphologique, permettant la reconnaissance au niveau du genre et parfois de l'espèce de la plante émettrice à partir de trois paramètres du grain de pollen : sa forme générale du grain (incluant sa taille), son type pollinique (basé sur le type, le nombre et la disposition des ouvertures), et enfin, son ornementation (Figure 15). Les grains de pollen sont des structures de très petite taille, qui mesurent entre 10  $\mu\text{m}$  pour les plus petites et 150  $\mu\text{m}$  pour les plus grosses, observable uniquement au microscope. Un premier pas vers l'identification est permis par le fait qu'une espèce produit grains de taille et de forme homogène. De nombreuses formes sont observables (ronde, ovale, triangulaire, carrée, etc.), et ces formes sont spécifiques du taxon producteur (Figure 15). Le type pollinique est lié à l'observation des ouvertures du grain, c'est-à-dire des zones plus minces de l'exine (paroi externe spécifique au grain de pollen) qui permettent les échanges gazeux et hydriques du microgamétophyte avec l'atmosphère et la sortie du tube pollinique lors de la fécondation. Ces ouvertures peuvent être de trois types : pore (trou circulaire), colpus (sillon linéaire) et colpore (sillon doublé d'un pore). L'observation du type, du nombre et de la disposition des ouvertures sur le grain, qui permettent d'en définir le type pollinique, constitue la deuxième étape vers son identification (Figure 15). Enfin, l'exine est double et séparée

en endexine et ectexine. L'ectexine, la partie la plus externe, présente une ornementation qui peut prendre de nombreux aspects (lisse, granuleuse, verruqueuse, échinulée, réticulée, etc.) (Figure 15). Chaque paramètre n'est pas exclusif à un taxon : c'est l'ensemble des paramètres qui permet l'identification.

L'identification et le comptage des grains de pollen fossiles conservés sur un niveau de sédiment permettent de restituer les proportions relatives de chaque taxon pollinique. Cela permet d'obtenir une image déformée de la flore et des assemblages végétaux présents dans le secteur de l'étude à cette époque. En cumulant les niveaux étudiés, nous obtenons des images de différents moments, permettant la reconstruction du film des dynamiques végétales au cours du temps. Pour que cette reconstitution des végétations passées soit la plus fiable possible, il convient de prendre en compte les biais inhérents aux trois grands postulats sur lesquels se base la paléopalinologie (Reille, 1990a) :

- « *La pluie pollinique, c'est-à-dire la totalité des spores et grains de pollen déposés en un point, représente fidèlement la végétation et elle est uniformément répartie dans la végétation productrice* ». Le principal obstacle à ce postulat est lié aux capacités de production et de dispersion du pollen variable entre les plantes. La majorité des grains de pollen récoltés dans un sédiment en vue de l'analyse palynologique proviennent de plantes anémogames, des plantes dont la dispersion du pollen en vue de la pollinisation est faite par le vent. Les plantes zoogames peuvent ainsi être considérées comme fortement sous-représentées dans les assemblages polliniques. La quantité de pollen produit varie entre les taxons en fonction de leur stratégie de pollinisation. La distance parcourue par les grains varie en outre en fonction de leurs particularités aérodynamiques. Par exemple, le tilleul (*Tilia*) et l'érable (*Acer*) produisent des grains peu abondants et faiblement dispersés (quelques kilomètres) avant de se déposer, à l'inverse du pollen des pins (*Pinus*) qui, en plus d'être produit en très grandes quantités, dispose de « ballonnets aérifères » lui permettant d'être porté par les courants aériens sur de très grandes distances (des dizaines de kilomètres) (Fægri et al., 1989). Il est ainsi nécessaire de connaître les modes de production des espèces identifiées, afin d'affiner leur représentativité : le tilleul et l'érable sont sous-représentés, tandis que les pins sont fortement surreprésentés. La connaissance préalable de la représentation pollinique de chaque taxon est nécessaire pour en corriger les biais et interpréter le signal en termes d'origine locale, régionale ou lointaine.
- « *Le dépôt et la conservation ne modifient en rien l'image de cette pluie pollinique* ». En prenant en compte les particularités de la pluie pollinique citées ci-dessus, on considère que les grains de pollen se déposent dans un sédiment de manière homogène sur un site donné. Les variations entre niveaux sédimentaires de la quantité de pluie pollinique enregistrée peuvent ainsi être analysées en fonction de facteurs tels que le taux d'accumulation sédimentaire ou la nature du sédiment. En ce qui concerne la conservation, et bien qu'elle puisse varier selon le taxon en fonction notamment de l'épaisseur de l'exine ou de l'ornementation, on considère généralement que la dégradation est relativement homogène entre les taxons. Il existe toutefois quelques types de pollen dont la grande résistance et la forme spécifique permettent la conservation et l'identification même dans des sédiments très dégradés. Ces taxons peuvent être utilisés pour identifier ces niveaux : en particulier, le pollen des Cichoroidées, qui présente une ornementation si particulière (on le dit fenestré) qu'il est identifiable même fortement abimé. Son abondance au sein d'un échantillon signale




à l'analyste à la probable disparition d'une grande partie de l'assemblage pollinique (Bottema, 1975 ; Coûteaux, 1977 ; Havinga, 1984).

- « *L'extraction, le comptage et la détermination des grains de pollen et spores restituent fidèlement l'image de la pluie pollinique* ». Afin d'obtenir échantillonnage représentatif de la pluie pollinique, il faut être rigoureux à chaque étape de la procédure (prélèvement du sédiment, échantillonnage, traitement chimique, montage des lames, identification et comptage). Pour cela, chaque échantillon est traité selon le même protocole, à tout moment de l'analyse, afin d'éviter de produire un biais inhérent à l'analyste.


Taille et forme générale

**Polyade**



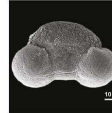
40µm  
*Acacia binervia*

**Tétrade**



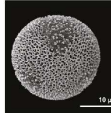
40µm  
*Erica tetralix*

**Vésiculé**




60µm  
*Pinus sylvestris*

**Monade**



25µm  
*Platanus hispanica*

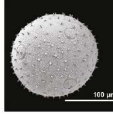


10µm  
*Castanea sativa*

Taille


10 µm      150 µm

←————→




150µm  
*Cucurbita ficifolia*


**Forme (exemples)**




Triangulaire



Ovoïde bréviaxe



Ovoïde longiaxe



Rond

Apertures, type, nombre et position

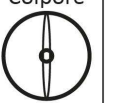
**Pore**



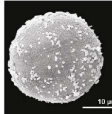
**Colpe**



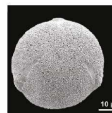
**Colpore**



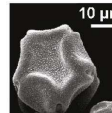
		Type d'aperture		
		-poré	-colpé	-colporé
Nombre et position des apertures	Mono-			
	Di-			
	Tri-			
	Péri-			
	Stéphano-			
	Stéphano-			




**Inaperturé** 30µm  
*Cupressus sempervirens*



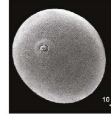
**Tricolporé** 45µm  
*Fagus sylvatica*



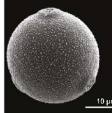
**Stéphano-  
poré** 30µm  
*Alnus glutinosa*



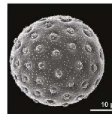
**Tricolpé** 30µm  
*Helleborus viridis*



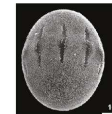
**Monoporé** 90µm  
*Zea mays*



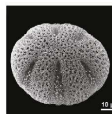
**Triporé** 30µm  
*Betula humilis*



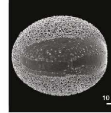
**Périporé** 30µm  
*Chenopodium album*



**Stéphano-  
colporé** 40µm  
*Symphytum caucasicum*



**Stéphano-  
colpé** 60µm  
*Salvia sclarea*



**Monocolpé** 60µm  
*Lilium carnialicum*

Ornementation de l'exine (exemples)



**Échinulé**  
*Aster amellus*



**Réticulé**  
*Phillyrea latifolia*



**Verruqueux**  
*Ilex aquifolium*



**Fenestré**  
*Crepis pontana*



**Granuleux**  
*Juncus effusus*

Figure 15. Caractéristiques morphologiques des grains de pollen

## 1.2. Choix des sites de carottage et méthodologie d'étude du matériel

Afin d'étudier les dynamiques paysagères à l'échelle du Languedoc, nous avons choisi de travailler sur deux zones humides susceptibles d'avoir enregistré la pluie pollinique provenant de deux bassins versants très importants : celui du fleuve Aude et celui du fleuve Hérault. Dans la plupart des études palynologiques, l'apport pollinique éolien est essentiellement d'origine locale (< 1 km) à régionale (< 30 km), en fonction de la taille du bassin de dépôt : un bassin de moins de 250 m de diamètre aura un apport majoritairement local, tandis qu'un bassin de plus de 1 km de diamètre aura un apport principalement régional (Jacobson & Bradshaw, 1981 ; Reille, 1990a). Notre choix d'appliquer la palynologie en contexte fluvio-lagunaire nous permet d'obtenir, en plus de ces enregistrements des apports locaux et régionaux, un signal pollinique lointain grâce au transport fluvial des grains de pollen (Beaudouin et al., 2007b ; Planchais, 1984). Nous avons ainsi recherché des sites de carottage au sein des systèmes fluvio-lagunaires, localisés à l'aval des bassins versants de l'Aude et de l'Hérault.

Pour le bassin versant de l'Aude, la basse vallée étant composée d'un grand système fluvio-lagunaire, mis en place durant l'Holocène (Ambert et al., 1993 ; Ambert, 2000 ; Dolez et al., 2015 ; Mulot, 2014 ; Verdeil, 1990), nous avons le choix entre les étangs de Bages-Sigean (Sud de Narbonne) et celui de Vendres (à l'est du massif de la Clape). Ayant déjà effectué une analyse palynologique dans l'étang de Bages-Sigean (Dolez, 2012 ; Dolez et al., 2015), nous avons choisi, afin de pouvoir comparer nos données, d'utiliser un carottage ayant été effectué en 2012 dans l'étang de Vendres (étang local nommé la Matte), à l'ouest de Lespignan (figure 16), à environ 9 km du rivage, dans le cadre du programme « Évolution des paysages fluvio-lagunaires narbonnais » financé par le Labex Archimède et du projet collectif de recherche « Les ports antiques de Narbonne », Dir. C. Sanchez. Cette carotte, nommée BVA03, atteint une profondeur de 20,8 m et a été prélevée à l'aide d'une sonde russe pour les premiers mètres et à l'aide d'un carottier à câbles pour le reste de la séquence. Cette carotte est aussi étudiée par Tiphaine Salel dans le cadre de sa thèse "Dynamique des environnements fluvio-lagunaires du Narbonnais à l'Holocène (Golfe du Lion, France)" (2018).

Pour le bassin versant de l'Hérault, nous disposons de l'étang du Grand Bagnas, situé à l'est d'Agde et à environ 2 km du cours de l'Hérault. De nos jours, cet étang saumâtre est alimenté en eau douce par le ruisseau de Bragues, ainsi que par le canal du Pont Martin qui relie l'étang à l'Hérault. Certains auteurs (Adgé, 1995 ; Aris & Picheire, 1960 ; Lenthéric, 1876 ; Martin, 1988 ; Picheire, 1943 ; Vielfaure, 2017), se basant sur des références antiques, des archives du Moyen Âge (XIII-XIV<sup>e</sup> siècles AD) ou sur des cartes des XVI<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup> siècles AD, avancent l'idée d'un bras oriental de l'Hérault présent au moins dès l'Antiquité, situé dans le couloir de Sept-Fonds et aujourd'hui comblé, se jetant dans l'étang du Bagnas et autorisant la navigation. Les études géomorphologiques récentes ne retrouvent toutefois aucune trace de ce cours oriental et sont plus que réservées au sujet de son existence (Ambert, 1995, 2001). Nous avons tout de même choisi d'utiliser l'étang du Bagnas pour plusieurs raisons. Tout d'abord, sa taille étant importante (environ 2 km de diamètre), nous devrions quand même enregistrer du matériel pollinique principalement régional (10 – 30 km) (Jacobson & Bradshaw, 1981). En outre, les données concernant le lien entre le Bagnas et l'Hérault étant peu nombreuses, nos données pourraient permettre d'apporter des arguments au débat concernant la possible existence du bras oriental de l'Hérault. Et dans le cas où nos données indiqueraient une absence d'apport fluvial dans le Bagnas, cet étang servirait de témoin pour discuter la fiabilité de la méthodologie employée quant à la détermination des apports éoliens et des apports fluviaux sur BVA03. Le carottage effectué dans cet étang, nommé B1, est distant d'environ 3 km du rivage et

atteint une profondeur de 11 m (figure 16). La carotte a été prélevée en 2013, à l'aide d'un carottier à piston hydraulique, dans le cadre du programme DYELITAG (Dynamiques littorales et sociétés en Agathois depuis le Néolithique : relations sociétés-environnement en Méditerranée, dirigé par B. Devillers) financé par le LabEx Archimède.

La description des différents faciès sédimentaires et l'échantillonnage ont été réalisés au laboratoire d'Archéologie des Sociétés Méditerranéennes (ASM - UMR5140), à Montpellier-Lattes, avec l'aide de Tiphaine Salel pour la carotte BVA03 et par Benoit Devillers pour la carotte B1. Les traitements chimiques, le montage des lames et leur analyse ont été réalisés à l'Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (ISEM - UMR 5554), Université de Montpellier avec l'aide de Serge Muller et des membres de l'ISEM.

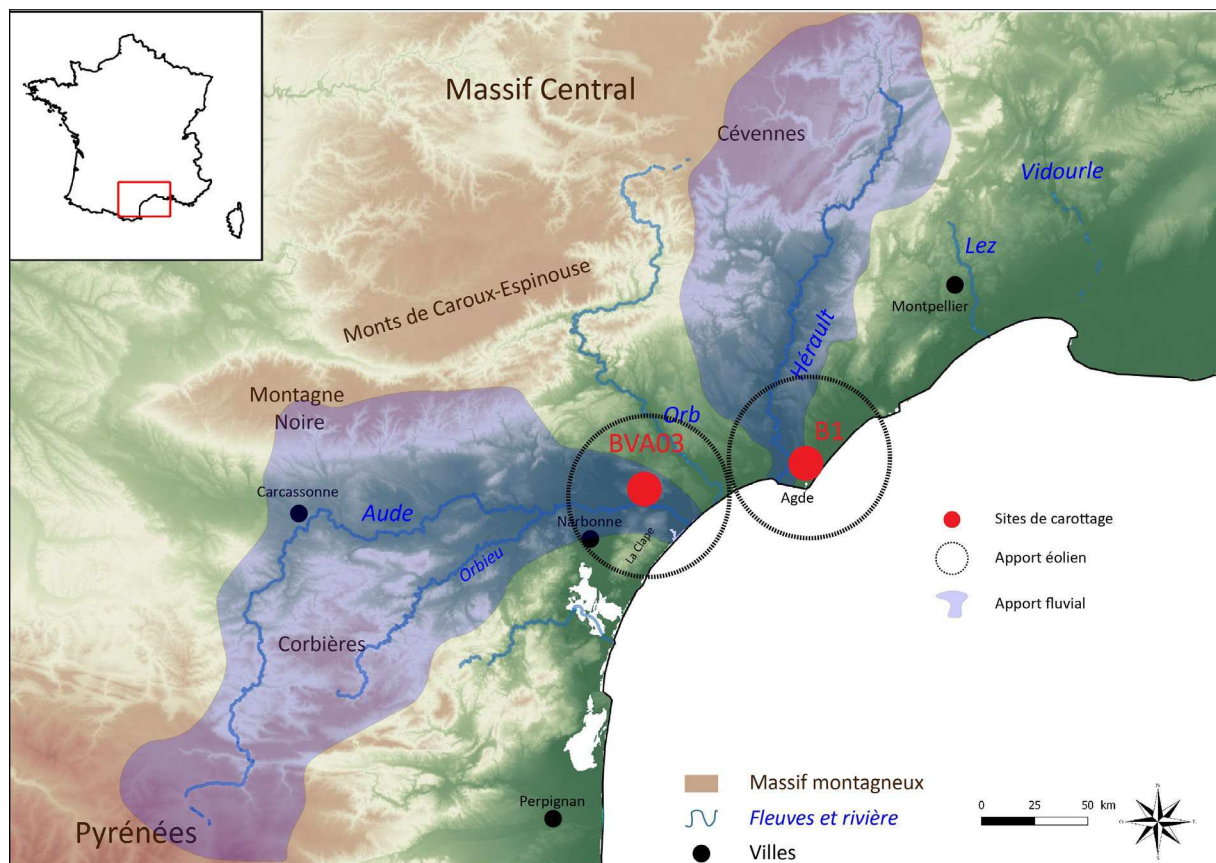


Figure 16. Carte des sites de carottages et des apports polliniques potentiels

### 1.3. L'analyse pollinique

Les sédiments récoltés, ayant enregistré les anciennes pluies polliniques, sont traités chimiquement afin d'éliminer la plus grande partie du matériel non pollinique et de concentrer le matériel utile à l'étude. Une présence trop importante de particules non polliniques perturbe, voire empêche le montage des lames et l'observation au microscope, et rend problématique l'identification. Nous présentons maintenant le protocole utilisé pour l'extraction du matériel pollinique des sédiments.

#### 1.3.1. Protocoles de traitement

Le protocole d'extraction du matériel pollinique (figure 17), basé sur (Berglund & Ralska-Jasiewiczowa, 1986) (protocole standard avec élimination des minéraux siliceux par acide fluorhydrique) et Nakagawa et al. (1998) (élimination des minéraux par flottaison sur liqueur dense), a révélé sa faiblesse pour le traitement des échantillons lagunaires. En effet, un premier test réalisé sur cinq niveaux représentatifs de l'ensemble de la carotte BVA03, a abouti au montage de lames inexploitable (entre 43 et 79% de grains indéterminés), du fait de la trop grande quantité de particules parasitant la bonne lisibilité de la lame (figure 18, photographie A). Il est en effet reconnu que l'analyse palynologique de sédiments lagunaires est plus complexe que celle des sédiments de tourbières, car les grains de pollen y sont moins concentrés, plus difficiles à identifier et souvent moins bien conservés (Planchais, 1984).

Face à cette difficulté, nous avons effectué des tests afin d'adapter le protocole de traitement à nos sédiments. Sur les conseils de Marie-Pierre Ledru et de Vincent Montade, deux adaptations du protocole ont été testées. Le test 1 (figure 19) consiste à dupliquer la défloculation au KOH dans le but d'éliminer le maximum d'agrégats de matière par voie chimique. Le test 2 (figure 20) (Montade, 2011) vise à supprimer les particules fines en ajoutant, entre les étapes 12 et 13, une filtration sur toile nylon de maille 5 µm. Ces deux nouveaux protocoles ont été effectués sur des échantillons des mêmes niveaux afin de permettre la comparaison.

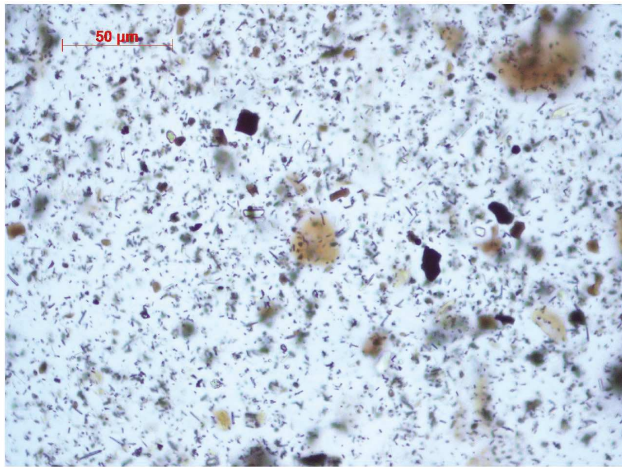
Le test 1 ne montre pas de changements significatifs dans l'identification. De nombreux débris restent présents et voilent une grande partie de l'information (figure 18, photographie B). Le problème ne vient ainsi pas de la défloculation, peu d'éléments agglomérés étant présents, mais plutôt de la trop forte présence de particules fines. Le test 2 a montré des résultats bien meilleurs (figure 18, photographie C). La disparition des particules fines est effective et permet une meilleure identification des grains (11 à 27% de grains identifiés en plus par rapport au traitement 1). De plus, cette meilleure lisibilité des lames permet une identification de plus de taxons. Ces améliorations semblent cependant se faire au prix d'une légère perte de matériel, et malgré la grande variabilité entre échantillons, trois échantillons sur 5 montrent une légère baisse de la concentration pollinique. Nous avons finalement opté pour le protocole du test 2 pour tous nos échantillons, car il est le seul permettant une analyse correcte. Le protocole de traitement utilisé pour tous nos échantillons est présenté en figure 20.

Protocole standard d'extraction du matériel pollinique, d'après Berglund & Ralska-Jasiewiczowa (1986)		
1	<b>Mesure du volume des échantillons par déplacement d'eau</b> Traite généralement 1cm <sup>3</sup> de sédiment, nous mesurons 1ml d'eau déplacée afin de normaliser le volume entre sédiment très aérés et plus compacts.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesure du volume des échantillons par déplacement d'eau à l'aide de pipette graduée,</li> <li>Mise en solution dans de l'eau distillée et homogénéisation,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
2	<b>Décarbonatation</b> La première étape consiste en une attaque à l'acide chlorhydrique afin de supprimer les carbonates présents dans le sédiment. Dans le cas de nos sédiments lagunaires très carbonatés, cette étape est primordiale afin de supprimer ces particules très gênantes lors de l'observation microscopique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en solution avec 10 mL de HCl (en solution à 10%) durant 15 minutes, en agitant régulièrement,</li> <li>Centrifugation (2200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
3	<b>Rinçage à l'eau distillée</b> Ce rinçage permet de rendre à la solution son pH neutre et de supprimer les derniers restes de sels de calcium (CaCl <sub>2</sub> ).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en solution dans de l'eau distillée et homogénéisation,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
4	<b>Défloculation</b> Cette seconde attaque chimique, utilisant de l'hydroxyde de potassium, permet la casse des liaisons humiques dans les complexes argilo-humiques qui peuvent agglomérer les particules en suspension et voilant l'identification des grains de pollen. Cette réaction est effectuée à 85°C afin d'être catalysée par la chaleur.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en solution avec 10 mL de KOH (en solution à 10%), à chaud (85°C) durant 20 minutes, en agitant régulièrement.</li> </ul>
5	<b>Tamissage</b> Après la défloculation, on filtre la solution sur un tamis métallique de maille millimétrique afin d'éliminer tout élément trop gros, tels les sables et les macrorestes, qui sont conservés pour être étudiés si besoin est.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tamissage sur filtre métallique (maille d'environ 1mm),</li> <li>Centrifugation du filtrat (2 200 tours/min pendant 5 min), suivie de l'élimination du surnageant.</li> </ul>
6	<b>Rinçages</b> Suite au tamissage, On effectue une série de rinçages, dans le but d'éliminer les particules fines et légères. Les grains de pollen, d'une densité supérieure à celle de l'eau (de 1,35 à 1,55; Foster et Flenley 1993; Regnéll et Everitt 1996), restent dans le fond du culot. On répète cette étape jusqu'à obtenir une eau de filtration claire.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension avec de l'eau distillée,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant,</li> <li>Répétition de l'étape jusqu'à l'obtention d'une eau de filtration claire.</li> </ul>
7	<b>Élimination de la silice</b> Les particules de silice empêchant de monter les lames d'observation, leur élimination est essentielle. Cette étape n'est effectuée que sur les sédiments chargés en silice, ce qui est le cas de tous nos échantillons, très riches en argile. Pour cela, on met le matériel en suspension dans de l'acide fluorhydrique durant 36 heures.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension avec 5-8 ml de HF (en solution à 70%),</li> <li>Repos 36 heures.</li> </ul>
8	<b>Élimination du FH résiduel et rinçage</b> Après 36 heures, la silice est dégradée, mais l'acide fluorhydrique restant doit être éliminé. Aussi, le transfert du matériel dans des tubes en verre à fond rond, plus résistants à la chaleur, est nécessaire à la suite du traitement. Ces tubes ne pouvaient être employés avant car l'attaque au HF aurait dissout le verre.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dilution à l'eau distillée et centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant</li> <li>Transfert du culot dans des tubes en verre à fond rond à l'aide d'eau distillée,</li> <li>Mise en suspension dans de l'eau distillée et homogénéisation,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min) et élimination du surnageant.</li> </ul>
9	<b>Élimination des fluosilicates et acidification</b> L'élimination de la silice par le HF crée des gels de fluosilicate qui gênent l'observation microscopique. L'attaque de l'acide chlorhydrique permet de supprimer ces gels. Cette étape permet aussi l'acidification du milieu, en préparation de la suite du traitement. On répète cette étape une fois, dans le but d'éliminer le plus possible de gels de fluosilicates.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension avec 8-10 ml d'HCl (en solution à 10%), à chaud (85°C) durant 10 minutes,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> <li>Répétition de cette étape une fois.</li> </ul>
10	<b>Déshydratation</b> La prochaine étape réagissant très fortement à l'eau, nous déshydratons la solution à l'aide d'acide acétique pur (CH <sub>3</sub> COOH).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension avec 8-10 ml de CH<sub>3</sub>COOH pur,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
11	<b>Élimination de la cellulose par acétolyse</b> Après avoir éliminé les particules minérales gênantes, cette étape a pour but de supprimer les débris végétaux en dégradant la cellulose. L'acétolyse, utilisant un mélange de 9/10 d'anhydride acétique et 1/10 d'acide sulfurique ne dégrade pas la sporopolléine durant le temps cours de la réaction (2 minutes) mais la colore.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Préparation du liquide acétolysant (9/10 de C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O<sub>2</sub> à 97% puis 1/10 de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 96%),</li> <li>Mise en suspension de l'échantillon traité dans 8 ml de liquide acétolysant, à chaud (85°C durant 2 minutes, en agitant en continu),</li> <li>Arrêt de la réaction avec ajout d'acide acétique puis d'eau distillée,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min) et élimination du surnageant.</li> </ul>
12	<b>Rinçage à l'eau distillée</b> Les débris minéraux et végétaux ayant été supprimés par les différentes réactions chimiques, ce rinçage permet de débarrasser le culot des reliquats et de débiter la préparation de la conservation du matériel obtenu.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension dans de l'eau distillée,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
13	<b>Rinçage à l'alcool</b> La viscosité de l'alcool (éthanol pur, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O) facilitera le transfert du matériel obtenu vers le pilulier.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension dans 8-10 ml d'alcool (éthanol pur, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O),</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
14	<b>Transfert du matériel pollinique dans les piluliers</b> Le transfert en pilulier se fait à l'aide d'une micropipette afin de récupérer l'intégralité du matériel pollinique traité.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transfert en pilulier,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant,</li> <li>Séchage du pilulier à l'envers, pendant quelques minutes.</li> </ul>
15	<b>Montage dans la glycérine</b> La glycérine permet de conserver les grains de pollen dans une substance ne permettant pas l'oxydation et facilitant le montage des lames d'observation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ajout de quelques gouttes de glycérine (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>).</li> </ul>

Figure 17. Protocole d'extraction du matériel pollinique, d'après Berglund and Ralska-Jasiewiczowa (1986)

Carottage BVA03

Photographies des lames polliniques en fonction du traitement utilisé

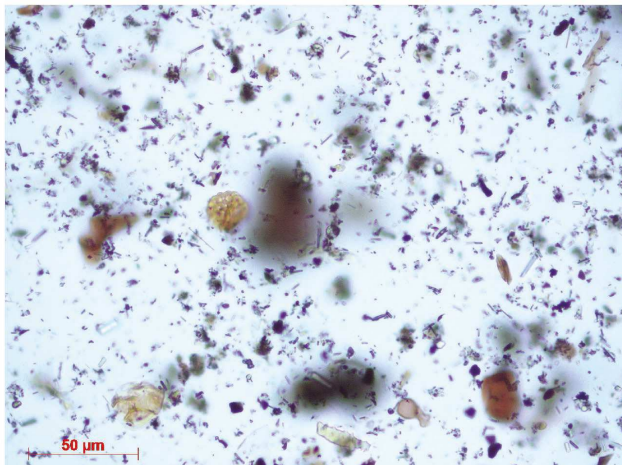


**Photographie A  
Protocole standard**

Niveau 656cm

Photographie au microscope  
optique, grossissement x400

Grain de pollen  
voilé par les débris  
(non identifiable)



**Photographie B  
Protocole 2 (double KOH)**

Niveau 656cm

Photographie au microscope  
optique, grossissement x400

Grain de pollen visible,  
nombreux débris  
(Amaranthacée)



**Photographie C  
Protocole 3 (filtration 5µm)**

Niveau 656cm

Photographie au microscope  
optique, grossissement x400

Grain de pollen visible,  
débris moins gênants  
(Amaranthacée)

Figure 18. Photographies des observations microscopiques des lames selon le traitement

Protocole test 1 : Double étape KOH, basé sur le protocole de Berglund & Ralska-Jasiewiczowa (1986)		
1	<b>Mesure du volume des échantillons par déplacement d'eau</b> Traite généralement 1cm <sup>3</sup> de sédiment, nous mesurons 1ml d'eau déplacée afin de normaliser le volume entre sédiment très aérés et plus compacts.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesure du volume des échantillons par déplacement d'eau à l'aide de pipette graduée,</li> <li>Mise en solution dans de l'eau distillée et homogénéisation,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
2	<b>Décarbonatation</b> La première étape consiste en une attaque à l'acide chlorhydrique afin de supprimer les carbonates présents dans le sédiment. Dans le cas de nos sédiments lagunaires très carbonatés, cette étape est primordiale afin de supprimer ces particules très gênantes lors de l'observation microscopique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en solution avec 10 mL de HCl (en solution à 10%) durant 15 minutes, en agitant régulièrement,</li> <li>Centrifugation (2200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
3	<b>Rinçage à l'eau distillée</b> Ce rinçage permet de rendre à la solution son pH neutre et de supprimer les derniers restes de sels de calcium (CaCl <sub>2</sub> ).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en solution dans de l'eau distillée et homogénéisation,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
4	<b>Déflocculation (2 fois)</b> Cette seconde attaque chimique, utilisant de l'hydroxyde de potassium, permet la casse des liaisons humiques dans les complexes argilo-humiques qui peuvent agglomérer les particules en suspension et voilant l'identification des grains de pollen. Cette réaction est effectuée à 85°C afin d'être catalysée par la chaleur.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en solution avec 10 mL de KOH (en solution à 10%), à chaud (85°C) durant 20 minutes, en agitant régulièrement,</li> <li><b>Répétition de cette étape une fois.</b></li> </ul>
5	<b>Tamisage</b> Après la déflocculation, on filtre la solution sur un tamis métallique de maille millimétrique afin d'éliminer tout élément trop gros, tels les sables et les macrorestes, qui sont conservés pour être étudiés si besoin est.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tamisage sur filtre métallique (maille d'environ 1mm),</li> <li>Centrifugation du filtrat (2 200 tours/min pendant 5 min), suivie de l'élimination du surnageant.</li> </ul>
6	<b>Rinçages</b> Suite au tamisage, On effectue une série de rinçages, dans le but d'éliminer les particules fines et légères. Les grains de pollen, d'une densité supérieure à celle de l'eau (de 1,35 à 1,55 ; Foster et Flenley 1993; Regnéll et Everitt 1996), restent dans le fond du culot. On répète cette étape jusqu'à obtenir une eau de filtration claire.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension avec de l'eau distillée,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant,</li> <li>Répétition de l'étape jusqu'à l'obtention d'une eau de filtration claire.</li> </ul>
7	<b>Élimination de la silice</b> Les particules de silice empêchant de monter les lames d'observation, leur élimination est essentielle. Cette étape n'est effectuée que sur les sédiments chargés en silice, ce qui est le cas de tous nos échantillons, très riches en argile. Pour cela, on met le matériel en suspension dans de l'acide fluorhydrique durant 36 heures.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension avec 5-8 ml de HF (en solution à 70%),</li> <li>Repos 36 heures.</li> </ul>
8	<b>Élimination du FH résiduel et rinçage</b> Après 36 heures, la silice est dégradée, mais l'acide fluorhydrique restant doit être éliminé. Aussi, le transfert du matériel dans des tubes en verre à fond rond, plus résistants à la chaleur, est nécessaire à la suite du traitement. Ces tubes ne pouvaient être employés avant car l'attaque au HF aurait dissout le verre.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dilution à l'eau distillée et centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant</li> <li>Transfert du culot dans des tubes en verre à fond rond à l'aide d'eau distillée,</li> <li>Mise en suspension dans de l'eau distillée et homogénéisation,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min) et élimination du surnageant.</li> </ul>
9	<b>Élimination des fluosilicates et acidification</b> L'élimination de la silice par le HF crée des gels de fluosilicate qui gênent l'observation microscopique. L'attaque de l'acide chlorhydrique permet de supprimer ces gels. Cette étape permet aussi l'acidification du milieu, en préparation de la suite du traitement. On répète cette étape une fois, dans le but d'éliminer le plus possible de gels de fluosilicates.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension avec 8-10 ml d'HCl (en solution à 10%), à chaud (85°C) durant 10 minutes,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> <li>Répétition de cette étape une fois.</li> </ul>
10	<b>Déshydratation</b> La prochaine étape réagissant très fortement à l'eau, nous déshydratons la solution à l'aide d'acide acétique pur (CH <sub>3</sub> COOH).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension avec 8-10 ml de CH<sub>3</sub>COOH pur,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
11	<b>Élimination de la cellulose par acétolyse</b> Après avoir éliminé les particules minérales gênantes, cette étape a pour but de supprimer les débris végétaux en dégradant la cellulose. L'acétolyse, utilisant un mélange de 9/10 d'anhydride acétique et 1/10 d'acide sulfurique ne dégrade pas la sporopollénine durant le temps cours de la réaction (2 minutes) mais la colore.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Préparation du liquide acétolysant (9/10 de C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>6</sub> à 97% puis 1/10 de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 96%),</li> <li>Mise en suspension de l'échantillon traité dans 8 ml de liquide acétolysant, à chaud (85°C durant 2 minutes, en agitant en continu),</li> <li>Arrêt de la réaction avec ajout d'acide acétique puis d'eau distillée,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min) et élimination du surnageant.</li> </ul>
12	<b>Rinçage à l'eau distillée</b> Les débris minéraux et végétaux ayant été supprimés par les différentes réactions chimiques, ce rinçage permet de débarrasser le culot des reliquats et de débiter la préparation de la conservation du matériel obtenu.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension dans de l'eau distillée,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
13	<b>Rinçage à l'alcool</b> La viscosité de l'alcool (éthanol pur, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O) facilitera le transfert du matériel obtenu vers le pilulier.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension dans 8-10 ml d'alcool (éthanol pur, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O),</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
14	<b>Transfert du matériel pollinique dans les piluliers</b> Le transfert en pilulier se fait à l'aide d'une micropipette afin de récupérer l'intégralité du matériel pollinique traité.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transfert en pilulier,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant,</li> <li>Séchage du pilulier à l'envers, pendant quelques minutes.</li> </ul>
15	<b>Montage dans la glycérine</b> La glycérine permet de conserver les grains de pollen dans une substance ne permettant pas l'oxydation et facilitant le montage des lames d'observation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ajout de quelques gouttes de glycérine (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>).</li> </ul>

Figure 19. Protocole test 1 : Double étape KOH, basé sur le protocole standard, d'après Berglund & Ralska-Jasiewiczowa (1986)



Protocole test 2 : ajout de filtration 5µm , basé sur le protocole de Berglund & Ralska-Jasiewiczowa (1986)		
1	<p><b>Mesure du volume des échantillons par déplacement d'eau</b>                      Traitement généralement 1cm<sup>3</sup> de sédiment, nous mesurons 1ml d'eau déplacée afin de normaliser le volume entre sédiment très aérés et plus compacts.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesure du volume des échantillons par déplacement d'eau à l'aide de pipette graduée,</li> <li>Mise en solution dans de l'eau distillée et homogénéisation,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
2	<p><b>Décarbonatation</b>                      La première étape consiste en une attaque à l'acide chlorhydrique afin de supprimer les carbonates présents dans le sédiment. Dans le cas de nos sédiments lagunaires très carbonatés, cette étape est primordiale afin de supprimer ces particules très gênantes lors de l'observation microscopique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en solution avec 10 mL de HCl (en solution à 10%) durant 15 minutes, en agitant régulièrement,</li> <li>Centrifugation (2200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
3	<p><b>Rinçage à l'eau distillée</b>                      Ce rinçage permet de rendre à la solution son pH neutre et de supprimer les derniers restes de sels de calcium (CaCl<sub>2</sub>).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en solution dans de l'eau distillée et homogénéisation,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
4	<p><b>Déflocculation</b>                      Cette seconde attaque chimique, utilisant de l'hydroxyde de potassium, permet la casse des liaisons humiques dans les complexes argilo-humiques qui peuvent agglomérer les particules en suspension et volant l'identification des grains de pollen. Cette réaction est effectuée à 85°C afin d'être catalysée par la chaleur.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en solution avec 10 mL de KOH (en solution à 10%), à chaud (85°C) durant 20 minutes, en agitant régulièrement.</li> </ul>
5	<p><b>Tamissage</b>                      Après la déflocculation, on filtre la solution sur un tamis métallique de maille millimétrique afin d'éliminer tout élément trop gros, tels les sables et les macrorestes, qui sont conservés pour être étudiés si besoin est.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tamissage sur filtre métallique (maille d'environ 1mm),</li> <li>Centrifugation du filtrat (2 200 tours/min pendant 5 min), suivie de l'élimination du surnageant.</li> </ul>
6	<p><b>Rinçages</b>                      Suite au tamissage, On effectue une série de rinçages, dans le but d'éliminer les particules fines et légères. Les grains de pollen, d'une densité supérieure à celle de l'eau (de 1,35 à 1,55 ; Foster et Flenley 1993; Regnéll et Everitt 1996), restent dans le fond du culot. On répète cette étape jusqu'à obtenir une eau de filtration claire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension avec de l'eau distillée,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant,</li> <li>Répétition de l'étape jusqu'à l'obtention d'une eau de filtration claire.</li> </ul>
7	<p><b>Élimination de la silice</b>                      Les particules de silice empêchant de monter les lames d'observation, leur élimination est essentielle. Cette étape n'est effectuée que sur les sédiments chargés en silice, ce qui est le cas de tous nos échantillons, très riches en argile. Pour cela, on met le matériel en suspension dans de l'acide fluorhydrique durant 36 heures.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension avec 5-8 ml de HF (en solution à 70%),</li> <li>Repos 36 heures.</li> </ul>
8	<p><b>Élimination du FH résiduel et rinçage</b>                      Après 36 heures, la silice est dégradée, mais l'acide fluorhydrique restant doit être éliminé. Aussi, le transfert du matériel dans des tubes en verre à fond rond, plus résistants à la chaleur, est nécessaire à la suite du traitement. Ces tubes ne pouvaient être employés avant car l'attaque au HF aurait dissout le verre.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dilution à l'eau distillée et centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant</li> <li>Transfert du culot dans des tubes en verre à fond rond à l'aide d'eau distillée,</li> <li>Mise en suspension dans de l'eau distillée et homogénéisation,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min) et élimination du surnageant.</li> </ul>
9	<p><b>Élimination des fluosilicates et acidification</b>                      L'élimination de la silice par le HF crée des gels de fluosilicate qui gênent l'observation microscopique. L'attaque de l'acide chlorhydrique permet de supprimer ces gels. Cette étape permet aussi l'acidification du milieu, en préparation de la suite du traitement. On répète cette étape une fois, dans le but d'éliminer le plus possible de gels de fluosilicates.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension avec 8-10 ml d'HCl (en solution à 10%), à chaud (85°C) durant 10 minutes,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> <li>Répétition de cette étape une fois.</li> </ul>
10	<p><b>Déshydratation</b>                      La prochaine étape réagissant très fortement à l'eau, nous déshydratons la solution à l'aide d'acide acétique pur (CH<sub>3</sub>COOH).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension avec 8-10 ml de CH<sub>3</sub>COOH pur,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
11	<p><b>Élimination de la cellulose par acétolyse</b>                      Après avoir éliminé les particules minérales gênantes, cette étape a pour but de supprimer les débris végétaux en dégradant la cellulose. L'acétolyse, utilisant un mélange de 9/10 d'anhydride acétique et 1/10 d'acide sulfurique ne dégrade pas la sporopolléine durant le temps cours de la réaction (2 minutes) mais la colore.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Préparation du liquide acétolysant (9/10 de C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O<sub>2</sub> à 97% puis 1/10 de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 96%),</li> <li>Mise en suspension de l'échantillon traité dans 8 ml de liquide acétolysant, à chaud (85°C durant 2 minutes, en agitant en continu),</li> <li>Arrêt de la réaction avec ajout d'acide acétique puis d'eau distillée,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min) et élimination du surnageant.</li> </ul>
12	<p><b>Rinçage à l'eau distillée</b>                      Les débris minéraux et végétaux ayant été supprimés par les différentes réactions chimiques, ce rinçage permet de débarrasser le culot des reliquats et de débiter la préparation de la conservation du matériel obtenu.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension dans de l'eau distillée,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
13	<p><b>Filtration des particules fines</b>                      Cette étape a pour but de supprimer les particules fines perturbant l'analyse des lames en filtrant le matériel sur une toile en nylon de maille 5µm.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Filtration sur toile en nylon de maille 5µm,</li> <li>Récupération du résidu à l'aide d'eau distillée,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
14	<p><b>Rinçage à l'alcool</b>                      La viscosité de l'alcool (éthanol pur, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O) facilitera le transfert du matériel obtenu vers le pilulier.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en suspension dans 8-10 ml d'alcool (éthanol pur, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O),</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant.</li> </ul>
15	<p><b>Transfert du matériel pollinique dans les piluliers</b>                      Le transfert en pilulier se fait à l'aide d'une micropipette afin de récupérer l'intégralité du matériel pollinique traité.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transfert en pilulier,</li> <li>Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min),</li> <li>Élimination du surnageant,</li> <li>Séchage du pilulier à l'envers, pendant quelques minutes.</li> </ul>
16	<p><b>Montage dans la glycérine</b>                      La glycérine permet de conserver les grains de pollen dans une substance ne permettant pas l'oxydation et facilitant le montage des lames d'observation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ajout de quelques gouttes de glycérine (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>).</li> </ul>

Figure 20. Protocole test 2 : ajout de filtration 5 µm, basé sur le protocole standard, d'après Berglund & Ralska-Jasiewiczowa (1986)

### 1.3.2. Echantillonnage, identification et comptage :

Un total de 95 échantillons, dont 59 pour la carotte BVA03 (Narbonne) et 36 pour la carotte B1 (Agde), représentatifs de l'ensemble de chaque carotte, a été traité suivant ce nouveau protocole. Le montage des lames d'observation a été réalisé en déposant 25 µl de matériel traité entre lame et lamelle, lutées et étanchéifiées à l'aide d'histolaque, une laque transparente à séchage rapide adaptée à la conservation des préparations microscopiques.

Ces lames ont été observées au microscope optique afin d'identifier et de quantifier les grains de pollen présents dans l'échantillon. Afin d'obtenir une représentation statistiquement fiable des assemblages végétaux, un minimum de 300 grains de pollen a été identifié et comptabilisé sur chaque niveau de sédiment (Reille, 1990a). L'identification des grains de pollen a été réalisée à l'aide d'ouvrages de référence (Reille, 1992, 1995a, 1995b) et de la collection de référence de l'ISEM. Les comptages ont été réalisés manuellement en remplissant une fiche propre à chaque échantillon étudié (annexe 1).

Certains palynomorphes non polliniques (PNP ; dinoflagellés, foraminifères), présents de façon récurrente dans les échantillons, ont été identifiés et dénombrés (voir partie 1.3.5).

La concentration pollinique (CP) de chaque niveau étudié est calculée par la méthode volumétrique (Davis, 1965), sur la base de la formule suivante :

$$CP = \frac{N * Ct * Vc}{Vg * Vt * C}$$

Où les paramètres utilisés sont :

- Vt = volume de sédiment initialement traité
- Vc = volume du culot après traitement
- Vg = volume de la goutte de solution mise entre lame et lamelle (25 microlitre soit 0,025 millilitres)
- N = nombre de grains comptés sur la lame
- C = nombre de colonnes comptées sur la lame
- Ct = nombre de colonnes comptables sur la lame.

### 1.3.3. Analyses statistiques / numériques

Des analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel PAST v2.17c (PAleontological STatistics ; Hammer et al. 2001) sur les comptages polliniques :

- La classification hiérarchique ascendante (CHA), basée sur la distance euclidienne et contrainte par la profondeur, permet d'obtenir un dendrogramme, une organisation schématique statistique, qui met en évidence des relations entre les séries d'analyses et qui permet ainsi de séparer ou de rapprocher les niveaux (observations) en fonction de

paramètres (variables), ici la végétation. On obtient donc des regroupements d'assemblages de végétation plus similaires entre eux qu'ils ne le sont des assemblages extérieurs au groupe. Cette analyse est utilisée pour définir des zones polliniques au sein desquelles la végétation représentée est jugée homogène et qui diffère donc assez fortement d'une zone à l'autre. Cette analyse permet ainsi de mettre en évidence, de manière statistique, les grands changements de végétation au cours du temps.

- L'analyse factorielle des correspondances (AFC) et l'analyse en composantes principales (ACP), permettent, en fonction des données, de déterminer et de hiérarchiser les dépendances ou les correspondances entre les valeurs étudiées. Dans notre cas ces valeurs sont les comptages des différents niveaux de la carotte. Nous avons mis de côté, pour ces analyses uniquement, les taxons rares, dont les occurrences ne dépassent pas 5 grains sur l'ensemble de la carotte, afin qu'ils ne biaisent pas ces analyses par leur rareté. De cette façon, nous obtenons des graphiques représentant les relations entre ces données en fonction des informations qu'elles apportent.

#### 1.3.4. Diagrammes polliniques

Les diagrammes polliniques sont des représentations graphiques permettant de visualiser les données recueillies lors des comptages palynologiques. En abscisses, la profondeur de l'échantillon au sein de la carotte, est indiquée de la base à droite à la surface à gauche. Elle représente la chronologie des niveaux analysés, du plus ancien à droite au plus récent à gauche. En ordonnées, la liste des taxons polliniques reconnus est organisée en plusieurs catégories : ligneux, herbacées, hydrophytes et ptéridophytes. Certains taxons, trop rarement rencontrés au cours des analyses pour être interprétés, sont regroupés pour faciliter la lecture du diagramme. Les courbes de chaque taxon représentent les pourcentages relatifs (pourcentage du taxon par rapport à la somme pollinique, définie comme l'ensemble des grains comptés excluant les spores) de ce taxon dans les différents niveaux de la carotte. La courbe du taux de pollen arboréen, au sommet du diagramme, représente le pourcentage de pollen d'arbres sur l'ensemble du niveau. C'est un indice du degré d'ouverture du milieu. Ainsi, une zone montrant un fort pourcentage de PA/PNA sera une période de couvert végétal arboré fort, avec des zones forestières nombreuses et, *a contrario*, un taux de pollen arboréen faible indiquera une période de couvert végétal arboré faible, de type steppe ou lande herbacée.

Les diagrammes sont subdivisés en zones polliniques (par des lignes verticales), regroupant des spectres polliniques plus proches entre eux qu'ils ne le sont des spectres des zones adjacentes. Les limites des zones correspondent à des changements affectant plusieurs taxons simultanément, et traduisant donc des changements de végétation et de milieu. Cette zonation peut être réalisée de manière manuelle ou à l'aide d'outils statistiques. Comme indiqué précédemment, dans nos diagrammes, la zonation a été établie à l'aide d'analyses statistiques et notamment de classifications hiérarchiques ascendantes (CHA).

Ces diagrammes, dont la nomenclature botanique suit les dernières révisions phylogéniques (Bremer et al., 2009), ont été établis à l'aide du logiciel Psimpoll (Bennett, 2008), et complétés et mis en forme à l'aide du logiciel Adobe Illustrator CC 2015.

### 1.3.5. Palynomorphes non polliniques

Lors de l'analyse des lames et du comptage pollinique, certaines structures non polliniques peuvent être observées. Ces structures, nommées palynomorphes non polliniques du fait de leur ressemblance, en forme et taille, avec des grains de pollen, peuvent fournir des informations complémentaires aux données sporo-polliniques. Dans le cadre de cette thèse, nous avons observé plusieurs palynomorphes non polliniques, parfois en grand nombre, et les avons ainsi déterminés et comptés, au même titre que les grains de pollen. Ces données seront présentées dans une figure séparée des diagrammes, avec d'autres données provenant des comptages polliniques.

## 2. Analyses de la composition élémentaire du sédiment (XRF)

Les carottes BVA03 (Narbonne) et B1 (Bagnas) ont fait l'objet d'analyses de la composition élémentaire du sédiment par spectrométrie de fluorescence des rayons X (XRF), selon la méthode d'analyse dispersive en énergie (ED-XRF). Cet outil envoie des rayons X sur la matière étudiée qui va renvoyer au capteur de l'instrument un spectre d'énergies (sous forme de rayons X) en fonction de sa composition. Ce spectre, enregistré par les capteurs de l'instrument, est analysé afin de définir précisément la concentration des éléments présents dans la matière analysée.

Ces analyses XRF ont porté sur la totalité de chaque carottage. Afin d'avoir une vision très précise de l'évolution de la composition élémentaire des sédiments, le pas d'analyse est de 1 cm pour le carottage de Narbonne et varie entre 1 et 4 cm pour celui du Bagnas. Les premiers et derniers cm de chaque tronçon de 1 m du carottage n'ont pas été analysés pour des questions de sécurité de manipulation du pistolet XRF. Au total, 1847 niveaux ont été analysés sur BVA03 et 477 sur B1.

Ces analyses ont été réalisées à l'aide d'un spectromètre InnovX Delta et de la station de travail A-020-D. Les mesures ont été prises avec le mode triple-rayon « *analyse de sol* », selon les paramètres : 40 kV, 100 mA et filtre #3 pour le premier faisceau (15 secondes), 40 kV, 100 mA et filtre #2 pour le deuxième rayon (15 s) et 10kV, 200 mA et filtre #5 pour le troisième (20 s). Ces analyses ont été effectuées au laboratoire Archéologie des Sociétés Méditerranéennes (ASM – UMR 5140) avec l'aide de Tiphaine Salel pour la carotte BVA03 et par Jean-Philippe Degeai pour la carotte B1.

## 3. Datations

Afin d'obtenir des séquences disposant de chronologies les plus fiables possibles, les deux carottages ont fait l'objet de datations radiocarbone réalisées sur coquilles, charbons, bois et macrorestes végétaux. Les âges obtenus ont été calibrés avec le logiciel Calib 7.1 (Stuiver et al., 2005), à l'aide de la courbe Intcal13 pour le matériel organique et Marine13 pour les coquilles laguno-marines (Reimer, 2013).

### 3.1. Narbonne BVA03

Pour la carotte BVA03, 11 échantillons dont 9 coquilles de bivalves en connexion, 1 feuille indéterminée et 1 graine de *Schoenoplectus* sp. ont fait l'objet de datations radiocarbone réalisées par le laboratoire Poznan Radiocarbon Laboratory, en Pologne, par la méthode de spectrométrie de masse par accélérateur (AMS).

La majorité des datations effectuées reposant sur des coquilles laguno-marines, il est essentiel de prendre en compte l'effet âge-réservoir. Généralement évalué à 400 ans en méditerranée (Reimer, 2013), cet effet peut varier localement et atteindre des valeurs très élevées dans des contextes côtiers et plus particulièrement lagunaires (Sabatier et al., 2010 ; Siani et al., 2000). Dans le cas des étangs de Narbonne, notre précédente étude réalisée sur l'ancien bras de l'Aude, à l'ouest du massif de la Clape, a révélé une variation locale de l'âge-réservoir,  $\Delta R$ , de 200 ans (Dolez et al., 2015). La zone de prélèvement de la carotte BVA03 étant située dans le même système lagunaire et soumise de même aux apports de l'Aude, nous avons utilisé ce  $\Delta R$  de 200 ans sur l'ensemble des datations sur coquilles laguno-marines.

### 3.2. Bagnas B1

Pour la carotte B1, 13 échantillons dont 8 coquilles de bivalve marin (*Parvicardium exiguum*), 3 morceaux de bois indéterminés, 1 charbon indéterminé et 1 graine de luzerne (*Medicago* sp.) ont été datés par la méthode de spectrométrie de masse par accélérateur au Centre de Datation par le RadioCarbone de Lyon (UMR 5138). Dans ce carottage aussi, la majorité des datations reposant sur des coquilles laguno-marine, l'effet de l'âge-réservoir a été étudié et intégré dans nos résultats (Degeai et al., 2015).



## Chapitre III : Résultats

### 1. Le carottage BVA03 (Etang de Vendres, Narbonne, vallée de l'Aude)

#### 1.1. Lithostratigraphie

L'étude lithostratigraphique de la carotte BVA03 indique 8 grandes phases (figure 21) dénommées unités stratigraphiques U. A la base de la carotte, entre 2080 et 1973 cm (U1), se trouvent des sables moyens à fins bruns foncés avec inclusion de petits galets carbonatés. Dans la phase U2, entre 1973 et 1930 cm, le sédiment est composé de limons et sables fins de couleur gris-vert. Une lacune de prélèvement est située entre les niveaux 1930 à 1900 cm. Suite à cette lacune, on observe, en U3, entre 1900 et 1180 cm, une longue phase composée des limons argileux gris foncé avec quelques petits débris coquilliers épars et d'autres plus grossiers en lits. En U4, entre 1180 et 834 cm, les lits et débris coquilliers disparaissent et le sédiment, toujours des argiles et limons gris foncé, devient très lité. La phase U5, entre 834 et 605 cm, est marquée par une plus forte hétérogénéité du sédiment. La matrice est toujours composée d'argiles et limons gris foncé lités, mais est parsemée de lits de sables fins épais de quelques millimètres à quelques centimètres et de lits de sables fins limoneux. La couleur de ces lits varie entre le brun foncé, le brun-jaune et le gris clair. Entre 605 et 490 cm, en U6, le sédiment devient limoneux avec toujours la présence de lits de sables fins. La couleur varie de brun-olive clair en début de zone au gris foncé au sommet de la zone. La zone U7, entre 490 et 412 cm, est très litée, avec une alternance entre limons, argiles et sables fins, de couleur gris foncé à brun olive. Enfin en U8, entre 412 cm et le sommet de la carotte, le sédiment redevient plus homogène, de type limoneux brun olive avec des sables fins diffus et en lits.

Carottage BVA03

Log stratigraphique

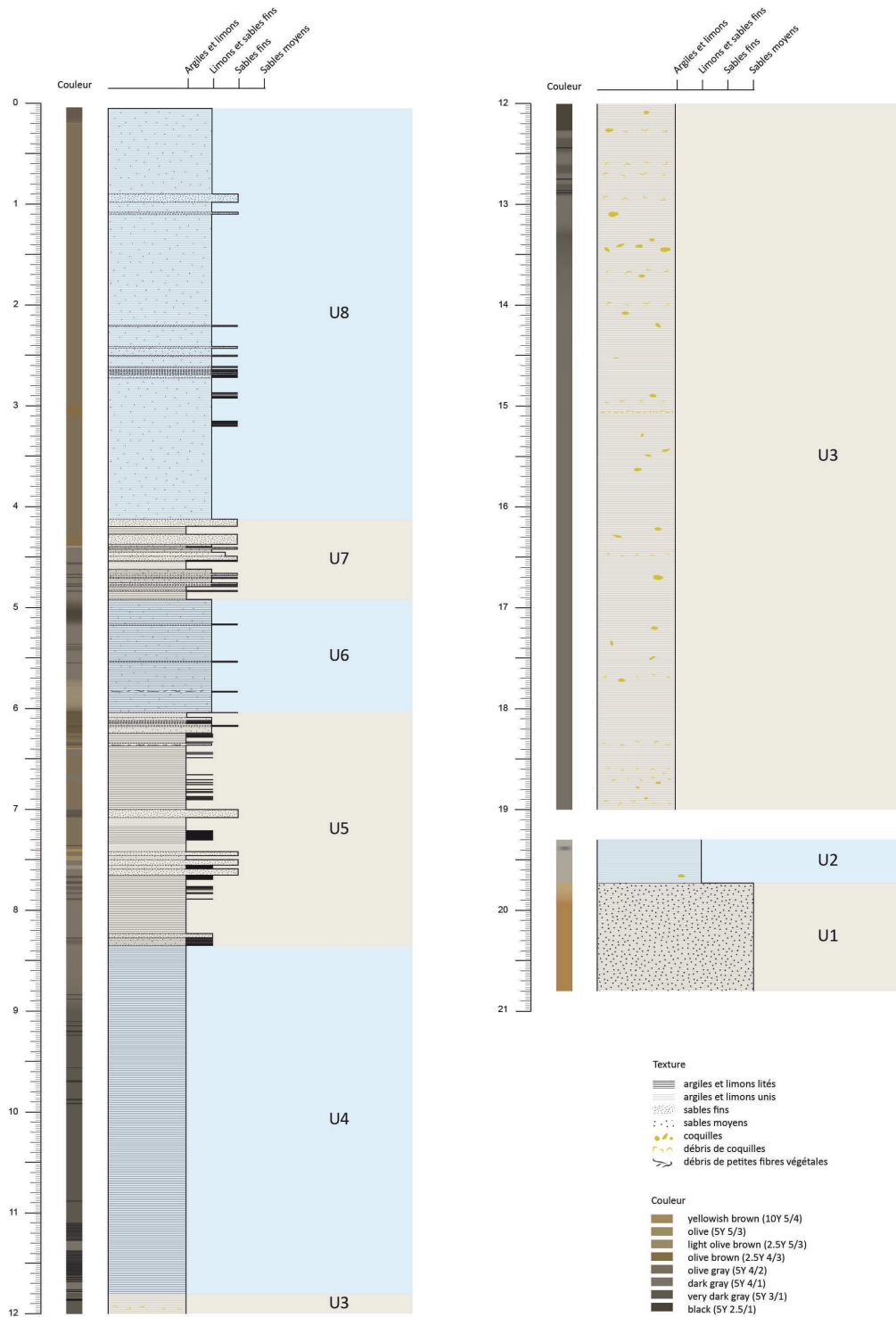


Figure 21. Lithostratigraphie de la carotte BVA03



## 1.2. Datations et modèle d'âge

L'ensemble des dates brutes et calibrées est présenté dans le tableau 1. Dans le modèle âge-profondeur proposé (figure 22), deux dates sont incohérentes entre elles : les dates aux niveaux 1050 et 1149 cm (respectivement  $723 \pm 65$  cal. BP et  $562 \pm 59$  cal. BP). Pour établir le modèle d'âge, les intervalles de confiance de ces deux datations ne se chevauchant pas, nous ne pouvons prendre en compte les deux et avons dû faire le choix d'en écarter une. Les deux modèles comprenant chacun une de ces dates sont très proches et l'écart maximum entre ces deux modèles est de 170 ans environs au point de divergence maximale. Afin de choisir la date à retenir, nous avons utilisé le principe de parcimonie (ou rasoir d'Occam) qui préconise de privilégier l'hypothèse la plus simple : ici, la date engendrant le moins de changements du taux de sédimentation. Ainsi, la date à 1149 cm a été écartée au profit de celle à 1050 cm de profondeur. De plus, afin de proposer un modèle le plus réaliste possible, les points d'inflexion de la courbe ont été placés, lorsque cela était possible, au niveau des changements d'unités sédimentaires (U) plutôt qu'au niveau des datations radiocarbone.

Le modèle d'âge ainsi obtenu permet d'identifier trois chronozones principales (notées C), montrant des variations importantes du taux d'accumulation sédimentaire (TAS) au cours du temps (figure 23) calculé en faisant les moyennes entre deux inflexions. Pour la première, C1, entre 1890 et 1344 cm (6850-905 cal. BP), le TAS moyen de 0,9 mm/an indique un dépôt lent variant entre 0,6 et 1,8 mm/an (taux de sédimentation : 0,8 entre 1890 et 1856 cm soit 6850 - 6427 cal. BP ; 0,6 entre 1856 et 1605 cm soit 6427 - 2558 cal. BP ; 1,1 entre 1605 et 1549 cm soit 2558 - 2044 cal. BP et 1,8 entre 1549 et 1344 cm soit 2044 - 905 cal. BP), très inférieur au taux de sédimentation des alluvions de l'Aude de 3,5 mm/an proposé par Verdeil (1967). Ce taux est en fait beaucoup plus proche du TAS moyen calculé sur l'ensemble de la séquence (2,7 mm/an). En C2, entre 1344 et 410 cm (905 - 356 cal. BP ; U3 à U7), une sédimentation moyenne de 17,0 cm/an indique une accumulation très rapide. Enfin, la dernière phase, C3, entre 410 cm et la surface (correspondant à U8, de 356 cal. BP à l'actuel), indique un TAS de 11,5 mm/an, et donc un ralentissement relatif de l'accumulation de sédiment.

Carottage BVA03

Datations

Profondeur (cm)	Nature de l'échantillon	Type	Code laboratoire	Dates brutes (BP)	±	Courbe de calibration	Dates calibrées (cal. BP)	±
352	graine	<i>Schenoplectus sp.</i>	Poz-61650	325	30	IntCal13 2σ	388	82
583	feuille	Indéterminé	Poz-61651	310	30	IntCal13 2σ	382	81
1050	coquille	<i>Cerastoderma sp.</i>	Poz-61222	1380	30	Marine13 2σ	723	65
1149	coquille	Indéterminé	Poz-70215	1160	30	Marine13 2σ	562	59
1310	coquille	<i>Nassarius sp.</i>	Poz-61223	1445	30	Marine13 2σ	797	89
1371	coquille	Indéterminé	Poz-70216	1625	35	Marine13 2σ	978	80
1549	coquille	<i>Proteopecten sp.</i>	Poz-61224	2530	30	Marine13 2σ	1951	93
1670	coquille	Indéterminé	Poz-70217	3775	35	Marine13 2σ	3466	95
1730	coquille	Indéterminé	Poz-70219	4570	35	Marine13 2σ	4515	111
1850	coquille	Indéterminé	Poz-70220	6220	40	Marine13 2σ	6431	114
1890	coquille	<i>Abra sp.</i>	Poz-61225	6500	30	Marine13 2σ	6756	94

Tableau 1. Datations obtenues et calibration, carotte BVA03

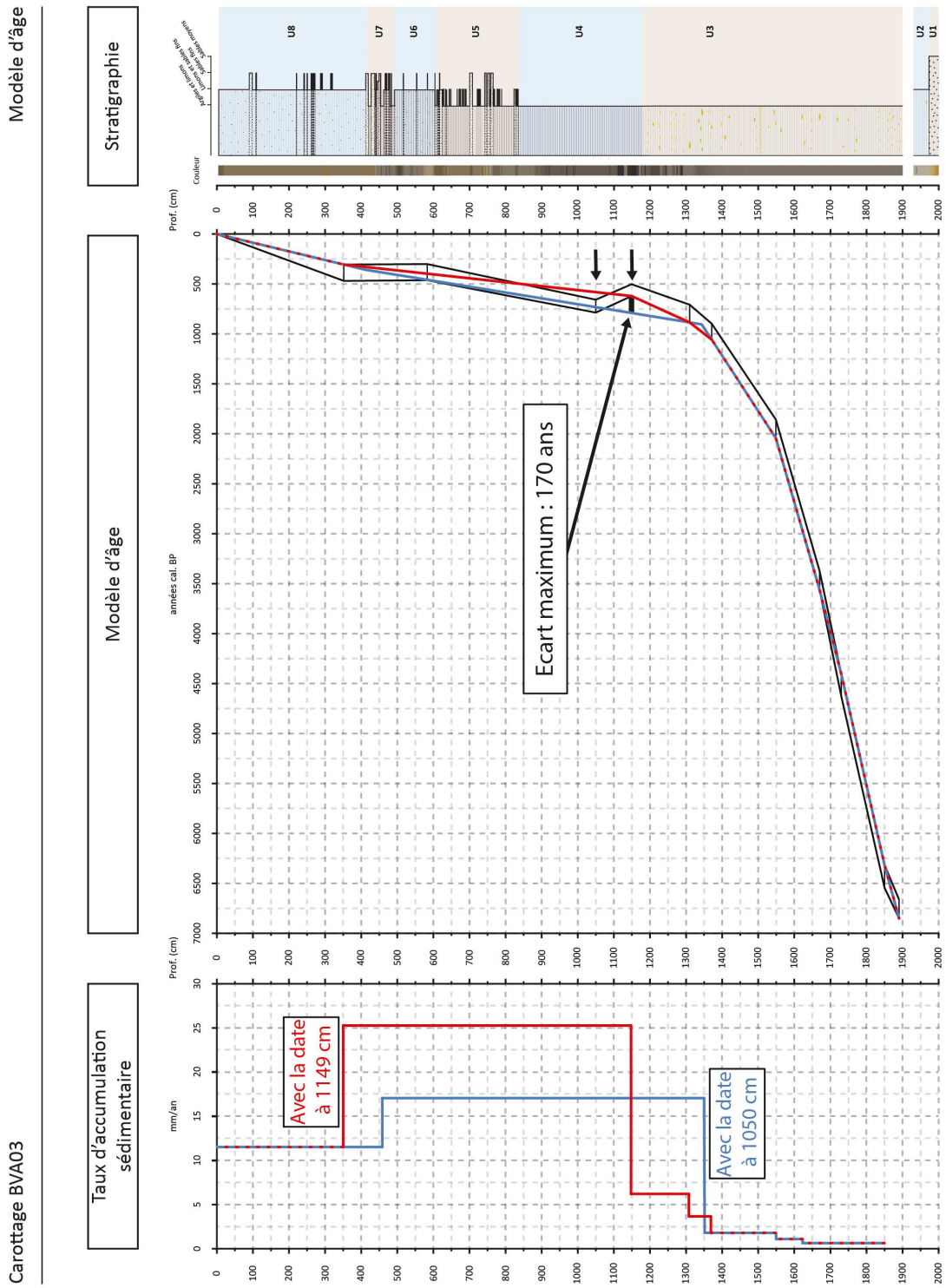


Figure 22. Modèle âge-profondeur de la carotte BVA03

Carottage BVA03

Détails sur le taux d'accumulation sédimentaire

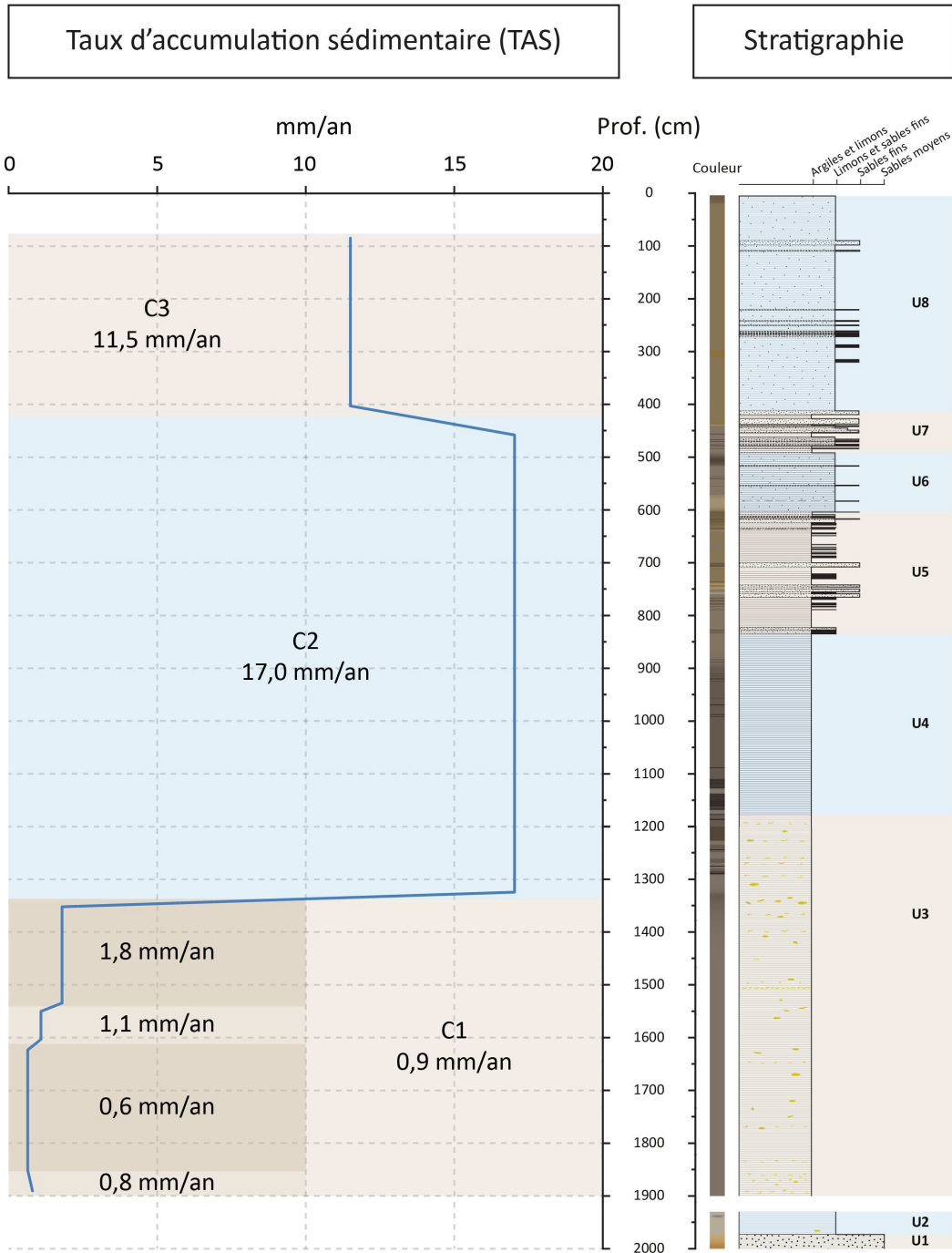


Figure 23. Détail sur le taux d'accumulation sédimentaire (TAS) de la carotte BVA03

### 1.3. Diagrammes polliniques et détermination des palynozones

Afin de faciliter la lecture des données, des diagrammes polliniques ont été réalisés. Pour présenter ces diagrammes de la manière la plus claire possible, ils ont été organisés en zones d'après les analyses statistiques.

La classification hiérarchique ascendante (CHA) contrainte par la profondeur des niveaux, réalisée avec la distance de Chord (figure 26), montre un premier degré de séparation des niveaux entre 1352 et 1324 cm. Le deuxième degré de séparation fait ressortir un groupe sommital : entre 349 et 85 cm (ce dernier niveau étant le plus haut traité). Le niveau 349 cm s'extrait en 3<sup>e</sup> degré de séparation de ce dernier groupe. L'analyse en composantes principales (ACP, figure 27) oppose en axe principal (inertie 57 %). les Cichorioidées à *Quercus pubescens*-type et à *Pinus* et propose sensiblement la même organisation, mais inclut le niveau 1352 dans le groupe intermédiaire.

Dans une grande partie des échantillons au-dessus de 1300 cm, les Cichorioidées dominent, ce qui traduit une dégradation importante du matériel pollinique (Bottema, 1975) et suggère que les zones identifiées correspondent plus à différents degrés de dégradation qu'à de réelles variations environnementales. Pour vérifier ce facteur, une nouvelle série des mêmes analyses numériques a été réalisée en supprimant les Cichorioidées des données.

La nouvelle CHA (figure 28) fait ressortir les trois mêmes assemblages de niveaux en première séparation, mais écartent aussi le niveau 349. L'ACP (figure 29) oppose cette fois en axe principal (52 % de variance) *Quercus pubescens*-type et *Pinus* à *Erica*-type et aux Poacées. Cette PCA sépare les niveaux en deux, avec un groupe des niveaux inférieurs à 1376 cm (inclus) et un groupe des niveaux supérieurs à 1352 cm (inclus).

Ainsi, il en ressort 3 groupes principaux bien définis : un groupe basal entre 1851 et 1376 cm, un groupe intermédiaire entre 1324 et 403 cm et enfin un groupe sommital entre 303 et 85 cm. Deux niveaux (349 et 1352 cm) posent problème et leur affiliation à un groupe est changeante selon les analyses. Ainsi, le niveau 349 cm est classé dans le groupe sommital selon la CHA, alors qu'il est extérieur aux 3 grands groupes dans l'ACP réalisée sur l'ensemble des données (figure 27) et sur la CHA sans Cichorioidées (figure 25). De même, le niveau 1352 cm est réparti dans le groupe intermédiaire selon l'ACP sur les données totales (Figure 27), tandis que l'ACP réalisée sans Cichorioidées (figures 29) intègre ce niveau dans le groupe sommital, alors que les CHA le classent dans le groupe basal (figures 26 et 28). Ces deux niveaux, qui apparaissent comme des niveaux de transition et/ou des niveaux particulièrement dégradés, ont arbitrairement été inclus dans la palynozone inférieure.

Ainsi, en compilant ces analyses, il en ressort 3 groupes principaux (1851-1376 cm, 1324-403 cm et 303-0 cm). Ces 3 zones ont été affinées en sous zones d'après la CHA effectuée sur les données sans Cichorioidées (figures 28). Ainsi, les diagrammes polliniques seront répartis en 3 palynozones comprenant plusieurs sous-zones dont les limites sont définies par les niveaux inclus dans ces zones :

- Palynozone 1 : 1851 – 1352 cm (4 sous-zones)
  - P1a : 1851 – 1623 cm
  - P1b : 1603 – 1451 cm
  - P1c : 1427 – 1376 cm

- P1d : niveau 1352 cm
- Palynozone 2 : 1324 – 349 cm (7 sous-zones)
  - P2a : 1324 – 1223 cm
  - P2b : 1203 – 1103 cm
  - P2c : 1051 – 955 cm
  - P2d : 903 – 578 cm
  - P2e : 549 – 503 cm
  - P2f : 458 – 403 cm
  - P2g : niveau 349 cm
- Palynozone 3 : 303 – 85 cm (2 sous-zones)
  - P3a : 303 – 207 cm
  - P3b : 143 – 85 cm

Certaines sous-zones ne contiennent que peu voire un seul échantillon, nous avons choisi de ne pas les intégrer à une zone adjacente car ils sont représentatifs de variations particulières que nous traiterons plus tard et nécessitent d’être mis à l’écart.

Classification hiérarchique ascendante  
Paired group / Algorithme Chord  
Ensemble des données

Carottage BVA03

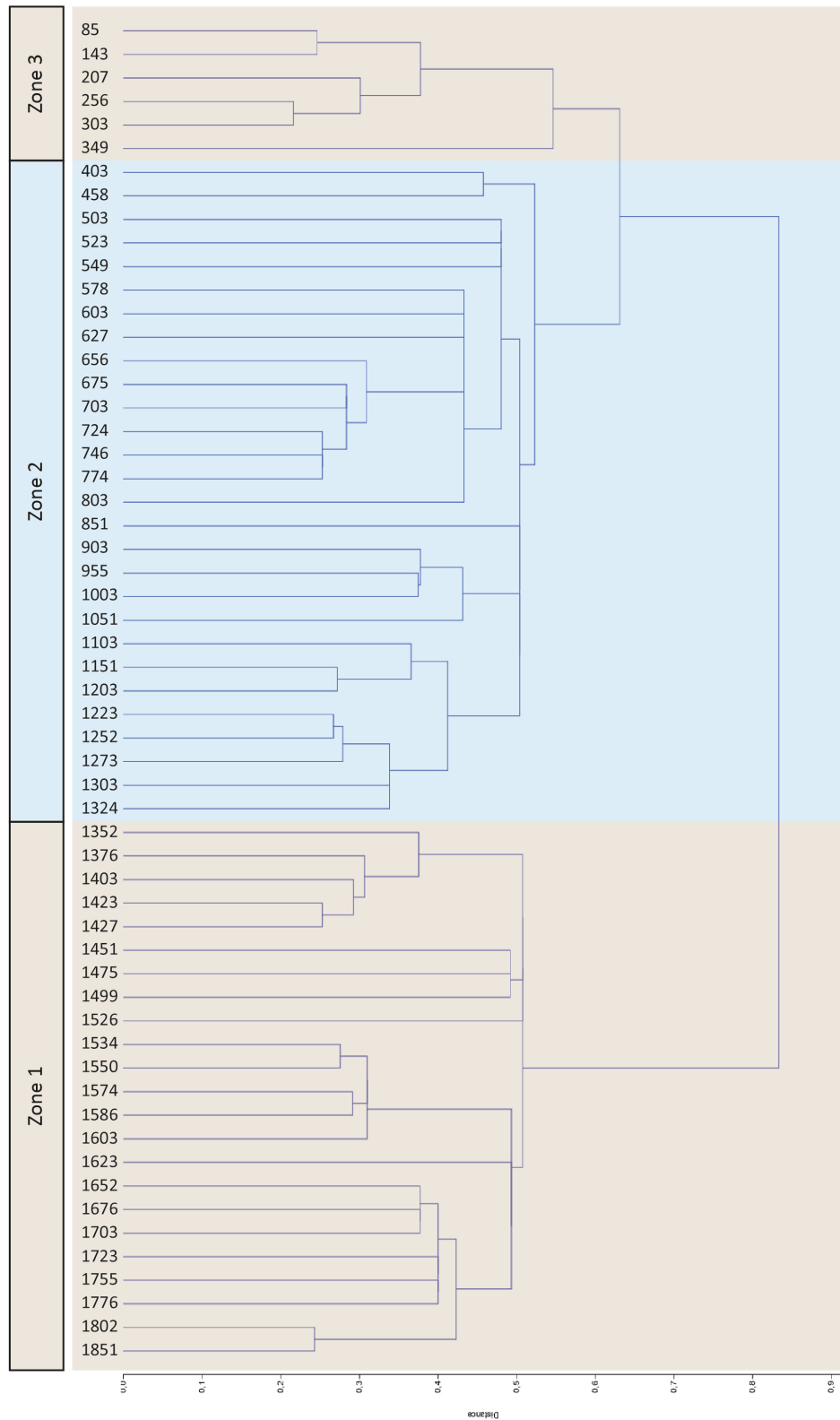


Figure 26. Classification hiérarchique ascendante (CHA), ensemble des données, carotte BVA03

Analyse en composantes principales  
Ensemble des données - 36 variables (taxons) - 57 observations (niveaux)

Carottage BVA03

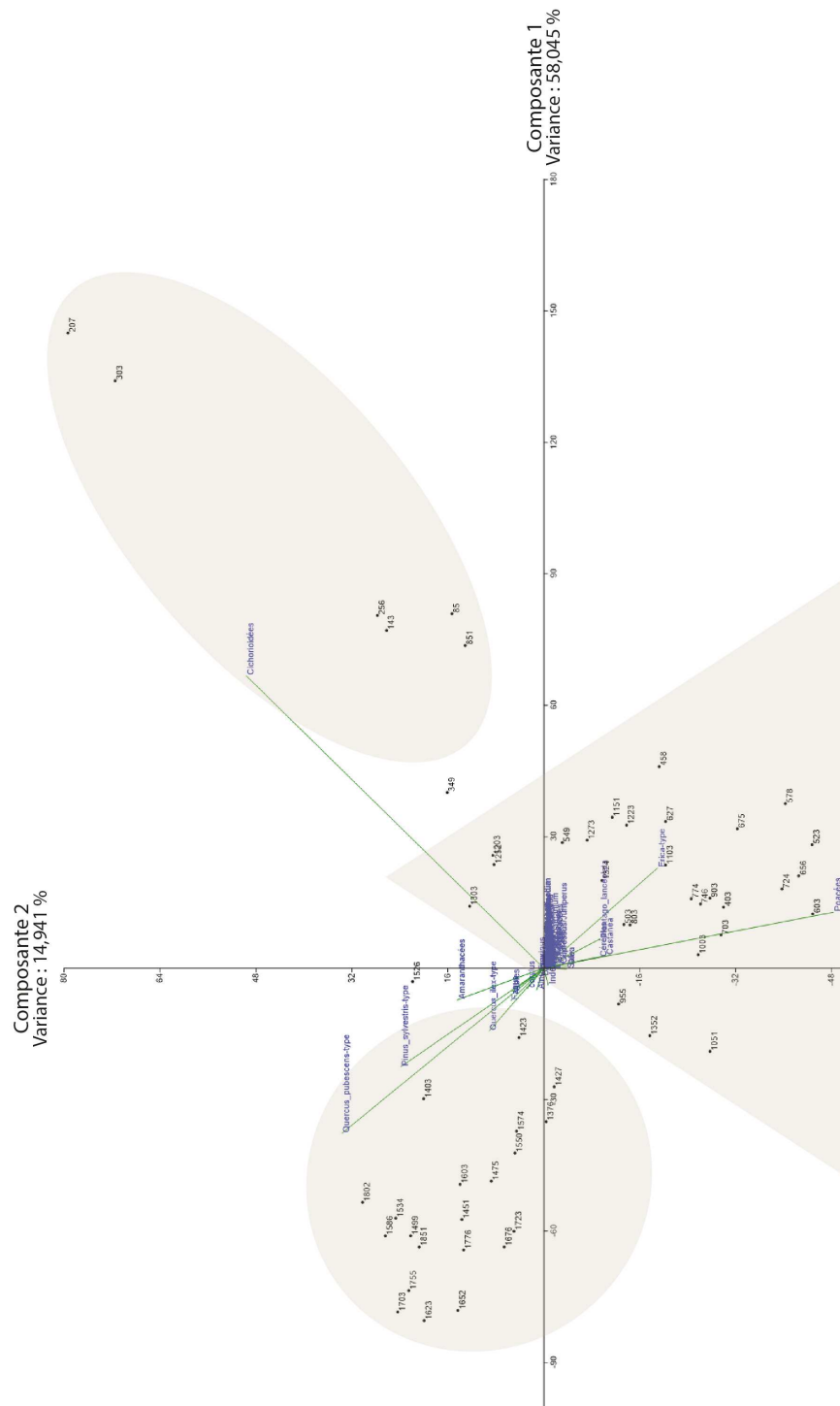


Figure 27. Analyse en composantes principales (ACP), ensemble des données, carotte BVA03

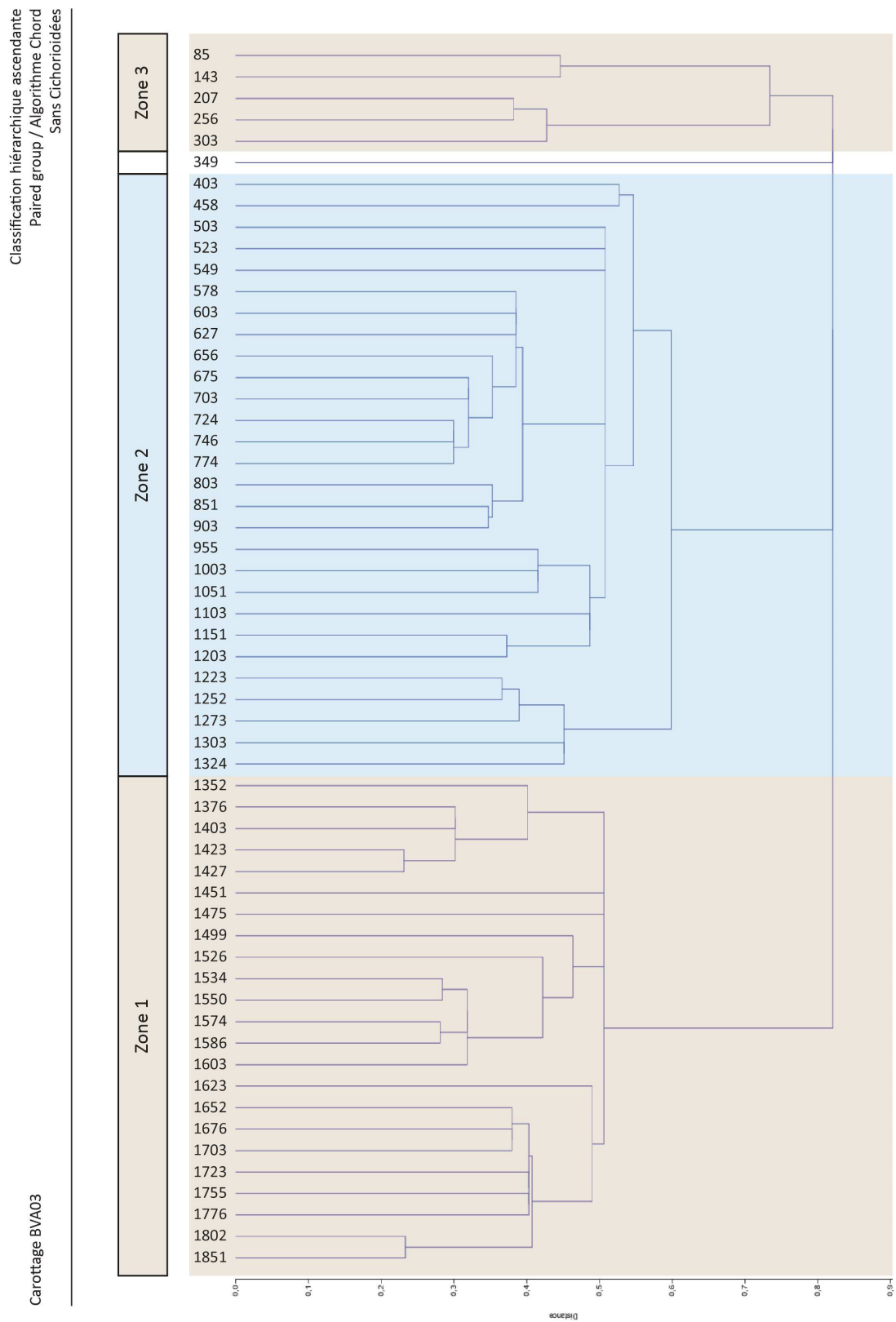


Figure 28. Classification hiérarchique ascendante (CHA), Cichorioidées exclues, carotte BVA03



Sans Cichnrioidées - 35 variables (taxons) - 57 observations (niveaux)

Carottage BVA03

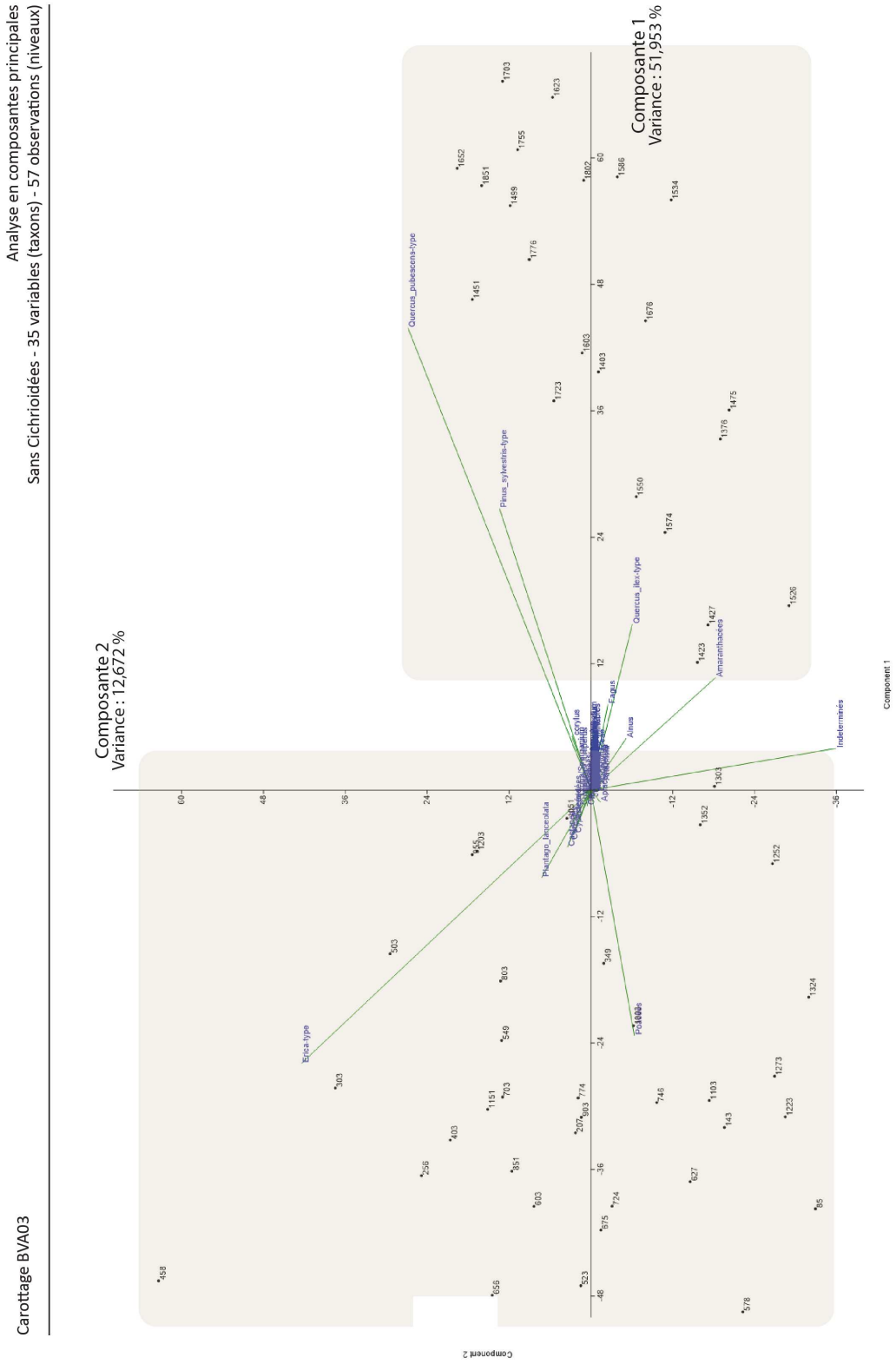


Figure 29. Analyse en composantes principales (ACP), Cichorioidées exclues, carotte BVA03

Classification hiérarchique ascendante avec palynozones  
Paired group / Algorithme Chord  
Sans Cichorioidées

Carottage BVA03

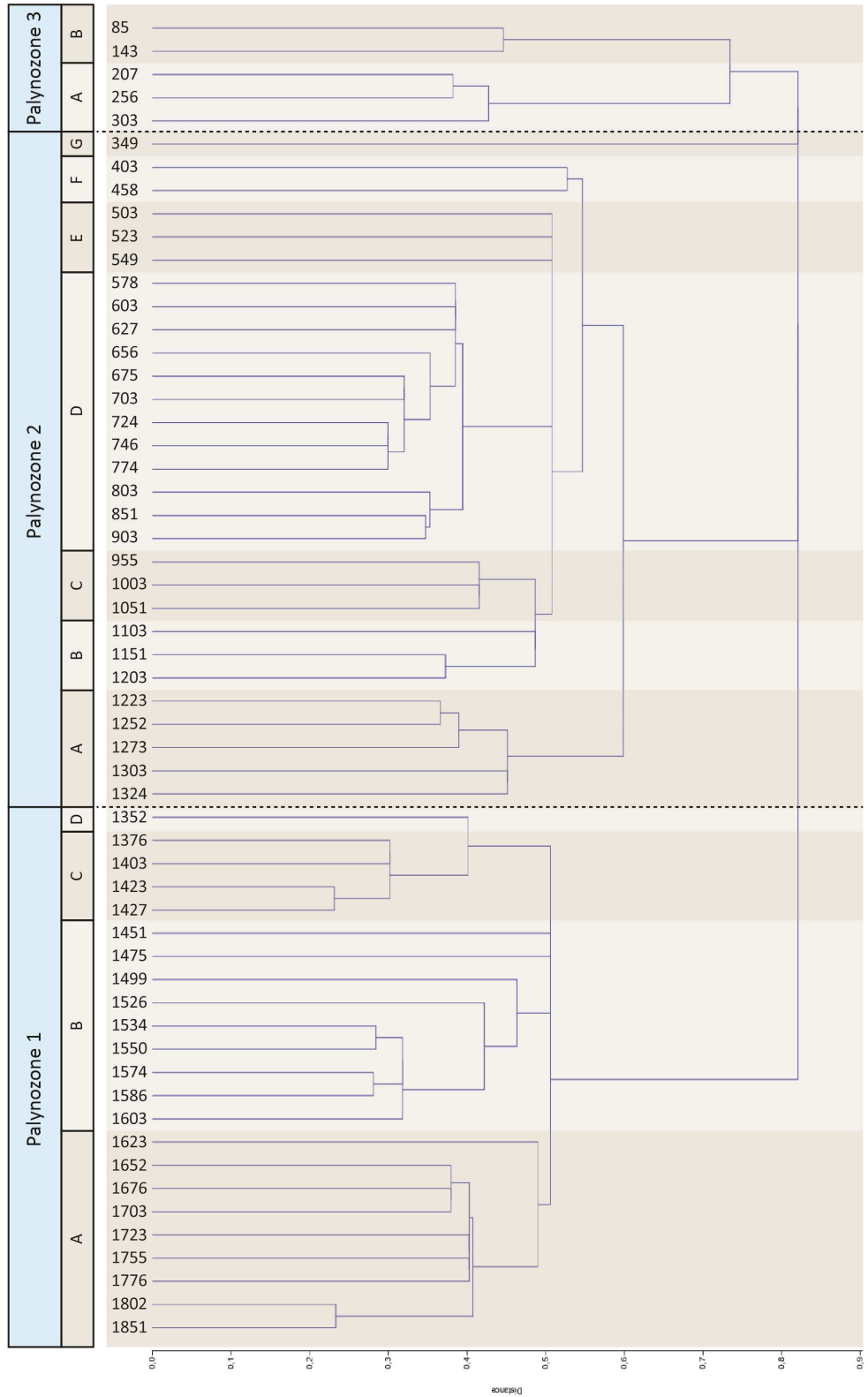


Figure 30. Classification hiérarchique ascendante (CHA), Cichorioidées exclues, avec zonation, carotte BVA03

Carottage BVA03

Diagramme pollinique  
Simplifié  
Ensemble des données

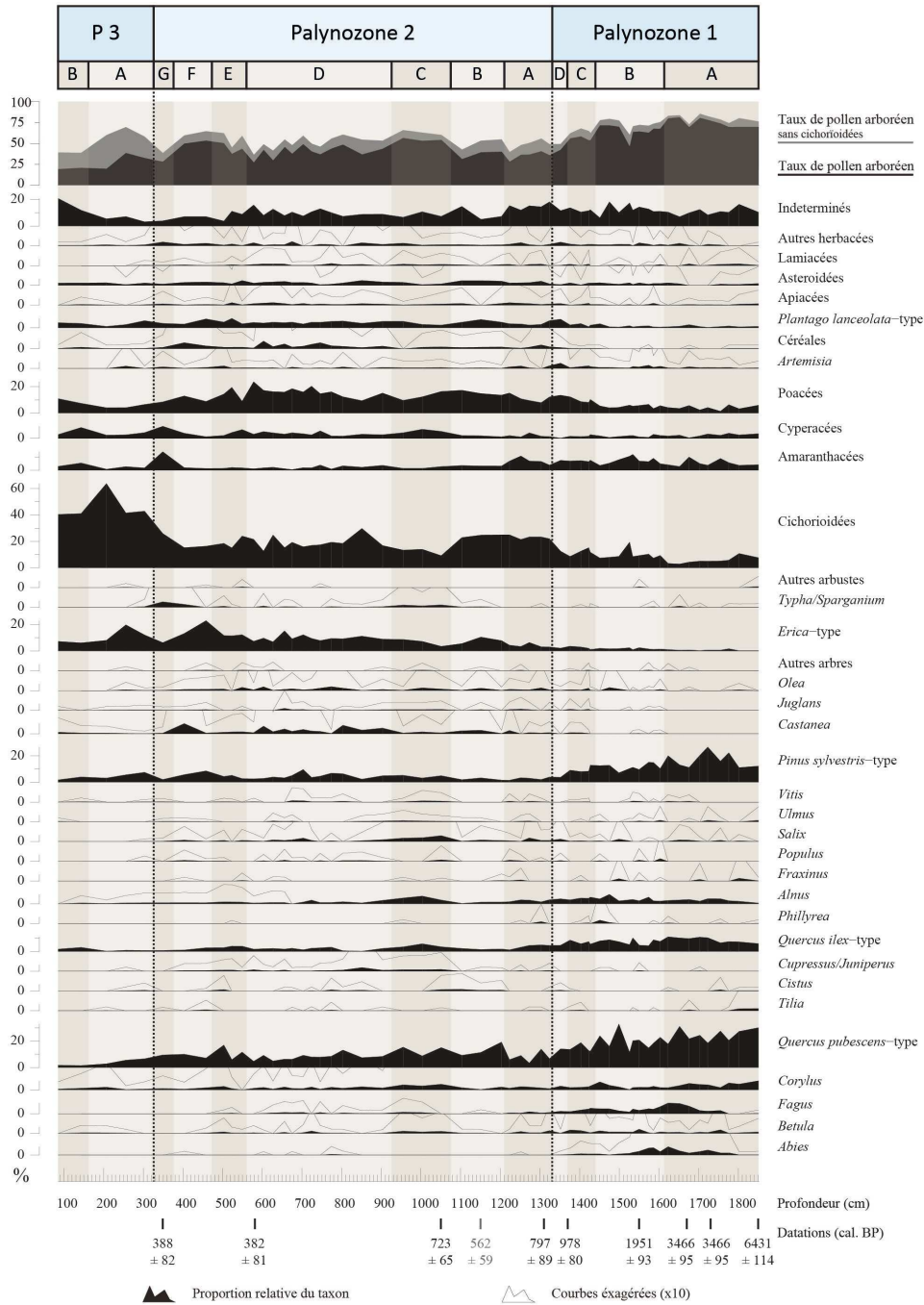


Figure 31. Diagramme pollinique simplifié de la carotte BVA03

Carottage BVA03

Diagramme pollinique  
Simplifié réduit  
Ensemble des données

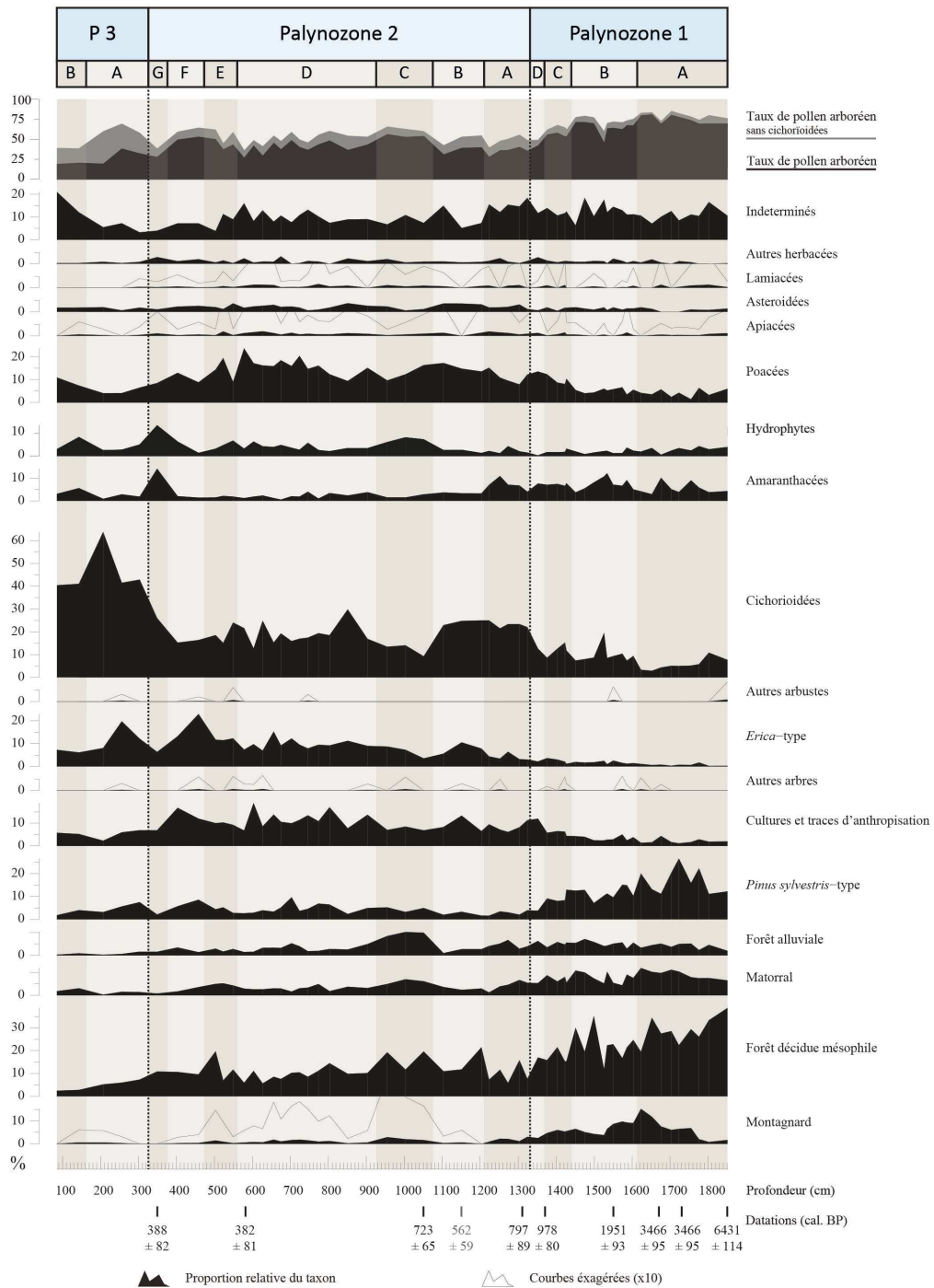


Figure 32. Diagramme pollinique simplifié réduit de la carotte BVA03

Carottage BVA03

Diagramme pollinique  
Simplifié  
Sans Cichorioidées

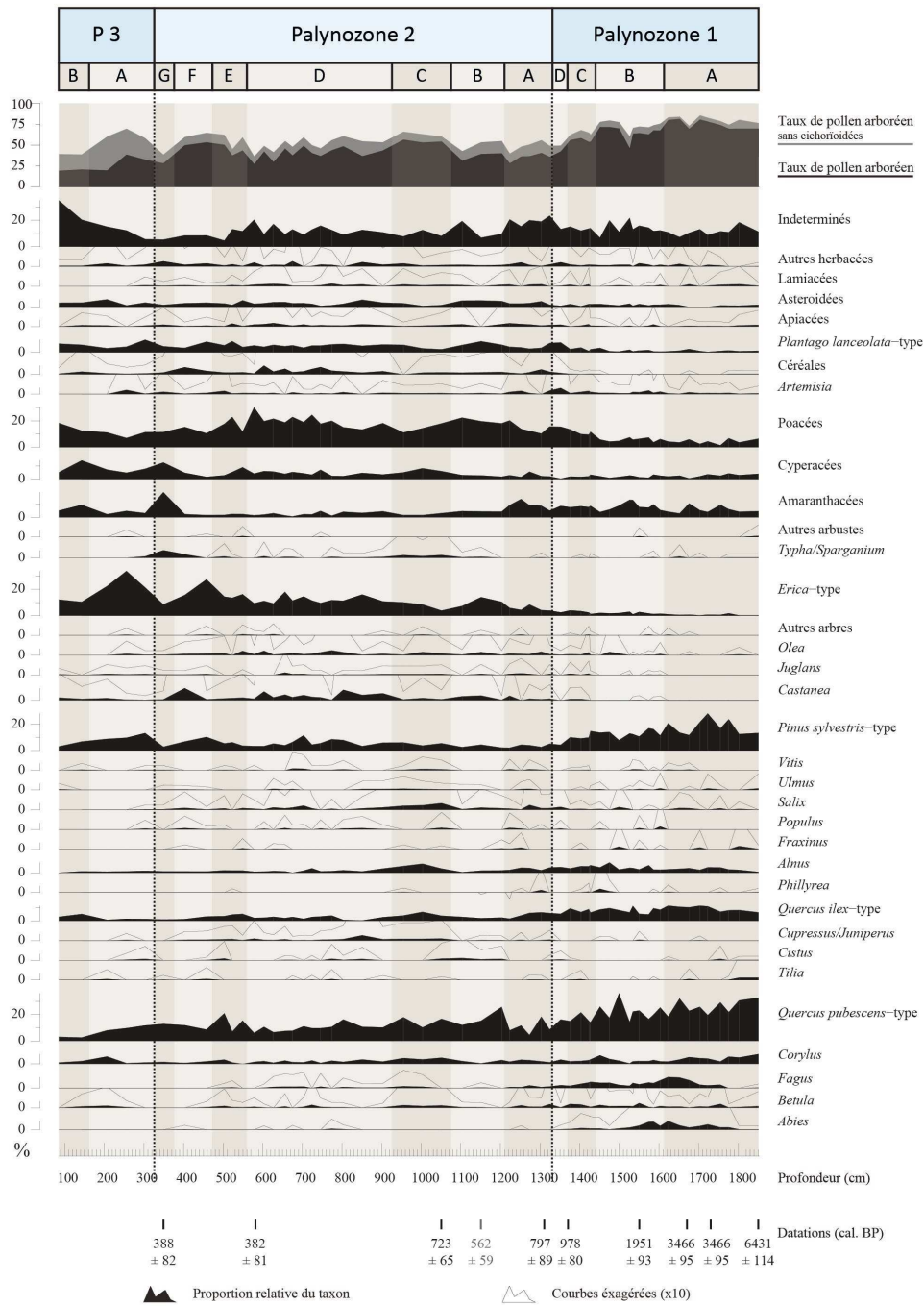


Figure 33. Diagramme pollinique simplifié, Cichorioidées exclues, carotte BVA03

Carottage BVA03

Diagramme pollinique  
Simplifié réduit  
Sans Cichorïoïdées

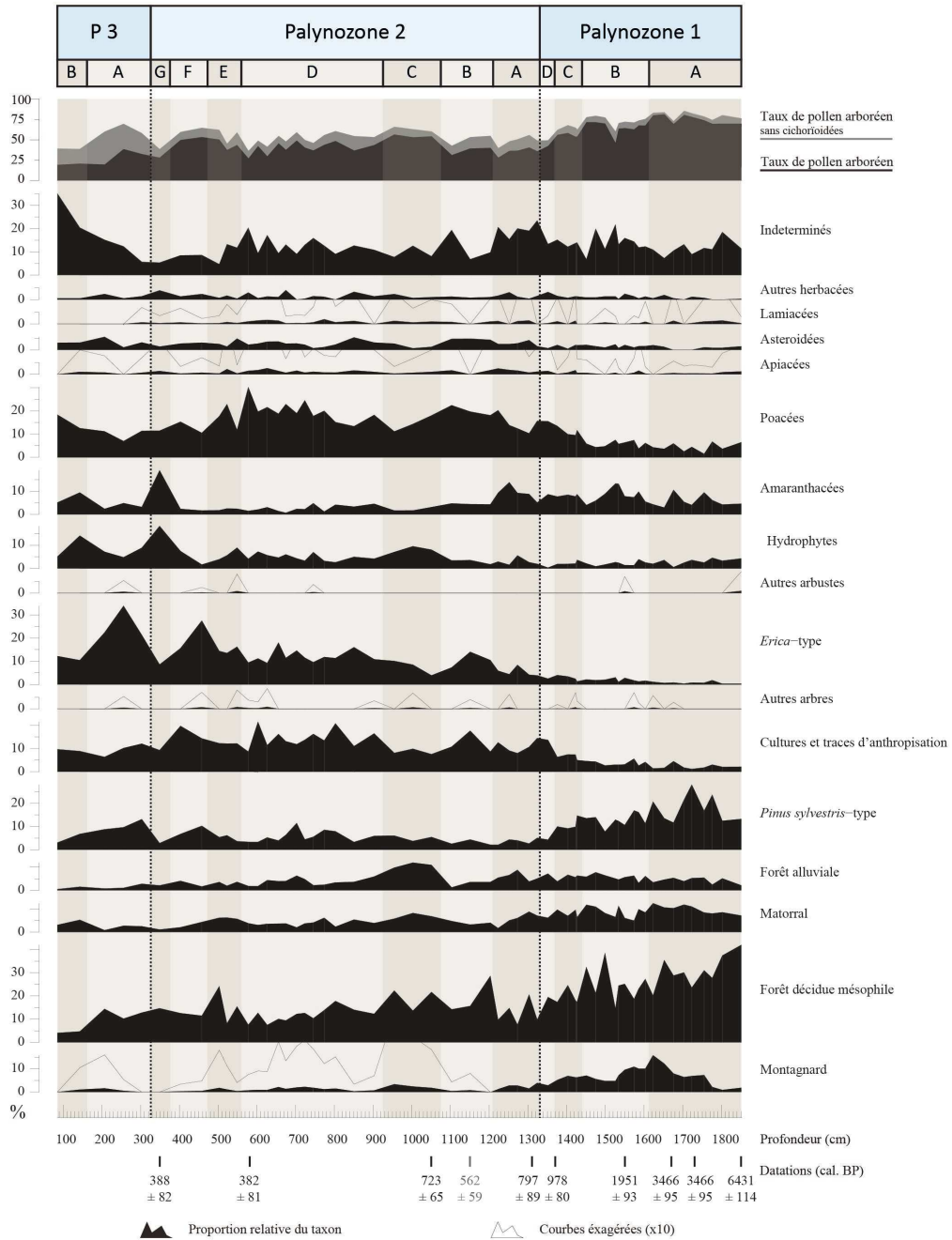


Figure 34. Diagramme pollinique simplifié réduit, Cichorïoïdées exclues, carotte BVA03

Ces zonations effectuées, nous pouvons maintenant proposer, outre le diagramme simplifié (figure 31), plusieurs autres diagrammes polliniques basés sur les mêmes comptages, mais avec des particularités permettant de mettre en avant des éléments voilés dans le diagramme classique.

Ainsi, pour une meilleure visibilité de l'évolution globale des assemblages végétaux, un diagramme simplifié réduit regroupant certains taxons en assemblages écologiques, est présenté en figure 32.

Nous indiquons rapidement, ici et en III.2.4, les différentes composantes de chaque groupe pour les besoins de la bonne compréhension des résultats. Des explications supplémentaires quant aux déterminations des groupes seront abordées en discussion, cf. chapitre V.1.

Dans ces diagrammes, les groupes « Autres arbres », « Autres arbustes » et « Autres herbacées » sont composés de taxons recensés très occasionnellement et qui ont été regroupés afin de faciliter la lecture du diagramme tout en faisant apparaître l'intégralité des comptages. Ainsi, le groupe « Autres arbres » inclut les taxons : *Acer*, *Carpinus/Ostrya*, *Hedera*, *Ilex*, *Pistacia*, *Prunus*-type et *Tamarix*. Le groupe « Autres arbustes » est composé de *Buxus* et *Genista*-type. Enfin, le groupe des « Autres herbacées » comporte de nombreux taxons rares, parfois identifiés par un seul grain dans les échantillons : Brassicacées, *Callitriche*, Campanulacées, *Cannabis/Humulus*, Caryophyllacées, *Crocus*, *Dipsacus*, *Eryngium*, *Helianthemum*-type, *Helleborus*, *Juncus*, *Lavatera*, Liliacées, *Lobelia*, *Lotus*, *Menyanthes*, *Myriophyllum*, Papavéracées, *Plantago major/media*, *Potamogeton*, *Potentilla*, Ranunculacées, Rosacées, *Sanguisorba minor*, *Saxifraga*, *Smilax*, Thyméléacées et *Urtica*. Une liste de l'ensemble des taxons identifiés est disponible en annexe 2.

Dans le diagramme simplifié réduit, des groupes écologiques ont été créés pour faciliter la lecture des données et mieux appréhender les évolutions des différentes formations végétales régionales. Ces groupes ont été créés en fonction de l'affinité écologique des différents taxons rencontrés dans nos données (Rameau et al., 2008). Le groupe « Montagnard » comprend *Abies*, *Betula* et *Fagus*. Le groupe « Forêt décidue mésophile » regroupe *Corylus*, *Quercus pubescens*-type et *Tilia*. Le groupe « matorral » inclut *Cistus*, *Cupressus/Juniperus*, *Quercus ilex*-type et *Phillyrea*. Le regroupement « Cultures et traces d'anthropisation » comporte des ligneux principalement cultivés : *Castanea*, *Juglans* et *Olea*, ainsi que des herbacées cultivées ou marqueurs d'anthropisation (Behre, 1981) : *Artemisia*, *Cerealía* et *Plantago lanceolata*-type. Le groupe « Forêt alluviale » est composé des taxons *Alnus*, *Fraxinus*, *Populus*, *Salix*, *Ulmus* et *Vitis*. Enfin, les « Hydrophytes » regroupent *Callitriche*, Cypéracées, *Juncus*, *Potamogeton* et *Typha/Sparganium*.

*Vitis*, bien que fortement cultivé de nos jours, présente une forme sauvage largement distribuée en Europe (Arnold et al., 1998). Cette variété sauvage ne se distingue des variétés cultivées que très difficilement d'après les graines (Terral et al., 2010) et pas du tout d'après les grains de pollen. Le problème réside dans l'attribution de ce taxon au groupe des cultures, car la culture de la vigne est bien attestée au moins dès l'Antiquité, ou à la forêt alluviale, qui est son habitat sauvage naturel (Arnold et al., 1998 ; Rameau et al., 2008 ; Terral et al., 2010). Dans le cas présent, l'enregistrement de *Vitis* est très faible, relativement homogène et n'est pas impacté par la mise en culture importante de la vigne dès l'antiquité. Cela indique que l'enregistrement de *Vitis* dans nos données proviendrait essentiellement de la variété sauvage, nous permettant ainsi de placer ce taxon dans le groupe de la forêt alluviale (Beaudouin et al., 2007b).

Dans les niveaux supérieurs de la carotte, on note un fort taux de Cichorioidées, ce qui masque le reste de l'enregistrement pollinique. Ainsi, nous présentons deux autres diagrammes qui correspondent aux deux précédents (simplifié et simplifié réduit) dans lesquels les Cichorioidées ont été exclues afin d'obtenir une meilleure vision du reste de l'enregistrement (figures 33 et 34).

À la base de la carotte, deux niveaux se sont révélés stériles : les niveaux 1996 et 1952 cm. Le modèle d'âge ne débutant qu'à partir du niveau 1890 cm, nous pouvons uniquement dire que ces niveaux stériles sont antérieurs à 6850 cal. BP. Ces échantillons stériles n'apparaîtront pas dans les différents diagrammes polliniques.

### **Palynozone 1 (P1) : 1851 – 1352 cm (6350 – 952 cal. BP)**

#### **P1a : 1851 – 1623 cm (6350 – 2835 cal. BP)**

Le début de l'enregistrement de BVA03 commence par un milieu fermé, avec un taux de pollen d'arbre de 75 % sur la sous-zone P1a. Les Cichorioidées démarrent à environ 9,5 % sur les deux premiers niveaux, puis chutent progressivement pour atteindre 3,3 % en fin de zone.

Dans cette zone, *Abies* commence à 0,3 % sur les 2 premiers niveaux, puis augmente entre 1,7 % et 3,9 % avant de passer à 6,4 % en fin de zone. *Betula*, est faiblement enregistré et fluctue entre 0,3 % et 1,1 %, hormis pour le niveau 1755 cm (4870 cal. BP) où son enregistrement est de 2,8 %. *Fagus* est déjà présent en début de zone avec un enregistrement de 0,3 %, mais ce taxon ne prend son essor qu'à partir de 1755 cm (4870 cal. BP) avec un taux de 2,4 %, avant d'augmenter encore dès 1676 cm (3652 cal. BP) de 5,7 % à 8,1 % en fin de zone. En étudiant l'ensemble des taxons précités, nous pouvons identifier un assemblage montagnard qui est faiblement enregistré sur la première partie de la zone : moins de 2 % entre 1851 cm (6350 cal. BP) et 1776 cm (5194 cal. BP). Cet enregistrement augmente fortement au cours de cette zone : il oscille autour de 6,5 % entre 1755 cm (4870 cal. BP) et 1703 cm (4069 cal. BP) puis augmente encore sur la dernière phase de la zone en passant de 7,6 % à 1676 cm (3652 cal. BP) à 15,3 % à 1623 cm (2835 cal. BP).

Le taxon dominant la zone P1a est *Quercus pubescens*-type. Son enregistrement commence très haut, à 30 %, puis décline régulièrement pour atteindre 18 % en fin de zone. *Corylus*, est aussi bien installé dès le début, avec 6,8 %. Il décroît durant la zone pour n'être enregistré qu'à 1,7 % en fin de zone. *Tilia*, moins bien représenté, suit la même logique de décroissance, avec un enregistrement de départ à 1,7 %, une chute jusqu'à 0,3 % en 1776 cm (5194 cal. BP) et un enregistrement uniquement ponctuel à partir de 1755 cm (4870 cal. BP). L'assemblage « forêt décidue mésophile », qui regroupe ces derniers taxons, domine largement cette zone (moyenne de 29 % sur la zone), mais semble décliner tout au long de la zone, avec un début à presque 40 % et une fin à 19,5 %.

Sur P1a, *Pinus* est bien représenté, avec une moyenne de 17 % sur la zone. Ses variations en dents de scie semblent être des aléas d'enregistrement plutôt que de réelles variations. *Quercus ilex*-type, est enregistré à 6 % en début de zone et croît jusqu'à 11 % en fin de zone. D'autres taxons accompagnent ponctuellement l'enregistrement de *Quercus ilex*-type : *Cistus*, enregistré à moins de 1 % et *Phillyrea*, enregistré à moins de 0,6 %. On note aussi la présence de *Cupressus/Juniperus* à 0,3 % en 1703 cm (4069 cal. BP). *Quercus ilex*-type est l'élément central de l'assemblage « matorral »,



assemblage qui semble bien implanté dès le début avec une représentation de 6,6 % et croît régulièrement pour atteindre 12 % en fin de zone.

Les forêts alluviales sont enregistrées dès le début de la séquence. Après un début faible à 2 %, elles stagnent aux environ de 4 % sur la zone. Cet assemblage est dominé par *Alnus*, associé ponctuellement à *Fraxinus*, *Salix*, *Ulmus* et *Vitis*, ce dernier taxon apparaissant au dernier tiers de la zone, dès le niveau 1676 cm (3652 cal. BP) et variant entre 0,3 % et 0,6 %. Les hydrophytes semblent stables avec une moyenne de 3 %, malgré un niveau à 0,5 % à 1676 cm (3652 cal. BP). L'enregistrement des Poacées est en dents de scie entre 1,4 % et 6,4 % et oscille autour d'une moyenne à 4 %.

Pour ce qui est des cultures et des traces d'anthropisation (Behre, 1981), l'enregistrement stagne autour de 2 %, hormis pour le niveau 1676 cm (3652 cal. BP) à 4,4 %. Ce groupe est surtout composé de *Plantago lanceolata*-type et d'*Artemisia*. *Olea* est visible sur l'ensemble de la zone, mais de façon ponctuelle et jamais au-dessus de 0,5 %.

#### **P1b : 1603 – 1451 cm (2540 – 1501 cal. BP)**

En P1b, le couvert forestier diminue légèrement, avec une moyenne du taux de pollen d'arbres à 65 %. Le niveau 1526 cm (1916 cal. BP) a un taux très bas (46 %), alors que les autres niveaux de cette zone ont un taux compris entre 64 % et 72 %.

Les Cichorioidées sont en hausse sur cette zone avec une moyenne de 10 %. Ce taxon est enregistré à 19,5 % sur le niveau 1526 cm, ce qui semble impliquer une dégradation du matériel pollinique sur ce niveau plutôt qu'une ouverture du milieu (Bottema, 1975 ; Coûteaux, 1977 ; Hall, 1981 ; Havinga, 1984 ; Lebreton et al., 2017).

Sur P1b, *Abies* décroît au fil de la zone et passe d'environ 5 % en début de zone à moins de 1 % en fin de zone. *Fagus* chute par rapport à la fin de P1a et se stabilise autour de 3 %. *Betula* est toujours enregistré de façon très variable entre 0,2 % et 3 % selon les échantillons. Ainsi, l'assemblage montagnard est moins bien enregistré qu'en fin de P1a sur la première partie de la zone, entre les niveaux 1603 cm (2540 cal. BP) et 1550 cm (2053 cal. BP), avec un taux moyen de 9,2 %. Sur la deuxième moitié de la zone, cet assemblage décroît encore pour se stabiliser autour de 5,3 %. Les Ericacées deviennent plus visibles aussi et passent de moins de 1 % en P1a à presque 2 % dans cette zone.

*Quercus pubescens*-type est toujours bien enregistré avec 20 %, accompagné par *Corylus* généralement moins enregistré que sur l'ensemble de P1a avec un taux de 2 % environ, hormis un retour en fin de carotte à 6 % sur le niveau 1451 cm (1501 cal. BP). *Tilia*, ponctuel, ne dépasse pas les 0,3 %. La forêt décidue mésophile semble moins présente qu'en P1a. Elle est toujours enregistrée en dents de scie, mais a pour moyenne 22,7 % sur cette zone et est représentée principalement par *Quercus pubescens*-type et *Corylus*, les autres taxons de cet assemblage restant marginaux et enregistrés de façon très ponctuelle.

*Pinus* est un peu moins bien enregistré et oscille autour de 11,5 %. *Quercus ilex*-type est un peu moins enregistré sur cette zone P1b, et est accompagné par *Phillyrea* à moins de 1 %, sauf sur le

niveau 1451 cm où ce dernier taxon apparaît à 2,1 %. *Cupressus/Juniperus* apparaît parfois, mais toujours sous les 0,6 %. L'assemblage matorral semble ici amoindri sur une grande partie de la zone, avec une moyenne de 7 % entre les niveaux 1603 cm (2540 cal. BP) et 1499 cm (1767 cal. BP) mais remonte à 10 % en fin de zone, sur les niveaux 1475 cm (1634 cal. BP) et 1451 cm (1501 cal. BP).

La forêt alluviale est légèrement mieux enregistrée qu'en P1a, autour de 5 %. *Alnus* joue le rôle majeur dans cet assemblage, les autres taxons n'intervenant que ponctuellement, même si parfois assez fortement, jusqu'à environ 2 % (*Populus* sur le niveau 1603 cm, *Fraxinus* et *Salix* sur le niveau 1499 cm). *Ulmus* et *Vitis*, ponctuels aussi, ne dépassent pas les 1 %. On note aussi la décroissance des hydrophytes qui passent sous les 2 %, alors que les Amaranthacées augmentent à 7.5 % en moyenne avec un pic entre 12 % et 11 % sur les niveaux 1534 cm (2053 cal. BP) et 1526 cm (1916 cal. BP). Les Poacées augmentent légèrement et avoisinent les 5,2 % sur la zone.

Les cultures et traces d'anthropisation sont mieux enregistrées avec une moyenne de 3,4 %. On note l'apparition du noyer, *Juglans*, ainsi que du châtaignier, *Castanea*, dès le niveau 1603 cm (soit 2540 cal. BP selon le modèle). Ce groupement est toutefois toujours dominé par *Plantago lanceolata*-type et *Artemisia*, tous deux avec une moyenne de 1,2 %.

#### **P1c : 1427 – 1376 (1368 – 1085 cal. BP)**

En P1c, le taux de pollen d'arbre diminue encore et est d'environ 56 %. Les Cichorioidées augmentent et avoisinent les 12 % en moyenne.

*Fagus* décroît régulièrement de 4,1 % en début de zone à 1,6 % en fin de zone alors que dans le même temps, *Betula* croît régulièrement de 0,6 % en début de zone à 2,6 % en fin de zone. *Abies* stagne autour de 1 %, comme sur la fin de P1b. Dans l'ensemble l'assemblage montagnard stagne autour de 5,5 %, mais la hausse de *Betula* alliée à la chute de *Fagus* peut traduire un changement dans l'assemblage. Les Ericacées continuent leur ascension et représentent 2,5 % en moyenne sur P1c.

*Quercus pubescens*-type décroît visiblement en comparaison avec P1b et n'est plus enregistré qu'aux alentours de 14,5 % sur cette zone tandis que *Corylus* semble stable autour de 2 %. Dans cette zone, la forêt décidue mésophile (dont *Quercus pubescens*-type est le taxon central) décroît toujours et est enregistrée à 17 % en moyenne.

*Pinus* continue sa chute avec un enregistrement moyen de 9,6 % sur la zone. *Quercus ilex*-type, ainsi que l'assemblage « matorral » qui est majoritairement représenté par ce taxon, stagne autour de 7 %, comme sur la majorité de P1b, les autres taxons, *Phillyrea* et *Cistus* n'étant que ponctuels et sous les 1 % sur cette zone.

*Alnus* et *Salix* stagnent autour de, respectivement, 4,1 et 0,4 % et sont accompagnés, de façon ponctuelle, par *Fraxinus* sous les 0,5 % ainsi que par *Ulmus* et *Vitis* sous les 0,3 % chacun. L'assemblage « forêt alluviale » stagne ainsi à environ 4,9 %. Les Amaranthacées et les hydrophytes stagnent sur cette zone avec un enregistrement respectif de 7,2 % et 2,1 %. Les Poacées sont en hausse, avec une moyenne de 10 %, le double de la zone précédente.

Les cultures et traces d'anthropisation augmentent aussi fortement avec une moyenne de 5,8 % sur la zone. Alors qu'*Artemisia* stagne autour d'une moyenne de 1,4 %, *Plantago* augmente pour atteindre une valeur moyenne de 2 %. Les céréales sont maintenant visibles en continu autour de 0,3 %. Aussi, *Olea*, *Castanea* et *Juglans*, bien qu'oscillant sous la barre des 1 % (sauf *Olea* à 1,8 % sur le niveau 1423 cm), ont un enregistrement régulier.

#### **P1d : niveau 1352 cm (952 cal. BP)**

La zone P1d est particulière car elle n'est composée que d'un niveau : le niveau 1352 cm, soit 952 cal. BP.

Le taux de pollen d'arbre est en baisse par rapport à P1c et a ici un taux de 42,5 % (49,5 % sans Cichorioidées), passant ainsi sous la barre des 50 %. Les Cichorioidées, enregistrées à 12,6 %, restent dans les mêmes proportions qu'en fin de P1.

Alors que *Fagus* reste à 1,9 %, soit aux environs de la fin de la zone précédente, *Betula* et *Abies* descendent tous deux à 0,3 % de représentation. L'assemblage montagnard chute ainsi drastiquement et atteint 2,5 %. Les Ericacées ont un taux de 2,2 % sur cette zone, ce qui correspond environ à leur enregistrement sur P1c. Les Amaranthacées stagnent aussi, avec un taux de 7,6 %.

*Quercus pubescens*-type ainsi que *Corylus* stagnent à respectivement 14,2 % et 2,8 %, soit dans les mêmes proportions qu'en P1c. L'assemblage « forêt décidue mésophile » semble ainsi stagner sur cette zone.

*Pinus* baisse et est aussi moins bien enregistré avec son taux de 4 %. *Cistus* remonte un peu avec 0,6 % tandis que *Quercus ilex*-type baisse à 4,7 %, l'assemblage « matorral » descend donc à 5,3 % d'enregistrement sur cette zone.

L'augmentation de la représentation de *Salix*, à 1,9 % et le retour de *Populus* à 0,6 %, alors qu'*Alnus* stagne à 3,8 %, portent la représentation de la forêt alluviale à 6,3 % sur cette zone. Les Poacées augmentent à 13,6 %.

L'enregistrement des cultures et traces d'anthropisation est doublé sur cette zone par rapport à P1c, avec un taux de 12 %. Cette hausse est portée par l'augmentation de *Plantago* et *Artemisia* à respectivement 6,6 % et 4,1 %, ainsi que par celle des céréales à 0,9 %. En effet, parmi le trio *Olea-Juglans-Castanea*, seul *Olea* est présent avec 0,3 %.

#### **Palynozone 1 : vision d'ensemble de la zone**

En observant l'ensemble de ces sous-zones, nous pouvons observer les grandes modifications des assemblages végétaux.

Sur l'ensemble de la palynozone P1, la proportion des Cichorioidées oscille fortement. En début de séquence, l'enregistrement est de 9,5 %, mais chute rapidement jusqu'à 3 % en fin de P1a, pour remonter ensuite progressivement jusqu'à 12 % en P1c. Ces taux sont les plus bas enregistrés sur le

carottage. La présence très importante des Cichorioidées dans les autres palynozones nous pousse à utiliser aussi les diagrammes « sans Cichorioidées » (figures 33 et 34) afin de fournir des valeurs pouvant être comparées aux zones suivantes.

Sur P1, le milieu est globalement fermé (moyenne de 66 % de pollen d'arbre sur l'ensemble de P1) mais on observe une ouverture progressive du milieu. En effet, le taux de pollen d'arbre passe de 75 % en P1a à 65 % en P1b puis à 56 % en P1c et enfin à 42,5 % en P1d (80 % en P1a, 73.5 % en P1b, 65 % en P1c et 50 % en P1d d'après les valeurs sans Cichorioidées).

L'assemblage montagnard, faiblement enregistré en début de séquence, augmente rapidement sur P1a grâce à l'essor d'*Abies* dès le niveau 1776 cm soit environ 5200 cal. BP et de *Fagus* dès 1755 cm soit environ 4870 cal. BP. Cet assemblage régresse ensuite dès P1b et jusqu'à la fin de la palynozone. *Fagus*, qui chute dès 1603 cm, soit 2540 cal. BP, semble se stabiliser entre 1586 cm (2380 cal. BP) et 1423 cm (1345 cal. BP) puis chute de nouveau. *Abies* se maintient jusqu'au niveau 1574 cm soit 2270 cal. BP environ mais fini par chuter rapidement jusqu'à presque disparaître. *Betula* prend une place relativement importante dans l'assemblage dès 1550 cm (2053 cal. BP), au moment de la chute d'*Abies*, et la conserve. Les Ericacées sont peu présentes en début de diagramme avec une représentation de moins de 1 %. Elles augmentent régulièrement sur la palynozone jusqu'à atteindre 3 % en fin de P1c.

La forêt décidue mésophile apparaît bien implantée dès le début des échantillons à 1851 cm soit 6350 cal. BP, mais décroît progressivement : 29 % en P1a, 23 % en P1b, 17 % en P1c et P1d (31% en P1a, 25,5 % en P1b et 19,5% en P1c et P1d sur les diagrammes sans Cichorioidées). Cet assemblage est dominé par *Quercus pubescens*-type, associé à *Corylus*. On note la présence de *Tilia*, dès le début de la séquence mais ce taxon voit son enregistrement être fortement réduit dès 1776 cm soit 5200 cal. BP.

*Pinus* est important sur cette zone (13 % en moyenne), mais décroît légèrement au fil de la zone. Sur la palynozone P1, l'enregistrement de l'assemblage matorral subit de nombreuses modifications. L'assemblage est enregistré autour de 7 % en début de séquence et augmente régulièrement sur P1a jusqu'à atteindre 12 %. L'enregistrement décroît jusqu'à 5 % au début de P1b puis remonte jusqu'à 11 % à la fin de cette sous-zone, avant de retourner sur une moyenne plus basse de 7,5 % en P1c et de régresser encore un peu à 6 % en P1d. Dans cet assemblage, le chêne vert, *Quercus ilex*-type, est très largement dominant et est le moteur de ces variations.

La forêt alluviale est enregistrée dès le début de la séquence pollinique et semble stationnaire autour de 5 % sur P1. Les Amaranthacées débutent la séquence avec un enregistrement assez élevé : environ 5 % en P1a. Cet enregistrement augmente jusqu'à plus de 10 % (13 % sans Cichorioidées) au milieu de P1b, sur les niveaux 1526-1534 cm soit 1900-1960 cal. BP avant de décroître à 4 % en fin de p1b pour remonter et se stabiliser autour de 7 % sur P1c. Les Poacées, enregistrées autour de 4 % en P1a, augmentent légèrement en P1b (4.5 %) et prennent leur essor en P1c (10 %).

Des traces de cultures et des taxons marqueurs d'anthropisation sont visibles dès le début de la séquence avec un enregistrement stable de 2 % en P1a. Cependant 2 niveaux sortent du lot avec des valeurs de 2,9 % à 1776 cm soit 5200 cal. BP et 4,4 % à 1676 cm soit 3650 cal. BP. Ces niveaux peuvent correspondre à des périodes de plus forte ou plus proche emprise humaine. C'est à partir du début de P1b (niveau 1603 cm soit 2540 cal. BP) que ce groupe prend son essor avec des taux de

3,4 % en P1b, 5,8 % en P1c et même de 12 % sur P1d. Dans ce groupe, les céréales sont présentes ponctuellement dès le début de la séquence, elles ne deviennent récurrentes qu'à partir de 1451 cm soit 1500 cal. BP. De même, *Plantago* n'augmente et ne passe régulièrement au-dessus de 2% qu'à partir du même niveau, alors que ce taxon avoisinait les 1 % précédemment. *Olea*, bien que présent depuis le début de la séquence, ne devient régulier qu'à partir de P1c (niveau 1427 cm soit 1368 cal. BP). *Juglans* et *Castanea*, ponctuels eux aussi, apparaissent dès 1603 cm soit 2540 cal. BP.

### **Palynozone 2 (P2) : 1324 – 349 cm (893 – 303 cal. BP)**

A partir de cette zone, les Cichorioidées sont enregistrées de façon importante (20 % en moyenne sur la zone), ce qui peut témoigner d'une forte dégradation. Ainsi, l'analyse des diagrammes sans Cichorioidées (figures 33 et 34) est faite de façon récurrente pour avoir une meilleure vision des assemblages enregistrés.

#### **P2a : 1324 – 1223 cm (893-834 cal. BP)**

Dans cette première sous zone de P2, on observe une hausse importante des Cichorioidées : 23 % en moyenne.

Le taux de pollen d'arbre sur P2a est de 35,6 %, très inférieur à celui de P1d. Cependant, d'après les données desquelles les Cichorioidées ont été exclues, ce taux est de 49 %, alors que celui de P1d est de 49,5 %.

*Fagus* et *Betula* sont maintenant enregistrés de façon similaire, avec environ 1 % chacun, alors que *Abies* n'apparaît plus que sur le niveau 1252 cm (851 cal. BP) et très faiblement (0,2 %). L'assemblage montagnard reste faiblement enregistré sur P2a (1,9 % en moyenne ou 2,5 % sans Cichorioidées). Les Ericacées augmentent au fil de la zone, leur moyenne est doublée par rapport à P1d (4 % contre 2 % en P1d et 5 % contre 2,5 % en P1d sans Cichorioidées).

En P2a, *Corylus* baisse légèrement (environ 2 %), mais c'est surtout la baisse de *Quercus pubescens*-type (8 % contre 14 % en P1d et 10 % contre 16 % en P1d sans Cichorioidées) qui reflète la décroissance de la forêt décidue mésophile, qui chute sensiblement avec un enregistrement de 10 % et 12,5 % sans Cichorioidées (taux de 19,5 % sans Cichorioidées en P1d).

*Pinus* semble être moins représenté avec un taux moyen de 2,8 % et 3,7 % sans Cichorioidées, contre 4,3 % sans Cichorioidées en P1d. L'enregistrement du chêne vert baisse fortement sur la zone, avec un début à 4,7 % (comme en P1d) puis une baisse à 1,3 % en fin de zone. L'assemblage « matorral », après un début identique à la phase précédente, décroît jusqu'à moins de 2 % en fin de zone. Cette réduction de l'enregistrement étant portée par celle de *Quercus ilex*-type.

Malgré l'enregistrement plus régulier de *Populus*, qui apparaît dans trois niveaux sur les cinq de cette zone, la chute d'*Alnus* (2,4 % en moyenne) sur cette zone implique un moins bon enregistrement de la forêt alluviale (4,6 % ou 6 % sans Cichorioidées contre 7,2 % en P1d). L'enregistrement des Amaranthacées et des Poacées subit quelques petites variations, mais les valeurs moyennes sont du même ordre que dans la phase précédente.

Bien que l'assemblage des cultures et traces d'anthropisation diminue légèrement (8,5 % et 11 % sans Cichorioidées), c'est surtout une transformation de l'enregistrement qui s'opère : *Plantago* et *Artemisia* chutent drastiquement (enregistrements divisés par 2 par rapport à P1d) et sont remplacés par l'augmentation des céréales (moins de 2 %), ainsi que par la réapparition de *Juglans* et surtout *Castanea* et *Olea* qui montent parfois à quelques pourcents.

### **P2b : 1203 – 1103 cm (822-763 cal. BP)**

Dans la zone P2b, l'enregistrement des Cichorioidées reste dans les mêmes proportions que précédemment : 24 %. Le taux de pollen d'arbres reste aussi sensiblement identique à P2a, avec une valeur de 37 % et de 50 % sans Cichorioidées.

L'assemblage montagnard chute encore dans cette zone pour passer sous la barre des 1 % et est représenté uniquement par *Betula* et *Fagus*. Les Ericacées augmentent encore fortement sur cette zone et leur enregistrement est même doublé avec un taux de 8 % (10 % sans Cichorioidées).

*Quercus pubescens*-type est mieux enregistré qu'en P2a et revient à des valeurs proches de P1d avec 13,4 % en moyenne. *Corylus* est très variable, entre 0,3 et 2,2 %. Ainsi, En P2b, la forêt décidue mésophile retrouve une moyenne plus élevée : 14,7 % et 19,5 % sans Cichorioidées.

*Pinus* est enregistré dans les mêmes proportions qu'en P2a. L'affaiblissement de *Quercus ilex*-type à environ 2 % et la disparition de *Phillyrea* entraînent la chute de l'assemblage « matorral », qui passe à 3 % (4 % sans Cichorioidées), malgré la présence régulière de *Cistus*, entre 0,6 et 1,3 %

L'enregistrement de la forêt alluviale est amoindri dans cette zone : elle est deux fois moins représentée qu'en P2a. On note une forte baisse d'*Alnus* (moyenne de 1 %) et la disparition de *Populus* et *Vitis*. On observe une forte baisse des Amaranthacées qui restent à 4 % tout au long de la zone. Les Poacées restent importantes dans cette zone et conservent leur valeur de fin de P2a : 15 % (20 % sans Cichorioidées).

Les cultures et traces d'anthropisation sont autant représentées qu'en P2a. On note cependant une légère hausse de *Plantago*, compensée par la baisse d'*Artemisia*. *Castanea* et *Olea* sont toujours relativement bien enregistrés alors que *Juglans* n'apparaît plus que sur un échantillon.

### **P2c : 1051 – 955 cm (733-677 cal. BP)**

Dans cette zone, les Cichorioidées sont moins visibles, leur enregistrement n'est plus que de moitié (12 %) par rapport à P2b. Le taux de pollen d'arbre de 55 % est bien supérieur à celui de P2b (37 %), le même constat est fait sur les données sans Cichorioidées : 63 % contre 50 % en P2b.

L'assemblage montagnard est mieux enregistré : autour de 2 %. Le retour de *Betula* entre 1 % et 2 % ainsi que celui de *Fagus* autour de 1 % montrent un retour de l'enregistrement de l'assemblage « montagnard », qui est maintenant autour de 2 % après une phase sous les 0,5% en P2b. Dans cette zone, *Betula* semble dominer *Fagus*. Les Ericacées baissent à 4 % en début de zone mais croissent à nouveau pour atteindre 8 % en fin de zone ; soit leur taux sur P2b.

Tandis que *Quercus pubescens*-type reste dans les mêmes proportions que dans la zone précédente (13 %), on observe *Corylus* qui augmente à 3,7 % (1,4 % en P2b). La forêt décidue mésophile remonte ainsi légèrement à 16,9 %.

*Pinus* est aussi mieux enregistré (4,5 %) et retrouve sa valeur de P1d. *Quercus ilex*-type augmente, avec une moyenne de 4,3 % sur la zone et *Cupressus/Juniperus* est enregistré à 1,2 %. L'assemblage « matorral » est enregistrée en hausse, à 6 %.

Dans cette zone, on observe le grand retour de la forêt alluviale avec un taux de 9,6 %. C'est dans cette zone que la forêt alluviale est mieux enregistrée. Dans cet assemblage, *Alnus* est dominant avec 4,5 %, suivi de *Salix* à 3,5 % et est accompagné par *Fraxinus*, *Populus*, *Ulmus* et *Vitis*, tous sous les 1 %.

On note aussi le taux important d'hydrophytes sur cette zone, 7,2 % (8,2 % sans Cichorioidées), alors que cet assemblage ne dépassait pas les 3 % depuis le début de la séquence. Les Amaranthacées sont moins représentées dans cette zone : 2 % en moyenne. En ce qui concerne les Poacées, elles débutent la zone dans les mêmes valeurs qu'en P2b mais chutent jusqu'à 10 % en fin de zone.

Les cultures et traces d'anthropisation régressent à 7,5 % (8,5 % sans Cichorioidées). Alors que les armoises stagnent à 0,6 %, les plantains débutent la zone avec un enregistrement de 2,1 % mais augmentent pour atteindre 5 % en fin de zone. Sur la zone, *Olea* et *Castanea* sont toujours bien présents, de même que les céréales, autour de 1% chacun. *Juglans* est visible à environ 0,6 %.

#### **P2d : 903 – 578 cm (646-455 cal. BP)**

Dans cette zone, les Cichorioidées ont une valeur moyenne de 20 %, ce qui est plus proche de la valeur de P2b que de P2c. Aussi, le taux de pollen d'arbres est de 40 %, 51 % sans Cichorioidées, correspond au taux de P2b.

En P2d, *Betula* et *Fagus* sont tous deux enregistrés à 0,5 % chacun en moyenne, malgré de nombreuses oscillations. On note aussi l'enregistrement ponctuel d'*Abies*, entre 0,3 et 0,7 % sur un tiers des niveaux de la zone. L'assemblage montagnard, dans l'ensemble, reste moins bien enregistré qu'en P2c. Les Ericacées sont bien représentées, autour de 10 %.

*Quercus pubescens*-type, moins bien enregistré que dans les deux zones précédentes, passe ici de plus de 8 % en début de zone à 5 % en fin de zone, tandis que *Corylus* oscille entre 0,6 % et 2,3 %, taux inférieurs à ceux rencontrés en P2c. Ainsi, la forêt décidue mésophile, en moyenne moins bien représentée qu'en P2c, chute régulièrement tout au long de la zone, passant d'environ 10 % à environ 6 % en fin de zone.

*Pinus*, avec 4,7 %, reste dans les proportions de la phase précédente. *Quercus ilex*-type régresse et retourne à environ 2 %, proche des valeurs de P2b. *Cupressus/Juniperus* stagne à 0,8 % et *Cistus* n'est que ponctuel. L'assemblage « matorral » revient à 3 %, comme en P2b.

Dans cette zone, la forêt alluviale est moins enregistrée qu'en P2c et oscille fortement entre 1,5 % et 5 % et est toujours dominée par *Alnus* et *Salix*. Les hydrophytes reprennent des valeurs plus basses dans cette zone, elles varient autour de 4 %, ce qui est inférieur à P2c mais reste supérieur aux zones

précédentes. Les Amaranthacées oscillent, mais restent autour d'une moyenne de 2 %, valeur qui correspond aux valeurs de P2c. Les Poacées ont des valeurs très élevées dans cette zone et balancent autour de 16 %.

Les cultures et traces d'anthropisation ont aussi un taux élevé dans cette zone : 12 % en moyenne (14,6 % sans Cichorioidées). *Plantago* augmente à 5 %, tandis qu'*Artemisia* stagne à 0,5 %. Les céréales sont bien visibles avec 2,5 %. On note aussi un enregistrement important de *Castanea* à 3 % tandis qu'*Olea* reste aux alentours de 1,3 %. *Juglans* reste sous les 0,5 % en moyenne, malgré quelques niveaux où il monte légèrement au-dessus de 1 %.

### **P2e : 549 – 503 cm (438-411 cal. BP)**

En P2e, l'enregistrement des Cichorioidées débute élevé, autour de 24 %, mais chute rapidement à 18,5 %. Le taux de pollen d'arbres à 44% et 56% sans Cichorioidées est légèrement plus élevé qu'en P2d.

Dans cette zone, *Abies* est absent de l'enregistrement, tandis que *Betula* semble prendre l'avantage sur *Fagus* (respectivement 0,7 % et 0,3 % en moyenne). L'ensemble montagnard stagne aux environs de 1 %, comme dans la zone précédente. Les Ericacées sont légèrement mieux enregistrées : environ 12 % (15 % sans Cichorioidées).

En P2e, l'enregistrement de *Quercus pubescens*-type varie fortement, il est de 12 % environ sur le premier niveau puis passe à 6 % sur le deuxième et enfin monte à 17 % sur le dernier niveau. Dans le même temps, *Corylus*, qui n'est pas enregistré sur le premier niveau, passe de 1 à 2,6 % sur les deux derniers niveaux. Le groupe forêt décidue mésophile, bien qu'ayant un enregistrement variable, semble tout de même en légère hausse sur la zone, avec une moyenne de 13 % environ.

L'enregistrement de *Pinus* semble toujours stable, car il oscille autour de 4,2 %, soit autour des mêmes proportions qu'en P2d et P2c. *Quercus ilex*-type, enregistré à 4 % en début de zone, chute à 3 % en fin de zone, tandis que *Cistus*, qui n'est présent que sur ce dernier échantillon de la zone, est à 1,2 %. Ainsi, dans l'ensemble, Le groupe « matorral » est mieux enregistré qu'en P2d, avec un enregistrement autour de 5 %.

La forêt alluviale stagne à 2,5 % et est composée principalement d'*Alnus* (1,5 %). De même, les Amaranthacées se maintiennent à 2 %. Les Poacées restent bien représentées avec 14 % (17,5 % sans Cichorioidées), même si ce taux est inférieur aux valeurs de P2d.

Les cultures et traces d'anthropisation sont en légère baisse par rapport à P2d : elles avoisinent maintenant les 10 % (12,5 % sans Cichorioidées). Les taxons qui composent ce groupe sont dans des proportions proches des zones précédentes (*Plantago* à 5 %, *Artemisia* à 1 %, *Castanea* et *Olea* à 1,3 % chacun), mais *Juglans* devient occasionnel.



**P2f : 458 – 403 cm (385-350 cal. BP)**

Dans cette zone, les Cichorioidées sont en légère baisse : 16 %. Le taux de pollen d'arbre est quant à lui en hausse avec 52 % et 62 % sans Cichorioidées.

En P2f, *Fagus* disparaît et ne sera plus enregistré de la carotte. *Abies*, qui a toujours été enregistré de façon très sporadique, apparaît ici pour la dernière fois, à 0,3 %. *Betula* devient ponctuel et faiblement enregistré (0,4 % sur le niveau où ce taxon apparaît). Dans l'ensemble, les taxons montagnards ne sont quasiment plus enregistrés dès cette zone, seul *Betula* continuant son enregistrement, mais uniquement de façon ponctuelle. Les Ericacées sont bien présentes sur cette zone avec une moyenne de 18 %, mais cela correspond à un premier niveau à 23 % et un second à 13 %. Ce niveau à 23 % semble être extravagant par rapport au niveau suivant et aux valeurs de P2e, cela pourrait être dû au comptage pollinique plutôt qu'à une variation réelle. Si on ne prend pas en compte ce niveau extrême, la valeur de 13 % de bruyères correspond aux valeurs de P2e.

*Quercus pubescens*-type semble osciller autour de 8,5 %, comme en P2e si on ne prend pas en compte le pic à 17 %. Cela pourrait indiquer que ce pic pourrait n'être qu'un artefact résultant du comptage des grains et non pas une réelle variation environnementale. *Corylus* revient à des valeurs plus basses, entre 1 et 2 % tandis que *Tilia* n'est présent que de façon ponctuelle sous les 0,8 %. Malgré le fait que l'assemblage « forêt décidue mésophile » semble stagner autour de 10,1 % (12 % sans Cichorioidées), nous pouvons voir un meilleur enregistrement de la diversité de cet assemblage.

*Pinus* est un peu plus visible avec un taux de 7,2 %. *Quercus ilex*-type continue sa décroissance, de 2,8 % à 1,2 % en fin de zone, ce qui entraîne une moins bonne représentation de l'assemblage « matorral », qui, déjà plus faiblement enregistré qu'en P2e, décroît de 3,6 % en début de zone à 1,7 % en fin de zone.

La forêt alluviale se maintient à 2,4 % mais voit le retour de *Populus* à 0.5 %, tandis qu'*Alnus* passe sous les 1 %. Les Amaranthacées restent autour des valeurs de la zone précédente avec une moyenne de 1,7 %. Les Poacées sont encore en légère baisse par rapport à la zone précédente avec un taux de 11 % (13 % sans Cichorioidées).

Les cultures et traces d'anthropisation sont très bien enregistrées sur cette zone avec un taux de 14,4 % (17 % sans Cichorioidées). Les proportions des différents taxons changent fortement entre les deux niveaux de la zone. Sur le niveau 458 cm (385 cal. BP), la composition de ce groupe correspond approximativement aux niveaux précédents : *Plantago* est un peu élevé à 6,8 %, tandis que les céréales sont enregistrées à 2,2 %, la présence d'*Olea* est attestée à 1 %, ainsi que *Castanea* et *Juglans* à 0,6 % chacun. Sur le niveau 403 cm (350 cal. BP), *Plantago* descend à 3 %, tandis que les céréales augmentent à 4,6 % et *Castanea* atteint 7,8%, les autres taxons étant cohérents par rapport aux valeurs des zones précédentes.

**P2g : niveau 349 cm (303 cal. BP)**

Dans cette palynozone, les Cichorioidées sont très présentes, avec un taux de 26 %, elles sont au-dessus du reste de P2. Le taux de pollen d'arbre est de 28 %, 39 % sans Cichorioidées, ce qui est bien

inférieur au reste de P2 et semble indiquer une ouverture du milieu plus important sur cette fin de palynozone.

Dans cette zone, *Fagus*, *Abies* et *Betula*, et ainsi l'assemblage montagnard, ne sont pas enregistrés. Les Ericacées sont en forte baisse avec un enregistrement de 6,4 % (8,6 % sans Cichorioidées).

En P2g, *Quercus pubescens*-type est enregistré à 9,5 % (13 % sans Cichorioidées), soit un peu plus qu'en P2f si on prend en compte les valeurs sans Cichorioidées. On observe aussi *Corylus* autour de 1 %, et *Tilia* sous les 0,5 %. L'assemblage « forêt décidue mésophile » est enregistrée à 11 %, mais en observant les valeurs sans Cichorioidées, ce groupe semble légèrement mieux enregistré (15 % sans Cichorioidées) que sur le reste de P2 (12 % sans Cichorioidées).

*Pinus* présente un enregistrement faible : 2 % (3 % sans Cichorioidées). Uniquement représenté par *Quercus ilex*-type, le groupe « matorral » continue sa décroissance et n'est plus enregistrée qu'à 0,8 % (1 % sans Cichorioidées) sur cette zone.

La forêt alluviale est légèrement inférieure aux précédents zones (1,6 % ou 2,2 % sans Cichorioidées) et est dominée par *Alnus* (0,8 % et 1,1 % sans Cichorioidées) accompagné par *Salix*, *Ulmus* et *Vitis* (chacun de ces taxons est à 0,3 % / 0,4 % sans Cichorioidées). Les hydrophytes et les Amaranthacées ont ici leur taux le plus élevé du carottage avec respectivement : 13,5 % (18,3 % sans Cichorioidées) et 14 % (19 % sans Cichorioidées). Les Poacées sont légèrement moins représentées (8,5 % et 11,5 % sans Cichorioidées) que sur le reste de P2.

Les cultures et traces d'anthropisation se réduisent aussi avec un enregistrement de 7 % (9,3 % sans Cichorioidées) sur cette zone. On retrouve un assemblage avec *Plantago* dominant (3,4 % et 4,7 % sans Cichorioidées), suivi par *Artemisia* (1,3 % et 1,8 % sans Cichorioidées), des céréales (1,1 % et 1,4 % sans Cichorioidées) puis du groupe *Castanea*, *Juglans* et *Olea*, tous sous les 0,5 % (0,7 % sans Cichorioidées).

## Palynozone 2 : vision d'ensemble de la zone

Dans cette palynozone, les Cichorioidées ont un taux important : environ 20 % en moyenne. Ce taux est plus bas en P2c et sur l'avant dernière zone, P2f mais augmente sur P2g. Pour l'ensemble de la palynozone, cette forte proportion de Cichorioidées peut témoigner d'une dégradation importante du matériel pollinique (Bottema, 1975). Les diagrammes « sans Cichorioidées » permettent cependant de dévoiler les variations des assemblages végétaux.

Entre P2a et P2d (niveaux 1324 cm soit 293 cal. BP et 578 cm soit 455 cal. BP), le taux de pollen d'arbre semble stable aux environs de 50 % (sans Cichorioidées), comme en P1d. Cependant la zone P2c (entre 1051 cm soit 733 cal. BP et 955 cm soit 677 cal. BP) a un taux de pollen d'arbres de 63 % (sans Cichorioidées). En fin de palynozone, dès le niveau 549 cm soit 438 cal. BP, le milieu semble se fermer avec une hausse des taux de pollen d'arbres : 56 % (sans Cichorioidées) en P2e et 62 % (sans Cichorioidées) en P2f, puis se rouvrir en P2g avec un taux de 39 % (sans Cichorioidées).

L'assemblage montagnard voit son enregistrement être drastiquement réduit dès P2a jusqu'à une quasi disparition en P2b, avec *Abies* qui devient ponctuel et visible uniquement sur P2a, P2d et P2f.

Cet assemblage connaît un léger retour en P2c mais rechute ensuite et reste sous les 2 % après P2c. Les Ericacées augmentent fortement sur la zone jusqu'en P2f, passant de 4 % (5 % sans Cichorioidées) en P2a à plus de 13 % (15 % sans Cichorioidées) en P2f, avant de chuter à 6,4 % (8,6 % sans Cichorioidées) sur P2g.

La forêt décidue mésophile débute la palynozone avec un taux de 10 % (12 % sans Cichorioidées), inférieur à P1d. Cet assemblage varie sur P2, ainsi en P2b et P2c, ce taux monte à 20 % sans Cichorioidées sur ces deux zones (respectivement 15 % et 17 % sur les diagrammes totaux), avant de revenir à 10 % en P2d (12 % sans Cichorioidées). En P2e, le taux de 9,3 % est en fait voilé et représente bien une hausse à 16 % sans Cichorioidées. Enfin, cet assemblage revient à 10 % (12 % sans Cichorioidées) en P2f et remonte même à 11 % (15 % sans Cichorioidées) en P2g.

*Pinus*, qui débute la palynozone plus faiblement enregistrés qu'en P1d, semble légèrement augmenter tout au long de P2 jusqu'à sa chute en P2g. L'assemblage matorral semble décroître sur P2, passant d'un peu plus de 4 % (6 % sans Cichorioidées) en P2a à moins de 1 % (1,1 % sans Cichorioidées) en P2g. Cependant, on note un enregistrement un peu supérieur sur les zones P2c et P2e (respectivement 6 %, 7 % sans Cichorioidées et 5 %, 6 % sans Cichorioidées).

La forêt alluviale semble baisser doucement sur la palynozone, passant de 4 % (5 % sans Cichorioidées) en P2a à 1,6 % (2,2 % sans Cichorioidées) en P2g. La zone P2c est particulière avec un enregistrement important : 9,6 % (11 % sans Cichorioidées), lié à une meilleure visibilité d'*Alnus* et *Salix*.

Les Amaranthacées commencent la palynozone avec les mêmes valeurs qu'en P1d (7 %, 9 % sans Cichorioidées) puis chutent à 3,4 % (4,5 % sans Cichorioidées) dès P2b et stagnent autour de 2 % entre P2c et P2f avant de monter à 14 % en P2g. Les hydrophytes restent autour de 2 % (3 % sans Cichorioidées), comme en P1, entre P2a et P2b mais augmentent fortement en P2c à 7 % (8 % sans Cichorioidées) avant de redescendre et de se stabiliser autour de 4 % (5 % sans Cichorioidées) dès P2d. Les Poacées ont leurs taux le plus élevé de la carotte sur cette zone : 14 % (17 % sans Cichorioidées) en moyenne. En début de palynozone, en P2a, le taux de 11 % (14,5 % sans Cichorioidées) correspond à peu près aux valeurs de P1. Les Poacées augmentent à 15 % (20 % sans Cichorioidées) en P2b pour revenir à 13 % (14,5 % sans Cichorioidées) en P2c. En P2d, ce taux remonte à 16 % (20 % sans Cichorioidées) pour ensuite décroître régulièrement jusqu'à 8,5 % (11,5 % sans Cichorioidées) en P2f.

Les cultures et traces d'anthropisation ont aussi, dans cette palynozone, leur taux le plus élevé de la carotte. Malgré quelques variations, ce taux reste entre 8 % et 12 % (9 % et 15 % sans Cichorioidées), hormis pour la zone P2f à 14 % (17 % sans Cichorioidées), dû aux céréales et à *Castanea*. La fin de zone, en P2g, voit aussi une réduction de ce groupe à 7 %, environ 9% sans Cichorioidées. On note, sur P2, un essor de *Castanea* dès le niveau 1223 cm soit 834 cal. BP ainsi qu'une présence pérenne d'*Olea*.

**Palynozone 3 (P3) : 303 – 85 cm (263-74 cal. BP)****P3a : 303 – 207 cm (263-180 cal. BP)**

Dans cette zone, les Cichorioidées deviennent majoritaires avec un taux de 49 % en moyenne. C'est leur taux le plus haut de la carotte. Le taux de pollen d'arbre est de 30 % en moyenne, mais si on regarde ce taux sans les Cichorioidées, il est de 63 %. Il semble donc qu'il ne s'agisse pas d'une réelle ouverture du milieu, mais que les 30 % soient seulement les stigmates de la dégradation importante de l'enregistrement attestée par la forte présence des Cichorioidées. Avec un taux de pollen d'arbre de 63 % sans Cichorioidées, on pourrait même deviner le retour de la strate arborée au niveau de la fin de la palynozone P2, avant la phase P2g.

Dans cette zone, *Betula* est faiblement enregistré (0,3 % et 0,7 % sans Cichorioidées) et représente seul l'assemblage montagnard. Les Ericacées ont, sur cette zone, leur taux le plus élevé de la carotte : 13,4 % (26 % sans Cichorioidées).

*Quercus pubescens*-type chute au cours de la zone mais est complété par *Corylus* et *Tilia* qui augmentent en fin de zone. Ainsi l'assemblage « forêt décidue mésophile » semble baisser (6,2 % en moyenne) mais, d'après les valeurs sans Cichorioidées, l'enregistrement est de 12,5 %, juste légèrement inférieur à P2g (15 % sans Cichorioidées) et reste dans les valeurs de P2f (12 % sans Cichorioidées).

*Pinus* retrouve un enregistrement important en début de zone (7,5 % et 13,2 % sans Cichorioidées) mais chute jusqu'à 3,2 % (8,8 % sans Cichorioidées) en fin de zone. *Quercus ilex*-type se maintient entre 0,3 et 0,9 % et est complété par *Cistus* et *Cupressus/Juniperus* de façon ponctuelle. L'assemblage « matorral » est légèrement plus visible qu'en P2g, avec 1,1 % et 2 % sans Cichorioidées en moyenne.

La forêt alluviale est enregistrée à 1,6 % (2,8 % sans Cichorioidées) en début de zone, soit un peu au-dessus de P2g et dans les mêmes valeurs que P2f. Elle chute cependant à 0,3 % (0,8 % sans Cichorioidées) en fin de zone. Cette baisse est due à celle d'*Alnus* et à la disparition des taxons autre qu'*Alnus* en fin de zone. Les hydrophytes régressent et ne sont enregistrés qu'à 3,5 % (7 % sans Cichorioidées). Les Amaranthacées reprennent une valeur proche de la fin de P2 : 1,8 % et 3,5 % sans Cichorioidées. Les Poacées, avec un taux de 5 % ou 10 % sans Cichorioidées, ne sont que légèrement en dessous de leur représentation en P2g.

Les cultures et traces d'anthropisation sont enregistrées à 5,1 % sur le diagramme simplifié réduit mais à 9,6 % sur les diagrammes sans Cichorioidées, c'est-à-dire dans les mêmes proportions qu'en P2g. Cependant, cet assemblage semble décroître régulièrement au cours de la zone, passant de 12,4 % sans Cichorioidées à 6,4 % sans Cichorioidées. *Plantago lanceolata*-type est important dans cet assemblage (5,7 % en moyenne sans Cichorioidées), mais semble décroître, de 9,6 % à 3,2 % sans Cichorioidées, et être le responsable de la chute de l'assemblage sur la zone. Les céréales, présentes aux alentours de 0,7 % sans Cichorioidées, sont légèrement inférieures aux valeurs des zones précédentes. *Artemisia* disparaît en fin de zone.

**P3b : 143 – 85 cm (124-74 cal. BP)**

Bien qu'en dessous de P3a, les Cichorioidées sont encore très importantes sur cette zone avec un taux de 40 %. Le taux de pollen arboréen est en forte baisse : 20 et 39 % sans Cichorioidées, soit dans les mêmes proportions qu'en P2g.

L'enregistrement de *Betula* semble stagner (environ 1 % sans Cichorioidées) et reste le seul représentant de l'assemblage montagnard. Les Ericacées diminuent à 6,7 % (11,4 % sans Cichorioidées).

*Quercus pubescens*-type, moins enregistré que sur les zones précédentes, semble stagner autour de 1,8 % (2,8 % sans Cichorioidées). Aussi la forêt décidue mésophile a drastiquement diminué par rapport aux zones précédentes mais semble se stabiliser autour de 2,6 % (4,4 % sans Cichorioidées).

*Pinus* continue sa chute entamée en P3a pour terminer à 3,1 % sans Cichorioidées en fin de zone. Le groupe matorral est en hausse avec un taux de 2,5 % (4,1 % sans Cichorioidées), malgré le fait qu'on ne l'enregistre qu'à travers *Quercus ilex*-type.

La forêt alluviale est enregistrée uniquement en début de zone et très faiblement à travers *Alnus* (0,6 % et 1 % sans Cichorioidées). Les hydrophytes sont un peu mieux enregistrées qu'en P3a avec un taux de 5,7 % (9,6 % sans Cichorioidées). Les Amaranthacées sont en revanche assez élevées : 4,3 % et 7,3 % sans Cichorioidées en moyenne. Dans cette zone, les Poacées reviennent en force et commencent à 7,4 % (12,6 % sans Cichorioidées) pour finir à 11 % (18,4 % sans Cichorioidées).

Les cultures et traces d'anthropisation reviennent à un niveau stable de 5,3 % (8,3 % sans Cichorioidées) avec *Plantago lanceolata*-type assez élevé (3,7 % et 6,2 % sans Cichorioidées), les céréales à 1,2 % (2,1 % sans Cichorioidées) en début de zone et 0,3 % (0,5 % sans Cichorioidées) en fin de zone. *Castanea* est bien présent avec 0,6 % (1 % sans Cichorioidées) en début de zone et 1,2 % (2 % sans Cichorioidées) en fin de zone. *Juglans* n'est présent qu'occasionnellement à environ 0,3 % (0,5 % sans Cichorioidées) et *Olea* n'est plus visible sur cette zone.

### Palynozone 3 : vision d'ensemble de la zone

Sur l'ensemble de la palynozone 3, les Cichorioidées sont très élevées, mais diminuent de 49 % en P3a à 40 % en P3b. L'enregistrement pollinique de cette palynozone peut être considéré comme fortement dégradé. Le taux de pollen d'arbre diminue fortement, passant de 30 % (63 % sans Cichorioidées) en P3a à 20 % (39 % sans Cichorioidées) en P3b.

L'étage montagnard reste faiblement enregistré dans cette palynozone avec moins de 1 % (2 % sans Cichorioidées) et est uniquement représenté par *Betula*. Les Ericacées sont très élevées en P3a (13 % et 26 % sans Cichorioidées), mais diminuent en P3b (7 % et 11 % sans Cichorioidées).

La forêt décidue mésophile semble se réduire fortement avec un enregistrement de 11 % (15 % sans Cichorioidées) en P2g, 6 % (12,5 % sans Cichorioidées) en P3a et 2,5 % (4,5 % sans Cichorioidées) en P3b.

Le groupe matorral semble au contraire en hausse depuis P2g avec des valeurs de 0,8 % (1 % sans Cichorioidées) en P2g, 1,1 % (2 % sans Cichorioidées) en P3a et 2,5 % (4 % sans Cichorioidées) en P3b.

La forêt alluviale, faiblement enregistrée depuis P2g, diminue sur la zone jusqu'à disparaître en fin de P3b. Le taux des Amaranthacées en P3 est bien inférieure à celui de P2g (14 % et 19 % sans Cichorioidées) mais augmentent pour passer de 1,8 % (3,5 % sans Cichorioidées) en P3a à 4,3 % (7,3 % sans Cichorioidées) en P3b. Les hydrophytes fonctionnent de même, passant de 3,5 % (7 % sans Cichorioidées) en P3a à 5,7 % (9,6 % sans Cichorioidées) en P3b. Les Poacées commencent la zone très bas (5 % et 10 % sans Cichorioidées en P3a) mais augmentent et atteignent 9,2 % (15,2 % sans Cichorioidées) en P3b.

Les cultures et traces d'anthropisation, bien que plus faiblement enregistrées que sur l'ensemble de P2, stagnent depuis P2g.

#### 1.4. Palynomorphes non polliniques et autres informations

Nous présentons, en figure 35, des informations découlant des comptages polliniques mais n'apparaissant pas dans les diagrammes. Ces éléments sont les palynomorphes non polliniques (des micro-organismes ressemblant aux grains de pollen, mais provenant d'une autre origine), le taux de grains indéterminés, le nombre de taxons différents identifiés, la concentration pollinique (le nombre de grains de pollen par cm<sup>3</sup> dans le sédiment) et l'influx pollinique (le nombre de grains de pollen déposés par cm<sup>2</sup> et par an).

Les palynomorphes non polliniques identifiées dans le carottage BVA03 et présentés ici sont des micro-organismes aquatiques, des eucaryotes unicellulaires dont les différentes espèces peuvent apporter des indications sur l'écologie du milieu de dépôt. Ils ont été recensés dans les échantillons, car présents en fortes quantités dans certains niveaux. Parmi ces palynomorphes non polliniques, nous avons distingué et compté deux types de dinoflagellés et une espèce de foraminifères. Les dinoflagellés rencontrés dans nos échantillons ont pu être identifiés, avec l'aide de Célia Beaudouin et d'un atlas de référence (Head et al., 1993), comme *Spiniferites* et *Lingulodinium machaerophorum*. *L. machaerophorum* est une espèce côtière plutôt euryhaline, présente dans les régions tropicales et tempérées, acceptant une gamme de salinité de 16,9 à 36,7 et une température de surface de la mer en été (summer SST) supérieure à 10-12°C (Marret & Zonneveld, 2003 ; Zonneveld et al., 2013). Le deuxième type de dinoflagellés n'a pu être identifié qu'au niveau du genre *Spiniferites*. Il s'agit d'un genre de dinoflagellés marins se rencontrant dans des eaux polyhalines à euhalines. Les restes de foraminifères rencontrés dans les échantillons ont été attribués à l'espèce *Ammonia beccarii*. Le foraminifère *Ammonia beccarii* vit dans des eaux oligohalines à mésohalines et caractérise des plans d'eau saumâtre alimentés par un fleuve (Court-Picon et al., 2010).

Dans cette figure, les courbes correspondant à ces palynomorphes non polliniques représentent la concentration en nombre d'individus rencontrés par cm<sup>3</sup> sur chaque échantillon.

Le dinoflagellé *Lingulodinium machaerophorum* est irrégulièrement enregistré entre la base de la carotte et 1620 cm, mais son abondance oscille autour d'une moyenne de 4 800 individus/cm<sup>3</sup>. À partir de 1620 cm, on observe une réduction régulière du nombre de *L. machaerophorum* jusqu'à sa quasi-disparition à 1000 cm. Par la suite, ce dinoflagellé sera présent uniquement de façon ponctuelle et toujours sous les 100 individus/cm<sup>3</sup>.

Le dinoflagellé *Spiniferites* est bien enregistré sur le niveau basal (plus de 13 000 individus par cm<sup>3</sup>). Entre 1800 et 1525 cm, il y a régression régulière de l'enregistrement, passant d'environ 3 000 individus/cm<sup>3</sup> à moins de 2 000, hormis un niveau, à 1603 cm, qui présente plus de 13 000 individus/cm<sup>3</sup>. Entre 1500 et 1250 cm, ce dinoflagellé est mieux enregistré, mais est en baisse sur cette phase, d'environ 10 000 individus/cm<sup>3</sup> à environ 3000. Entre 1250 et 1100 cm de profondeur, il y a une réduction importante de l'enregistrement, avec une quasi-disparition à 1150 cm. Les *Spiniferites* disparaissent définitivement de la carotte à 900 cm.

Les deux dinoflagellés ayant une écologie assez semblable (vivant tous deux dans des eaux saumâtres ou salées), nous avons créé la courbe « dinoflagellés » qui représente la somme des dinoflagellés identifiés afin d'avoir une idée de l'évolution globale du milieu, en terme de salinité, plutôt que d'un possible remplacement écologique au sein du même milieu.

Sur cette courbe, nous remarquons une première phase, entre la base de la carotte et 1525 cm dans laquelle le nombre total de dinoflagellés chute légèrement au fil de la zone. S'ensuit une phase, entre 1525 et 1100 cm, dans laquelle les dinoflagellés, bien que mieux représentés que dans la phase précédente, du moins en début de cette nouvelle phase, vont régresser jusqu'à presque disparaître à 1100 cm.

Le foraminifère *Ammonia beccarii* est présent en dents de scie entre la base du carottage et 1400 cm et oscillent autour de la moyenne de 1 700 individus/cm<sup>3</sup>. Une petite zone, autour de 1550 cm semble présenter une régression de la présence des foraminifères sur quelques niveaux. Entre 1400 et 1300 cm, une diminution rapide du nombre d'individus se fait ressentir, passant de 2 800 individus/m<sup>3</sup> environ à moins de 300. Entre 1300 et 850 cm, on note une régression plus lente et une disparition des foraminifères après 850 cm.

En ce qui concerne le pourcentage de grains de pollen indéterminés lors des comptages polliniques, il est globalement stable entre la base du carottage et 500 cm avec une moyenne de 13%, malgré de nombreuses oscillations. Entre 500 et 300 cm, il y a une meilleure visibilité des grains : les indéterminés tombent sous les 10%. À partir de 300 cm, il y a une augmentation constante du taux d'indéterminés, qui passe au-dessus des 20% à 150 cm de profondeur et atteint 35% sur les niveaux sommitaux, traduisant la dégradation plus importante des grains de pollen dans les niveaux supérieurs, comme déjà évoquée par la forte présence des Cichorioidées (Bottema, 1975 ; Coûteaux, 1977 ; Hall, 1981 ; Havinga, 1984 ; Lebreton et al., 2017)

La richesse pollinique (nombre de taxons identifiés) est relativement stable, oscillant entre 20 et 30 taxons, tout au long de la carotte BVA03,. Cependant, dès 400 cm, on observe une diminution progressive du nombre de taxons, qui chute même sous les 20 à partir de 200 cm.

La concentration pollinique est en dents de scie entre la base de la carotte et 1400 cm. On note cependant une légère augmentation sur cette phase, la concentration passant d'environ 18 000 grains/cm<sup>3</sup> sur les premiers niveaux à une moyenne de 28 000 grains/cm<sup>3</sup> sur les derniers niveaux avant 1400 cm de profondeur. Entre 1400 et 955 cm de profondeur, on observe une légère régression de la concentration pollinique jusqu'à environ 13 000 grains/cm<sup>3</sup> sur les derniers niveaux de cette phase, hormis pour un pic au niveau 1203 cm à plus de 45 000 grains/cm<sup>3</sup>. À partir de 955 cm et jusqu'à 403 cm de profondeur, la concentration pollinique oscille entre 6 000 et 34 000 grains/cm<sup>3</sup>, mais la tendance générale ne semble pas être à la hausse ni à la baisse et suggère plutôt

une stagnation autour d'une moyenne de 20 000 grains/cm<sup>3</sup>. On observe un niveau très riche, à 774 cm de profondeur, avec une concentration pollinique de plus de 54 000 grains/cm<sup>3</sup>. Entre 403 et 207 cm de profondeur, la concentration pollinique se réduit et passe sous les 8 000 puis sous les 4 000 grains/cm<sup>3</sup> sur les derniers niveaux de cette phase. Enfin, sur les derniers échantillons de la carotte, les niveaux à 143 et 85 cm de profondeur, la concentration pollinique semble stagner légèrement en dessous de 8 000 grains/cm<sup>3</sup>.

De la base de la carotte à 1660 cm de profondeur, l'influx pollinique est faible, avec moins de 2 000 grains/cm<sup>2</sup>/an. Entre 1660 et 1350 cm de profondeur, l'influx est en légère hausse mais reste entre 2 000 et 8 000 grains/cm<sup>2</sup>/an. À partir de 1350 cm et jusqu'à 1200 cm de profondeur, on note une augmentation importante de l'influx pollinique, avec environ 35000 grains/cm<sup>2</sup>/an autour de 1300 cm de profondeur jusqu'à environ 78 000 grains/cm<sup>2</sup>/an à 1200 cm de profondeur. On observe ensuite, entre 1200 et 1100 cm de profondeur, une réduction importante de l'influx pollinique jusqu'à 10 000 grains/cm<sup>2</sup>/an à 1100 cm. Entre 1100 et 780 cm de profondeur, une croissance irrégulière de l'influx se fait ressentir. Entre 780 et 500 cm de profondeur, on observe une stagnation générale de l'influx autour de 35 000 grains/cm<sup>2</sup>/an, malgré des valeurs très irrégulières. À partir de 500 cm de profondeur, l'influx pollinique décroît régulièrement jusqu'aux derniers échantillons de la carotte.



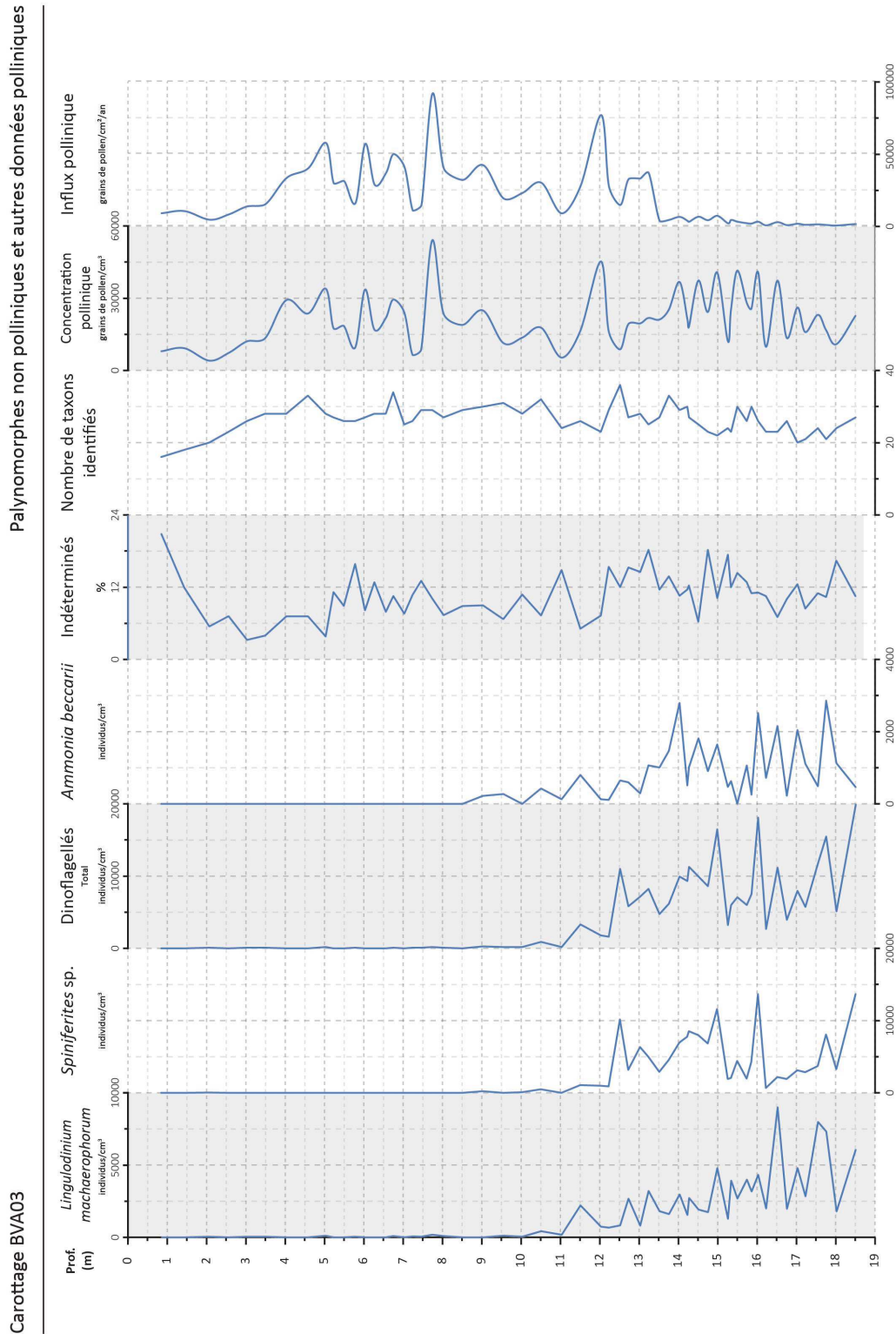


Figure 35. Palynomorphes non polliniques et autres données polliniques, carotte BVA03

### 1.5. Données de géochimie élémentaire (XRF)

Les résultats des mesures XRF effectuées sur le carottage BVA03 sont présentés en figure 36.

Les éléments chimiques présentés ont été sélectionnés car ils sont caractéristiques de certains milieux, permettant d'identifier le type d'apport, et ont été catégorisés en apport marin ou terrestre (comprenant les apports éoliens ou fluviaux).

L'iode (I), élément principalement en solution dans l'eau de mer, ne se trouve en quantité sous forme solide (et terrestre) que dans certaines régions du monde, principalement au Chili et au Japon. Il n'y a pas de références d'enregistrement d'iode solide en contexte continental en Europe. Cet élément, dans nos carottages languedociens, permet ainsi d'identifier un apport marin (National Minerals Information Center, 2011).

Les éléments soufre (S), strontium (Sr), calcium (Ca) et chlore (Cl) sont habituellement acceptés comme indicateurs d'apports marins et permettront ici d'affiner cette influence (Chagué-Goff, 2010 ; Chagué-Goff & Fyfe, 1996 ; Chen et al., 1997 ; Höbig et al., 2012 ; Lim et al., 2014 ; Mulot, 2014).

Pour les éléments marqueurs d'apports terrestres, nous présentons les courbes du rubidium (Rb), du potassium (K), du titane (Ti), du plomb (Pb) et du fer (Fe) (Degeai et al., 2015 ; Höbig et al., 2012 ; Martinez-Ruiz et al., 2015).

Le baryum (Ba), bien que d'origine plutôt marine, est utilisé ici comme marqueur de milieu estuarien, car il précipite plus facilement en présence d'un mélange d'eau douce et d'eau salée. (Chen et al., 1997).

Cependant, la granulométrie du sédiment impactant la concentration des éléments chimiques (Chagué-Goff, 2010), il est courant de normaliser les courbes avec l'aluminium (Al) (Martinez-Ruiz et al., 2015). Dans nos analyses, l'aluminium n'a pas été enregistré et ne permet donc pas cette normalisation. Afin de vérifier les variations enregistrées, nous avons complété les graphiques des éléments seuls par des rapports entre éléments, permettant d'obtenir des modifications plus marquées résultant de la variation conjointe de plusieurs éléments chimiques.

Le rapport Sr/Ba, qui lie le strontium (Sr) d'origine marine au baryum (Ba), permet de caractériser des milieux d'enregistrement marins avec des valeurs élevées et plutôt estuariens avec des valeurs faibles.

Le rapport S/K est utilisé comme marqueur d'apport marin ; en effet, étant un marqueur de salinité du milieu, ce rapport permet d'identifier une tendance plus marine (lorsque les valeurs sont élevées) ou plus fluviale (valeurs faibles) du milieu de dépôt du sédiment (López-Buendía et al., 1999).

Les rapports Rb/Sr (rubidium/strontium) et K/Ca (potassium/calcium) permettent de mettre en évidence les variations d'apports en liant un élément d'origine terrestre (Rb et K) à un d'origine marine (Sr et Ca). Ces deux rapports peuvent aussi caractériser des phases d'aridification ou d'érosion importantes (Höbig et al., 2012 ; Jin et al., 2006)

Les deux rapports Sr/Ba et S/K ont été placés avec les marqueurs d'apports marins car ils indiquent une tendance marine lors de fortes valeurs, comme les autres éléments de cette catégorie, tandis

que de fortes valeurs des rapports Rb/Sr et K/Ca indiquent un apport plus terrestre et sont donc présentés avec les éléments marqueurs d'apports terrigènes.

L'élément manganèse (Mn) a été ajouté, car il est marqueur de l'oxygénation du milieu, des valeurs basses indiquant un milieu anoxique tandis que des valeurs hautes identifient un milieu riche en oxygène (Martinez-Ruiz et al., 2015).

Les courbes produites sont les moyennes lissées sur 9 points des valeurs brutes, afin d'atténuer les extrêmes et les aléas d'enregistrement. Les droites rouges indiquent la valeur moyenne des courbes sur l'ensemble du carottage.

Sur cette figure, 6 grandes phases ont été identifiées et sont signalées en tons de gris. Des phases plus réduites et plus marquées sont surlignées en bleu (lorsque les apports marins sont majoritaires) ou en marron (lorsque les apports terrestres sont dominants).

### **Zone XRF 1 (X1) : 2100 – 1990 cm**

La première zone XRF est marquée par des valeurs faibles et stables sur la majorité des éléments chimiques présentés. Le rubidium et le potassium, des témoins d'apports terrigènes ont ici leur taux le plus bas du carottage. Parmi les éléments d'origine marine, seuls le calcium et le chlore sont au-dessus de leur moyenne. Les valeurs des éléments marins sont plus proches de leur moyenne que les éléments terrestres.

Bien que n'ayant pas de témoins élevés des apports marins, la faiblesse des apports terrestres et le faible taux de baryum suggèrent un milieu sous influence marine.

Dans cette zone, qui correspond à peu près à la zone lithostratigraphique U1, il n'y a pas d'analyse pollinique, les échantillons prélevés en dessous de 1900 cm s'étant révélés stériles. Le faible taux de manganèse suggérant un milieu peu oxygéné, la stérilité des échantillons ne peut pas être expliquée par une oxydation des grains de pollen.

Aucune datation absolue précise ne peut être proposée pour cette zone qui est en dehors du modèle d'âge. On sait juste qu'elle est antérieure à 6850 cal. BP (1890 cm).

### **Zone XRF 2 (X2) : 1990 – 1615 cm**

En regardant la zone X2 dans son ensemble, on observe que les marqueurs terrestres augmentent régulièrement, de même que le baryum. Les éléments marins sont cependant très présents et la plupart ont ici leur taux le plus fort de la carotte. Les éléments marins présentent aussi des variations importantes et permettent d'identifier plusieurs phases.

En début de zone et jusqu'à environ 1960 cm, on note une augmentation importante de plusieurs marqueurs marins (iode, strontium, calcium et Sr/Ba), tandis que les autres marqueurs marins stagnent ou subissent une légère baisse. Les éléments terrestres stagnent, hormis le rubidium et le potassium qui augmentent.

Entre 1960 cm et 1860 cm, bien que la majorité des marqueurs terrestres augmentent doucement, les valeurs des éléments marins iode et strontium ainsi que du rapport Sr/Ba sont très élevées. Cela semble traduire une influence marine dominante.

Entre 1860 cm et 1770 cm environ (soit entre 6480 et 5100 cal. BP environ), on observe une chute importante de tous les éléments marins (hormis S et S/K), tandis qu'un pic de valeurs élevées est remarquable sur les éléments terrestres, notamment sur Rb/Sr et K/Ca et Ti. Cela pourrait représenter une phase avec une influence terrestre plus marquée.

Ensuite et jusqu'à la fin de la phase, entre 1770 cm et 1615 cm (5100 – 2710 cal. BP), les éléments marins (iode, strontium, chlore et Sr/Ba) ont des valeurs élevées, tandis que les marqueurs terrestres stagnent à des valeurs inférieures à la phase précédente, traduisant un retour d'une importante influence marine.

Ces deux dernières sous phases correspondent à la palynozone P1a.

Cette alternance de phases ne voile cependant pas une tendance générale sur la zone : l'augmentation progressive de l'influence terrestre. Cette zone pourrait ainsi correspondre à un milieu plutôt marin, mais en cours d'estuarisation, comme l'augmentation du baryum semble le suggérer.

### **Zone XRF 3 (X3) : 1615 – 1215 cm**

Lors de la phase X3, les éléments terrestres continuent leur augmentation légère et progressive, tandis que les éléments marins décroissent doucement, seul le soufre (et donc le rapport S/K) ne suit pas cette logique.

On note, un essor important du plomb entre 1545 et 1500 environ (soit entre 2020 et 1770 cal. BP environ) puis une régression lente jusqu'à la fin de la zone.

On observe aussi des épisodes courts plus marqués par un type d'apport. Ainsi entre 1615 et 1600 (2700 – 2500 cal. BP) puis entre 1520 et 1505 (1880 – 1770 cal. BP), les apports terrestres sont plus élevés tandis que les apports marins ont un pic de valeurs faibles. Inversement, entre 1600 et 1590 (2500 – 2420 cal. BP) ainsi qu'entre 1320 et 1305 (890 – 880 cal. BP), une augmentation des valeurs des éléments marins se fait sentir parallèlement à une chute des valeurs des éléments terrestres.

Cette zone poursuit la tendance de la zone précédente : l'augmentation de l'influence terrestre. Les épisodes courts peuvent traduire des phases pour lesquelles un type d'influence est plus marqué ou, dans le cas des plus réduits, des événements ponctuels.

Le manganèse a des valeurs assez élevées entre 1600 et 1500 cm, dans la palynozone P1b.

### **Zone XRF 4 (X4) : 1215 – 975 cm**

En zone X4, la majorité des éléments, d'origines terrestre comme marine, semblent stagner. Les marqueurs terrestres Rb/Sr et K/Ca semblent décroître très légèrement, mais aucun élément marin

ne semble avoir d'augmentation significative en parallèle. Cela peut traduire un milieu stable, plutôt de type estuarien, car les influences marine et terrestre sont enregistrées.

#### **Zone XRF 5 (X5) : 975 – 650 cm**

En début de zone X5, les apports terrestres semblent montrer une petite augmentation, qui n'est cependant pas associée à une baisse des marqueurs marins. Sur l'ensemble de la zone, on observe une légère décroissance des éléments terrestres, mais le fait le plus flagrant est l'instabilité de tous les éléments, chaque courbe subissant plus de micro variations que dans les zones précédentes.

Les éléments marins, qui semblent stagner, subissent aussi de nombreuses micro-variations, seul le strontium semblant échapper à cet effet. Ces variations apparaissent surtout à partir de 850 cm (615 cal. BP), dans la deuxième moitié de X5.

On note, durant X5, de nombreux épisodes courts plus marqués par un type d'apport. Les épisodes plutôt marins semblent majoritaires dans cette phase.

#### **Zone XRF 6 (X6) : 650 – 0 cm**

En X6, les éléments marins sont stables et ne présentent que peu de variations. Les apports terrestres, même s'ils stagnent dans l'ensemble, ont des variations importantes et fréquentes. Cependant ces variations ne semblent pas souvent concorder avec celles des éléments marins. On observe une phase plus marine entre 410 et 450 cm (380 – 356 cal. BP) et d'autres événements plus ponctuels, en majorité plus terrestres. A partir de 400 cm, le baryum, bien que subissant toujours de nombreuses variations, oscille autour d'une moyenne plus élevée qu'en début de zone et même que sur le reste de la carotte, indiquant une zone estuarienne plus propice à sa décantation, peut-être plus lagunaire.

Dans l'ensemble, ces données XRF semblent nous indiquer un milieu plus influencé par les apports marins sous 1600 cm (environ 2500 cal. BP), puis une tendance à la stabilisation en zone estuarienne mais conservant toutefois des épisodes plus marins ou terrestres assez marqués.

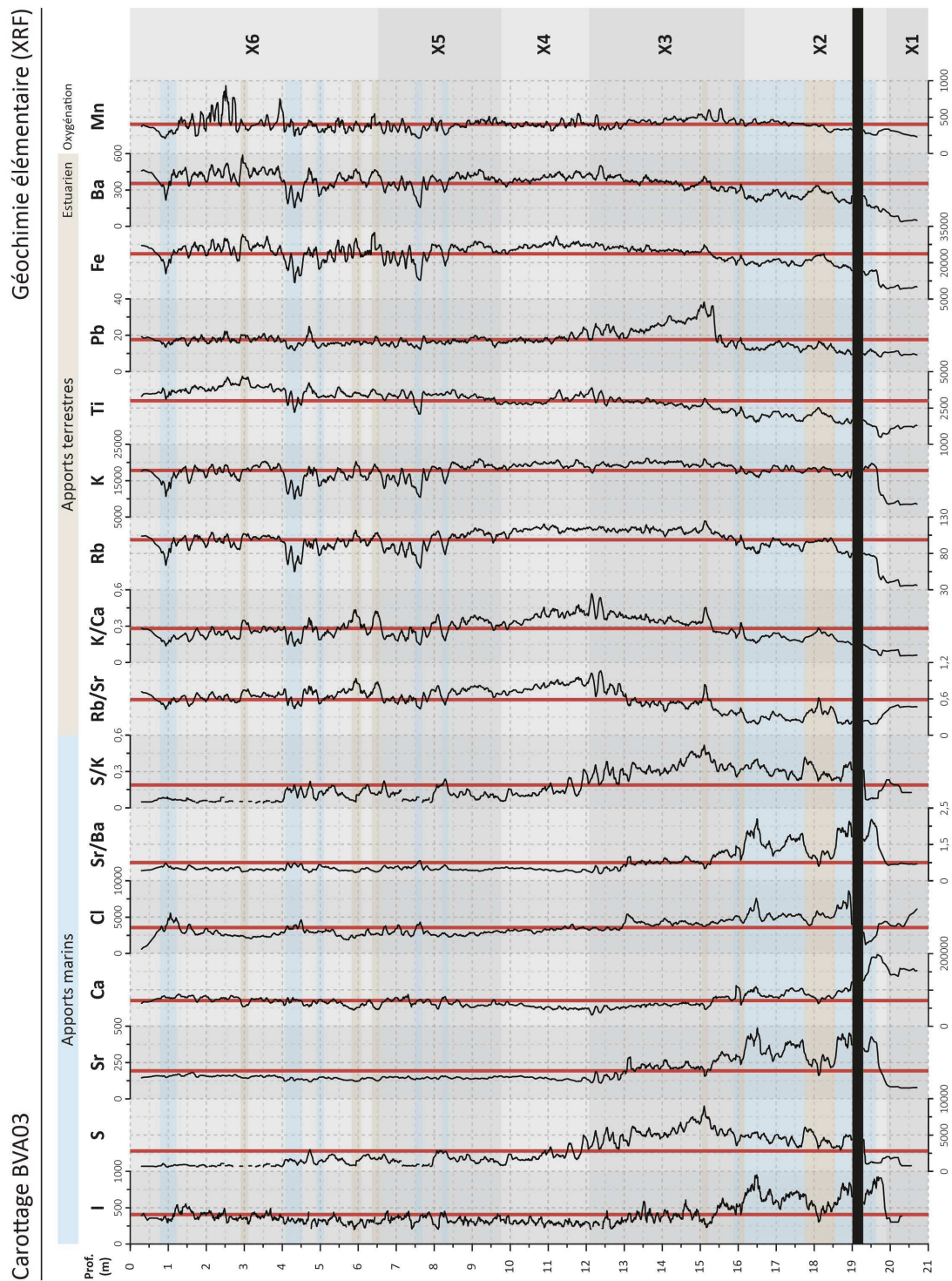


Figure 36. Géochimie élémentaire (XRF) de la carotte BVA03

## 2. Le carottage B1 - Agde

### 2.1. Lithostratigraphie

L'étude de la lithostratigraphie du carottage B1 révèle 7 unités (figure 37). En U1, entre 1100 cm et 1068 cm, on trouve des sables fins gris-vert sombre, avec inclusion de coquilles laguno-marine. En U2, entre 1068 cm et 1026 cm, se trouvent toujours des sables fins mais dans une matrice plus fine, limoneuse, de même couleur qu'en U1. En U3, entre 1026 et 900 cm, on observe des argiles de couleurs variées dans les tons gris-vert avec des inclusions de débris végétaux. En U4, entre 900 et 800 cm, il y a une alternance de lits de sables fins et de lits d'argiles de couleurs variées dont l'épaisseur va de quelques centimètres à 20 cm environ. Les lits d'argiles présentent quelques coquilles laguno-marines. En U5, entre 800 et 788 cm se trouve une petite phase de sables grossiers gris-rouge clair. En U6, entre 788 et 744 cm, le sédiment, de même couleur qu'en U5, est composé de sables moyens.

En U7, entre 744 et 0 cm, on observe une matrice argileuse globalement homogène mais avec présence de lits et de petites variations. Ainsi entre 744 et 646 cm, la matrice gris-vert comporte de nombreuses coquilles laguno-marines. Entre 646 et 622 cm, la matrice gris-beige révèle la présence de matière organique et de marques d'oxydation ; des débris végétaux sont visibles au sommet de cette phase. Entre 622 et 448 cm, la couleur de la matrice oscille entre gris jaune et gris rouge, avec une phase gris vert. Des coquilles laguno-marines diffuses sont présentes dans la phase. On note aussi la présence de matière organique en début de phase et de marques d'oxydation dans la seconde moitié de la phase. Aussi, des coquilles laguno-marines forment un lit au niveau 588 cm. Entre 448 et 410 cm, la matrice argileuse passe du brun-gris au gris rouge et on observe la présence de matière organique diffuse. Entre 410 et 267 cm, la matrice reste gris-rouge ; de la matière organique et des coquilles laguno marines sont présentes au sommet de la phase. Un lit de coquilles terrestres dans une matrice grise est à noter entre 381 et 376 cm. Entre 267 et 244 cm, la matrice devient brune avec présence de débris végétaux. En fin, de 244 à 0 cm, la matrice revient à une couleur gris-rouge puis passe au brun-rouge vers 90 cm. On note la présence rare de coquilles laguno-marines dans cette phase.

Carottage B1

Log stratigraphique

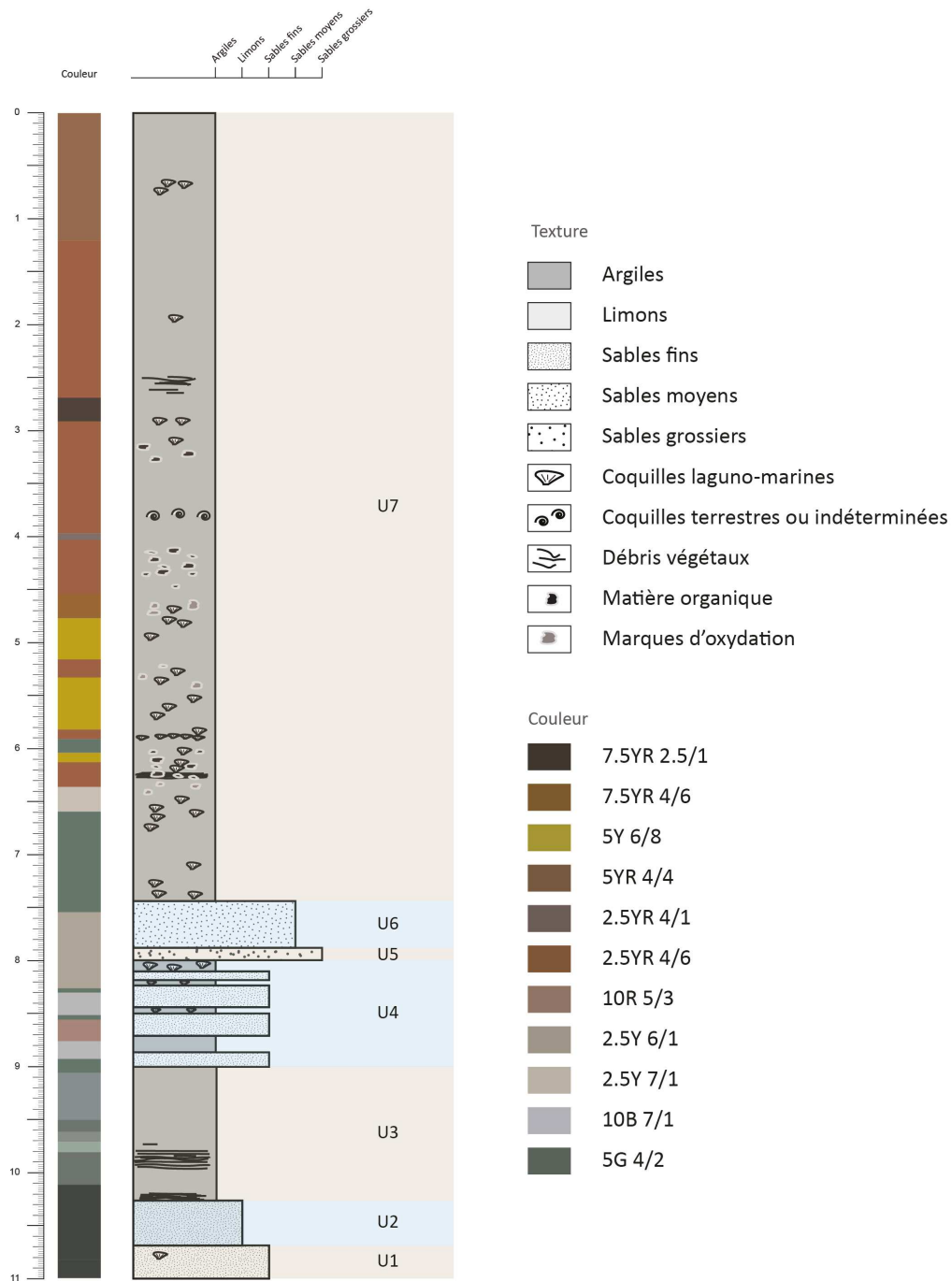


Figure 37. Lithostratigraphie de la carotte B1



## 2.2. Datations et modèle d'âge

L'ensemble des dates obtenues sur le carottage B1 est présenté dans le tableau 2. De nombreuses dates reposant sur des coquilles d'origine laguno-marine, une correction de l'âge réservoir local a dû être réalisée. Dans une étude sur les paléo-tempêtes reposant sur la même carotte B1, une évaluation de cette variation locale de l'âge réservoir a été établie (Degeai et al., 2015). Pour cela, plusieurs éléments ont été pris en compte :

- la comparaison entre les dates à 60 cm et 75 cm de profondeur avec l'âge d'émergence des terres au point de carottage,
- la comparaison entre certaines dates obtenues sur du matériel continental (bois ou charbon) et laguno-marin (coquilles) stratigraphiquement proches,
- l'âge réservoir de  $600 \pm 49$  ans à la date radiocarbone de  $2935 \pm 35$  BP indiqué pour l'étang de Thau par Court-Picon *et al.* (2010).

Il a été établi que l'âge réservoir de l'étang du Bagnas varie considérablement sur la séquence étudiée. Ainsi, la variation locale de l'âge réservoir augmente de  $644 \pm 49$  ans à 847,5 cm de profondeur à  $728 \pm 49$  ans à 382,5 cm de profondeur, pour ensuite s'élever jusqu'à  $1580 \pm 56$  ans vers le sommet de la carotte (Degeai et al., 2015).

Le modèle d'âge proposé (figure 38) repose sur celui établi par Degeai *et al.* (2015) pour ce même carottage, auquel nous avons ajouté une datation sur graine de luzerne (*Medicago* sp.) à 1020 cm de profondeur pour compléter la chronologie à la base du carottage.

Sur le modèle d'âge proposé, la ligne rouge verticale représente la date d'émergence des terres au niveau de la zone de carottage, entre 1774 et 1821 AD selon les archives du canal royal en Languedoc (actuel canal du Midi) et du cadastre napoléonien (Degeai et al., 2015).

Dans ce modèle d'âge, nous pouvons identifier 5 chronozones (notées C) montrant des variations importantes du taux d'accumulation sédimentaire (TAS) au cours du temps (figure 39) :

En C1 (1020 – 805 cm ; 7606–1763 cal. BP), la sédimentation est lente, de l'ordre de 0,4 mm/an en moyenne, avec une première phase entre 1020 et 877 cm (7606 – 3217 cal. BP) à 0,3 mm/an suivie d'une légère augmentation à 0,8 mm/an entre 847,5 cm et 805 cm de profondeur (2312 – 1763 cal. BP). En C2, entre 800 et 485 cm (1699 – 1316 cal. BP), le taux de sédimentation passe à 8,2 mm/an. En C3, entre 480 cm et 344 cm (1310 – 408 cal. BP), ce taux s'affaiblit et n'est plus que de 1,5 mm/an. Entre 329 cm et 60 cm (311 – 156 cal. BP), en C4, la sédimentation devient importante avec 17,3 mm/an. Enfin, au-dessus de 50 cm (150 cal. BP – actuel), en C5, un taux de sédimentation de 3,3 mm/an peut être proposé.

Carottage B1

Datations

Profondeur (cm)	Nature de l'échantillon	Type	Code échantillon	Code laboratoire	Dates brutes (BP)	±	R	R±	Courbe de calibration	Dates calibrées (cal B.P.)	±
60	Coquille	Pavicardium exiguum	B1.69	Lyon-11181	1620	30	1483	49	Marine13 2σ	142,5	138,5
75	Coquille	Pavicardium exiguum	B1.68B	Lyon-11180	1720	40	1580	56	Marine13 2σ	142	140
235	Bois	indéterminé	B1.62	Lyon-11169	120	30	0	0	Intcal13 2σ	141	130
252,5	Bois	indéterminé	B1.61	Lyon-11168	95	30	0	0	Intcal13 2σ	143,5	123,5
265	Bois	indéterminé	B1.60	Lyon-11167	170	35	0	0	Intcal13 2σ	147,5	146,5
275	Coquille	Pavicardium exiguum	B1.59	Lyon-11179	1370	35	1162	49	Marine13 2σ	155	154
365	Charbon	indéterminé	B1.56	Lyon-11166	555	35	0	0	Intcal13 2σ	580,5	63,5
382,5	Coquille	Pavicardium exiguum	B1.55	Lyon-11178	1350	35	728	49	Marine13 2σ	604,5	55,5
480	Coquille	Pavicardium exiguum	B1.51	Lyon-11177	1995	30	690	49	Marine13 2σ	1341,5	31,5
690	Coquille	Pavicardium exiguum	B1.41	Lyon-11173	2240	30	676	49	Marine13 2σ	1450	115
805	Coquille	Pavicardium exiguum	B1.36	Lyon-11172	2480	35	662	49	Marine13 2σ	1728	155
847,5	Coquille	Pavicardium exiguum	B1.32	Lyon-11171	2780	30	644	49	Marine13 2σ	2151	161
1020	Graine	Medicago sp. (Luzerne)	B1.10	Lyon-11164	6855	45	0	0	Intcal13 2σ	7698	92

Tableau 2. Datations obtenues et calibration, carotte B1

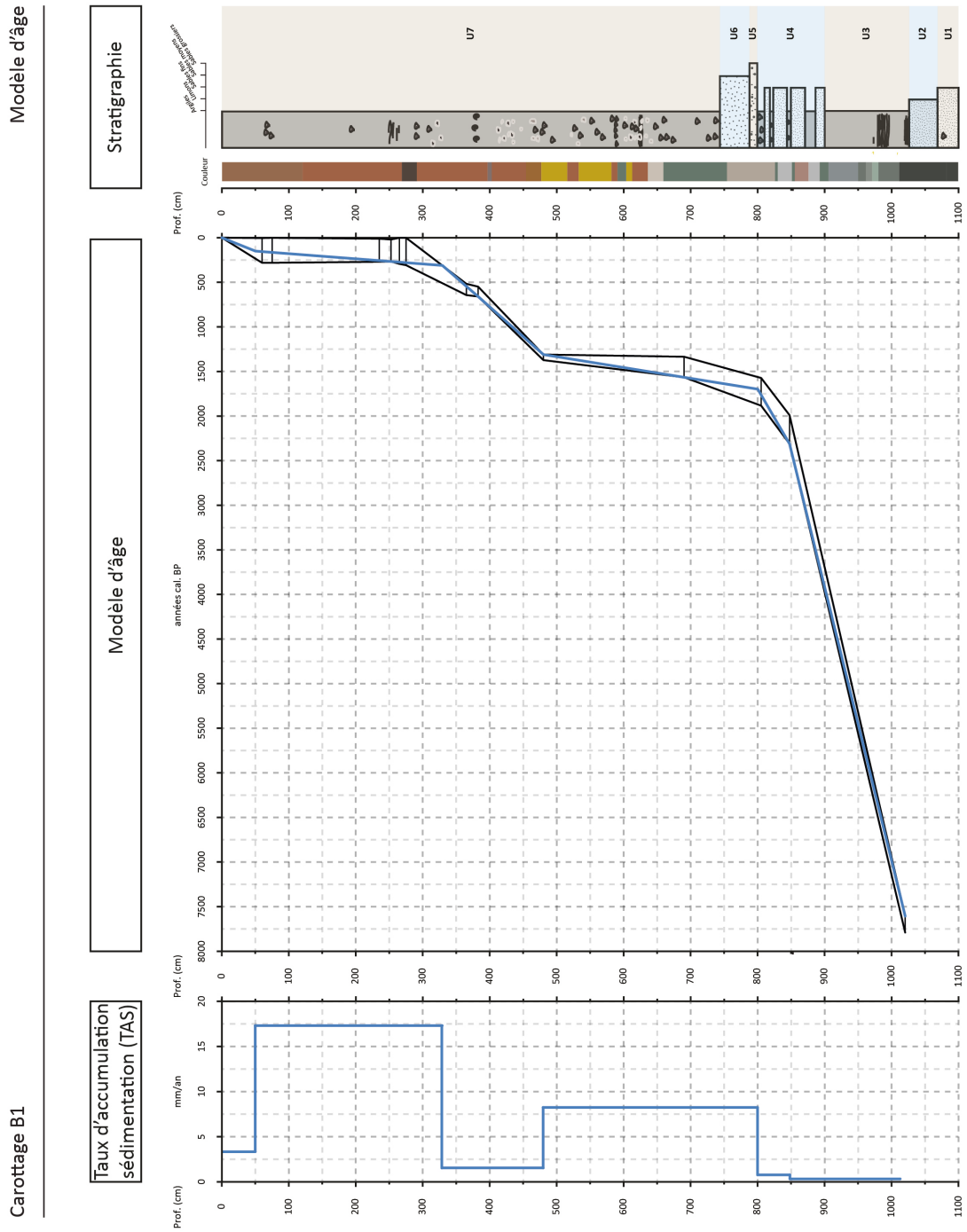


Figure 38. Modèle âge-profondeur de la carotte B1

Carottage B1

Détails sur le taux d'accumulation sédimentaire

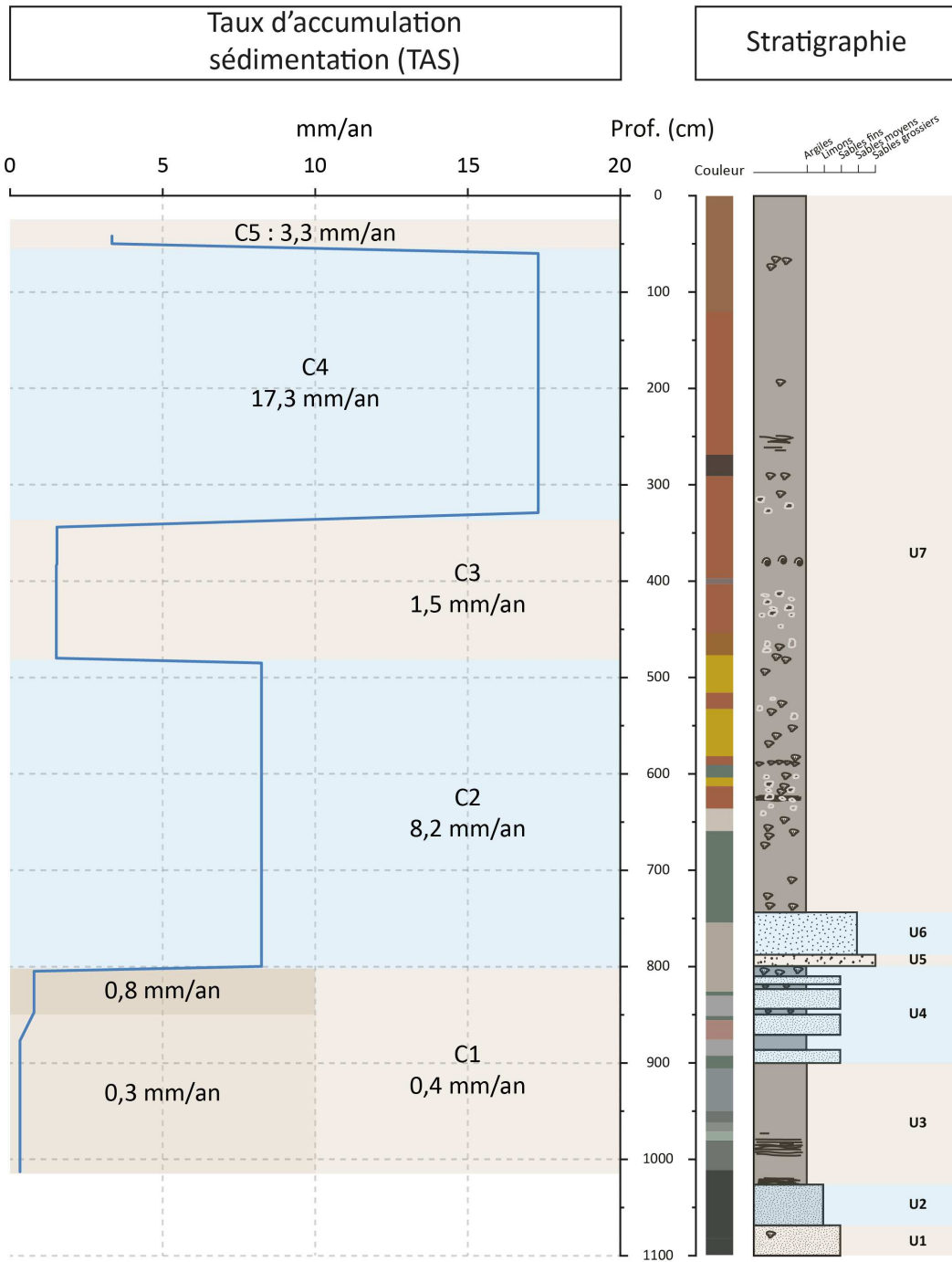


Figure 39. Détail sur le taux d'accumulation sédimentaire (TAS) de la carotte B1

### 2.3. Diagrammes polliniques et détermination des palynozones

Comme pour le carottage BVA03, la zonation des diagrammes polliniques issus des données de B1 a été réalisée à l'aide d'analyses statistiques afin de faciliter la présentation et la compréhension des dynamiques de végétation.

Les analyses statistiques de la carotte B1 reposent sur les données des comptages polliniques de cette carotte, c'est-à-dire sur les 36 échantillons analysés sur l'ensemble de la carotte, dont 8 très pauvres en grains de pollen. Ces 8 niveaux (784, 765, 710, 645, 485, 454, 424 et 292 cm) ne sont pas pris en compte dans les diagrammes polliniques car non représentatifs, mais peuvent être utiles pour les analyses statistiques.

Ainsi, les classifications hiérarchiques ascendantes (CHA) effectuées permettent la comparaison entre les données totales (CHA 1, figure 40) et celles desquelles ont été supprimées les échantillons pauvres (CHA 2, figures 41). Ces CHA, effectuées en *paired groups* selon la distance de Chord et contrainte par la profondeur des échantillons, montrent une première séparation des échantillons en 4 groupes. Sur les deux ensembles de données, les groupes 4 et 3 sont identiques et comprennent les échantillons suivants : 42 à 324 cm pour le groupe 4, et 344 cm à 384 cm pour le groupe 3. La différence entre ces deux CHA est que celle comprenant l'ensemble des données (B1 CHA 1) comprend dans le groupe 2 uniquement le niveau 404 cm et dans le groupe 1 les échantillons de 424 à 1093 cm, alors que la CHA sans les niveaux pauvres (B1 CHA 2) propose un groupe 2 composé des niveaux 404 et 505 cm, et un groupe 1 allant de 555 à 1093 cm.

Ensuite, la CHA incluant les échantillons trop pauvres sépare les niveaux basaux (1093 à 555 cm) du niveau 505 et du groupe 485 à 424 cm, ce dernier groupe étant composé uniquement d'échantillons pauvres. On retrouve ainsi une configuration assez semblable à celle de la CHA sans les niveaux pauvres. Aussi, le groupe 1c de la CHA totale (niveaux 424 à 485 cm) ne comprend que des échantillons pauvres. Sans ce groupe, la CHA 2 écarte le niveau 505 cm en le rapprochant du niveau 404 cm.

Pour compléter ces analyses, des analyses factorielles des correspondances (AFC) ont été effectuées. Comme pour les CHA, deux AFC sont présentées, une sur les données totales (AFC 1, figure 42) et la seconde sur les données desquelles ont été supprimés les échantillons pauvres (AFC 2, figure 43). On remarque tout d'abord que les deux AFC séparent de même trois grands groupes : un premier composé des niveaux 344 cm, 364 cm et 384 cm, soit la zone 3 des CHA ; un deuxième composé des niveaux 42 cm à 505 cm (à l'exclusion du groupe précédent), correspondant aux groupe 4 et 2 de la CHA 2. Pour le troisième groupe, l'AFC 2 inclut les niveaux 555 cm à 1093 cm mais exclut le niveau 615 cm, tandis que l'AFC 1 inclut tous ces niveaux et leur ajoute les niveaux pauvres. Cependant, même sur cette AFC 1, le niveau 615 cm semble un peu à l'écart et est séparé du reste du groupe par des échantillons pauvres. On note toutefois, d'après ces informations, que les groupes identifiés sur la CHA sont respectés, et bien que les groupes 2 et 4 des CHA soient dans un même ensemble, le groupe 3 des CHA ressort largement. De même, le groupe 1 de la CHA est ici dans un même ensemble duquel seul le niveau 615 cm semble être un peu à l'écart.

Ces deux types d'analyses donnant largement les mêmes informations, nous pouvons utiliser les CHA pour effectuer la zonation des échantillons polliniques. Comme les échantillons stériles ou trop pauvres ne peuvent être utilisés dans le diagramme, nous utiliserons la CHA 2 pour cette zonation.

Outre les 4 zones identifiées, nous utilisons les séparations suivantes qui segmentent les zones 1 et 4, les zones comprenant le plus d'échantillons. Ainsi, la CHA 2 nous indique, en deuxième séparation, 3 sous-zones dans le groupe 1 et sépare les niveaux 1093 à 807 cm du niveau 615 cm ainsi que des niveaux de 600 à 555 cm. Cet isolement du niveau 615 cm correspond à ce que nous avons remarqué sur l'AFC 2. Ensuite, en troisième intention, la CHA 2 sépare, dans le groupe 4, les niveaux 324 à 255 cm du niveau 224 cm et du groupe basal, de 204 à 42 cm. Dans les AFC, ce niveau isolé à 224 cm semble en effet légèrement du reste de son groupe, et ce, uniquement sur l'axe 2.

Ainsi, d'après ces analyses, les données polliniques du carottage B1 sont classées en 4 palynozones dont les bornes correspondent aux niveaux analysés inclus dans ces zones :

- Palynozone 1 : 1093 – 555cm (3 sous-zones)
  - P1a : 1093 – 807 cm
  - P1b : 615 cm
  - P1c : 600 – 555 cm
- Palynozone 2 : 505 – 404 cm
- Palynozone 3 : 384 – 344 cm
- Palynozone 4 : 324 – 42 cm (3 sous-zones)
  - P4a : 324 – 255 cm
  - P4b : 224 cm
  - P4c : 204 – 42 cm

Comme pour la carotte BVA03, certaines sous-zones ne contiennent que peu voire un seul échantillon. Ces niveaux sont présentés isolés et non intégrés à des zones adjacentes afin de bien mettre en évidence leurs particularités et ne pas polluer les niveaux adjacents par leurs spécificités que nous traiterons plus loin.

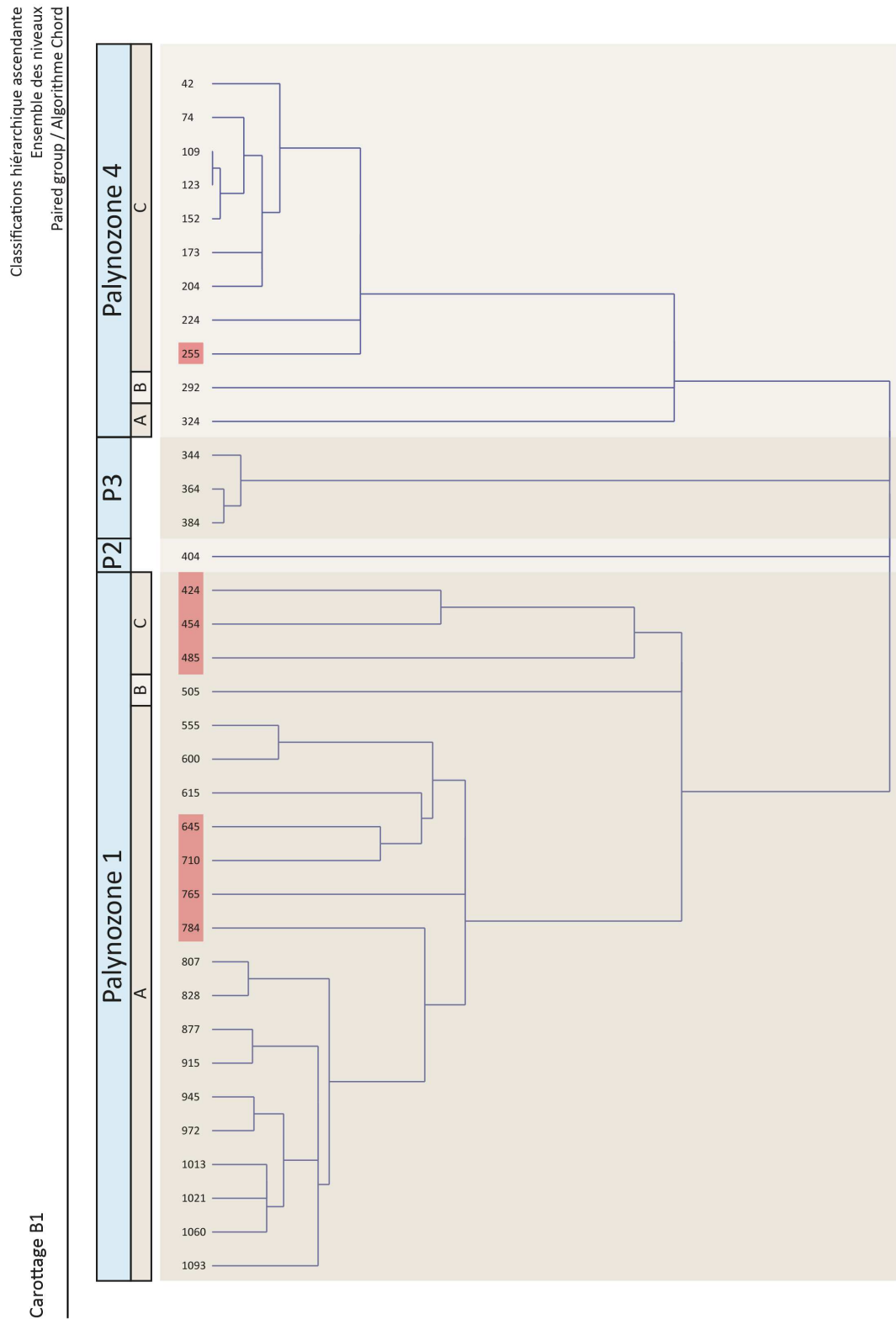


Figure 40. Classification hiérarchique ascendante (CHA), ensemble des niveaux, carotte B1

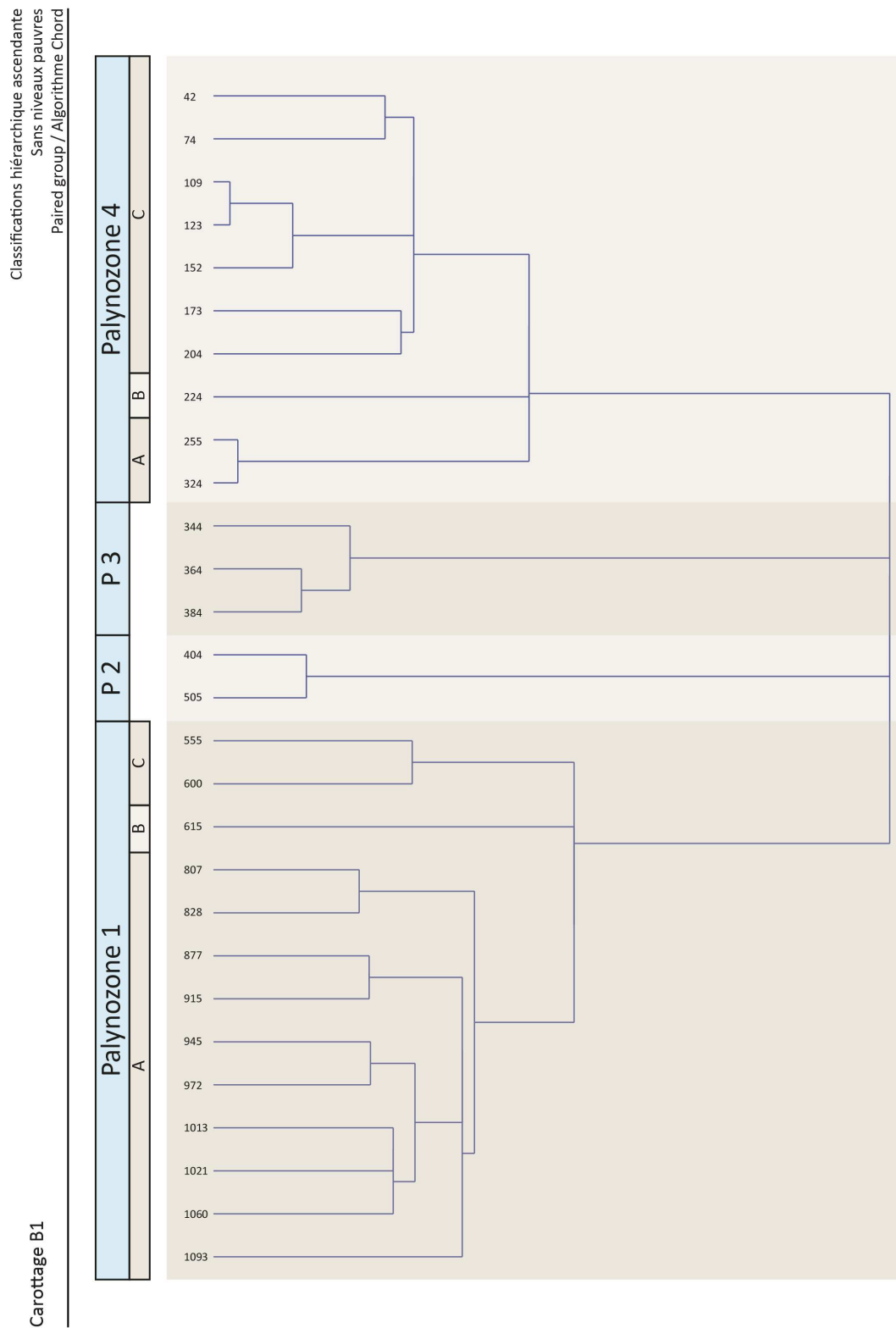


Figure 41. Classification hiérarchique ascendante (CHA), niveaux pauvres exclus, carotte B1



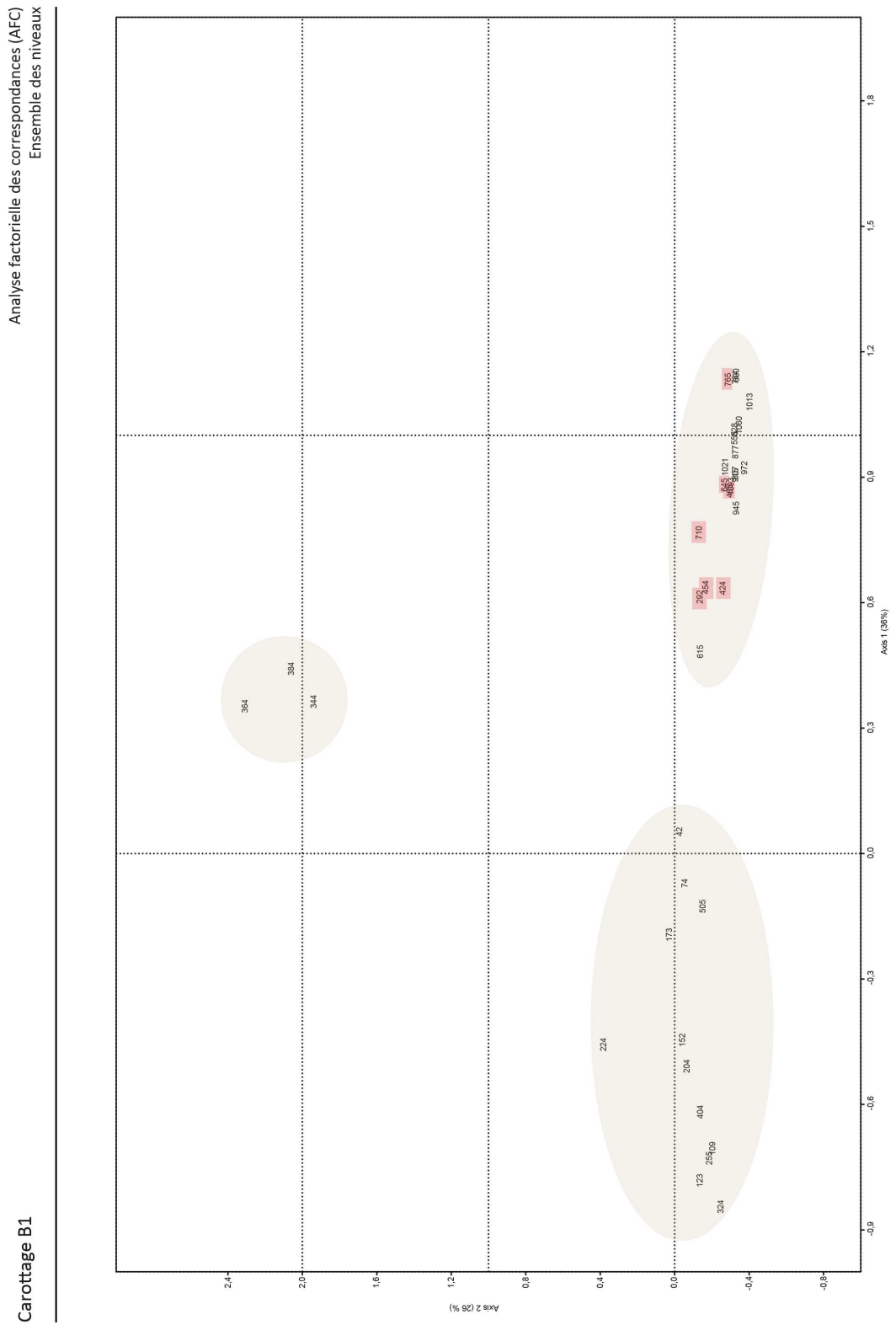


Figure 42. Analyse factorielle des correspondances (AFC), ensemble des niveaux, carotte B1



Figure 43. Analyse factorielle des correspondances (AFC), niveaux trop pauvres exclus, carotte B1

Carottage B1

Diagramme pollinique  
Simplifié  
Ensemble des données

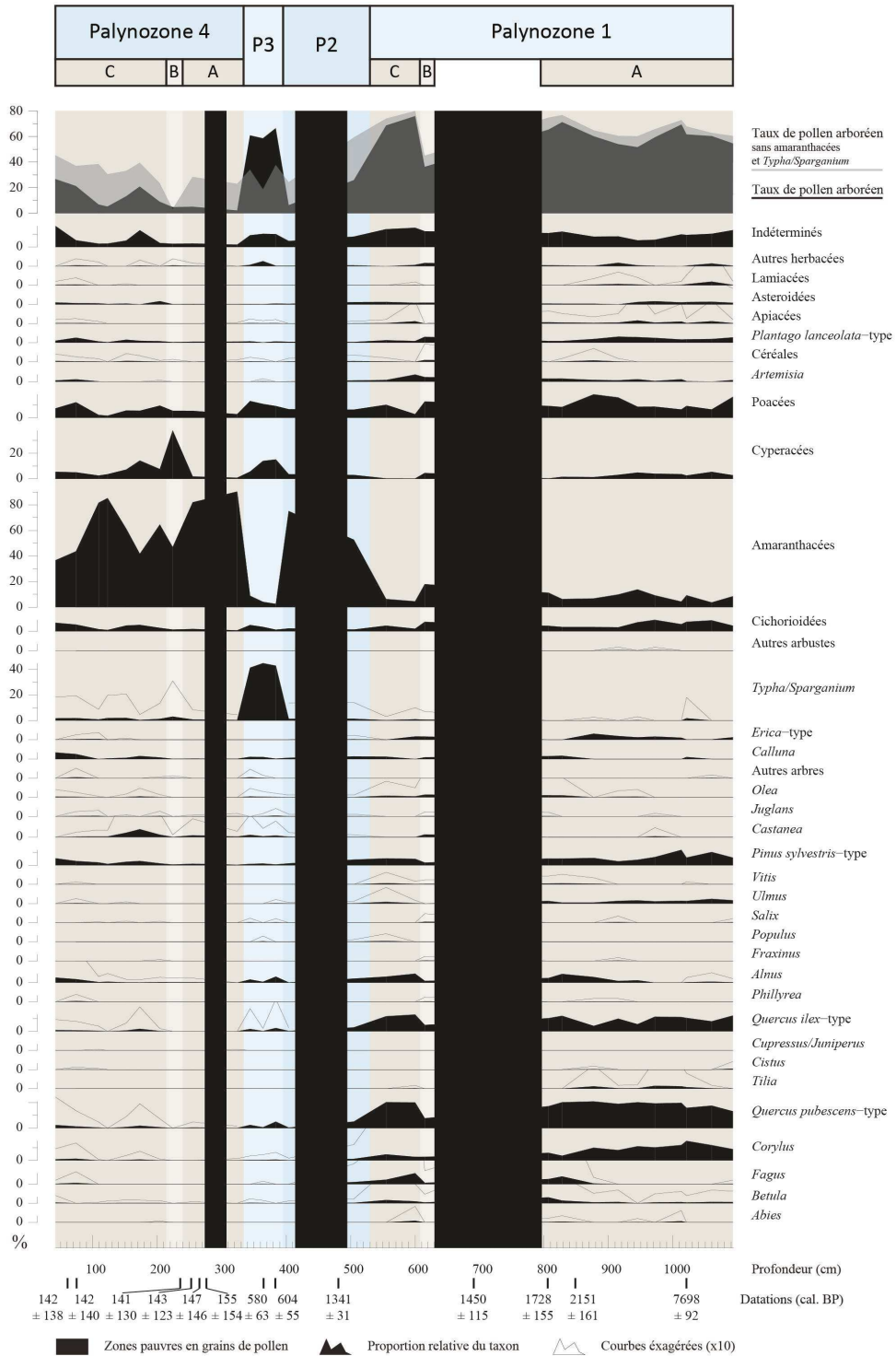


Figure 44. Diagramme pollinique simplifié de la carotte B1

Carottage B1

Diagramme pollinique  
Simplifié réduit  
Ensemble des données

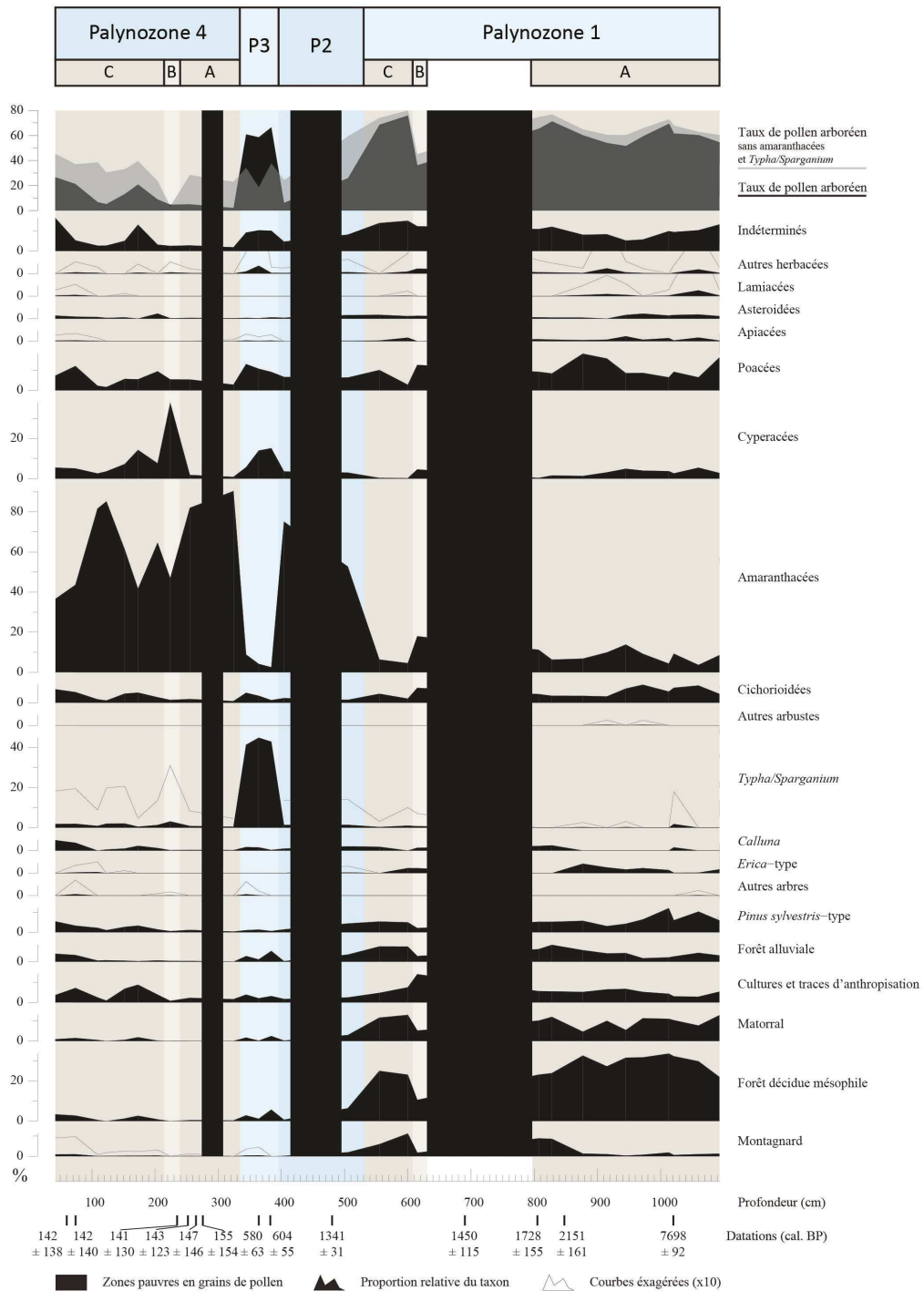


Figure 45. Diagramme pollinique simplifié réduit de la carotte B1

Carottage B1

Diagramme pollinique  
Simplifié  
Sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*

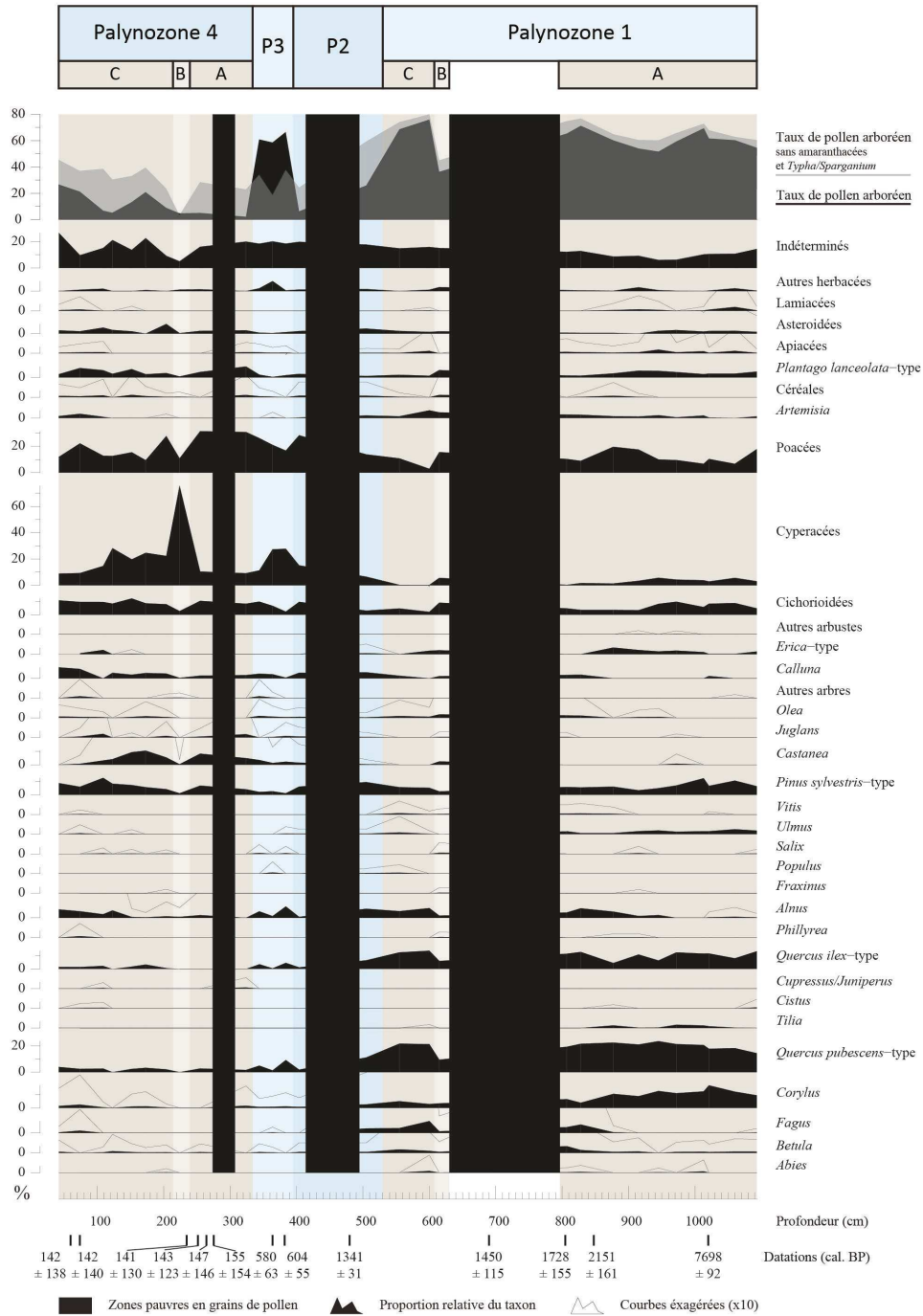


Figure 46. Diagramme pollinique simplifié, Amaranthacées et *Typha/Sparganium* exclus, carotte B1

Carottage B1

Diagramme pollinique  
Simplifié réduit  
Sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*

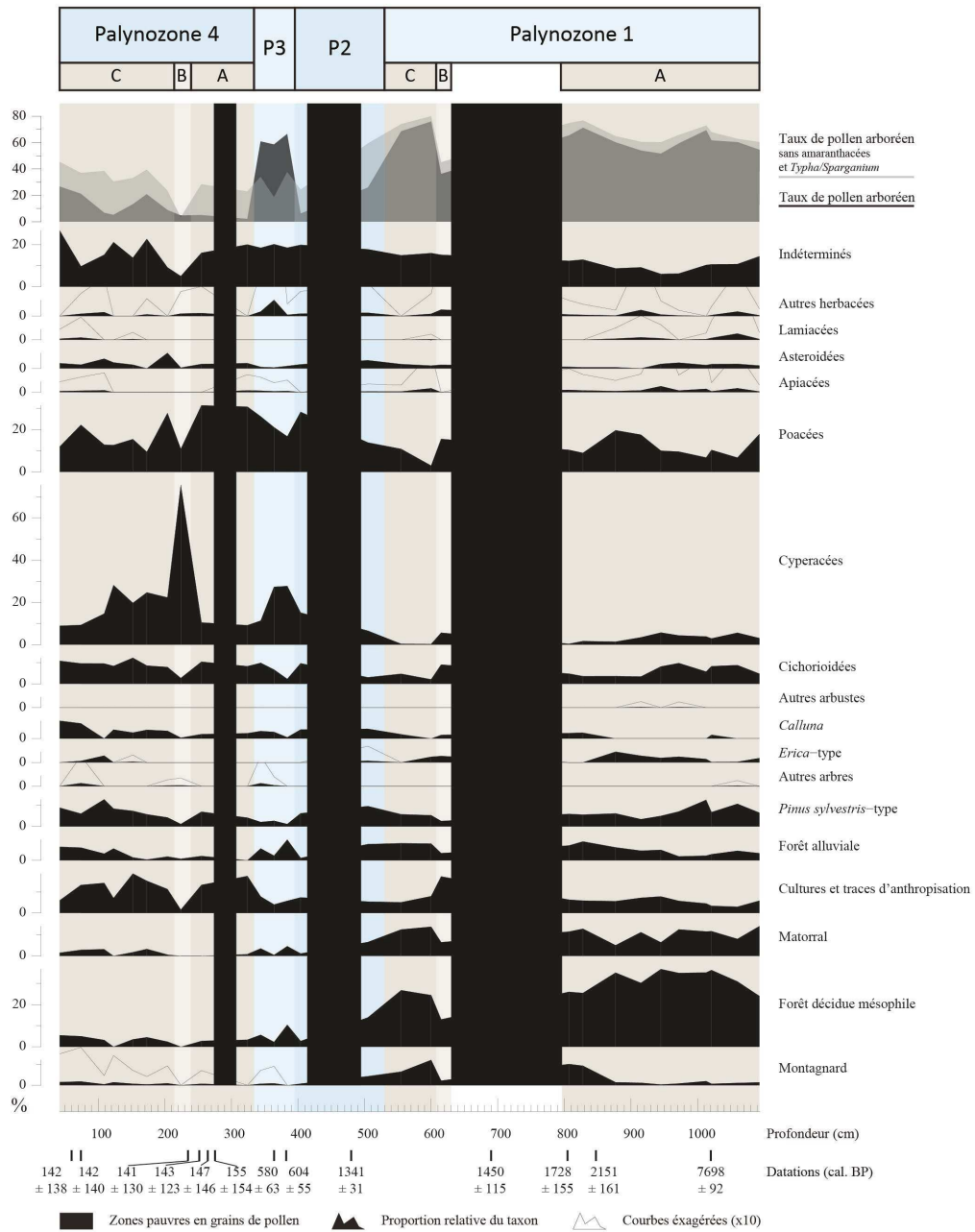


Figure 47. Diagramme pollinique simplifié réduit, Amaranthacées et *Typha/Sparganium* exclus, carotte B1

Nous proposons ici, outre le traditionnel diagramme simplifié (figure 44), plusieurs autres diagrammes polliniques basés sur les mêmes données des comptages en laboratoire mais avec des particularités permettant de mettre en avant des éléments voilés dans le diagramme classique. Ainsi, pour une meilleure visibilité de l'évolution globale des assemblages végétaux, un diagramme simplifié réduit regroupant certains taxons en assemblages écologiques, est présenté en figure 45.

Dans ces diagrammes, les groupes « autres arbres », « autres arbustes » et « autres herbacées » sont composés de taxons recensés très occasionnellement et qui ont été regroupés afin de faciliter la lecture du diagramme tout en faisant apparaître l'intégralité des comptages. Ainsi, le groupe « Autres arbres » inclut : *Acer*, *Arbustus*, *Carpinus/Ostrya* et *Tamarix*. Le groupe « Autres arbustes » est composé de *Buxus*. Enfin, le groupe des « Autres herbacées » comporte de nombreux taxons rares, parfois identifiés par un seul grain dans les échantillons : *Asphodelus*, Brassicacées, *Callitriche*, Campanulacées, *Cannabis/Humulus*, Caryophyllacées, *Centaurea*, *Convolvulus*, *Filipendula*, *Lotus*, *Mercurialis*, *Myriophyllum spicatum*, *Persicaria*, *Plantago major/media*-type, Ranunculacées, Rosacées, *Rumex*, *Sanguisorba minor*, *Saxifraga*, *Valeriana*. Une liste de l'ensemble des taxons identifiés est disponible en annexe 2.

Dans le diagramme simplifié réduit, des groupes écologiques ont été créés pour faciliter la lecture des données et mieux appréhender les évolutions des différentes formations végétales régionales. Ces groupes ont été créés en fonction de l'affinité écologique des différents taxons rencontrés dans nos données (Rameau et al., 2008). Le groupe « Montagnard » comprend *Abies*, *Betula* et *Fagus*. Le groupe « Forêt décidue mésophile » regroupe *Corylus*, *Quercus pubescens*-type et *Tilia*. Le groupe « matorral » inclut *Cistus*, *Cupressus/Juniperus*, *Quercus ilex*-type et *Phillyrea*. Le regroupement « Cultures et traces d'anthropisation » comporte des ligneux principalement cultivés : *Castanea*, *Juglans* et *Olea*, ainsi que des herbacées cultivées ou marqueurs d'anthropisation (Behre, 1981) : *Artemisia*, *Cerealia* et *Plantago lanceolata*-type. Le groupe « Forêt alluviale » est composé d'*Alnus*, *Fraxinus*, *Populus*, *Salix*, *Ulmus* et *Vitis p.p.* Dans le carottage B1, l'enregistrement de *Vitis* est très faible et n'est pas impacté par la mise en culture importante de la vigne dès l'Antiquité. Cela indique que l'enregistrement de *Vitis* dans le carottage B1 proviendrait aussi essentiellement de la variété sauvage, nous permettant ainsi de placer ce taxon dans le groupe de la forêt alluviale (Beaudouin et al., 2007b).

Dans les niveaux supérieurs de la carotte, on note un très fort taux de *Typha/Sparganium* ou d'Amaranthacées. Ces ratios élevés voilent le reste de l'enregistrement pollinique. Ainsi, nous présentons deux autres diagrammes qui correspondent aux deux précédents (simplifié et simplifié réduit), mais pour lesquels les taxons *Typha/Sparganium* et Amaranthacées ont été supprimés des données afin d'obtenir une meilleure vision du reste de l'enregistrement (figures 46 et 47).

Dans la carotte B1, 36 échantillons ont été étudiés dont 8 se sont révélés trop pauvres en grains de pollen pour obtenir une représentation statistiquement fiable des paléovégétations (Reille, 1990a) ; il s'agit des niveaux 784, 765, 710, 645, 485, 454, 424 et 292 cm. Les diagrammes présentés reposent ainsi sur les 28 échantillons fiables. Cependant, même si les échantillons pauvres ne peuvent être utilisés à travers leur comptage pollinique, nous pouvons toutefois en obtenir quelques informations. Ces niveaux pauvres semblent être organisés en phases. Ainsi, les échantillons continus des niveaux 784, 765, 710 et 645 cm sont encadrés par des échantillons analysables et semblent témoigner d'une phase pauvre en grains de pollen. De même, les échantillons 485, 454 et 424 cm forment une

continuité et sont encadrés par des niveaux ayant une concentration de grains de pollen correcte. Enfin, le dernier niveau pauvre, à 292 cm de profondeur, est isolé et ne permet pas de définir de phase pauvre. La première phase pauvre, entre 784 et 645 cm de profondeur se situe entre les palynozones P1a et P1b. La deuxième phase pauvre, entre 485 et 424 cm est intégrée à la palynozone P2.

### **Palynozone 1 (P1) : 1093 – 555 cm (avant 7600 - 1401 cal. BP)**

Le modèle d'âge proposé (figure 38) pour le carottage B1 permet de remonter jusqu'au niveau 1020 cm, ce qui correspond à un âge d'environ 7600 cal. BP. Les trois échantillons analysés situés sous ce niveau ne disposent donc pas de datation absolue. Toutefois, les assemblages polliniques y sont clairement d'âge atlantique, c'est-à-dire postérieurs à 9000 cal. BP et antérieurs à la date de 7700 cal. BP obtenue à 1020 cm de profondeur. On peut donc estimer que le début de la sédimentation entre 9000 et 8000 cal. BP.

#### **P1a : 1093 – 807 cm (avant 7600 – 1789 cal. BP)**

En P1a, le taux de pollen d'arbre est assez élevé, environ 60,6 % sur l'ensemble de la zone. On note cependant un léger déclin à 51,5 % autour du niveau 945 cm (5304 cal. BP).

On observe la présence de *Fagus* dès le début du carottage (0,3 %), à 1093 cm de profondeur (soit avant 7600 cal. BP), mais ce taxon disparaît ensuite pour ne revenir en continu qu'à partir du niveau 877 cm (3220 cal. BP). La présence à 1093 cm de ce taxon peut indiquer une contamination de l'échantillon le plus profond ou un enregistrement extrêmement précoce et d'origine lointaine. Sur la première partie de la zone P1a (entre 1093 et 877 cm), on observe un enregistrement assez constant de *Betula*, autour de 0,8 %, ainsi que la présence sporadique d'*Abies*, qui apparaît sur deux échantillons (1013 cm avec 0,9 % et 945 cm à 0,3 %, soit respectivement à 7391 et 5304 cal. BP). À partir du niveau 828 cm (2060 cal. BP), on observe un essor de *Fagus*, qui passe de 0,5 % à 877 cm de profondeur (1789 cal. BP) à 6 % et 4 % sur les derniers niveaux de la zone (niveaux 828 et 807 cm, soit 2060 et 1789 cal. BP). Dans le même temps, *Betula* augmente aussi fortement, passant d'une moyenne de 0,8 % sur la première partie de la zone à 2,1 et 4,6 % sur les derniers niveaux. *Abies* est aussi enregistré sur ces derniers niveaux, entre 0,3 et 0,5 %. Ainsi l'assemblage montagnard est faiblement enregistré en début de zone, en moyenne à 1 % et est dominé par *Betula* avec un enregistrement ponctuel d'*Abies*. Sur la seconde partie de la zone, entre 828 et 807 cm (2060 – 1789 cal. BP), l'assemblage montagnard est mieux enregistré (8,8 %), avec la présence conjointe de *Betula*, *Fagus* et *Abies*. Sur cette seconde partie, on note l'essor de *Fagus* sur le niveau 828 cm (6 % contre 2,1 % pour *Betula* et 0,5 % pour *Abies*), puis une codominance entre *Fagus* et *Betula* (respectivement 4 % et 4,6 %), avec *Abies* en fond à 0,3 % sur le niveau 807 cm.

En début de séquence, *Quercus pubescens*-type est présent avec un taux de 13,2 %, mais cette représentation augmente rapidement pour se stabiliser autour de 20 % dès le niveau 1013 cm (7390 cal. BP). On observe aussi *Corylus* qui, après une première phase de croissance entre 8,8 % en 1093 cm et 15,3 % en 1021 cm, décroît régulièrement jusqu'à 6 % en fin de zone. On note aussi la présence de *Tilia* entre 1060 et 915 cm, mais avec des valeurs très variables entre 0,3 et 2,2 %. Ces taxons, regroupés dans l'assemblage « forêt décidue mésophile » forment un groupe bien implanté dès le



début du carottage avec une moyenne de 28,8 % sur la zone pour cet assemblage. On observe une tendance à une légère diminution de la représentation de l'assemblage sur la fin de P1a.

*Pinus* est enregistré en deux parties : de la base de la carotte jusqu'à 972 cm (6133 cal. BP), on observe un taux élevé (8,2 % en moyenne) puis une diminution à 4,7 % en moyenne entre 945 cm et 807 cm (5304 – 1789 cal. BP). En ce qui concerne *Quercus ilex*-type, ce taxon est présent dès le début de la séquence et est assez stable jusqu'à 972 cm de profondeur (6130 cal. BP), avec une représentation d'environ 10 %. Cependant, dès 945 cm de profondeur (5300 cal. BP), l'enregistrement oscille fortement avec des valeurs entre 4 et 12 %. Ces variations en dents de scie de *Quercus ilex*-type ne semblent pas correspondre à celles de *Quercus pubescens*-type mais plutôt à celles de *Corylus*. On note aussi la présence de *Cistus* et *Phillyrea* de façon ponctuelle et jamais au-dessus de 0,6 %. Le groupe « matorral », dont le principal élément est *Quercus ilex*-type, apparaît bien implanté dès le début de la carotte (12,9 % à 1093 cm) et reflète les mêmes variations que *Quercus ilex*-type, qui est le principal élément de cet assemblage en termes d'enregistrement. Ainsi, après une phase aux alentours de 11 % jusqu'à 972 cm (hormis le niveau 1060 à 7,8 %), l'assemblage est enregistré en dents de scie et alterne entre des niveaux à environ 5 % et des niveaux à environ 11 %. Ces variations semblent liées à celles de l'assemblage « forêt décidue mésophile ».

Le groupe « forêt alluviale » est enregistré dès le début de la séquence avec 3,1 % puis se réduit autour de 2 % entre 1013 et 972 cm avant de revenir dans les diagrammes dès 945 cm (5304 cal. BP) et d'augmenter rapidement pour rester au-dessus des 5 % dès 877 cm (3217 cal. BP). Dans ce groupe, nous observons la prédominance de *Ulmus* en début de séquence, au-dessus de 2 %, mais qui semble régresser tandis que *Alnus*, faiblement enregistré sur les premiers niveaux (moins de 1 % jusqu'au niveau 972 cm inclus), augmente rapidement en fin de zone et devient dominant à partir de 877 cm de profondeur. Nous observons aussi la présence de *Fraxinus*, *Salix* et *Vitis*, mais de façon ponctuelle et sous les 1 %.

Bien représentées dès le début du carottage, les Cypéracées ont un enregistrement stable autour de 4 % jusqu'au niveau 945 cm puis régressent jusqu'à passer sous les 1 % sur la fin de la zone. Les Amaranthacées ont une présence relativement importante dans les diagrammes avec une moyenne de 8,3 % sur la zone, dont un pic d'enregistrement entre 972 cm et 915 cm avec un sommet à 945 cm de 13,8 %. Les Poacées, très visibles au début de la séquence avec un taux de 16,4 %, baissent rapidement et stagnent à 8 % sur la zone, excepté un épisode plus marqué entre 915 cm et 877 cm (entre 4384 et 3217 cal. BP) à plus de 15 %.

Les taxons regroupés dans le groupe cultures et traces d'anthropisation sont enregistrés au total à environ 5 % sur l'ensemble de la zone. La représentation de ce groupe semble assez stable, hormis un enregistrement légèrement inférieur (entre 2,8 % et 4,3 %) sur les niveaux 1060-1013 cm de profondeur. *Olea* est enregistré en continu dès 828 cm (2060 cal. BP) entre 1 et 2 % alors que ses précédentes apparitions, entre 945 cm et 915 cm ne dépassaient pas les 0,6 %. On note la présence ponctuelle de *Castanea* et *Juglans* à 972 cm (respectivement 0,7 % et 0,2 % à 6133 cal. BP), mais ces taxons n'apparaissent pas sur le reste de la zone et étant ici très précoces, cela peut laisser penser à une contamination de l'échantillon par des sédiments plus récents lors du prélèvement de la carotte. Dans ce groupe de taxons, on observe aussi la légère présence des céréales entre 915 cm et 828 cm (entre 4384 et 2060 cal. BP) avec un maximum à 1 % en 877 cm. Le taxon *Plantago lanceolata*-type stagne à environ 3,5 % en moyenne mais décroît en fin de zone à 1,3 % entre 828 cm et 807 cm. Pour

*Artemisia*, la courbe est inversée : le taxon stagne à environ 1 % et croît en fin de zone et atteint 2,4 % entre 828 et 807 cm.

### **P1b : niveau 615 cm (1474 cal. BP)**

La sous-zone P1b est particulière à plus d'un titre ; ne comprenant qu'un seul niveau, c'est aussi une phase avec une présence importante d'Amaranthacées (18 %) et un milieu qui semble plus ouvert que précédemment avec un taux de pollen d'arbres de 36 % ou 45 % d'après les données sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*.

L'enregistrement de l'assemblage montagnard se réduit à 1,8 % avec *Fagus* à 1 % et *Betula* à 0,7 %, *Abies* étant absent de cette zone.

Le groupe forêt décidue mésophile est aussi réduit, avec un taux de 10,6 % composé de *Quercus pubescens*-type à 7,8 % et de *Corylus* à 2,8 %.

*Pinus* est représenté à 2,1 %, bien inférieur à P1a. L'assemblage matorral est réduit à 5,3 % avec *Quercus ilex*-type à 4,9 % et *Phillyrea* à 0,4 %.

L'enregistrement de la forêt alluviale est plus faible, avec un taux de 2,8 % composé d'*Alnus* à 1,4%, de *Salix* à 0,7 % et de *Fraxinus* et *Vitis* à 0,4 % chacun. *Ulmus* n'est pas enregistré sur cette zone.

Les Cypéracées sont mieux visibles avec 4,6 % d'enregistrement. Les Poacées ont un taux élevé : 12,7 %, de même que les cultures et traces d'anthropisation, qui ont un taux bien supérieur à P1a avec 14,1 %. *Olea* est enregistré à 2,1 %. On note la présence, encore une fois ponctuelle sur l'ensemble de P1, de *Juglans* à 0,4 % et de *Castanea* à 2,1 %. Les céréales ont un taux de 1,4 %, de même que *Artemisia* tandis que *Plantago lanceolata*-type est à 4,6 %.

### **P1c : 600 – 555 cm (1456 – 1401 cal. BP)**

En P1c, le retour à un taux d'arbre très élevé, 72,1 % en moyenne, semble indiquer un boisement important du milieu ou un enregistrement bien plus important des formations forestières régionales.

En début de zone P1c, *Fagus* représente 8,5 % de l'enregistrement et est complété par *Betula* et *Abies* à 1,5 % et 1,3 % respectivement. Sur la fin de la zone, *Fagus* est toujours dominant avec un taux de 3,5 % et est complété par *Betula* à hauteur de 2,5 % mais *Abies* n'est plus présent. L'assemblage montagnard revient un peu supérieur à la fin de P1a avec 11,3 % en début de zone mais chute à 6 % en fin de zone.

*Quercus pubescens*-type est de nouveau enregistré aux environs de 20 %, comme en P1a. On observe aussi *Corylus* à 3,5 % et *Tilia* à 0,3 % présent uniquement sur le premier échantillon. Ainsi, le groupe forêt décidue mésophile revient à des valeurs stables comme en fin de P1a, autour de 24 %.

*Pinus* stagne comme sur la fin de P1a à environ 5 %. *Quercus ilex*-type revient aussi à des valeurs stables et légèrement supérieures à celles de P1a, avec un taux de 12,5 % environ. L'assemblage « matorral » est uniquement représenté par ce dernier taxon sur P1c.

La forêt alluviale fait son retour à des valeurs élevées : 7,5 % environ. *Alnus* domine largement cet assemblage sur le premier niveau (7 %) et est réduit (4,7 %) et complété par *Ulmus* (1,3 %), *Vitis* (0,9 %) et *Populus* à 0,6 % sur le second niveau.

Dans cette zone, les Cypéracées sont très faiblement enregistrées avec des valeurs de 0,3 %. Pour les Amaranthacées, les taux sont plus bas que les zones précédentes : 5 % en moyenne. Après un début faible à 2,8 %, les Poacées augmentent à 10,1 % sur le niveau 555 cm.

Le groupe cultures et traces d'anthropisation commence la zone avec 7,5 % d'enregistrement mais chute à 4,7 % en fin de zone, comme en P1a. *Olea* est présent avec 1 % en moyenne tandis que *Juglans* et *Castanea* sont absents de la zone. Les céréales ne sont visibles que sur le niveau 555 cm et uniquement à 0,3 %. *Artemisia* chute de 5,5 % à 1,3 % sur la zone tandis que *Plantago lanceolata*-type stagne autour de 1,6 %.

### Palynozone 1 : vision d'ensemble de la zone

Sur l'ensemble de la palynozone P1, on remarque un taux de pollen d'arbre élevé, plus de 60 % en moyenne. La sous-zone P1b est particulière avec un taux d'arbres très bas et bien inférieur au reste de P1 même d'après les valeurs sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*. En excluant le niveau formant P1b de la palynozone P1, on remarque une augmentation du taux de pollen d'arbre qui pourrait traduire un boisement croissant de la région. On observe un enregistrement d'environ 7 % des Cichorioidées entre le début de P1 et le niveau 945 cm, puis une diminution et stagnation à environ 3,5 % sur le reste de la zone, hormis P1b qui enregistre ce taxon à 7,4 %.

La sous-zone P1b est caractérisée par un taux important d'Amaranthacées ainsi que du groupe cultures et traces d'anthropisation. Si on exclut P1b des diagrammes, on observe une continuité entre P1a et P1c d'une grande majorité des taxons/assemblages. Ainsi, en prenant à part P1b, qui semble être une phase particulière et peut-être plus locale, nous pouvons observer l'évolution des végétaux sur le long terme.

L'assemblage montagnard, faiblement enregistré au début (moins de 2 %), augmente à environ 10 % entre 807 cm et 600 cm (entre 1789 et 1456 cal. BP) puis chute à 6,4 % en fin de P1c (1401 cal. BP). On observe l'essor de *Fagus* dès 828 cm (2060 cal. BP) et sa rapide prédominance dans cet assemblage. Cependant cet essor semble très tardif par rapport au carottage BVA03 et même aux autres études régionales (Dolez et al., 2015). *Betula* se maintient et se développe même sur les derniers niveaux tandis qu'*Abies* reste anecdotique.

L'assemblage forêt décidue mésophile est assez fortement représenté (moyenne de 26,7 % sur la zone) mais semble diminuer légèrement tout au long de la zone. À partir de 10 mètres de profondeur, les variations de cet assemblage semblent liées à celles de l'assemblage matorral. En début de zone, *Quercus pubescens*-type et *Corylus* sont fortement enregistrés et dominent tous deux largement l'assemblage mais à partir de 1013 cm, le *Corylus* décroît et *Quercus pubescens*-type devient largement majoritaire.

Pour *Pinus*, son enregistrement est en dents de scie entre 1093 cm et 1013 cm (allant de 6,5 % à 12 %) puis baisse et stagne autour de 5,5 % sur le reste de la zone. Le groupe matorral est relativement peu enregistré : environ 10 % sur la zone, mais semble assez stable, avec quelques variations qui paraissent liées à celles de la forêt décidue mésophile. Dans cet assemblage, *Quercus ilex*-type est très largement dominant et est associé ponctuellement à *Phillyrea* et *Cistus*.

La forêt alluviale, déjà présente en début de zone, augmente sur la seconde moitié de la zone, même si l'enregistrement de ce groupe est réduit sur P1b.

Les Cypéracées ont un enregistrement assez fort en début de zone (environ 4 %) mais régressent rapidement à partir de 877 cm pour rester sous les 0.5 % dès 807 cm. Leur retour à 4.6% en P1b est cependant à noter. Les Amaranthacées semblent stables autour de 8 % sur la zone, malgré quelques variations ponctuelles et hormis la phase P1b avec un taux de 18 %. Les Poacées semblent relativement stables, autour de 9 % sur la zone, mais un épisode entre 915 cm et 877 cm (entre 4384 et 3217 cal. BP) à plus de 16 % est à signaler ainsi qu'un taux de 12,7 % en P1b.

Pour ce qui est des cultures et traces d'anthropisation, si on exclut P1b avec 14,1 % d'enregistrement, ce groupe semble assez stable sur la zone. On observe la présence continue d'*Olea* à partir de 945 cm (5304 cal. BP) et des céréales dès 915 cm (4384 cal. BP). La présence conjointe de *Juglans* et *Castanea* sur les niveaux 972 cm (6133 cal. BP) et 615 cm (1474 cal. BP) n'est entourée d'aucun enregistrement continu de ces taxons.

#### **Palynozone 2 : 505 – 404 cm (1340 – 803 cal. BP)**

La palynozone 2 est une phase largement dominée par les Amaranthacées avec des taux de 53 % à 505 cm et de 75 % à 404 cm. Aussi, pour étudier de façon plus aisée les signaux autres que ce taxon, nous utilisons en parallèle les diagrammes sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium* (figures 46 et 47).

Le taux de pollen d'arbre est en réduction sur la zone, avec une moyenne de 16 % et de 42 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*. Sur le premier niveau ce taux est de 26 % et 59 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*, tandis que sur le second niveau le taux est de 6 % et 24 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*. Cela montre un enregistrement moins important des assemblages forestiers, même en supprimant le voile de la présence extrême des Amaranthacées.

Cette palynozone est entrecoupée par une phase très pauvre en grains de pollen, entre 485 et 424 cm (1316 – 937 cal. BP), dont les valeurs ne peuvent être présentées car non représentatives.

On note l'absence d'*Abies* de la zone, ainsi que la réduction de *Fagus* à 1,6 % (3,5 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) sur le premier niveau et sa disparition sur le second niveau. *Fagus* ne réapparaîtra plus que de façon ponctuelle après cette phase. *Betula* reste constant à 0,3 % et 0,8 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*. L'assemblage montagnard dans son ensemble est plus faiblement enregistré et semble en baisse sur la zone avec des taux de 2 % (4 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) sur le premier niveau puis de 0,2 % (0,8 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) sur le second.

*Quercus pubescens*-type chute fortement sur la zone, avec 5,1 % (11,2 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) puis 0,5 % (1,9 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*), de même que *Corylus*, enregistré à 1,2 % (2,7 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) puis à 0,2 % (0,8 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*). Le groupement « forêt décidue mésophile » est moins bien enregistré qu'en P1 et chute drastiquement, de 6,4 % (13,9 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) en début de zone à 0,6 % (2,7 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) en fin de zone.

*Pinus* est un peu mieux enregistré qu'en fin de P1 malgré une réduction avec des valeurs de 4,4 % (9,7 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) en début et 1,5 % (6,2 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) en fin de zone. *Quercus ilex*-type est en revanche moins bien représenté et baisse sur la zone de 3 % (6,6 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) à 0,3 % (1,2 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*). Comme en P1c, l'assemblage « matorral », n'est représenté que par *Quercus ilex*-type.

La forêt alluviale est visible en début de zone avec des valeurs proches de celles P1b, 3,5 % (7,7 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*), mais chute sur la fin à 0,3 % (1,2 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) et est représentée principalement par *Alnus*, complété par *Ulmus* sous les 0,4 % et par *Populus* en début de zone uniquement et sous les 0,5 %.

Les Cypéracées sont mieux enregistrées et augmentent de façon importante sur la zone de 3 % (6,6 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) à 3,6 % (15,2 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*). Les Poacées ont un enregistrement légèrement plus faible qu'en P1c, avec un taux autour de 6,5 %. Ce taxon semble cependant fortement augmenter d'après les valeurs sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium* de 14 % à 28 %.

Pour le groupe cultures et traces d'anthropisations, on observe des valeurs proches de P1c sur le niveau 505 cm, 2,5 % (5,4 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*), puis une légère hausse sur le niveau 404 cm : 1,7 % mais 7,4 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*. *Olea* est en augmentation, de 0,4 % à 0,8 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*. Les taxons *Castanea* et *Juglans* sont présents sur les deux niveaux de la zone avec respectivement 0,4 % / 0,8 % et 0,4 % / 1,6 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*. Les céréales ont un taux de 1,2 % (sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) sur la zone, valeurs plus élevées que sur les zones précédentes hormis P1b. Les taxons *Artemisia* et *Plantago lanceolata*-type semblent inverser leur représentation avec des taux respectifs de 1,9 % puis 0,4 % et 1,2 % puis 2,7 % (sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*).

### **Palynozone 3 : 384 – 344 cm (670 – 408 cal. BP)**

En palynozone 3, on observe un taux de *Typha/Sparganium* très élevé, d'une moyenne de 43 % sur la zone. Ainsi, les diagrammes sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium* complètent les données voilées par ce taxon prédominant.

Le taux de pollen d'arbre sur cette palynozone est de 61 %, ou 30 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*, ce taux étant plus faible car *Typha/Sparganium* est compris dans les arbustes (pour des questions de strates de végétation) et donc dans le groupe des ligneux pour ce calcul. En

valeurs corrigées, ce taux de 30 % représente une légère hausse par rapport à P2. Il est à souligner que le niveau intermédiaire à 364 cm de profondeur à un taux bien plus bas : 58 % ou 18,5 % sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*.

L'enregistrement de l'assemblage montagnard reste sur P3 très léger, comme en fin de P2, avec un taux de 0,5 % (1 % sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*) et est composé de *Betula* et *Fagus*.

*Quercus pubescens*-type est mieux enregistré qu'en fin de P2, mais son taux est très variable, entre 0,7 et 5 % (entre 1,3 et 9,2 sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*). *Corylus* décroît légèrement de 0,6 % (1,2 % sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*) à 0,4 % (0,7 % sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*) sur la zone. Le groupe forêt décidue mésophile est plus visible qu'en fin de P2 mais son enregistrement varie fortement sur la zone avec des valeurs entre 1 % (2 % sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*) et 6 % (11% sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*).

*Pinus* est stable à environ 1 % (2 % sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*). *Quercus ilex*-type varie dans cette zone comme le groupe précédent avec des oscillations entre 0,2 % (0,4 % sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*) et 2,5 % (4,6% sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*). Les variations de ce taxon sont, dans cette zone, dans le même sens que celles du groupe forêt décidue mésophile et non plus antagonistes comme en P1. Dans cette zone, *Quercus ilex*-type est encore le seul représentant de l'assemblage « matorral ».

La forêt alluviale à un meilleur enregistrement en P3 mais en dents de scie, comme les deux assemblages précédents, et varie entre 1 % et 5,5 % (soit entre 2 % et 10 % sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*). L'assemblage est dominé par *Alnus* avec une présence ponctuelle de *Populus*, *Salix* et *Ulmus* sous les 1 %.

Les Cypéracées ont une forte présence en début de zone avec 14,5 % (27,5 % sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*) mais chutent en fin de zone à 5,7 % (11,3 % sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*). Dans cette palynozone, les *Amaranthacées* reviennent à des valeurs basses mais augmentent rapidement de 2,5 % en début de zone à 8,8 % en fin de zone. En début de P3, les Poacées sont moins bien enregistrées qu'en fin de P2 (sur les données sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*), mais augmentent sur la zone de 16,8 % à 26,2 % (de 9,1 % à 13,1 % sur les données totales).

Le groupe cultures et traces d'anthropisation est représenté quasiment comme en P2, autour de 3 % (ou 6 % sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*). *Castanea* est toujours dominant entre 0,7 % et 1,8 % (soit entre 1,3 % et 3,5 % sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*) et est associé à *Olea* en augmentation entre 0,3 % et 0,7 % (soit entre 0,6 % et 1,4 % sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*). *Juglans* est ponctuel et à moins de 1 %. Les céréales sont enregistrées en fin de zone à 0,3 % (0,6 % sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*) environ et *Artemisia* est ponctuel autour de 0,2 % (0,4 % sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*). *Plantago lanceolata*-type varie fortement entre 0,2 % et 1,1 %, soit entre 0,4 % et 2,1 % sans *Amaranthacées* et *Typha/Sparganium*.

**Palynozone 4 : 324 – 42 cm (308 – 126 cal. BP)****P4a : 324 – 255 cm (308 – 268 cal. BP)**

En P4a, on observe le retour d'une phase où les Amaranthacées dominent largement le spectre, ce taxon ayant ici son taux le plus haut, entre 82 % et 90 % sur la zone. Nous utilisons évidemment les données sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium* afin d'obtenir les informations voilées par la prééminence des Amaranthacées.

Dans cette phase, le taux de pollen d'arbre de 3,6 %, soit 25,6 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*, est un peu plus faible qu'en P3 mais correspond à la fin de P2.

*Betula*, qui est ici l'unique représentant de l'assemblage montagnard, est enregistré de façon ponctuelle, uniquement sur le dernier niveau et à un taux faible de 0,1 % (0,7 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*).

Bien que faiblement enregistré, *Quercus pubescens*-type possède un taux à peu près régulier sur la zone, autour de 0,4 % (2,3 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*). On note aussi la présence de *Corylus*, mais sur le premier niveau uniquement. Le groupe forêt décidue mésophile dispose ainsi d'un enregistrement faible mais régulier de 0,4 % (3 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*).

*Pinus* est plus visible qu'en P3 et est en hausse sur la zone, passant de 0,4 % à 1,2 %, soit de 4,2 % à 7 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*. *Quercus ilex*-type n'est plus visible sur cette zone. L'assemblage matorral, composé ici uniquement de *Cupressus/Juniperus*, est faiblement visible sur le premier niveau (0,1 % et 0,8 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) et disparaît même du second niveau.

La forêt alluviale est enregistrée sur le second niveau uniquement (0,4 % et 2,1 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) et est composée d'*Alnus* exclusivement.

Les Cypéracées ont des valeurs assez élevées et stables, d'environ 1,3 %, soit 9,7 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*. De même, les Poacées ont un enregistrement régulier et élevé, de l'ordre de 4 %, soit 30 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*.

Les cultures et traces d'anthropisation ont un fort taux sur P4a : 2 % et 15 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*. Parmi les arbres cultivés, on observe la domination de *Castanea* à 1 % (6,5 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*), suivi par *Juglans* à 0,2 % (1,5 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*). Les céréales sont présentes uniquement sur le premier niveau (0,2 % et 1,7 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) et *Plantago lanceolata*-type est bien enregistré autour de 0,8 % (6 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) tandis qu'*Artemisia* n'est plus présent dans le spectre.

**P4b : niveau 224 cm (251 cal. BP)**

Dans la zone P4b, les Amaranthacées sont toujours dominantes mais en recul par rapport à P4a avec 47 % d'enregistrement. Un autre taxon dominant ressort, les Cypéracées, avec un taux de 38 %, taux qui monte à 75 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*.

Le taux de pollen d'arbre est, dans ce niveau, très faible : 4,8 % sur l'ensemble du spectre, 3,3 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) et même seulement de 16 % sans Amaranthacées, *Typha/Sparganium* et Cypéracées. On observe donc un niveau particulier largement dominé par les herbacées et principalement par les Amaranthacées et les Cypéracées, qui peut traduire un enregistrement extrêmement local des grains de pollen.

Pour ce niveau, nous ne pouvons proposer des valeurs sans Amaranthacées et Cypéracées car cela ferait descendre le nombre de grains enregistrés sous les 100, ce qui rendrait cette zone non représentative. Aussi, nous complétons les données totales par les valeurs sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium* uniquement, car c'est ici le taxon dominant, mais il faut garder à l'esprit que les valeurs exposées ne sont qu'indicatives, car fortement voilées par les Cypéracées qui représentent 75 % du spectre sans Amaranthacées. Cela est bien illustré par la pauvreté en nombre de taxons identifiés dans ce niveau.

Les assemblages montagnards, forêt décidue mésophile et matorral ne sont pas enregistrés dans cette zone, probablement du fait de l'extrême prédominance de l'enregistrement local.

*Pinus* est visible à environ 0,6 % (1,2 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*).

La forêt alluviale, représentée uniquement par *Alnus*, a un enregistrement de 0,4 % (0,8 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*).

Les Poacées sont bien enregistrées, à environ 5,4 %, soit 11 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*.

Les cultures et traces d'anthropisation ont un taux de 0,8 % (1,6 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) et sont composées de *Castanea* et des céréales à 0,2 % (0,4 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) chacun ainsi que de *Plantago lanceolata*-type à 0,4 % (0,8 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*).

#### **P4c : 204 – 42 cm (239 – 126 cal. BP)**

Sur la dernière zone du carottage B1, les Amaranthacées dominent encore largement le spectre, avec une moyenne de 59 % et des variations entre 36,6 % (niveau 42 cm, 126 cal. BP) et 85,2 % (niveau 123 cm, 192 cal. BP). Aussi, nous utilisons les valeurs sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium* en complément afin de faire ressortir le reste du spectre. Cependant, pour le niveau 123 cm (qui est composé de plus de 85 % d'Amaranthacées), le nombre de grains de pollen sans Amaranthacées est de moins de 100, les valeurs corrigées ne sont ainsi pas représentatives et ne seront prises en compte qu'en tant qu'indications de la diversité globale.

Sur P4c, le taux de pollen d'arbre moyen est de 14,7 %, soit 35,3 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*, ce qui traduit un retour à un enregistrement des ligneux tel qu'en P3 et plus important que sur P4b et P4a. On observe aussi une tendance à une augmentation sur la zone d'après le taux sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*, qui pourrait traduire un léger reboisement progressif.



L'enregistrement montagnard est faible mais continu, environ 0,4 % (soit 1 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) en moyenne. Il semble y avoir une légère augmentation au fil de la zone. *Betula* est présent sur l'ensemble de la zone, hormis au niveau 74 cm, *Abies* n'est visible que sur le premier niveau (204 cm) et *Fagus* sur les deux derniers (74 cm et 42 cm).

L'assemblage forêt décidue mésophile revient à un enregistrement supérieur à P3, avec un taux moyen de 1,6 % (3,5 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) et en hausse en fin de zone. Le niveau 123 cm dénote mais, comme on l'a dit, il ne peut être pris en compte en tant que valeurs quantitatives. *Quercus pubescens*-type domine toujours l'assemblage et est associé à *Corylus*.

*Pinus* est enregistré de façon régulière autour de 2,8 % (7,7 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) et semble aussi à la hausse sur la zone. Le groupe matorral est aussi mieux enregistré que sur le reste de P4, en moyenne à 0,8 % (1,9 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) mais semble diminuer en fin de zone. *Quercus ilex*-type domine l'assemblage tandis que *Phillyrea*, *Cistus* et *Cupressus/Juniperus* ne sont que ponctuels et sous les 0,6 % (1 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*).

La forêt alluviale est toujours faiblement enregistrée en début de zone, dans la même gamme de valeurs qu'en P4b et en fin de P4a, environ 0,5 % (1,2 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) entre 204 cm et 152 cm, puis augmente régulièrement jusqu'à atteindre 4 % (6,4 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) en fin de zone. *Alnus* est toujours l'élément central de ce groupe et est complété par *Fraxinus*, *Populus*, *Salix* et *Vitis*, tous ponctuels et sous les 0,4 % (0,7 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*).

Les Cypéracées restent fortement enregistrées, avec une moyenne de 6,6 % (18,3 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*), mais régressent sur la zone d'environ 7 % (20 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) en début à 6 % (10 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) en fin de zone. Les Poacées sont bien représentées et à peu près stables autour d'une moyenne de 6,3 % (16,1 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*).

Les cultures et traces d'anthropisation sont enregistrées dans des taux comparables à P4a et de façon stable, à environ 5 % (12,3 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*), cependant le dernier niveau, à 42 cm, montre une réduction à 3,7 % (6 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*). *Castanea* est toujours dominant parmi les ligneux cultivés mais varie beaucoup entre 0,4 % et 6,2 % (0,7 % et 10,7 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) et est absent du dernier niveau (42 cm). *Olea* est présent en continu sur la zone (excepté en 123 cm) à environ 0,3 % (0,7 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*), tandis que *Juglans* a une présence ponctuelle entre 0,1 % et 0,6 % (0,4 % et 2,8% sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*). Les céréales sont présentes en continu mais varient entre 0,1 % et 0,6 % (0,3 % et 1,8 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*), de même que *Plantago lanceolata*-type entre 1 % et 3,9 % (2,5 % et 7,2 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*). *Artemisia* est ponctuel sous les 1 % en début de zone mais augmente sur les deux derniers échantillons.

#### Palynozone 4 : vision d'ensemble de la zone

Sur la palynozone P4, la phase P4b est particulière. C'est une phase dominée par les Amaranthacées et les Cypéracées qui voilent presque complètement le reste de la végétation, cette phase est ainsi à étudier à part et ne peut être intégrée dans une analyse globale des végétations régionales.

En excluant P4b, on remarque un enregistrement des ligneux qui augmente sur la palynozone P4 et qui pourrait traduire un reboisement progressif, passant d'un taux de pollen d'arbres d'environ 25 % (sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*, 3,6 % sur l'ensemble des données) sur P4a à plus de 35% (sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*, 24 % sur l'ensemble des données) en fin de P4c.

L'assemblage montagnard semble de mieux en mieux enregistré sur P4 et est toujours dominé par *Betula*. On note cependant un retour de *Fagus* en fin de P4c.

Le groupe forêt décidue mésophile a un enregistrement en hausse sur la zone, passant de 0,4 % (3 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) en P4a à plus de 3 % (5 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) en fin de P4c. Son absence du niveau 123 cm peut être expliquée par la surreprésentation de l'enregistrement local sur ce niveau et son faible enregistrement des apports plus régionaux. Dans ce groupe, *Quercus pubescens*-type est toujours largement dominant et est associé à *Corylus* et parfois à *Ulmus*.

*Pinus* est à peu près régulier sur P4, autour de 2,4 % (7 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*). L'enregistrement de l'assemblage matorral est très faible (moins de 1 %) depuis le début de P4 jusqu'au niveau 173 cm (221 cal. BP) puis augmente et se stabilise autour de 2 % (sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*, 0,8 % sur l'ensemble des données), mais semble décroître sur le dernier niveau (0,9 % et 1,5 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium* sur le niveau 42 cm, 126 cal. BP). *Quercus ilex*-type est l'élément central de cet assemblage et est occasionnellement complété par *Phillyrea*, *Cistus* et *Cupressus/Juniperus*, toujours sous les 0,6 % (1 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*).

La forêt alluviale débute la zone peu enregistrée (0,4 % et 2 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) mais augmente jusqu'à environ 4 % (6,4 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) sur les derniers échantillons. *Alnus* est très largement dominant dans ce groupe et est associé de façon ponctuelle à *Fraxinus*, *Populus*, *Salix* et *Vitis*, enregistrés sous les 0,4 % (0,7 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*).

Les Cypéracées ont une forte présence sur la zone, environ 1,5 % (10 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) sur P4a, 38 % (75 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) sur P4b et environ 7 % (20 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) en début de P4c. À partir de 109 cm (184 cal. BP), l'enregistrement décline jusqu'à moins de 6 % (10 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) en fin de zone. Les Amaranthacées sont très fortement représentées sur P4 avec une moyenne de 63.4 % sur la zone. L'enregistrement commence très élevé en P4a (90 %) puis décroît sur la zone jusqu'à 36,6 % en fin de zone, excepté sur une phase de forte présence entre 152 cm et 109 cm (plus de 60 %). Les Poacées ont un taux élevé en P4a, un peu plus de 4 % (30 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) puis régressent et se stabilisent autour de 16 % (sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*, 6% sur l'ensemble des données), malgré de nombreuses oscillations.

En excluant les deux niveaux non représentatifs sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium* (niveaux 224 cm et 123 cm), on observe un enregistrement stable des cultures et traces d'anthropisation autour de 14 % (sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*), mais qui chute à 6 % (sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) sur le dernier niveau de la carotte (42 cm, 126 cal. BP). *Castanea* est toujours le ligneux cultivé dominant ce groupe et est associé à *Juglans* ainsi qu'à *Olea* plus rarement. Seul *Olea* est présent sur le dernier échantillon parmi les ligneux cultivés. Les céréales sont présentes en faibles proportions (moins de 2 % sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*) exceptés sur les niveaux 255 cm et 123 cm (268 et 192 cal. BP). La représentation de *Plantago lanceolata*-type est très variable, entre 1 et 8 % (sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*). *Artemisia* n'est présente que sur la dernière moitié de P4c.

#### 2.4. Autres données polliniques

Dans la figure 48, nous avons regroupé des informations découlant des comptages polliniques mais n'apparaissant pas dans les diagrammes. Comme pour le carottage BVA03, nous indiquons ici l'influx pollinique, la concentration pollinique, le nombre de taxons différents identifiés par niveau ainsi que le taux de grains indéterminés. Pour ce carottage B1, nous n'avons identifié aucun palynomorphe non pollinique, cependant, nous avons pu observer des grains d'Amaranthacées réunis en tétrade. Cette absence de séparation des grains de pollen indique l'immaturation du sac pollinique et ainsi l'origine extrêmement locale de ces grains et pose ainsi la question de l'origine de l'enregistrement sur les niveaux dans lesquels ces grappes ont été rencontrées. Pour pouvoir discuter de ce point, nous avons indiqué sur la figure 48, les niveaux dans lesquels apparaissent ces Amaranthacées locales.

Les niveaux à Amaranthacées locales sont tous dans la partie supérieure de la carotte, au-dessus de 450 cm de profondeur. Il s'agit des niveaux à 404, à 255, à 204, à 152, à 123 et à 109 cm de profondeur. Ces niveaux sont concentrés entre 300 et 100 cm de profondeur.

On observe un taux à peu près constant de grains de pollen indéterminés d'environ 10 % sur l'ensemble du carottage. Un épisode entre environ 650 et 780 cm présente un taux d'indéterminés plus important, jusqu'à 25 %, cela correspond à la zone pauvre en grains de pollen entre 645 et 784 cm de profondeur. Ainsi, dans cette zone, la pauvreté des échantillons peut s'expliquer en partie par une dégradation plus importante des grains de pollen, indiquée par ce taux plus important de grains indéterminés. Au-dessus de 500 cm, les niveaux avec la meilleure identification correspondent aux niveaux avec présence d'Amaranthacées locales. Un enregistrement plus local et donc moins dégradé peut expliquer ce faible taux de grains indéterminés dans ces niveaux. Dans l'ensemble, sur le carottage B1, le taux de grains indéterminés est plus faible que sur la carotte BVA03.

Le nombre de taxons identifiés par niveau est à peu près stable et est légèrement au-dessus des 20 taxons sur le carottage B1. On note cependant une phase avec moins de richesse spécifique entre 650 et 800 cm de profondeur, qui correspond à la phase pauvre en grains de pollen entre 645 et 784 cm de profondeur. Dans cette phase, la faible richesse spécifique rencontrée peut s'expliquer par une dégradation importante du matériel pollinique de ces niveaux ainsi que par la pauvreté en grains de pollen des niveaux, rendant impossible un comptage et une identification efficace.

La concentration pollinique est à peu près constante entre la base du carottage et 330 cm de profondeur, avec une moyenne d'environ 50 000 grains/cm<sup>3</sup>. Dans cette phase, on note la présence des zones déjà identifiées comme pauvres en grains de pollen (784 – 645 cm et 485 – 424 cm) : la concentration pollinique de ces niveaux ne dépasse pas les 20 000 grains/cm<sup>3</sup>. Le niveau 324 cm ressort avec une concentration pollinique très importante, plus de 300 000 grains/cm<sup>3</sup>, dont la majorité constituée par les Amaranthacées. En écartant le niveau 292 cm, qui est un niveau pauvre, avec une concentration de 17 000 grains/cm<sup>3</sup>, la concentration pollinique semble en régression sur le sommet de la séquence, passant d'environ 200 000 grains/cm<sup>3</sup> à 255 cm de profondeur à environ 40 000 grains/cm<sup>3</sup> sur le niveau à 42 cm de profondeur.

L'influx pollinique est très faible entre la base de la carotte et 330 cm de profondeur (moyenne de 6 000 grains/cm<sup>2</sup>/an), hormis sur une zone, entre 615 et 505 cm de profondeur, soit entre les deux phases pauvres en grains de pollen, qui a un meilleur influx avec une moyenne d'environ 40 000 grains/cm<sup>2</sup>/an. Le niveau 324 montre un influx très important : plus de 500 000 grains/cm<sup>2</sup>/an. Cela peut montrer que ce niveau n'est pas particulièrement dégradé, mais plutôt dispose d'un enregistrement très important d'Amaranthacées, sans doute locales. Il s'ensuit une diminution régulière jusqu'à un peu plus de 90 000 grains/cm<sup>2</sup>/an à 173 cm. Dans cette phase décroissante, le niveau 292 cm, déjà identifié comme pauvre en grains de pollen, a un influx faible, environ 30 000 grains/cm<sup>2</sup>/an. Entre 152 et 74 cm de profondeur, l'influx est entre 150 000 et 230 000 grains/cm<sup>2</sup>/an, puis chute à environ 13 000 grains/cm<sup>2</sup>/an sur le dernier niveau à 42 cm de profondeur.

Carottage B1

Autres données polliniques

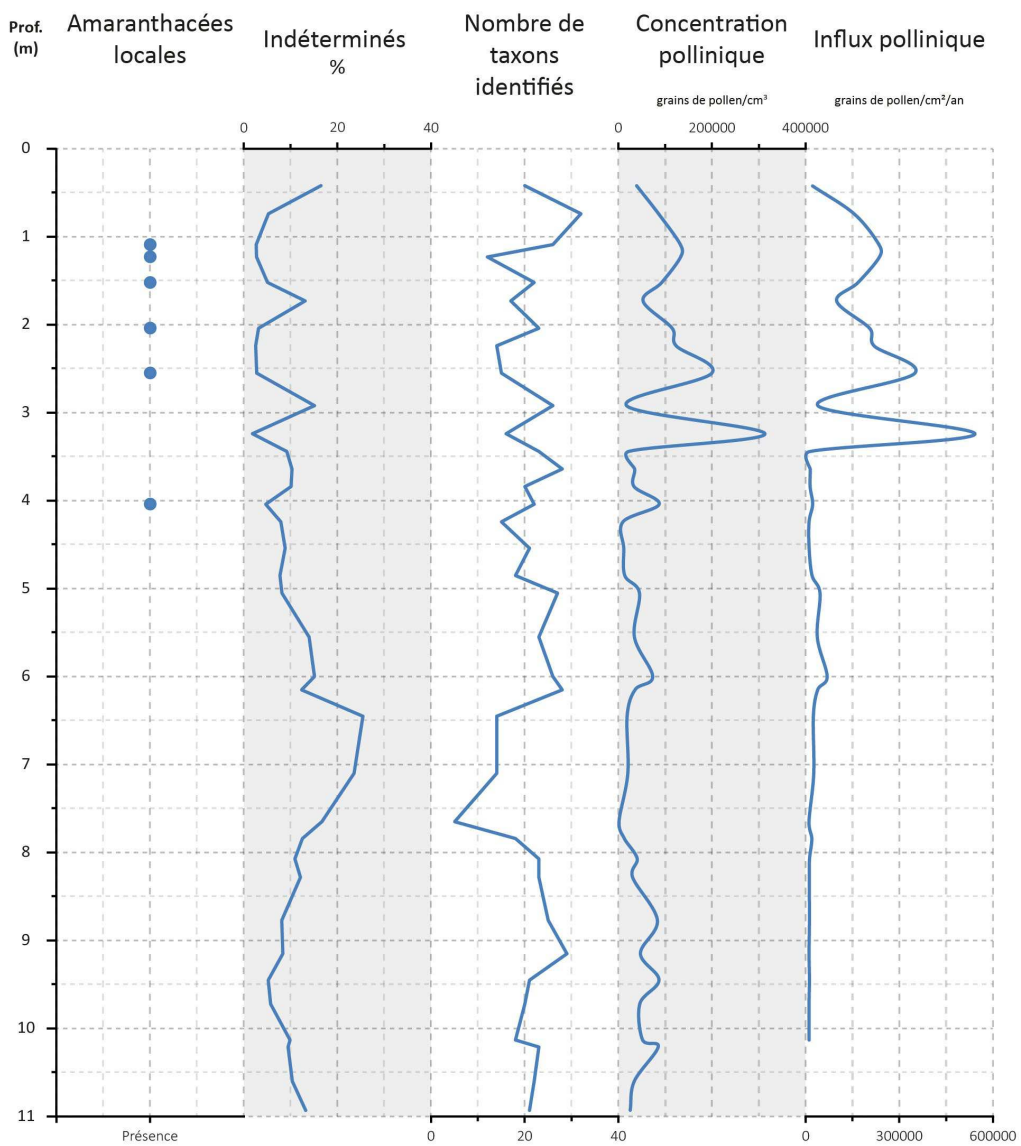


Figure 48. Autres données polliniques, carotte B1

## 2.5. Données de géochimie élémentaire (XRF)

Les résultats du XRF effectué sur le carottage B1 est présenté en figure 49.

Les éléments chimiques présentés sont les mêmes que ceux présentés pour le carottage BVA03 et ont été sélectionnés pour les mêmes raisons, c'est-à-dire afin de caractériser les apports de type marin ou terrestre.

Ainsi, les éléments marqueurs d'apports marins sont : l'iode (I), le soufre (S), le strontium (Sr), le calcium (Ca), le chlore (Cl) ainsi que les rapports Sr/Ba et S/K (Chagué-Goff, 2010 ; Chagué-Goff & Fyfe, 1996 ; Chen et al., 1997 ; Höbig et al., 2012 ; Lim et al., 2014 ; López-Buendía et al., 1999 ; Mulot, 2014 ; National Minerals Information Center, 2011).

Les éléments marqueurs d'apports terrigènes sont : le rubidium (Rb), le potassium (K), le titane (Ti), le plomb (Pb) et le fer (Fe) (Degeai et al., 2015 ; Höbig et al., 2012 ; Martinez-Ruiz et al., 2015)

Le baryum (Ba) est utilisé en tant que marqueur de milieu estuarien (Chen et al., 1997) et le manganèse (Mn) comme indicateur de l'oxygénation du milieu (Martinez-Ruiz et al., 2015).

Les courbes sont les moyennes lissées sur 9 points des valeurs brutes, et permettent, comme pour la carotte BVA03, d'atténuer les valeurs extrêmes et les aléas d'enregistrement. Les droites rouges indiquent la valeur moyenne des courbes sur l'ensemble du carottage.

D'après les données XRF du carottage B1, nous pouvons distinguer 8 grandes phases, signalées par des nuances de gris. Des phases plus réduites et plus marquées sont surlignées en bleu (lorsque les apports marins sont majoritaires) ou en marron (lorsque les apports terrestres sont dominants).

### **Zone XRF 1 (X1) : 1100 – 900 cm**

Dans la zone X1, les apports semblent globalement stables. Les éléments terrigènes sont stables, seuls K et Ti semblent légèrement en augmentation. Parmi les éléments marins, I, Cl et Sr/Ba diminuent légèrement tandis que S, Ca et S/K croissent. On observe une croissance de Ba en début de zone puis une stabilisation sur la seconde moitié de la zone. Cette première zone du carottage B1 correspond aux phases lithostratigraphiques U1, U2 et U3.

### **Zone XRF 2 (X2) : 900 – 800 cm**

En X2, les courbes des éléments commencent à avoir de nombreuses petites variations. Dans l'ensemble, les éléments terrestres sont un peu plus faiblement enregistrés qu'en fin de X1, tandis que l'élément marin Cl est mieux enregistré. Cependant les autres éléments marins n'ont pas d'augmentation significative.

On observe une petite phase particulière entre 820 et 815 cm environ, dans laquelle l'enregistrement des éléments terrigènes est plus important (hormis Rb/Sr), de même pour les éléments Pb, Fe, Ba et Mn. Cela est corrélé à une légère dépression des éléments marins I et Ca et pourrait traduire une phase un peu plus marquée par les apports terrestres.

Cette zone X2 correspond à la phase lithostratigraphique U4. Ces deux premières zones X1 et X2 correspondent à la sous-palynozone P1a.

#### **Zone XRF 3 (X3) : 800 – 730 cm**

La zone X3 est une phase de régression pour presque tous les éléments. Parmi les éléments terrestres, seul Rb/Sr ne décroît pas et est même en augmentation. Pour les marins, I et Ca sont en descente douce sur la zone tandis que Cl augmente et Sr/Ba stagne. Les autres éléments sont plus faiblement enregistrés que dans les zones précédentes. On note aussi, en début de zone, entre 798 et 791 cm, une petite phase qui semble être plus marquée par les apports marins ; en effet, Rb/Sr, K/Ca et Sr connaissent une dépression, tandis que I, Sr et Ca ont l'enregistrement inverse.

Cette zone X3 correspond aux unités lithostratigraphiques U5 et U6.

#### **Zone XRF 4 (X4) : 730 – 600 cm**

Sur l'ensemble de la zone X4, les éléments terrestres ont une tendance à l'accroissement. Les éléments marins ne suivent toutefois pas de logique commune ; Ca augmente, Sr stagne et Cl et Sr/Ba régressent. Parmi les autres éléments, on note la croissance de Pb, Fe, Cu, Ba et Mn, dont les éléments Fe et Ba croissent fortement.

On observe aussi la présence de 2 phases marquées par des apports terrestres plus importants. Entre 730 et 720 cm environ, un essor de tous les éléments terrigènes (sauf le rapport Rb/Sr qui va à l'inverse) est associé à une chute des éléments marins I, Ca et Cl. Entre 650 et 600 cm environ s'étend une phase d'ampleur appréciable caractérisée par une augmentation importante de tous les marqueurs terrestres et de Pb, Fe, Cu, Ba et Mn associé à une baisse des marqueurs marins, exceptés I et Ca qui augmentent légèrement.

Cette dernière grande phase dans laquelle les apports terrestres sont plus prononcés correspond à la sous-palynozone P1b.

#### **Zone XRF 5 (X5) : 600 – 555 cm**

Durant la zone X5, tous les marqueurs d'apports terrestres régressent, de même que les éléments Pb, Fe, Cu, Mn. En parallèle, tous les marqueurs marins, excepté le S, augmentent. C'est une phase marquée par un retour à un apport marin plus important, comme semble en attester la chute importante du baryum. Cette zone correspond à la sous-palynozone P1c.

#### **Zone XRF 6 (X6) : 555 – 240 cm**

En X6, la tendance générale est à l'augmentation des marqueurs d'apports terrestres et à la légère baisse des marqueurs marins associés à la hausse de Ba. C'est une zone avec de nombreuses micro-variations dans les courbes et qui comprend plusieurs petites phases bien visibles.

On observe ainsi, entre 520 et 510 cm environ, une majorité de marqueurs marins en baisse ; seul Ca stagne et I est un peu plus élevé que sur le reste de la zone. Dans le même temps, Rb/Sr, K et Ti sont en hausse, aussi Pb, Fe et Ba semblent également en légère hausse. Cela peut traduire une phase légèrement plus marquée par les apports terrestres. Entre 396 et 390 cm environ, on observe une phase qui semble aussi plus terrestre : à une dépression de I, Sr, Ca et Sr/Ba est associé un léger

essor de Rb/Sr, K/Ca et Rb. On observe, durant cette phase, une chute du manganèse qui, habituellement dans nos données, est un élément qui réagit plutôt dans le même sens que les éléments terrigènes. Entre 390 et 375 cm, une petite phase plutôt marine semble se dessiner. Une chute de tous les marqueurs terrestres, ainsi que des éléments Pb, Fe et Ba, est associée à une hausse de tous les marqueurs marins. Le manganèse, ici mieux enregistré que sur la phase précédente, traduit un milieu plus riche en oxygène, mais est lié à des apports marins plus marqués. Entre 375 et 348 cm environ, on observe un retour important de tous les marqueurs terrestres ainsi que des éléments Pb, Cu et Ba corrélé à une baisse de tous les marqueurs marins et de Mn. Cette phase semble être définie par un apport terrestre plus prononcé. Entre 348 et 335 cm environ, il semble y avoir un retour des apports marins plus importants ; à l'essor des marqueurs marins I, S, Cl et S/K est associé une réduction de tous les marqueurs terrigènes et du baryum. Enfin, entre 252 et 242 cm environ, semble apparaître une phase marine mais peu marquée et identifiée par l'affaiblissement des marqueurs terrestres et un léger essor de S et S/K.

#### **Zone XRF 7 (X7) : 240 – 115 cm**

La zone X7 est marquée par une relative stagnation des éléments. Seul le manganèse varie et est en augmentation importante sur la zone.

#### **Zone XRF 8 (X8) : 115 – 55 cm**

Dans la dernière zone identifiée, en X8, on observe une augmentation des marqueurs d'apport marin, seul Cl diverge et est en très légère régression. Pour les marqueurs d'apport terrestre, les rapports Rb/Sr et K/Ca diminuent tandis que les autres éléments augmentent lentement. Il est à noter aussi, à environ 110 cm de profondeur (184 cal. BP), une faible régression passagère des marqueurs terrestres, mais qui n'est corrélée à aucune augmentation brutale des éléments marins. Cela pourrait être dû à d'autres variables voire à un problème d'enregistrement plutôt qu'à une variation dans les influences.



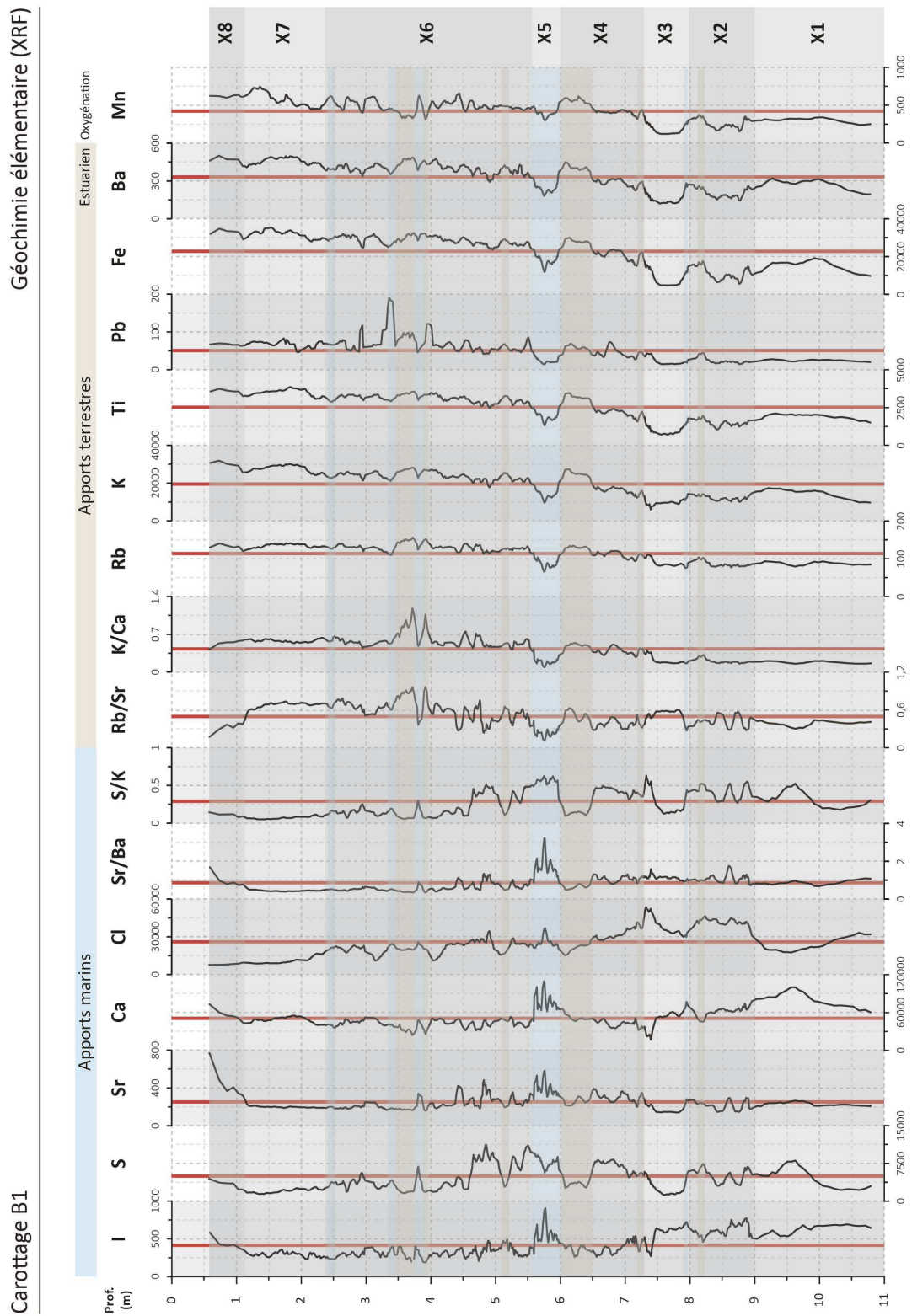


Figure 49. Géochimie élémentaire (XRF) de la carotte B1

### 3. Contrôle de la sédimentation

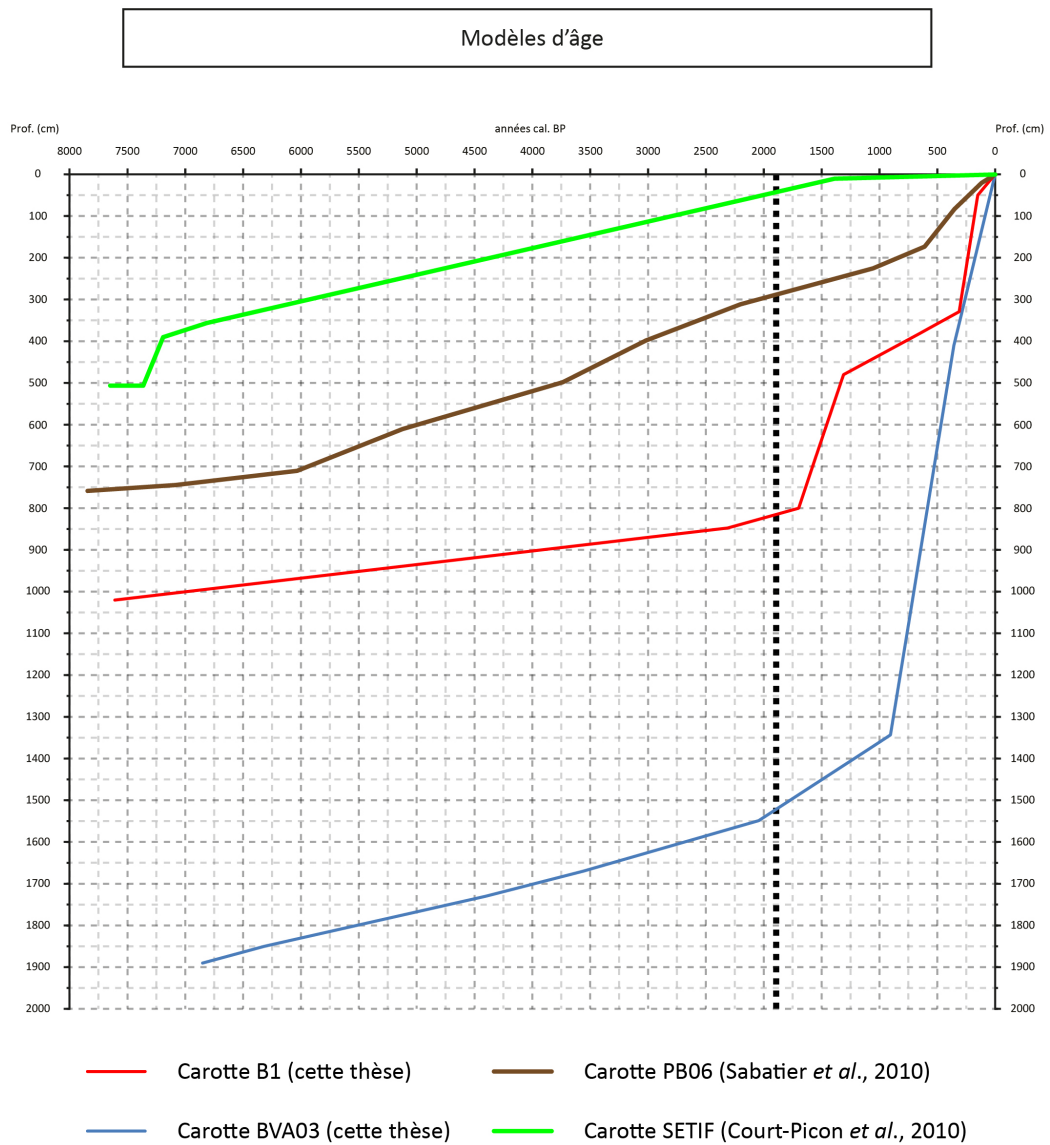
Nous proposons, en figure 50, une comparaison entre les modèles d'âge de nos carottages B1 (Bagnas) et BVA03 (Vendres) et ceux des études régionales récentes et bien datées :

- la carotte SETIF, prélevée à Sète, sur le cordon littoral entre l'étang de Thau et la mer méditerranée (Court-Picon et al., 2010),
- la carotte PB06, prélevée à Palavas, dans la lagune de Pierre Blanche (modèle d'âge décrit par Sabatier et al., 2010).

Cette comparaison nous permet d'identifier deux éléments. Tout d'abord, il semble que l'importance de la sédimentation soit positivement corrélée avec l'éloignement du point de carottage à la mer. En effet, nous remarquons que le taux global d'accumulation sédimentaire le plus important est celui de la carotte BVA03, prélevée à environ 9km de la mer, le second taux le plus élevé est celui de la carotte B1, prélevée à environ 3km de la mer. Le taux d'accumulation sédimentaire devient encore plus faible dans les données littorales de la carotte SETIF, prélevée à environ 600m de la mer et dans la carotte PB06, prélevée à environ 400m de la mer.

Aussi, dans nos données de B1 et BVA03, nous pouvons identifier 2 grandes phases sédimentaires. Dans la première, entre le début des séquences et environ 2000 cal. BP, le taux d'accumulation sédimentaire est assez faible, relativement au reste de la séquence, et stable. Cela semble traduire une sédimentation en contexte calme, probablement lagunaire. Sur une deuxième phase qui correspond à l'intervalle 2000 cal. BP – sommet des séquences, le taux d'accumulation sédimentaire est plus variable et augmente surtout très fortement. Cela pourrait être expliqué par des apports fluviaux importants.

Contrôle de la sédimentation



**Figure 50. Contrôle de la sédimentation des carottages B1 et BVA03 à l'aide de données récentes de la littérature**



## Chapitre IV : Analyse de l'outil palynologique

L'analyse palynologique reposant sur l'identification des grains de pollen fossilisés, de nombreux paramètres peuvent impacter la reconstitution des végétations passées. Entre les particularités de l'enregistrement (mode de transport des grains de pollen, régularité du transport, ...), les paramètres de l'enregistrement pollinique et la conservation des grains déposés, de nombreux biais sont à envisager si l'on souhaite une interprétation qui reflète le plus fidèlement possible les assemblages végétaux. La compréhension de l'enregistrement pollinique et des conditions de fossilisation des grains de pollen (taphonomie) est ainsi essentielle à la bonne utilisation de l'outil palynologique (par exemple : Cushing, 1967; Havinga, 1984; Lebreton et al., 2017).

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur l'identification des processus pouvant impacter l'enregistrement ou la conservation des grains, afin de mieux cerner les biais possibles dans nos interprétations et de pouvoir nous rapprocher au mieux des végétations passées.

### 1. Modalités de l'apport des grains de pollen :

Le premier point à analyser pour bien comprendre les données pollinique reste le dépôt initial des grains de pollen dans le sédiment étudié. Il nous faut ainsi étudier les modes d'apports des grains de pollen dans le milieu de dépôt.

Les grains de pollen, étant les gamétophytes mâles des plantes à fleurs (angiospermes) et gymnospermes, doivent être transportés vers le pistil (ou le cône femelle pour les gymnospermes) afin de permettre la fécondation de l'oosphère par un des noyaux reproducteurs. Pour effectuer cette pollinisation, plusieurs stratégies et plusieurs vecteurs existent : ainsi, les plantes peuvent utiliser le vent (anémogamie), les animaux (zoogamie), les insectes (entomogamie) ou encore l'eau (hydrogamie).

Une proportion importante des plantes pollinisatrices est zoogame ou entomogame : jusqu'à 67 % (Tepedino, 1979), voire plus de 90 % (Kearns et al., 1998), selon les régions. Du fait de ce mode de pollinisation, les grains de pollen de ces plantes ne sont pas largement dispersés comme le sont ceux des espèces anémogames (Lebreton et al., 2017). Il est donc rare de rencontrer ces grains dans des milieux éloignés des producteurs et l'enregistrement des grains de pollen des taxons entomogames implique souvent la présence locale des espèces (Rouissi et al., 2018). Les espèces anémogames, quant à elles, utilisent le vent comme vecteur de transport des grains et produisent généralement de très grandes quantités de pollen, afin que les grains aient des chances de rencontrer le pistil d'une fleur de la même espèce (Lebreton et al., 2017 ; Reille, 1990a). Mais il existe également des disparités dans la production pollinique entre les espèces anémogames, certaines produisant plus de pollen que d'autres : par exemple, les pins (*Pinus*) sont connus pour être de très gros producteurs, au contraire des érables (*Acer*) ou des tilleuls (*Tilia*) (Fægri et al., 1989). Il est important de toujours avoir en tête les différences de production des espèces lors de l'interprétation des assemblages polliniques fossiles.

L'origine des grains de pollen et la façon dont ils sont arrivés sur le lieu de dépôt est un autre élément d'importance à considérer. L'origine des grains de pollen dépend fortement de la taille du

site de captation de la pluie pollinique (Jacobson & Bradshaw, 1981). Plus le bassin capteur sera grand, plus l'enregistrement sera régional (de l'ordre de 10 à 30 km) ; à l'inverse, plus le bassin sera petit, plus l'enregistrement sera local (environ 500 m ; Jacobson et Bradshaw, 1981). L'enregistrement lointain reste rare, hormis pour certains taxons, comme *Pinus*, qui produit des grains de pollen à ballonnets voyageant sur de très grandes distances (Reille, 1990a). Dans notre cas, la taille des bassins capteurs étant grande (>1 km de diamètre), nous pouvons estimer que le signal régional représente une grande partie de l'apport pollinique (>80 % selon Jacobson et Bradshaw, 1981). La décomposition de l'enregistrement pollinique dans nos données pourra être effectuée à l'aide de l'enregistrement des taxons régionaux notamment et, plus globalement, à l'aide des proportions des taxons pouvant être affiliés à une aire géographique (locale, régionale ou lointaine).

Cependant, cela n'est valable que pour l'apport strictement éolien du matériel pollinique (Jacobson & Bradshaw, 1981). Dans notre cas, afin d'obtenir un meilleur enregistrement des végétations lointaines, nous avons effectué des carottages sur des sites susceptibles d'avoir enregistré un apport fluvial de grains de l'ensemble des bassins versants (Beaudouin et al., 2007b ; Planchais, 1984). Ce double apport, éolien et fluvial, sera détaillé en fin de ce chapitre et pourra être identifié et analysé dans nos données par l'influx pollinique, par l'enregistrement de la forêt alluviale, par la présence importante de taxons montagnards et par l'influence terrestre dans les sédiments à travers l'étude de la composition élémentaire des sédiments (analyses de fluorescence des rayons X ou XRF).

Il existe aussi une possibilité de remaniement d'anciens sédiments et ainsi d'apports polliniques plus anciens dans les dépôts lagunaires (Planchais, 1984). La dégradation importante de ces grains permet en général de les distinguer des apports plus récents (Planchais, 1984). Dans notre cas, nous n'avons pas identifié de tels grains remaniés sur les carottages B1 et BVA03. Cependant, si de tels niveaux ont échappés à notre attention, la présence de taxons exotiques et l'augmentation ponctuelle du taux de grains indéterminés peuvent attester la pollution par d'anciens grains.

La séquence sédimentaire peut comporter des phases de perturbation, telles des crues ou des tempêtes, qui laissent un dépôt sédimentaire particulier. Ainsi, ces événements produisent des dépôts ponctuels, et ainsi peuvent ne pas refléter un enregistrement pollinique habituel (Murgia, 2016). L'enregistrement pollinique de tels niveaux doit être analysé en détail afin de comprendre les particularités du dépôt. Des pics marqués dans les données XRF, la présence de lits de sédiments différents (souvent plus grossiers) de la matrice de dépôt habituelle, des changements ponctuels dans l'enregistrement des micro-organismes marins ainsi que l'association de ces éléments à un enregistrement pollinique radicalement différent peut nous permettre d'identifier ce type de niveaux ponctuels (Court-Picon et al., 2010 ; Degeai et al., 2015).

Après avoir identifié les biais potentiels dans l'apport du matériel pollinique, abordons maintenant les conditions d'enregistrement des grains de pollen, ainsi que leur conservation au cours du temps.

## 2. Enregistrement et conservation du matériel pollinique dans les sédiments

L'enregistrement des grains de pollen est soumis à plusieurs paramètres. Tout d'abord, l'enregistrement pollinique ne peut se faire que dans des sédiments fins ; la taille des grains de pollen variant entre 10 et 150  $\mu\text{m}$ , ils peuvent aisément percoler à travers les couches de sédiments grossiers (Phuphumirat et al., 2015 ; Reille, 1990a). Ainsi, un changement de sédimentation du milieu de dépôt peut impacter l'enregistrement pollinique et perturber l'analyse en créant des variations de concentration pollinique qui ne doivent pas être attribuées, à tort, à la végétation émettrice (Cushing, 1967). Nous pouvons nous rendre compte de ce type de perturbation en observant la concentration pollinique des niveaux en lien avec la stratigraphie du carottage. Un niveau de sédiments grossier (par exemple de sables) pauvre en grains de pollen, superposé à un niveau de sédiments fins caractérisés par une forte concentration pollinique, a de grandes chances de révéler cette percolation des grains. Il faudra ainsi se montrer attentif quant à l'interprétation de tels niveaux.

L'enregistrement et la conservation des grains de pollen ne peut se faire que dans des milieux qui présentent un taux d'oxygène très faible, le grain de pollen étant sensible à l'oxydation (Havinga, 1984 ; Jacobson & Bradshaw, 1981 ; Phuphumirat et al., 2015 ; Reille, 1990a). Les milieux propices à la conservation du pollen sont les milieux humides (Havinga, 1984 ; Jacobson & Bradshaw, 1981 ; Phuphumirat et al., 2015 ; Reille, 1990a). Cependant, de tels milieux peuvent évoluer et modifier la conservation du matériel pollinique. Ainsi, certaines variations dans les données polliniques peuvent refléter un changement de conditions de conservation plutôt qu'une modification des assemblages végétaux. Des auteurs se sont penchés sur cette question de la conservation des grains de pollen et des biais taphonomiques pouvant impacter les analyses palynologiques (par exemple : Bottema, 1975 ; Coles et al., 1989 ; Coûteaux, 1977 ; Cushing, 1967 ; Lebreton et al., 2009 ; Reille, 1978). Ainsi, plusieurs facteurs pouvant être à l'origine de biais taphonomiques ont été identifiés et peuvent être analysés afin d'éventuellement les repérer dans nos données.

La bioturbation est aussi un élément à considérer. Le remaniement des sédiments peut être induit par des organismes fouisseurs, par la pénétration de racines de végétaux, par le piétinement de gros vertébrés (par exemple, Amami et al., 2013) et par les perturbations humaines, bouleversant ainsi la stratigraphie des dépôts (Bottema, 1975 ; Coles et al., 1989 ; Jacobson & Bradshaw, 1981 ; Lebreton et al., 2017). Pour identifier ces niveaux, nous pouvons avant tout nous baser sur la présence de morceaux de racine ou de terriers à proximité des niveaux analysés (Höbig et al., 2012). La présence de sédiments laminés indique, par contre, l'absence de bioturbation (Jin et al., 2006 ; Murgia, 2016). Dans l'enregistrement pollinique, la présence illogique de certains taxons par rapport à l'âge supposé du niveau peut aussi, dans certains cas, être une indication de bioturbation. Des datations radiocarbone inversées peuvent enfin révéler des processus d'enfouissement ou au contraire d'exhumation du matériel organique par la bioturbation.

Le plus important biais taphonomique dans les analyses polliniques reste cependant la dégradation des grains de pollen, qui peut faire de l'identification des grains fossiles un réel problème. En effet, un grain trop abimé perd une grande partie de son ornementation, ce qui complique son identification. C'est un biais taphonomique qui impacte l'analyse palynologique sur plusieurs

niveaux. La dégradation post-dépôt des grains de pollen peut avoir plusieurs causes. Une de ces causes est l'oxydation des grains de pollen, qui permet leur attaque par des micro-organismes, en conditions aérobies (Lebreton et al., 2017). Certains micro-organismes (bactéries, champignons) et insectes (collembolés) peuvent consommer la sporopollénine, riche en carbone et en azote, qui forme l'exine des grains, et ainsi empêcher la détermination basée sur l'ornementation (Goldstein, 1960 ; Hutchison & Barron, 1997 ; Lebreton et al., 2017 ; Perez-Moreno & Read, 2001 ; Scott & Stojanovich, 1963 ; Webster et al., 2008). La sporopollénine est très sensible à l'oxydation et la dégradation de ce composant entraîne la dégradation de la surface de l'exine (Havinga, 1984). L'oxydation induit une dégradation sélective des grains de pollen, conditionnée par des compositions de l'exine et des structures ornementales différentes entre grains (Hall, 1981 ; Havinga, 1984 ; Lebreton et al., 2010). Ainsi, pour Bottema (1975) et Havinga (1984), les Cichorioidées résistent mieux à la dégradation et constituent un bon marqueur de ce biais taphonomique. On les retrouve en effet quasi-systématiquement en proportions importantes en contexte temporaire (Amami et al., 2013 ; Muller et al., 2008) (par exemple, Amami et al., 2013 ; Muller et al., 2008) ou archéologique (par exemple : Allinne et al., 2006; Renault-miskovsky, 1967). Sur la base d'expériences réalisées en laboratoire, Lebreton *et al.* (2010), considèrent au contraire que les Cichorioidées ne résistent pas mieux que les autres taxons. Les résultats de Lebreton et al. (2010) et ceux de Havinga (1984) n'ayant pas été obtenus dans des conditions similaires, leur comparaison est difficile. D'après ces données, il semblerait que, même si d'autres facteurs interviennent dans le milieu naturel, les Cichorioidées puissent généralement être considérées comme de bons marqueurs de dégradation. Une dégradation importante du matériel pollinique, et ainsi une difficulté accrue dans la détermination mène aussi à un biais d'observation et d'identification. Lors de l'identification des grains dégradés, une surreprésentation des grains aisément reconnaissables, mêmes abimés, peut avoir lieu (ce que nous pouvons appeler une reconnaissance sélective, pour compléter la dégradation sélective). C'est le cas pour les Amaranthacées et les Cichorioidées qui, disposant de caractéristiques très discriminantes, peuvent être reconnues facilement, même à l'état de fragment (Bottema, 1975 ; Hall, 1981 ; Lebreton et al., 2010). Ainsi, ce biais taphonomique, la dégradation (biologique ou physico-chimique) du matériel pollinique, peut être identifié par certains marqueurs et expliquer certains résultats particuliers. L'abondance des Amaranthacées (Hall, 1981), des Cichorioidées (Bottema, 1975 ; Coûteaux, 1977 ; Havinga, 1984) et des spores monolètes peut exprimer cette dégradation. Même si les résultats de Lebreton *et al.* (2010) ne montrent pas une dégradation sélective impactant moins les Cichorioidées, ils admettent que la très forte représentation de ce taxon indique un problème taphonomique. Pour bien identifier ce biais, il faut cependant coupler les marqueurs précédents avec d'autres éléments, qui sont la faible concentration pollinique ainsi que le fort taux de grains indéterminés (Hall, 1981 ; Lebreton et al., 2010 ; Muller et al., 2008).

Afin de compléter cette analyse, nous proposons en figure 51 une synthèse des différents biais inhérents au dépôt, à l'enregistrement et à la conservation du matériel pollinique, ainsi que des paramètres observables pouvant mettre en évidence ces biais. Cette figure, reposant sur les biais pouvant être rencontrés dans nos analyses, n'est, bien entendu, pas exhaustive. Nous souhaitons simplement, à travers cette figure, proposer un guide pour aider à la compréhension de certains niveaux particuliers et douteux.



**Biais potentiels sur le matériel pollinique analysé et paramètres aidant à les identifier**

Type de dépôt du matériel pollinique		Enregistrement du matériel pollinique	Conservation du matériel pollinique, taphonomie
Données polliniques	Provenance(s) de l'apport	Dépôt ponctuel	Bioturbation (oxydation, animale)
	*Cas particulier : lagune + fleuve	Remobilisation de pollen ancien	
Données 14C et XRF	Spatialisation des taxons	Enregistrement particulier et ponctuel	Présence illogique de certains taxons (souvent plus récents)
	*Taux des taxons de ripisylve	Observation sur lame de grains remaniés	Fort taux d'Amaranthacées
	*Influence terrestre marquée	Fort taux de grains indéterminés Présence de taxons anciens	Fort taux de Cichorioïdées Fort taux de grains indéterminés Faible concentration pollinique
Sédimentologie et stratigraphie		Variations ponctuelles marquées	Datations 14C inversées
Palynomorphes Non Polliniques		Lits de sédiments variant de la matrice	Morceaux de racines, terriers Lamination des sédiments perturbée
		Modification de l'enregistrement de certains marqueurs	

Figure 51. Biais potentiels sur le matériel pollinique analysé et paramètres aidant à les identifier

### 3. Biais taphonomiques dans nos données

Puisque le milieu physique conditionne l'enregistrement pollinique et la conservation du matériel étudié, un milieu optimal pour l'analyse pollinique serait dans l'idéal une zone humide avec un dépôt de sédiments fins, stable dans le temps (c'est-à-dire avec peu de changement de contexte de dépôt). Cependant, de tels milieux sont très rares en région méditerranéenne et ont pour la plupart déjà été étudiés. Pour obtenir des données nouvelles, il faut s'orienter vers des milieux plus originaux, même si imparfaits. Dans cette étude, nous utilisons justement des milieux plus complexes pour l'analyse pollinique, mais qui peuvent apporter des informations inédites : les milieux lagunaires. Les lagunes du littoral languedocien ont évolué au cours de l'Holocène (Court-Picon et al., 2010 ; Labaune et al., 2008), et cela est notamment le cas pour nos secteurs de prélèvements : l'étang du Bagnas (Ambert et al., 1993 ; Ambert, 1995 ; Martin, 1988 ; Vielfaure, 2017) et l'étang de Vendres (Ambert et al., 1993 ; Ambert, 2000 ; Mulo, 2014 ; Verdeil, 1990). Ainsi, les modalités d'enregistrement et de conservation des grains de pollen ont varié au cours du temps et nous devons étudier les possibilités de biais sur nos données avant de pouvoir analyser les paléovégétations.

Commençons par analyser les échantillons qui se sont révélés stériles ou très pauvres en matériel pollinique afin de comprendre ce défaut de matériel.

#### *Vallée de l'Aude, étang de Vendres, Narbonne (BVA03)*

Les échantillons analysés ont montré 3 niveaux dans lesquels l'enregistrement pollinique ou la conservation est problématique : le niveau 1996 cm est stérile et les niveaux 1952 et 107 cm sont trop pauvres pour être représentatifs de la végétation.

Le niveau le plus profond, à 1996 cm, correspond à la phase lithostratigraphique U1, composée de sables moyens. La stérilité de ce niveau peut ainsi être le témoin d'un milieu non propice à l'enregistrement pollinique, avec des sédiments grossiers et un brassage hydrique trop violent pour le dépôt des grains de pollen, comme pourrait nous l'indiquer la sédimentation de sables moyens présente sur cette zone.

Le niveau 1952 cm, bien que correspondant à un sédiment plus fin (limons et sables fins), n'enregistre que peu de grains. Aussi, parmi les rares grains retrouvés, nous avons compté principalement des grains non identifiables car trop dégradés, des grains de taille importante (*Pinus sylvestris*-type) et des grains marqueurs de dégradation du matériel pollinique car aisément reconnaissables, même très endommagés (Cichorioidées). D'après notre analyse des biais taphonomiques potentiels, ce niveau semble très marqué par une forte dégradation du matériel pollinique, d'origine animale et/ou physico-chimique (oxydation) (Bottema, 1975 ; Couëteux, 1977 ; Hall, 1981 ; Havinga, 1984 ; Lebreton et al., 2017).

Ainsi, la base de la carotte BVA03 n'est pas favorable à l'enregistrement pollinique et à sa conservation. L'enregistrement pollinique utilisable ne débute qu'en U3, au-dessus de 1900 cm de profondeur, soit 6850 cal. BP, après la lacune de prélèvement localisée entre 1930 et 1900 cm, avec

des sédiments fins qui indiquent un milieu de dépôt en eau calme, plus propice à l'enregistrement pollinique (Phuphumirat et al., 2015 ; Reille, 1990a).

Le dernier niveau très pauvre en matériel pollinique de BVA03 (107 cm), provient d'un lit de sable de U8, une autre zone de limons et de sables fins dans laquelle les autres échantillons sont favorables à l'analyse pollinique. La très grande majorité des grains identifiés dans ce niveau sont des Cichorioidées. Les données XRF indiquent une phase d'apports marins plus importants. Cela peut signifier que ce niveau provient d'un évènement particulier et ponctuel, probablement d'une tempête, qui a enregistré peu de grains (Murgia, 2016) ; l'abondance des Cichorioidées pourrait refléter le remaniement par cet évènement de grains déjà abimés (Campbell, 1991).

La palynozone P3, entre 303 et 85 cm de profondeur (260-70 cal. BP ; 1650-1875 AD) est caractérisée par de forts pourcentages de Cichorioidées, ainsi que par une réduction de la concentration pollinique sans changement de type de sédimentation. Cela peut indiquer une dégradation du matériel pollinique (Bottema, 1975 ; Coûteaux, 1977 ; Hall, 1981 ; Havinga, 1984 ; Lebreton et al., 2017).

#### *Vallée de l'Hérault, Bagnas (B1)*

Quelques échantillons sont très pauvres en grains de pollen, mais aucun n'est complètement stérile. Les 8 échantillons non utilisables sont organisés en deux groupes et un niveau solitaire.

Les 4 niveaux entre 784 et 645 cm (1700-1510 cal. BP) correspondent aux unités sédimentaires U6 (composée de sables moyens) et au début de U7 (argiles avec coquilles laguno-marines). La granulométrie importante du sédiment pourrait expliquer la pauvreté en grains des niveaux 784 et 765 cm (1680 et 1660 cal. BP) (Phuphumirat et al., 2015 ; Reille, 1990a). Cependant, les échantillons situés à 710 et 645 cm (1590 et 1510 cal. BP) proviennent d'un épisode argileux et leur pauvreté en matériel pollinique ne peut être expliquée de la même façon. Sur l'ensemble de ces 4 niveaux, nous observons une très faible concentration pollinique associée à un fort taux de grains indéterminés, ce qui nous fait plutôt penser à une dégradation post-dépôt du matériel pollinique (Bottema, 1975 ; Coûteaux, 1977 ; Hall, 1981 ; Havinga, 1984 ; Lebreton et al., 2017). Les rares grains identifiés sont surtout des *Quercus* (*Q. ilex*-type et *Q. pubescens*-type) et des Poacées. Ces taxons, assez facilement reconnaissables, peuvent, dans certains cas, traduire une forte oxydation des grains (Lebreton et al., 2010). Ainsi, en cumulant ces éléments, et du fait que les autres données n'apportent pas d'indices supplémentaires, la pauvreté de ces niveaux semble pouvoir être expliquée par une dégradation importante du matériel pollinique.

Les 3 niveaux entre 485 et 424 cm (1320-940 cal. BP), correspondent aussi à U7, une phase de sédimentation argileuse. La très faible concentration pollinique sur ces niveaux est associée à la dominance des Cichorioidées et des Poacées, indiquant une dégradation du matériel pollinique (Bottema, 1975 ; Coûteaux, 1977 ; Hall, 1981 ; Havinga, 1984 ; Lebreton et al., 2017). La baisse de la richesse spécifique identifiée sur ces niveaux peut être liée à un problème de reconnaissance des grains et être un indice de plus orientant vers une dégradation du matériel pollinique comme explication de ces niveaux pauvres.

Le niveau pauvre à 292 cm de profondeur (290 cal. BP, 1660 AD) correspond à une zone de changement de coloration de U7, ce qui peut traduire un léger changement dans le mode de sédimentation. Une légère augmentation de la quantité de manganèse contenue dans le sédiment (analyses XRF) semble indiquer une meilleure oxygénation du milieu. Une grande partie des grains de pollen identifiés sur ce niveau sont des Cichorioidées. Ainsi, la pauvreté en matériel pollinique sur ce niveau peut être expliquée par une période de léger changement de sédimentation impactant l'enregistrement, ainsi que par une mauvaise conservation des grains, peut-être due à l'oxygénation du milieu (Bottema, 1975 ; Coûteaux, 1977 ; Hall, 1981 ; Havinga, 1984 ; Lebreton et al., 2017 ; Phumphumirat et al., 2015 ; Reille, 1990a).

#### Types d'apports du matériel pollinique enregistré :

Les biais d'enregistrement et de conservation du matériel pollinique étant maintenant connus, intéressons-nous ici aux différentes modalités d'apport du matériel pollinique. Nous l'avons vu, la taille des bassins sédimentaires étudiés permet théoriquement une bonne représentation de la végétation régionale (Jacobson & Bradshaw, 1981). Cependant, pour avoir une vision correcte des végétations plus lointaines, de l'arrière-pays et des contreforts montagneux, nous voulons obtenir un apport fluvial supplémentaire des grains de pollen. Mais ce double apport de matériel pollinique est-il effectif et visible dans nos données, et particulièrement dans le carottage du Bagnas pour lequel le lien entre l'étang et le fleuve ne fait pas consensus ? Pour pouvoir analyser finement ces apports, nous proposons, en figures 52 (pour la carotte BVA03) et 53 (pour la carotte B1), une synthèse de marqueurs permettant de discuter des types d'apports ainsi qu'un détail, en figures 54 (pour la carotte BVA03) et 55 (pour la carotte B1), des influx spécifiques des taxons et assemblages principaux.

#### *Vallée de l'Aude, étang de Vendres, Narbonne (BVA03)*

Malgré une concentration pollinique relativement stable, nous observons une augmentation radicale de l'influx pollinique à partir de 1350 cm (env. 950 cal. BP) (figure 52). Cette hausse de l'influx est répartie sur l'ensemble des principaux taxons et assemblages (figure 54), indiquant bien une augmentation globale de l'apport. À partir de ce même niveau, nous observons une régression de la concentration du foraminifère *Ammonia beccarii*, indiquant un adoucissement de l'eau et une augmentation des apports fluviaux. Les données XRF révèlent en outre une augmentation progressive de l'influence détritique terrigène depuis le début du carottage jusqu'à environ 1200 cm (env. 820 cal. BP), puis une relative stabilisation des apports. L'augmentation de l'influx pollinique semble par conséquent traduire l'accroissement de l'apport fluvial (Höbig et al., 2012 ; Jin et al., 2006 ; López-Buendía et al., 1999).

Cependant, sur les niveaux proches de 1350 cm, nous ne notons aucun changement stratigraphique majeur. Il y a une légère modification de la stratigraphie entre les unités sédimentaires U3 et U4 (à 1180 cm de profondeur, soit env. 810 cal. BP) et, même si la matrice reste similaire entre les deux phases, il y a, en U4, une disparition des coquilles et des lits de débris coquilliers qui étaient présents en U3. Cette limite n'est cependant accompagnée d'aucun autre changement dans nos données : nous pouvons plutôt y voir l'évolution du milieu avec un apport fluvial qui augmente très

progressivement et qui permet un apport de matériel pollinique plus important dès 1350 cm (950 cal. BP).

Lorsque l'on regarde les données polliniques, on constate que les grains de pollen les plus abondants dans les niveaux au-dessus de 1350 cm (début de palynozone P2) sont les Cichorioidées, qui représentent environ 20% de l'assemblage sur P2. Les assemblages végétaux forestiers et la forêt alluviale ne semblent pas affectés par cette hausse de l'influx. Le taux de grains non identifiés augmente légèrement, mais cette augmentation ne correspond pas à l'idée de niveaux dégradés comme le suggèrent les Cichorioidées (Haviga, 1984 ; Lebreton et al., 2010). Il est ainsi envisageable que les Cichorioidées ne soient pas, ici, des marqueurs de dégradation ou qu'elles indiquent un apport pollinique fluvial plus fortement dégradé que l'apport éolien.

Bien que le milieu semble s'adoucir et être de plus en plus soumis à l'influence fluviale, comme le suggère la réduction importante de la concentration de *Spiniferites* dès 1250 cm (env. 850 cal. BP) les assemblages polliniques ne changent de façon marquante qu'après la quasi-disparition des deux types de dinoflagellés d'eau salée ou saumâtre vers 1100 cm (760 cal. BP), lors de la palynozone P2c. Dans cette zone, entre 1051 et 955 cm (733-677 cal. BP) selon le modèle d'âge, nous observons un taux de pollen d'arbre plus élevé du fait d'un meilleur enregistrement des assemblages forestiers et de la très forte représentation de la forêt alluviale. Dans cette zone, nous notons aussi une légère baisse des Cichorioidées et des Amaranthacées, associée à une forte présence des hydrophytes. Cette plus grande importance des taxons dulçaquicoles, associée à une légère baisse de la concentration pollinique et de l'influx, pourrait traduire une augmentation de l'influence de l'apport fluvial au détriment de l'enregistrement éolien local.

Dès 850 cm de profondeur environ (env. 615 cal. BP), les données XRF présentent des enregistrements élémentaires moins réguliers, avec de nombreuses micro-variations, pouvant traduire une influence événementielle plus importante, telle celle de tempêtes ou de crues (Degeai et al., 2015). Cela correspond au changement sédimentaire de la phase U5 (qui débute à 834 cm, soit 805 cal. BP), dans laquelle le sédiment devient très lité, avec présence de lits de sédiments différents de la matrice argilo-limoneuse (présence de lits d'argile et sables fins ainsi que des lits de sables fins). À cela, sont associées des variations importantes de la concentration pollinique et de l'influx. Ces éléments semblent identifier que l'enregistrement devient plus ponctuel, plus soumis à des événements, que l'enregistrement régulier précédent.

Nous pouvons aussi noter une réduction de l'influx pollinique sur le sommet de la carotte, à partir d'environ 350 cm de profondeur (300 cal. BP), soit sur la palynozone P3. À partir de cette profondeur, l'enregistrement pollinique, déjà identifié comme dégradé, semble plus local, comme le suggère la baisse de l'enregistrement des formations arborées plus lointaines, la chute de l'enregistrement de la forêt alluviale, ainsi que la forte présence d'herbacées aquatiques locales. Aussi, seul l'influx spécifique des Amaranthacées (figure 54), taxon local, ne chute pas radicalement. Tout cela semble traduire une réduction de l'apport de grains lointains, et ainsi, une baisse des apports fluviaux et une dégradation des grains de pollen d'origine lointaine, plutôt qu'un réel changement dans la dynamique de la végétation.

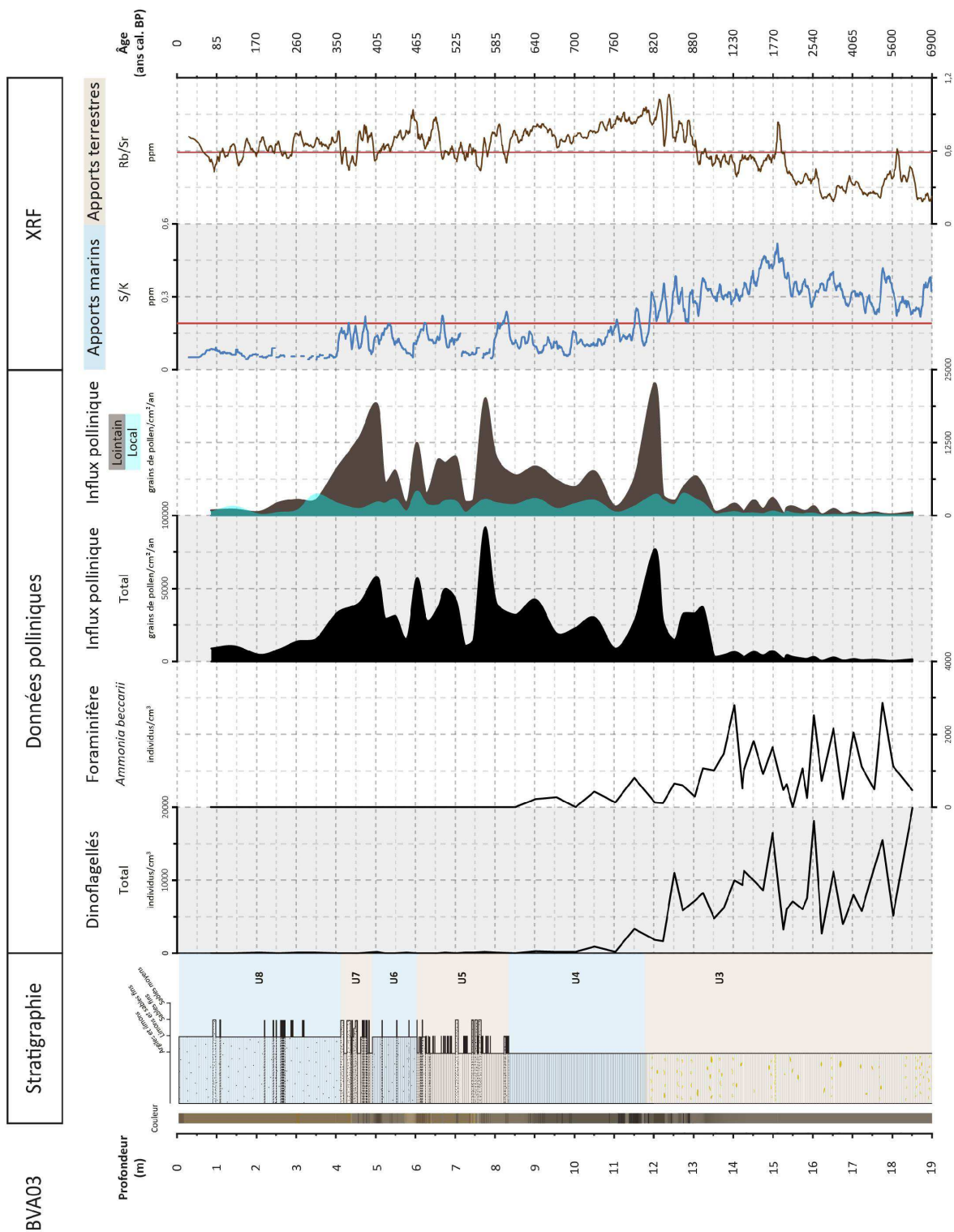


Figure 52. Synthèse de marqueurs permettant de discuter des types d'apports de matériel pollinique, carotte BVA03 (Vendres)

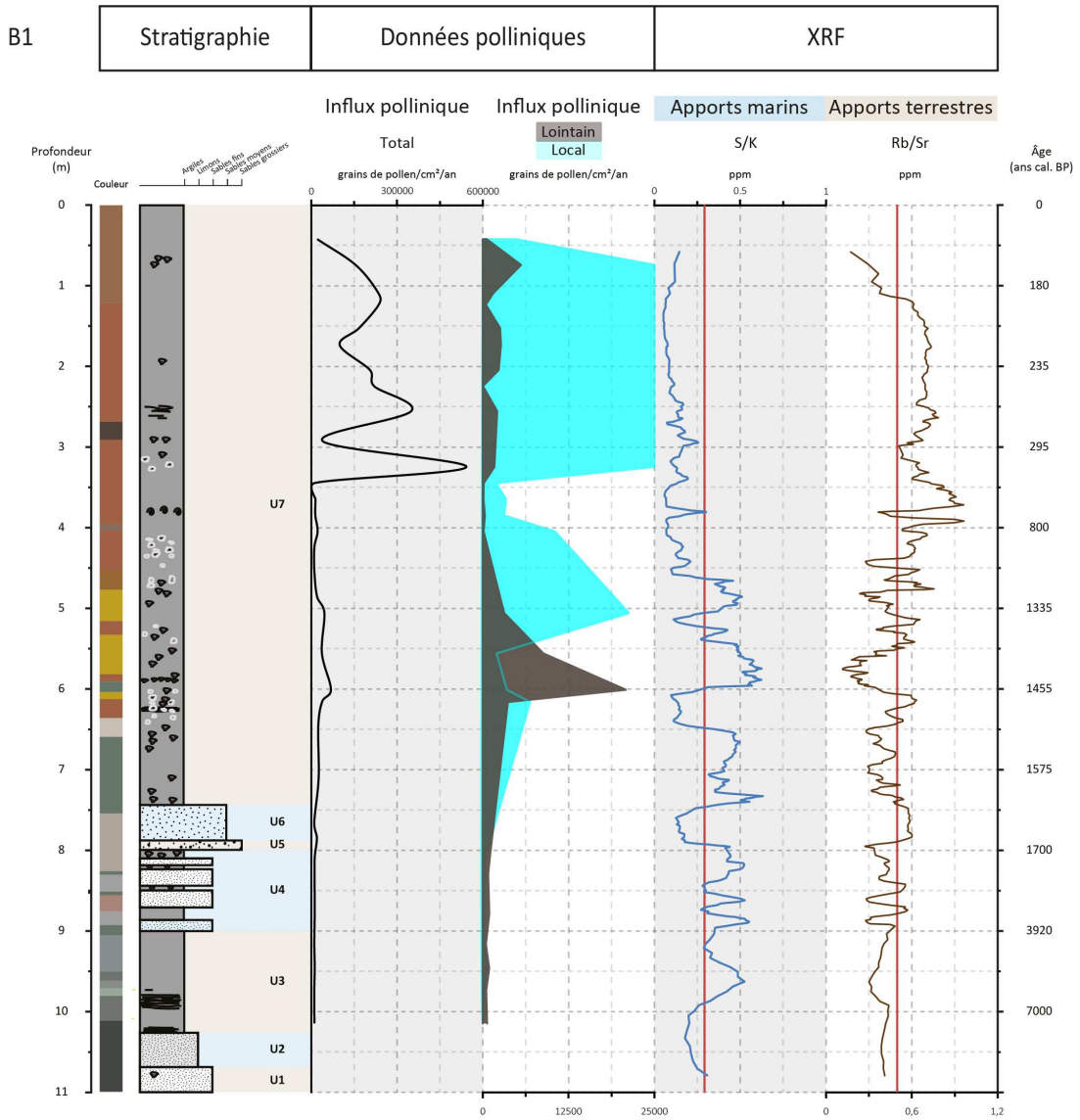


Figure 53. synthèse de marqueurs permettant de discuter des types d'apports de matériel pollinique, carotte B1 (Bagnas)

Carottage BVA03

Influx spécifiques des taxons et assemblages principaux

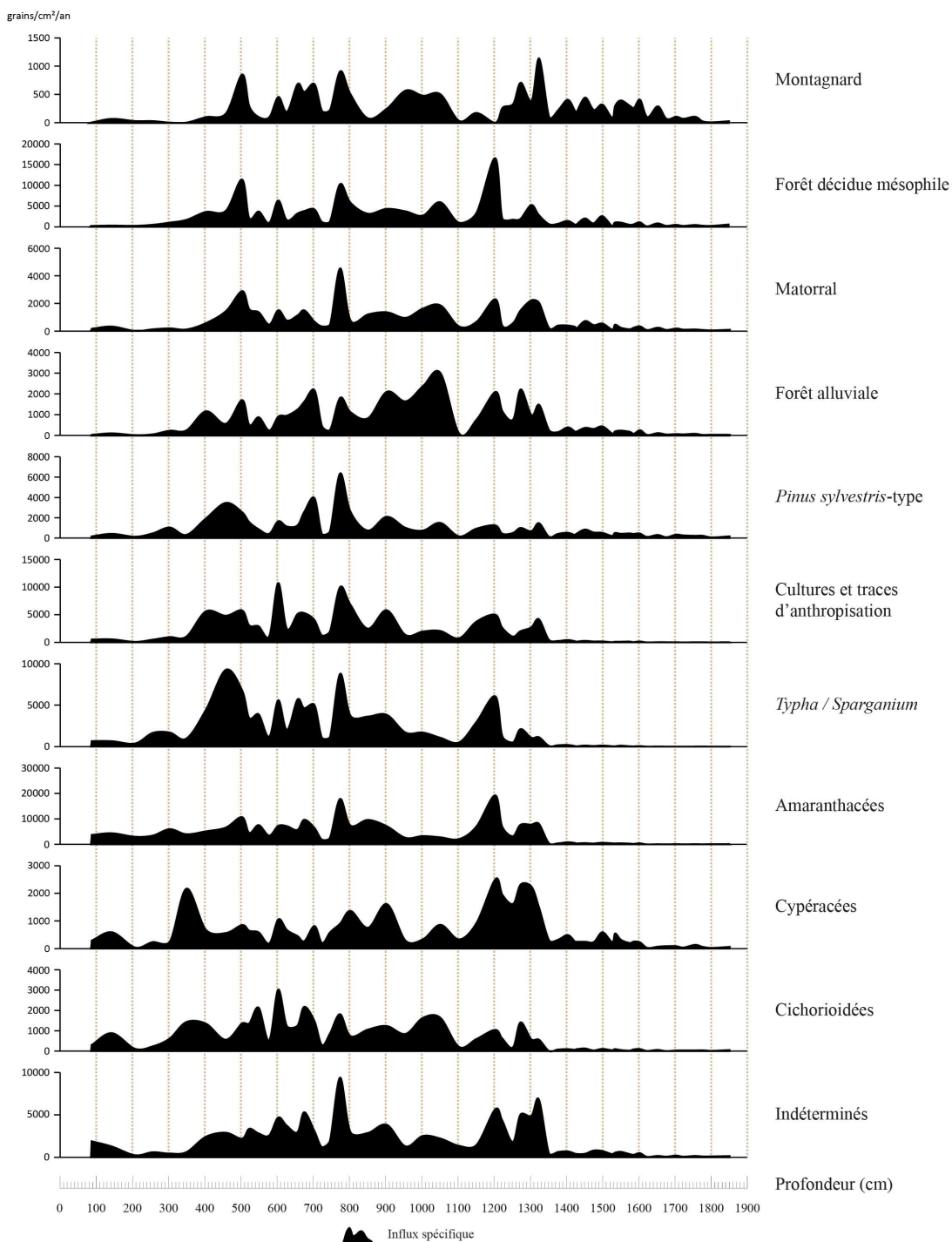


Figure 54. Influx spécifiques des taxons et assemblages principaux, carotte BVA03



Carottage B1

Influx spécifiques des taxons et assemblages principaux

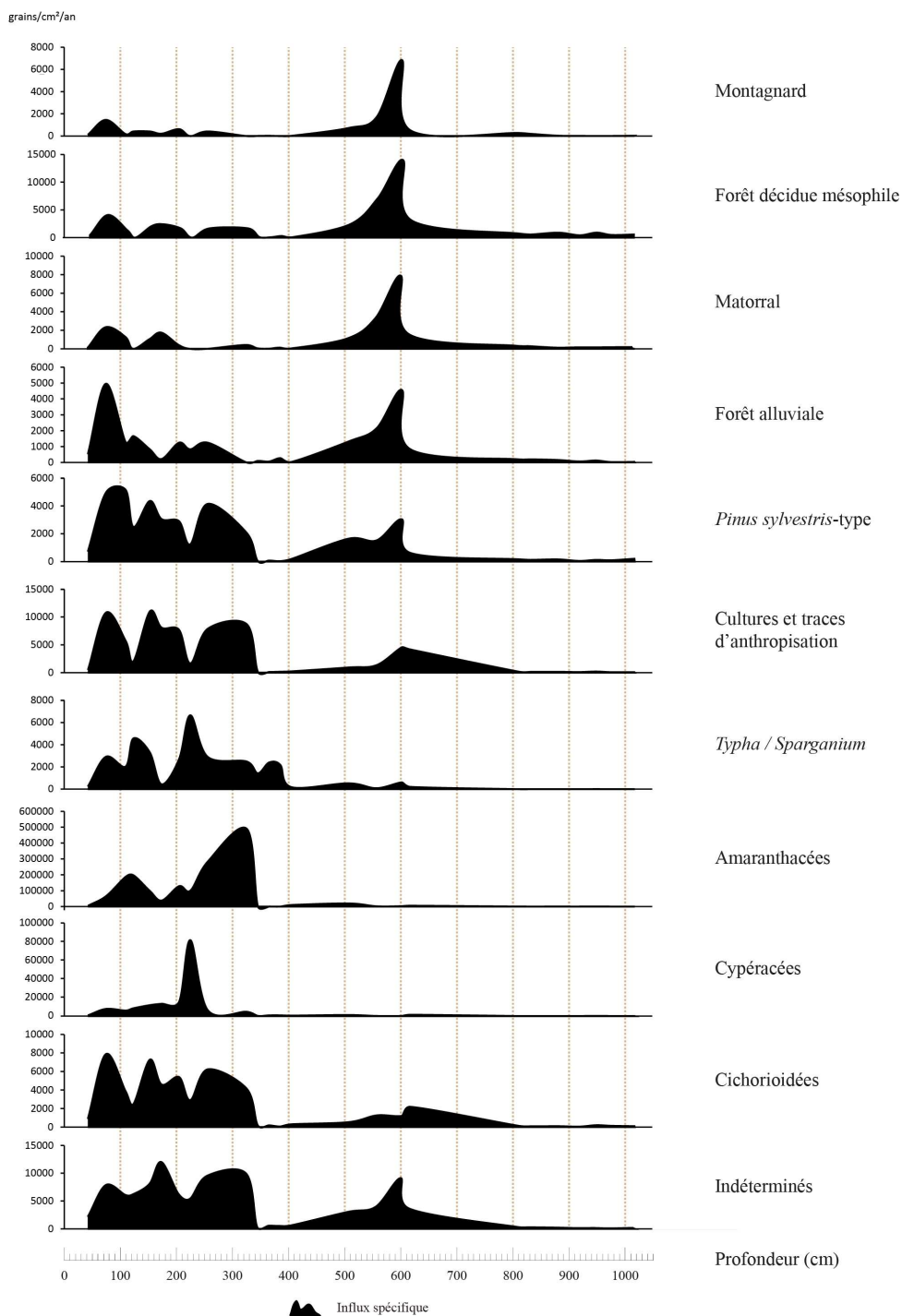


Figure 55. Influx spécifiques des taxons et assemblages principaux, carotte B1

*Vallée de l'Hérault, Bagnas (B1)*

Entre le début de la séquence et 324 cm (300 cal. BP environ), l'influx pollinique est très faible, du même ordre que sur la première partie de BVA03 (avant 1350 cm) et les données XRF indiquent une augmentation régulière de l'influence terricole depuis au moins 730 cm (1630 cal. BP), soit depuis le début de la phase X4 dans les données de géochimie élémentaire. Durant cette phase, les assemblages forestiers dominent l'enregistrement et l'assemblage montagnard n'est que très peu visible jusqu'à 828 cm (2060 cal. BP). Entre 828 et 324 cm (2060-300 cal. BP), l'enregistrement lointain de l'étage Montagnard est plus visible dans les diagrammes pollinique, mais l'influx particulier de cet assemblage, ainsi que celui de la forêt alluviale ne présente pas d'augmentation importante, ne permettant ainsi pas d'identifier une augmentation de l'apport fluvial.

Nous observons également une phase particulière entre 600 et 555 cm de profondeur (P1c, 1450-1400 cal. BP), qui présente un taux de pollen arboréen important associé à un meilleur enregistrement des assemblages mésophiles, montagnards et de la forêt alluviale. Dans cette phase, on remarque une très légère hausse de l'influx pollinique total, provenant de la hausse de l'influx des assemblages forestiers régionaux et lointains ainsi que de la forêt alluviale et des indéterminés (figure 55). Durant cette phase, les taxons locaux (par exemple, les Cypéracées et les Amaranthacées) sont très peu visibles, tant en taux qu'en influx. Cela montre un enregistrement ponctuellement bien plus régional que local, et la forte représentation de la forêt alluviale suggère un apport d'origine fluviale important durant cette phase. Cette interprétation semble en contradiction apparente avec les données XRF qui indiquent une influence plutôt marine. Deux explications possibles : (1) la configuration de la lagune est telle que les deux influences fluviale et marine se font sentir sur le lieu de carottage ; et (2) le signal pollinique fluvial enregistré provient de l'augmentation de l'arrivée d'eau de mer de surface chargée en matériel pollinique régional par l'embouchure de l'Hérault très proche (Beaudouin et al., 2007b).

Entre 324 cm (300 cal. BP) et le sommet de la séquence, l'influx pollinique est bien plus important que sur le reste du carottage. Nous excluons le niveau particulier à 292 cm, car il a déjà été identifié comme disposant d'un mauvais enregistrement. À 300 cal. BP (1650 AD ; 324 cm), l'influx pollinique est très fort, puis il chute avant de revenir abondant dès 152 cm (200 cal. BP ; 1750 AD). Ces augmentations d'influx pourraient correspondre à un apport augmenté par un canal reliant le Bagnas et l'Hérault, comme attesté sur une carte de 1665 AD (Adgé, 1995) et la création du canal Pont Martin durant la seconde moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle (Martin, 1988 ; Vielfaure, 2017). Cependant, les taxons à l'origine de cet influx plus important sont principalement les taxons locaux et, en moindre part, la forêt alluviale ; les assemblages forestiers régionaux ne participent que très peu à ce fort influx (figure 55). Cette phase correspond à la palynozone P4 et est principalement caractérisée par un taux extrêmement élevé d'Amaranthacées. La présence de tétrades de grains sur ces niveaux atteste la chute d'étamines et donc la présence locale des Amaranthacées, qui devaient former des sansouïres ou prés salés sur les bordures de la lagune. Ces éléments traduisent ici non pas un apport fluvial plus important ou une dégradation du matériel, mais plutôt l'augmentation et la prédominance de l'apport strictement local de matériel pollinique sur cette zone.

Ainsi, contrairement aux données de l'Aude (BVA03), nous n'observons ici aucun signal pollinique lointain susceptible d'indiquer un apport fluvial de matériel dans l'étang du Bagnas. Même si des canaux ont pu exister dès le Moyen Âge, comme le propose Martin (1988), nous ne pouvons pas

apporter d'éléments en faveur d'un bras de l'Hérault se jetant dans le Bagnas. Nos données supportent de fait l'hypothèse d'Ambert (Ambert, 1995, 2001 ; Ropiot, 2007).

L'influence fluviale dans l'apport des grains de pollen n'est effective que dans les données de l'Aude et, même si cette influence n'est pas régulière tout au long des séquences, cela permet toutefois d'obtenir des informations supplémentaires par rapport à des analyses littorales ne disposant pas de ce type d'apport. Aussi, les données du Bagnas ne disposant pas de cet apport lointain, nous devons nous contenter de données palynologiques plus classiques. Cependant, en traitant ces données de manière spatiale (voir chapitre V), nous pourrions quand même obtenir des informations sur les dynamiques des paysages de la vallée de l'Hérault. Même si ce type d'analyse est méthodologiquement plus complexe que d'autres études palynologiques plus classiques, les informations supplémentaires apportées par les différents types d'enregistrement, ainsi que la possibilité d'analyser nos signaux en détail appuient l'intérêt des analyses polliniques en lagune (Planchais, 1984). Bien entendu, la complexité de ce type d'étude demande une bonne identification des biais supplémentaires liés aux systèmes d'enregistrement. Ainsi, avec ces premières parties en tête, nous pouvons maintenant étudier les différentes végétations enregistrées, ainsi que leur origine et leurs évolutions.



## Chapitre V : Identification des signaux et des paysages dans les vallées de l'Aude et de l'Hérault

L'enregistrement pollinique peut provenir de différents apports (fluvial et éolien), lesquels ne sont pas identiques dans les carottages étudiés. Ce chapitre aborde les dynamiques paysagères passées des deux bassins versants étudiés, en prenant en compte l'origine des plantes émettrice des grains de pollen. Les caractéristiques de production et de dispersion du pollen des différents taxons rencontrés apportent des informations pour localiser géographiquement les formations végétales régionales, et comprendre les différences d'enregistrement et les particularités des apports ou des paysages des vallées de l'Aude et de l'Hérault en croisant les données des carottages B1 et BVA03.

Dans nos carottages, les différents signaux, locaux, régionaux et lointains, sont réunis en un même point, et sont ainsi fusionnés. De par le principe du diagramme pollinique qui établit des rapports (en pourcentages) entre un taxon et l'ensemble des grains recensés, il est important de bien différencier les multiples provenances des grains. Cela est particulièrement important pour l'analyse du taux d'ouverture du milieu. En effet, l'ouverture du milieu étant établie par le pourcentage d'arbres sur l'ensemble des données, une surreprésentation de l'enregistrement local, régional, lointain ou encore d'un type d'apport (fluvial ou éolien) peut facilement biaiser la vision de l'emprise du couvert forestier. Dans la plupart des études palynologiques, le taux de pollen d'arbre ne reflète ainsi que le degré d'ouverture de la région étudiée (30 km). Ici, nous cherchons à affiner les informations afin de pouvoir définir géographiquement les particularités des paysages.

### 1. Biogéographie des assemblages végétaux

Pour permettre une meilleure compréhension de l'origine des grains et de l'organisation des paysages, nous nous basons sur le principe d'actualisme, ou uniformitarisme, qui indique, dans notre cas, que les grains fossiles rencontrés proviennent de taxons ayant les mêmes affinités écologiques que leurs homologues actuels (Reille, 1990a). Ce principe ne peut pas être utilisé pour des données trop anciennes. Cependant, dans notre cas, les végétations étudiées étant d'âge holocène (et donc très récentes à l'échelle des temps géologiques, sur laquelle jouent les processus évolutifs (Allen & Star, 1982 ; O'Neill et al., 1986), il est accepté que les taxons et les assemblages fossiles sont comparables aux actuels, ce qui permet les reconstructions basées sur l'écologie des espèces (Reille, 1990a). De ce fait, nous pouvons analyser les taxons rencontrés et les organiser en assemblages de végétation, et ainsi, en observant le territoire d'étude, reconstituer la répartition passée des diverses formations végétales identifiées.

Les taxons rassemblés dans le groupe « montagnard », à savoir *Abies*, *Betula* et *Fagus*, sont les taxons qui représentent l'étage de végétation le plus élevé que nous ayons enregistré dans nos diagrammes. Ces taxons se développent dans l'étage de végétation Montagnard, au-dessus d'environ 800 m d'altitude (Quézel & Médail, 2003 ; Rameau et al., 2008). Dans notre secteur d'étude, les points de carottage se trouvent assez éloignés des reliefs. En effet, le site de carottage de B1 se trouve à environ 40 km des premiers niveaux à 800 m d'altitude dans les Cévennes et à 80 km de ces

mêmes altitudes dans les Pyrénées. Le site du carottage BVA03 se situe à environ 40 km des premiers secteurs à 800 m d'altitude dans les Cévennes (40 km de la Montagne noire et 50 km des Monts de Lacaune) et à 60 km des zones de même altitude dans les Pyrénées. Cependant, les fleuves Aude et Hérault bordent des zones d'altitude supérieure à 800 m dans le premier tiers de leur cours respectif ; l'Aude provenant des Pyrénées, et l'Hérault des Cévennes (I.G.N., 2016).

Les taxons regroupés dans l'assemblage « forêt décidue mésophile », à savoir *Corylus*, *Quercus pubescens*-type et *Tilia*, forment des chênaies caducifoliées (chênaies à chêne pubescent, *Quercetalia pubescenti-sessiliflorae*) se retrouvant dans l'étage de végétation Supra-Méditerranéen (équivalent du Collinéen médio-européen) (Quézel & Médail, 2003 ; Rameau et al., 2008). Cette formation a été souvent appelée dans la littérature ancienne chênaie mixte (*Quercetum mixtum*), en référence à la diversité des taxons la constituant (par exemple Laval et Médus, 1994). Dans les régions non-méditerranéennes, cette chênaie mixte intégrait également *Fraxinus* et *Ulmus* (par exemple, De Beaulieu, 1977). Cette conception n'a pas été retenue ici, car ces deux genres ne sont représentés en région climatique méditerranéenne que par les espèces *Fraxinus angustifolia* et *Ulmus minor*, qui se développent surtout sur les sols profonds et hydromorphes des vallées alluviales et dans les ripisylves. Par conséquent, ces deux taxons ont été intégrés dans l'assemblage « forêt alluviale » (cf. ci-dessous).

*Cistus*, *Cupressus/Juniperus*, *Phillyrea*, et *Quercus ilex*-type forment l'assemblage « matorral », qui correspond aux chênaies sclérophylles méditerranéennes (chênaies à chêne vert ou Yeuseraies, chênaies à chêne kermès, *Quercion ilicis*) caractéristiques de l'étage Méso-Méditerranéen (Quézel & Médail, 2003 ; Rameau et al., 2008). Ces formations trouvent leur optimum de développement au Maghreb et dans les péninsules du sud de l'Europe (par exemple, Pons et Reille, 1988), et elles représentent dans les régions du nord de la Méditerranée occidentale des formations secondaires de dégradation favorisées par les activités humaines au détriment des chênaies caducifoliées (Reille & Pons, 1992). Tel est également le cas du genre *Pinus*, surtout représenté dans la région par le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), qui constitue dans le Méso-Méditerranéen des peuplements post-incendies dont le recouvrement peut être localement important (Quézel & Médail, 2003 ; Rameau et al., 2008). Il est possible que le pollen de *Pinus* puisse également provenir du pin de Salzmann (*Pinus nigra* subsp. *salzmannii*), endémique ibéro-languedocien qui présente quelques populations relictuelles dans les Cévennes, notamment à proximité du cours du fleuve Hérault (Debazac, 1963 ; Quézel & Médail, 2003 ; Vernet, 2006). Toutefois, l'aire réduite de ce taxon inféodé aux substrats dolomitiques rend peu probable son enregistrement pollinique régulier dans les lagunes du littoral languedocien.

Nous pouvons préciser l'emplacement géographique de ces formations végétales, qui se développent essentiellement sur les coteaux ou les collines. Le site de carottage B1 est à environ 30 km des premières stations supra-méditerranéennes des Cévennes, et le site BVA03 se trouve également à environ 30 km des premières stations supra-méditerranéennes, à égale distance des Cévennes et des Pyrénées. Les deux sites se trouvent au sein de l'étage Méso-Méditerranéen, dont les premiers affleurements rocheux susceptibles de porter des chênaies sclérophylles se situent à quelques kilomètres seulement des sites de carottage (I.G.N., 2016).

Nos données enregistrent également la forêt alluviale, caractérisée par les taxons *Alnus*, *Fraxinus*, *Populus*, *Salix*, *Ulmus* et *Vitis* (Quézel & Médail, 2003 ; Rameau et al., 2008). Ces taxons peuvent être

présents au long des cours d'eau, depuis le Méso-Méditerranéen jusqu'au Montagnard (à l'exception de *Vitis*, qui ne dépasse pas le Supra-Méditerranéen). Toutefois, ce n'est que dans les parties basses de ces fleuves que ces formations peuvent vraiment s'exprimer, sur les sols profonds des grandes vallées alluviales qu'ils constituent dans la plaine littorale languedocienne. Leur extension actuelle n'est toutefois qu'un pâle reflet de ce qu'elle a pu être dans le passé, car ces zones fertiles ont à peu près partout été défrichées pour être mises en culture. Nous pouvons noter que la vigne, actuellement très cultivée sous sa forme monoïque (*Vitis vinifera* subsp. *vinifera*) est naturellement présente sous sa forme dioïque sauvage (*V. vinifera* subsp. *sylvestris*) dans les forêts alluviales et les ripisylves de la région (Arnold et al., 1998 ; Planchais, 1972), qui possède d'ailleurs la plus grosse population européenne sur le versant nord du Pic St-Loup, au nord de Montpellier (This et al., 2001). Les deux sous-espèces étant malheureusement indiscernables par le pollen, le seul moyen d'identifier des cultures anciennes est de repérer des pourcentages élevés, supérieurs au faible enregistrement généré par les populations sauvages que l'on retrouve dans nos données.

Parmi les ligneux cultivés, l'olivier (*Olea*) est une essence qui se développe principalement dans l'étage Thermo-Méditerranéen (Rameau et al., 2008, 1989). Il peut aussi se développer naturellement dans le Méso-Méditerranéen inférieur (Rameau et al., 2008 ; Terral & Arnold-Simard, 1996), mais son extension dans cet étage et sa présence sur le pourtour méditerranéen français est surtout liée à sa mise en culture depuis l'Antiquité (Laval & Médus, 1989 ; Leveau et al., 1991 ; Terral & Arnold-Simard, 1996). Le noyer (*Juglans*) est une espèce présente depuis le Supra-Méditerranéen jusque dans le Montagnard inférieur (Rameau et al., 2008). Le châtaignier (*Castanea*), espèce calcifuge, se développe quant à lui essentiellement au Supra-Méditerranéen, sur substrat siliceux (Rameau et al., 2008) et est limité aux massifs du sud du Massif Central (Cévennes, Monts de Lacaune, Monts de l'Espinouse, Montagne Noire) cristallins et schisteux (Gis Sol, 2011 ; Rameau et al., 2008).

Enfin, certaines herbacées enregistrées dans les séquences sédimentaires étudiées peuvent aussi apporter des informations géographiques. C'est notamment le cas de *Typha/Sparganium*, qui regroupe des herbacées aquatiques et héliophytiques, se développant dans des marais ou lacs d'eau douce (Julve, 2017). C'est également le cas des Amaranthacées, qui comprennent plusieurs ligneux bas (*Arthrocnemum glaucum*, *Sarcocornia fruticosa*, *Suaeda vera*) ou herbacées charnues (*Halimione portulacoides*, *Salicornia* spp., ...) typiques des sols salés, vivant dans les zones littorales, autour des lagunes saumâtres (Julve, 2017). Ces deux groupes peuvent être considérés comme d'origine locale, et permettent, en plus de caractériser la végétation littorale, de mieux appréhender les changements de salinité, et ainsi de végétation et d'environnement des zones lagunaires littorales autour des points de carottages.

## 2. Origine du signal pollinique

Analysons maintenant nos données pour mieux comprendre l'enregistrement global en apportant des précisions géographiques.

*Vallée de l'Aude, étang de Vendres, Narbonne (BVA03)*

La carotte prélevée dans la vallée de l'Aude montre un bon enregistrement des végétations régionale et lointaine entre 7000 et 1000 cal. BP (palynozone P1, 1851-1352 cm). Le signal pollinique est cependant dominé par la forêt décidue mésophile et les pinèdes, accompagnées d'une présence régulière de l'assemblage matorral, ce qui atteste l'extension importante de ces végétations dans la région.

Entre 890 et 300 cal. BP (palynozone 2, 1324-349 cm), les différents types de végétation arborée sont toujours enregistrés, mais certains sont en régression. Bien que la région soit toujours dominée par la forêt décidue mésophile, on observe une baisse générale du taux de pollen arboré, qui pourrait signifier une ouverture du milieu. Cette ouverture du paysage devrait se traduire par une meilleure perception du pollen d'origine lointaine (Tauber, 1965). Or, les taxons montagnards ne sont quasiment plus perçus, ce qui peut être interprété comme traduisant la déforestation récente des forêts d'altitude des reliefs cévenols, enregistrée dans la littérature dès le début du Subatlantique (Pulido Avila, 2006). Cette hypothèse est supportée par l'augmentation contemporaine des Ericacées. En effet, bien que certaines espèces (*Erica multiflora*, *E. scoparia*) puissent se développer à basse altitude, dans le Méso-Méditerranéen, les bruyères sont surtout calcifuges et constituent d'importantes formations de dégradation arbustives dans le Supra-Méditerranéen et le Montagnard (*Calluna vulgaris*, *Erica arborea*, *E. cinerea*, *E. scoparia*) des reliefs siliceux (André & Ambert, 1998 ; Jalut, 1973 ; Reille, 1988 ; Triat-Laval, 1978). L'augmentation des indicateurs d'anthropisation et de culture, ainsi que des Poacées, suggère qu'il y a, dans cette période, une réelle ouverture du couvert végétal régional lié à l'intensification des activités agro-pastorales.

Entre 263 et 74 cal. BP (palynozone P3, 303-85 cm), la dynamique régionale des formations forestières est difficile à percevoir, car, comme vu précédemment, cette zone enregistre principalement du matériel pollinique local. Toutefois, malgré le "masquage" des dynamiques régionales par l'enregistrement pollinique local, nous pouvons observer, après exclusion des Cichorioidées, des assemblages forestiers qui présentent des valeurs proches de celles de P2, ce qui suggère une stabilité du couvert arboré.

Les niveaux P1d et P2g sont particuliers et sont distingués par les analyses statistiques. Le niveau P1d (1352 cm ; 952 cal. BP) ne semble pas différer des zones alentour et semble constituer une transition entre les zones P1c et P2a. Le niveau P2g (349 cm ; 300 cal. BP) est plus original. Il présente une forte présence d'Amaranthacées et d'hydrophytes, ainsi qu'une baisse de l'enregistrement des formations forestières et des Ericacées. Cela semble indiquer un apport pollinique local, masquant les végétations ligneuses plus lointaines.

*Vallée de l'Hérault, Bagnas (B1)*

Entre le début de la sédimentation (antérieur à 7600 cal. BP) et 1400 cal. BP (palynozone P1, 1093-555 cm), les formations régionales apparaissent bien enregistrées. La végétation régionale apparaît là aussi dominée par les essences supra-méditerranéennes (forêt décidue mésophile) et les assemblages polliniques montrent un signal pollinique des taxons montagnards normal pour un enregistrement littoral (<5 % ; Planchais 1984).



Après 1400 cal. BP, les phases P2, P3 et P4 présentent des enregistrements extrêmement locaux, dominés par les Amaranthacées, *Typha/Sparganium* et les Cypéracées, qui limitent fortement la perception des assemblages régionaux.

En effet, entre 1340 et 800 cal. BP (P2, 505-404 cm), l'enregistrement est largement dominé par les Amaranthacées et la présence, sur le dernier niveau de P2, de grains de ce taxon en tétrades indique leur développement local. En excluant ce taxon des sommes polliniques, il semblerait que les assemblages forestiers régionaux régressent, mais nous n'avons pas de données concernant leur remplacement, les seuls autres taxons prenant de l'importance étant les Cypéracées et les Poacées. La taille importante des grains de pollen de ces herbacées ne permettant pas une dispersion lointaine, ces deux taxons reflètent la végétation locale plutôt que celle de l'arrière-pays (Fægri et al., 1989). Les cultures et marqueurs d'anthropisation sont stables, et n'expliquent pas non plus la baisse apparente des formations arborées. Nous pouvons en déduire que les forêts régionales ne sont pas en fort déclin, mais plutôt que le milieu de dépôt n'est pas très favorable à l'enregistrement, surtout des formations régionales. La présence d'une phase très pauvre en matériel pollinique au sein de cette zone appuie l'idée d'une phase d'enregistrement réduit et principalement local du matériel pollinique. Le cas similaire d'un vaste marais endoréique d'Afrique du Nord de plusieurs kilomètres carrés n'enregistrant quasi-exclusivement que la végétation locale a été publié récemment (Rouissi et al., 2018). Bien que ces résultats soient surprenants au vu de la superficie de ces bassins sédimentaires (Jacobson & Bradshaw, 1981), le fait que ce type d'enregistrement existe dans d'autres régions confirme la fiabilité de nos données.

Entre 670 et 408 cal. BP (P3, 384-344 cm), l'enregistrement régional est toujours très faible, du même ordre qu'en P2. Seul *Pinus* est encore moins bien enregistré. L'enregistrement est toujours très local, mais indique un changement de végétation locale, avec une régression des sansouïres (Amaranthacées) au profit des marais dulçaquicoles (Cypéracées, Poacées, *Typha/Sparganium*).

Enfin, entre 308 et 126 cal. BP (P4, 324-42 cm), l'enregistrement des formations forestières régionales est toujours très limité car l'influx spécifique des formations plus locales augmente (figure 55). Dans cette zone, les Amaranthacées sont largement dominantes et leur présence locale est bien attestée par la présence de grains en tétrades dans cinq niveaux entre 250 et 100 cm (260-175 cal. BP). En dehors de ce taxon, nous observons une forte présence des Poacées et des Cypéracées (ce dernier taxon ayant un taux très fort en P4b). Cette zone est très semblable à P2 et les analyses factorielles des correspondances les regroupent en une seule entité. La différence majeure que l'on peut observer réside dans le fait qu'en P4, nous avons une présence assez marquée (même si irrégulière) des cultures et traces d'anthropisation.

### 3. Les paysages régionaux et lointains

Dans l'ensemble, les différentes formations forestières régionales enregistrées sont les mêmes sur les deux carottages et montrent que les vallées de l'Aude et l'Hérault ont abrité des assemblages forestiers similaires. Quelques petites différences entre les deux vallées peuvent toutefois être notées.

L'assemblage Montagnard est mieux enregistré dans la vallée de l'Aude (carotte BVA03) que dans la vallée de l'Hérault (carotte B1). Dans l'Hérault, nous observons cet assemblage principalement dès avant 7600 à 1400 cal. BP (Palynozone P1), car le voilage local de l'enregistrement atténue fortement la vision régionale sur les phases plus récentes. La meilleure vision de l'étage montagnard dans la vallée de l'Aude peut venir du fait que ce fleuve est à proximité de deux chaînes de montagne, les Cévennes et les Pyrénées, tandis que l'Hérault n'est proche que des Cévennes. Sur des données de la vallée de l'Aude, l'assemblage montagnard est dominé par le sapin et le hêtre entre 6350 et 1085 cal. BP, puis, dès 900 cal. BP, le bouleau devient dominant tandis que le sapin et le hêtre ne sont plus qu'anecdotiques. Dans l'Hérault, le sapin reste ponctuel, au contraire du bouleau et du hêtre. Le bouleau, même si faiblement enregistré, est régulièrement présent et le hêtre est bien enregistré et est même dominant entre environ 3200 et 1300 cal. BP (870-500 cm), puis devient plus rare. Cela montre que, même si les mêmes taxons montagnards sont présents dans les deux vallées, il y a eu des variations locales de la composition des forêts d'altitude. Aussi, dans les deux carottes, le bouleau est enregistré bien plus régulièrement, que ce soit sur la durée ou dans ses proportions, que les autres taxons montagnards. Cela peut indiquer que le bouleau, même s'il a été impacté par les évolutions de la composition des forêts montagnardes, reste assez présent dans la région, pouvant même se retrouver dans l'étage Supra-Méditerranéen dans des stations fraîches (Rameau et al., 2008).

L'étage Supra-Méditerranéen, occupé par les formations caducifoliées, est bien visible dans les deux vallées, même si, encore une fois, il est voilé par l'enregistrement très local sur la fin de la séquence du Bagnas. Dans les deux jeux de données, cet assemblage est constitué par *Quercus pubescens*-type, *Corylus* et *Ulmus*, ce qui traduit une cohésion à l'échelle régionale de cet assemblage. Le taxon *Quercus pubescens*-type correspond ici principalement au chêne pubescent, *Quercus pubescens*, commun en région méditerranéenne, mais peut aussi intégrer quelques chênes rouvres, *Q. petraea*, qui remplace le chêne pubescent hors région méditerranéenne (Rameau et al., 2008).

L'étage Méso-Méditerranéen, occupé quant à lui par des formations sempervirentes, est enregistré sur les deux carottes et est représenté principalement par *Quercus ilex*-type, associé à *Phillyrea* et *Cistus* de façon ponctuelle. Le taxon *Quercus ilex*-type comprend deux espèces : le très commun chêne vert (*Quercus ilex*) et le chêne kermès (*Q. coccifera*), assez répandu en Languedoc (Julve, 2017 ; Rameau et al., 2008). La diversité de cet assemblage méso-méditerranéen est meilleure sur BVA03 et peut provenir d'une extension plus importante de cet assemblage dans la vallée de l'Aude ou de l'apport fluvial de matériel pollinique.

En ce qui concerne la forêt alluviale, cette formation est bien plus présente sur les données de la vallée de l'Aude que sur celles de la vallée de l'Hérault. Sur BVA03 (Aude), cet assemblage est dominé par *Alnus* et *Salix*, et on retrouve des occurrences ponctuelles mais assez fréquentes de *Fraxinus*, *Populus*, *Ulmus* et *Vitis*. Sur B1 (Hérault), le faible enregistrement de la forêt alluviale n'est visible qu'à travers la courbe d'*Alnus* et d'*Ulmus* (ce dernier taxon n'étant cependant régulier que sur le début de la séquence), les autres taxons étant extrêmement ponctuels. Cela peut être expliqué par l'influence fluviale attestée dans la lagune de Vendres. De plus, même si l'Hérault est à proximité de l'étang du Bagnas, le carottage B1 dispose d'un enregistrement très local sur une grande partie de sa profondeur, voilant l'enregistrement de la forêt alluviale plus régionale. Aussi, la plus grande diversité spécifique observée sur BVA03 peut facilement être expliquée par le double apport éolien et fluvial de matériel pollinique de BVA03. Cependant, la plus forte présence des Cichorioidées sur

BVA03 semble traduire un matériel pollinique plus dégradé (Havinga, 1984 ; Lebreton et al., 2010), probablement le matériel transporté par le fleuve plutôt que par les courants aériens. Cependant, encore une fois, la surreprésentation de l'enregistrement local sur B1 pourrait être l'origine de cette différence, les grains locaux étant en très grand nombre et en très bon état car voyageant peu, ils masqueraient, de par leur forte présence sur la lame, les autres taxons régionaux.

La présence des mêmes assemblages régionaux dans nos deux carottages, de la diversité spécifique plus importante sur BVA03 et du meilleur enregistrement des assemblages régionaux et lointains sur BVA03 sont des éléments en faveur de la fiabilité et de l'intérêt de la palynologie lagunaire si l'on cherche à reconstruire les végétations à l'échelle du bassin versant (Planchais, 1984).

#### **4. Un évènement particulier : la défluviation de l'Aude**

Des textes antiques indiquent l'importance du fleuve Aude dans l'économie et la vie des habitants de la région depuis au moins la fondation de Narbonne (Diodore de Sicile, *Bibliothèque Historique*, V, 38, 5 ; Strabon, *Géographie*, IV, 1, 6, 12 ; Sidoine Apollinaire, *Carmina*, XXIII, 43 ; Ambert, 2000; Gayraud, 1981; Sanchez et al., 2011). Aujourd'hui, le cours principal de l'Aude passe au nord du massif de la Clape pour se jeter dans la Méditerranée à Fleury. Il existe cependant un canal, nommé canal de la Robine, qui diverge du cours actuel de l'Aude au niveau de Sallèles-d'Aude, au nord-ouest de Narbonne, pour suivre un tracé traversant Narbonne, longeant l'étang de Bages-Sigean par l'est pour enfin se jeter dans la passe de Port-la-Nouvelle. Les sources anciennes attestent que, durant l'Antiquité, un bras de l'Aude (alors nommé *Atax*) était navigable en bateau ; cependant un colmatage rapide de ce cours a ramené le seuil de navigation en aval de Narbonne en seulement quelques siècles (Festus Avienus, *Ora Maritima* ; Pomponius Mela, *Géographie*, II, 5 ; Plinie l'ancien, *Histoire naturelle*, III, 5 ; Strabon, *Géo.*, IV, 1, 14 ; Lucain, *Pharsale*, I). Des découvertes archéologiques, telles la présence d'épaves dans la lagune et des aménagements fluviaux dans la zone de Mandirac (liant le tracé de la Robine à l'étang de Bages-Sigean), indiquent que le canal de la Robine a été une voie d'eau fortement utilisée et aménagée depuis l'Antiquité (Ollivier et al., 2009 ; Sanchez et al., 2016). La correspondance entre l'*Atax* des Romains et le canal de la Robine est encore en débat, Ambert y voyant deux éléments distincts (Ambert, 2000), tandis que d'autres auteurs sont plus réservés sur le sujet (Falguéra et al., 2000 ; Ollivier et al., 2009 ; Sanchez et al., 2011). Même si cette question reste en suspens, nous pouvons toutefois être certains d'un important commerce fluvio-maritime depuis l'Antiquité, qui utilisait l'*Atax*/Robine et l'étang de Bages-Sigean, et non le cours actuel de l'Aude (Sanchez et al., 2016).

Ce système commercial fluvio-maritime semble avoir subi un tournant majeur dans son histoire durant le Moyen Âge. En effet, certains auteurs, d'après des sources textuelles d'époque, avancent l'idée d'une crue majeure autour des années 1340 de notre ère (1322 A.D. selon Ollivier et al., 2009 ; 1343 A.D. selon Larue, 2007 ; 1350 A.D. selon Verdeil, 1970 et 1346 A.D. selon les textes des diocèses ; Robin, 2011) qui aurait fait changer l'Aude de cours principal, délaissant le cours ouest (le canal de la Robine à cette époque) au profit de l'actuel passant au nord de la Clape. Cette défluviation importante scelle le destin des activités liées au fleuve, qui se réduisent et ne

reprendront jamais l'ampleur qu'elles avaient, malgré les nombreux aménagements ou tentatives d'aménagements (Sanchez et al., 2011).

L'étude palynologique effectuée à proximité de Narbonne, sur ce bras ouest de l'Aude, a permis de mettre en évidence la présence, durant tout l'Holocène d'un cours ouest, mais pas l'évènement de défluviation, car une lacune de prélèvement dans la carotte empêchait l'analyse sur ces périodes récentes (Dolez, 2012 ; Dolez et al., 2015). Aussi, nous souhaitons nous pencher sur cet évènement marquant pour les habitants de la région de Narbonne et le chercher dans nos données provenant du cours principal actuel de l'Aude. Déceler des traces de cet évènement et son impact sur le système lagunaire pourrait nous permettre de mieux cerner l'importance du changement de la dynamique environnementale régionale.

Pour pouvoir analyser assez finement nos données sur cet évènement, il faut pouvoir l'identifier. Bien entendu, la probabilité d'avoir enregistré cet évènement particulier sur un niveau analysé est extrêmement faible. Nous pouvons cependant regarder les variations plus larges, les éléments pouvant être impactés par cette crue et ainsi pouvoir resserrer l'analyse. Aussi, comme tout modèle d'âge n'est qu'une proposition de correspondance entre des niveaux et leur âge et est soumis à de nombreux biais, nous préférons nous baser sur les données et non sur la datation textuelle incertaine de la crue, et ainsi regarder les évènements marquants pouvant correspondre à cette défluviation (ou plutôt à ses implications sur un temps plus large) dans nos données sans limitation chronologique trop rigide. Nous pouvons cependant utiliser les datations textuelles afin d'avoir un cadre élargi de recherche. Ainsi, en nous basant, non pas sur le modèle d'âge fin, mais sur les écarts maximums des datations obtenues, la date de 1340 AD pourrait être observée dans des niveaux entre 1250 et 750 cm de profondeur.

Tout d'abord, nous pouvons noter la présence régulière de l'enregistrement de la forêt alluviale sur les carottages effectués à proximité des deux bras de l'Aude (BVA03 et SC01 dans Dolez, 2012 et Dolez et al., 2015). Aussi, le bras ouest est bien attesté par les textes anciens et les analyses plus récentes (par exemple : Ambert, 2000; Ollivier et al., 2009) tandis que le bras est, l'actuel, existe depuis au moins 6500 cal. BP d'après des analyses morpho-sédimentaires dans l'étang de Vendres (Mulot, 2014), ce qui indique que, même si un changement de cours a eu lieu, les deux bras ont été actifs simultanément durant tout l'Holocène.

Les données de géochimie élémentaire (XRF) indiquent, dans l'ensemble, une dynamique progressive dans les changements d'apports. Certains évènements d'apport terrestre (détritiques) sont un peu plus marqués, mais semblent trop récents, par exemple à 650 cm ou à 480 cm, soit respectivement environ 500 cal. BP (soit 1450 AD) et 400 cal. BP (soit 1550 AD) ou trop anciens, par exemple à 1510 cm soit environ 1820 cal. BP (soit 130 AD).

La disparition des dinoflagellés et du foraminifère *Ammonia beccarii* aux alentours de 900 cm de profondeur (entre 750 et 550 cal. BP selon les écarts maximum du modèle d'âge, soit entre 1200 AD et 1400 AD) indique un changement de milieu et un adoucissement de l'eau. Cependant, cette disparition n'est que la finalisation d'un processus progressif ayant débuté depuis le début de la séquence pour *Lingulodinium machaerophorum*, depuis au moins 1225 cm de profondeur (soit environ 830 cal. B.P, environ 1120 AD) pour *Spiniferites* et depuis environ 1350 cm de profondeur (soit environ 950 cal. BP ; 1000 AD) pour *Ammonia beccarii*.

Au niveau sédimentaire, plusieurs changements pourraient refléter cette défluviation. La phase U6 dispose de sédiments légèrement plus grossiers et la transition U5/U6 pourrait correspondre à l'arrivée d'un apport fluvial plus important, plus dynamique, apportant du matériel sédimentaire moins fin. Cette transition se situe cependant à 605 cm, soit entre 450 et 300 cal. BP (1500 - 1650 AD selon les écarts maximums du modèle d'âge) et semble trop tardive pour correspondre à l'évènement étudié. Enfin, la phase U5 est caractérisée par une sédimentation fine et comporte de nombreux lits de sédiments plus grossiers. Cette phase pourrait héberger de nombreux évènements de crues ou tempêtes mais nous n'avons pas d'éléments supplémentaires dans nos données attestant d'un changement d'importance du système hydrique sur ces niveaux.

Des variations d'influx pollinique en lien avec un changement de sédimentation pourraient nous renseigner sur l'augmentation de l'apport fluvial. Dans nos données, nous avons des niveaux ayant un influx plus important, par exemple les niveaux à environ 1200 cm et à 775 cm, mais ces niveaux sont ponctuels et n'indiquent pas une phase plus large à influx augmenté par un nouvel apport fluvial de grains de pollen. Toutefois, nous pouvons observer qu'à partir de 1350 cm de profondeur, l'influx pollinique augmente de façon non pas ponctuelle mais générale. Bien que correspondant au début de la décroissance d'*Ammonia beccarii*, cette profondeur ne correspond à aucun changement de sédimentation et sa datation, entre 1000 et 830 cal. BP (entre 950 et 1120 AD d'après les valeurs maximales du modèle d'âge) semble être très précoce pour correspondre à cet évènement. Nous observons aussi des niveaux, à 1250 et à 1100 cm, dont l'influx pollinique est sensiblement réduit. Cette baisse de l'influx pourrait s'expliquer par l'arrivée d'un courant fort empêchant le bon enregistrement pollinique. Cependant, ces niveaux ne sont associés à aucun changement sédimentaire qui devrait traduire ce dynamisme hydrique plus important. Une phase d'apport fluvial plus marquée a toutefois été identifiée dans le chapitre précédent entre 1051 et 955 cm (palynozone P2c). Dans cette phase, la présence de la forêt alluviale, des aquatiques d'eau douce et des formations forestières régionales est plus importante. Cependant, cette phase qui débute à 1051 cm de profondeur, soit selon les écarts maximums des datations entre 1150 et 1300 AD, semble un peu précoce pour correspondre à notre évènement et ne coïncide pas avec un changement de sédimentation pouvant traduire l'importance de l'évènement de défluviation.

Les deux bras de l'Aude ont fonctionné en parallèle durant l'Holocène et la basse vallée de l'Aude peut être vue comme un système deltaïque à deux bras, encadrant le massif de la Clape et avec un apex un peu au sud de Sallèles-d'Aude (Mulot, 2014). Les textes antiques (Festus Avienus, Pomponius Mela, Strabon) et les nombreux travaux d'aménagements anciens (Ollivier et al., 2009 ; Sanchez et al., 2011, 2016 ; Sanchez & Jézégou, 2011) indiquent que le bras ouest perd progressivement de son dynamisme jusqu'au Moyen Âge, probablement au profit du bras est. Cela implique que des variations de débit ont eu lieu depuis au moins l'Antiquité. Nos données vont dans ce sens en indiquant un milieu se modifiant progressivement plutôt que résultant d'un évènement ponctuel majeur. Aussi, de nombreuses crues de l'Aude sont attestées dès avant 1232 AD dans les écrits anciens (Mouynès, 1877 ; Sanchez et al., 2011), probablement du fait de la très forte artificialisation de la basse plaine de l'Aude (Sanchez et al., 2011). Ainsi la défluviation qui nous intéresse n'est pas un évènement si extraordinaire dans le contexte de l'évolution de la basse vallée de l'Aude. Si cette crue a marqué les esprits (et les textes), c'est probablement du fait des gros dégâts humains et matériels qu'elle a impliqués. En effet, cette défluviation, bien que s'inscrivant dans la logique du changement hydrologique du delta de l'Aude, a été radicale pour les acteurs économiques locaux car

elle symbolisait la finalité de la déchéance des activités fluvio-maritimes de Narbonne et a entraîné un déclin économique de la ville (Larue, 2007 ; Ollivier et al., 2009 ; Robin, 2011).

## Chapitre VI : Contribution à l'histoire de la végétation languedocienne (vallées de l'Aude et de l'Hérault) depuis la fin du Tardiglaciaire : l'apport de deux nouvelles séquences lagunaires bien datées

Les reconstitutions de végétation proposées sont fortement dépendantes des modèles d'âge retenus. Plusieurs éléments, bien datés dans la littérature régionale, permettent de vérifier leur fiabilité. Dans la vallée de l'Hérault, la base de la séquence B1 (Bagnas), à 1090 cm de profondeur, est dominée par *Quercus* (les deux types), associé à *Corylus*, ce qui implique un âge post-Boréal (Planchais & Parra Vergara, 1984), cohérent avec la date de 7700 +/- 90 cal. BP obtenue à 1020 cm. On peut donc considérer que la base de cette séquence est datée entre 9000 et 8000 cal. BP. *Tilia*, un représentant important et bien connu des chênaies caducifoliées de l'Atlantique (De Beaulieu, 1977 ; De beaulieu, 1974 ; Puertas, 1998a), est bien enregistré dans les deux vallées, ce qui confirme l'enregistrement de cette période dans les deux séquences. Il montre même une expansion entre 7000 et 5500 cal. BP dans la vallée de l'Hérault (B1). Enfin, dans les deux sites, l'assemblage montagnard, bien que dominé par *Betula*, comprend également *Abies* et de *Fagus*. Or, l'expansion de ces deux taxons sur les reliefs du sud du Massif Central est bien datée au Subboréal dans la littérature (De beaulieu, 1974 ; Laval & Médus, 1989 ; Puertas, 1998a ; Reille et al., 1992). Dans nos sites, le développement des hêtraies-sapinières est enregistré vers 4700 cal. BP dans la vallée de l'Aude (BVA03) et vers 2300 cal. BP dans la vallée de l'Hérault (B1), ce qui correspond bien au Subboréal.

Les séquences sédimentaires présentées dans ce travail, débutant respectivement autour de 6350 cal. BP (BVA03, Vendres, vallée de l'Aude) et « avant 7600 cal. BP » (B1, Bagnas, vallée de l'Hérault), c'est-à-dire durant l'Atlantique (9000 – 5500 cal. BP). Elles ne renseignent donc pas sur le début de l'Holocène, ni *a fortiori* sur le Tardiglaciaire. Hors, ces périodes sont importantes pour contextualiser les évolutions de la végétation languedocienne, tant à l'échelle régionale qu'à l'échelle locale.

Pour décrire les dynamiques végétales du début de l'Holocène et ainsi avoir une meilleure vision d'ensemble des changements de végétation, nous nous baserons sur les données provenant de la littérature, ainsi que sur notre précédente étude d'un carottage profond à proximité de Narbonne (SC01), à l'ouest du massif de la Clape (Dolez, 2012 ; Dolez et al., 2015 ; disponible en annexe 11).

### 1. Dynamiques de végétation régionale

#### Dryas récent (12900 – 11700 cal. BP)

Le Tardiglaciaire se termine par la dernière manifestation climatique de la glaciation, le Dryas récent (Rasmussen et al. 2006; Carlson 2013) qui peut être considéré comme le point de départ des dynamiques végétales postglaciaires dans le sud de la France. Les seules informations disponibles sur cette période proviennent des Pyrénées (par exemple : Andrieu et al., 1993; De Beaulieu et al., 1994; Jalut et al., 1982; Reille et Lowe, 1993), des Alpes (par exemple : David, 2001, 1993; De Beaulieu,

1977; De Beaulieu et al., 1984; De Beaulieu et Reille, 1983; Muller et al., 2012), du Massif Central (par exemple, De Beaulieu et al., 1988), de la basse vallée du Rhône (Triat-Laval, 1978) et du plateau continental au large des côtes françaises (Beaudouin et al., 2007a). Elles montrent le maintien au Tardiglaciaire des steppes glaciaires à armoises et Amaranthacées, concurrencées à partir du réchauffement du Bölling-Alleröd par le genévrier, le bouleau, puis le pin. Le niveau de la mer, plus bas de 100 à 120 m par rapport à l'actuel (Lambeck & Bard, 2000), implique un littoral très éloigné, localisé à environ 40 à 50 km de la ligne de rivage actuelle. L'enregistrement des niveaux basaux de la carotte SC01 (Dolez, 2012 ; Dolez et al., 2015), située à proximité de Narbonne, à l'ouest du massif de la Clape, montre la présence de *Betula*, *Corylus*, *Pinus* et *Quercus*, associés à *Artemisia*, aux Amaranthacées et aux Poacées. Cet assemblage pollinique traduit la persistance de formations arborées à pins et bouleaux, en mélange avec des formations basses à caractère steppique d'armoises et d'Amaranthacées. L'enregistrement du noisetier et du chêne peut provenir soit d'un transport lointain, dont l'enregistrement est favorisé par le caractère ouvert et/ou la faible production pollinique de la végétation locale (Richard, 1977), soit du front de colonisation des formations mésophiles, en situation de refuges secondaires dans le sud de la France (Brewer et al., 2002). De tels paysages dominés, dans les plaines et sur le littoral, par des formations steppiques à armoises et Amaranthacées parsemées de pinèdes et de boulaies ouvertes, ont été décrits dans de nombreuses études régionales (De Beaulieu, 1977 ; Jalut, 1973 ; Laval & Médus, 1989 ; Ponel et al., 2000 ; Quézel, 1999 ; Reille et al., 1996 ; Reille & Lowe, 1993 ; Triat-Laval, 1978). Bien que certains travaux aient postulé le maintien de zones refuges dans le sud de la France pour plusieurs taxons mésophiles (Beaudouin et al., 2007a ; De Beaulieu, 1977 ; Triat-Laval, 1979a), les données plus récentes suggèrent soit l'existence de refuges secondaires (par exemple, *Quercus* ; Brewer et al., 2002), soit une arrivée holocène à partir de refuges plus lointains (par exemple, *Abies*; Muller et al., 2007).

#### Préboréal (11700 – 10000 cal. BP)

Durant la première chronozone de l'Holocène, le Préboréal (11700 – 10000 cal. BP), le réchauffement climatique permet une nouvelle dynamique forestière (Jalut et al., 2009). Celle-ci débute en altitude, entre 800 et 1900 m, par un retour des formations préforestières à pins (*Pinus* type *sylvestris*), mêlés de rares noisetiers (Jalut, 1973 ; Ponel et al., 2000 ; Quézel, 1999 ; Triat-Laval, 1979a). En dessous de 800 m d'altitude, la présence des chênes caducifoliés (*Quercus* type *pubescens*), montre que des forêts caducifoliées commencent à coloniser les milieux ouverts hérités du Tardiglaciaire (Jalut, 1973 ; Ponel et al., 2000 ; Quézel, 1999 ; Triat-Laval, 1979a). Cette phase n'est pas présente dans nos données, mais est observée dans la région de Narbonne, à travers l'enregistrement de *Quercus pubescens*-type et de *Corylus* dans une phase très pauvre en matériel pollinique du carottage SC01, prélevé à Mandirac, dans la lagune de Bages-Sigean (Dolez, 2012 ; Dolez et al., 2015).

#### Boréal (10000 – 9000 cal. BP)

Durant le Boréal, les pinèdes, qui ont joué un rôle pionnier dans la dynamique de végétation postglaciaire, régressent rapidement au profit des forêts caducifoliées, d'abord dominées par le



noisetier (*Corylus*), puis par les chênes caducifoliés (*Quercus* type *pubescens*), principalement représentés dans la zone étudiée par le chêne pubescent (Jalut, 1973 ; Ponel et al., 2000 ; Quézel, 1999 ; Triat-Laval, 1978, 1979a). Bien que cette phase n'apparaisse pas dans les données, plus récentes, de BVA03 et B1, le développement des forêts décidues et le remplacement de *Corylus* par *Quercus pubescens*-type sont observés dans la vallée de l'Aude à partir des données de SC01 (Dolez, 2012 ; Dolez et al., 2015). Durant cette période, les taxons méditerranéens, tels *Buxus*, *Olea*, *Quercus ilex*-type, etc. sont déjà présents dans la région, comme l'attestent par exemple les données polliniques de Narbonne (Dolez, 2012 ; Dolez et al., 2015), de Sète (Court-Picon et al., 2010) et de Palavas (Planchais & Parra Vergara, 1984). Ces taxons jouaient très probablement un rôle secondaire par rapport aux éléments forestiers caducifoliés, et étaient limités aux zones rocheuses, aux crêtes, aux falaises et aux zones perturbées (Reille & Pons, 1992).

#### Atlantique (9000 – 5500 cal. BP)

Les séquences de Vendres (BVA03) et du Bagnas (B1) apportent des informations dès la période Atlantique (9000 – 5500 cal. BP), permettant ainsi de comparer nos nouvelles données à la littérature.

En raison du très faible taux de sédimentation sur une portion importante de la base des carottages B1 et BVA03, une grande période de temps est concentrée sur peu de profondeur. Ainsi, les périodes Atlantique et Subboréal (5500 – 2800 cal. BP) sont contenues dans la première zone pollinique, P1a, de chaque séquence. En effet, selon le modèle d'âge, la phase P1a sur BVA03 correspond à environ 6350 à 2835 cal. BP, soit la fin de l'Atlantique à la fin du Subboréal. Pour B1, la phase P1a correspond à l'intervalle plus large de 9000-8000 à 1800 cal. BP, soit de l'Atlantique jusqu'au début du Subatlantique (2800 cal. BP à l'actuel). Pour affiner la vision des changements de végétation, nous allons analyser et subdiviser les palynozones, afin de nous concentrer sur les données contemporaines. Ainsi, la chronozone Atlantique correspond, dans la carotte BVA03 (Narbonne) aux niveaux compris entre 1851 et 1802 cm, ce dernier niveau étant le plus proche, par sa datation à env. 5600 cal. BP, de la transition Atlantique-Subboréal. Pour le carottage du Bagnas (B1), les niveaux de l'Atlantique correspondent aux profondeurs situées entre 1090 et 945 cm, soit entre avant 7600 et 5300 cal. BP, le niveau 945 cm étant le plus proche de la transition Atlantique-Subboréal de 5500 cal. BP. Aussi, dans les données de BVA03, seulement deux niveaux peuvent être chronologiquement rattachés à l'Atlantique. D'après ces niveaux, nous ne parlerons que de vision globale des végétations et non de leur évolution afin de ne pas surinterpréter les variations sur seulement deux niveaux, variations qui peuvent ne refléter que des aléas d'enregistrement et d'identification.

Durant l'Atlantique, les résultats obtenus montrent des taux de pollen arboréen élevés (70 % dans la vallée de l'Aude et 60% dans la vallée de l'Hérault). Ces taux sont légèrement plus importants que ceux notés à Sète (Court-Picon et al., 2010) et à Narbonne (Dolez, 2012 ; Dolez et al., 2015) mais restent cohérents avec ceux de la littérature pour décrire une région dominée par une matrice forestière caducifoliée. La chute du taux de pollen d'arbre dans B1 et dans l'étang de Thau (Court-Picon et al., 2010) suggère une ouverture du milieu dans la vallée de l'Hérault à la fin de l'Atlantique. Ceci correspond bien à ce qui est observé dans différentes zones de la région méditerranéenne

française, où les premiers défrichements anthropiques sont datés entre 6000 et 4000 cal. BP (par exemple : Heinz et al., 2004; Heinz et Thiebault, 1998).

Ces formations forestières sont largement dominées par la forêt décidue mésophile, qui représente presque 40% de la somme pollinique dans la vallée de l'Aude, et atteint environ 30 % dans celle de l'Hérault. Le paysage des plaines littorales du Languedoc apparaît ainsi clairement dominé durant l'Atlantique par une forêt décidue diversifiée, comprenant *Corylus*, *Quercus pubescens*-type et *Tilia*, probablement mêlés d'*Acer*, connu pour son très faible signal pollinique (David & Barbero, 2001 ; Richard, 1977), et peut-être localement associés à *Fraxinus* et *Ulmus* (Court-Picon et al., 2010 ; Jalut, 1973 ; Planchais & Parra Vergara, 1984 ; Reille et al., 1996). Les autres formations forestières, le matorral et les pinèdes, sont moins bien enregistrées (environ 10% chacune) et leur représentation diverge selon la vallée. En effet, dans la vallée de l'Aude, les pinèdes (12%) apparaissent mieux représentées que le matorral (7%), tandis que dans la vallée de l'Hérault, le matorral (11 %) est mieux enregistré que les pinèdes (8%). Les données obtenues à Sète (Court-Picon et al., 2010) montrent une représentation pollinique des pinèdes supérieure à celle du matorral dès le milieu de l'Atlantique. Ces enregistrements attestent la présence des deux types de formations méso-méditerranéennes en Languedoc, et suggèrent que leur importance relative serait liée aux conditions édaphiques locales (Court-Picon et al., 2010 ; Jalut, 1973 ; Quézel, 1999 ; Triat-Laval, 1979a). Ainsi, durant l'Atlantique, le Languedoc est déjà couvert d'une mosaïque de paysages, avec des forêts décidues dominantes, mais localement mêlées ou remplacées, à la faveur de conditions stationnelles ou de perturbations, par des pinèdes ou des chênaies sclérophylles (Court-Picon et al., 2010).

Dans les deux carottages, l'enregistrement pollinique de l'étage montagnard est très faible (il atteint 1,5 % sur BVA03 et 1 % sur B1) et est dominé par le bouleau. Le sapin et le hêtre sont toutefois présents de manière régulière dès l'Atlantique, ce qui correspond bien aux observations effectuées dans la région (par exemple : Court-Picon et al., 2010; Jalut, 1973a; Ponel et al., 2000).

Dans la vallée de l'Aude, nous notons aussi la présence, dès cette phase, de traces de cultures et d'anthropisation (céréales, *Artemisia* et *Plantago lanceolata*-type) qui, même si elles sont faibles (2%), sont probablement les témoins d'une anthropisation ancienne du territoire narbonnais. Ces traces sont assez importantes dans les données du Bagnas dès le début de la séquence, et semblent en augmentation régulière entre 3 et 5 % sur l'Atlantique, traduisant, ici aussi, une vallée dont l'anthropisation est ancienne. Cette anthropisation précoce du Languedoc a aussi été repérée à Sète (Court-Picon et al., 2010). Les traces plus importantes dans la vallée de l'Hérault peut être expliquée par la présence locale d'habitats de la culture de Véraza, attestés dans la basse plaine au Sud du Bagnas, à Saint-Thibéry et à Florensac (Guilaine, 1980).

#### Subboréal (5500 – 2800 cal. BP)

Dans la vallée de l'Aude, la forêt décidue mésophile chute fortement au début du Subboréal, puis décline ensuite de manière régulière (son enregistrement se réduit de moitié durant la période ; BVA03, 1802-1623 cm, 5600-2835 cal. BP), au profit du développement de pinèdes et de matorrals. Les pinèdes, probablement dominées par *Pinus halepensis*, pouvaient se développer sur des zones défrichées ou brûlées (Acherar et al., 1984 ; Laval & Médus, 1989), dans la plaine littorale (Corre,

1985). Dans la vallée de l'Hérault, en revanche, la forêt décidue mésophile paraît se maintenir (autour de 30 % ; B1, 945-877 cm, 5300-3220 cal. BP), tandis que le matorral semble en léger déclin et que les pinèdes sont stables.

Cette apparente incohérence entre nos données correspond à la variabilité importante des enregistrements régionaux contemporains : par exemple, les données obtenues sur le littoral de Sète révèlent une ouverture du milieu caractérisée par un développement des Poacées (Court-Picon et al., 2010), et celles de notre précédente étude suggèrent le maintien, voire le développement des formations forestières (Dolez, 2012; Dolez et al., 2015). L'hétérogénéité des dynamiques végétales régionales, qui indique un déterminisme géographiquement variable, suggère l'influence des activités humaines (par exemple, Heinz et Thiebault, 1998; Laval et Médus, 1989; Muller et al., 2007; Pulido Avila, 2006; Reille et Pons, 1992; Triat, 1975). Ces dernières entraînent, à partir du début du Néolithique, une déstructuration de la matrice forestière, et la constitution de paysages en mosaïque, formés de restes forestiers caducifoliés, de zones de matorral soumises au prélèvement de bois et au pâturage, de pinèdes de pin d'Alep sur les zones brûlées ou les friches (Acherar et al., 1984 ; Heinz & Thiebault, 1998 ; Laval & Médus, 1989 ; Quézel, 1999 ; Reille et al., 1992, 1996 ; Triat-Laval, 1979a), et des prairies à Poacées (Court-Picon et al., 2010; Heinz et Thiebault, 1998; Muller et al., 2007; Pulido Avila, 2006; Reille et Pons, 1992). Le maintien plus tardif de la matrice forestière dans la vallée de l'Hérault suggère que cette vallée a été moins impactée par les activités anthropiques que la vallée de l'Aude au cours du Subboréal. Nous pouvons noter que ces évidences sont indirectes, et que les traces de cultures et d'anthropisation, globalement stables, ne révèlent pas directement l'influence de l'anthropisation.

L'étage montagnard demeure peu visible dans les données de la vallée de l'Hérault, tandis qu'il est mieux enregistré dans la vallée de l'Aude à partir de 4400 cal. BP (1723 cm). L'enregistrement tardif dans la vallée de l'Hérault, vers 3200 cal. BP (877 cm), de l'essor de *Fagus* – cet événement est enregistré vers 4600 cal. BP à Mauguio (Planchais, 1982), vers 4800 cal. BP dans les Cévennes (Pulido Avila, 2006), et vers 6000 cal. BP à Palavas (Azura et al., 2018) – est sûrement dû au très faible enregistrement des formations montagnardes sur B1, plutôt qu'à l'installation tardive du hêtre. Cette hypothèse est confortée par les données de Sète, qui indiquent un essor plus ancien (Court-Picon et al., 2010). Dans la région de Narbonne, nous observons un développement d'*Abies*, dès 5200 cal. BP environ (1776 cm), suivi par celui de *Fagus*, daté entre 4900 et 4600 cal. BP (Dolez, 2012 ; Dolez et al., 2015). Cela correspond aux données littorales régionales : 5100 cal. BP dans la lagune de Canet (Planchais, 1985), 4700 cal. BP à Capestang (Jalut et al., 2009), 4200 cal. BP à Lattes (Puertas, 1998a) et 4600 cal. BP à Mauguio (Planchais, 1982). L'enregistrement de l'assemblage montagnard change autour de 4870 cal. BP (1755 cm) dans la vallée de l'Aude : *Betula*, qui dominait, est remplacé par *Fagus* et *Abies*, qui forment des hêtraies-sapinières (Laval & Médus, 1989 ; Pulido Avila, 2006 ; Reille et al., 1996), qui caractérisent le Subboréal dans l'étage Montagnard du sud de la France (Laval & Médus, 1989 ; Ponel et al., 2000 ; Triat-Laval, 1979a). Nous n'observons pas ce changement sur le carottage du Bagnas, probablement du fait de l'enregistrement très médiocre du signal montagnard.

### Subatlantique (2800 cal. BP – actuel)

La plus grande partie des carottages BVA03 et B1 correspondant au Subatlantique, nous disposons d'informations plus détaillées concernant cette phase.

La vallée de l'Aude (BVA03) enregistre une réduction du taux de pollen d'arbre, qui passe sous la barre des 50 % dès 1085 cal. BP environ (fin de P1c, 1376 cm). Entre 1085 et 350 cal. BP (fin de P2f, 403 cm), ce taux est à peu près stable, inférieur à 50 % sur les données totales mais d'environ 50 % en excluant les Cichorioidées. Ce taux semble se réduire encore sur les périodes les plus récentes, postérieures à 350 cal. BP. Même si ces valeurs peuvent être impactées par la dégradation importante du matériel pollinique, elles traduisent clairement une ouverture progressive du milieu durant tout le Subatlantique.

La vallée de l'Hérault enregistre également une réduction rapide du taux de pollen d'arbre, qui passe sous les 20 % dès 800 cal. BP (404 cm). Il faut toutefois nuancer ce qui semble être une ouverture drastique du milieu, car, comme vu précédemment, l'enregistrement du Bagnas devient très local dès 1340 cal. BP (505 cm). Cependant, même en excluant une grande partie de cet enregistrement local (*Typha/Sparganium* et Amaranthacées), le taux de pollen d'arbre reste en dessous de 30 % entre 800 et 240 cal. BP (404-204 cm). Sur les périodes les plus récentes, postérieures à 240 cal. BP, ce taux remonte lentement au-dessus de 40 % (sur les données excluant *Typha/Sparganium* et Amaranthacées). Ces éléments suggèrent, au final, une réduction sensible du couvert forestier, au moins régional, depuis le début du subatlantique, avec une phase particulièrement ouverte entre 1340 et 240 cal BP, puis un reboisement de la région sur les périodes récentes, ce qui semble à peu près correspondre aux données du carottage de l'étang de Thau (Court-Picon et al., 2010).

L'enregistrement pollinique de l'étage montagnard décroît régulièrement dans la vallée de l'Aude jusqu'à environ 820 cal. BP (BVA03, 1200 cm), ce qui traduit probablement le déclin des hêtraies-sapinières de l'étage Montagnard. Après 820 cal. BP, cet étage est très peu enregistré (quelques occurrences de *Betula* et de *Fagus*). Dans la vallée de l'Hérault, l'assemblage montagnard montre une phase de croissance entre 2060 et 1460 cal. BP (B1, 828-600 cm) due à un deuxième essor de *Fagus*. La régression de *Fagus* étant souvent datée du début du Subatlantique dans la région méditerranéenne française (Jalut, 1973), l'âge tardif de ce déclin dans nos données pourrait traduire une persistance du hêtre jusqu'au Moyen Âge dans les vallées de l'Aude et de l'Hérault.

La forêt décidue mésophile est en régression importante sur les deux séquences. Dans la vallée de l'Hérault, cet assemblage passe sous les 10 % dès 800 cal. BP (B1, 404 cm) et reste très peu enregistré sur les périodes récentes (même en excluant *Typha/Sparganium* et les Amaranthacées), ce qui traduit une régression et un recul en amont de cette formation. Dans la vallée de l'Aude (BVA03), la décroissance générale des forêts décidues mésophiles semble se dérouler en plusieurs étapes, avec alternance de phases de déclin et de légère croissance. Les phases de décroissance sont localisées entre 2835 et 860 cal. BP (1623-1273 cm), entre 800 et 480 cal. BP (1151-627 cm) et entre 300 et 75 cal. BP (349-85 cm), tandis qu'une légère croissance se fait sentir entre 860 et 800 cal. BP (1273-1151 cm) et entre 480 et 300 cal. BP (627-349 cm).

L'assemblage matorral apparaît aussi en déclin durant le Subatlantique. Dans la vallée de l'Aude (BVA03), pour laquelle nous avons les observations les plus fines, les formations sclérophylles

secondaires déclinent entre 2835 et 300 cal. BP, mais là aussi en plusieurs phases : décroissance entre 2835 et 822 cal. BP (1623-1200 cm), stabilisation entre 820 et 410 cal. BP (1200-500 cm) et décroissance entre 410 et 300 cal. BP (500-350 cm). Après 300 cal. BP, l'assemblage matorral semble reprendre de l'importance. Ces phases particulières, de même que celles de la forêt décidue, traduisent bien l'influence très localisée des activités anthropiques sur les formations végétales régionales.

Le rôle des pins, probablement plus localisé, semble différer selon l'enregistrement étudié. Dans la vallée de l'Aude (BVA03), *Pinus* réagit à peu près comme l'assemblage matorral : il décroît entre 2835 et 820 cal. BP (1623-1200 cm), se stabilise entre 820 et 410 cal. BP (1200-500 cm), puis est de nouveau mieux enregistré après 410 cal. BP (500 cm). Ces changements, très semblables à ceux du matorral, suggèrent que *Pinus* correspond essentiellement aux formations méso-méditerranéennes à *Pinus halepensis* (Pons & Quézel, 1998 ; Quézel & Médail, 2003), qui sont en régression comme les autres formations méso-méditerranéennes sur le début du Subatlantique, puis semblent s'étendre durant les périodes récentes, après 300 cal. BP. Dans la vallée de l'Hérault (B1), *Pinus* est moins bien enregistré, mais semble en augmentation à partir de 240 cal. BP. La dynamique similaire du matorral suggère le développement de ces formations arborées de dégradation dans l'étage méso-méditerranéen sur les périodes récentes. Cela pourrait traduire une augmentation des incendies, favorisant les espèces pyrophiles comme le pin d'Alep (Brunner, 1979 ; Herranz et al., 1997 ; Tsitsoni, 1997), et un accroissement du charbonnage, connu pour favoriser la yeuseraie (Fabre, 1996 ; Fabre & Gervand, 1992).

Même si quelques particularités locales existent, le couvert forestier diminue à l'échelle régionale durant le Subatlantique, et toutes les formations forestières sont impliquées dans ce déclin (Puertas, 1998b). Ce changement est accompagné du développement de certains taxons ou assemblages. C'est le cas des Poacées, qui augmentent rapidement dans la vallée de l'Aude (BVA03), puis stagnent autour de 20 % (Cichorioidées exclues) avant de se réduire légèrement à partir de 390 cal. BP (360 cm). Dans la vallée de l'Hérault (B1), malgré le fait que l'abondance des Amaranthacées, des Cypéracées et de *Typha/Sparganium* masque en grande partie les variations potentielles des autres taxons, les Poacées augmentent régulièrement jusqu'à environ 230 cal. BP (200 cm), avant de se réduire après 230 cal. BP. Cette extension des formations herbacées, qui traduit une forte ouverture du milieu, peut être rapprochée de l'extension nette des cultures et traces d'anthropisation dans les deux carottages. Dans la vallée de l'Hérault (B1), cet assemblage est d'abord constant, puis montre une forte augmentation sur les 3 derniers siècles (324 cm). Dans la vallée de l'Aude (BVA03), les cultures et traces d'anthropisation présentent une dynamique inversée par rapport à celle du matorral et des pinèdes, avec une phase d'augmentation importante entre 2835 et 820 cal. BP (1623-1200 cm), une stabilisation entre 820 et 410 cal. BP (1200-500 cm), et un léger déclin sur la fin de la séquence.

Les activités anthropiques au Subatlantique sont clairement responsables du recul général des formations forestières régionales au profit de formations ouvertes (par exemple : Dolez et al., 2015; Jalut, 1973a; Planchais et Parra Vergara, 1984; Puertas, 1998a; Pulido Avila, 2006; Reille et Pons, 1992). Nos données suggèrent cependant, dans la région de Narbonne, une évolution des pratiques agropastorales depuis l'âge du Fer, avec une phase de déforestation croissante (agriculture, pâturage) durant la période romaine et le haut Moyen Âge, puis une accélération de la pression

anthropique dès le XII<sup>e</sup> siècle de notre ère. Durant les quatre derniers siècles (depuis 1500-1600 AD), les activités anthropiques se modifient et permettent un reboisement de l'étage méso-méditerranéen par des formations de matorral et de pinèdes (Vernet, 1980). L'augmentation régulière des Ericacées enregistrée sur BVA03 traduit la continuité de l'anthropisation du territoire à travers le développement de formations ouvertes héliophiles à bruyères sur les zones défrichées de l'étage Montagnard (André & Ambert, 1998 ; Jalut, 1973 ; Reille, 1988 ; Triat-Laval, 1978). Pour la région d'Agde, l'anthropisation du territoire est principalement observée à travers le recul des formations forestières jusqu'à environ 300 cal. BP, soit jusqu'au XVII<sup>e</sup> siècle de notre ère. Les traces directes de culture et d'anthropisation ne sont évidentes que sur les périodes les plus récentes. Cependant, un léger reboisement progressif dès 300 cal. BP pourrait indiquer des activités anthropiques se rapprochant du littoral, plutôt qu'impactant plus fortement les formations forestières régionales.

## 2. Milieux littoraux et végétations locales

Cette partie s'intéresse aux milieux locaux, littoraux, aux sites de carottage et à leur évolution, identifiée par les changements de végétation. Les dynamiques locales n'étant pas couplées à celles des grands assemblages régionaux, nous préférons ne pas organiser cette partie par chronozone, mais plutôt observer les variations de chacune des zones successivement (étangs de Vendres et du Bagnas).

### *Etang de Vendres, Narbonne (BVA03)*

Dans l'étang de Vendres, une première phase entre 6350 et 830 cal. BP (palynozones P1 et P2a, 1851-1223 cm) est dominée par les Amaranthacées, les Poacées et les Cypéracées. Cela traduit un milieu en mosaïque, comportant des zones d'eau douce et des zones saumâtres, et abritant des végétations herbacées de marais, pelouses et prairies, organisées selon un déterminisme édaphique. Des salins sont d'ailleurs attestés à proximité de Vendres à la fin du X<sup>e</sup> siècle AD (Boudet, 2017). Ce type de végétation lagunaire a été identifiée dans l'étang de Thau dès le début de l'Atlantique (Court-Picon et al., 2010). Cela implique un système lagunaire installé dès le début de la séquence, comme le montrent de précédentes études (Ambert et al., 1993 ; Ambert, 2000 ; Mulot, 2014 ; Verdeil, 1990). La présence d'un système lagunaire avec le même type de végétation est attesté dans la région de Narbonne, au niveau de l'étang de Bages-Sigean, de l'autre côté de la Clape, antérieurement à 9500 cal. BP (Dolez et al., 2015). Les mesures de géochimie élémentaire (XRF) traduisent une augmentation progressive de l'influence terrestre dans l'enregistrement, menant possiblement à une fermeture du système lagunaire, comme sur la lagune de Bages-Sigean (André & Ambert, 1998 ; Dolez et al., 2015 ; Fäisse, 2011).

Entre 820 et 680 cal. BP (P2b-P2c, 1203-955 cm), la baisse des Amaranthacées traduit une régression des milieux halophiles, comme cela a été identifié dans la lagune de Bages-Sigean, de l'autre côté de la Clape (André & Ambert, 1998). Les données XRF (X4 et début de X5) indiquent que cette phase est

encore marquée par les influences terrestres. De plus, entre 730 et 680 cal. BP ( P2c, 1051-955 cm), la forte présence des taxons de la forêt alluviale et des Cypéracées complète cette vision d'une influence fluviale plus importante et de la régression locale des milieux salés au profit des hydrophytes d'eau douce et des poacées, pouvant former des roselières, des cariçaias ou des typhaies (André & Ambert, 1998 ; Faisse, 2011).

Entre 650 et 350 cal. BP (P2d, P2e et P2f, 903-403 cm), la forêt alluviale est faiblement enregistrée. Les Cypéracées sont mieux représentées que dans toutes les phases antérieures à 700 cal. BP, suggérant le développement de marais hélophytiques, pouvant être composés de *Carex* spp., *Eleocharis palustris*, *Cladium mariscus*, *Schoenus nigricans*. L'abondance des Poacées suggère que leur enregistrement est peut-être plus local que régional et traduit le développement local d'une phragmitaie (ou roselière), comme cela a déjà été montré dans la lagune de Pierre-Blanche, à Palavas (Keukelaere, 2008).

À 300 cal. BP (349 cm), la séquence enregistre une phase particulière présentant un signal très local. Cette phase est marquée par un retour des Amaranthacées et une forte présence des Cypéracées et de *Typha/Sparganium*, indiquant un milieu aquatique varié, avec des plans d'eau douce et saumâtre. Le système lagunaire redevient localement plus halophile, avec l'extension des sansouïres. Ces variations du degré de salinité à l'échelle locale pourraient traduire les divagations des bras de l'Aude.

La suite de l'enregistrement pollinique est très dégradé, ce que montre la grande abondance des Cichorioidées (Bottema, 1975 ; Coûteaux, 1977 ; Hall, 1981 ; Havinga, 1984 ; Lebreton et al., 2017). Cependant, entre 260 et 70 cal. BP (303-85 cm), la présence des Amaranthacées et des Cypéracées, atteste la persistance locale des zones humides dulçaquicoles ou saumâtres. Le faible enregistrement des marqueurs d'anthropisation depuis 260 cal. BP et les données XRF indiquant un apport marin plus marqué après 120 cal. BP attestent le caractère halophile et local des Amaranthacées, qui ne peuvent donc pas être considérées ici comme des marqueurs de pâturage (Behre, 1981).

#### *Etang du Bagnas, Agde (B1)*

L'enregistrement de la végétation locale domine l'enregistrement régional sur une grande partie de la séquence du Bagnas. Il permet donc de reconstituer assez fidèlement la dynamique des végétations littorales à l'échelle locale.

Depuis l'Atlantique ancien (9000-8000 cal. BP) jusqu'à 1790 cal. BP (1093-807 cm), les assemblages polliniques locaux sont dominés par les Amaranthacées et les Poacées, accompagnées de Cypéracées. Cette zone correspond aux phases X1 et X2 des données XRF qui montrent des apports de sédiments relativement stables, malgré la remontée des eaux en tout début de phase (Lambeck & Bard, 2000 ; Vella & Provansal, 2000). Ces éléments indiquent, comme sur l'étang de Vendres, une végétation locale hélophytique et la présence de sols humides plus ou moins salés, et révèlent un système lagunaire en place dès le début de la séquence. Un tel milieu a été identifié à Sète avant 7300 cal. BP (Court-Picon et al., 2010).

Vers 1475 cal. BP (615 cm), les données XRF (fin de phase X4) indiquent des apports terrestres plus importants. Nous observons aussi une augmentation des Amaranthacées, ainsi que des taxons cultivés et marqueurs d'anthropisation, ainsi qu'une baisse de l'enregistrement régional. Cela implique un enregistrement plus important des activités agropastorales, sûrement en arrière du littoral, mais certaines activités, comme le pastoralisme, pouvant affecter les bords des lagunes, et ainsi mener à une augmentation des Amaranthacées (Chazel & Chazel, 2013). Cette phase ne représente pas réellement un changement de milieu, mais pourrait indiquer l'importance des activités agropastorales dans la région.

Entre 1460 et 1400 cal. BP (600-555 cm), la hausse des formations forestières et la chute des taxons hydrophiles et locaux ne traduisent pas un changement de la végétation locale, mais un enregistrement pollinique plus régional, déjà identifié.

Entre 1340 et 800 cal. BP (505-404 cm), les données XRF indiquent une phase plutôt terrestre (première moitié de X6), et même estuarienne vu la relative importance du baryum (Chen et al., 1997). L'enregistrement pollinique est, dans cette phase, largement dominé par les Amaranthacées. Les marqueurs de cultures et d'anthropisation sont très peu enregistrés sur cette zone, montrant une baisse des activités agropastorales ou un recul vers l'amont de ces activités. L'abondance des Amaranthacées peut ainsi traduire le développement de sansouïres, plutôt que l'influence du pâturage. La présence de marais héliophytiques et peut-être de prairies plus sèches est attestée par l'enregistrement des Poacées et des Cypéracées, en hausse.

Dans la phase entre 670 et 410 cal. BP (384-344 cm), la chute radicale des Amaranthacées et la prédominance de *Typha/Sparganium*, associé aux Cypéracées et aux Poacées, peut indiquer un adoucissement de la lagune et des sols, et la réduction importante de la surface des sols salés. Cela est appuyé par un acte de 1332 dans lequel les seigneurs du Bagnas, les évêques d'Agde, autorisent la population à utiliser l'eau douce du Bagnas pour arroser leurs champs (Martin, 1988). Aussi, l'abondance de *Typha/Sparganium* indique que les plans d'eau douce dominent l'environnement local. Ces marais, pouvant être mêlés de phragmites (roselières), sont attestés à cette période à travers la réglementation de leur exploitation (Martin, 1988).

Entre 310 et 130 cal. BP (Palynozone 4), les Amaranthacées dominent à nouveau, indiquant une nouvelle phase de salinisation des pourtours des lagunes. Quelques petites variations dans l'enregistrement suggèrent de petites modifications du couvert végétal local. Entre 310 et 270 cal. BP (324-255 cm), les Amaranthacées sont accompagnées par les Poacées et les marqueurs de cultures et d'anthropisation. Ici, les Amaranthacées ne traduisent pas uniquement un retour des sansouïres mais aussi la présence proche des activités agropastorales ainsi qu'un pâturage important de la zone, comme attesté dans les textes anciens (De la Pijardière & Berthelé, 1897 ; Martin, 1988). Cependant, à 250 cal. BP (224 cm), les Cypéracées dominent très largement l'enregistrement derrière les Amaranthacées. La très faible proportion des cultures et traces d'anthropisation implique un espace délaissé par les activités agropastorales, sûrement du fait que la zone semble être très humide, saumâtre, de type marais ou lagune, et dominée par des formations herbacées hydrophiles. Entre 240 et 130 cal. BP (204-42 cm), les Amaranthacées sont accompagnées par les Cypéracées, les Poacées et les traces de cultures et d'anthropisation sont fortement enregistrées, traduisant un paysage plus morcelé, avec des zones humides d'eau douce ou salée et des espaces agricoles.



Dans l'ensemble, nous observons un milieu dominé par les végétations herbacées hydrophiles et halophiles de type sansouïres depuis environ 1340 cal. BP et déjà assez anthropisé (Vielfaure, 2017). Entre environ 1280 et 1540 AD, le milieu semble présenter une phase d'adoucissement, avec un développement de roselières, qui ont été exploitées par les populations locales (Martin, 1988).



## Chapitre VII : Apport de la palynologie à l'étude de l'anthropisation holocène du territoire languedocien occidental

Ce chapitre traite de l'anthropisation du territoire languedocien occidental, principalement à travers le lien entre activités humaines et modification des paysages. Pour cela, il convient de faire un point sur deux éléments particuliers à la région d'étude, l'histoire du hêtre et la formation particulière qu'est la garrigue avant de nous intéresser à l'évolution détaillée des végétations en lien avec les activités anthropiques. Si nous avons choisi de traiter de l'histoire du hêtre et de la garrigue dans ce chapitre, c'est que leur expansion est fortement liée à l'anthropisation du territoire durant la seconde moitié de l'Holocène (par exemple : Azuara et al., 2018; Heinz & Thiebault, 1998; Muller et al., 2007; Pulido Avila, 2006; Reille et Pons, 1992).

### 1. Histoire des forêts montagnardes et du hêtre en Languedoc

En Méditerranée nord-occidentale, les flores montagnardes, d'origine à la fois méditerranéenne et eurasiatique, sont déjà individualisées avant les périodes glaciaires (Quézel, 1999). Cependant, les données concernant la mise en place des structures de végétation montagnardes durant l'Holocène sont fragmentaires et les modèles permettant d'expliquer l'expansion des taxons, et du hêtre particulièrement, sont controversés (par exemple : Azuara et al., 2018; Delhon & Thiébault, 2005; Giesecke et al., 2006; Quézel, 1999). La difficulté de créer des schémas de recolonisation et d'expansion du hêtre (*Fagus sylvatica*) durant l'Holocène semble venir du fait que l'enregistrement de ce taxon est irrégulier et non synchrone en Europe de l'ouest (Giesecke et al., 2017) et que l'importance relative des facteurs permettant sa recolonisation (climatique ou anthropique) est en débat (par exemple : Azuara et al., 2018; Heinz & Thiebault, 1998; Muller et al., 2007; Pulido Avila, 2006; Reille et Pons, 1992).

Dans nos données, nous observons, durant la première moitié de l'Holocène, que l'étage Montagnard est dominé par le bouleau dans les deux vallées (figures 31 à 34 et annexes 3 à 6 pour la vallée de l'Aude, figures 44 à 47 et annexes 7 à 10 pour la vallée de l'Hérault). Toutefois, la présence du hêtre est attestée dès le début de la séquence héraultaise (avant 7600 cal. BP) et, dans l'Aude, dès 6600 cal. BP sur SC01 (Dolez, 2012 ; Dolez et al., 2015) et dès le début de la séquence soit 6350 cal. BP sur BVA03. La dynamique populationnelle du hêtre dans nos données des deux vallées présente les mêmes caractéristiques, à savoir une expansion importante suivie d'un déclin. Cependant, nos résultats présentent un décalage chronologique. Dans la vallée de l'Aude, le hêtre s'étend rapidement, dès 4600 cal. BP dans les données de SC01 (Dolez, 2012 ; Dolez et al., 2015) et dès 4200 cal. BP (1755 cm) sur BVA03. Dès le début de cette phase d'expansion, sur BVA03, le hêtre a un enregistrement assez fort de 2,4 % et atteint même les 8 % à son maximum vers 2800 cal. BP (1623 cm). Dans l'Hérault, cet essor se produit seulement vers 3200 cal. BP, et le hêtre augmente de 0,5 % à 6 % entre 3200 et 2060 cal. BP (877-828 cm). Le déclin du hêtre se produit dans la vallée de l'Aude vers 2800 cal. BP sur BVA03 et vers 2400 cal. BP dans l'enregistrement de SC01 (Dolez, 2012 ; Dolez et al., 2015), tandis que dans l'Hérault, cette phase débute vers 1500 cal. BP (600 cm). Enfin, le

hêtre devient ponctuel et très peu visible à peu près au même moment, vers 850 cal. BP (1223 cm) dans l'Aude et vers 800 cal. BP (400 cm) dans l'Hérault.

Afin de mieux comprendre ces variations locales, ainsi que l'évolution globale du hêtre et des assemblages montagnards en Languedoc durant l'Holocène, comparons nos données aux autres études régionales.

### Recolonisation

Entre les Pyrénées et la Camargue, la recolonisation holocène du hêtre semble débuter durant l'Atlantique (9000 – 5500 cal. BP). En effet, de nombreux auteurs attestent sa présence, quoique rare, dans le sud de la France durant cette période. Par exemple, l'apparition du hêtre est enregistrée autour de 8200-8000 cal. BP à l'étang de Berre (Triat-Laval, 1982), à Sète (Court-Picon et al., 2010) et à Palavas (Azuares et al., 2018), autour de 6600 cal. BP dans les Cévennes et les Monts de l'Espinouse (Pulido Avila, 2006) et autour de 4800 cal. BP à Lattes (Puertas, 1998a). Dans le diagramme des Frignants, en Camargue, *Fagus* est observé dès 10000 cal. BP (Triat-Laval, 1978), mais la présence d'une formation de chênaie décidue bien implantée et diversifiée à cette date révèle une possible erreur de datation ou une pollution du sédiment. Des feuilles de hêtre ont été retrouvées dans des tuffs gardois et datées à environ 7100 cal. BP (Farizier, 1980, repris par Puertas, 1998b). Même si d'autres auteurs ne disposent pas d'une datation fine, ils attestent l'arrivée de ce taxon durant l'Atlantique, comme dans le Donezan (entre Aude, Ariège et Pyrénées Orientales ; Jalut, 1973) et dans les données du littoral languedocien (Jalut, 1995 ; Planchais, 1982, 1987 ; Ponel et al., 2000). Sur l'ensemble du Massif Central, l'immigration du hêtre est datée entre 7850 et 4540 cal. BP, selon les localités (Plancher, 2017). Par exemple, elle est datée autour de 6000 cal. BP en Haute-Auvergne et vers 5500 cal. BP dans le Limousin (Miras et al., 2011). Dans nos données, l'immigration du hêtre dans la vallée de l'Aude dès 6600 et 6350 cal. BP (respectivement, SC01 et BVA03), et dès au moins 7600 cal. BP dans la vallée de l'Hérault, correspond bien aux dates régionales. Même si le hêtre colonise l'étage montagnard durant l'Atlantique, il y reste rare et ne constitue pas les grandes formations forestières qu'on lui connaît aujourd'hui. Il s'est probablement intégré progressivement, parfois avec le sapin, aux forêts déjà installées, dominées par les chênaies caducifoliées, peut-être mêlées de bouleaux (Plancher, 2017). L'étage Montagnard n'était ainsi pas clairement individualisé à cette époque, au contraire des Alpes du Sud, où le sapin est arrivé plus tôt, dès 9000 cal. BP et a repoussé les chênaies vers les altitudes inférieures (Muller, 2013).

Pour expliquer cette dynamique holocène, Delhon et Thiébaud (2005) ont établi un modèle de diffusion du hêtre à partir de refuges dans la vallée du Rhône et empruntant le couloir rhodanien pour s'étendre. Des études anthracologiques attestent cependant l'existence de refuges glaciaires dans les Pyrénées et le pays basque français (Jalut et al., 1998 ; Vernet, 1980), invalidant le schéma de Reille et Andrieu (1991) d'une migration du hêtre depuis la partie orientale des Pyrénées. De plus, des études génétiques indiquent une différence entre les populations européennes du hêtre et celles du sud de la France (Azuares et al., 2018 ; Magri, 2008 ; Magri et al., 2006). Ainsi, même si certaines populations d'origine alpine ou adriatique sont à l'origine de l'expansion de ce taxon en Europe, il semble que pour le Languedoc, le hêtre ait une origine pyrénéenne et n'ait pas joué de rôle dans la reconquête européenne (Azuares et al., 2018). Cette recolonisation languedocienne du hêtre

proviendrait non pas d'un unique refuge secondaire rhodanien (Delhon & Thiébault, 2005), mais de nombreuses petites stations relictuelles, possiblement localisées à basse altitude dans la péninsule ibérique, les Pyrénées ou même le sud de la France (Azuara et al., 2018).

### Expansion

Durant l'Atlantique, le hêtre s'installe progressivement comme composante de formations montagnardes mais reste rare, largement dominé par le bouleau, le chêne et parfois par le sapin (Plancher, 2017). Cette installation est suivie d'une phase d'expansion très marquée dans l'ensemble des données régionales. Cette phase permet même, dans de nombreuses études, de caractériser le Subboréal (5500-2800 cal. BP) (par exemple : Court-Picon et al., 2010; De Beaulieu et al., 1985; Ponel et al., 2000; Reille, 1990).

Cette expansion importante, enregistrée vers 4600 cal. BP (SC01) et 4900 cal. BP (BVA03) dans la vallée de l'Aude, apparaît antérieure à son enregistrement à 3800 cal. BP dans ce même bassin (Jalut, 1973). Cette phase semble être plus tardive dans l'Hérault, nos données la situant vers 3200 cal. BP. Dans la région, cette expansion est enregistrée vers 6000 cal. BP à Palavas (Azuara et al., 2018) et en Camargue (Les Frignants ; Triat-Laval, 1978), vers 5600 cal. BP à l'étang de Berre (Laval & Médus, 1989), vers 5100 cal. BP dans la lagune de Canet (Planchais, 1985), vers 4600 cal. BP à Capestang et Mauguio (Jalut et al., 2009 ; Planchais, 1982) et vers 4200 cal. BP à Lattes (Puertas, 1998a). Sur le carottage de Sète (Court-Picon et al., 2010), cet essor n'est pas visible. Parmi les enregistrements plus continentaux, nous pouvons observer cet essor du hêtre dans les Cévennes et les Massifs sud-occidentaux du Massif Central entre 5500 (De beaulieu, 1974) et 4800 cal. BP (Pulido Avila, 2006). A l'échelle du Massif Central, cet événement est là encore enregistré sur une longue période de temps, entre 7310 et 3440 cal. BP (Plancher, 2017). Dans le sud du Massif Central, le début de cette expansion semble avoir lieu principalement entre 5500 et 4500 cal. BP, les enregistrements plus précoces étant probablement liés à des conditions écologiques locales favorables (Jalut et al., 1998 ; Puertas, 1998b).

Cette expansion atlantique et subboréale du hêtre peut être en partie expliquée par une humidification et un refroidissement du climat favorables à cette espèce (Jalut, 1973 ; Jalut et al., 1998 ; Planchais & Parra Vergara, 1984 ; Puertas, 1998b). Cependant, les deux modèles climatiques disponible pour nos régions (Jalut et al., 2009 ; Roberts et al., 2011) sont contradictoires et cette primeur du facteur climatique ne permet pas d'expliquer certaines particularités de l'expansion du hêtre. Ainsi, même si, dans nos données, cette expansion ne correspond pas à une augmentation des marqueurs d'anthropisation, une grande partie des auteurs s'accordent sur le fait que l'expansion du hêtre a été favorisée par les coupes forestières dans les formations montagnardes dès le Néolithique final (par exemple : Bradshaw & Lindbladh, 2005 ; Jalut et al., 1984, 1998 ; Küster, 1997 ; Miras et al., 2011 ; Muller, 2013 ; Muller et al., 2007 ; Planchais & Parra Vergara, 1984 ; Pulido Avila, 2006 ; Reille, 1990b). Un des arguments avancés est l'asynchronie de cet événement, qui traduit un déterminisme hétérogène sur le territoire concerné, asynchronie que nous retrouvons dans nos données à l'échelle de deux vallées proches : le hêtre entre en expansion bien plus précocément dans l'Aude que dans l'Hérault. Cet argument élimine le climat comme facteur majeur, car son influence devrait se traduire par des dynamiques synchrones, et suggère donc l'action prédominante des activités humaines. La variabilité chronologique de l'enregistrement de cet essor est ainsi considéré comme résulter de

particularités locales dans l'anthropisation du territoire. Nos données de la vallée de l'Hérault, qui montrent que l'essor du hêtre, plus tardif que dans l'Aude, correspond au déclin de *Corylus*, et suggère aussi l'influence de déforestations. Cette phase d'essor, enregistrée dans la plupart des études paléoenvironnementales du sud de l'Europe occidentale, traduit le début de l'importance que l'anthropisation peut avoir sur la région et ses paysages.

Il est aussi important de noter que, dans nos données, le hêtre dispose d'un fort taux (entre 5 et 10%) entre 4000 et 2500 cal. BP dans la vallée de l'Aude et entre 2500 et 1000 cal. BP dans la vallée de l'Hérault. Ces valeurs élevées ont déjà été identifiées dans certaines études régionales (Azuara et al., 2018 ; Triat-Laval, 1979b) et pourraient traduire une expansion importante du hêtre à basse altitude sur ces périodes.

### Régression

Dans la vallée de l'Hérault, le hêtre décline dès 1460 cal. BP pour quasiment disparaître vers 850 cal. BP. Dans la vallée de l'Aude, cette régression semble plus précoce et est datée d'environ 2800 cal. BP (BVA03) ou 2400 cal. BP (SC01), la quasi-disparition du hêtre étant datée d'environ 850 cal. BP, comme dans l'Hérault. Au niveau régional, ce déclin du hêtre est visible et daté autour de 2800 cal. BP à Lattes (Puertas, 1997, 1998b) et à Capestang (Jalut, 1995).

Le déclin du hêtre correspond, dans nos données, à l'augmentation des cultures et des traces d'anthropisation. Cette décroissance, qui a été en partie expliquée par l'augmentation graduelle de l'aridité estivale (Azuara et al., 2018), semble aussi et surtout être liée à l'augmentation importante de l'anthropisation du territoire, entre déforestations et emprise agropastorale (Azuara et al., 2018 ; Jalut et al., 2009 ; Miras et al., 2011). Encore une fois, d'après nos données, l'impact anthropique sur les paysages semble plus précoce dans la vallée de l'Aude que dans celle de l'Hérault. La quasi-disparition régionale du hêtre, enregistrée aux mêmes dates dans nos données et par Durand (2003), soit entre le X<sup>e</sup> et le XII<sup>e</sup> siècle, atteste l'impact radical de l'Homme sur les paysages, déjà mis en évidence dès le Néolithique, mais qui atteint son apogée au Moyen-Âge (Azuara et al., 2018), et ce, sur tout le Languedoc.

## **2. Histoire du matorral méditerranéen sur calcaire : la garrigue**

L'élément le plus marquant des paysages languedociens est la garrigue, un patrimoine naturel et culturel qui forme, avec les cigales, l'imaginaire collectif associé au Sud de la France. La garrigue est un matorral, c'est à dire une formation secondaire ouverte ou semi-ouverte sur sol calcaire, généralement plutôt arbustive (Chazel & Chazel, 2012). Les matorrals sont aussi présents en région méditerranéenne sur sols siliceux, par exemple en Corse, dans les Maures et l'Estérel et dans les Pyrénées orientales : on les nomme alors maquis. Pour les populations locales, la garrigue correspond bien souvent à la « nature sauvage », au contraire de la « nature domestiquée » des grandes vallées agricoles. Pourtant, cette formation correspond à un stade de dégradation important des forêts caducifoliées et est considérée, dans la littérature scientifique, comme résultant d'une anthropisation intense du territoire (par exemple : Chazel et Chazel, 2012; Leveau et al., 2016;

Planchais, 1982; Reille et Pons, 1992; Triat-Laval, 1978). Pour mieux comprendre l'origine de cette végétation au demeurant typiquement méditerranéenne (Pons, 1981 ; Pons & Suc, 1980 ; Quézel, 1979, 1995, 1999), étudions l'histoire des formations sclérophylles durant l'Holocène.

Dans nos données (figures 31 à 34 et annexes 3 à 6 pour la vallée de l'Aude, figures 44 à 47 et annexes 7 à 10 pour la vallée de l'Hérault), les taxons du matorral sont présents dès le début des séquences, soit à partir de 9000-8000 cal. BP dans la vallée de l'Hérault et de 6350 cal. BP dans celle de l'Aude. Dans nos précédentes données de la vallée de l'Aude, *Quercus ilex*-type est même attesté durant le Dryas récent (Dolez, 2012 ; Dolez et al., 2015 ; annexe 11). L'enregistrement régulier du matorral en très faibles proportions durant le Dryas et le début de l'Holocène suggère la proximité des refuges glaciaires et/ou l'immigration de cette formation végétale en Languedoc lors de la première moitié de l'Holocène (Reille & Pons, 1992).

Cependant, ce n'est que dans la seconde partie de l'Holocène que le matorral va prendre de l'importance et que des chênaies sclérophylles vont se développer. Dans la vallée de l'Aude, l'assemblage matorral augmente entre 6350 et 2850 cal. BP (1850-1620 cm), tandis que dans la vallée de l'Hérault, il semble stable jusqu'à environ 3200 cal. BP (972 cm). La dynamique des préforêts à chêne vert et des matorrals associés apparaît asynchrone dans le sud de la France. Certains diagrammes montrent un développement entre 6000 et 4000 cal. BP au détriment des forêts caducifoliées (Heinz & Thiebault, 1998 ; Jalut et al., 2009 ; Quézel, 1999 ; Reille & Pons, 1992 ; Triat, 1975 ; Vernet, 1997), tandis que d'autres présentent des dynamiques très différentes (Heinz et al., 2004 ; Triat-Laval, 1978 ; Triat-Laval & Reille, 1981).

Au début de cette expansion, la forêt décidue est clairement dominante dans la région. Elle se développe principalement dans les plaines et sur les collines aux sols riches, tandis que les formations sclérophylles sont cantonnées aux falaises, aux crêtes rocheuses et aux pentes abruptes avec des sols pauvres (Heinz & Thiebault, 1998 ; Pons & Quézel, 1998 ; Triat-Laval, 1978). Le rôle du climat dans cette expansion des formations sclérophylles a été proposé (Jalut et al., 2000, 2009). En effet, le climat montre une tendance à l'aridification sur la seconde moitié de l'Holocène, selon le modèle de (Jalut et al., 2009). Toutefois, l'hétérogénéité spatio-temporelle de cet événement sur l'ensemble de la région méditerranéenne française plaide pour un déterminisme essentiellement anthropique (par exemple : Azuara et al., 2015; Planchais, 1982; Pons et Quézel, 1998; Reille et Pons, 1992; Triat-Laval, 1978).

L'interprétation de la chênaie sclérophylle à *Quercus ilex* comme écosystème climacique (Braun-Blanquet, 1936) a ainsi été abandonnée pour la Méditerranée nord-occidentale, au climat humide et subhumide : cette formation est aujourd'hui considérée de manière consensuelle comme paraclimacique et liée aux perturbations anthropiques, telles que les coupes forestières (Pons & Quézel, 1998 ; Reille & Pons, 1992). Nos données supportent ce changement de paradigme : l'expansion du matorral apparaît clairement liée à la régression de la forêt décidue dans l'Aude, et même si cela n'est pas visible dans la vallée de l'Hérault, nous observons toutefois, entre 3200 et 2050 cal. BP (972-828 cm) des variations en antiphase entre ces deux formations, attestant le lien entre ces assemblages. Dans la vallée de l'Aude, des études anthracologiques effectuées sur les sites de Font-Juvéнал et de l'Abeurador ont également montré le développement de la chênaie

sclérophylle dès la fin du Néolithique en lien avec la déforestation de la forêt décidue (Heinz & Thiebault, 1998).

Pour expliquer cet essor du matorral lors de déboisements de la forêt décidue, il faut comprendre l'écologie respective du chêne pédonculé (*Quercus pubescens*) et du chêne vert (*Quercus ilex*). Dans les variantes bioclimatiques humide et subhumide de l'étage Méso-Méditerranéen du sud de la France, le chêne pédonculé, qui domine la matrice forestière durant la première partie de l'Holocène, est plus compétitif que le chêne vert, qui se développe surtout en climat semi-aride (Quézel & Médail, 2003). Le chêne vert ne parvient à se développer qu'à l'occasion de conditions stationnelles particulières (falaises, crêtes, zones rocheuses) ou de perturbations (Barbero et al., 1990 ; Heinz & Thiebault, 1998 ; Quézel & Médail, 2003). Ainsi, le déboisement anthropique généralisé des formations décidues de la fin du Néolithique à l'Antiquité (Jorda et al., 2008a ; Pons & Quézel, 1998) est défavorable au chêne pubescent, qui a une moindre capacité de rejeter de souche et est moins résilient que le chêne vert. La préforêt de chêne vert (ou yeuseraie ; Braun-Blanquet, 1936) constitue ainsi le plus souvent des taillis relativement ouverts d'arbres taillés en cépée, qui dominent encore aujourd'hui les garrigues méso-méditerranéennes de l'arrière-pays montpelliérain (Collectif des Garrigues, 2013). L'accroissement de la fréquence et de l'intensité des incendies et de la pression de pâturage a permis aux espèces pyrophiles (chêne kermès, cistes, pin d'Alep) et stress-tolérantes (genêts, genévriers, Lamiacées, plantain, ronce) de s'étendre et de constituer ainsi la mosaïque de matorrals boisés qui caractérise aujourd'hui les paysages de la région méditerranéenne française.

On peut noter que, dans nos données, le matorral reste secondaire par rapport à la forêt décidue, alors que d'autres études montrent au contraire que le matorral devient dominant. C'est par exemple le cas dès le Chalcolithique à Sète (Court-Picon et al., 2010). Cette différence peut être expliquée par l'apport régional dans nos sites, avec notamment l'apport fluvial de la vallée de l'Aude, qui permet d'enregistrer les formations décidues du Supra-Méditerranéen, où les formations de dégradation ne sont pas constituées par les taxons des garrigues méso-méditerranéenne (Lieutaghi, 2005).

Dans la vallée de l'Hérault, une régression du matorral et des autres formations forestières est observée dès 2050 cal. BP (828 cm) et est associée à l'augmentation des cultures et marqueurs d'anthropisation. Une phase particulière de développement du matorral est visible sur B1 entre 1450 et 1400 cal. BP (600-555 cm), mais l'abondance des ligneux indique un enregistrement très régional, divergeant du reste de la séquence et n'étant pas représentatif de la dynamique générale enregistrée autour de cette phase. Dans la vallée de l'Aude, la régression de cet assemblage débute dès 3000 cal. BP sur SC01 (Dolez, 2012 ; Dolez et al., 2015) et dès 2550 cal. BP sur BVA03, toujours en lien avec l'augmentation des cultures et traces d'anthropisation. Cette régression pourrait traduire l'abandon d'anciennes zones anthropisées, permettant à la succession écologique de favoriser progressivement des essences décidues (Quézel, 1999). Cependant, dans nos données, cette régression du matorral, liée à celle des autres formations forestières, ainsi qu'à l'augmentation des marqueurs d'anthropisation, traduit plutôt un recul très marqué des formations forestières au profit d'une emprise de plus en plus importante des activités humaines dans le territoire languedocien.

Dès 300 cal. BP pour la vallée de l'Aude et 240 cal. BP pour celle de l'Hérault, nous observons un léger retour du matorral, associé à une baisse des traces d'anthropisation sur BVA03 et à un retour



de la forêt décidue mésophile sur B1. Cela suggère l'existence d'une déprise agricole et des activités forestières dès le XVII<sup>e</sup> siècle dans notre région, permettant un retour relatif des formations forestières. En effet, le matorral n'étant pas un état stable de la végétation méditerranéenne, les garrigues que nous observons aujourd'hui ne sont que des milieux en constante mutation, résultant de la reconquête des ligneux sur les derniers siècles (Quézel, 1999).

### **3. Anthropisation du territoire languedocien et influences sur les paysages végétaux**

Comme le montrent les cas du hêtre et de la garrigue que nous venons de voir, les activités humaines ont façonné une grande partie des paysages languedociens. Nous nous intéressons maintenant à l'histoire plus détaillée des liens entre paysages végétaux et anthropisation du Languedoc occidental depuis le Mésolithique. Les diagrammes polliniques ordonnés en âges sont disponibles en annexes 3 à 6 (pour la vallée de l'Aude) et 7 à 10 (pour la vallée de l'Hérault) pour aider à l'analyse de cette interaction Homme-Environnement. Pour les périodes après 3000 cal. BP, nos données plus fines nous permettent de proposer, en figure 56, une comparaison des signaux des formations forestières et de l'anthropisation des deux vallées.

#### Préhistoire et Protohistoire

Durant le Mésolithique, l'occupation du territoire languedocien est bien attestée par l'archéologie (par exemple : Bazile et Monnet-Bazile, 2000; Cholvy, 1993; Fontana, 1999; Gayraud, 1981; Geddes, 1987; Guilaine et al., 1987; Guilaine et Manen, 2007; Ravoux, 1966), mais les activités de subsistance centrées sur la chasse et la cueillette n'influencent pas encore sur le paysage (Geddes, 1987). Même si un élevage léger d'ovicaprinés est visible dans la vallée de l'Aude à la fin du Mésolithique (Camps, 1987 ; Geddes, 1981, 1987), ce proto-pastoralisme, probablement réduit et très mobile (Geddes, 1981, 1987), ne nécessite pas d'aménagements particuliers affectant les paysages végétaux régionaux et ne trouve ainsi aucun écho dans les données paléoenvironnementales régionales.

C'est à partir du Néolithique que l'Homme, à travers ses nouvelles activités agropastorales et sa sédentarisation, devient l'un des moteurs de changement des paysages. Dans la vallée de l'Aude, nous observons une grande phase englobant le Néolithique, le Chalcolithique et l'Âge du bronze (de 6350 à 2800 cal. BP), durant laquelle l'expansion du matorral, concomitante du déclin de la forêt décidue mésophile, est, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, un des témoins des activités sylvicoles (Heinz & Thiebault, 1998 ; Pons & Quézel, 1998 ; Reille & Pons, 1992). De même, l'essor du hêtre dès 4900 cal. BP (4600 cal. BP sur SC01 ; Dolez et al., 2015) atteste la déforestation des forêts montagnardes dès la fin du Néolithique (par exemple : Azuara et al., 2018; Jalut et al., 1998, 1984; Miras et al., 2011; Muller, 2013; Muller et al., 2007; Planchais et Parra Vergara, 1984; Pulido Avila, 2006; Reille, 1990). Dans la vallée de l'Hérault, ces coupes sont moins visibles,

l'ensemble des assemblages forestiers apparaissant stables sur la même période. Seules les variations en antiphasse de la forêt décidue mésophile et du matorral révèlent des déforestations, qui semblent toutefois moins importantes que dans l'Aude. Dans les deux vallées, les coupes forestières sont le principal indice pollinique de l'anthropisation du territoire à ces époques, les cultures et traces d'anthropisation restant stables. Nous pouvons toutefois noter la présence, en faible abondance, de pollen de type céréales, dès le début de la séquence de l'Aude (soit 6350 cal. BP) et dès 4400 cal. BP dans l'Hérault, apportant ainsi des indices plus directs du développement de systèmes agricoles. Ce faible enregistrement des cultures, et surtout des céréales, n'est pas étonnant, car le pollen de type céréales est gros ( $> 40 \mu$ ) et voyage peu : le taxon Céréales-type est généralement assez peu enregistré dans les diagrammes polliniques, même à proximité de zones de cultures (Behre, 1981).

Les analyses bioarchéologiques, et notamment palynologiques et carpologiques, ont permis d'identifier une culture de céréales indéterminés sur le site fontbuxien de la Butte Richemont à Montpellier (Planchais & Thomas, 1989) et de blé et d'orge sur le site fontbuxien de Cambous (vallée de l'Hérault), à la fin du Néolithique (Roudil & Canet, 1992). À Lattes (port Ariane), des études carpologiques réalisées dans des fosses utilisées comme dépotoirs (après leur usage premier de stockage de grain ou de collecteur d'argile) ont révélé la culture d'orge durant le Néolithique, complétée par les blés (amidonnier, engrain et blés tendre/dur) et le millet durant l'Âge du Bronze (Alonso et al., 2011).

Le faible enregistrement pollinique des activités agropastorales ne semble pas refléter l'importance des implantations humaines en Languedoc dès le Néolithique (Gascó, 2011 ; Guilaine et al., 1987 ; Roudil & Canet, 1992). Cependant, il faut bien comprendre l'origine du signal pollinique et l'emprise humaine sur le territoire. En effet, dans nos données, nous enregistrons le signal des végétations de l'ensemble du bassin versant de l'Aude, soit 5300 km<sup>2</sup>. Pour la vallée de l'Hérault, dans le bassin versant est de 2580 km<sup>2</sup>, nos données sont très locales, mais un léger signal montagnard indique l'enregistrement de végétations plus lointaines. D'après Chabal (2007) reprenant Bourquin-Mignot (1999), une communauté agropastorale n'a besoin que d'environ 1,1 ha par habitant, espace comprenant les taillis exploités pour les besoins en bois, les espaces d'habitation et les espaces ouverts dédiés aux activités agropastorales. Avec ces valeurs, un village de 300 personnes n'a besoin que d'une surface d'environ 1 km de rayon pour subsister ; un très gros village de 1000 personnes satisfait ses besoins sur une surface d'environ 2 km de rayon. Ces estimations sont dérisoires en regard de la taille des bassins versants et même avec un nombre important d'implantations et une sous-estimation des besoins, la taille des bassins reste d'un ordre de grandeur supérieur, montrant ainsi un impact de l'anthropisation assez ténu, malgré une emprise humaine importante dans la région.

Dans la vallée de l'Aude, un niveau particulier daté à 3650 cal. BP (1676 cm), soit en plein âge du Bronze, possède un taux plus élevé de céréales, associées à l'armoise (*Artemisia*) et au plantain type lancéolé (*Plantago lanceolata*-type), deux marqueurs d'anthropisation liés aux prairies pâturées (Behre, 1981 ; Jorda et al., 2008b), tandis que les assemblages forestiers ne semblent pas varier. Ce niveau ne reflète pas une réelle dynamique régionale, mais plutôt un instantané avec un zoom plus local sur les activités anthropiques, indiquant des cultures de céréales et du pastoralisme probablement assez proches de l'étang de Vendres durant le Bronze moyen. Des hameaux littoraux

exploitant les bords de lagunes sont observés dès le début du Bronze moyen dans la région (Lachenal, 2014 ; Vital, 1999). À proximité du site de carottage, nous pouvons par exemple citer les sites de Portal Vielh de Vendres, un habitat en marge de la zone humide occupé durant le Bronze final (Carozza & Burens, 2000), ainsi que le site du Roc de Conilhac à Gruissan, butte calcaire surplombant les étangs de Bages-Sigean, occupé du Bronze moyen au Bronze final (Guy, 1950).

Dès la seconde moitié du Néolithique, *Olea* est enregistré dans nos deux séquences, dès 5600 cal. BP dans l'Aude et dès 5300 cal. BP dans l'Hérault. Cet enregistrement ne peut toutefois être interprété comme traduisant des cultures d'oliviers, car sa variété sauvage, l'oléastre (*Olea europaea* var. *sylvestris*), est indigène dans le sud de la France, où il atteint la limite septentrionale de son aire de répartition (Carrion et al., 2010 ; Leveau et al., 1991 ; Zohary et al., 2012). Ce taxon est attesté dès 7350 cal. BP dans le Golfe du Lion (Jalut et al., 2009 ; Leveau et al., 1991) et semble occuper des refuges thermophiles dans les secteurs les plus méridionaux du bassin méditerranéen français (Carrion et al., 2010). La mise en culture de l'olivier est d'origine locale et commence dès l'Âge du Bronze (Besnard & Bervillé, 2000 ; Breton et al., 2009 ; Terral et al., 2004). Les premières traces de cultures d'oliviers dans nos données ne peuvent être visibles qu'à travers un enregistrement plus important et régulier de ce taxon, à l'Âge du Fer dans l'Aude et à l'Antiquité dans l'Hérault.

De la fin de l'Âge du Bronze et le début de l'Âge du Fer jusqu'à l'Antiquité, la vallée de l'Aude enregistre une exploitation intense de l'étage montagnard, observée à travers la chute des ligneux et l'augmentation des Ericacées, traduisant une ouverture des milieux et un développement des formations ouvertes à bruyères. L'augmentation du nombre d'habitats, dès le VI<sup>e</sup> siècle BC, identifiés dans les Corbières (De Chazelles, 1993) ainsi que l'intensification et la généralisation des activités pastorales dans les Pyrénées identifiées par Jalut et al. (1998) au début de l'Âge du Fer permet d'expliquer, au moins en partie, cette exploitation des zones montagnardes. Dans nos données, la basse vallée audoise et les zones littorales semblent aussi très exploitées, d'après la régression du matorral et des pinèdes et l'augmentation des cultures et traces d'anthropisation, éléments pouvant aussi être observés sur le carottage de Capestang (Jalut et al., 2009). Cependant, la stabilité de la forêt décidue, aussi visible à Capestang (Jalut et al., 2009), suggère que des zones forestières restent bien présentes dans l'arrière-pays, malgré l'installation de nombreux habitats ruraux agricoles comme ceux qui ont été identifiés autour de Carcassonne (Ropiot et al., 2011) et dans la basse vallée (De Chazelles, 1993). Dans la vallée de l'Hérault, les activités humaines sont réparties dans l'ensemble de la vallée. L'utilisation de la basse et moyenne vallée est indiquée par la continuité de la chute de la forêt décidue mésophile au profit du matorral, tandis que le léger retour des formations montagnardes est dû à l'expansion du hêtre en altitude, qui est favorisé par l'exploitation sylvicole. Cependant, les traces plus directes de cultures et les marqueurs d'anthropisation stagnent, malgré la fondation d'Agde au VI<sup>e</sup> siècle BC à proximité du site de carottage, puis son développement plus important dès le IV<sup>e</sup> siècle BC (Ugolini et al., 2002). Les études carpologiques sur les sites archéologiques régionaux indiquent une prédominance des cultures céréalières (orge, blés, millet) et parfois des légumineuses (lentilles et fèves) comme à Lattes (Alonso et al., 2011 ; Rovira & Alonso, 2010), sur le site de la Monédiaire à proximité d'Agde (Pinaud-querrac et al., 2014) ou sur le site de Christol près de Carcassonne (Ropiot et al., 2011). Ainsi, notre enregistrement toujours très faible des céréales, contraire aux indices archéologiques, n'est pas un indice d'un territoire peu cultivé, mais atteste plutôt la difficulté de capter ce type de signal dans les analyses polliniques (Behre, 1981).

Carottages BVA03 et B1

Pourcentages relatifs de certains taxons en lien avec l'anthropisation des territoires  
D'après données sans Cichorioïdées

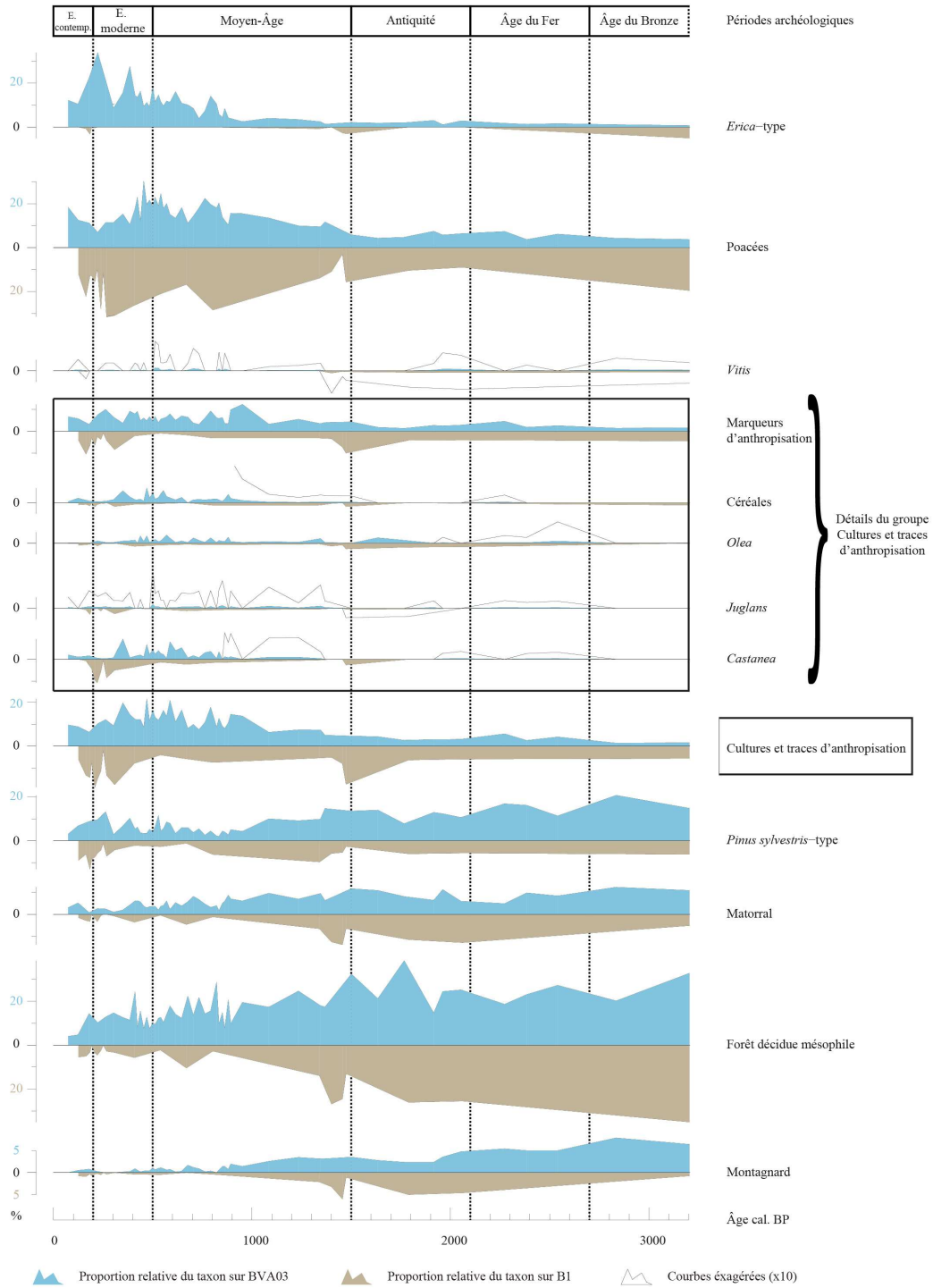


Figure 56. Comparaison des signaux des formations forestières et de l'anthropisation, carottes BVA03 et B1

Malgré cette prédominance des cultures céréalières, quelques autres taxons potentiellement cultivés peuvent être observés dans nos données. Le châtaignier (*Castanea sativa*) et le noyer (*Juglans regia*) apparaissent dans l'Aude dès 2500 cal. BP. Cette date est cohérente avec l'idée d'une importation gréco-romaine de ces taxons à des fins de cultures (Bottema, 1980 ; Conedera et al., 2004 ; Jalut et al., 1998 ; Muller, 2004). Dès 2500 cal. BP, nous pouvons aussi observer, toujours dans nos données de l'Aude, le début de l'enregistrement régulier d'*Olea*. Bien que les premières formes cultivées d'olivier apparaissent en Méditerranée occidentale au Chalcolithique et à l'Age de Bronze (Bouby & Terral, 2016), les études carpologiques suggèrent la continuation de l'utilisation de l'oléastre sauvage (Alonso et al., 2011 ; Rovira & Alonso, 2010), avant l'importation de formes cultivées orientales entre le III<sup>e</sup> et le II<sup>e</sup> siècles BC (Terral et al., 2004). Aussi, dès le II<sup>e</sup> siècle BC, une culture de la vigne est attestée à Lattes par la carpologie, les nombreux pépins retrouvés provenant, d'après leur morphologie et biométrie, de vigne cultivée (Alonso et al., 2011). Une étude palynologique effectuée dans le même secteur a permis d'identifier cette culture, car le taux de pollen de *Vitis*, de l'ordre de 1 à 2 % sur le reste de la séquence Holocène, passe dans ces niveaux à 16 % (Puertas, 1998c, 1998b). Dans nos données, même sur les périodes récentes (figure 56), *Vitis* reste très peu enregistré (< 1,5 %), ne permettant pas d'attester la culture de la vigne, le signal provenant probablement de la vigne sauvage de la forêt alluviale (Arnold et al., 1998 ; Beaudouin et al., 2007b ; Rameau et al., 2008 ; Terral et al., 2010).

### Antiquité

Durant l'Antiquité, l'enregistrement de la végétation montagnarde chute dans les deux vallées (figure 56). La réduction plus importante dans la vallée de l'Hérault associée à la stabilisation des Ericacées dans l'Aude suggère une exploitation plus intense des Cévennes et des Massifs sud-occidentaux du Massif Central que des Pyrénées qui, d'après Jalut *et al.* (1998), sont peu impactées par les activités anthropiques durant l'époque romaine.

Dans l'Aude, l'augmentation du matorral et la présence ponctuelle du noyer et du châtaignier sont les seules attestations de la continuité des activités agropastorales durant la première partie de l'Antiquité. L'installation d'une grosse agglomération comme Narbonne à quelques kilomètres du point de carottage n'engendre pas d'enregistrement de céréales, attestant encore une fois que ce taxon n'est pas un bon marqueur pour identifier des secteurs agricoles s'ils ne sont pas installés à proximité immédiate du secteur d'enregistrement du matériel pollinique.

Dans les deux vallées, c'est surtout dès 1800 cal. BP (II<sup>e</sup> siècle AD) que les activités humaines semblent prendre de l'ampleur. Dans l'Aude, l'augmentation, même légère, des cultures et traces d'anthropisation débute dès cette date et est marquée par l'augmentation des marqueurs de pâturage et de secteurs exploités (*Artemisia* et *Plantago lanceolata*-type ; Behre, 1981), ainsi que par la présence assez élevée mais ponctuelle d'*Olea*, qui pourrait être ici l'olivier cultivé d'après son taux bien supérieur à ses anciennes attestations. Bien que rares, des traces d'oléicultures sont attestées dans la vallée de l'Aude (Leveau, 2003).

A la même époque, dans l'Hérault, l'ensemble des formations forestières régressent tandis que les marqueurs d'anthropisation augmentent radicalement, notamment les indicateurs de pâturage

(*Artemisia* et *Plantago lanceolata*-type), traduisant des déforestations et la création de milieux ouverts dédiés aux pâtures et aux cultures. Des cultures peuvent en effet être identifiées avec l'apparition du noyer et l'augmentation d'*Olea*, qui croît après un début d'enregistrement régulier vers 2050 cal. BP. Des traces archéologiques d'oléiculture ont d'ailleurs été observées à Tourbes, près de Pézenas et à proximité du fleuve Hérault (Jung et al., 2009). Bien que l'époque romaine soit une période d'expansion de la culture des fruitiers sur le pourtour méditerranéen, il est rare d'obtenir des attestations palynologiques des fruitiers, du fait de l'entomogamie de ces taxons et de la faible dispersion de leurs grains de pollen (Rouissi et al., 2018).

L'historien romain Justin (Histoire universelle, XLIII, 4) affirme que les Grecs de Marseille ont appris aux Gaulois à cultiver la vigne et l'olivier, et, même si cela semble possible pour la vigne (Terral et al., 2010), la culture de l'olivier est attestée en Languedoc dès le Bronze et provient d'une domestication locale (Besnard & Bervillé, 2000 ; Bouby & Terral, 2016 ; Breton et al., 2009 ; Terral et al., 2004). Cependant, même si ces cultures sont connues durant l'Antiquité et que l'oléiculture semble plausible dans l'Aude d'après nos données, ces cultures ne semblent pas être prédominantes dans nos régions, qui restent très axées sur les céréales (Leveau et al., 1991). Les traces archéologiques de vergers sont rares (Jung et al., 2009) et l'étude d'amphores retrouvées en Gaule Narbonnaise indique que de l'huile d'olive était massivement importée d'Espagne et d'Afrique, impliquant une production locale réduite, ne suffisant pas aux besoins des villes régionales (Leveau et al., 1991). Cicéron, en 54 BC, indique que Rome ne permet pas aux peuples à l'ouest des Alpes de cultiver vignes et oliviers (Cicéron, De la république, III, 9). Cependant, de nombreux vestiges archéologiques attestent la viticulture en Languedoc (par exemple : Alonso et al., 2011; Buffat et al., 2001; Jung et al., 2009), impliquant que cette loi n'était soit pas réelle soit pas appliquée (Leveau et al., 1991). Dans nos données, la caractérisation de la culture de la vigne est difficile du fait, déjà exposé, de la présence de la variété sauvage dans la région et du faible enregistrement pollinique de *Vitis*. En comparant les taux relatifs de *Vitis* et de la forêt alluviale sans ce taxon sur le carottage BVA03 (carottage dont le taux de *Vitis* est le plus important ; figure 57), nous voyons que certaines hausses de *Vitis* ne correspondent pas à des hausses du taux de la forêt alluviale (par exemple entre 3000 et 1800 cal. BP). Cependant, les taux étant relatifs à l'ensemble de l'enregistrement, nous préférons vérifier ces variations en observant directement l'influx de ces taxons (figure 57). Or, nous observons que toute augmentation d'influx (et donc d'apport) de *Vitis* est liée à une augmentation de l'influx de la forêt alluviale sans *Vitis*. Cela permet de valider notre hypothèse d'un enregistrement de la vigne presque exclusivement sauvage durant toute notre séquence et indique que nous n'enregistrons pas le développement de la viticulture.

### Moyen Âge

Durant le Moyen Âge, et notamment à partir du XI<sup>e</sup> siècle AD (900 cal. BP), le paysage languedocien s'ouvre de plus en plus, comme le montre la chute de l'ensemble des formations forestières dans les deux vallées et l'exploitation du territoire languedocien s'accroît encore (Durand & Vernet, 1987 ; Lécuyer, 2006). Ainsi, dans l'Aude, l'étage montagnard se couvre de formations ouvertes à bruyères comme le montre la hausse importante des Éricacées (Davasse et al., 1997 ; Lécuyer, 2006). Nous remarquons aussi, dans les données des deux vallées, le développement important du châtaignier

(enregistrement plus important dans l'Aude), espèce calcifuge ne se rencontrant que dans l'étage Supra-Méditerranéen des massifs siliceux du sud du Massif Central (Cévennes, Monts de Lacaune, Monts de l'Espinouse, Montagne Noire). Cette expansion du châtaignier est visible dans le diagramme de Marsillargues (Triat-Laval, 1978). Nous pouvons ainsi voir le début de la production de châtaignes et la mise en place par l'Homme des grandes châtaigneraies cévenoles dès le XI<sup>e</sup> siècle AD, soit bien avant le XVI<sup>e</sup> siècle AD comme proposé par Blanchemanche (1986). La présence régulière, durant le Moyen Âge central et le Moyen Âge tardif (XI<sup>e</sup>-XV<sup>e</sup> siècles AD), du noyer dans nos données des deux vallées ainsi que dans le diagramme de Marsillargues (Triat-Laval, 1978) indique une culture de cet arbre présente sur tout le Languedoc.

Nous pouvons aussi observer, sur ces périodes, une présence importante d'*Olea* dans l'Aude, et même si ce taxon reste peu visible dans l'Hérault, son essor dès le XI<sup>e</sup> siècle dans le diagramme de Marsillargues (Triat-Laval, 1978) révèle l'expansion de l'oléiculture sur le littoral méditerranéen durant le Moyen Âge (Leveau, 2003 ; Leveau et al., 1991), culture favorisée par le développement, dès le X<sup>e</sup> siècle AD, de l'irrigation afin d'améliorer la production (Durand, 2003 ; Terral et al., 2004). Dans l'Aude, les céréales sont aussi mieux enregistrées et permettent d'inférer leur importance dans l'agriculture de cette région (Cholvy et al., 1982), comme observé dans la haute vallée de l'Aude (Davasse et al., 1997).

Les zones d'exploitation agropastorales sont aussi mises en évidence à cette époque par les textes, à titre d'exemple nous pouvons citer l'obtention par plusieurs communautés des diocèses de Montpellier et Béziers de droits d'aménagements auprès de leurs seigneurs respectifs : droit de coupe en 1177, de tènement de garrigues en 1263, de pâture ou de défrichage en 1264 AD (Pélaquier, 2009 ; citant les archives départementales de l'Hérault c.2957 et c.2978 : De la Pijardière et Berthélé, 1897).

La présence régulière des Amaranthacées dans nos données des deux vallées, et même en très forte proportion au Bagnas, traduit l'importance des sansouires et peut aussi être expliquée par la présence de pâturages et de salins sur tout le littoral languedocien, et notamment sur le terroir de Marseillan, comme attesté par Dupont (1958).

Ainsi, malgré l'absence des arbres fruitiers dans nos diagrammes, nous pouvons observer, dès le Moyen Âge central, un paysage languedocien fortement anthropisé (Davasse et al., 1997 ; Durand, 2003). L'agriculture, importante et très diversifiée, s'organise dans le territoire en polycultures (Durand, 2003).

### Epoques modernes et contemporaines

À la fin du Moyen Âge, nous observons un milieu régional très ouvert, avec de nombreux espaces dédiés à l'agropastoralisme et des formations forestières très clairsemées résultant de plusieurs millénaires d'exploitation de la région. Dès lors et jusqu'aux périodes plus récentes, nous observons une stagnation des formations forestières régionales dans les données des deux vallées. Ainsi, malgré une croissance démographique importante, les derniers espaces forestiers résistent, probablement du fait de la réglementation de l'exploitation des forêts par les ordonnances royales du 13 août 1669

(Lalanne, 1990). Dans toute la région, c'est surtout un fort compartimentage des activités qui s'opère, en lien avec les particularités des sols ou des volontés politiques locales (Pons, 1984). Le registre c.2978 des archives de l'Hérault nous indique aussi le compartimentage des activités en lien avec les politiques à travers la désignation des droits sylvo-agropastoraux accordés par les autorités locales aux communautés de la région (De la Pijardièrre & Berthelè, 1897). Globalement, les vallées, disposant de sols riches, sont dévolues aux activités agricoles et l'oléiculture régresse au profit de la culture des céréales et de la vigne (Gavignaud-Fontaine, 1996 ; Lalanne, 1990 ; Larguier & Sallmann, 1993). Sur les sols moins riches et moins profonds, l'agriculture laisse place à l'élevage d'ovins et de caprins, ainsi qu'à l'exploitation forestière (Lalanne, 1990). Dans la vallée de l'Hérault, où les sols des versants calcaires déforestés se sont érodés, cette expansion du pastoralisme est bien visible au Bagnas à travers l'augmentation importante d'*Artemisia* et *Plantago lanceolata*-type. En outre, l'augmentation de *Castanea* dans l'Hérault traduit probablement l'essor de l'exploitation des châtaigneraies cévenoles à la fin du XVI<sup>e</sup> siècle (Cholvy et al., 1982).

La diversification des activités, avec par exemple l'essor des industries textiles ou l'exploitation intensive et renommée du pastel (ou guède, *Isatis tinctoria*) dans la vallée de l'Aude (Larguier, 1998 ; Larguier & Sallmann, 1993), va aussi entraîner un léger retrait de l'emprise humaine et permettre le développement de pinèdes pionnières à *Pinus halepensis* qui colonisent rapidement les terrains abandonnés ou incendiés (Azuara et al., 2018 ; Quézel, 1999 ; Rameau et al., 2008). Ce retour des pinèdes est bien visible dans les deux vallées. Finalement, des épisodes ponctuels d'exodes ruraux et de reconquête du territoire (Cholvy, 1993 ; Cholvy et al., 1982 ; Limouzin & Nique, 2007 ; Savon & Bourgeois, 2009), le début de la politique de protection et de gestion des forêts (Métaillé, 1993), ainsi que les politiques de reboisement instaurées dès la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle AD (C.R.P.F., 1998 ; Lécuyer, 2006 ; Quézel & Médail, 2003 ; Savon & Bourgeois, 2009) vont permettre une reprise progressive du couvert forestier et mener au compartimentage des paysages que l'on observe de nos jours.

Les paysages végétaux revêtent une importance historique, écologique et culturelle capitale. La volonté politique de préserver certains paysages particuliers permet de nous rendre compte de la richesse régionale, à travers, par exemple, le parc naturel régional du Haut Languedoc, le parc national des Cévennes ou encore la zone de protection spéciale NATURA 2000 « Hautes Garrigues du Montpelliérais ».



Carottage BVA03

Analyse du signal de *Vitis*

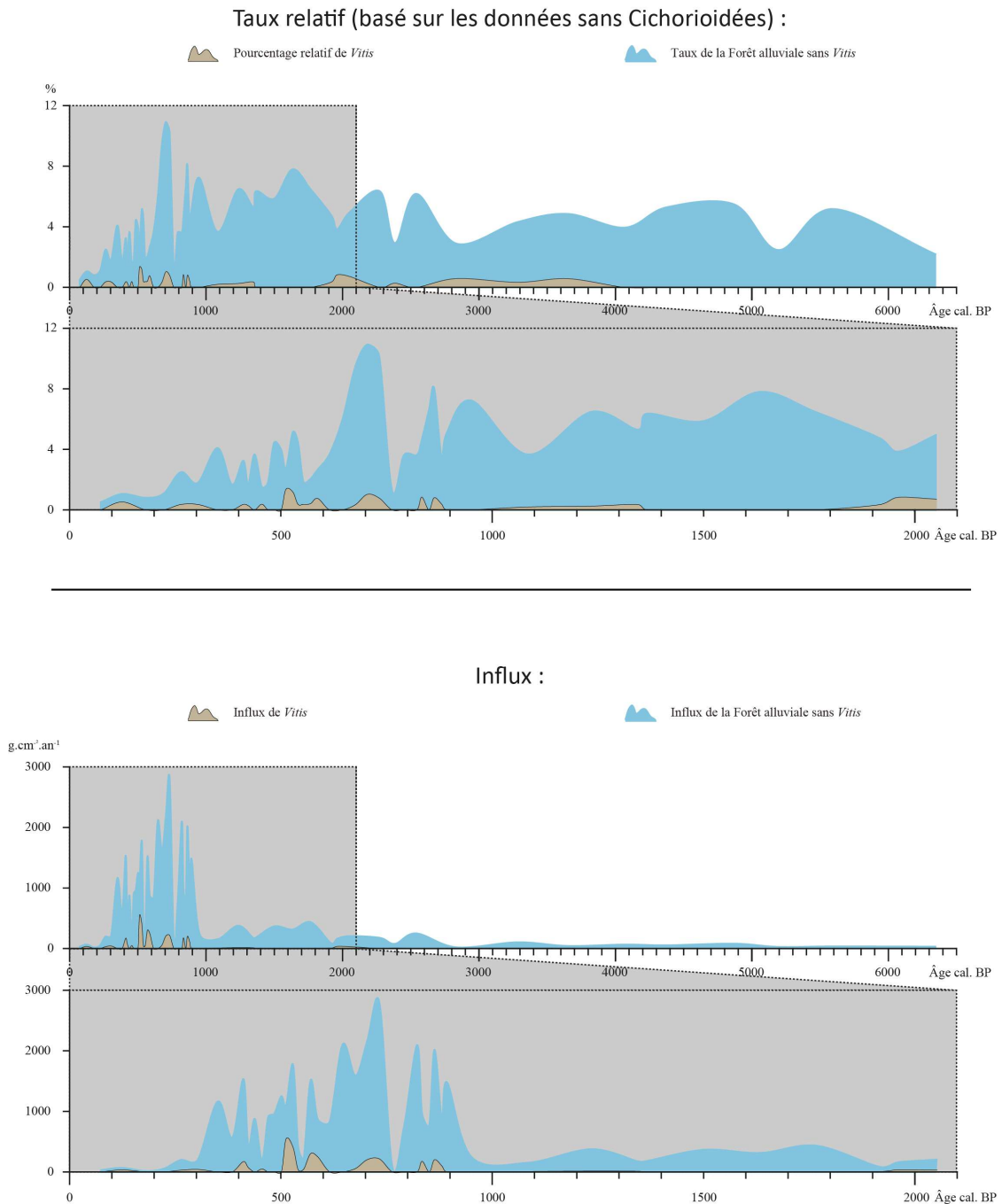


Figure 57. Comparaison des taux relatifs et de l'influx de *Vitis* et de la forêt alluviale sans ce taxon sur la carotte BVA03



## Conclusion

L'intérêt de ce travail de recherche était d'étudier l'évolution des paysages languedociens durant l'holocène en lien avec l'anthropisation des territoires d'après les données palynologiques de deux sites : l'un en vallée de l'Hérault, l'autre en vallée de l'Aude. Nos objectifs étaient de tester une application particulière de l'outil palynologique, de comprendre les grandes dynamiques de végétation, tant locales que régionales, et de déterminer les évolutions conjointes des paysages végétaux et des activités humaines en Languedoc occidental.

L'apport méthodologique et technique de cette recherche est multiple. Les tests réalisés avec le protocole standard d'extraction du matériel pollinique (Berglund & Ralska-Jasiewiczowa, 1986) ou par la méthode de la liqueur dense (Nakagawa et al., 1998) n'ont pas été concluants, et n'ont pas permis d'obtenir des culots analysables. Nous avons donc appliqué un protocole basé sur celui qui est utilisé pour les sédiments marins, en ajoutant au protocole standard des filtrations sur mailles fines (5  $\mu$ ) permettant d'éliminer les particules argileuses non éliminées par les traitements chimiques. Nous avons aussi déterminé que les deux carottes étudiées ne présentaient pas les mêmes enjeux. Le carottage de l'étang de Vendres contient un signal pollinique provenant de toute la vallée de l'Aude, grâce à l'apport fluvial qui a perduré durant toute la séquence. L'analyse du double apport éolien et fluvial de la vallée de l'Aude a permis de valider l'intérêt de la palynologie en contexte lagunaire, qui permet une meilleure représentation des formations régionales et lointaines que dans d'autres types d'analyses. Cela se fait toutefois au prix de certains handicaps tels que des taux de sédimentation non constant pouvant perturber les modèles d'âges et la compréhension de la stratigraphie ainsi que de problèmes taphonomiques plus irréguliers et variés que lors d'analyses plus classiques. A ce titre, l'analyse de la méthodologie utilisée a permis de proposer une synthèse des biais, tant au niveau de l'enregistrement du matériel pollinique que taphonomiques, susceptibles de perturber les données.

Aussi, le carottage B1 (Bagnas, vallée de l'Hérault) s'est révélé plus délicat vis-à-vis de l'apport de matériel pollinique. L'origine de son alimentation hydrologique étant controversée, il n'était pas certain qu'il dispose aussi d'un enregistrement de matériel pollinique d'origine fluviale. En comparant nos données polliniques des deux vallées, nous n'avons pas mis en évidence d'apport fluvial dans la séquence B1, et aucun élément dans nos autres données n'indique l'alimentation du Bagnas par un cours d'eau avant le Moyen Âge. Ainsi, l'existence d'un bras occidental de l'Hérault se jetant dans le Bagnas semble peu crédible.

Sur la base de ces éléments méthodologiques et taphonomiques, l'analyse conjointe des deux carottages a permis de mettre en lumière plusieurs traits de l'évolution des paysages languedociens, tant d'un point de vue local que régional.

Dès le début des séquences, à l'Atlantique, les zones de Vendres et du Bagnas sont déjà constituées de milieux locaux organisés en mosaïque, comportant des zones d'eau douce et des zones saumâtres, et abritant des végétations herbacées de marais, pelouses et prairies, structurées selon un déterminisme édaphique. La séquence de Vendres révèle une réduction progressive au cours des 6000 dernières années de l'emprise des sols salés au profit des marais d'eau douce et des phragmitaies (ou roselières), avec toutefois, un probable retour des sansouïres (formations

halophiles dominées par les salicornes) depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle AD, marqué par une légère augmentation des Amaranthacées au sommet de la séquence.

Nous avons aussi vu que les deux bras de l'Aude ont été actifs durant l'Holocène et que le système fluvio-lagunaire de Vendres a évolué du fait de l'accroissement progressif de l'importance du bras est depuis au moins l'Antiquité. La défluviation majeure indiquée dans les textes autour de 1340 AD a été radicale pour les acteurs économiques locaux, mais n'est pas un événement si important dans le contexte de l'évolution de la basse vallée de l'Aude.

L'étang du Bagnas, quant à lui, est dominé par les sansouïres depuis au moins le VI<sup>e</sup> siècle AD, mais la présence de marais hélophytiques et de prairies plus sèches est aussi attestée. Nous observons cependant une phase de réduction importante des sols salés, entre la fin du XIII<sup>e</sup> et le milieu du XVI<sup>e</sup> siècle, repérée à travers le développement de roselières, typhaies et cariçaias, qui ont d'ailleurs été exploitées par les populations locales (Martin, 1988). Ces événements sont probablement à mettre en lien avec les divagations des bras du fleuve, susceptibles d'engendrer d'importantes variations locales de salinité (Keukelaere, 2008) et la formation de bras morts (Muller et al., 2008).

A l'échelle des deux bassins versants étudiés, nous observons, durant l'Atlantique, une région fortement boisée : les plaines littorales du Languedoc apparaissent clairement couvertes par une forêt décidue diversifiée, tandis que l'étage Montagnard est dominé par le bouleau, même si la présence régulière du sapin et du hêtre est visible. La présence de pinèdes et de formations sclérophylles est attestée ; leur emprise, légèrement différente selon la vallée, pourrait être liée aux conditions édaphiques locales (Court-Picon et al., 2010 ; Jalut, 1973 ; Quézel, 1999 ; Triat-Laval, 1978). Bien que l'occupation du Languedoc par des groupes humains soit attestée dès le Mésolithique par l'archéologie (par exemple : Bazile et Monnet-Bazile, 2000; Cholvy, 1993; Fontana, 1999; Gayraud, 1981; Geddes, 1987; Guilaine et al., 1987; Guilaine et Manen, 2007; Ravoux, 1966), leur mode de subsistance n'a pas d'incidence visible sur les paysages régionaux (Geddes, 1987).

La modification des paysages végétaux languedociens est perceptible à partir du Néolithique et est occasionnée par l'anthropisation du territoire, du fait de la sédentarisation des populations, de l'augmentation de la démographie et du développement de l'agropastoralisme. Dès le début du Subboréal, correspondant à la fin du Néolithique, nous observons une variabilité dans les dynamiques végétales entre les vallées de l'Aude et de l'Hérault. Cette variabilité peut être expliquée en grande partie par l'hétérogénéité spatio-temporelle de l'influence des activités humaines (Court-Picon et al., 2010 ; Dolez et al., 2015 ; Heinz & Thiebault, 1998 ; Laval & Médus, 1989 ; Muller et al., 2007 ; Pulido Avila, 2006 ; Reille & Pons, 1992 ; Triat, 1975) et indique que le facteur climatique n'est que secondaire dans la dynamique des végétations sur la seconde partie de l'Holocène.

L'impact des activités anthropiques sur la dynamique des végétations est enregistrée plus précocement, dans nos données, dans la vallée de l'Aude et à faible altitude.

L'anthropisation du territoire, durant le Néolithique et l'Âge du Bronze, est observée majoritairement à travers les activités sylvicoles, comme le montrent l'essor du hêtre (*Fagus sylvatica*) en altitude (et peut-être même jusque dans les moyennes vallées d'après les valeurs élevées enregistrées) dès 4900-4600 cal. BP (dans l'Aude) et le développement des pinèdes et du matorral au détriment de la forêt décidue mésophile (Acherar et al., 1984 ; Court-Picon et al., 2010 ; Heinz & Thiebault, 1998 ; Laval & Médus, 1989 ; Pulido Avila, 2006 ; Quézel, 1999 ; Reille et al., 1992, 1996 ; Triat-Laval, 1978).

Ces activités semblent d'ailleurs plus importantes dans la vallée de l'Aude que dans la vallée de l'Hérault. Durant ces périodes, nos données montrent de rares traces de céréaliculture, qui peuvent correspondre à la culture de blé, d'orge et de millet attestée par la carpologie (Alonso et al., 2011 ; Roudil & Canet, 1992). Ces faibles traces n'indiquent pas une rareté des cultures, mais révèlent plutôt la difficulté d'enregistrer les cultures céréalières en palynologie, surtout lagunaire, du fait de la faible dispersion de ce pollen (Behre, 1981)

Dès la fin de l'Âge du Bronze (début du Subboréal), sur tout le Languedoc, le recul général des formations forestières au profit des formations ouvertes est clairement causé par l'intensification des activités anthropiques (par exemple : Dolez et al., 2015; Jalut, 1973a; Planchais et Parra Vergara, 1984; Puertas, 1998a; Pulido Avila, 2006; Reille et Pons, 1992). Ceci traduit l'exploitation de l'ensemble des vallées, depuis les franges littorales jusque dans les Pyrénées et les massifs méridionaux du Massif Central. Une diversification des cultures est visible à travers l'introduction par les populations gréco-romaines du châtaignier et du noyer (Bottema, 1980 ; Conedera et al., 2004 ; Jalut et al., 1998 ; Muller, 2004), éléments observables dès 2500 cal. BP (VI<sup>e</sup> siècle BC) dans l'Aude.

Durant l'Antiquité, les massifs sud-occidentaux du Massif Central semblent plus exploités que les Pyrénées. En effet, nous enregistrons une réduction importante de la forêt montagnarde dans la vallée de l'Hérault, tandis que, dans l'Aude, la stagnation de formations ouvertes à bruyères confirme la relativement faible anthropisation des Pyrénées durant l'époque romaine déjà notée par Jalut *et al.* (1998). Les activités humaines prennent de l'ampleur dans les deux vallées dès le II<sup>e</sup> siècle AD (1800 cal. BP), avec la continuité des activités sylvicoles, l'expansion du pastoralisme identifié par l'enregistrement important des marqueurs de pâturages (*Artemisia* et *Plantago lanceolata*-type ; Behre, 1981), ainsi que le développement de l'oléiculture (Jung et al., 2009 ; Leveau, 2003). Bien que plusieurs travaux révèlent à cette époque l'expansion de la viticulture (par exemple : Alonso et al., 2011; Buffat et al., 2001; Jung et al., 2009), cette dernière n'est pas visible dans nos diagrammes.

Durant le Moyen Âge, et notamment à partir du XI<sup>e</sup> siècle AD (900 cal. BP), la régression de l'enregistrement des formations forestières dans les deux vallées traduit un paysage languedocien de plus en plus ouvert. En dépit de l'absence d'enregistrement pollinique des fruitiers dans nos données, nous observons que l'exploitation du territoire s'accroît encore notamment à travers une agriculture importante et diversifiée (Davasse et al., 1997 ; Durand, 2003 ; Durand & Vernet, 1987 ; Lécuyer, 2006). Nous pouvons, par exemple, apercevoir le début de la mise en place anthropique des grandes châtaigneraies cévenoles dès le XI<sup>e</sup> siècle AD, ainsi que l'expansion de l'oléiculture à la même époque aidée par le développement de l'irrigation (Durand, 2003 ; Leveau, 2003 ; Terral et al., 2004). Le bon enregistrement des Amaranthacées, traduit la présence, outre des végétations halophiles de type sansouïres, de pâturages littoraux (De la Pijardière & Berthelé, 1897) et de salins exploités sur tout le littoral languedocien (Dupont, 1958).

Un reboisement progressif de l'étage Méso-Méditerranéen est observé dans les deux vallées sur les périodes plus récentes, aux XVI<sup>e</sup>-XVII<sup>e</sup> siècles, principalement par des formations de matorral et de pinèdes (Vernet, 1980). Cependant, sur les hauteurs de la vallée de l'Aude, nous constatons la poursuite de la déforestation montagnarde à travers le développement important, depuis le XII<sup>e</sup> siècle AD, de formations ouvertes héliophiles à bruyères sur les zones défrichées (André & Ambert, 1998 ; Jalut, 1973 ; Reille, 1988 ; Triat-Laval, 1979b).

Depuis la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle AD, l'instauration de politiques de reboisement, gestion et de protection des zones « naturelles » vont permettre une reprise progressive du couvert forestier (C.R.P.F., 1998 ; Lécuyer, 2006 ; Métaillé, 1993 ; Savon & Bourgeois, 2009). De nos jours, l'importance historique, économique, écologique et culturelle de nos paysages est bien ancrée, et les volontés de préservation de certains paysages se développent fortement (par exemple : Collectif des Garrigues, 2013). Dans ce contexte, il est essentiel d'avoir à disposition des données sur l'histoire des paysages et de l'anthropisation connexe, telles que celles présentées dans ce travail, afin de pouvoir évaluer correctement l'impact d'un plan d'activité ou de protection avant sa mise en œuvre. À ce titre, nous pouvons prendre exemple sur la zone de protection spéciale NATURA 2000 « Hautes Garrigues du Montpelliérais ». Sans des études phytosociologiques et historiques de la garrigue, qui est un milieu en mutation constante (Quézel, 1999), il n'aurait pas été possible de proposer un plan de protection efficace. L'ouverture au pastoralisme de cette zone NATURA 2000 permet son entretien et autorise en parallèle une économie locale. Cet exemple, ainsi que d'autres démarches du même type, montrent tout l'intérêt de la prise en compte de l'histoire des paysages pour permettre un développement durable du territoire (Métaillé, 1993 ; Savon & Bourgeois, 2009). L'intérêt de ce travail de thèse, outre la reconstitution historique qu'il propose, est de permettre de mettre en place des politiques d'exploitation / conservation / reforestation adaptées en proposant des pistes sur l'évolution attendue des assemblages végétaux actuels en fonctions de la réponse passée de tels milieux à leurs modes de gestion. L'Histoire ne se limite pas à relater le passé, elle donne aussi des pistes pour notre futur.

Afin de compléter cette étude, d'affiner certaines connaissances ou de répondre à quelques questions en suspens, plusieurs travaux seraient bienvenus. Il serait ainsi intéressant d'enrichir les données polliniques obtenues par une étude poussée des palynomorphes (champignons, dinokystes) afin de mieux comprendre la taphonomie des séquences ou encore les dynamiques de l'anthropisation et de la salinité de l'eau à l'échelle locale.

Pour mieux cerner les particularités des enregistrements polliniques, un référentiel actuel pollen-végétation effectué dans la région serait un sérieux atout et permettrait d'affiner la compréhension de la production et de la dispersion du pollen des taxons régionaux.

Aussi, la réalisation d'un transect altitudinal de carottes pourrait affiner la perception spatiale des reconstitutions proposée. Cependant, vu le nombre très réduit de sites régionaux dans lesquels le dépôt et la conservation du pollen a pu être réalisée, ce transect sera difficile à mettre en place. Pour pallier à ce fait, il serait intéressant d'effectuer des études de macrofossiles sur l'ensemble de la région afin de tenter d'attester la présence locale de certains taxons, et par exemple pour mieux appréhender l'expansion maximale du hêtre, possiblement à basse altitude, dans nos vallées.

Enfin, afin de discuter plus finement de la part du climat et de l'anthropisation dans la dynamique des formations végétales (et notamment dans l'évolution du hêtre), il serait primordial de réaliser une étude paléoclimatique régionale, plus ciblée et précise que les modèles très larges existants, et dans l'idéal reposant sur des marqueurs indépendants du pollen pour éviter les biais de confirmation.

## Références

- Abbé, J.-L., 2005. L'eau et la terre . Les transformations des milieux humides en Languedoc-Roussillon au Moyen Age. *Association pour la Promotion des Archives d'Agde et de sa Région* 21, 37–50.
- Acherar, M., Lepart, J., Debussche, M., 1984. La colonisation des friches par le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller) en Languedoc mediterraneen. *Acta oecologica* 5, 179–189.
- Adgé, M., 1995. Le delta de l'Hérault et les chemins de desserte d'Agde avant les aménagements modernes. *Sur les pas des Grecs en Occident, Études Massaliètes* 4, 1.
- Allen, T.H., Star, T.B., 1982. Hierarchy. Perspectives for ecological complexity. The University of Chicago Press, Chicago.
- Allinne, C., Devillers, B., Bertoncello, F., Bouby, L., Bruneton, H., Thi, M. bui, Cade, C., Revil, A., 2006. Archéologie et paléoenvironnement sur le site du pont romain des Esclapes (Fréjus, Var). *ArchéoSciences*. n° 30, 18.
- Alonso, N., Buxó, R., Rovira, N., 2011. Nouvelles données carpologiques pour la basse vallée du Lez (Sud-Montpelliérais, Hérault, Languedoc-Roussillon) du Néolithique moyen au Moyen Âge. Le site de Lattes « Port Ariane ». *Bibracte* 20, 101–118.
- Amami, B., Rhazi, L., Chaibi, M., Fauquette, S., Ayt Ougougdal, M., Charif, A., Ridaoui, M., Bouahim, S., Carré, M., Daoud-Bouattour, A., Grillas, P., Muller, S.D., 2013. Late quaternary history of a mediterranean temporary pool from western morocco, based on sedimentological and palynological evidence. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 392, 281–292.
- Ambert, M., Ambert, P., Lugand, M., 1993. Le littoral des départements de l'Aude et de l'Hérault. Atlas des changements des lignes de rivage au cours des 2 000 dernières années. *Archéologie en Languedoc* 17, 126–134.
- Ambert, P., 2001. Géologie et géomorphologie des pays de l'étang de Thau et de la basse vallée de l'Hérault, in: Lugand, M. et Bermond, I.: Agde et Le Bassin de Thau.
- Ambert, P., 2000. Narbonne antique et ses ports, géomorphologie et archéologie, certitudes et hypothèses. *Revue archéologique de Narbonnaise* 33, 295–307.
- Ambert, P., 1995. La branche orientale du delta de l'Hérault ou de l'insularité du volcan d'Agde à l'époque grégoromaine. Hypothèses archéologiques et données géologiques. *Sur les pas des Grecs en Occident, Etudes Massaliètes* 4, 105–112.
- André, J., Ambert, P., 1998. L'évolution des paléo-environnements holocènes de la lagune de Narbonne (Sud de la France) : apports de l'étude pluridisciplinaire du forage Peyriac 2. *L'Homme préhistorique et la mer : actes* 120, 77–91.
- Andrieu, V., Eicher, U., Reille, M., 1993. La fin du dernier Pléniglaciaire dans les Pyrénées (France) : données polliniques, isotopiques et radiométriques. *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre* 316, 245–250.
- Aris, R., Picheire, J., 1960. Essai sur le développement topographique d'Agde. *Annales du Midi : revue archéologique, historique et philologique de la France méridionale* 72, 129–135.
- Arnold, C., Gillet, F., Gobat, J.M., 1998. Situation de la vigne sauvage *Vitis vinifera* ssp. *silvestris* en Europe. *Vitis* 37, 159–170.

- Azuara, J., Combourieu-Nebout, N., Lebreton, V., Mazier, F., Müller, 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.
- Azuara, J., Lebreton, V., Peyron, O., Mazier, F., Combourieu-Nebout, N., 2018. The Holocene history of low altitude Mediterranean *Fagus sylvatica* forests in southern France. *Journal of Vegetation Science* 29, 438–449.
- Bar-Yosef, O., 2006. Le cadre archéologique de la révolution du paléolithique supérieur. *Diogenes* 214, 3–23.
- Barbero, M., Bonin, G., Loisel, R., Quézel, P., 1990. Changes and Disturbances of Forest Ecosystems Caused by Human Activities in the Western Part of the Mediterranean Basin. *Vegetatio* 87, 151–173.
- Bazile, F., Monnet-Bazile, C., 2000. Le magdalénien et l'Après Magdalénien en Languedoc Oriental. Le Paléolithique supérieur récent: nouvelles données sur le peuplement et l'environnement. *Mémoire de la Société préhistorique Française* 28, 127–145.
- Beaudouin, C., Jouet, G., Suc, J.P., Berné, S., Escarguel, G., 2007a. Vegetation dynamics in southern France during the last 30 ky BP in the light of marine palynology. *Quaternary Science Reviews* 26, 1037–1054.
- Beaudouin, C., Suc, J.P., Escarguel, G., Arnaud, M., Charmasson, S., 2007b. The significance of pollen signal in present-day marine terrigenous sediments: The example of the Gulf of Lions (western Mediterranean Sea). *Geobios* 40, 159–172.
- Beeching, A., Berger, J.-F., Brochier, J.L., Ferber, F., Helmer, D., Maamar, H.S., 1998. Chasséens: agriculteurs ou éleveurs, sédentaires ou nomades? Quels types de milieux, d'économies et de sociétés ?, in: Archives d'écologie préhistorique, Toulouse, F. (Ed.), Rencontres Méridionales de Préhistoire Récente. pp. 59–79.
- Behre, K.-E., 1988. The role of man in European vegetation history, in: Huntley, B., III, T.W. (Eds.), *Vegetation History, Handbook of Vegetation Science*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 633–672.
- Behre, K.-E., 1981. The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen et Spores* 23, 225–245.
- Bennett, K., Tzedakis, P., Willis, K., 1991. Quaternary Refugia of North European Trees. *Journal of Biogeography* 18, 103–115.
- Bennett, K.D., 2008. Psimpoll 4.27: C program for plotting pollen diagrams and analyzing pollen data. Available online from Queen's University of Belfast, Department of Archaeology and Palaeoecology.
- Berglund, B.E., Ralska-Jasiewiczowa, M., 1986. Pollen analysis and pollen diagrams, in: *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. New York, pp. 455–484.
- Besnard, G., Bervillé, A., 2000. Multiple origins for Mediterranean olive (*Olea europaea* L. ssp. *europaea*) based upon mitochondrial DNA polymorphisms. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie* 323, 173–181.
- Blaise, E., 2009. Economie animale et gestion des troupeaux au Néolithique Final en Provence : approche archéozoologique et contribution des analyses isotopiques de l'émail dentaire.



Université Provence - Aix-Marseille.

- Blanchemanche, P., 1986. Les Terrasses de culture des régions méditerranéennes : terrassement, épierrement et dérivation des eaux en agriculture. 17<sup>ème</sup>-19<sup>ème</sup> siècle. Étude ethnohistorique. École des hautes études en sciences sociales, Paris.
- Blanchemanche, P., Berger, J.-F., Chabal, L., Jorda, C., Jung, C., Raynaud, C., 2003. Le littoral languedocien durant l'Holocène: milieu et peuplement entre Lez et Vidourle (Hérault, Gard). *Des milieux et des hommes: fragments d'histoires croisées*.
- Bottema, S., 1980. On the history of the walnut (*Juglans regia* L.) in southeastern Europe. *Acta Botanica Neerlandica* 29, 343–349.
- Bottema, S., 1975. The interpretation of pollen spectra from prehistoric settlements (with special attention to Liguliflorae). *palaeohistoria* 17, 17–35.
- Bouby, L., Terral, J., 2016. Archéobiologie et agrobiodiversité de l'olivier : domestication et diffusion dans l'Ouest de la Méditerranée, in: Ater M. (Ed.), Essalouh L. (Ed.), Ilbert H. (Ed.), Moukli A. (Ed.), Khadari B. (Ed.). *L'oléiculture Au Maroc de La Préhistoire à Nos Jours : Pratiques, Diversité, Adaptation, Usages, Commerce et Politiques*. Montpellier : CIHEAM (Options Méditerranéennes. pp. 17–27.
- Boudet, G., 2017. Les abbayes du sel en Languedoc au Moyen-Âge. *Bulletin de l'académie des Sciences et Lettres de Montpellier* 48, 1–10.
- Bourquin-Mignot, C., 1999. La botanique, Errance. ed. Collections "Archéologiques," Paris.
- Bradshaw, R.H.W., Lindbladh, M., 2005. Regional spread and stans-scales establishment of *Fagus sylvatica* and *Picea* in Scandinavia. *Ecology* 86, 1679–1686.
- Braun-Blanquet, J., 1936. La forêt d'Yeuse languedocienne (*Quercion Ilicis*) : monographie phytosociologique. Communication de la Station Internationale de Géobotanique Méditerranéenne et Alpine, Montpellier.
- Bréhard, S., Beeching, A., Vigne, J.D., 2010. Shepherds, cowherds and site function on middle Neolithic sites of the Rhone valley: An archaeozoological approach to the organization of territories and societies. *Journal of Anthropological Archaeology* 29, 179–188.
- Bremer, B., Bremer, K., Chase, M., Fay, M., Reveal, J., Soltis, D., Soltis, P., Stevens, P., 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*.
- Breton, C., Terral, J.F., Pinatel, C., Médail, F., Bonhomme, F., Bervillé, A., 2009. The origins of the domestication of the olive tree. *Comptes Rendus - Biologies* 332, 1059–1064.
- Brewer, S., Cheddadi, R., de Beaulieu, J.L., Reille, M., 2002. The spread of deciduous *Quercus* throughout Europe since the last glacial period. *Forest Ecology and Management* 156, 27–48.
- Brunner, F., 1979. L'indigénat du Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Languedoc par l'étude des pollens des sédiments versiliens de la lagune de Palavas (Hérault). Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier.
- Buffat, L., Pellecuer, C., Mauné, S., Hervé, P., 2001. La viticulture antique en Languedoc-Roussillon. *Gallia* 58, 91–111.

- C.R.P.F., 2001. Schéma régional de gestion sylvicole, tome 2 : Forêts privées et orientation de gestion. Centre régional de la propriété forestière Languedoc-Rousillon.
- C.R.P.F., 1998. Schéma régional de gestion sylvicole, tome 1 : La forêt et ses produits - Description et enjeux. Centre régional de la propriété forestière Languedoc-Rousillon.
- Campbell, I.D., 1991. Experimental mechanical destruction of pollen grains. *Palynology* 15, 29–33.
- Camps, G., 1987. Le mouton au Néolithique ancien dans les pays de la Méditerranée occidentale, in: Premières Communautés Paysannes En Méditerranée Occidentale. CNRS Éditions, pp. 209–214.
- Carlson, A.E., 2013. The younger Dryas climate event. *Encyclopedia of Quaternary Science* 3, 126–134.
- Carozza, L., Burens, A., 2000. Les habitats du Bronze final de Portal Vieilh à Vendres (Hérault). *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 97, 573–581.
- Carrere, I., Forest, V., 2003. Les bovins du Néolithique moyen au Bronze ancien en Languedoc : éléments de réflexion. *Temps et espaces culturels du 6<sup>e</sup> au 2<sup>e</sup> millénaire en France du Sud. Actes des quatrièmes Rencontres Méridionales de Préhistoire Récente, Nîmes 28*, 189–203.
- Carrión, Y., Ntinou, M., Badal, E., 2010. *Olea europaea* L. in the North Mediterranean Basin during the Pleniglacial and the Early-Middle Holocene. *Quaternary Science Reviews* 29, 952–968.
- CEPF, 2010. Hotspot de la biodiversité du bassin méditerranéen. *Critical Ecosystem Partnership fund* 267.
- Chabal, L., 2007. Etude anthracologique de Lattes Port Ariane : forêts littorales en Bas Languedoc depuis le Néolithique moyen. *Lattara* 20, 183–198.
- Chagué-Goff, C., 2010. Chemical signatures of palaeotsunamis: A forgotten proxy? *Marine Geology* 271, 67–71.
- Chagué-Goff, C., Fyfe, W.S., 1996. Geochemical and petrographical characteristics of a domed bog, Nova Scotia: a modern analogue for temperate coal deposits. *Organic Geochemistry* 24, 141–158.
- Chazel, L., Chazel, M., 2013. Camargue un écosystème entre terre et eau, Quae. ed.
- Chazel, L., Chazel, M., 2012. Découverte naturaliste des garrigues., Quae. ed. Quae.
- Chen, Z., Chen, Z., Zhang, W., 1997. Quaternary Stratigraphy and Trace-Element Indices of the Yangtze Delta, Eastern China, with Special Reference to Marine Transgressions. *Quaternary Research* 47, 181–191.
- Cholvy, G., 1993. L'Hérault : de la Préhistoire à nos jours. Editions Bourdessoules.
- Cholvy, G., Guilaine, J., Py, M., Barruol, G., Gayraud, M., Bourin-Derruau, M., Michel, H., Marcet, A., Gavignaud, G., 1982. Le Languedoc et le Roussillon. «Civilisations populaires régionales». Editions Horvath.
- Cicéron, n.d. Pro Fonteio, in: Discours, t.VII. texte établi et traduit par A. Boulanger, Les Belles Lettres, 1929, Paris.
- Cicéron, n.d. De la république, in: Oeuvres Complètes, Tome IV. Sous la direction de M. Nisard, imprimerie Firmin Didot Frères, Fils et Cie, 1864, Paris.

- Coles, G.M., Gilbertson, D.D., Hunt, C.O., Jenkinson, R.D., 1989. Taphonomy and the palynology of cave deposits. *Cave Science* 16, 83–89.
- Collectif des Garrigues, 2013. Atlas des garrigues, regards croisés, Ecologiste. ed.
- Columelle, n.d. De l'agriculture. Traduction de Louis Du Bois, C.L.F. Panckoucke, 1845, Paris.
- Conedera, M., Krebs, P., Tinner, W., Pradella, M., Torriani, D., 2004. The cultivation of *Castanea sativa* (Mill.) in Europe, from its origin to its diffusion on a continental scale. *Vegetation History and Archaeobotany* 13, 161–179.
- Corre, J.J., 1985. Environmental structures and variation in coastal vegetation of the Golfe du Lion (France). *Vegetatio* 61, 15–22.
- Court-Picon, M., Vella, C., Chabal, L., Bruneton, H., 2010. Paléo-environnements littoraux depuis 8 000 ans sur la bordure occidentale du golfe du lion: Le lido de L'étang de thau (carottage SETIF sète, hérault). *Quaternaire* 21, 43–60.
- Coûteaux, M., 1977. A propos de l'interprétation des analyses polliniques de sédiments minéraux principalement archéologiques. *Supplément Bulletin AFEQ* 47, 259–276.
- Cushing, E.J., 1967. Evidence for differential pollen preservation in late quaternary sediments in Minnesota. *Review of Palaeobotany and Palynology* 4, 87–101.
- Davasse, B., Galop, D., Rendu, C., 1997. Paysages du Néolithique à nos jours dans les Pyrénées de l'est d'après l'écologie historique et l'archéologie pastorale, in: La Dynamique Des Paysages Protohistoriques, Antiques, Médiévaux et Modernes. Antibes, pp. 577–599.
- David, F., 2001. Le tardiglaciaire des Ételles (Alpes françaises du Nord): instabilité climatique et dynamique de végétation. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie* 324, 373–380.
- David, F., 1993. Extension tardiglaciaire des pins dans les Alpes du Nord. *Comptes Rendues de l'Académie des Sciences, Paris, série II* 317, 123–129.
- David, F., Barbero, M., 2001. Les érables dans l'étage subalpin: une longue histoire. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie* 324, 159–164.
- Davis, M.B., 1965. A method for determination of absolute pollen frequency, in: Kummel, B., Raup, D.M. (Eds.), *Handbook of Paleontological Techniques*. Freeman & Co., pp. 674–686.
- De Beaulieu, J.-L., 1977. Contribution pollenanalytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation des Alpes méridionales françaises.
- De Beaulieu, J.-L., Clerc, J., Reille, M., 1984. Late Weichselian fluctuations in the French Alps and Massif Central from pollen analyses, in: *Climatic Changes on a Yearly to Millennial Basis*. Springer, Dordrecht, pp. 75–90.
- De Beaulieu, J.-L., Pons, A., Reille, M., 1985. Recherches pollenanalytiques sur l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation des Monts d'Aubrac (Massif Central, France). *Review of Palaeobotany and Palynology* 44, 37–80.
- De beaulieu, J.L., 1974. Evolution de la végétation sur la bordure montagnaise cévenole au Postglaciaire d'après les pollens. *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie* 8, 347–358.

- De Beaulieu, J.L., Andrieu, V., Ponel, P., Reille, M., 1994. The Weichselian late-glacial in southwestern Europe (Iberian Peninsula, Pyrenees, Massif Central, northern Apennines). *Journal of Quaternary Science* 9, 101–107.
- De Beaulieu, J.L., Pons, A., Reille, M., 1988. Histoire de la flore et de la végétation du Massif Central (France) depuis la fin de la dernière glaciation. *Cahiers de Micropaléontologie* 3, 5–36.
- De Beaulieu, J.L., Reille, M., 1983. Paléoenvironnement tardiglaciaire et holocène des lacs de Pelléautier et Siguret (Hautes-Alpes, France). 1. Histoire de la végétation d’après les analyses polliniques. *Ecologia mediterranea* 9, 19–36.
- De Chazelles, C., 1993. Les habitats du bassin de l’Aude et des Corbières orientales. *Document d’écologie Pyrénéenne* 16, 57–60.
- De la Pijardière, L., Berthelé, J., 1897. Inventaire sommaire des archives départementales de l’Hérault antérieures à 1790, série C. Ricard Frères, imprimeurs de la préfecture, Montpellier.
- Debazac, J.-F., 1963. L’aire spontanée du pin de Salzmann en France. *Revue Forestière Française* 768–784.
- Degeai, J.P., Devillers, B., Dezileau, L., Oueslati, H., Bony, G., 2015. Major storm periods and climate forcing in the Western Mediterranean during the Late Holocene. *Quaternary Science Reviews* 129, 37–56.
- Delhon, C., Thiébault, S., 2005. The migration of beech (*Fagus sylvatica* L.) up the Rhone: The Mediterranean history of a “mountain” species. *Vegetation History and Archaeobotany* 14, 119–132.
- DeMenocal, P., 2001. Cultural responses to climate change during the late Holocene. *Science* 292, 667–673.
- Demoule, J.-P., 2008. La révolution néolithique. Le Pommier.
- Devillers, B., Provansal, M., 2003. La morphogenèse d’un géosystème cultivé depuis le Néolithique récent : les petits bassins versants de la moyenne vallée de l’Hérault (France) / Morphogenesis in catchments cultivated since the late Neolithic: case studies from the middle Hérault valley (F. *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 9, 83–98.
- Diamond, J., 1998. *Guns, germs and steel. A short history of everybody for the last 13,000 years*, @book{penc. ed. Vintage (Random House), London.
- Diodore de Sicile, n.d. Bibliothèque historique, tome 3. texte traduit par F. Hoefler, Librairie de L. Hachette et Cie, 1865, Paris.
- Dolez, L., 2012. Paléoenvironnements et exploitation des ressources végétales autour des lagunes de Narbonne : étude palynologique. *Mémoire de Master* 2.
- Dolez, L., Salel, T., Bruneton, H., Colpo, G., Devillers, B., Lefèvre, D., Muller, S.D., Sanchez, C., 2015. Holocene palaeoenvironments of the Bages-Sigean lagoon (France). *Geobios* 48, 297–308.
- DREAL LR, D. régionale de l’environnement de l’aménagement et du logement L.-R., 2010. Atlas des paysages du Languedoc-Roussillon [WWW Document]. URL <http://paysages.languedoc-roussillon.developpement-durable.gouv.fr/Herault/organisation.html>
- DREAL LR, D. régionale de l’environnement de l’aménagement et du logement L.-R., 2005. Atlas des

- zones inondables du bassin versant de l'orb par analyse hydrogéomorphologique.
- Dubar, M., Anthony, E.J., 1995. Holocene Environmental Change and River-Mouth Sedimentation in the Baie des Anges, French Riviera. *Quaternary Research* 43, 329–343.
- Dupont, A., 1958. L'exploitation du sel sur les étangs de Languedoc (IXe-XIIIe siècle). *Annales du Midi : revue archéologique, historique et philologique de la France méridionale* 70, 7–25.
- Durand, A., 2003. Les paysages médiévaux du Languedoc : Xe-XIIIe siècles. Presses universitaires du Mirail, Toulouse.
- Durand, A., Vernet, J.-L., 1987. Anthracologie et paysages forestiers médiévaux a propos de quatre sites languedociens. *Annales du Midi : revue archéologique, historique et philologique de la France méridionale* 99, 397–405.
- EEA, E.E.A., 2012. Corine Land Cover.
- Fabre, L., 1996. Le charbonnage historique de la chênaie à Quercus ilex L.(Languedoc, France): conséquences écologiques. Montpellier II.
- Fabre, L., Gervand, X., 1992. Première approche du charbonnage and de l'histoire de la forêt méditerranéenne: L'exemple du canton d'aniane (hérault). *Bulletin de la Societe Botanique de France. Actualites Botaniques* 139, 617–625.
- Fægri, K., Kaland, P.E., Krzywinski, K., 1989. Textbook of pollen analysis. John Wiley & Sons Ltd.
- Faïsse, C., 2011. Paléogéographie et dynamique du système fluvio-lagunaire de la Berre ( Aude ) durant l' Holocène. *Mémoire de Master 2*.
- Falguéra, F., Falguera, J.-M., Guy, M., Marsal, A., 2000. Narbonne : cadre naturel et ports à l'époque romaine. *Méditerranée* 94, 15–24.
- Farizier, M., 1980. Recherches sur les macroflores des tufs quaternaires du Sud de la France, tufs de Montpellier, vallée du Lez, vallée de la Vis, Saint-Paul-Lez-Durance, Valbonne et vallon du Jonquier. Diplôme E.P.H.E. , Montpellier.
- Festus Avienus, n.d. Ora maritima, in: Oeuvres. texte traduit par E. Despois et Ed. Saviot, C.L.F. Panckoucke, 1843, Paris.
- Fontana, L., 1999. Mobilité et subsistance au Magdalénien dans le Bassin de l'Aude. *Bulletin de la Société préhistorique française* 96, 175–190.
- Gailledrat, E., Solier, Y., Belarte, C., Béziat, D., Boisson, H., Columeau, P., Coustures, M.-P., Dubosse, C., Hérubel, F., Marchand, G., Raux, S., Rescagnières, S., Rouillard, P., Roure, R., Sourisseau, J.-C., Tollon, F., 2003. L'établissement côtier de Pech Maho (Sigean, Aude) aux VIe-Ve s. av. J.- C. (fouilles 1959-1979), Monographies d'Archéologie Méditerranéenne, 19 467.
- Garcia, D., 2004. La Celtique méditerranéenne: Habitats et sociétés en Languedoc et en Provence du VIIIe au IIe siècle avant JC. Editions Errance.
- Gascó, J., 2011. Géographie regionale de l'age du bronze en Languedoc. *Quaderns de prehistòria i arqueologia de Castelló* 135–152.
- Gavignaud-Fontaine, G., 1996. Les grands propriétaires et leurs exploitations viticoles dans l'Hérault aux XIXe et XXe siècles. *Etudes Héraultaises* 153–154.

- Gayraud, M., 1981. Narbonne antique : des origines à la fin du IIIe siècle. *Revue archéologique de Narbonnaise* 8.
- Geddes, D., 1987. Subsistance et habitat du Mésolithique final au Néolithique moyen dans le bassin de l'Aude (France), in: Premières Communautés Paysannes En Méditerranée Occidentale. CNRS Éditions, pp. 201–207.
- Geddes, D., 1981. Les débuts de l'élevage dans la vallée de l'Aude. *Bulletin de la Société préhistorique française* 78, 370–378.
- Giesecke, T., Brewer, S., Finsinger, W., Leydet, M., Bradshaw, R.H.W., 2017. Patterns and dynamics of European vegetation change over the last 15,000 years. *Journal of Biogeography* 44, 1441–1456.
- Giesecke, T., Hickler, T., Kunkel, T., Sykes, M.T., Bradshaw, R.H.W., 2006. Towards an understanding of the Holocene distribution of *Fagus sylvatica* L. *Journal of Biogeography* 34, 118–131.
- Gis Sol, 2011. L'état des sols de France.
- Goldstein, S., 1960. Degradation of Pollen by Phycomycetes. *Ecology* 41, 543–545.
- Guilaine, J., 1980. Le groupe de Véraza et la fin des temps néolithiques dans le sud de la France et la Catalogne. CNRS.
- Guilaine, J., Courtin, J., Roudil, J.-L., Vernet, J.-L., 1987. Premières communautés paysannes en Méditerranée occidentale. CNRS Éditions.
- Guilaine, J., Manen, C., 2007. Du Mésolithique au Néolithique en Méditerranée de l'Ouest : aspects culturels., in: Pont de Roque-Haute (Portiragnes, Hérault). Nouveaux Regards Sur La Néolithisation de La France Méditerranéenne. Archives d'Ecologie préhistorique, Toulouse, pp. 303–322.
- Guy, M., 1950. La station du Roc de Conilhac. *Revue d'études ligures* 16, 118–125.
- Hadj-Sadok, M., 1968. KITĀB AL-DJA'RĀFIYYA: Mappemonde du calife al-Ma'mūn reproduite par Fazārī (III e / IX e s.) rééditée et commentée par Zuhrī (VI e / XII e s.) / الله المدبعي بلاءة يفارغجلا باتك / يرهزلا ركبي بأ ن بدمحم. *Bulletin d'études orientales* 21, 7–312.
- Hall, S.A., 1981. Deteriorated pollen grains and the interpretation of quaternary pollen diagrams. *Review of Palaeobotany and Palynology* 32, 193–206.
- Hammer, O., Harper, D.A., Ryan, P.D., 2001. PAST 2.17 b. *Palaeontologia Electronica*.
- Havinga, A.J., 1984. A 20-year experimental investigation into the differential corrosion susceptibility of pollen and spores in various soil types. *Pollen et spores* 21, 541–558.
- Head, M.J., Edwards, L.E., Garrett, J.K., Lentin, J.K., Marret, F., Matsuoka, K., Matthiessen, J., O'Mahony, J., Sun, X., Verteuil, L. de, Zevenboom, D., 1993. A Forum on Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cysts: The Edited Transcript of a Round Table Discussion Held at the Third Workshop on Neogene and Quaternary Dinoflagellates; With Taxonomic Appendix. *Palynology* 17, 201–239.
- Heinz, C., Figueira, I., Terral, J.-F., Claustre, F., 2004. Holocene vegetation changes in the northwestern Mediterranean: new palaeoecological data from charcoal analysis and quantitative eco-anatomy. *The Holocene* 14, 621–627.

- Heinz, C., Thiebault, S., 1998. Characterization and palaeoecological significance of archaeological charcoal assemblages during late and post-glacial phases in southern France. *Quaternary Research* 50, 56–68.
- Herranz, J., Martinez-Sánchez, J.J., Marin, A., Ferrandis, P., 1997. Postfire regeneration of *Pinus halepensis* Miller in a semi-arid area in Albacete province (southeastern Spain). *Ecoscience* 4, 86–90.
- Höbig, N., Weber, M.E., Kehl, M., Weniger, G.C., Julià, R., Melles, M., Fülöp, R.H., Vogel, H., Reicherter, K., 2012. Lake Banyoles (northeastern Spain): A Last Glacial to Holocene multi-proxy study with regard to environmental variability and human occupation. *Quaternary International* 274, 205–218.
- Hutchison, L.J., Barron, G.L., 1997. Parasitism of pollen as a nutritional source for lignicolous Basidiomycota and other fungi. *Mycological Research* 101, 191–194.
- I.G.N., 2016. BD TOPO®. Institut national de l'information géographique et forestière.
- Jacobson, G.L., Bradshaw, R.H.W., 1981. The selection of sites for paleovegetational studies. *Quaternary Research* 16, 80–96.
- Jallot, L., 2008. Frontières, stabilités, emprunts et dynamique géoculturelle en Languedoc méditerranéen au Néolithique final (3400-2300 av. J.-C.), in: Actes Des 8° Rencontres Méridionales de Préhistoire Récente, 7 et 8 Novembre 2008.
- Jalut, G., 2005. Le climat, la végétation et l'Homme en Méditerranée à l'Holocène. *Populations néolithiques et environnements. Séminaires du Collège de France. Errance, Paris.*
- Jalut, G., 1995. Analyse pollinique de sédiments holocènes de l'étang de Capestang (Hérault), in: Temps et Espace Dans Le Bassin de l'Aude Du Néolithique à l'Age Du Fer. pp. 293–302.
- Jalut, G., 1973. Evolution de la végétation et du climat de l'extrémité orientale des Pyrénées pendant le Tardiglaciaire et le Post glaciaire. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire* 10, 55–68.
- Jalut, G., 1970. Données nouvelles concernant l'évolution de la végétation dans le bassin de l'Aude, au cours du Tardiglaciaire et du Postglaciaire, d'après l'analyse pollinique. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris, série D.*
- Jalut, G., Dedoubat, J.J., Fontugne, M., Otto, T., 2009. Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: Climate forcing and human impact. *Quaternary International* 200, 4–18.
- Jalut, G., Delibrias, G., Dagnac, J., Mardones, M., Bouhours, M., 1982. A palaeoecological approach to the last 21 000 years in the pyrenees: The peat bog of Freychinède (Alt. 1350 m, Ariège, South France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 40, 321–359.
- Jalut, G., Estaban Amat, A., Pages, P., Mardones, M., 1984. Quelques aspects de l'action de l'homme sur le milieu montagnard pyrénéen: conséquences phytogéographiques. *Document d'écologie Pyrénéenne* III–IV, 503–509.
- Jalut, G., Estaban Amat, A., Bonnet, L., Gauquelin, T., Fontugne, M., 2000. Holocene climatic changes in the Western Mediterranean, from south-east France to south-east Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 160, 255–290.
- Jalut, G., Galop, D., Belet, J.-M., Aubert, S., Amat, A.E., Bouchette, A., Dedoubat, J.-J., Fontugne, M.,

1998. Histoire des forêts du versant nord des Pyrénées au cours des 30000 dernières années. *Journal de la Société de Botanique Française* 73–84.
- Jin, Z., Cao, J., Wu, J., Wang, S., 2006. A Rb/Sr record of catchment weathering response to Holocene climate change in Inner Mongolia. *Earth Surface Processes and Landforms* 31, 285–291.
- Jorda, C., Chabal, L., Blanchemanche, P., 2008a. Lattara entre terres et eaux : Paléogéographie et paléoboisements autour du port protohistorique. *Gallia* 65, 11–21.
- Jorda, C., Chabal, L., Blanchemanche, P., 2008b. Lattara/Lattes (Hérault). *Gallia* 65, 1–230.
- Julve, P., 2017. Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France. [www.tela-botanica.org](http://www.tela-botanica.org). <https://www.tela-botanica.org>.
- Jung, C., Compan, M., Figueiral, I., 2009. Les cultures et les pratiques agricoles antiques dans la cité de Béziers : L'exemple de la viticulture et de l'arboriculture sur l'autoroute A75 (Pézenas-Béziers, Hérault)., in: *Studies on the Rural World in the Roman Period*. Girona, pp. 85–97.
- Justin, n.d. Histoire universelle, in: *Histoire Universelle de Justin Extraite de Trogue Pompée*, Tome Second. C.L.F. Panckoucke, 1833, Paris.
- Kauffeisen, L., 1930. Les premiers herbiers. *Revue d'histoire de la pharmacie* 69, 109–121.
- Kearns, C.A., Inouye, D.W., Waser, N.M., 1998. Endangered Mutualism : The Conservation of Plant-Pollinator Interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29, 83–112.
- Keukelaere, C., 2008. Etude palynologique préliminaire d'une lagune languedocienne : lagune de Pierre Blanche à Palavas-les-Flots (Hérault). Mémoire de Master 1. Université Aix-Marseille 3.
- Küster, H., 1997. The role of farming in the postglacial expansion of beech and hornbeam in the oak woodlands of central Europe. *The Holocene* 7, 239–242.
- Labaune, C., Tesson, M., Gensous, B., 2008. Variability of the transgressive stacking pattern under environmental changes control: Example from the Post-Glacial deposits of the Gulf of Lions inner-shelf, Mediterranean, France. *Continental Shelf Research* 28, 1138–1152.
- Lachenal, T., 2014. Le village évanescent. Formes de l'habitat à l'âge du Bronze en France méditerranéenne. *Archéopages* 40, 298–340.
- Lalanne, J.-F., 1990. L'économie de la garrigue et le travail des hommes à la fin du XVIIIe siècle. *Etudes Héraultaises* 159–162.
- Lambeck, K., Bard, E., 2000. Sea-level change along the French Mediterranean coast for the past 30 000 years. *Earth and Planetary Science Letters* 175, 203–222.
- Lang, G., 1992. Some aspects of European late- and post-glacial flora history. *Acta Botanica Fennica* 144, 1–17.
- Larguier, G., 1998. Narbonne et la voie méditerranéenne du pastel ( XVe-XVIIe siècles ). *Annales du Midi : revue archéologique, historique et philologique de la France méridionale* 110, 149–167.
- Larguier, G., Sallmann, L., 1993. Le grain et le drap dans le Narbonnais, 1300-1789 - Une croissance industrielle sous l'Ancien Régime : le textile en bas Languedoc aux XVIIe es. *Etudes Héraultaises* 99–106.
- Larue, J.-P., 2007. Drainage pattern modifications in the Aude basin (France): tectonic and



- morphodynamic implications. *Proceedings of the Geologists' Association* 118, 187–200.
- Laval, H., Médus, J., 1994. Palynological evidence for drier phases during the historical period recorded in the Etang de Berre lagoon, south-eastern France. *Vegetation History and Archaeobotany* 3, 245–251.
- Laval, H., Médus, J., 1989. Analyse pollinique de sédiments du quaternaire récent de l'Etang de Berre (Bouches-du-Rhône, France). *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre* 309, 2135–2141.
- Lebreton, V., Marquer, L., Messenger, E., Renault-Miskovsky, J., 2009. Les processus taphonomiques en archéopalynologie. *Les nouvelles de l'archéologie* 37–41.
- Lebreton, V., Messenger, E., Marquer, L., Renault-Miskovsky, J., 2010. A neotaphonomic experiment in pollen oxidation and its implications for archaeopalynology. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 29–38.
- Lebreton, V., Thery-Parisot, I., Bouby, L., Chrzavzez, J., Delhon, C., Ruas, M.-P., 2017. Archéobotanique et taphonomie, in: TaphonomieS, Ouvrage Du GDR 'Taphonomie, Environnement et Archéologie', CNRS-INEE. Edition des Archives Contemporaines, Paris, pp. 289–328.
- Lécuyer, D., 2006. Les terrasses cévenoles : histoire et utilisation de l'espace. *Etudes de géographie physique Supplément*, 21–36.
- Lenthéric, C., 1876. Les villes mortes du Golfe du Lyon. Paris.
- Leveau, P., 2003. L'oléiculture en Gaule Narbonnaise : données archéologiques et paléoenvironnementales. Présentation - Interprétation. *Revue archéologique de Picardie* 1–2, 299–308.
- Leveau, P., Heinz, C., Laval, H., Marival, P., Médus, J., 1991. Les origines de l'oléiculture en Gaule du Sud. Données historiques, archéologiques et botaniques. *Revue d'Archéométrie* 15, 83–94.
- Leveau, P., Walsh, K., Tremont, F., 2016. Environmental Reconstruction in Mediterranean Landscape Archaeology. Oxbow Books.
- Lieutaghi, P., 2005. Jardins du chêne blanc: chênaie pubescente méridionale, paysages floraux, économie traditionnelle, évolution. Actes Sud.
- Lim, S., Ledru, M.-P., Valdez, F., Devillers, B., Houngnon, A., Favier, C., Bremond, L., 2014. Ecological effects of natural hazards and human activities on the Ecuadorian Pacific coast during the late Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 415, 197–209.
- Limouzin, J., Nique, C., 2007. Précis d'histoire du Languedoc-Roussillon. CRDP de l'Académie de Montpellier.
- Locher, F., Quenet, G., 2009. L'histoire environnementale : origines, enjeux et perspectives d'un nouveau chantier, *Revue d'histoire moderne et contemporaine*.
- López-Buendía, A., Bastida, J., Querol, X., Whateley, M.K., 1999. Geochemical data as indicators of palaeosalinity in coastal organic-rich sediments. *Chemical Geology* 157, 235–254.
- Lucain, n.d. La Pharsale. traduction de Marmontel et Durand, Garnier, 1865, Paris.
- Magri, D., 2008. Patterns of post-glacial spread and the extent of glacial refugia of European beech

- (*Fagus sylvatica*). *Journal of Biogeography* 35, 450–463.
- Magri, D., Vendramin, G.G., Comps, B., Dupanloup, I., Geburek, T., Gomory, D., Latalowa, M., Litt, T., Paule, L., Roure, J.M., Tantau, I., Van Der Knaap, W.O., Petit, R.J., De Beaulieu, J.L., 2006. A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: Palaeobotanical evidence and genetic consequences. *New Phytologist* 171, 199–221.
- Marret, F., Zonneveld, K. a. F., 2003. Atlas of modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution. *Review of Palaeobotany and Palynology* 125, 1–200.
- Martin, C., 1988. Le marais du Bagnas (Agde). Contribution à l'étude historique, économique et juridique d'un étang en voie de dessèchement. *Etudes Héraultaises*.
- Martin Colliga, A., 1977. El Grupo de Veraza en Cataluña, in: XIV Congreso Nacional de Arqueología (Vitoria, 1975). pp. 341–351.
- Martinez-Ruiz, F., Kastner, M., Gallego-Torres, D., Rodrigo-Gámiz, M., Nieto-Moreno, V., Ortega-Huertas, M., 2015. Paleoclimate and paleoceanography over the past 20,000yr in the Mediterranean Sea Basins as indicated by sediment elemental proxies. *Quaternary Science Reviews* 107, 25–46.
- McGovern, P.E., Luley, B.P., Rovira, N., Mirzoian, A., Callahan, M.P., Smith, K.E., Hall, G.R., Davidson, T., Henkin, J.M., 2013. Beginning of viticulture in France. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110, 10147–52.
- Métaillé, J.P., 1993. " L'invention du pâturage ". La naissance du sylvo-pastoralisme et son application en Ariège (1860-1914), in: Pays Pyrénéens et Pouvoirs Centraux XVIè-XXè S. Foix, pp. 1–17.
- Miras, Y., Guenet, P., Richard, H., 2011. Holocene vegetation, landscape and reconstruction of human activity from prehistory to the Roman period based on New pollen data performed in "the plateau de Millevaches" (Limousin, Massif central, France). *Quaternaire* 22, 147–164.
- Montade, V., 2011. Végétation et climat de la Patagonie chilienne au cours des derniers 20000 ans d'après les données polliniques marines. *Instrumentation*.
- Mouynès, G., 1877. Ville de Narbonne, inventaire des archives communales antérieures à 1790 : série AA et annexes. Narbonne.
- Muller, S.D., 2013. Exemple de reconstitution paléoenvironnementale pluridisciplinaire: la mise en place des étages de végétation dans les Alpes françaises du Sud au cours de l'Holocène, in: Principes de Paléontologie. Dunod.
- Muller, S.D., 2004. Palynological study of Antique shipwrecks from the western Mediterranean Sea, France. *Journal of Archaeological Science* 31, 343–349.
- Muller, S.D., Bruneton, H., Soulié-Märsche, I., Rey, T., Thiéry, A., Waterkeyn, A., Brendonck, L., Schevin, P., Yavercovski, N., Grillas, P., 2008. Long-term dynamics of a Mediterranean alkaline vernal pool (Rhône delta, southern France). *Wetlands* 28, 951–966.
- Muller, S.D., Miramont, C., Bruneton, H., Carré, M., Sottocornola, M., Court-Picon, M., de Beaulieu, J.L., Nakagawa, T., Schevin, P., 2012. A palaeoecological perspective for the conservation and restoration of wetland plant communities in the central French Alps, with particular emphasis on alder carr vegetation. *Review of Palaeobotany and Palynology* 171, 124–139.
- Muller, S.D., Nakagawa, T., De Beaulieu, J.L., Court-Picon, M., Carcaillet, C., Miramont, C., Roiron, P.,

- Boutterin, C., Ali, A.A., Bruneton, H., 2007. Post-glacial migration of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the south-western Alps. *Journal of Biogeography* 34, 876–899.
- Mulot, M., 2014. Reconstitution morphose dimentaire de l'évolution holoce ne de l'e tang de Vendres (Aude, France), Mémoire de Master 2. Strasbourg.
- Murgia, L., 2016. Mémoire des lacs et mémoire des sociétés du Moyen Âge à nos jours: approche palynologique et historique de la moyenne montagne jurassienne et alpine (lac de Remoray, Doubs; glissement de Mont Granier, Savoie). Université de Franche-Comté.
- Nakagawa, T., Brugiapaglia, E., Digerfeldt, G., Reille, M., Beaulieu, J.-L. De, Yasuda, Y., 1998. Dense-media separation as a more efficient pollen extraction method for use with organic sediment/deposit samples: comparison with the conventional method. *Boreas* 27, 15–24.
- National Minerals Information Center, U.S.G.S., 2011. Iodine - Statistics and Informations. *Mineral Commodity Summaries*.
- O'Neill, R. V., Deangelis, D.L., Waide, J.B., Allen, T.H.F., 1986. A Hierarchical concept of ecosystems. Princeton University Press.
- Ollivier, J., Argant, T., Baldassari, D., Calmès, C., Carrara, S., Dao, F., Fédière, G., Hataway, N., Nicot, R., Robin, L., Sabrié, R., Silvina, T., Spülher, A., Tossit, L., 2009. Narbonne 19/20 Quai d'Alsace. Rapport final d'opération, fouille archéologique. Toulouse.
- Oreskes, N., 2004. Beyond the ivory tower. The scientific consensus on climate change. *Science* 306, 1686.
- Oribase, n.d. Collection médicale, in: Oeuvres, Tome 1. texte établi et traduit par U. C. Bussemaker et C. V. Daremberg, Imprimerie nationale, 1851., Paris.
- Ozenda, P., 1985. La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen. Masson.
- Pélaquier, E., 2009. Atlas historique de la province de Languedoc. Montpellier.
- Penck, A., Brückner, E., 1909. Die Alpen im Eiszeitalter. Tauchnitz, Leipzig.
- Perez-Moreno, J., Read, D.J., 2001. Exploitation of pollen by mycorrhizal mycelial systems with special reference to nutrient recycling in boreal forests. *Proceedings. Biological sciences* 268, 1329–1335.
- Phumphumirat, W., Zetter, R., Hofmann, C.C., Ferguson, D.K., 2015. Pollen degradation in mangrove sediments: A short-term experiment. *Review of Palaeobotany and Palynology* 221, 106–116.
- Picheire, J., 1943. L'embouchure de l'Hérault. *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie* XIV, 145–155.
- Pinaud-querrac, R., Rovira, N., Beylier, A., Gailledrat, E., 2014. La Monédière (Bessan, Hérault, France) : étude carpologique d'un comptoir du premier âge du Fer. p. 5.
- Planchais, N., 1987. Impact de l'homme lors du remplissage de l'estuaire du Lez (Palavas, Hérault) mis en évidence par l'analyse pollinique. *Pollen et Spores* 29, 73–88.
- Planchais, N., 1985. Analyses polliniques du remplissage holocène de la lagune de Canet (plaine du Roussillon, département des Pyrénées Orientales). *Ecologia Mediterranea* 1, 117–128.
- Planchais, N., 1984. Palynologie lagunaire : l'exemple du Languedoc-Roussillon. *Annales de*

- Géographie* 93, 268–275.
- Planchais, N., 1982. Palynologie Lagunaire de l'étang de Mauguio. Paléoenvironnement végétal et évolution anthropique. *Pollen et spores* XXIV, 93–118.
- Planchais, N., 1972. Apports de l'analyse pollinique a la connaissance de l'extension de la vigne au Quaternaire. *Naturalia monspeliensia. Serie botanique* 23–24, 211–223.
- Planchais, N., Duzer, D., Fontugne, M., 1991. Palynologie de dépôts holocènes de Lattes (Hérault). *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre* 313, 1357–1360.
- Planchais, N., Parra Vergara, I., 1984. Analyses polliniques de sédiments lagunaires et côtiers en Languedoc, en Roussillon et dans la province de Castellon (Espagne); Bioclimatologie. *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques* 131, 97–105.
- Planchais, N., Quet-Pasquier, L., Cour, P., Thommeret, J., Thommeret, Y., 1977a. Essai de palynologie cotiere appliquee au remplissage flandrien de Palavas (Herault). *Comptes rendus hebdomadaires des seances. Serie D. Sciences naturelles* 284, 159–162.
- Planchais, N., Renault-Miskovsky, J., Vernet, J.L., 1977b. Les facteurs de l'évolution de la végétation dans le sud de la France (côté à moyenne montagne) depuis le Tardiglaciaire d'après l'analyse pollinique et les charbons de bois. *Approche écologique de l'homme fossile* Sup AFEQ, 323–327.
- Planchais, N., Thomas, J., 1989. La caractérisation palynologique de la période de Fontbousse dans la Plaine languedocienne. *Comptes Rendues de l'Académie des Sciences, Paris, série II* 308, 265–268.
- Plancher, C., 2017. Végétations holocènes reflétées par le registre pollinique de la tourbière de Lapsou (Massif Central, France) : histoires paléobotaniques du site et de la région d'étude. Master 1 CEPAGE. Université de Montpellier.
- Pline l'ancien, n.d. Histoire naturelle. Traduction française de M. Emile Littré. Dubochet, 1848-1850, Paris.
- Pomponius Mela, n.d. Géographie. texte traduit par L. Baudet, C. L. F Panckoucke, 1843, Paris.
- Ponel, P., Julf, A.J.T., De Beaulieu, J.-L., Bruneton, H., Leveau, P., 2000. Towards the reconstruction of the Holocene vegetation history of Lower Provence: two new pollen profiles from Marais des Baux. *Vegetation History and Archaeobotany* 9, 71–84.
- Pons, A., 1984. Les changements de la végétation de la région méditerranéenne durant le Pliocène et le Quaternaire en relation avec l'histoire du climat et de l'action de l'homme. *Webbia* 38, 427–439.
- Pons, A., 1981. The history of the Mediterranean shrublands, *Ecosystems of the World*. Vol. 11. Mediterranean-type Shrublands. Elsevier.
- Pons, A., Quézel, P., 1998. À Propos De La Mise En Place Du Climat Méditerranéen. *Comptes Rendus de l'Academie de Sciences - Serie IIa: Sciences de la Terre et des Planetes* 327, 755–760.
- Pons, A., Quézel, P., 1985. The history of the flora and vegetation and past and present human disturbance in the Mediterranean Region. *GOMEZ CAMPO C. (Ed.), Plant Conservation in the Mediterranean area, La Haye, Dr. Junk* 25–43.

- Pons, A., Reille, M., 1988. The holocene- and upper pleistocene pollen record from Padul (Granada, Spain): A new study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 66, 243–263.
- Pons, A., Reille, M., Triat, H., Couteaux, M., Jalut, G., Öner, S., Vernet, J.L., Planchais, N., 1974. Les données historiques et l'étude de la flore méditerranéenne. *Colloques internationaux du CNRS (Paris)* 235, 305–325.
- Pons, A., Suc, J.-P., 1980. Les témoignages de structures de végétation méditerranéennes dans le passé antérieur de l'action de l'homme. *Naturalia Monspeliansia, Série Botanique, Hors Série* 69–78.
- Puertas, O., 2000. Spatialisation des activités agricoles dans le delta du Lez à partir de l'analyse pollinique, in: Els Productes Alimentaris d'origen Vegetal a l'Edat Del Ferro de l'Europa Occidental : De La Producció Al Consum. Actes Del XXII Colloqui Internacional per a l'Estudi de l'Edat Del Ferro, Girona 1998. pp. 43–49.
- Puertas, O., 1998a. Palynologie dans le delta du Lez: contribution à l'histoire du paysage de Lattes. *Lattara* 11.
- Puertas, O., 1998b. Évolution holocène de la végétation en bordure de l'étang de Méjean : analyse pollinique du sondage d'Embouchac (Lattes, Hérault, France). *Quaternaire* 9, 79–89.
- Puertas, O., 1998c. Perception palynologique de la gestion du paysage autour de la cité protohistorique de Lattara (Lattes, France). *Revue d'Archéométrie* 22, 23–27.
- Puertas, O., 1997. Évolution de la végétation depuis le Dryas récent dans la plaine littorale de Montpellier (Hérault, France) à partir de l'analyse pollinique. Dynamique naturelle et anthropisation du milieu. Université de Besançon.
- Pulido Avila, M.G., 2006. Conséquences de l'anthropisation sur la dynamique postglaciaire de la végétation dans le sud du Massif Central, France. Atelier national de reproduction des thèses.
- Quézel, P., 1999. Les grandes structures de végétation en région méditerranéenne: Facteurs déterminants dans leur mise en place post-glaciaire. *Geobios* 32, 19–32.
- Quézel, P., 1995. La flore du bassin méditerranéen: origine, mise en place, endémisme. *Ecologia mediterranea* 21, 19–39.
- Quézel, P., 1979. "Matorrals" méditerranéens et "Chaparrals" californiens. Quelques aspects comparatifs de leur dynamique, de leurs structures et de leur signification écologique, in: *Annales Des Sciences Forestières*. pp. 1–12.
- Quézel, P., Médail, F., 2003. Que faut-il entendre par "forêts méditerranéennes"? *La forêt méditerranéenne* XXIV, 11–31.
- Rameau, J.-C., Bardat, J., Bruno, E., Keller, R., 2008. Flore forestière française, tome 3 : Région méditerranéenne. Forêt privée française.
- Rameau, J.-C., Mansion, D., Dumé, G., 1989. Flore forestière française, tome 1 : Plaines et collines. Forêt privée française.
- Rasmussen, S.O., Andersen, K.K., Svensson, A.M., Steffensen, J.P., Vinther, B.M., Clausen, H.B., Siggaard-Andersen, M.L., Johnsen, S.J., Larsen, L.B., Dahl-Jensen, D., Bigler, M., Röthlisberger, R., Fischer, H., Goto-Azuma, K., Hansson, M.E., Ruth, U., 2006. A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 111,

D06102.

- Ravoux, G., 1966. La grotte magdalénienne de La Roque (Hérault). *Bulletin de la Société préhistorique française. Études et travaux* 63, 239–250.
- Reille, M., 1995a. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord, supplément 1. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille.
- Reille, M., 1995b. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord, Supplément 2. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille.
- Reille, M., 1992. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord, Laboratoire. ed.
- Reille, M., 1990a. Leçons de palynologie et d'analyse pollinique. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille.
- Reille, M., 1990b. Recherches pollenanalytiques dans l'extrémité orientale des Pyrénées: données nouvelles, de la fin du Glaciaire à l'Actuel. *Ecologia Mediterranea* 16, 317–357.
- Reille, M., 1988. Analyse pollinique de la tourbière des Nassettes (Mont Lozère, Massif Central, France); réponse à quelques questions biogéographiques. *Revue du Gévaudan* 2, 3–7.
- Reille, M., 1978. A propos de la disparition du pollen dans certains sédiments minéraux. *Annales des mines de Belgique* 6, 115–120.
- Reille, M., Andrieu, V., 1991. Données nouvelles sur l'histoire postglaciaire de la végétation des Pyrénées occidentales (France). *Comptes Rendues de l'Académie de Sciences* 312, 97–103.
- Reille, M., Andrieu, V., De Beaulieu, J.-L., 1996. Les grands traits de l'histoire de la végétation des montagnes méditerranéennes occidentales. *Ecologie* 27, 153–169.
- Reille, M., Lowe, J.J., 1993. A re-evaluation of the vegetation history of the eastern Pyrenees (France) from the end of the last glacial to the present. *Quaternary Science Reviews* 12, 47–77.
- Reille, M., Pons, A., 1992. The ecological significance of sclerophyllous oak forests in the western part of the Mediterranean basin: a note on pollen analytical data, in: *Quercus Ilex L. Ecosystems: Function, Dynamics and Management*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 13–17.
- Reille, M., Pons, A., De Beaulieu, J.-L., 1992. Late and postglacial vegetation, climate, and human action in the French Massif Central. *Cahiers de Micropaléontologie* 7, 93–105.
- Reimer, P., 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon* 55, 1869–1887.
- Renault-miskovsky, J., 1967. Contribution à la paléoclimatologie du Würmien II en Languedoc méditerranéen (grotte de l'Hortus-Hérault) d'après l'étude des pollens. Premiers résultats. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire* 4, 305–310.
- Richard, P., 1977. Végétation tardiglaciaire au Québec méridional et implications paléoclimatiques. *Géographie physique et Quaternaire* 31, 161.
- Rivallain, J., 2001. Cabinets de curiosité, aux origines des musées. *Outre-mers* 88, 17–35.
- Roberts, N., Brayshaw, D., Kuzucuoğlu, C., Perez, R., Sadori, L., 2011. The mid-Holocene climatic transition in the Mediterranean: Causes and consequences. *Holocene* 21, 3–13.

- Robin, K., 2011. Etude des crues historiques de la basse vallée de l' Aude : Approche géochimique et géochronologique.
- Ropiot, V., 2007. Peuplement et circulation dans les bassins fluviaux du Languedoc occidental, du Roussillon et de l'Ampourdan du IX<sup>e</sup> s. au début du XII<sup>e</sup> s. Thèse de l'Université de Franche-Comté.
- Ropiot, V., Berranger, M., Gaillard, C., Newman, C., Schaal, C., 2011. Un établissement rural à vocation agricole et métallurgique de la fin du premier âge du Fer à Carcassonne (Aude): le site de Christol. *Gallia* 68, 47–82.
- Roudil, J.-L., Canet, H., 1992. Cambous - Village Préhistorique - Viols en Laval - Hérault. Société Languedocienne de Préhistoire, Montpellier.
- Rouissi, M., Muller, S.D., Ben Haj Jilani, I., Ghrabi-Gammar, Z., Paradis, L., Bottollier-Curtet, M., Gerbaud, E., Daoud-Bouattour, A., 2018. History and conservation of Tunisia's largest freshwater wetland: Garâa Sejenane. *Review of Palaeobotany and Palynology* 257, 43–56.
- Rovira, N., Alonso, N., 2010. Thanatocoenoses of seeds and fruits from Zone 1 at Lattara (Lattes, France) during the 5th-4th centuries BC: the preliminary results, in: C.C. Bakels, K. Fennema, W. Out, C. Wermeeren. *Of Plants and Snails. A Collection of Papers Presented to Wim Kuijper in Gratitude for Forty Years of Teaching and Identifying*. Sidestone Press, pp. 217–226.
- Sabatier, P., Dezileau, L., Barbier, M., Raynal, O., Lofi, J., Briqueu, 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 Societe Geologique de France* 181, 27–36.
- Sabatier, P., Dezileau, L., Colin, C., Briqueu, L., Bouchette, F., Martinez, P., Siani, G., Raynal, O., Von Grafenstein, U., 2012. 7000 years of paleostorm activity in the NW Mediterranean Sea in response to Holocene climate events. *Quaternary Research* 77, 1–11.
- Sanchez, C., Alibert, C., Alibert, D., Blanchemanche, P., Carayon, N., Cavero, J., Cottart, N., Devillers, B., Duperron, G., Faisse, C., Ferriol, M.-C., De Graauw, A., Jézégou, M.-P., Lassalle, A., Mathe, V., Mauné, S., Passelac, M., 2011. PROJET COLLECTIF DE RECHERCHE SUR LES PORTS ANTIQUES DE NARBONNE (AUDE) 211.
- Sanchez, C., Jézégou, M.-P., 2011. Zones portuaires et espaces littoraux de Narbonne et sa région dans l'Antiquité. Narbonne.
- Sanchez, C., Labussière, J., Jézégou, M.-P., Mathé, V., Mathieu, V., Cavero, J., 2016. L'embouchure du fleuve antique dans les étangs narbonnais. *Revue archéologique de Narbonnaise* supplément, 59–69.
- Sandre, 2012a. Fiche cours d'eau Y1-0200 l'Hérault [WWW Document]. *Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau*. URL [http://services.sandre.eaufrance.fr/Courdo/Fiche/client/fiche\\_courdo.php?CdSandre=Y2--0200](http://services.sandre.eaufrance.fr/Courdo/Fiche/client/fiche_courdo.php?CdSandre=Y2--0200)
- Sandre, 2012b. Fiche cours d'eau Y1-0200 l'Aude [WWW Document]. *Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau*. URL [http://services.sandre.eaufrance.fr/Courdo/Fiche/client/fiche\\_courdo.php?CdSandre=Y1--0200](http://services.sandre.eaufrance.fr/Courdo/Fiche/client/fiche_courdo.php?CdSandre=Y1--0200)
- Sandre, 2012c. Fiche cours d'eau Y25-0400 l'Orb [WWW Document]. *Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau*. URL [http://services.sandre.eaufrance.fr/Courdo/Fiche/client/fiche\\_courdo.php?CdSandre=Y25-0400](http://services.sandre.eaufrance.fr/Courdo/Fiche/client/fiche_courdo.php?CdSandre=Y25-0400)

- Savon, C., Bourgeois, M., 2009. Référentiel technique et économique sur le redéploiement du pastoralisme en zone méditerranéenne. *LPO Aude* 27.
- Scott, H., Stojanovich, C., 1963. Digestion of juniper pollen by collembola. *The Florida Entomologist* 46, 189–191.
- Siani, G., Paterne, M., Arnold, M., Bard, E., Métivier, B., Tisnerat, N., Bassinot, F., 2000. Radiocarbon reservoir ages in the Mediterranean Sea and Black Sea. *RADIOCARBON* 42, 271–280.
- Sidoine Apollinaire, n.d. Carmina, in: Oeuvres Complètes, Tome 3. texte établi et traduit par J.F. Grégoire et F. Z. Collombet, Poussielgue-Rusand, 1836, Paris.
- Strabon, n.d. Géographie, livre IV. traduit par A. Tardieu, Librairie de L. Hachette et Cie, 1867, Paris.
- Stuiver, M., Reimer, P.J., Reimer, R.W., 2005. CALIB 7.1 (Radiocarbon Calibration).
- Tauber, H., 1965. Differential pollen dispersion and the interpretation of pollen diagrams. *Danmarks Geologiske Undersøgelse*, 2. rk. nr. 89.
- Tepedino, V.J., 1979. The importance of bees and other insect pollinators in maintaining floral species composition. *Great Basin Naturalist Memoirs* 139–150.
- Terhürne-Berson, R., Litt, T., Cheddadi, R., 2004. The spread of *Abies* throughout Europe since the last glacial period: Combined macrofossil and pollen data. *Vegetation History and Archaeobotany* 13, 257–268.
- Terral, J.F., Alonso, N., Ramon, B., Chatti, N., Fabre, L., Fiorentino, G., Marival, P., Pérez Jorda, G., Pradat, B., Rovira, N., Alibert, P., 2004. Historical biogeography of olive domestication (*Olea europaea* L.) as revealed by geometrical morphometry applied to biological and archaeological material. *Journal of Biogeography* 31, 63–77.
- Terral, J.F., Arnold-Simard, G., 1996. Beginnings of olive cultivation in Eastern Spain in relation to Holocene bioclimatic changes. *Quaternary Research* 46, 176–185.
- Terral, J.F., Tabard, E., Bouby, L., Ivorra, S., Pastor, T., Figueiral, I., Picq, S., Chevance, J.B., Jung, C., Fabre, L., Tardy, C., Compan, M., Bacilieri, R., Lacombe, T., This, P., 2010. Evolution and history of grapevine (*Vitis vinifera*) under domestication: new morphometric perspectives to understand seed domestication syndrome and reveal origins of ancient European cultivars. *Annals of botany* 105, 443–455.
- This, P., Roux, C., Parra, P., Siret, R., Bourse, T., Adam-Blondon, A.-F., Yvon, M., Lacombe, T., David, J., Boursiquot, J., 2001. Caractérisation de la diversité d'une population de vignes sauvages du Pic Saint Loup (Hérault) et relations avec le compartiment cultivé. *Genetics Selection Evolution* 33, 289–304.
- Tite Live, n.d. Histoire romaine, livre XXI. texte établi par E. Pessoneaux, traduit par la Collection Panckoucke, Garnier, 1909., Paris.
- Triat-Laval, H., 1982. Pollenanalyse des sédiments quaternaires récents du pourtour de l'Etang de Berre. *Ecologia Mediterranea* 8, 97–115.
- Triat-Laval, H., 1979a. Histoire de la forêt provençale depuis 15 000 ans d'après l'analyse pollinique. *Forêt Méditerranéenne* 1, 19–24.
- Triat-Laval, H., 1979b. Contribution pollenanalytique à l'histoire tardi et postglaciaire de la végétation



- de la vallée du Rhone. Thèse Aix-Marseille III.
- Triat-Laval, H., 1978. Contribution pollenanalytique à l'histoire Tardiglaciare et Postglaciare de la végétation de la basse vallée du Rhône. Aix-Marseille III.
- Triat-Laval, H., Reille, M., 1981. Analyse pollinique d'une séquence tourbeuse de Provence orientale (Seillons. Source d'Argens, Var, France). *Ecologia mediterranea* 7, 31–37.
- Triat, H., 1975. L'analyse pollinique de la tourbiere de Fos-sur-Mer. *Ecologia Mediterranea* 1, 109–121.
- Tsitsoni, T., 1997. Conditions determining natural regeneration after wildfires in the *Pinus halepensis* (Miller, 1768) forests of Kassandra Peninsula (North Greece). *Forest ecology and management* 92, 199–208.
- Ugolini, D., Olive, C., Grimal, J., 2002. Agatha, in: Les Agglomérations Gallo-Romaines En Languedoc-Roussillon (P.C.R 1993-1999). Dir. J.-L. Fiches. Latte, pp. 346–370.
- Vella, C., Provansal, M., 2000. Relative sea-level rise and neotectonic events during the last 6500 yr on the southern eastern Rhone delta, France. *Marine Geology* 170, 27–39.
- Verdeil, P., 1990. Historique géologique du Golfe de Narbonne et de ses rivages., in: Narbonne et La Mer de l'Antiquité à Nos Jours. Catalogue de l'exposition. Narbonne, pp. 22–27.
- Verdeil, P., 1970. Données nouvelles sur le Quaternaire de la basse vallée de l'Aude. *Bulletin de la Societe Geologique de France* S7–XII, 413–425.
- Verdeil, P., 1967. Introduction à l'étude de l'hydrologie superficielle et souterraine des bassins de l'Aude, de l'Agly et du haut bassin de l'Hers. CERH Institut de géologie.
- Vernet, J.-L., 2006. History of the *Pinus sylvestris* and *Pinus nigra* ssp. *salzmanni* forest in the Sub-Mediterranean mountains (Grands Causses, Saint-Guilhem-le-Désert, southern Massif Central, France) based on charcoal from limestone and dolomitic deposits. *Vegetation History and Archaeobotany* 16, 23–42.
- Vernet, J.-L., 1997. L'Homme et la forêt méditerranéenne de la Préhistoire à nos jours, Errance. ed. Paris.
- Vernet, J.L., 1980. La vegetation du bassin de l'aude, entre pyrenees et massif central, au tardiglaciaire et au postglaciaire d'après l'analyse anthracologique. *Review of Palaeobotany and Palynology* 30, 33–55.
- Vicario, F., Vendramin, G.G., Rossi, P., Lio, P., Giannini, R., 1995. Allozyme, chloroplast DNA and RAPD markers for determining genetic relationships between *Abies alba* and the relic population of *Abies nebrodensis*. *Theoretical and Applied Genetics* 90, 1012–1018.
- Vielfaure, S., 2017. Sur les traces du Bagnas. Réserve naturelle du Bagnas.
- Vigne, J.-D., 2015. Early domestication and farming: what should we know or do for a better understanding? *Anthropozoologica* 50, 123–150.
- Vigne, J.-D., 2011. The origins of animal domestication and husbandry: A major change in the history of humanity and the biosphere. *Comptes Rendus Biologies* 334, 171–181.
- Vital, J., 1999. Identification du Bronze moyen-récent en Provence et en Méditerranée nord-occidentale. *Documents d'Archéologie méridionale* 22, 7–115.

- Walker, M., Johnsen, S., Rasmussen, S.O., Popp, T., Steffensen, J.-P., Gibbard, P., Hoek, W., Lowe, J., Andrews, J., Björck, S., Cwynar, L.C., Hughen, K., Kershaw, P., Kromer, B., Litt, T., Lowe, D.J., Nakagawa, T., Newnham, R., Schwander, J., 2009. Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. *Journal of Quaternary Science* 24, 3–17.
- Walter, H., 1988. Nouvelle association : Histoire de l'environnement. *Espace géographique* 17, 149.
- Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, J.-M., Hoegh-Guldberg, O., Bairlein, F., 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416, 389–395.
- Watson, R.T., IPCC, 2001. Climate Change 2001 : Synthesis Report. Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press.
- Weber, H., 1976. Colloque de Loches , 19-24 Juillet 1976 - Les Hommes de la Renaissance et l'Analogie. *Bulletin de l'Association d'étude sur l'humanisme, la réforme et la renaissance* 4, 86–91.
- Webster, E.A., Tilston, E.L., Chudek, J.A., Hopkins, D.W., 2008. Decomposition in soil and chemical characteristics of pollen. *European Journal of Soil Science* 59, 551–558.
- Zeder, M.A., 2015. Core questions in domestication research. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112, 3191–8.
- Zeder, M.A., 2006. Central questions in the domestication of plants and animals. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews* 15, 105–117.
- Zohary, D., Hopf, M., Weiss, E., 2012. Domestication of plants in the Old World : the origin and spread of domesticated plants in southwest Asia, Europe, and the Mediterranean basin. Oxford University Press.
- Zonneveld, K.A.F., Marret, F., Versteegh, G.J.M., Bogus, K., Bonnet, S., Bouimetarhan, I., Crouch, E., de Vernal, A., Elshanawany, R., Edwards, L., Esper, O., Forke, S., Grøsfjeld, K., Henry, M., Holzwarth, U., Kielt, J.F., Kim, S.Y., Ladouceur, S., Ledu, D., Chen, L., Limoges, A., Londeix, L., Lu, S.H., Mahmoud, M.S., Marino, G., Matsouka, K., Matthiessen, J., Mildenhall, D.C., Mudie, P., Neil, H.L., Pospelova, V., Qi, Y., Radi, T., Richerol, T., Rochon, A., Sangiorgi, F., Solignac, S., Turon, J.L., Verleye, T., Wang, Y., Wang, Z., Young, M., 2013. Atlas of modern dinoflagellate cyst distribution based on 2405 data points. *Review of Palaeobotany and Palynology* 191, 1–197.

**Table des illustrations :**

Figure 1. Carte de la région d'étude.....	14
Figure 2a. Schéma de l'étagement de la végétation dans la région d'étude .....	15
Figure 2b. Carte schématique de la végétation et de l'occupation du sol, basée sur Corine Land Cover 2012.....	16
Figure 3. Sansouïres de Villeneuve-lès-Maguelone, Hérault (Photographie Ingrid Remer) .....	17
Figure 4. Pinède littorale de Vic-la-Gardiole, Hérault (Photographie Christian Ferrer / Wikimedia Commons / CC BY-SA 3.0) .....	17
Figure 5. Cultures viticoles de la vallée de l'Hérault, Galabert (Les Matelles) (Photographie personnelle).....	18
Figure 6. Cultures en Lauraguais, Villasavary, Aude (Photographie Pinpin / Wikimedia Commons / CC BY-SA 3.0) .....	18
Figure 7. Chataigneraie cévenole (Photographie Alain Lagrave, Parc National des Cévennes).....	19
Figure 8. Garrigue héraultaise, Viols-en-Laval, Hérault (Photographie personnelle) .....	20
Figure 9. Pinède à pin d'Alep, Saint-Gély-du-Fesc, Hérault (Photographie personnelle) .....	20
Figure 10. Chênaie caducifoliée sur calcaire, Hérault (Photographie Killian Girardin) .....	21
Figure 11. Forêt décidue du Mont Aigoual, versant sud (Photographie Jean-Marc Planchon / Wikimedia Commons / CC BY-SA 3.0) .....	22
Figure 12. Hêtraie du Mont Aigoual, Prat Peyrot (Photographie Benoit Biache / Wikimedia Commons / CC BY-SA 3.0).....	22
Figure 13. Synthèse de l'histoire naturelle et humaine du Languedoc (1/2).....	24
Figure 14. Synthèse de l'histoire naturelle et humaine du Languedoc (2/2).....	25
Figure 15. Caractéristiques morphologiques des grains de pollen .....	38
Figure 16. Carte des sites de carottages et des apports polliniques potentiels .....	40
Figure 17. Protocole d'extraction du matériel pollinique, d'après Berglund and Ralska-Jasiewiczowa (1986) .....	42
Figure 18. Photographies des observations microscopiques des lames selon le traitement .....	43
Figure 19. Protocole test 1 : Double étape KOH, basé sur le protocole standard, d'après Berglund & Ralska-Jasiewiczowa (1986) .....	44
Figure 20. Protocole test 2 : ajout de filtration 5 µm, basé sur le protocole standard, d'après Berglund & Ralska-Jasiewiczowa (1986).....	45
Figure 21. Lithostratigraphie de la carotte BVA03 .....	52
Figure 22. Modèle âge-profondeur de la carotte BVA03 .....	54
Figure 23. Détail sur le taux d'accumulation sédimentaire (TAS) de la carotte BVA03 .....	55
Figure 24. Modèle d'âge-profondeur - BVA03 .....	55
Figure 25. CHA Paired group - Correlation - sans Cichorioidées – avec zonation - BVA03 .....	57
Figure 26. Classification hiérarchique ascendante (CHA), ensemble des données, carotte BVA03 .....	58
Figure 27. Analyse en composantes principales (ACP), ensemble des données, carotte BVA0 .....	59
Figure 28. Classification hiérarchique ascendante (CHA), Cichorioidées exclues, carotte BVA03.....	60
Figure 29. Analyse en composantes principales (ACP), Cichorioidées exclues, carotte BVA03.....	61
Figure 30. Classification hiérarchique ascendante (CHA), Cichorioidées exclues, avec zonation, carotte BVA03 .....	62
Figure 31. Diagramme pollinique simplifié de la carotte BVA03 .....	63

Figure 32. Diagramme pollinique simplifié réduit de la carotte BVA03.....	64
Figure 33. Diagramme pollinique simplifié, Cichorioidées exclues, carotte BVA03.....	65
Figure 34. Diagramme pollinique simplifié réduit, Cichorioidées exclues, carotte BVA03.....	66
Figure 35. Palynomorphes non polliniques et autres données polliniques, carotte BVA03.....	85
Figure 36. Géochimie élémentaire (XRF) de la carotte BVA03.....	90
Figure 37. Lithostratigraphie de la carotte B1.....	92
Figure 38. Modèle âge-profondeur de la carotte B1.....	95
Figure 39. Détail sur le taux d'accumulation sédimentaire (TAS) de la carotte B1.....	96
Figure 40. Classification hiérarchique ascendante (CHA), ensemble des niveaux, carotte B1.....	99
Figure 41. Classification hiérarchique ascendante (CHA), niveaux pauvres exclus, carotte B1.....	100
Figure 42. Analyse factorielle des correspondances (AFC), ensemble des niveaux, carotte B1.....	101
Figure 43. Analyse factorielle des correspondances (AFC), niveaux trop pauvres exclus, carotte B1.....	102
Figure 44. Diagramme pollinique simplifié de la carotte B1.....	103
Figure 45. Diagramme pollinique simplifié réduit de la carotte B1.....	104
Figure 46. Diagramme pollinique simplifié, Amaranthacées et <i>Typha/Sparganium</i> exclus, carotte B1.....	105
Figure 47. Diagramme pollinique simplifié réduit, Amaranthacées et <i>Typha/Sparganium</i> exclus, carotte B1.....	106
Figure 48. Autres données polliniques, carotte B1.....	121
Figure 49. Géochimie élémentaire (XRF) de la carotte B1.....	125
Figure 50. Contrôle de la sédimentation des carottages B1 et BVA03 à l'aide de données récentes de la littérature.....	127
Figure 51. Biais potentiels sur le matériel pollinique analysé et paramètres aidant à les identifier..	133
Figure 52. Synthèse de marqueurs permettant de discuter des types d'apports de matériel pollinique, carotte BVA03 (Vendres).....	138
Figure 53. synthèse de marqueurs permettant de discuter des types d'apports de matériel pollinique, carotte B1 (Bagnas).....	139
Figure 54. Influx spécifiques des taxons et assemblages principaux, carotte BVA03.....	140
Figure 55. Influx spécifiques des taxons et assemblages principaux, carotte B1.....	141
<b>Figure 56. Comparaison des signaux des formations forestières et de l'anthropisation, carottes BVA03 et B1.....</b>	<b>176</b>
Figure 57. Comparaison des taux relatifs et de l'influx de <i>Vitis</i> et de la forêt alluviale sans ce taxon sur la carotte BVA03.....	181
Tableau 1. Datations obtenues et calibration, carotte BVA03.....	53
Tableau 2. Datations obtenues et calibration, carotte B1.....	94
Annexe 1. Exemple de feuille de comptage du matériel pollinique.....	211
Annexe 2. Liste des taxons identifiés dans les sédiments des deux carottages.....	212
Annexe 3. Diagramme pollinique simplifié en âge de la carotte BVA03.....	213
Annexe 4. Diagramme pollinique simplifié réduit en âge de la carotte BVA03.....	214
Annexe 5. Diagramme pollinique simplifié en âge de la carotte BVA03, sans Cichorioidées.....	215
Annexe 6. Diagramme pollinique simplifié réduit en âge de la carotte BVA03, sans Cichorioidées..	216
Annexe 7. Diagramme pollinique simplifié en âge de la carotte B1.....	217

Annexe 8. Diagramme pollinique simplifié réduit en âge de la carotte B1.....	218
Annexe 9. Diagramme pollinique simplifié en âge de la carotte B1, Amaranthacées et Typha/Sparganium exclus .....	219
Annexe 10. Diagramme pollinique simplifié réduit en âge de la carotte B1, Amaranthacées et Typha/Sparganium exclus .....	220
Annexe 11. Article Dolez <i>et al.</i> 2015 : Holocene palaeoenvironments of the Bages-Sigean lagoon (France).....	221





<b>Liste des taxons identifiés</b>
------------------------------------

<b>BVA03 (Vendres, vallée de l'Aude)</b>
--

<b>B1 (Bagnas, vallée de l'Hérault)</b>
---

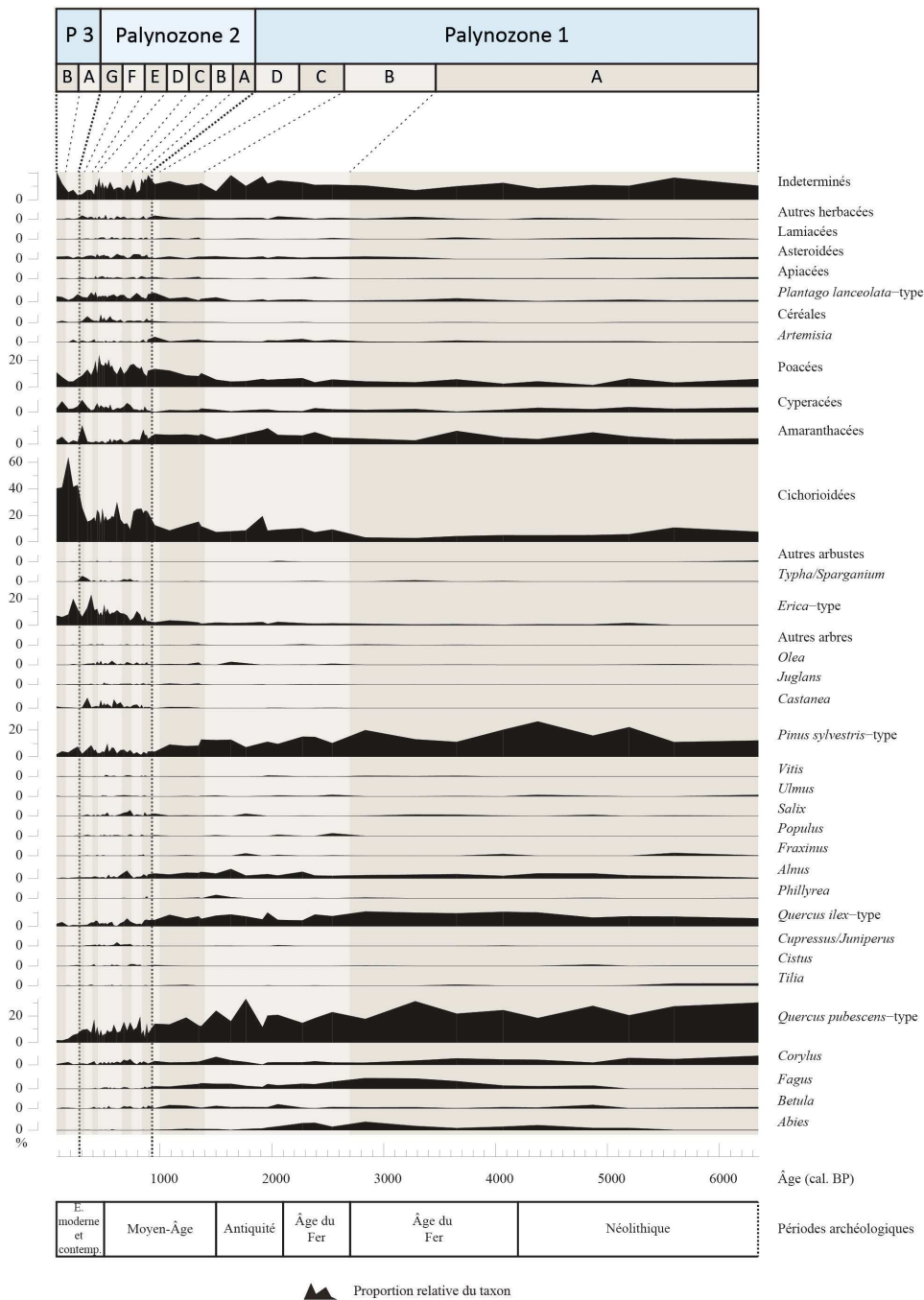
Arbres et arbustes	Herbacées	Arbres et arbustes	Herbacées
<i>Abies</i>	Amaranthacées	<i>Abies</i>	Amaranthacées
<i>Acer</i>	Apiacées	<i>Acer</i>	Apiacées
<i>Alnus</i>	<i>Artemisia</i>	<i>Alnus</i>	<i>Apium</i>
<i>Alnus glutinosa</i>	Asteroidées	<i>Arbutus</i>	<i>Artemisia</i>
<i>Betula</i>	Brassicacés	<i>Betula</i>	<i>Asphodelus</i>
<i>Buxus</i>	<i>Callitriche</i>	<i>Buxus</i>	Asteroidées
<i>Calluna</i>	Campanulacées	<i>Calluna</i>	Brassicacés
<i>Carpinus/Ostrya</i>	Cannabis/Humulus	<i>Carpinus/Ostrya</i>	<i>Callitriche</i>
<i>Castanea</i>	Caryophyllacées	<i>Castanea</i>	Campanulacées
<i>Cistus</i>	Céréales	<i>Cistus</i>	<i>Cannabis/Humulus</i>
<i>Corylus</i>	Cichorioidées	<i>Corylus</i>	Caryophyllacées
<i>Cupressus/Juniperus</i>	<i>Crocus</i>	<i>Cupressus/Juniperus</i>	<i>Centaurea</i>
<i>Erica</i> -type	Cyperacées	<i>Erica</i> -type	Céréales
<i>Fagus</i>	<i>Dipsacus</i>	<i>Fagus</i>	Cichorioidées
<i>Fraxinus</i>	<i>Eryngium</i>	<i>Fraxinus</i>	<i>Convolvulus</i>
<i>Genista</i> -type	<i>Helianthemum</i>	<i>Juglans</i>	Cyperacées
<i>Hedera helix</i>	<i>Helleborus</i>	<i>Olea</i>	<i>Filipendula</i>
<i>Ilex aquifolium</i>	Lamiacées	<i>Phillyrea</i>	Lamiacées
<i>Juglans</i>	<i>Lavatera</i>	<i>Pinus sylvestris</i> -type	<i>Lotus</i>
<i>Juncus</i>	Liliacées	<i>Populus</i>	<i>Mercurialis</i>
<i>Olea</i>	<i>Lobelia</i>	<i>Quercus ilex</i> -type	<i>Myriophyllum spicatum</i>
<i>Phillyrea</i>	<i>Lotus</i>	<i>Quercus pubescens</i> -type	<i>Persicaria</i>
<i>Pinus sylvestris</i> -type	<i>Menyanthes</i>	<i>Salix</i>	<i>Plantago lanceolata</i> -type
<i>Pistacia</i>	<i>Myriophyllum spicatum</i>	<i>Tamarix</i>	<i>Plantago major/media</i> -type
<i>Populus</i>	Papaveracées	<i>Tilia</i>	Poacées
<i>Prunus</i> -type	<i>Plantago lanceolata</i> -type	<i>Typha latifolia</i>	Ranunculacées
<i>Quercus ilex</i> -type	<i>Plantago major/media</i> -type	<i>Typha/Sparganium</i>	Rosacées
<i>Quercus pubescens</i> -type	Poacées	<i>Ulmus</i>	<i>Rumex</i>
<i>Salix</i>	<i>Potamogeton</i>	<i>Vitis</i>	<i>Sanguisorba minor</i>
<i>Tamarix</i>	Ranunculacées		<i>Saxifraga</i>
<i>Tilia</i>	<i>rosacee potentilla</i>		<i>Valeriana</i>
<i>Typha/Sparganium</i>	Rosacées		
<i>Ulmus</i>	<i>Sanguisorba minor</i>		
<i>Vitis</i>	<i>Saxifraga</i>		
	<i>Smilax</i>		
	<i>Thymelaeaceae</i>		
	<i>Urtica</i>		

## Annexe 2. Liste des taxons identifiés dans les sédiments des deux carottages



Carottage BVA03

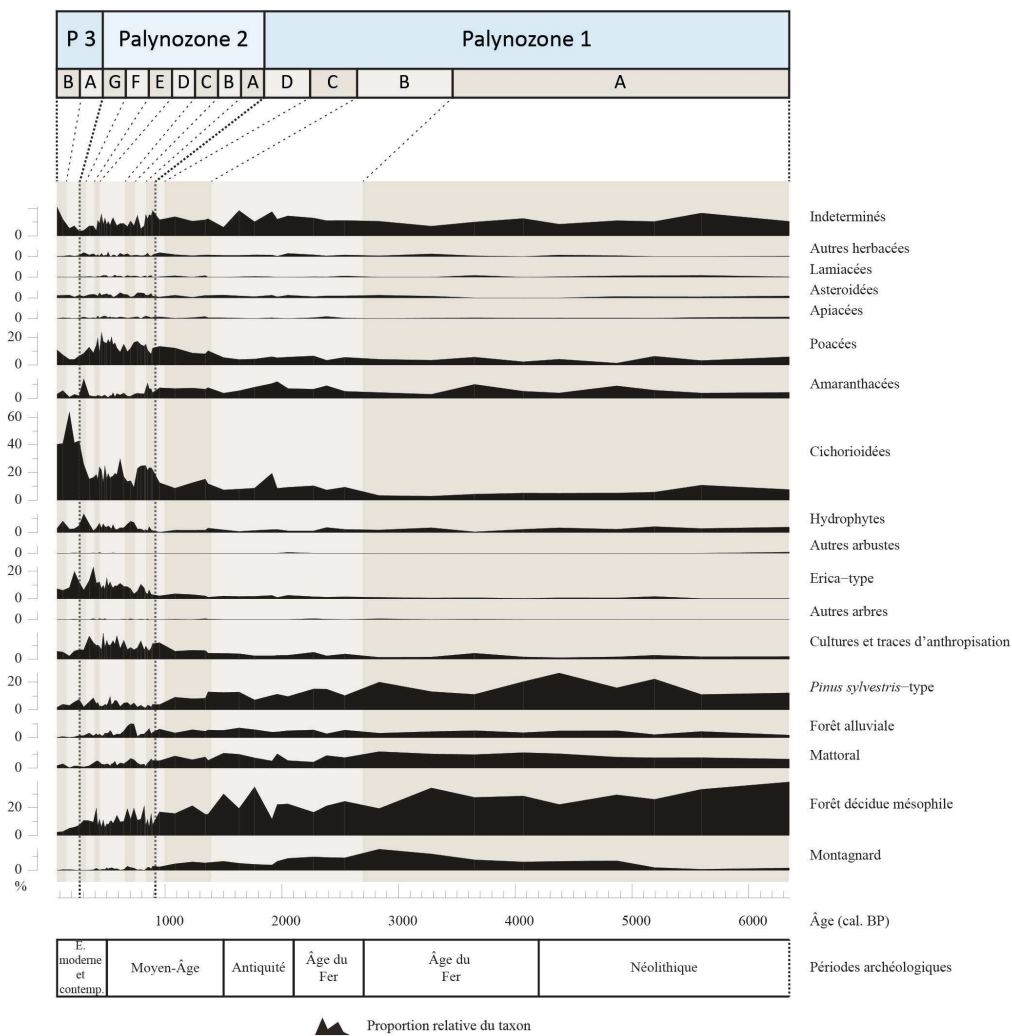
Diagramme pollinique  
Simplifié  
Ensemble des données



Annexe 3. Diagramme pollinique simplifié en âge de la carotte BVA03

Carottage BVA03

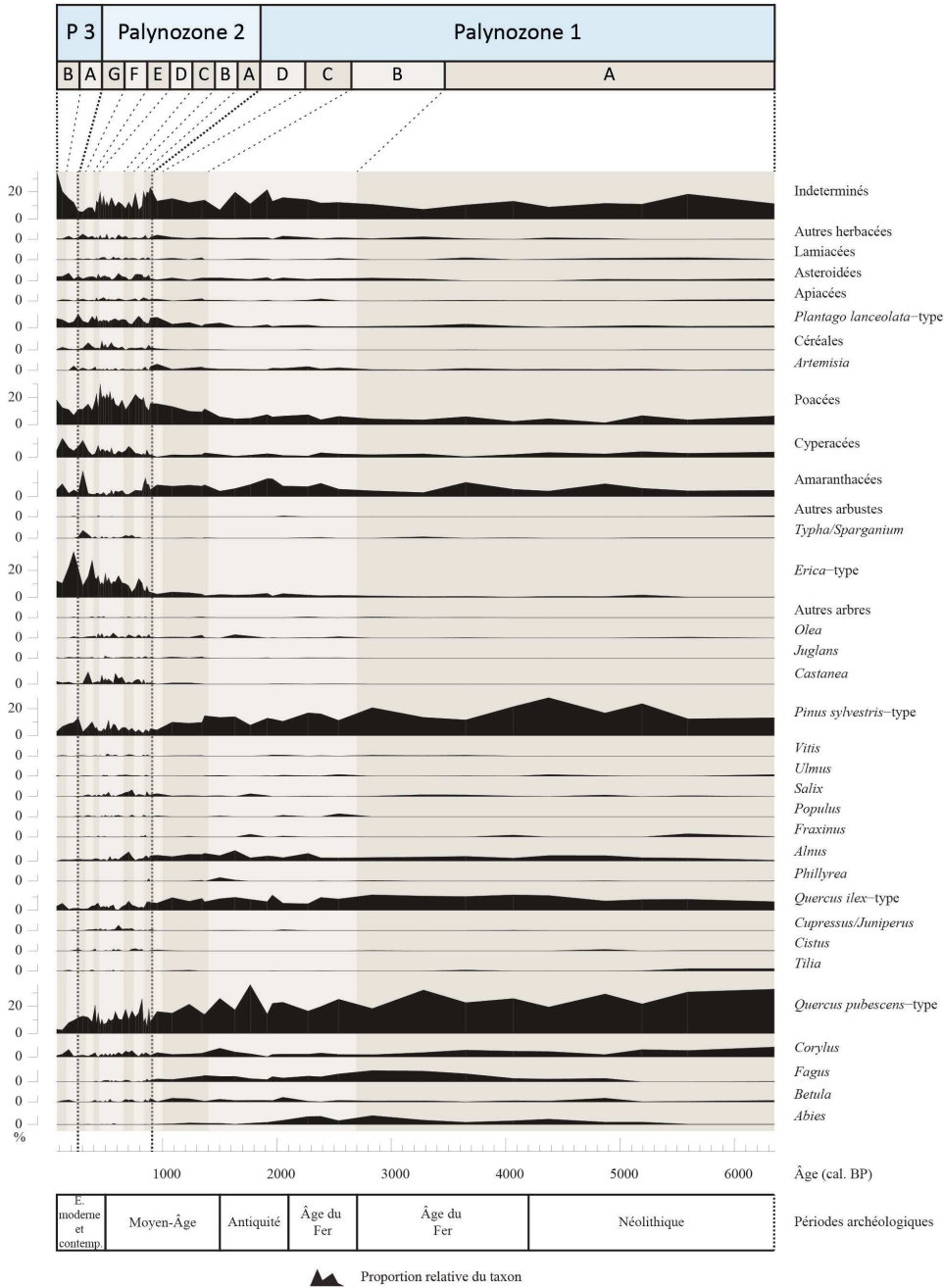
Diagramme pollinique  
Simplifié réduit  
Ensemble des données



Annexe 4. Diagramme pollinique simplifié réduit en âge de la carotte BVA03

Carottage BVA03

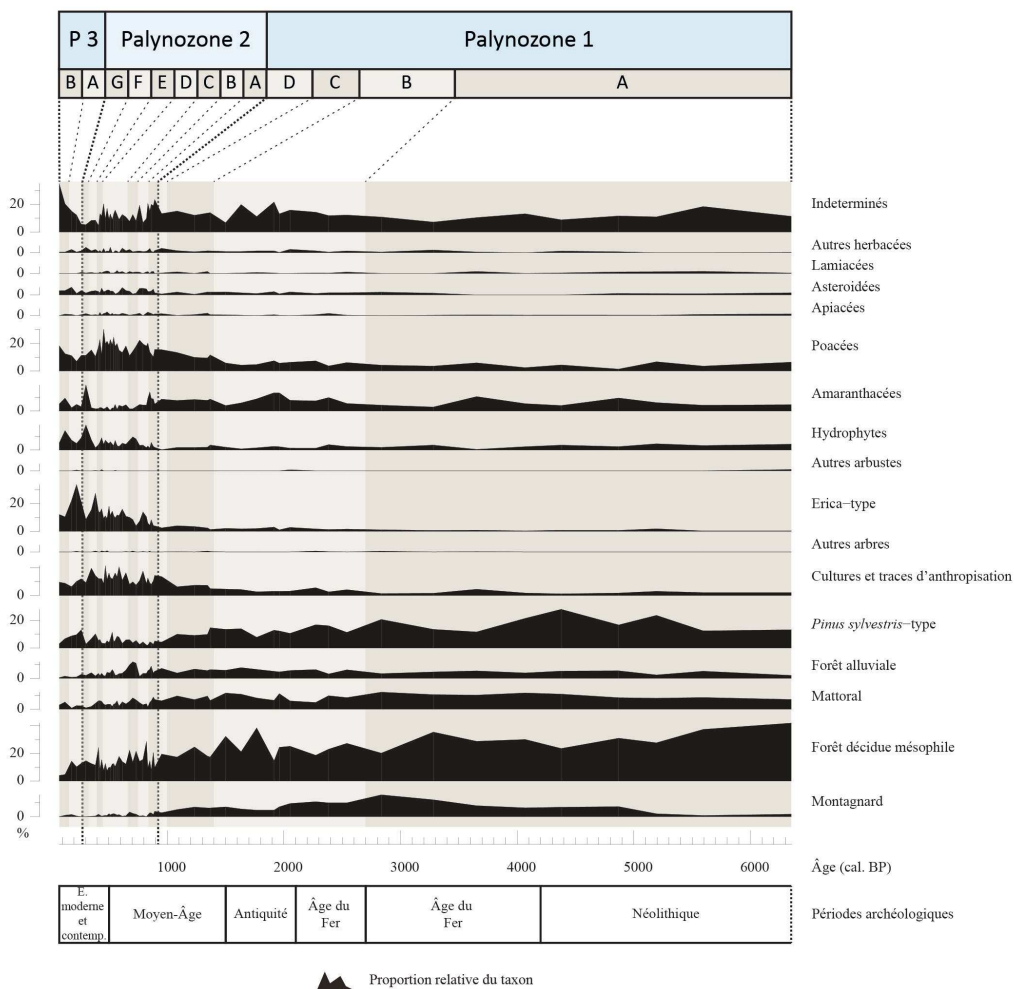
Diagramme pollinique  
Simplifié  
Sans Cichorioidées



Annexe 5. Diagramme pollinique simplifié en âge de la carotte BVA03, sans Cichorioidées

Carottage BVA03

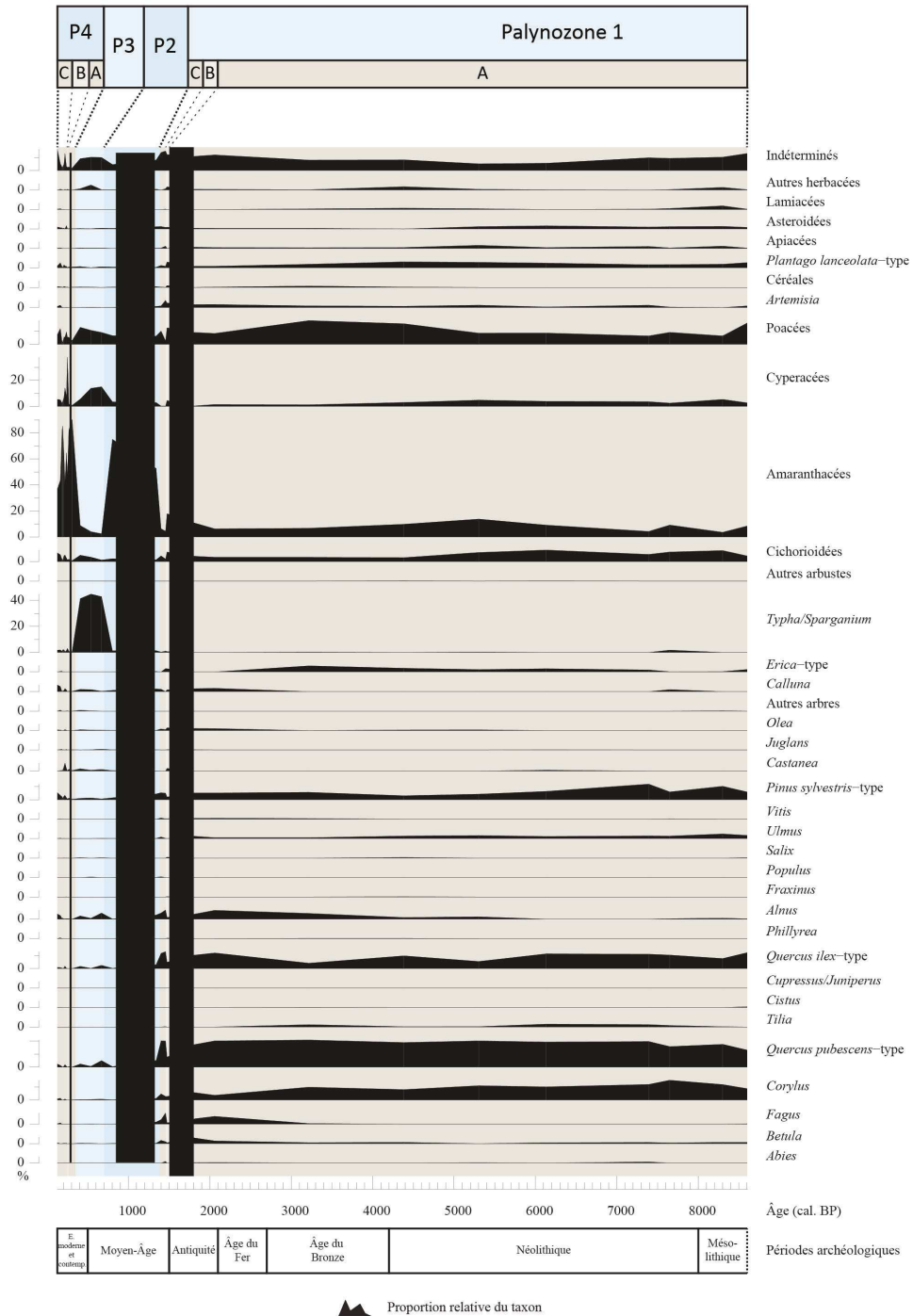
Diagramme pollinique  
Simplifié réduit  
Sans Cichorioidées



Annexe 6. Diagramme pollinique simplifié réduit en âge de la carotte BVA03, sans Cichorioidées

Carottage B1

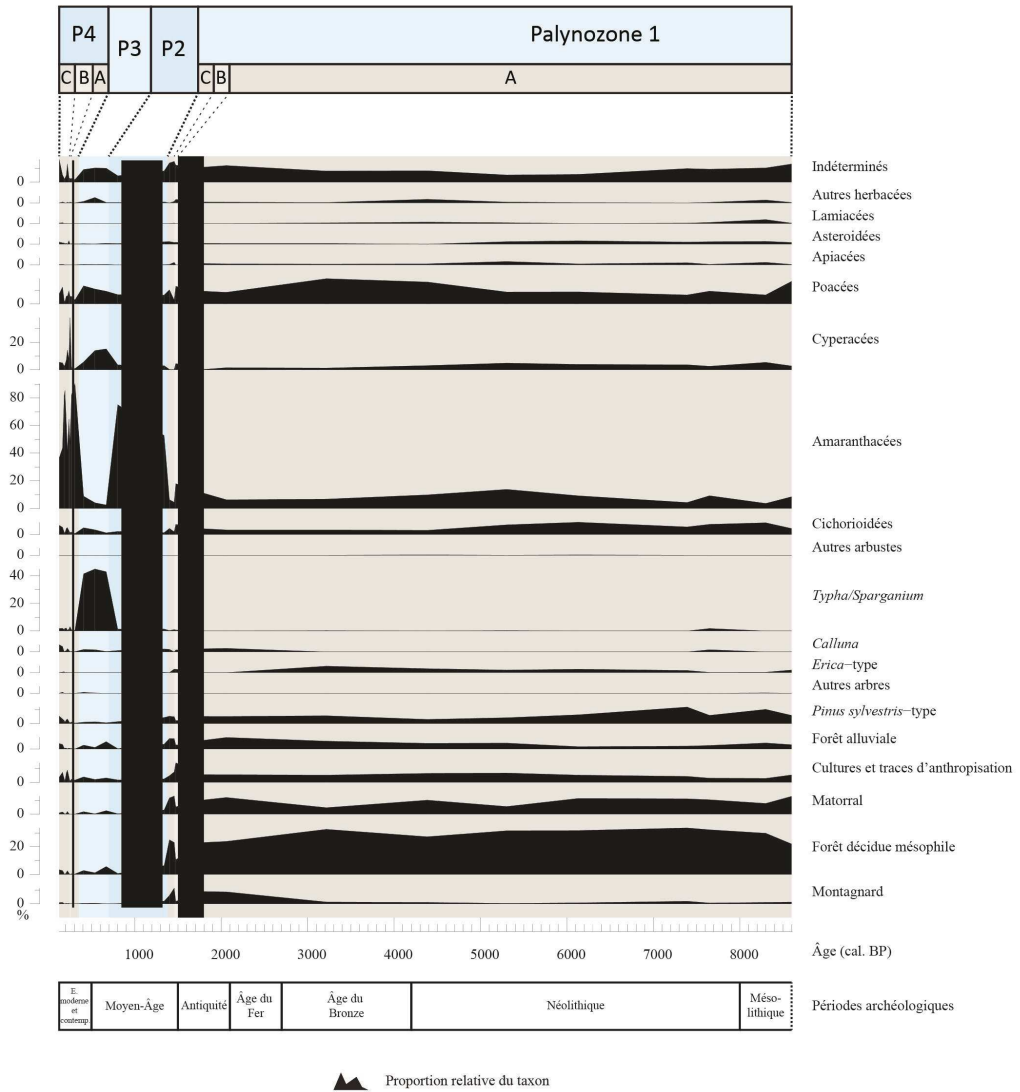
Diagramme pollinique  
Simplifié  
Ensemble des données



Annexe 7. Diagramme pollinique simplifié en âge de la carotte B1

Carottage B1

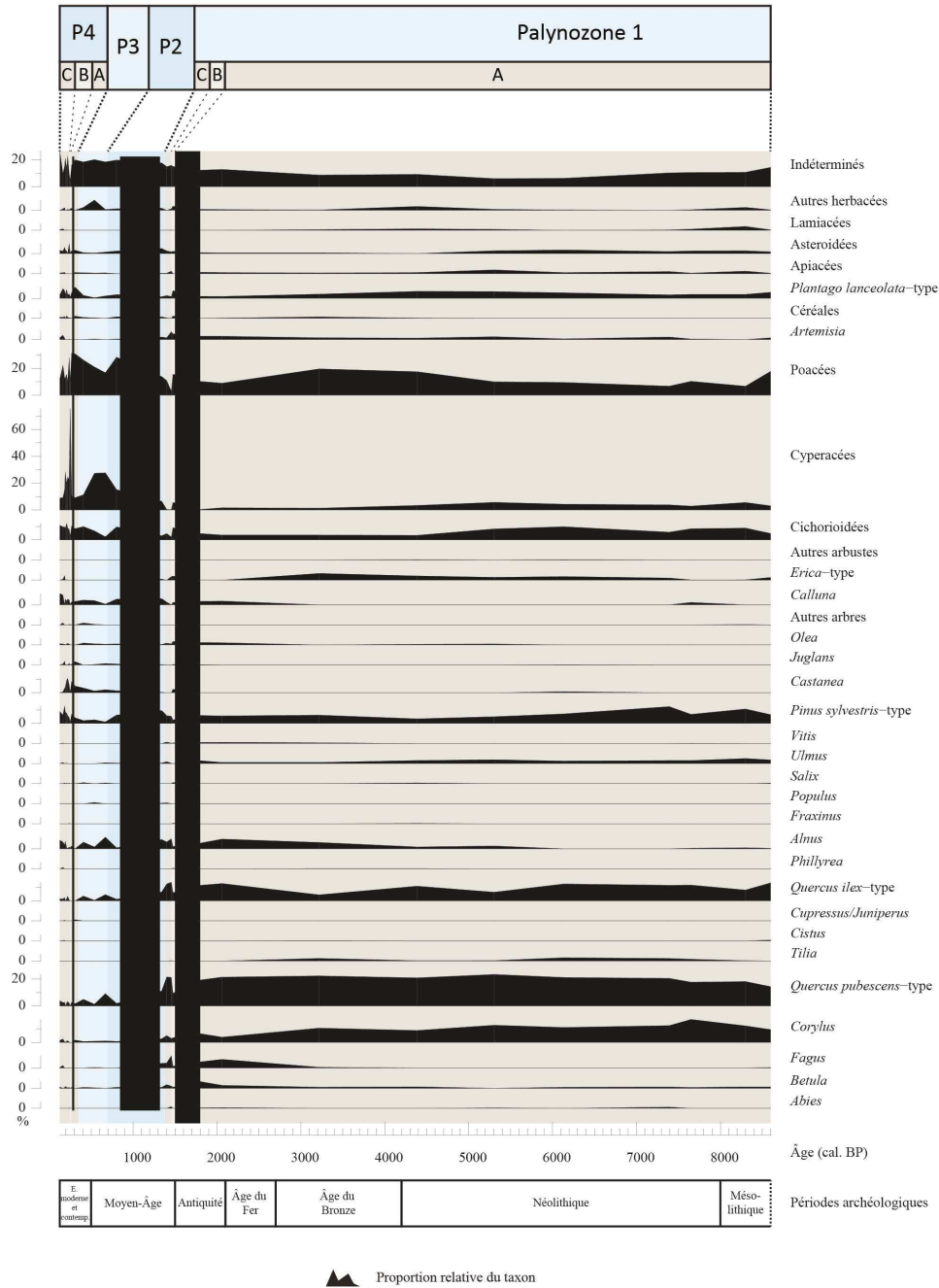
Diagramme pollinique  
Simplifié réduit  
Ensemble des données



Annexe 8. Diagramme pollinique simplifié réduit en âge de la carotte B1

Carottage B1

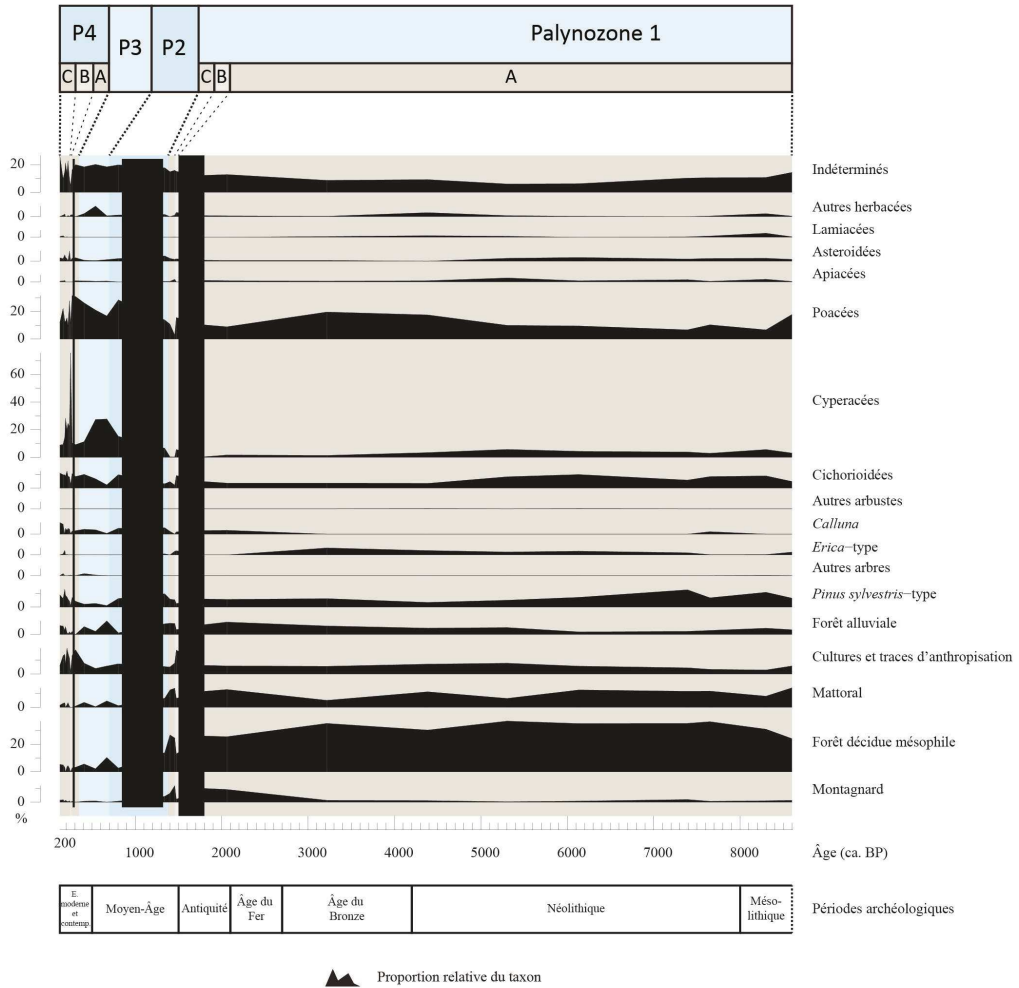
Diagramme pollinique  
Simplifié  
Sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*



Annexe 9. Diagramme pollinique simplifié en âge de la carotte B1, Amaranthacées et *Typha/Sparganium* exclus

Carottage B1

Diagramme pollinique  
Simplifié réduit  
Sans Amaranthacées et *Typha/Sparganium*



Annexe 10. Diagramme pollinique simplifié réduit en âge de la carotte B1, Amaranthacées et *Typha/Sparganium* exclus



**Annexe 11. Article Dolez *et al.* 2015 : Holocene palaeoenvironments of the Bages-Sigean lagoon (France)**

# Holocene palaeoenvironments of the Bages-Sigean lagoon (France)

Ludovic Dolez <sup>a,b,c,\*</sup>, Tiphaine Salel <sup>a,c,\*</sup>, Hélène Bruneton <sup>d</sup>, Giulia Colpo <sup>b</sup>,  
Benoît Devillers <sup>a,c</sup>, David Lefèvre <sup>a,c</sup>, Serge D. Muller <sup>b</sup>, Corinne Sanchez <sup>a,c</sup>

<sup>a</sup> Université Montpellier 3, UMR-CNRS 5140 "Arche ologie des socie te s m diterrane ennes", 390, avenue de Pe rrols, 34970 Lattes, France

<sup>b</sup> Université Montpellier 2, UMR-CNRS 5554 ISEM, CC 061, place E.-Bataillon, 34095 Montpellier cedex 5, France

<sup>c</sup> Université Montpellier 3, site Saint-Charles, 34199 Montpellier cedex 5, France

<sup>d</sup> Université Aix-Marseille, UMR-CNRS 6635 CEREGE, Europole Me diterrane en de l'Arbois, BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 04, France

From : *Geobios* 48 ,p297-308  
(2015)

## Keywords:

Palaeoecology

Ostracods

Palynology

Mediterranean Sea

Coastal environment

## ABSTRACT

The Bages-Sigean lagoon is situated on the northwestern margin of the Gulf of Lion, in the Languedoc region, Southern France. The evolution of this lagoon has been reconstructed through sedimentological and palaeoecological (ostracods and palynology) studies performed on a 29 m-long core. While the age-depth model proposed is based on radiocarbon dates, some inconsistencies require rejecting several ones and using pollinic chronological markers. The base of the core corresponds to a Pleistocene glacial steppic environment characterized by open land vegetation. This unit is topped by fluvial deposits with an estimated early Holocene age, according to palynological indicators. The overlying deposits represent a succession of estuarine and marine facies, following by the progressive set up of a lagoonal environment at ca. 2500 cal. BP. Palynology attests to the human impact on vegetation since ca. 4600 cal. BP through the identification of agricultural activities in the Languedoc plains and the exploitation of Mediterranean and mountain forests.

## 1. Introduction

The shoreline of the Gulf of Lion (Southern France) progressively reached its present-day morphology after the fast Holocene relative sea level rising and its stabilization ca. 7000 years ago (Sabatier et al., 2010a). The edification of the modern coastal barriers and lagoons comprised several steps, which have been described by a number of geomorphological works, notably Alo isi et al. (1978), Guilaine (1995), André and Ambert (1998), Ferrer et al. (2010), Raynal et al. (2010) and Sabatier et al. (2010a) in the Gulf of Lion, and Vella et al. (2005) in Camargue. In particular, Guilaine (1995) and André and Ambert (1998) reconstructed the main steps of the geomorphological evolution of the Narbonne coast, which evolved from a ria to a lagoon under the combined influence of a sea level rise and the progradation process resulting from sedimentary inputs from the Aude River.

Geomorphological studies were completed by several pollen analyses, mostly in the 1970s and 1980s (Planchais, 1973, 1982, 1984, 1985; Triat, 1975; Pons et al., 1979; Planchais and Parra Vergara, 1984; Laval and Médus, 1989; Planchais et al., 1991;

Court-Picon et al., 2010). These works outlined the main trends of Holocene vegetation changes in the French Mediterranean region, in relation to both climate changes (Laval et al., 1992; Laval and Médus, 1994) and the emergence and complexity of human societies (Planchais, 1987; Laval et al., 1991; Puertas, 1998). However, most of the palaeoenvironmental reconstructions based on these works were limited by low chronological resolutions, due to the lack and inaccuracy of radiocarbon dates, which is possibly caused by the reservoir effect of dated mollusk shells (Siani et al., 2000; Reimer et al., 2013).

In this context, the study of a core taken from the edge of the Bages-Sigean lagoon, one of the Narbonne lagoons, aims to:

- provide a well-dated sequence for the northwestern Gulf of Lion;
- reconstruct the palaeogeographical and palaeoecological evolution of the Holocene river-lagoon environments near Narbonne within this chronological framework, on the basis of sedimentological as well as ostracod and pollen analyses.

## 2. Geographical and ecological setting

The Narbonne lagoons are isolated from the sea by sandy bars, with which they only communicate in places by means of canals and narrow inlets. The surface area of the lagoon complex is about

<sup> </sup> Corresponding editor: Frédéric Quill ev er e.

\* Corresponding authors.

E-mail addresses: ludovic.dolez@hotmail.fr (L. Dolez), tiphaine.salel@gmail.com (T. Salel).

50 km<sup>2</sup> and is made up of a set of compartmentalized basins with an average depth of 0.5 m. It forms a vast wetland area on the fringes of the south of the coastal Aude Plain. This zone corresponds to an early Holocene ria, deeply incised (between 15 and 25 m NGF) into the surrounding limestone and marly-limestone terrains, and filled in by a combination of marine and fluvial sedimentary inputs over the past millennia (Ambert, 1993).

The core studied in this paper (SC01) was taken south of Narbonne city (Fig. 1), at the place known as *Le Petit Caste lou*, 200 m from the shore of the Bages-Sigean lagoon (43807°14.52<sup>00</sup>N, 03800°38.36<sup>00</sup>E, elevation +0.9 m NGF). This lagoon extends over a surface of approximately 35 km<sup>2</sup> and reaches a depth of nearly 3 m towards its center. In the south, it is connected to the sea by the port canal *La Nouvelle*, and is supplied with freshwater by the Berre to the west and the canals draining the Aude waters to the north.

The physico-chemical monitoring conducted by the *Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée* since 1996 brought to light the euryhaline character of the lake, with average salinity levels of 22 to 30 g/L at Bages and 25 to 37 g/L at Sigean, depending on the season. Highest values of 37 and 40 g/L were measured at Bages and Sigean, respectively, during periods of drought. More rarely, during periods of high winter precipitation, salination levels can decrease by as much as 10 g/L. These variations influence the composition of the present-day ostracod assemblages in the northern part of the lagoon, with a predominance of the very euryhaline species *Loxococoncha elliptica* and *Xestoleberis nitida*, associated with other species like *Cyprideis torosa*, *Loxococoncha cf. rhomboidea*, *Leptocythere fabaeformis* and *L. cf. lacertosa*.

The vegetation above water and around the lagoon is made up of saltmarsh (schorre) and hydro-halophile steppes dominated by *Sarcocornia fruticosa* and *Suaeda maritima*. Upstream, agricultural activities towards the Aude alluvial Plain promote open landscapes and crops, mainly comprised of cereals and vines. On the hillsides and the heights of the surrounding limestone massifs (the Clape to the east, the Corbières to the southwest and the Montagne Noire to the north), the Mediterranean ligneous formations are dominated by *Quercus ilex*, *Q. pubescens*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea* spp. and

*Cistus* spp., associated with a wide range of thermophilic species. Beech (*Fagus sylvatica*) and chestnut tree (*Castanea sativa*) populations are present above an altitude of 400 m on the Montagne Noire.

### 3. Material and methods

#### 3.1. Fieldwork, radiocarbon dating and sedimentological analyzes

The core SC01 was sampled using a stationary piston corer in 2010. The obtained sedimentary sequence presents several coring lacunae (30% loss), attributed to sedimentary creep in the least compact levels. The core attained a depth of 29.1 m beneath ground level. In the laboratory, the different lithofacies were described and an analysis of the biomarkers (pollen, ostracods) was made. Radiocarbon dates were conducted on organic sediment, charcoal, and mollusc shells and were calibrated with the Calib 7.0.2 software (Stuiver and Reimer, 1993), using the IntCal13 curves for the organic samples and Marine13 for the lagoon-marine shells (Reimer et al., 2013).

#### 3.2. Pollen analysis

Twenty-five samples of 1 cm<sup>3</sup> were taken from the whole core and processed using the Nakagawa et al. (1998) method. Approximately 500 pollen grains were identified for each sample, except for 2 samples in the lowermost part of the core (22.8 m and 21.2 m depth), which contain less than 300 pollen grains and are only presented here on a qualitative basis. The pollen diagram was constructed using the GpalWin software (Goeury, 1997). The zonation of the diagram was based on a stratigraphically-constrained ascendant hierarchical classification (AHC) using the PAST software v.2.01 (Hammer et al., 2001). The AHC was performed on raw data, based on the Euclidean similarity distance and using the paired group (UPGMA) algorithm. The botanical nomenclature takes account of the latest phylogenetic revisions

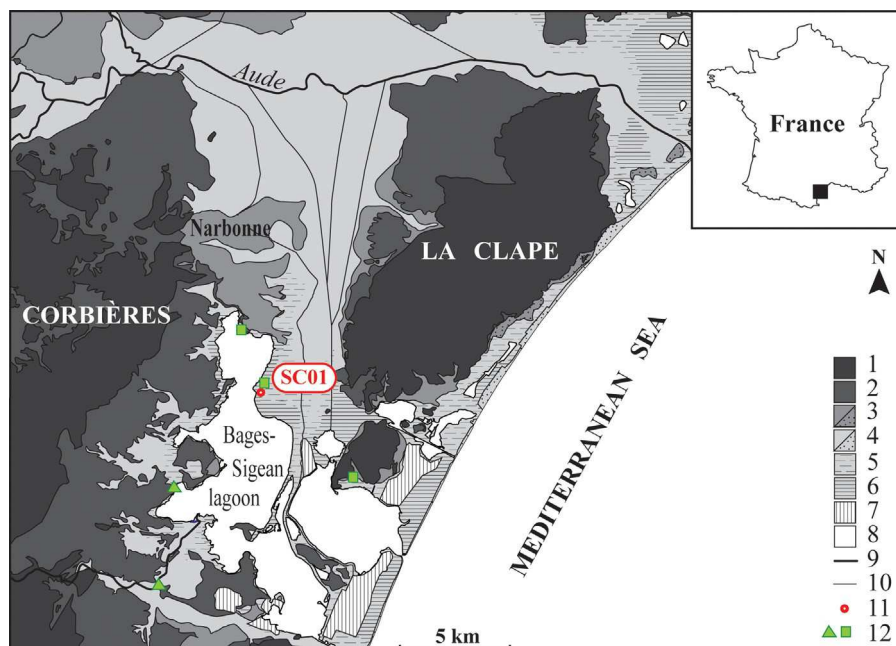


Fig. 1. Geographical setting and simplified geology of the Narbonne lagoon system. Coordinates of the core SC01: 43807°14.52<sup>00</sup>N, 03800°38.36<sup>00</sup>E, elevation +0.9 m NGF. 1: Mesozoic (marls, limestones). 2: Cenozoic (marls, limestones, conglomerates). 3: Pleistocene (alluviums, colluviums/ancient dunes). 4: Holocene (alluviums, colluviums/present sandy barrier). 5: Cultivated wetlands. 6: Coastal wetlands. 7: Ancient salt marshes. 8: Lagoons. 9: Rivers. 10: Artificial channels. 11: Core studied. 12: Main archaeological sites around the Bages-Sigean lagoon; green squares: antiquity; green triangles: Bronze and Iron Age.

(APG III, 2009); in particular, the Amaranthaceae family includes the ex-Chenopodiaceae.

### 3.3. Ostracological analysis

Twenty samples of 50 g on average were taken from the whole core to analyze the different observed lithofacies. The valves were extracted from the fraction over 125 mm using a stereoscopic microscope. The counting of at least 300 specimens was carried out when sediment quantities were sufficient. Results are given as the number of valves in relation to a gross sediment weight of 50 g, corresponding to the average weight of the processed samples. Taxa were classified according to their tolerance to salinity (S) as follows: freshwater to mesohaline species ( $S < 18\%$ ); euryhaline oligohaline to mesohaline ( $0.5 < S < 18\%$ ); euryhaline mesohaline to euhaline ( $5 < S < 40\%$ ); very euryhaline ( $0.5 < S < 40\%$ ), and euhaline ( $30 < S < 40\%$ ) (salinity tolerance from Athersuch et al., 1989; Lachenal, 1989; Meisch, 2000).

## 4. Results

### 4.1. Lithostratigraphy

The study of the lithostratigraphy led to the identification of five main sedimentary units, each dominated by one lithofacies. The infill begins with a coarse sedimentary deposit (U2), lying on the compact substratum ochre facies (U1). U2 (23.7–20.7 m) is made up of pebbles with a maximum length of 7 cm, and siliceous and limestone rounded gravels, juxtaposed in a beige silty-sandy matrix (U2a: 23.7–22.3 m), then grayish with abundant shell debris (U2b: 22.3–20.7 m), indicating strong hydrodynamism.

U3 (20.7–12.7 m) is formed by gray to dark gray silts and clays, dotted with pale and dark lenses in places, with a thickness ranging from 0.5 to 2 cm and with abundant dispersed shell debris. The transition from the coarse phase to fine particles indicates a change in hydrodynamic conditions, i.e., sedimentation by decantation in a sheltered environment.

U4 (12.7–2.0 m) is characterized by alternating fine (clays and sandy-silts) and sandy (fine and medium) levels with thicknesses ranging from several millimeters to tens of centimeters. They are dark gray with abundant whole and fragmented mollusc shells, forming lenses in places. The increase in detrital sandy inputs in comparison to U3 denotes variations in the currents responsible for these deposits.

At the top of the sequence, U5 (2.0–0.0 m) is made up of brown clayey silts, progressively becoming light brown and presenting ochre marks of oxidation-reduction, alternating with coarse sand beds in the 1.2–1.0 m and 0.7–0.6 m intervals.

### 4.2. Ostracofauna

The description of the SC01 lithofacies was completed by a study of the ostracod fauna. Four main zones (O1 to O4) were identified (Fig. 2).

O1 (21.3–18.3 m): the ostracods were collected from five out of six samples (one sterile sample at 22.0–22.1 m). The number of species per sample varies between five and fourteen, for quantities ranging between 94 and 352 specimens per 50 g. Euryhaline species represent more than 80% of the valves. They are dominated by *Cyprideis torosa* and/or *Cytheromorpha fuscata*, alongside *Leptocythere lacertosa*, *Leptocythere* sp., *Cytherois fischeri*, *Loxconcha elliptica* and *Xestoleberis nitida*. These species characterize an environment with variable salinity, with a mesohaline maximum allowing for the development of *C. fuscata* (Neale, 1988). The rest of the assemblage comprises a well-diversified

marine fauna, including *Aurila speyeri*, *Costa edwardsi*, *Cytheridea neapolitana*, *Hiltermannicythere turbida*, *Palmoconcha turbida* and *Pterigocythereis jonesi*. The presence of these species, which cannot coexist in the same environments as *C. fuscata*, brings to light the joint continental and marine influence of the milieu, showing the existence of an open estuarine lagoon environment. Towards the top of the zone, strictly marine species are absent from the sample between 18.5 and 18.3 m, which may indicate a closing episode.

O2 (17.6–8.3 m): the six samples processed in this level yielded between five and nine species for very variable abundances (from 24 to 843 specimens/50 g). *Cytheromorpha fuscata* disappears and all the ostracods present in this section tolerate high salinity, with stenohaline marine species predominant in most of the samples: *Callistocythere littoralis*, *Carinocythereis whitei*, *Cytheridea neapolitana*, *Costa edwardsii*, *Hiltermannicythere turbida*, *Loxconcha rhomboidea*, *Palmoconcha turbida*, and *Pterigocythereis jonesi*. With different development stages from juvenile to adult, *P. jonesi* presents the characteristics of a fauna in place and enables us to reconstruct a marine milieu with a still base (Guernet et al., 2003). The more euryhaline taxa include *Cyprideis torosa*, *Cytherois fischeri*, *Leptocythere lacertosa*, *Leptocythere* sp., *Loxconcha elliptica*, and *Xestoleberis nitida*. Compared to zone O1, the proportion of these lagoon species clearly decreases and the estuarine influence is no longer perceptible.

O3 (6.8–6.0 m): three samples have been grouped together, containing between eight and nineteen species. Absolute abundance varies between 237 and 1192 specimens/50 g. Marine species decline gradually, from about 20% to less than 5% of the valves. They are replaced by euryhaline species such as *Cyprideis torosa*, *Cytherois fischeri*, *Leptocythere fabaeformis*, *L. lacertosa*, *Loxconcha elliptica*, and *Xestoleberis nitida*. This assemblage denotes a lagoon environment in connection with the sea. Probably the salinity was relatively high and prevented the presence of *Cytheromorpha fuscata*. Two subzones have been identified (O3a and O3b), as from about 6.6–6.5 m, and even more so at 6.1–6.0 m, we observe the appearance of diversified freshwater fauna with *Cyclocypris ovum*, *Darwinula stevensoni*, *Ilyocypris gibba*, *I. inermis*, *Herpetocypris brevicaudata*, *Limnocythere* sp., *Potamocypris* cf. *variegata*, and *Pseudocandona albicans*, probably reworked in a freshwater supplies context.

O4 (2.5–1.5 m): only two out of the five samples from the top of the core yielded ostracods. They are made up of very euryhaline species such as *Cyprideis torosa* and *Loxconcha elliptica*. The reduced abundance (26 to 28 specimens/50 g) and low diversity (three to five species), associated with the absence of ostracods in several levels, indicate an isolated lagoon environment, lacking nutritive elements and probably subjected to dry periods poorly tolerated by ostracods (Frenzel and Boomer, 2005). This assemblage is closely similar to the extant distribution of ostracods in the Northern part of the Bages-Sigean lagoon.

### 4.3. Palynology

The ascendant hierarchical classification (AHC) of the samples included in the pollen diagram (Fig. 3) led to the identification of eight successive palynozones (P1 to P8).

P1 (24.1 m): the sample at the base of the core indicates open vegetation (80% grasses), clearly dominated by *Artemisia*, *Amaranthaceae* and *Poaceae*. This association points to a glacial or Tardiglacial steppe-like environment. The unobtrusive presence of *Betula* in the record tends to confirm this interpretation, since this taxon is commonly recorded in northern tundras (e.g., Fréchet et al., 1996). The marked open land vegetation and the low pollination of the local grasses (Triat-Laval, 1979) may explain the

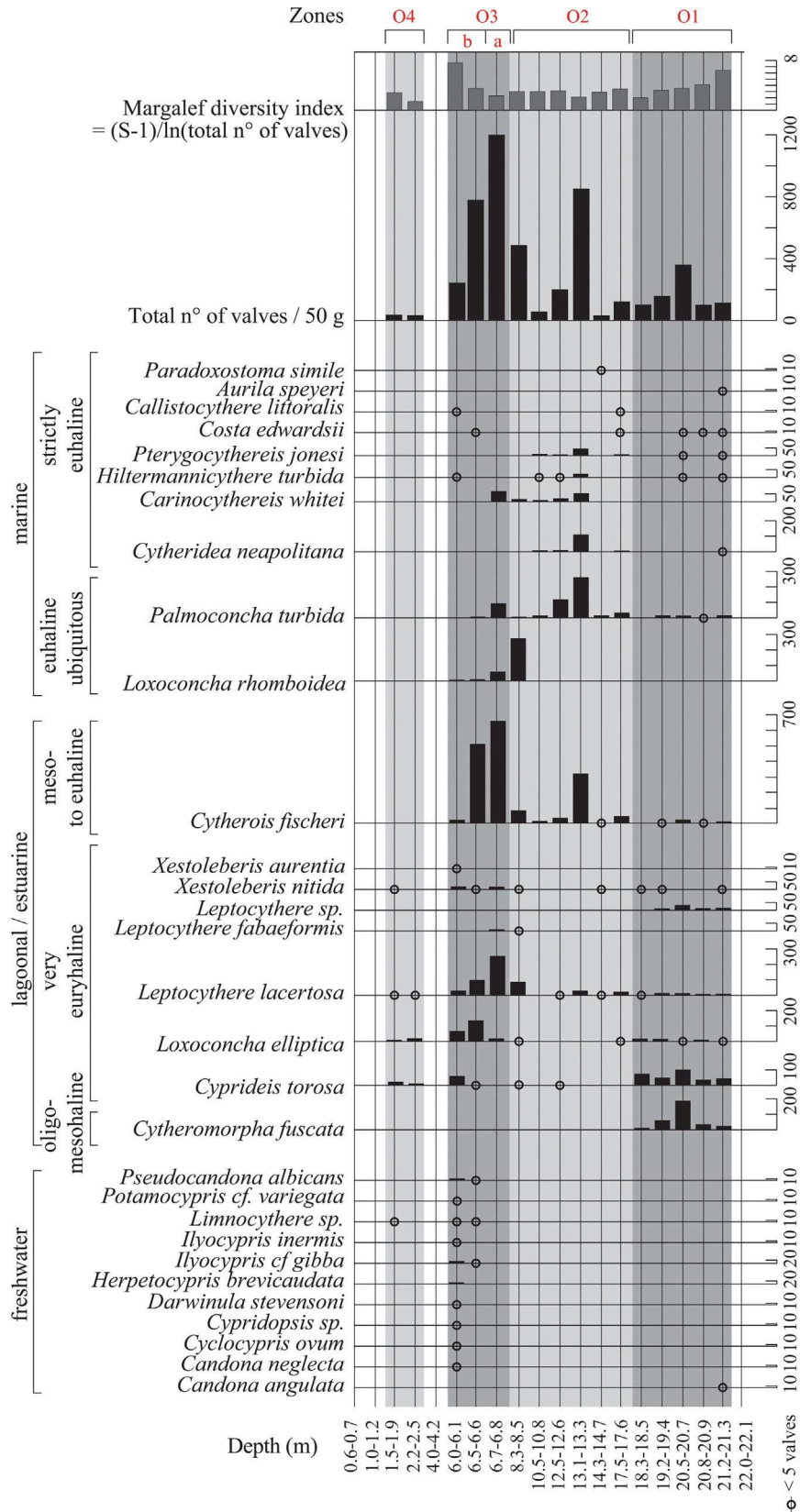


Fig. 2. Ostracod faunal diagram of the core SC01 (number of valves for 50 g of dry sediment).

presence of taxa such as *Quercus ilex*-type and *Corylus*, probably indicating distant contributions, for example from refuge zones in the lowlands of Southern France (Beaudouin et al., 2007) or from the Iberian Peninsula (Pons and Reille, 1988).

P2 (22.8–21.2 m): this zone is characterized by the appearance of several ligneous taxa, suggesting the emergence of a mosaic-type landscape with open environments (*Cistus*, *Cupressus/ Juniperus*) and some deciduous forests dominated by *Corylus* and

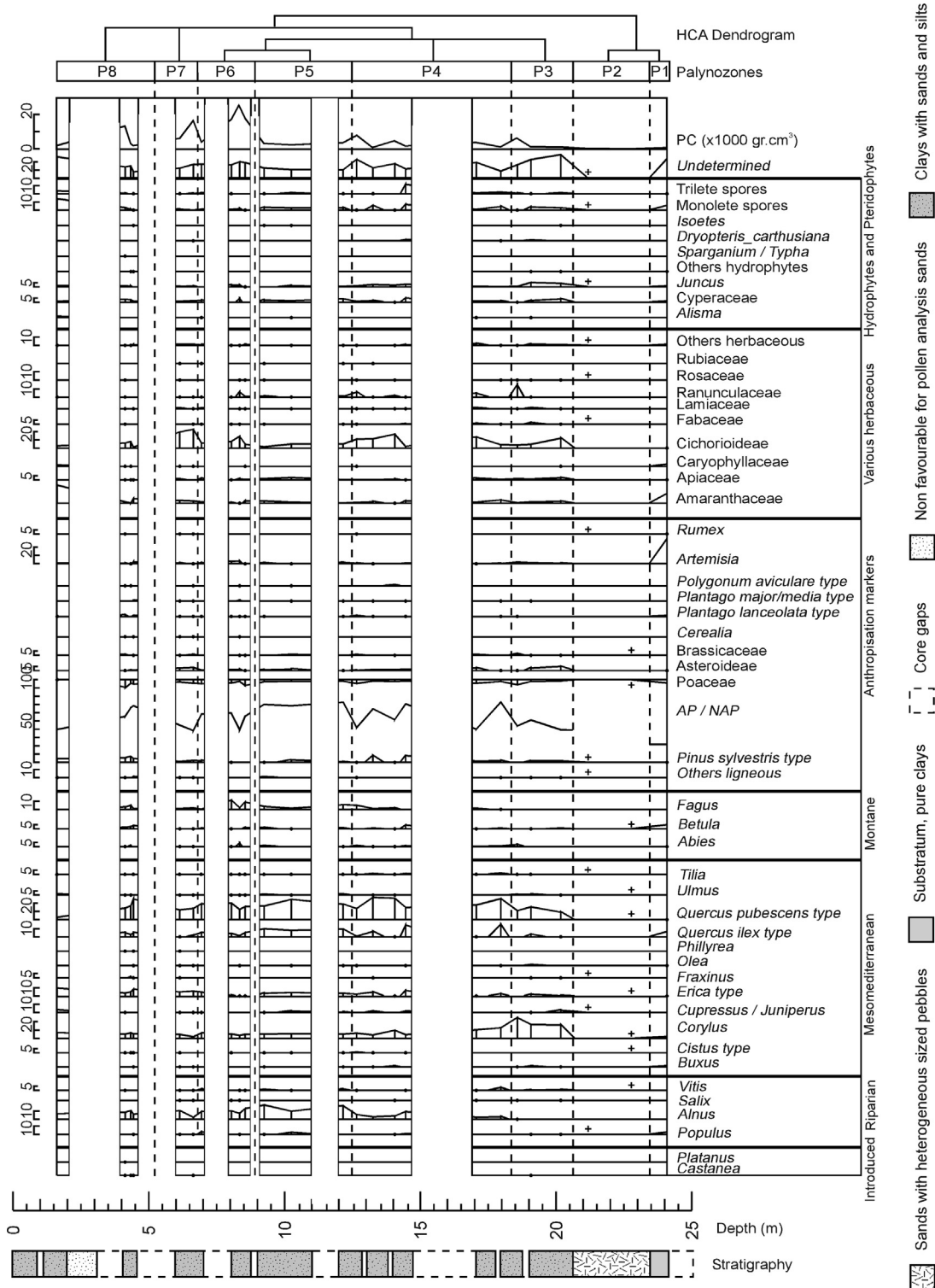


Fig. 3. Simplified pollen diagram of the core SC01. Some poorly represented taxa were grouped together. Other ligneous taxa are: *Acer*, *Arbutus*, *Calluna*, *Carpinus/Ostrya*, *Celtis*, *Ilex*, *Myrica*, *Myrtus*, *Oleaceae*, *Pistacia*, *Prunus*-type, *Sambucus*, and *Viburnum*. Other herbaceous taxa are: *Alchemilla*, *Allium*-type, *Araceae*, *Armeria*, *Asphodelus*, *Carduus*, *Campanula*, *Cannabis/Humulus*, *Centaurea nigra*-type, *Cerastium*, *Convolvulaceae*, *Ephedra*, *Crassulaceae*, *Euphorbia*, *Filipendula*, *Gentiana*, *Gladiolus*-type, *Helianthemum*-type, *Narcissus*-type, *Paronychia*, *Polygonum alpinum*-type, *Polygonum bistorta*-type, *Potentilla*, *Sanguisorba minor*, *Saxifraga oppositifolia*, *Scrophularia*-type, *Teucrium*, and *Thalictrum*. Other hydrophytes are: *Callitriche*, *Myriophyllum*, *Persicaria*, *Potamogeton*, and *Sparganium/Typha*.

*Quercus pubescens*-type, but also with *Fraxinus* and *Tilia*. The presence of riparian taxa (*Populus* and *Vitis*) indicates the proximity of a river.

P3 (20.2–18.6 m): despite the very low pollen concentration and highly degraded pollen assemblages (20% unidentified), the identified pollen record, composed mainly of *Corylus* and *Quercus*

*pubescens*-type, associated with *Ulmus*, *Fraxinus* and *Tilia*, obviously indicates the diversification of the deciduous oak stands. *Abies* appears at the end of the zone and *Betula* is also poorly recorded; both are from distant sources and point to the development of mountainous vegetation where *Fagus* is not yet present. Regional taxa are predominant, given the low proportion of mountain taxa

on the one hand, and the abundance of Mediterranean taxa on the other (*Buxus*, *Erica*-type, *Olea*, *Quercus ilex*-type). The presence of Amaranthaceae indicates the local presence of halophilic steppes (marshland), perhaps mixed with helophytic communities of Cyperaceae and *Juncus*, while *Populus*, *Salix* and *Vitis* indicate the nearby riverside. The occurrence of Poaceae, Asteroideae and Cichorioideae in the record indicates open, possibly coastal areas.

P4 (18.0–12.7 m): the increase in tree pollen, which attains a maximum of 60%, denotes the development of both deciduous (*Quercus pubescens*-type, associated with *Corylus*) and evergreen (*Pinus sylvestris*-type, *Quercus ilex*-type) forests. Supra-Mediterranean and mountain taxa are better represented, in particular *Fagus* (which appears at the beginning of the zone), with *Abies* in the background. The continuous recording of grasses (Cichorioideae, Poaceae) and Amaranthaceae suggests the persistence of open coastal and halophilic zones. We also note the continuous presence of *Alnus* in riverside areas.

P5 (12.2–9.3 m): the increase in *Fagus* and *Quercus ilex*-type, initiated at the end of the previous zone, persists and is associated with a decrease of *Pinus sylvestris*-type and *Quercus pubescens*-type pollens. This depicts a modification of the forest ecosystems, with the replacement of the fir tree by the beech in the mountain and that of the downy oak by the holm oak in the meso-Mediterranean zone. The continuous Amaranthaceae record indicates that the halophilic steppes on salty substrata on the lagoon edges persisted. The unobtrusive appearance of *Isoetes* at around 10 m shows that temporary freshwater ponds existed nearby. These may have been of fluvial origin, like in Camargue (Muller et al., 2008).

P6 (8.6–7.0 m): the increase in the recording of grasses is associated with the appearance of cereals, the presence of *Olea* and other taxa indicative of anthropization (*Artemisia*, Asteroideae, Brassicaceae, *Plantago*; Planchais and Duzer, 1978; Behre, 1981). This indicates the intensification of agropastoral activities, and particularly of agriculture, which was not recorded prior to this, possibly due to the low pollination of grasses and the remoteness of activity areas. The slight regression of the rate of tree pollen and the main tree taxa suggests that forests were impacted, but that they were not intensively exploited.

P7 (6.7–6.2 m): the two samples from this palynozone show a decrease in the proportion of tree pollen (40%), with a regression of

*Quercus pubescens*-type and *Quercus ilex*-type. This opening of the environment is represented by the increase in taxa from the Mediterranean matorral (*Phillyrea*).

P8 (4.5–1.7 m): the ligneous pollen abundance is between 40% and 60%. The increased representation of mountain taxa (*Betula*, *Fagus*) probably indicates a higher rate of distant contributions after the opening of local oak stands. This opening of the environment is also beneficial for pine trees, which form pre-forest pine groves, probably in the different vegetation zones from the meso-Mediterranean to the mountain zone. The presence of pollen grains of cereals and anthropization markers (including *Olea*, *Castanea* and *Platanus*) points to the anthropogenic cause of these environmental changes. Moreover, the high proportion of Amaranthaceae (5% at the beginning of the zone and 20% at the top of the core) indicates the extension of halomorphic soils.

#### 4.4. Radiocarbon chronology

The chronology proposed here is based on 38  $^{14}\text{C}$  dates (Table 1). In this coastal context, it is important to consider the  $^{14}\text{C}$  reservoir age for the shell-based dating. Recent research has shown that this reservoir age, generally considered to be around 400 years in the Mediterranean (Reimer et al., 2013), could attain 620 years in coastal environments (Siani et al., 2000), and even 940 years in nearby lagoons (Sabatier et al., 2010b). In order to estimate the local reservoir age of Bages-Sigean lagoon, radiocarbon dates were carried out on oyster shells from the nearby site of Port-la-Nautique (Table 2), with an estimated age of 60 to 70 AD (1890–1880 cal. BP) from ceramics, corresponding to conventional  $^{14}\text{C}$  age of  $1940 \pm 20$  years. The average of the four  $^{14}\text{C}$  dates obtained is  $2481 \pm 15$  BP and allows calculating a reservoir age of  $2481 - 1940 = 541$  years. The deviance from the global mean reservoir age (DR) for those mollusk shells is obtained by subtracting the marine model age value ( $2280 \pm 30$ ) estimated at the historical date from the measured apparent  $^{14}\text{C}$  age:  $2481 - 2280 = 201$  years (Fig. 4). Given the disparities between the  $^{14}\text{C}$  ages of archaeological shells, the total reservoir age (R) of 541 years calculated at Port-la-Nautique is slightly lower than the ages obtained by Siani et al. (2000) and Court-Picon et al. (2010) in the Sète lagoon (respectively 618 and

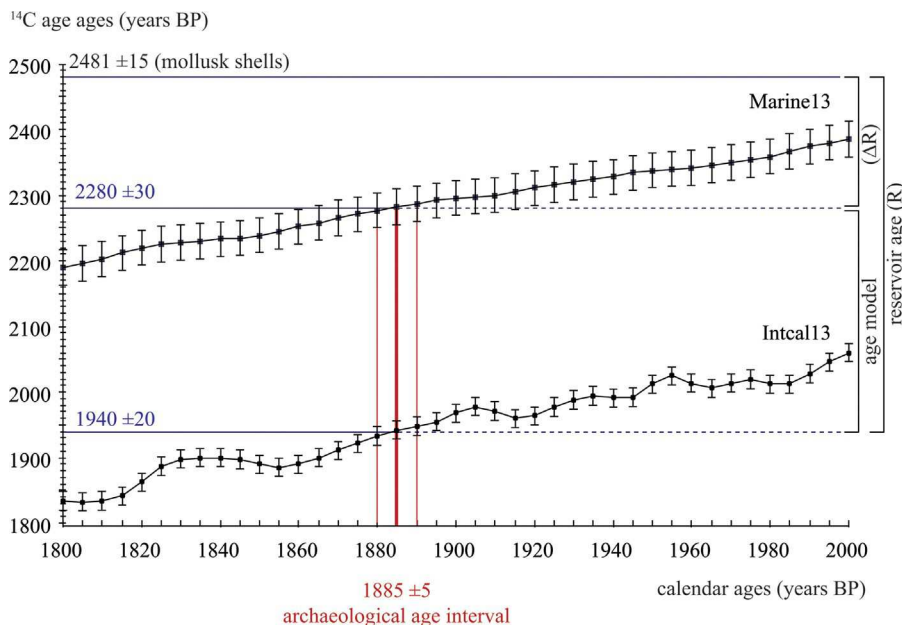


Fig. 4. Computation of the age of shell samples (oysters) taken from an archeological deposit at Port-la-Nautique and whose calendar age was estimated around 60–70 AD.

Table 1

Radiocarbon dates and calibrated ages of the SC01 core. Calibration was performed using Calib 7 software (Stuiver and Reimer, 1993), and Intcal13 and Marine13 data sets (Reimer et al., 2013).

Lab number	Depth (m)	Alt (m NGF)	Material	<sup>14</sup> C years BP	Error (±years)	Cal. years BP	Error (±years)
Poz-40056	1.05	-0.15	<i>Cerastoderma</i> sp.	685	30	114	113
Poz-40004	1.10	-0.20	<i>Cerastoderma</i> sp.	2565	35	1994	106
Poz-39954	1.93	-1.03	Indeterminate charcoal	1720	30	1631	72
Poz-40038	2.15	-1.25	<i>Bittium reticulatum</i>	3285	35	2853	97
Poz-40039	2.65	-1.75	<i>Bittium reticulatum</i>	3130	30	2713	61
Poz-40053	2.85	-1.95	<i>Cerastoderma</i> sp.	2020	35	1375	92
Poz-40057	2.85	-1.95	<i>Rissoa ventricosa</i>	2785	30	2245	89
Poz-40193	4.26	-3.36	Organic sediment	2450	30	2532	172
Poz-40041	4.55	-3.65	<i>Cerastoderma</i> sp. <sup>a</sup>	2325	35	1707	107
Poz-40032	6.10	-5.20	<i>Bittium reticulatum</i>	2950	30	2490	148
Poz-40052	6.35	-5.45	<i>Bittium reticulatum</i>	3010	30	2566	124
Poz-40033	6.35	-5.45	<i>Cerastoderma</i> sp.	2560	30	1987	99
Poz-40051	6.50	-5.60	<i>Bittium reticulatum</i>	3035	35	2588	121
Poz-39952	6.50	-5.60	Indeterminate charcoal	2245	30	2248	93
Poz-40050	6.75	-5.85	<i>Rissoa ventricosa</i>	2725	30	2203	94
Poz-40049	6.75	-5.85	<i>Abra ovata</i>	2705	30	2185	106
Poz-40046	8.35	-7.45	<i>Rissoa ventricosa</i>	3445	35	3060	116
Poz-40047	8.35	-7.45	<i>Abra ovata</i>	3340	30	2927	105
Poz-40048	8.35	-7.45	<i>Cerastoderma</i> sp.	3230	35	2805	80
Poz-40016	8.60	-7.70	<i>Cerastoderma</i> sp.	3390	30	2987	114
Poz-40031	9.85	-8.95	<i>Bittium reticulatum</i>	3325	40	2903	123
Poz-40007	10.05	-9.15	<i>Abra ovata</i>	3855	35	3561	106
Poz-40006	12.35	-11.45	<i>Bittium reticulatum</i>	2945	35	2489	151
Poz-40008	12.55	-11.65	<i>Bittium reticulatum</i>	3005	35	2555	136
Poz-40045	13.45	-12.55	<i>Rissoa ventricosa</i>	4610	35	4570	140
Poz-40043	13.45	-12.55	<i>Abra ovata</i>	4650	40	4646	138
Poz-40042	14.50	-13.60	<i>Abra ovata</i> <sup>a</sup>	4650	40	4646	138
Poz-40009	17.55	-16.65	<i>Abra ovata</i> <sup>a</sup>	5145	35	5284	148
Poz-40086	18.10	-17.20	<i>Cerastoderma</i> sp.	7100	50	7406	104
Poz-40010	19.40	-18.50	<i>Cerastoderma</i> sp. <sup>a</sup>	8790	50	9240	155
Poz-40018	20.25	-19.35	<i>Loripes lactus</i> <sup>a</sup>	9010	50	9464	92
Poz-40037	20.60	-19.70	<i>Cerastoderma</i> sp.	5790	40	5999	110
Poz-40017	20.72	-19.82	<i>Abra ovata</i>	6220	40	6431	114
Poz-40011	20.80	-19.90	<i>Abra ovata</i>	3885	35	3590	108
Poz-40012	22.05	-21.15	<i>Abra ovata</i>	5840	40	6047	117
Poz-40013	22.18	-21.28	<i>Cerastoderma</i> sp. <sup>b</sup>	7320	40	7590	80
Poz-40014	22.18	-21.28	<i>Bittium reticulatum</i>	2975	30	2517	143
Poz-40003	22.35	-21.45	<i>Cerastoderma</i> sp. <sup>b</sup>	6100	40	6317	89

<sup>a</sup> Connected bivalves.

<sup>b</sup> Shell fragments.

600 years), which suggests a more open-sea environment for the Bages-Sigean lagoon.

Sabatier et al. (2010b) show that the reservoir age has probably varied with time in relation to the isolation of lagoons from the sea and the influence of riverine inputs. Future research should bring light on the evolution of the Bages-Sigean lagoon reservoir age over time. The distribution of the calibrated radiocarbon dates is presented on Fig. 5. At the base of the core (U2), a first group of 7 shell-based dates has been made between 22.35 and 20.60 m depth in the coarse facies, showing many inconsistencies with dates comprised between  $2517 \pm 143$  cal. BP and  $7590 \pm 80$  cal. BP. A second group of 7 shell-based dates in the overlying fine facies U3 shows ordered ages from  $9464 \pm 92$  cal. BP to  $4570 \pm 140$  cal. BP between 20.25 and 13.45 m depth. The deposits at the summit, forming U4 and U5 corresponding to the sand and muddy sand facies, were subjected to 24 <sup>14</sup>C dates on shells and organic matter. In this interval from 12.55 to 1.05 m depth, the

calibrated ages are situated between  $3561 \pm 106$  cal. BP and  $114 \pm 113$  cal. BP; despite of age inversions, it seems to appear a consistent concentration of dating around 9–8 m depth (about 3000 cal. BP) and 7–6 m depth (about 2500–2000 cal. BP).

## 5. Discussion

### 5.1. Understanding the <sup>14</sup>C chronology of the SC01 core

The seven deepest dates, in the U2 facies, are made on both marine and brackish shells or shell fragments and present a wide dispersion of ages and many inversions. The hypothesis of the reworking of levels of varied ages by high energy dynamics is coherent with the coarse fluvio-marine sedimentation, but in the present case, the existence of some relatively recent dates ( $2975 \pm 30$  and  $3885 \pm 35$  years cal. BP) at depths lower than 20 m suggests the contamination of shells that may have been affected by recrystallization phenomena. This prevents determining the age of the pebbly deposits of the stratigraphic unit U2.

The dating obtained in the silty and clayey sedimentation of U3 seems coherent, but considering the dispersal and inversions of <sup>14</sup>C dates in units U4 and U5, the age-depth model is linearly extended from the group of coherent dates around 9–8 m towards the top. Most of the dating in the uppermost part of the core seems older than shown by the theoretical age-depth model. These observations are consistent with Stanley (2001) who remarks that in a Holocene deltaic context, the radiocarbon dating tends to be

Table 2

Radiocarbon dates obtained on shell samples of the Port-la-Nautique archaeological deposit, used to estimate the reservoir age (R) of the Bages-Sigean lagoon.

Lab number	Sample number	Material	<sup>14</sup> C years BP	Error (± years)
Poz-45431	DEPHAUT2	<i>Ostrea edulis</i>	2385	30
Poz-45428	DEPBA2	<i>Ostrea edulis</i>	2420	30
Poz-45429	DEPBA1	<i>Ostrea edulis</i>	2520	30
Poz-45430	DEPHAUT1	<i>Ostrea edulis</i>	2600	30

$R = 2481 - 1940 = 541$  years,  $S_1 = H (15^2 + 20^2) = 25$  years.

$DR = 2481 - 2280 = 201$  years,  $S_2 = H (15^2 + 30^2) = 34$  years.



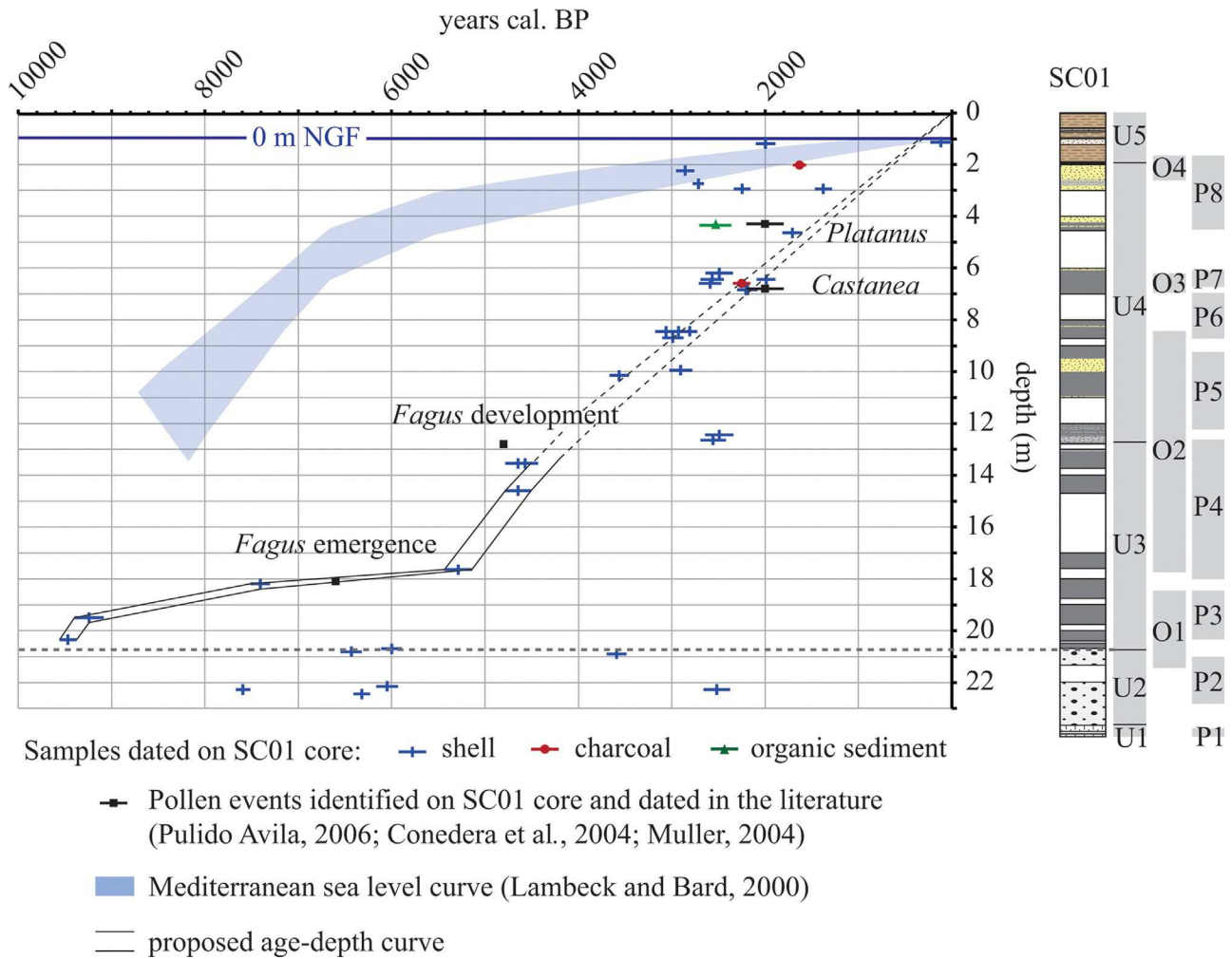


Fig. 5. Age versus depth diagram of the core SC01, with pollen events identified on the core and dated according to the literature (Conedera et al., 2004; Muller, 2004; Pulido Avila, 2006) and the Holocene Mediterranean sea level curve (Lambeck and Bard, 2000).

unreliable, often too old and commonly inverted in the top of the sequences. Finally, the establishment of a reliable age-depth model throughout the entire sequence is prevented by the problems of the radiocarbon dataset. The use of palynostratigraphical markers can help to understand the chronological framework.

### 5.2. Pollen stratigraphy

Overall, the pollen grains observed at a depth of 24 m evoke the stepic assemblages from cold Pleistocene periods (Jalut, 1973; Triat-Laval, 1979; Laval and Médus, 1989), the last of which was the recent Dryas (Reille, 1990a, 1990b). The pollen data enable us to propose a minimum age of 13,000 to 12,000 cal. BP for the U1 deposit top. The comparison of the palynostratigraphic markers with the regional data (on the basis of correlations with former studies in the region; Fig. 6) helps us to refine the age-depth model presented on Fig. 5.

In the coarse levels of U2, the analysis of the rather sparse pollen material shows the presence of low altitude taxa such as *Quercus*, *Corylus*, *Cupressus/Juniperus* and *Cistus*, and more highland taxa, such as *Betula* (P2). Even if no  $^{14}\text{C}$  data can be retained to confirm the age of this zone, this assemblage can be related to the beginning of the Holocene (Boreal, early Atlantic; de Beaulieu, 1977; Planchais et al., 1977; Triat-Laval, 1979), with a possible hiatus between U1 and U2.

In the clayey-silty levels of U3, the vegetation is characterized by the development and diversification of the deciduous oak stand

with *Quercus pubescens*-type, *Corylus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Fraxinus* (P3), and thus appears to be related to the Atlantic (Planchais, 1973; Öner and Planchais, 1976; de Beaulieu, 1977; Planchais et al., 1977; de Beaulieu and Pons, 1979; Triat-Laval, 1978; Triat-Laval, 1979; Pons and Reille, 1988; Reille and Pons, 1992; Reille et al., 1996). The appearance, then the rise of *Fagus*, identified towards 18 and 13 m, respectively (P4), are known events in Southern France (Fig. 6) but are only well-dated by Pulido Avila (2006) in Haut-Languedoc, around 6600 and 4800 cal. BP, respectively, which is approximately coherent with the dates obtained at these depths.

In the sandy and muddy sand unit U4, more precisely between 6 and 4 m, the simultaneous presence of pollen grains of *Castanea* and *Platanus* suggest an age corresponding to the post-antiquity times, as these taxa were introduced into Southern France during the Roman period (Conedera et al., 2004; Muller, 2004).

### 5.3. History of the fluvio-lagoonal landscape of Narbonne during the Holocene

The Holocene evolution of the Narbonne lagoon system can be reconstructed on the basis of sedimentological and ostraco-faunal data. The latter enhances our understanding of the hydrological past of the basin and the palynological data provide complementary elements on the structure of the landscape at a local and regional scale (Fig. 7).

The sedimentary infilling begins by a coarse facies composed of rolled elements attributed to early alluviums from the Aude (U2a).

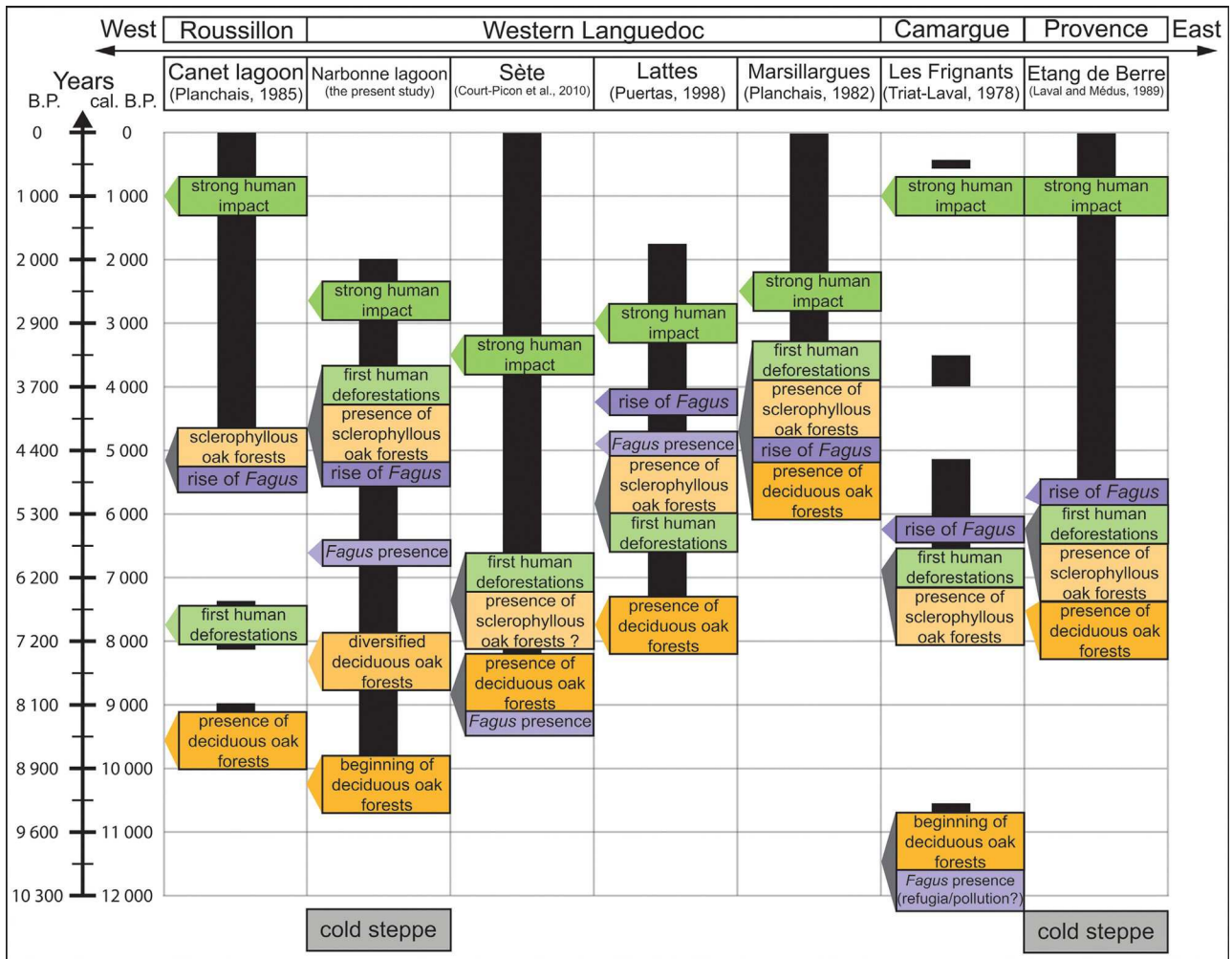


Fig. 6. Holocene time-lapse of main regional palynological events in the French Mediterranean basin, based on authors' explanations. For the chronology, only the present study and Court-Picon et al. (2010) consider the reservoir age (541 years for the Bages-Sigean lagoon and 600 years for the Sète lagoon). For the others, the event dates are based on their BP dating, except for Puertas (1998), for which the imprecise age-depth model forced us to construct a new model. Triangles precise the date of the recorded events, and grey triangles mean that several events are recorded at the same period. Black rectangles show the chronological limits of the studied cores.

This infill denotes an environment dominated by very competent fluvial flow. This environment is not favorable to pollen conservation, but several riparian species are nonetheless recorded (poplar and wild vine). A channel thus appears to flow towards the Bages-Sigean lakes during the course of this period, which seems to correspond to the beginning of the Holocene, according to the assemblages identified in P2 in comparison with other regional studies (Fig. 6). This is in accordance with the hypothesis of Verdeil (1970), Ambert (1993) and Grau and Rescanières (2000), who attribute the extension of a wide stony sheet at the base of the infilling under the lakes to the Tardiglacial or the very beginning of the postglacial period.

The Holocene transgression surface (described for example by Van Wagoner et al., 1990) is likely to be situated in the gap between U2a and U2b. The submergence of the early fluvial valley is linked to the rise in sea level and is marked by the establishment of a brackish environment with good freshwater supplies opening onto the sea. This could correspond to an estuarine lagoon opened by wide inlets (O1). This interpretation is corroborated by palynology, which records the appearance of wetland taxa (Cyperaceae, rushes) and salty taxa (Amaranthaceae) from this level onwards (P3).

The transition between a transgressive estuarine phase, characterized by both brackish microfauna (O1) and a low sedimentation rate, and a phase of immersion, characterized by both marine ostracods (O2) and a strong acceleration of

sedimentation, occurs during the 18.3–17.6 m interval, at the end of the Atlantic period (age confirmed by the first appearance of *Fagus* at around 18 m). Stable marine life conditions are clearly identified around 5000 cal. BP. The clayey sedimentation deposited by decantation, associated with the presence of still muddy seabed ostracods (*P. jonesi*), points to an environment sheltered from swell dynamics. The depth of the water is estimated at over 10 m in comparison with the base altitude at this period (shell date at 16.65 m) and the relative sea level given by regional reference curves (approximately between  $-1.6$  and  $-3$  m towards 5000 cal. BP according to Lambeck and Bard, 2000; Vella and Provansal, 2000; Morhange et al., 2001). We record a decline in freshwater aquatic plants such as the Cyperaceae and reeds, while the halophilic formations with Amaranthaceae remain constant. This observation implies that the freshwater wetlands (including riparian alder, poplars, willows and wild vine; P3–P4) migrated upstream, due to the marine transgression.

Alongside these natural coastal modifications, palynology provides evidence of the beginning of the anthropization of the environment at a regional scale. According to Pulido Avila (2006), The rise of *Fagus* in P4 is interpreted as due to first deforestations of mountain forests during the Final Neolithic or the Early Bronze Age, which promote beech growth to the detriment of the fir tree in Haut-Languedoc (Pulido Avila, 2006). This event is reported on regional studies approximately in the same period (Fig. 6). In the

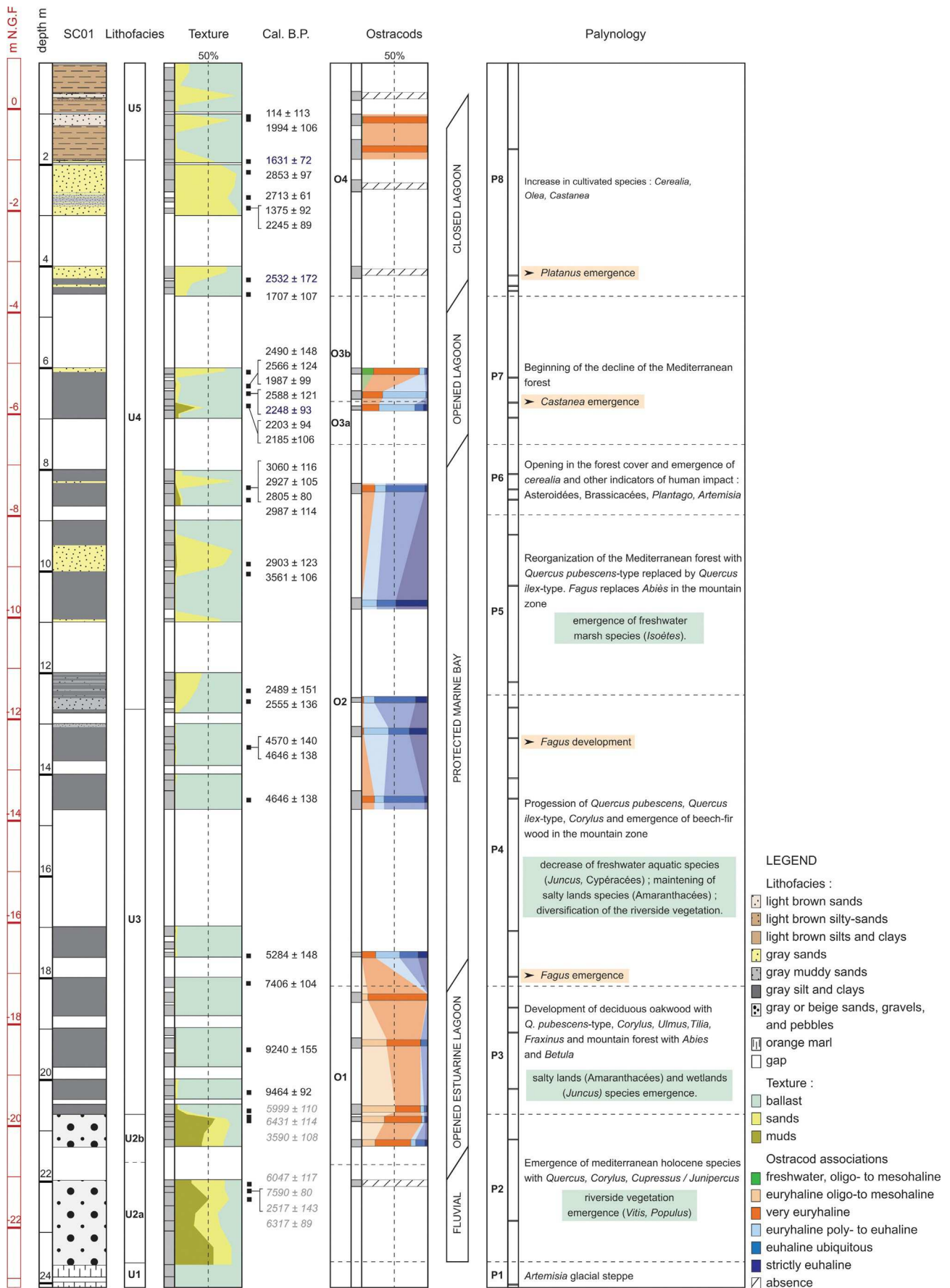


Fig. 7. Synthesis of the palynological and microfaunal analyses of the core SC01 and resulting palaeoenvironmental interpretation.

same way, the continuous presence of *Quercus ilex*-type in considerable proportions from 13 m onwards (P4), points to Final Neolithic and Early Bronze Age deforestation at low altitudes in the meso-Mediterranean zone, also evidenced in the Cévennes (Pulido Avila, 2006), in Provence (Triat, 1975) and in the Aude (Heinz and Thiébaud, 1998). The holm oak (*Quercus ilex*), which resists better to disturbances than the downy oak (*Quercus pubescens*), benefitted from forest clearance from the end of the Neolithic onwards throughout north Mediterranean regions (Reille and Pons, 1992). However, other studies record earlier human impact on vegetation (Fig. 6) and show that notable beginning of forest exploitation is not a homogeneous phenomenon but has an important local variability. In the Narbonne area, the records illustrate the onset of human activities from ca. 4600 cal. BP., from mountain zones to the Mediterranean coastline. This period corresponds to the Chalcolithic, characterized by the edification of abundant megaliths and the emergence of the Fontbouisse culture (Planchais and Thomas, 1989). From 9 m onwards (P6), anthropogenic activities (in particular agriculture with cereals and olive trees) are also recorded and took probably place in the alluvial plain.

A major environmental modification of the coastline is identified towards 6.8 m, at around 2500–2000 cal. BP. It is marked by the sharp decrease in marine ostracods and the rise in lagoon ones (O3), designating a reduction in exchanges with the sea. This change can be explained by the morphological closing of the system, pointing to the existence of a coastal bar separating the lagoon from the marine domain. However, the connections are still sufficient for species strictly adapted to marine salinity, such as *Carinocythereis whitei*, *Hiltermannicythere turbida* or *Costa edwardsi* that are not observed currently in the northern part of the Bages-Sigean lagoon. This is corroborated by the pollen record, which shows the persistence, then the expansion in P8 of halophilic steppes with Amaranthaceae. The appearance of freshwater ostracods during this period (O3b), associated with the increase in sandy detrital inputs, indicates a more marked continental influence, probably after the progradation of the Aude delta. At a regional scale, the study of the palaeovegetation shows that human groups intensified the exploitation of their territory (P8).

It is logical to assume that the presence of saline groundwater rendered the land unfit for agriculture and forced human populations to cultivate the land further upstream, in the alluvial plain, like in the Lez Delta (Puertas, 1998). The development of agriculture in the Languedoc Plain involved deforestation in order to exploit the available resources and create new arable lands. The lagoon edges were probably used for livestock husbandry, possibly with periods of transhumance in the mountains.

The last phase of evolution identified at the top of the sequence, at a depth of about 2.5 m, corresponds to the disappearance of marine ostracods (O4) and the transition between the gray and brown sedimentary facies. In relation to the previous phase, this phase depicts the isolation of the lagoon with regard to the sea and the silting up of the coring site as a result of fluvial alluviation. The transition between a simply protected lagoon configuration and an isolated stage in the process of drying out appears to occur progressively over the course of the first millennium of the Christian era. Ultimately, core lacunae may have hidden some one-time events, but do not seem to impact the general regional history.

## 6. Conclusion

The study of the Narbonne lagoon palaeoenvironments using a comparative approach combining sedimentary and biological markers records marked hydrological changes during the Holocene, in connection with the sea level rise and fluctuations in freshwater supplies from the Aude. Data bring to light the immersion of the Bages-Sigean Basin during the Atlantic period

in a transgressive context. A sheltered marine environment is recorded until about 2500 cal. BP, when the water body became progressively isolated from the sea and compartmentalized by the construction of sand bars. These interpretations back up the palaeoenvironmental reconstruction proposed for Bages by André and Ambert (1998). At different spatial scales, our data also highlight the development of Holocene vegetal landscapes following on from the steppic Pleistocene formations:

- local, with the appearance and the conservation throughout the Holocene of wetlands and sandy soils near the lagoon;
- regional, with the evolution of Mediterranean forests on the surrounding limestone massifs: the emergence of deciduous forests dominated by *Corylus* and *Quercus pubescens*-type, their diversification with *Fraxinus* and *Tilia*, then their mutation with the replacement of the downy oak by the holm oak in the meso-Mediterranean zone from 4600 cal. BP onwards;
- distant, with the evolution of mountain assemblages and in particular the development of forest formations with firs and birch, then their colonization by the beech tree from 6000 cal. BP onwards.

Lastly, the exploitation of forests from 4600 cal. BP onwards, then the deforestation of the Mediterranean oak stands and the rise in olive and cereal cultivation during Antic times provide reliable records of human activities. The sampling lacunae in the studied core, which prevent us from obtaining a more continuous record, form the main limitation of this study. The study of new cores is required to measure more accurately the evolution of past landscapes in the studied zone and to enhance our understanding of the impact of early human populations on these coastal environments.

## Acknowledgements

This work was financially backed by the Labex Archimède, “PIA ANR-11-LABX-0032-01”, and the research program “les ports antiques de Narbonne”, both led by the UMR 5140 CNRS “Archéologie des Sociétés Méditerranéennes”, Montpellier-Lattes. We thank Nick Marriner and an anonymous reviewer for their valuable comments and advices; their constructive feedback helped us to improve the original version of this article.

## References

- Alor'si, J.-C., Monaco, A., Planchais, N., Thommeret, J., Thommeret, Y., 1978. The Holocene transgression in the Golfe du Lion, southwestern France: paleogeographic and paleobotanical evolution. *Géographie Physique et Quaternaire* 32, 145–162.
- Ambert, P., 1993. Preuves géologiques de l'insularité du massif de la Clape pendant la transgression flandrienne. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences série II* 316, 237–244.
- André, J., Ambert, P., 1998. L'évolution des paléo-environnements holocènes de la lagune de Narbonne (Sud de la France) : apports de l'étude pluridisciplinaire du forage Peyriac 2. In: *L'Homme préhistorique et la mer : actes du 120<sup>e</sup> Congrès national des sociétés historiques et scientifiques*, CTHS, Paris, pp. 77–91.
- APG III, 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161, 105–121.
- Athersuch, J., Horne, D., Whittaker, J., 1989. Marine and Brackish-Water Ostracods (superfamilies Cypridacea and Cytheracea). *Keys and Notes for the Identification of the Species*. The Linnean Society of London and the Estuarine and Brackish-water Sciences Association, London (343 p.).
- Beaudouin, C., Jouet, G., Suc, J.P., Berné, S., Escarguel, G., 2007. Vegetation dynamics in southern France during the last 30 ky BP in the light of marine palynology. *Quaternary Science Reviews* 26, 1037–1054.
- Behre, K.E., 1981. The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen & Spores* 23, 225–245.
- Conedera, M., Krebs, P., Tinner, W., Pradella, M., Torriani, D., 2004. The cultivation of *Castanea sativa* (Mill.) in Europe, from its origin to its diffusion on a continental scale. *Vegetation History and Archaeobotany* 13, 161–179.
- Court-Picon, M., Vella, C., Chabal, L., Bruneton, H., 2010. Paléo-environnements littoraux depuis 8000 ans sur la bordure occidentale du Golfe du Lion : le lido de l'étang de Thau (carottage Setif, Sète, Hérault). *Quaternaire* 21, 43–60.

- de Beaulieu, J.L., 1977. Contribution pollenanalytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation des Alpes méridionales françaises (Ph.D. thesis). Université d'Aix-Marseille III, France.
- de Beaulieu, J.L., Pons, A., 1979. Recherches pollenanalytiques sur l'histoire de l'action humaine dans la région du Parc national des Cévennes. *Annales du Parc national des Cévennes* 1, 101-128.
- Ferrer, P., Benabdellouahed, M., Certain, R., Tessier, B., Barusseau, J.P., Bouchette, F., 2010. The Late Holocene sediment infilling and beach barrier dynamics of the Thau lagoon (Gulf of Lions, Mediterranean sea, SE France). *Bulletin de la Société Géologique de France* 181, 197-209.
- Fréchette, B., Bouchard, M.A., Richard, P.J.H., 1996. Le till pollinifère de la péninsule du Nunavik, Québec septentrional. *Géographie physique et Quaternaire* 50, 331-340.
- Frenzel, P., Boomer, I., 2005. The use of ostracods from marginal marine, brackish-waters as bioindicators of modern and Quaternary environmental change. *Palaeogeography Palaeoclimatology and Palaeoecology* 225, 68-92.
- Guernet, C., Lemeille, F., Sorel, D., Bourdillon, C., Berge-Thierry, C., Manakou, M., 2003. Les Ostracodes et le Quaternaire d'Aigion (golfe de Corinthe, Grèce). *Revue de Micropaléontologie* 46, 79-93.
- Guilaine, J., 1995. Temps et espace dans le bassin de l'Aude du Néolithique à l'Âge du Fer, ATP Grand Projets d'Archéologie Métropolitaine. Centre d'anthropologie de Toulouse, Toulouse (442 p.).
- Goery, C., 1997. GPWin : gestion, traitement et représentation des données de la paléocologie. In: Actes du XV<sup>e</sup> symposium de l'APLF Lyon, France, p. 31.
- Grau, M., Rescazières, S., 2000. Étude géomorphologique de la basse vallée de l'Aude : lithostratigraphie des formations de remplissage. Paléo-environnement du site de Montlaurès. (Mémoire de Maîtrise, Géographie Physique). Université Montpellier III, Montpellier (121 p.).
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologica Electronica* 4, 1-9.
- Heinz, C., Thiébaud, S., 1998. Characterization and palaeoecological significance of archaeological charcoal assemblages during late and postglacial phases in Southern France. *Quaternary research* 50, 56-68.
- Jalut, G., 1973. Evolution de la végétation et du climat de l'extrémité orientale des Pyrénées pendant le tardiglaciaire et le post-glaciaire. *Bulletin de l'AFEQ* 10, 55-68.
- Lachenal, A.-M., 1989. Écologie des ostracodes du domaine méditerranéen. Application au Golfe de Gabès (Tunisie orientale). Les variations du niveau marin depuis 30 000 ans. Documents du Laboratoire de Géologie de Lyon 108, (239 p.).
- Lambeck, K., Bard, E., 2000. Sea level change along the French Mediterranean coast for the past 30,000 years. *Earth and Planetary Science Letters* 175, 203-222.
- Laval, H., Médus, J., 1989. Analyse pollinique de sédiments du Quaternaire récent de l'Étang de Berre (Bouches-du-Rhône, France). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences série IIA* 309, 2135-2141.
- Laval, H., Médus, J., 1994. Palynological evidence for drier phases during the historical period recorded in the Étang de Berre lagoon, southeastern France. *Vegetation History and Archaeobotany* 3, 245-251.
- Laval, H., Médus, J., Roux, M., 1991. Palynological and sedimentological records of Holocene human impact from the Étang de Berre, southeastern France. *The Holocene* 1, 269-272.
- Laval, H., Médus, J., Parron, C., Simonnet, J.P., Trement, P., 1992. Late glacial and Holocene climate and soil erosion in southeastern France: a case study from Étang du Pourra, Provence. *Journal of Quaternary Science* 7, 235-245.
- Meisch, C., 2000. Freshwater Ostracoda of Western and Central Europe. *Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, Berlin* (521 p.).
- Morhange, C., Laborel, J., Hesnard, A., 2001. Changes of relative sea level during the past 5000 years in the ancient harbor of Marseilles, Southern France. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 166, 319-329.
- Muller, S.D., 2004. Palynological study of Antique shipwrecks from the western Mediterranean Sea, France. *Journal of Archaeological Science* 31, 343-349.
- Muller, S.D., Bruneton, H., Soulié-Marsche, I., Rey, T., Thiéry, A., Waterkeyn, A., Brendonck, L., Schevin, P., Yaverovski, N., Grillas, P., 2008. Long-term dynamics of a Mediterranean alkaline vernal pool (Rhône delta, southern France). *Wetlands* 28, 951-966.
- Nakagawa, T., Brugiapaglia, E., Digerfeldt, G., Reille, M., de Beaulieu, J.-L., Yasuda, Y., 1998. Dense-media separation as a more efficient pollen extraction method for use with organic sediment/deposit samples: comparison with the conventional method. *Boreas* 27, 15-24.
- Neale, J.W., 1988. Ostracods and palaeosalinity reconstruction. In: De Deckker, P., Colin, J.-P., Peypouquet, J.-P. (Eds.), *Ostracoda in the Earth Sciences*. Elsevier, Amsterdam, pp. 125-155.
- Öner, S., Planchais, N., 1976. Châtaigneraie: intérêt de l'approche palynologique pour l'étude du paléo-environnement languedocien. *Pollen and Spores* 18, 231-241.
- Planchais, N., 1973. Premiers résultats d'analyse pollinique de sédiments versiliens en Languedoc. In: *Le Quaternaire, Géodynamique, stratigraphie et environnement*, pp. 146-152. In: 9<sup>e</sup> Congrès international de l'INQUA, Christchurch, décembre 1973.
- Planchais, N., 1982. Palynologie lagunaire de l'Étang de Mauguio. Paléo-environnement végétal et évolution anthropique. *Pollen and Spores* 24, 93-118.
- Planchais, N., 1984. Palynologie lagunaire : l'exemple du Languedoc-Roussillon. *Annales de Géographie* 516, 268-275.
- Planchais, N., 1985. Analyses polliniques du remplissage holocène de la lagune de Canet (plaine du Roussillon, département des Pyrénées-Orientales). *Ecologia Mediterranea* 11, 117-127.
- Planchais, N., 1987. Impact de l'Homme lors du remplissage de l'estuaire du Lez (Palavas, Hérault) mis en évidence par l'analyse pollinique. *Pollen and Spores* 29, 73-88.
- Planchais, N., Duzer, D., 1978. Les pollens indicateurs de l'action anthropique aux alentours de l'étang de Mauguio (Hérault). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, série D* 287, 931-933.
- Planchais, N., Parra Vergara, I., 1984. Analyses polliniques de sédiments lagunaires et côtiers en Languedoc, en Roussillon et dans la province de Castellon (Espagne) *Bioclimatologie. Bulletin de la Société Botanique de France* 131, 97-105.
- Planchais, N., Thomas, J., 1989. La caractérisation palynologique de la période de Fontbousse dans la Plaine languedocienne. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, série D* 308, 265-268.
- Planchais, N., Duzer, D., Fontugne, M., 1991. Palynologie de dépôts holocènes de Lattes (Hérault). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, série IIA* 313, 1357-1360.
- Planchais, N., Renault-Miskovsky, J., Vernet, J.-L., 1977. Les facteurs de l'évolution de la végétation dans le sud de la France (côté à moyenne montagne) depuis le tardiglaciaire d'après l'analyse pollinique et les charbons de bois. *Approche Écologique de L'homme Fossile, Supplément AFEQ* 17, 323-327.
- Pons, A., Reille, M., 1988. The Holocene- and Upper Pleistocene pollen record from Padul (Granada, Spain): a new study. *Palaeogeography Palaeoclimatology* 66, 243-263.
- Pons, A., Toni, C., Triat, H., 1979. Édification de la Camargue et histoire holocène de sa végétation. *La Terre et la Vie, Revue d'écologie* supplément 2, 13-30.
- Puertas, O., 1998. Palynologie dans le delta du Lez, contribution à l'histoire du paysage de Lattes. *Lattara* 11, (182 p.).
- Pulido Avila, M.G., 2006. Conséquences de l'anthropisation sur la dynamique postglaciaire de la végétation dans le sud du Massif Central, France (Ph.D thesis). Université Paul-Cézanne, Aix-Marseille.
- 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 Société Géologique de France* 181, 211-224. Reille, M., 1990a. La tourbière de La Borde (Pyrénées-Orientales, France) : un site clé pour l'étude du tardiglaciaire sud-européen. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, série II* 310, 823-829.
- Reille, M., 1990b. Recherches pollenanalytiques dans l'extrémité orientale des Pyrénées : données nouvelles, de la fin du glaciaire à l'actuel. *Ecologia Mediterranea* 16, 317-357.
- Reille, M., Pons, A., 1992. The ecological significance of sclerophyllous oak forests in the western part of the Mediterranean Basin: a note on pollen analytical data. *Vegetatio* 99-100, 13-17.
- Reille, M., Andrieu, V., de Beaulieu, J.-L., 1996. Les grands traits de l'histoire de la végétation des montagnes méditerranéennes occidentales. *Ecologie* 27, 153-169.
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Haffidason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., 2013. IntCal13 and marine13 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55, 1869-1887.
- 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., 2010a. 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., Blanchemanche, P., Siani, G., Condomines, M., Bentaleb, I., Piquès, G., 2010b. Holocene variations of radiocarbon reservoir ages in a Mediterranean lagoonal system. *Radiocarbon* 52, 91-102.
- Siani, G., Paternò, M., Arnold, M., Bard, E., Métivier, B., Tisnerat, N., Bassinot, F., 2000. Radiocarbon reservoir ages in the Mediterranean Sea and Black Sea. *Radiocarbon* 42, 271-280.
- Stanley, J.D., 2001. Dating modern deltas: progress, problems and prognostics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 29, 257-294.
- Stuiver, M., Reimer, P.J., 1993. Extended 14C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. *Radiocarbon* 35, 215-230.
- Triat, H., 1975. L'analyse pollinique de la tourbière de Fos-sur-Mer (Bouches-du-Rhône). *Ecologia Mediterranea* 1, 109-121.
- Triat-Laval, H., 1978. Contribution pollenanalytique à l'histoire tardi- & postglaciaire de la végétation de la basse vallée du Rhône (Doctoral dissertation). Université Aix-Marseille III (343 p.).
- Triat-Laval, H., 1979. Histoire de la forêt provençale depuis 15 000 ans d'après l'analyse pollinique. *Forêt Méditerranéenne* 1, 19-24.
- Van Wagoner, J.C., Mitchum, R.M., Campion, K.M., Rahmanian, V.D., 1990. *Siliclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores and Outcrops: Concepts for High-Resolution Correlation of Time and Facies*. American Association of Petroleum Geologists, Methods in Exploration, 7. Barbara H. Lidzt, Tulsa.
- Vella, C., Provansal, M., 2000. Relative sea level rise and neotectonic events during the last 6500 yr on the southern eastern Rhône delta, France. *Marine Geology* 170, 27-39.
- Vella, C., Fleury, T.-J., Raccasi, G., Provansal, M., Sabatier, F., Bourcier, M., 2005. Evolution of the Rhône delta plain in the Holocene. *Marine Geology* 222-223, 235-265.
- Verdeil, P., 1970. Données nouvelles sur le Quaternaire de la basse vallée de l'Aude. *Bulletin de la Société Géologique de France* 7 (XII), 413-425.

# Évolution des paysages végétaux en Languedoc durant l'Holocène : apport de la palynologie à l'étude des milieux et des agrosystèmes

## Résumé :

Le contexte actuel du réchauffement climatique global et des questionnements sur les devenir des paysages rend nécessaire et urgente la compréhension des dynamiques passées, à long et moyen termes, de notre environnement. L'étude palynologique de deux carottages, prélevés dans les basses vallées de l'Aude (étang de Vendres) et de l'Hérault (étang du Bagnas), a été réalisée pour reconstituer finement l'histoire holocène des paysages végétaux, et analyser l'influence passée de l'anthropisation du Languedoc occidental. Les résultats obtenus apportent tout d'abord des éléments d'ordre méthodologique. L'identification d'un apport fluvial dans la vallée de l'Aude permet de reconstituer l'histoire de la végétation de l'arrière-pays (du Méso-Méditerranéen au Montagnard), et confirme l'intérêt de la palynologie lagunaire pour étudier les dynamiques de végétation sur de grands territoires. Les biais potentiels d'enregistrement et de taphonomie ont été analysés afin de limiter les erreurs d'interprétation. Sur un plan fondamental, nos données montrent que, durant l'Atlantique, au Mésolithique et au Néolithique ancien, le Languedoc est fortement boisé et dominé par la forêt décidue diversifiée dans les plaines et par le bouleau en montagne. Dès le Néolithique, des coupes forestières sont à l'origine de l'expansion du matorral et des pinèdes dans les plaines littorales, et du hêtre dans l'étage Montagnard. Dès cette époque, les activités humaines deviennent le moteur principal des dynamiques paysagères du Languedoc, tant à l'échelle locale que régionale, et conduisent au développement des formations paraclimaciques qui dominent actuellement la région.

## Abstract:

The current context of global warming and questions about the fate of landscapes make necessary and urgent the understanding of long and middle term dynamics of our environment. The palynological study of two cores taken from the lower valleys of the Aude (Vendres pond) and the Hérault (Bagnas pond), was carried out to reconstruct the Holocene history of landscapes and to analyze the past influence of anthropization of western Languedoc. First, the results obtained provide methodological elements. The identification of a fluvial pollen input in the Aude valley makes possible the reconstruction of vegetation history of the hinterland, and confirms the interest of the lagoon palynology to study vegetation dynamics over large territories. Potential recording and taphonomy biases were analyzed to limit interpretation errors. On a fundamental level, our data show that during the Atlantic, in the Mesolithic and Early Neolithic, Languedoc is heavily forested and dominated by diversified deciduous forests in the plains and birch forests in the mountains. Since the Neolithic, logging has led to the expansion of shrublands (matorrals) and pine preforests in the coastal plains, and beech forests in the mountains. From that time, human activities became the main control of landscape dynamics in Languedoc, both locally and regionally, and triggered the expansion of paraclimax formations that today dominate the region.