



**HAL**  
open science

# Dynamique de la végétation de la haute montagne des Pyrénées orientales et impact des sociétés du néolithique final au bronze moyen : analyse palynologique multi-sites et multi-indicateurs

Sandra Picart Casals

## ► To cite this version:

Sandra Picart Casals. Dynamique de la végétation de la haute montagne des Pyrénées orientales et impact des sociétés du néolithique final au bronze moyen : analyse palynologique multi-sites et multi-indicateurs. Archéologie et Préhistoire. 2018. dumas-01821672

**HAL Id: dumas-01821672**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01821672>**

Submitted on 17 Oct 2018

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License



MUSÉUM  
NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE



**DYNAMIQUE DE LA VÉGÉTATION DE LA  
HAUTE MONTAGNE DES PYRÉNÉES  
ORIENTALES ET IMPACT DES SOCIÉTÉS DU  
NÉOLITHIQUE FINAL AU BRONZE MOYEN :  
ANALYSE PALYNOLOGIQUE MULTI-SITES  
ET MULTI-INDICATEURS**



**Sandra PICART CASALS**

Encadrants : Yannick MIRAS (CNRS-HNHP), Nathalie COMBOURIEU-NEBOUT (CNRS-HNHP) et Magali DELMAS (UPVD-HNHP)

Mémoire de Recherche de Master 2 « Quaternaire et Préhistoire » de  
l'Université de Perpignan – Via Domitia. Année 2017-2018

Ce mémoire de recherche du Master 2 « Quaternaire et Préhistoire » de l'Université de Perpignan – Via Domitia, a été réalisé dans le cadre du stage de M2. Il s'est déroulé entre février et juin 2018 à l'Institut de Paléontologie Humaine (1, rue René Panhard, Paris). Le stage a été financé par le projet GO UP AND SEA (paysaGes préhistOriqUes et imPAct eNvironnemental Des SociEtés de la haute montAgne des Pyrénées Catalanes entre les VIe et IIe millénaires avant Jésus-Christ), programme ATM 2018, MHNH, dirigé par Yannick Miras.

Photo de couverture : zone humide de Conques de l'Avió (crédit : Santiago Riera)

## REMERCIEMENTS

---

J'aimerais tout d'abord exprimer ma plus sincère gratitude à mes encadrants de stage à Paris, Yannick Miras et Nathalie Combourieu-Nebout. Je souhaite les remercier pour tout le temps qu'ils m'ont accordé lors de mon stage et pour l'aide et les conseils avisés qui m'ont permis de m'améliorer tant sur le plan professionnel que personnel.

Je remercie également mon encadrante à Perpignan, Magali Delmas, pour sa confiance et pour tous les conseils apportés au cours des deux années de master.

Mes remerciements vont également à Sophie Grégoire, responsable du master, d'avoir permis la réalisation de ce stage « hors des sentiers battus ».

Ce travail a été rendu possible grâce au programme Action Transversale du Muséum National d'Histoire Naturelle ainsi qu'au programme MISTRALS. Les opérations de carottage ont été menées en 2011 dans le cadre du programme CARAMBAR de la Maison des Sciences de l'Homme de Clermont-Ferrand. Je leur exprime toute ma gratitude. Un grand merci également à Santiago Riera Mora i Ana Ejarque Montolio pour l'aide et les conseils apportés. J'adresse mes remerciements à Odile Peyron, Sandrine Canal et leur laboratoire (ISEM, Montpellier) pour le traitement physico-chimique des sédiments de la carotte KSGC-31 à Montpellier ainsi qu'à Alfredo Mayoral Pascual (GEOLAB UMR 6042 CNRS, Université Clermont Auvergne) pour la construction du diagramme âge-profondeur de Conques de l'Aviό.

Je souhaite également exprimer ma gratitude à Vincent Lebreton et Sahbi Jaouadi pour toute leur aide, sans oublier Julien Azuara et Mostafa Kharbouch pour leurs précieux conseils.

Je souhaite remercier très spécialement Anne-Sophie Lartigot-Campin pour son encadrement pendant la première année de master et pour m'avoir formé à la palynologie tout au long des deux années de master.

Je voudrais aussi exprimer ma gratitude à tout le personnel de l'IPH et du CERPT, sans oublier mes collègues de master, Clémentine Champalle, Alex Alladio et Théo Reixach grâce auxquels cette expérience a été encore plus enrichissante.

Mes sincères remerciements à Chantal, Nicolas et Clélia Betton qui m'ont accueilli chez eux en faisant de Paris mon « chez moi » pendant les 5 mois de stage.

*El meu agraïment més profund als meus pares, Josep i Lluïsa, i al meu germà, Sergi. A tota la meva família i als amics « d'ici et d'ailleurs ». A José Arlandis per tot el camí recorregut junts i pel que ens queda plegats. Sense el suport de tots vosaltres de ben segur que aquest viatge no hauria estat el mateix.*

Merci à toutes et à tous. *Gràcies a totes i a tots.*

# SOMMAIRE

---

1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS .....	6
2. ETAT DE L'ART.....	8
2.1. SYNTHÈSE SUR L'HISTOIRE DE LA VÉGÉTATION DE LA HAUTE MONTAGNE DES PYRÉNÉES ORIENTALES D'APRÈS LA PALYNOLOGIE .....	8
2.2. SYNTHÈSE SUR L'ANTHROPISATION DES ESPACES DE HAUTE MONTAGNE DES PYRÉNÉES ORIENTALES D'APRÈS LA PALYNOLOGIE .....	10
3. CONTEXTE GÉNÉRAL D'ÉTUDE.....	12
3.1. LES PYRÉNÉES ORIENTALES .....	12
3.2. LE GOLFE DU LION.....	13
3.3. VÉGÉTATION ACTUELLE.....	14
3.4. APPORTS POLLINIQUES .....	15
4. MATÉRIEL.....	16
4.1. LA FENÊTRE « AMONT » : LA ZONE HUMIDE DE CONQUES DE L'AVIÓ .....	16
4.1.1. Prélèvement et échantillonnage de la carotte .....	17
4.1.2. Datation radiocarbone de la séquence .....	18
4.2. LA FENÊTRE « AVAL » : LE CAROTTAGE KSGC-31 .....	19
4.2.1 Prélèvement et échantillonnage de la carotte .....	19
4.2.2 Datation radiocarbone de la séquence .....	19
5. METHODOLOGIE.....	21
5.1. LA PALYNOLOGIE .....	21
5.1.2. L'anthropisation des milieux naturels .....	21
5.2. TRAITEMENT PHYSICO-CHIMIQUE.....	23
5.2.1. Conques de l'Aviό.....	23
5.2.2. La carotte KSGC-31 .....	24
5.3. IDENTIFICATION, COMPTAGE ET CALCUL DES POURCENTAGES .....	25
5.4. CONSTRUCTION DES DIAGRAMMES .....	26
5.5. CONSTRUCTION DU MODÈLE ÂGE-PROFONDEUR .....	26
6. RESULTATS .....	27

6.1. CONQUES DE L'AVIÓ.....	27
6.1.1 Modèle âge-profondeur.....	27
6.1.2 Résultats des analyses palynologiques.....	28
6.2. CAROTTAGE KSGC-31.....	31
6.2.1 Modèle âge-profondeur.....	31
6.2.2 Résultats des analyses palynologiques.....	32
7. DISCUSSION.....	35
7.1. CONQUES DE L'AVIÓ.....	35
7.2. CAROTTAGE KSGC-31.....	41
7.3. COMPARAISON DES ANALYSES PALYNOLOGIQUES DE CONQUES DE L'AVIÓ ET DE LA CAROTTE KSGC-31.....	44
8. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	46
BIBLIOGRAPHIE.....	48
INDEX DE FIGURES ET TABLEAUX.....	60
ANNEXES.....	63
Annexe 1. Schéma sur l'étagement de la végétation dans les Pyrénées orientales.....	63
Annexe 2. Sélection de grains de pollen identifiés lors de l'analyse.....	64
Annexe 3. Sélection de microfossiles non-polliniques identifiés lors de l'analyse.....	65

# 1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS

---

Les premières recherches sur l'histoire de la végétation et du climat des Pyrénées orientales sur la longue durée sont attribuées au biogéographe H. Gaussen en 1926. En revanche, les premières analyses polliniques sont menées plus tardivement sur le versant nord des Pyrénées orientales, avec les analyses de la tourbière de Pinet, situé à 880 m d'altitude (Keller, 1929 ; Dubois et Dubois, 1946) et du lac de Balcère à 1764 m d'altitude (Cohen, 1969). Toujours dans la partie française de la chaîne pyrénéenne orientale, les analyses palynologiques de dépôts lacustres et tourbeux, situés dans les étages subalpin et montagnard des bassins versants de la Têt, du Tech et de l'Aude, se multiplient par la suite, ce qui permet la reconstitution des grands traits de l'évolution de la végétation et du climat depuis le Tardiglaciaire jusqu'à une période subactuelle dans les Pyrénées orientales (Jalut, 1974 ; 1977 ; Reille, 1990, Reille et Lowe, 1993 ; Guiter *et al.*, 2005).

Une seconde étape dans les recherches palynologiques porte sur la caractérisation des rythmes et des types d'anthropisation des espaces de la montagne pyrénéenne (Galop, 1998). Les premiers impacts anthropiques sur les paysages végétaux montagnards sont mis au jour dès le Néolithique et sont le résultat d'activités agrosylvopastorales menées au cours du temps avec des rythmes et des intensités variables. Cette analyse des processus d'anthropisation des espaces et de construction des paysages de la montagne pyrénéenne a été permise par le développement, dès les années 90, de recherches véritablement interdisciplinaires combinant les approches paléoenvironnementales et archéologiques (Rendu *et al.*, 1995 ; Galop, 1998 ; Palet *et al.*, 2007 ; Orengo *et al.*, 2014).

Ainsi, il a été constaté qu'à partir du Néolithique, la végétation évoluait sous l'influence non seulement de forçages naturels mais aussi anthropiques, ce qui fut établi à partir de la caractérisation des activités humaines (défrichement, agropastoralisme) grâce à l'observation des indices polliniques d'anthropisation dans les diagrammes polliniques (Behre, 1981). C'est à partir du Néolithique que ces paysages végétaux doivent être considérés comme des paysages culturels de montagne, c'est à dire de véritables socioécosystèmes (Turner *et al.*, 2003), modélés par les activités humaines et qu'il faut appréhender dans toutes leurs variabilités spatiales et temporelles. De façon à comprendre leur genèse et leur trajectoire au cours du temps, des recherches paléoenvironnementales ont été menées à haute résolution spatiale et temporelle sur le versant sud des Pyrénées et dans une approche dite multi-proxy, c'est-à-dire en se fondant sur la complémentarité de différents indicateurs paléoécologiques (pollen, spores, microfossiles non polliniques). Une confrontation systématique des données palynologiques et archéologiques préside également à ces recherches (Miras *et al.*, 2007 ; Ejarque *et al.*, 2010, Ejarque, 2011).

Dans le cadre du projet « GO UP AND SEA », le travail présenté ici s'inscrit dans ce courant de la recherche paléoenvironnementale axée sur l'étude de l'évolution des interactions socioenvironnementales au cours du temps. L'objectif est de bien

comprendre la configuration diachronique d'un paysage culturel de haute montagne en caractérisant les changements de la végétation qui ont affecté les étages subalpin et alpin des Pyrénées orientales, entre le Néolithique et l'Age du Bronze.

De façon à obtenir des restitutions affinées de la végétation des étages subalpins et alpins, ce travail propose d'adopter, outre cette approche dite multi-proxy, une approche palynologique fondée sur la comparaison de séquences paléoenvironnementales complémentaires distribuées le long d'un transect terre-mer. En zone amont, en montagne, nous proposons d'étudier une petite zone humide, située à la limite entre les étages alpin et subalpin, dont le bassin versant est réduit et dont l'aire de captation pollinique est spatialement plus réduite. Ce site est comparé à un enregistrement marin, plus intégrateur et dont l'aire de captation pollinique est régionale. La comparaison des deux séquences permettra ainsi de mieux interpréter les changements de végétation aux échelles locales et régionales. Cette approche, déjà appliquée en Italie par Mercuri *et al.* (2012), aidera à la discrimination entre forçages naturels et anthropiques ayant influencé sur les dynamiques de la végétation.

L'objectif de ce travail est donc d'analyser les changements de la végétation dans la haute montagne pyrénéenne et d'évaluer la portée locale et/ou régionale des changements enregistrés dans le cadre d'une démarche comparative articulée le long d'un transect terre-mer, et de tenter de déterminer les facteurs de contrôles climatiques et anthropiques. Il s'agira plus spécifiquement d'analyser :

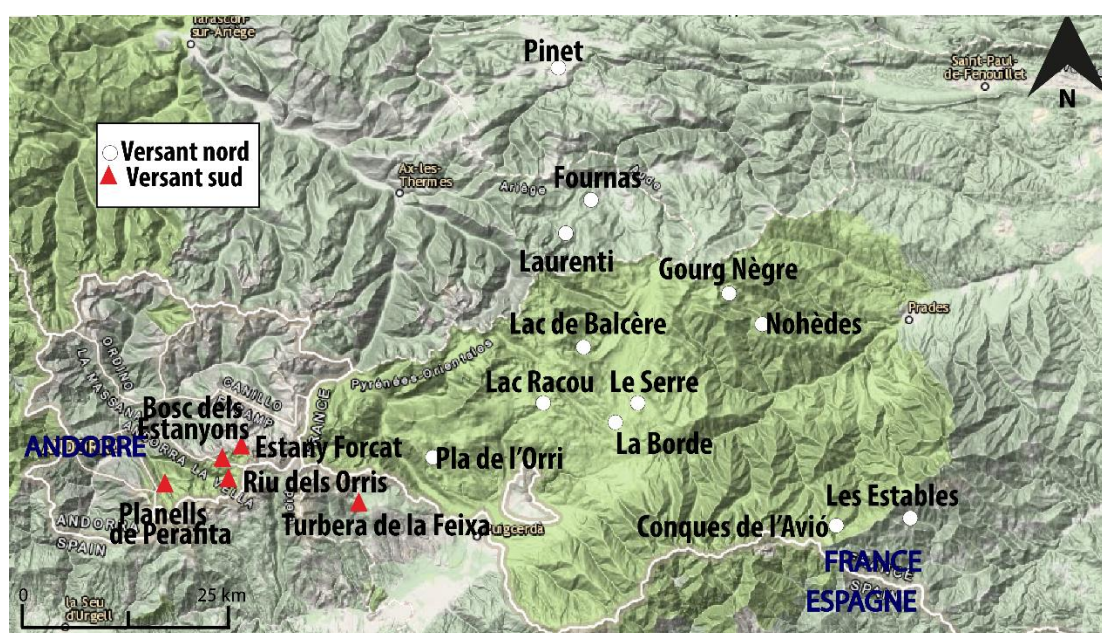
- les périodes d'expansion et de recul en altitude des groupements de végétation d'altitude, en particulier des pinèdes et des pelouses subalpines et alpines,
- la variation de la limite supérieure de la forêt,
- les premiers impacts anthropiques sur les changements de la végétation et le rôle des sociétés du Néolithique et du Bronze dans la construction des paysages culturels de montagne,
- le synchronisme (ou les variabilités) de la dynamique de la végétation d'altitude enregistré dans le site de montagne et de la végétation régionale enregistrée en mer dans une carotte proche des côtes,
- le degré de sensibilité des deux types d'enregistrements paléoenvironnementaux –zone humide et mer- par rapport aux changements climatiques et anthropiques

Ce travail présentera dans un premier temps une synthèse sur l'évolution de la végétation pendant l'Holocène dans la haute montagne des Pyrénées orientales en lien avec les variations climatiques et/ou les activités humaines. Dans un deuxième temps, après avoir présenté les cadres physique, climatique et environnemental des sites d'études, la méthodologie employée sera détaillée. Les résultats sont ensuite décrits puis discutés et suivis par les conclusions et les perspectives finales.



## 2. ETAT DE L'ART

Cette partie présente une synthèse sur l'évolution de la végétation depuis l'Épipaléolithique (ca. 11000 cal BP) jusqu'au Bronze final (ca. 3000 cal BP) ainsi que sur les premiers impacts anthropiques attestés par la palynologie dès le Néolithique dans la haute montagne des Pyrénées orientales. Nous précisons que les sites polliniques utilisés pour cette synthèse sont plus nombreux sur le versant nord que sur le versant sud en raison d'un plus grand nombre de recherches pollenanalytiques (figure 1). Nous précisons que les dates ont dû être calibrées (2 sigmas) pour les études les plus anciennes, toutes se présentent en cal BP.



**Figure 1.** Localisation des principaux sites polliniques des Pyrénées orientales enregistrant des séquences holocènes et situation du site analysé dans ce mémoire (Conques de l'Aviò) : en Andorre, Estany Forcat (2531 m), Riu dels Orris (2390 m), Planells de Perafita (2240 m) et Bosc dels Estanyons (2180 m). En Cerdagne, Turbera de la Feixa (2150 m) et Pla de l'Orri (2150 m). En Conflent, La Borde (1660 m), Le Serre (1760 m), Lac Racou (2000 m), Lac de Balcère (1764 m), Gourg Nègre (2080 m) et Nohèdes (1680 m). En Vallespir, Les Estables (1750 m). En Ariège, Ruisseau du Laurenti (1860 m), Fournas (1510 m) et Pinet (880 m).

### **2.1. SYNTHÈSE SUR L'HISTOIRE DE LA VÉGÉTATION DE LA HAUTE MONTAGNE DES PYRÉNÉES ORIENTALES D'APRÈS LA PALYNOLOGIE**

Durant le Dryas récent (ca. 12900-11600 ± 100 cal BP), la végétation steppique domine encore les pelouses d'altitude sur les deux versants des Pyrénées orientales comme l'attestent les sites de l'Estany Forcat (2531 m) et du Ruisseau du Laurenti (1860 m) (Guiter *et al.*, 2005 ; Ejarque, 2011). Cependant, les conditions humides du début de

l'Holocène (entre 11500 et 700 cal BP) (Jalut *et al.*, 2009) permettent une diversification progressive de la végétation arbustive qui commence peu à peu à remplacer la végétation steppique dans les étages supérieurs des deux versants (Reille, 1990 ; Reille et Lowe, 1993 ; Guiter *et al.*, 2005 ; Ejarque, 2011).

Dans l'étage subalpin, la première colonisation des pins à l'étage subalpin jusqu'à 2200 m, intervient dans la vallée du Madriu (Bosc dels Estanyons, 2180 m) au cours de l'amélioration climatique du début de l'Holocène (à partir de 11200 cal BP). La pinède s'y consolide vers 10300 cal BP (Miras *et al.*, 2007). Cela contraste avec la vallée voisine où cette première colonisation a lieu plus tardivement, à partir de 8500 cal BP (Planells de Perafita, 2240 m, Miras *et al.*, 2010). Sur le versant nord (Ruisseau du Laurenti, 1860 m), l'observation régulière de stomates de pin signalent la présence de la pinède vers 9400±100 cal BP (Reille et Lowe, 1993). Ainsi, se produit une montée progressive de la limite supérieure de la forêt qui atteint l'altitude de l'Estany Forcat (2530 m) à partir de 9650 cal BP (Ejarque, 2011). Plus tard, entre 8300 et 7950 cal BP, la limite supérieure de la forêt redescend sur le versant sud (Estany Forcat, à Bosc dels Estanyons et à Planells de Perafita) en réponse à une dégradation climatique corrélée à l'événement à 8.2 ka BP (Ejarque, 2011). Cette oscillation climatique a aussi été enregistrée dans d'autres sites des Pyrénées centrales, comme l'Estany Redon (2240 m) et des Pyrénées occidentales, comme à El Portalet (1802 m) (Pla et Catalan, 2005 ; González-Sampériz *et al.*, 2006). Après cette pulsation froide vers 7750 cal BP, les pinèdes retrouvent leur place jusqu'à 2350 m dans la vallée du Madriu (Ejarque, 2011). Au cours de l'Holocène moyen et récent, l'altitude de la limite supérieure de la forêt baisse plusieurs fois en lien avec des causes climatiques et anthropiques comme vers 6000 cal BP sur le versant nord des Pyrénées orientales (e.g. Nohèdes, 1680 m, La Borde, 1660 m, et les Estables I, 1750 m) (Jalut, 1977), et entre 4950-3600 cal BP puis autour de 3000 cal BP dans les sites de la vallée du Madriu (Ejarque, 2011).

Dans l'étage montagnard, le début de l'expansion des sapinières se produit sur les deux versants à partir de 9700 et 9200 cal BP approximativement : 9543-8647 cal BP à Ruisseau de Laurenti (1860 m), à 9138-8434 cal BP à Pinet (880 m) (Reille et Lowe, 1993 ; Guiter *et al.*, 2005) et à 9500 cal BP dans la vallée du Madriu (Ejarque, 2011). Les sapinières sont les formations dominantes jusque vers 2000 m d'altitude, à la moitié de l'Atlantique (ca. 8000-4500±100 cal BP), comme le montrent plusieurs sites du versant nord (e.g. Nohèdes, 1680 m, La Borde, 1660 m, et les Estables I, 1750 m) (Jalut, 1977). Leur expansion maximale est atteinte vers 6792-6443 cal BP à Balcère, à 6010-5735 cal BP à Les Sagnes de Balcère et à 5917-5449 cal BP à Le Serre (Reille et Lowe, 1993). A la même altitude, les premières apparitions du hêtre sont observées à partir de 5050-4200 cal BP approximativement, dans toute la partie orientale de la chaîne (Reille et Lowe, 1993 ; Galop, 1998 ; Ejarque, 2011). Mais la véritable expansion du hêtre se fait plus tardivement, vers 3642-3380 cal BP à Balcère (1764 m), à 4300-3704 cal BP à Fournas (1510 m) et à 3926-3064 cal BP au Gourg Nègre (2080 m) (Reille et Lowe, 1993).

## **2.2. SYNTHÈSE SUR L'ANTHROPISATION DES ESPACES DE HAUTE MONTAGNE DES PYRÉNÉES ORIENTALES D'APRÈS LA PALYNOLOGIE**

A partir du Néolithique ancien (ca. 8350-6300 cal BP), les premières évidences d'impact anthropique sont enregistrées, d'après les données palynologiques, vers 7600 cal BP. Une ouverture du couvert forestier subalpin semble alors liée à la fréquentation humaine (Riu dels Orris, 2390 m), qui s'intensifie à partir de 7000 cal BP (Estany Forcat, 2531 m, Ejarque, 2011). Ainsi, les ouvertures successives du paysage subalpin suivies par les recolonisations forestières du Néolithique ancien sont dues à des activités pastorales itinérantes de type « landnam » (Iversen, 1941). Aux altitudes moyennes et basses, les premières évidences de pratiques agricoles sont pointées sur le versant nord vers 7150 cal BP dans les sites de Sagnes de Balcère, à 1670 m, (Reille, 1990) et le Lac Racou, à 2000 m (Guiter *et al.*, 2005), et le versant sud, vers 7325 cal BP à Estany Forcat (Ejarque, 2011), vers 7250 cal BP à Planells de Perafita (Miras *et al.*, 2010) et vers 7550 cal BP à Riu dels Orris (Ejarque, 2011).

Pendant le Néolithique moyen (ca. 6300-5450 cal BP), la pression anthropique de caractère pastoral augmente également mais sont seulement observées sur les pelouses du versant sud, de la vallée du Madriu, dans les Pyrénées andorranes (Ejarque, 2011). Les pinèdes des deux versants subissent des défrichements importants, comme le montrent les sites du Ruisseau du Laurenti à 1860 m (Jalut *et al.*, 1996) ou ceux des vallées andorranes, comme le site de Planells de Perafita (Miras *et al.*, 2010). Les cultures céréalières situées dans les zones de plus basse altitude se développent vers 5050-4850 cal BP : Turbera de la Feixa, 2150 m, Pla de l'Orri, 2150 m (Gómez et Esteban, 1993; Esteban, 1995) et Gourg Nègre, 2080 m (Reille et Lowe, 1993 ; Galop, 1998). C'est enfin autour de 5250 cal BP que se produit l'expansion des activités agrosylvopastorales dans toute la chaîne pyrénéenne (Galop, 2006).

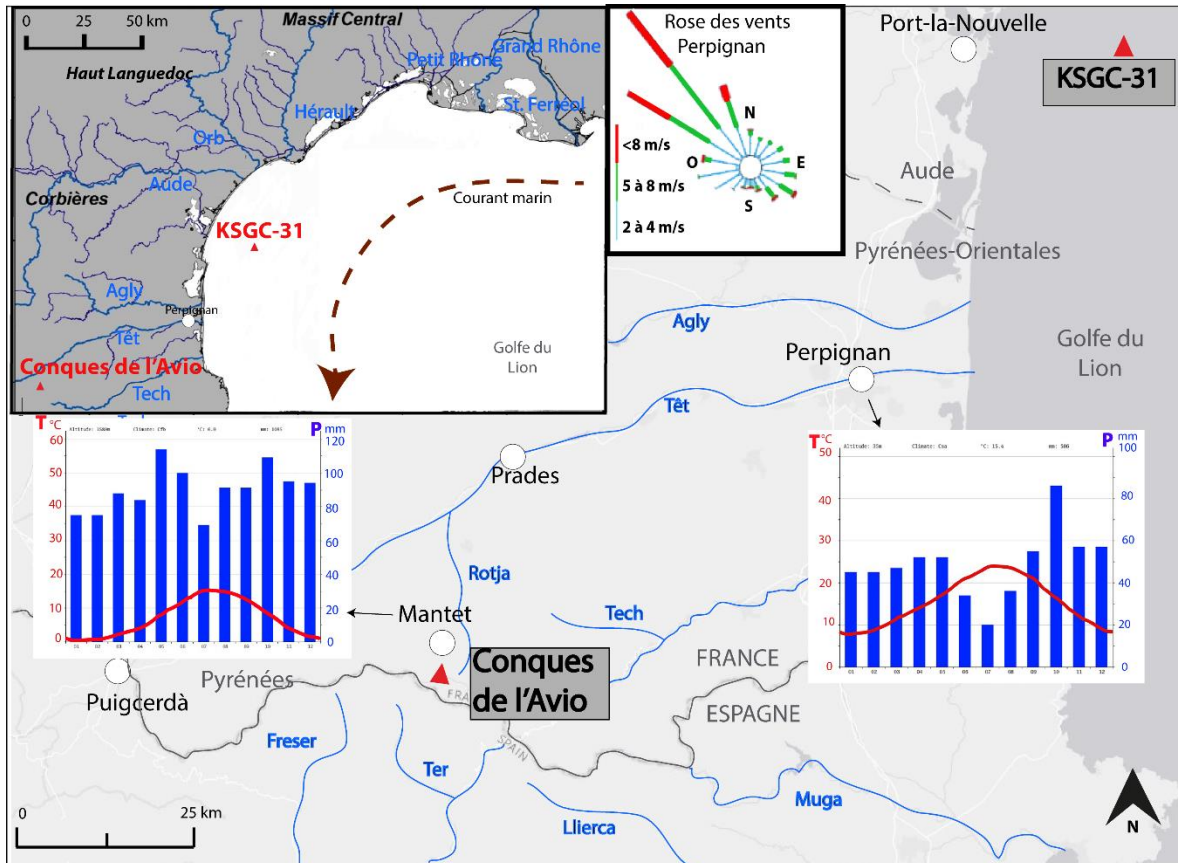
Entre le Néolithique final et le Bronze (ca. 4950 et 3600 cal BP), il se produit une intensification de la pression humaine de type pastoral qui intensifie le développement des pelouses subalpines et alpines et l'ouverture des pinèdes subalpines. Tout ceci témoigne d'une hausse de la fréquentation humaine à vocation pastorale, dans les étages alpins et subalpins de la vallée du Madriu (Ejarque, 2011). Sur le versant nord, vers 3800 BP, les indicateurs polliniques d'anthropisation indiquent une fréquentation des troupeaux de plus en plus importante près des sites du Pla de l'Orri, à 2150 m (Galop, 1998) et du lac Racou, à 2000 m (Guiter *et al.*, 2005). Vers 3600 cal BP cette pression pastorale est plus modérée dans les zones les plus élevées de la vallée du Madriu, comme à l'Estany Forcat situé à 2531 m (Ejarque, 2011).

Enfin, vers 3000 cal BP, le recul des formations forestières des étages subalpin et montagnard dans la vallée du Madriu est causé par les activités humaines (Ejarque, 2011). Toutefois, pendant la dernière phase de cette période, entre 2650 et 2350 cal BP, la pinède se développe de nouveau à l'étage subalpin car la pression pastorale impacte davantage

les pelouses alpines à cette époque. Ceci témoigne d'une structuration plus complexe du paysage montagnard en raison d'une occupation différenciée à échelle micro locale (Ejarque, 2011).

### 3. CONTEXTE GENERAL D'ETUDE

Les deux carottes étudiées dans le cadre de ce mémoire sont situées dans le sud de la France, l'une en haute montagne, dans les Pyrénées orientales, et l'autre, en mer Méditerranée, dans le Golfe du Lion (figure 2).



**Figure 2 - Localisation géographique des deux carottes étudiées, Conques de l'Aviò et KSGC-31, avec la rose des vents de la région (NO, Tramontane ; N, vent de Narbonne ; NE, Grecale ; E, Levant ; SE, Marinade ; S, Sirocco ; SO, vent d'Espagne ; O, Ponant) et les climatogrammes de Mantet et Perpignan (T, en rouge = température en °C - P, en bleu = précipitations en mm).**

#### 3.1. LES PYRÉNÉES ORIENTALES

La chaîne des Pyrénées s'étend sur plus de 400 km depuis la Mer Cantabrique jusqu'à la Mer Méditerranée. La partie la plus orientale de la chaîne englobe non seulement la zone géographique du département éponyme, mais aussi la zone de haute montagne de la Catalogne et la partie la plus méridionale de l'Ariège. Les principaux sommets du secteur oriental des Pyrénées sont le Canigou (2785 m), le Puigmal (2909 m) et le Carlit (2921 m). Plusieurs cours d'eaux, rivières et fleuves naissent dans la chaîne orientale des Pyrénées. Sur le versant nord, les principaux fleuves sont la Têt et le Tech ; sur le versant sud, le Freser, le Ter, le Sègre et la Valira sont les cours d'eau les plus

importants. Le site de Conques de l'Aviό dans lequel a été prélevé la carotte continentale de ce mémoire se situe dans la haute vallée de la Têt (figure 2).

Dans les Pyrénées orientales, l'étagement altitudinal induit une grande diversité spatiale du climat et donc de la végétation. Ainsi le climat du versant nord des Pyrénées orientales est méditerranéen sur le littoral et devient montagnard en altitude avec des conditions plus froides et plus humides. Le caractère méditerranéen est renforcé sur le versant sud, plus chaud et sec. Le versant nord, sur lequel notre enregistrement sédimentaire a été prélevé, enregistre un ensoleillement annuel de 2750 h (Kessler et Chambraud, 1986 cité par Delmas, 2009) et entre 700 et 900 mm de précipitation moyenne annuelle (Météorologie Nationale de la France, 1988 cité par Delmas, 2009). Les données de la station météorologique de Mantet à 1589 m d'altitude, témoignent des précipitations importantes toute l'année avec des températures moyennes annuelles assez faibles. Le vent dominant de la région, la Tramontane, provenant du nord-ouest peut également favoriser les fortes précipitations (figure 2).

### **3.2. LE GOLFE DU LION**

Le Golfe du Lion se situe dans le nord-ouest de la Mer Méditerranée (figure 2), dans la zone délimitée par l'extrémité orientale de la chaîne pyrénéenne, le Cap de Creus, et le Cap Sicié, dans le Var. Le Golfe du Lion reçoit les apports sédimentaires apportés par le Rhône et par d'autres petits fleuves comme l'Hérault, l'Orb, l'Aude, l'Agly, la Têt et le Tech (Bassetti *et al.*, 2016).

Le Golfe du Lion est soumis à un climat de type méditerranéen caractérisé par des températures élevées et une sécheresse importante en été qui contraste avec les hivers doux et une humidité plus marquée pendant le printemps, l'automne et l'hiver (Daget, 1977). Les données météorologiques actuelles de Perpignan (figure 2), illustrent le climat de la plaine littorale typiquement méditerranéen caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle de 600 mm avec une sécheresse estivale de trois mois et des températures moyennes assez élevées en été et jamais inférieures à 0° en hiver.

Le Golfe du Lion a aussi un caractère venteux prononcé : le Mistral, dans la vallée du Rhône, la Provence et la Camargue, et la Tramontane, en Catalogne et en Languedoc (figure 3). En conséquence, le climat est fortement influencé par les vents provenant du nord-ouest (Tramontane). Cette circulation est également impactée par l'arrivée d'eau douce des fleuves et par les tourbillons qui se produisent sporadiquement tout au long de la côte (Pairaud *et al.*, 2012).

### **3.3. VEGETATION ACTUELLE**

La végétation de la région des Pyrénées orientales et du littoral sud-ouest du Golfe du Lion est étagée en zones guidées par les variations de température et de précipitation en fonction de l'altitude, depuis l'étage mésoméditerranéen, aux basses latitudes, jusqu'aux étages subalpin et alpin, les plus élevés (voir annexe 1). Ces derniers seront décrits en premier et plus précisément car ils correspondent à l'environnement le plus proche du site d'étude montagnard :

- L'étage alpin (3000-2100 m), est assez sec dans cette partie des Pyrénées et correspond au domaine des pelouses, des éboulis, des rochers et des combes à neige. Ce sont les pelouses d'altitude qui prédominent et dont la distribution varie en fonction du substrat. Sur les pelouses acidophiles, la classe phytosociologique dominante est la *Caricetea Curvulae*, dont le seul ordre est *Caricetalia Curvulae*. Sur les pelouses calcaires, la végétation appartient à la classe des *Elyno-Seslerietea*, ordre des *Seslerietalia coeruleae*. Les mégaphorbiées y sont rares ou absentes. Les reposoirs à troupeaux, présents jusqu'aux sommets sont composés des groupements nitrophiles-rudéraux appartenant à la classe des *Rudereto-Secalinetea* et à l'ordre des *Chenopodiotalia* (Braun-Blanquet, 1948).
- L'étage subalpin (2300-1500 m) se caractérise par les landes à *Rhododendron*, à *Vaccinium*, à *Loiseleuria*, et à *Genista Purgans* et par les forêts de conifères acidophiles de la classe des *Vaccinio-Piceetea*, ordre des *Vaccinio-Piceetalia*, avec les alliances des *Rhodoreto-Vaccinion*, *Loiseleurieto-Vaccinion* et *Genisteto-Arctostaphyletum* (Braun-Blanquet, 1948). La strate arborée de cet étage est principalement constituée par les forêts de pin à crochets (*Pinus uncinata*). Le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) se développe dans les parties inférieures, à la limite de l'étage montagnard. Le hêtre (*Fagus sylvatica*) y est absent et le sapin (*Abies alba*) rare. A la base de l'étage subalpin, quelques bouleaux (*Betula pendula* et *Betula pubescens*) sont présents. Les autres formations retrouvées sur le versant nord des Pyrénées orientales, plus humide que le versant sud, sont caractérisés par une présence plus importante des rhodoraies et des mégaphorbiées. En revanche, le versant sud, à tendance plus oroméditerranéenne, se caractérise davantage par la présence de pins à crochets, accompagné du Raisin d'ours (*Arctostaphylos uva-ursi*) (Gruber, 1981).
- L'étage montagnard (1700-800 m) est le domaine des hêtraies, des hêtraies-sapinières, des sapinières et des pinèdes à pin sylvestre (Gruber, 1981).
- L'étage collinéen à nuances atlantiques (800-0 m) est observé surtout sur le versant nord. Avec des conditions plutôt océaniques, la chênaie acidiphile en est le principal représentant (Ozenda, 1975 ; Gruber, 1981 ; Quézel et Médail, 2003).



- L'étage supraméditerranéen (1200-600 m) abrite les chênaies pubescentes à buis et des pinèdes (Ozenda, 1975 ; Gruber, 1981; Quézel et Médail, 2003).
- L'étage mésoméditerranéen (600-0 m) est découpé en deux sous-étages : l'inférieur (ca. 300-0 m) avec le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et le chêne liège (*Quercus suber*), et le supérieur (ca. 600-300 m) caractérisé par la présence des chênes verts (*Quercus ilex* et *Quercus rotundifolia*) (Ozenda, 1975 ; Gruber, 1981 ; Quézel et Médail, 2003).

### **3.4. APPORTS POLLINIQUES**

Les grains de pollen enregistrés dans les carottages continentaux en altitude et dans les carottages marins proviennent de zones différentes. Généralement, la pluie pollinique enregistrée dans les zones humides de petite superficie et au bassin versant réduit, comme Conques de l'Aviό, est principalement issue de la végétation locale (Jacobson et Bradshaw, 1981). De ce fait, les taxons polliniques hygrophytiques et aquatiques y sont fortement représentés de même que les formations végétales d'altitude (pinède et pelouses subalpines et alpines). Les grains de pollen arrivent à la mer via les vents et les cours d'eau, puis ils se déposent sur les fonds marins avec les autres éléments de la neige marine ; ils sont parfois transportés sur de courtes distances par les courants marins avant d'être déposés (Mudie et McCarthy, 2006). Dans le nord-ouest de la Méditerranée, les vents dominants proviennent surtout du nord-ouest (figure 2) et peuvent acheminer les grains de pollen depuis les Corbières et le Haut Languedoc, les plus proches massifs, jusqu'au secteur de la carotte KSGC-31. Toutefois, ils peuvent aussi être apportés des massifs pyrénéens par les vents du sud-ouest. Les cours d'eau se jetant à la mer apportent également des grains de pollen provenant de tous les bassins (figure 2). Les grains de pollen de *Pinus* (pin) sont le plus souvent surreprésentés dans les sédiments marins et leur variation sera prise en compte avec prudence (Heusser et Balsam, 1977 ; Turon, 1984 ; Faegri et Iversen, 1989). L'aire de captation pollinique du carottage marin sera donc plus large que celle du site continental de Conques de l'Aviό et les taxons provenant de tous les étages de végétation des bassins versants y seront représentés. Les carottages marins comme le KSGC-31 offrent donc une vision régionale des changements de la végétation depuis les Pyrénées jusqu'au Haut Languedoc.



## 4. MATÉRIEL

### 4.1. LA FENÊTRE « AMONT » : LA ZONE HUMIDE DE CONQUES DE L'AVIÓ

La zone humide de Conques de l'Avió (figures 3 et 4) se situe dans la haute vallée de la Têt, au sein de la Réserve naturelle nationale de Py, dans le département des Pyrénées-Orientales ( $42^{\circ}26'35''N$ ,  $2^{\circ}19'51''E$ ). A 2247 m d'altitude, elle se localise à 1 km de la frontière franco-espagnole, dans la zone de la Garravera, à proximité de la Cim de la Pomerola, de Prat Barrat et de Conques del Mig. Limitée dans sa bordure ouest par la Serre del Salt dels Cans, Conques de l'Avió est une zone humide de dimensions réduites (0,25 ha), alimentée et enrichie par les eaux de pluie et de circulation. Elle est située dans le bassin versant de la Têt, sur un secteur de convergence de plusieurs ruisseaux qui forment en aval La Rotja, affluent de la Têt.

Cette zone humide se situe sur un substrat de granite à biotite, granite du Costabonne, formé durant l'Ordovicien, il y a 450 Ma.

De nos jours, le paysage environnant est assez ouvert (figure 4), marqué par des groupes de pin à crochets (*Pinus uncinata*), signalant la limite potentielle supérieure de la forêt.

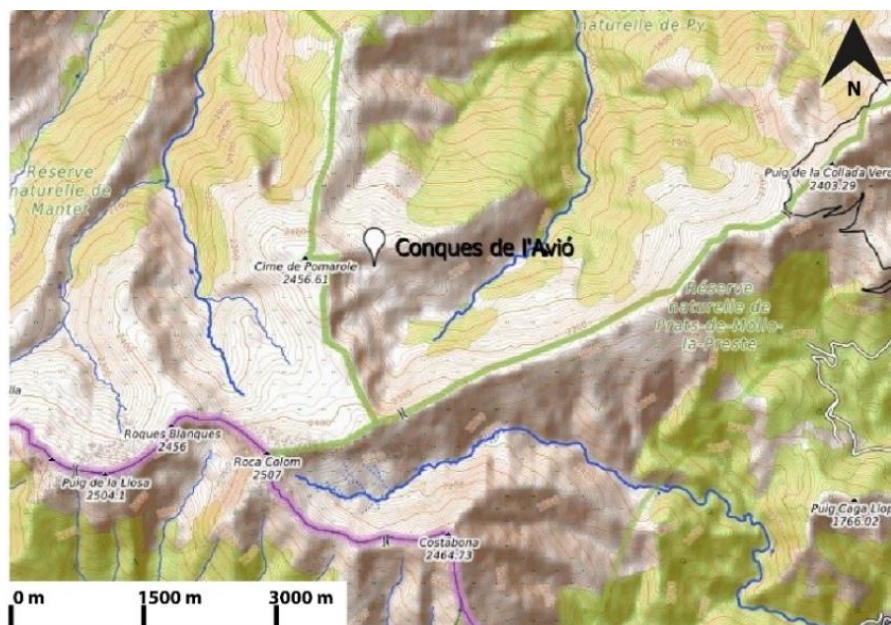


Figure 3. Localisation de la zone humide de Conques de l'Avió,



*Figure 4. Zone humide de Conques de l'Avió (crédit : Santiago Riera).*

#### **4.1.1. Prélèvement et échantillonnage de la carotte**



*Figure 5. Carotte prélevée (crédit : Santiago Riera).*

Le prélèvement de la carotte a été réalisé en juillet 2011 avec l'aide d'une sonde GIK (figure 5). La longueur totale de l'enregistrement sédimentaire est de 84 cm. Notre étude a porté sur la partie comprise entre 50 et 84 cm, en raison de l'ancrage de notre recherche sur les périodes de la Préhistoire récente (tableau 1). Après description des unités stratigraphiques, les échantillons ont été prélevés tous les centimètres, entre 50 et 84 cm (figure 6). Cette tâche a été effectuée au sein du laboratoire de palynologie de l'Institut de Paléontologie Humaine à Paris. Trente-deux échantillons ont été prélevés dans la carotte (depuis 83 cm jusqu'à 51 cm), mais seulement 14 d'entre eux ont été analysés dans le cadre de ce travail.



Figure 6. Echantillonnage de la carotte de Conques de l'Aviò.

Description des unités stratigraphiques de la carotte de Conques de l'Aviò :

- 83-79,5 cm : tourbe fibreuse avec du sable grossier
- 79,5-75,5 cm : tourbe plus noire, fibreuse avec du sable plus fin (arène fine)
- 75,5-68 cm : tourbe fibreuse avec du sable fin
- 68-60 cm : tourbe noire de plus en plus évoluée
  - 66-64 cm : passée sableuse
- 60-51 cm : tourbe marron fibreuse avec des inclusions détritiques assez grossières
  - 53-51 : passée sableuse grossière

#### **4.1.2. Datation radiocarbone de la séquence**

Cinq échantillons avaient été collectés dans la carotte, après son ouverture en 2011, afin de dater l'intégralité de la séquence. Les échantillons ont été envoyés au *Center for Applied Isotope Studies* de l'Université de Georgia et les résultats suivants sont présentés dans le tableau 1. Les calibrations à 2 sigmas ont été effectuées avec le logiciel CALIB version 7.0.4 (Stuiver et Reimer, 1993).

Core	Référence lab.	Prof. (cm)	Mat.	Age conventionnelle (BP)	Age cal BP	Age estimée et cal 2σ (BC/AD)
CAV	UGAMS-9355	20-21	Tourbe	295±30	292-459 cal BP	1490-1600 cal AD
CAV	UGAMS-9355	35	Tourbe	1115±30	951-1171 cal BP	870-1012 cal AD
CAV	UGAMS-9355	50	Tourbe	2900±30	3156-2953 cal BP	1207-1004 cal BC
CAV	UGAMS-9355	70	Tourbe	3525±35	3891-3700 cal BP	1942-1751 cal BC
CAV	UGAMS-9355	84	Tourbe	3720±25	4147-3984 cal BP	2198-2035 cal BC

Tableau 1. Résultats des datations de la carotte de Conques de l'Aviò.

## **4.2. LA FENÊTRE « AVAL » : LE CAROTTAGE KSGC-31**

Le carottage marin KSGC-31 (figure 2) est situé dans le Golfe du Lion, à seulement 20 km de la côte de l'Aude (43°0'23"N 3°17'56"E), dans la zone de transport du cordon sédimentaire du Rhône. Le carottage couvre les derniers 10 ka cal BP. Différentes analyses ont été menées sur cette séquence : éléments chimiques majeurs et mineurs, foraminifères et alkenones (Bassetti *et al.*, 2016 ; Jalali *et al.*, 2017). Elles fournissent des informations sur les modifications des conditions marines pendant l'Holocène (Bassetti *et al.*, 2016, Jalali *et al.*, 2016, 2017).

### **4.2.1 Prélèvement et échantillonnage de la carotte**

Le carottage a été effectué en octobre 2002 par le navire « Le Suroît », au cours de la campagne océanographique GMO2-Carnac, dirigé par Nabil Sultan et Michel Voisset, de l'IFREMER (Sultan et Voisset, 2002) et pendant laquelle plusieurs carottes sédimentaires ont été prélevées dans le Golfe du Lion. La carotte KSGC-31 est un enregistrement sédimentaire de 7,03 m, obtenu à l'aide d'un carottier de type Kullenberg (Bassetti *et al.*, 2016). L'échantillonnage de la carotte a été aussi effectué tous les centimètres correspondant un pas de temps de 10 ans environ entre les échantillons. Neuf échantillons de la carotte ont été analysés dans le cadre de ce travail et permettent de reconstruire les changements de végétation entre 4286 cal BP et 3505 cal BP.

### **4.2.2 Datation radiocarbone de la séquence**

Vingt-et-un échantillons de divers coquillages (figure 7) ont été datés au Laboratoire de Mesure du Carbone 14, à Paris-Saclay, et dans le Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory, en Floride. La calibration (1 sigma) a été faite avec les logiciels CALIB, version 7.1 (Stuiver et Reimer, 1993) et MARINE 13 (Reimer *et al.* 2013) (Bassetti *et al.*, 2016 ; Jalali *et al.*, 2016 ; Jalali *et al.*, 2017). La séquence marine enregistre presque la totalité de l'Holocène.

Depth (cm)	Material	Radiocarbon age $\pm 1\sigma$ error (yr BP)	Calibrate age (cal BP)	$\pm 1\sigma$ error
5.5	<i>Bittium</i> sp.	420 $\pm$ 30	24 <sup>a</sup>	60
11.5	<i>Tellina</i> sp.	430 $\pm$ 30	34 <sup>a</sup>	60
18.5	<i>Pecten</i> sp.	720 $\pm$ 40	350 <sup>b</sup>	78
25.5	<i>Venus</i> sp.	640 $\pm$ 30	234	99
41	<i>Pecten</i> sp.	700 $\pm$ 30	339	79
52	Indet. bivalve	960 $\pm$ 30	551	59
71	<i>Arca tetragona</i>	1340 $\pm$ 30	851	80
110.5	<i>Venus</i> sp.	1465 $\pm$ 30	992	85
186.5	<i>Nucula</i> sp.	2235 $\pm$ 40	1805	99
251	Juvenile bivalve shells (ind.)	2940 $\pm$ 30	2674	100
330.5	<i>Venus cosina</i>	3870 $\pm$ 30	3796	106
370.5	<i>Nuculana</i> sp.	4170 $\pm$ 30	4223	113
390.5	<i>Turritella</i> sp.	4500 $\pm$ 30	4676	106
460	<i>Venus</i> sp.	5530 $\pm$ 45	5873	106
481	<i>Ostrea</i> sp.	5955 $\pm$ 35	6348	78
501.5	<i>Turritella</i> sp.	6380 $\pm$ 50	6826	107
552	various shells	7215 $\pm$ 30	7653	75
583	<i>Turritella</i> sp.	7860 $\pm$ 60	8288	92
652	<i>Turritella</i> sp.	8310 $\pm$ 35	8843	121
700.5	<i>Turritella</i> sp.	9215 $\pm$ 30	10006	123
701	<i>Turritella</i> sp.	9190 $\pm$ 50	9968	145

<sup>a</sup> Post-bomb radiocarbon ages, obtained using OxCal 4.2 (Ramsey and Lee, 2013), not used for the interpolation. <sup>b</sup> Reversal date, not used for the interpolation.

**Figure 7.** Niveaux datés de la carotte KSGC-31 (d'après Bassetti et al., 2016 et Jalali et al., 2016).



## 5. METHODOLOGIE

---

### 5.1. LA PALYNOLOGIE

La palynologie est une discipline qui, par l'étude des grains de pollen et des spores conservés dans certains milieux de dépôt, permet la reconstruction de la végétation et des paléoenvironnements. Les grains de pollen et les spores présentent différents traits morpho-anatomiques qui permettent l'identification des plantes qui les ont produit au rang de la famille, du genre et parfois de l'espèce (Faegri et Iversen, 1989).

Mon travail a consisté en l'étude des grains de pollen de plantes et de spores de fougères mais également en l'analyse des microfossiles non-polliniques (spores fongiques, restes du phyto et du zooplancton) et des dinoflagellés.

#### 5.1.2. L'anthropisation des milieux naturels

La modification des environnements par les activités humaines, l'anthropisation, est perceptible dans les diagrammes polliniques grâce aux Indices Polliniques d'Anthropisation (IPA) (Behre, 1981). Il s'agit d'une variation soudaine du rapport PA/PNA (pollen arboréen/pollen non-arboréen) pouvant traduire des ouvertures du paysage végétal (défrichage, déforestation) ainsi que de la présence de types polliniques de plantes anthropocores et des apophytes. Les plantes cultivées anthropocores sont des plantes directement associées aux activités humaines (plantes comme les céréales, au sens large ou le sarrasin -*Fagopyrum esculentum*-). Les apophytes sont des plantes favorisées par certaines pratiques humaines, notamment les activités pastorales (Gauthier, 2004).

Les référentiels polliniques étudiant les relations existant entre la végétation et la pluie pollinique actuelle sont essentiels pour étudier l'anthropisation des milieux de haute montagne. Dans les Pyrénées, de nombreuses études de ce type ont été publiées : dans la partie occidentale (Mazier *et al.*, 2006 ; Mazier, 2007 ; Cugny *et al.*, 2010), centrale (Cañellas-Boltà *et al.*, 2009 ; Lopez-Vila *et al.* 2014), et orientale (Ejarque *et al.*, 2011). Pour des raisons de proximité géographique, le référentiel utilisé dans ce travail est celui de la vallée du Madriu, en Andorre (Ejarque, 2011 et Ejarque *et al.*, 2011). Le tableau ci-dessous (figure 8) indique la liste des taxons considérés comme des apophytes avec les taxons rudéro-nitrophiles et les indicateurs de pastoralisme.

Les référentiels actuels ont également montré l'importance de *Sordaria* et *Sporormiella* parmi les spores fongiques coprophiles (Cugny *et al.*, 2010 ; Ejarque *et al.*, 2011), possiblement associées à la présence d'herbivores et de leurs déjections (van Geel *et al.*, 1989).

<b>Taxones</b>	<b>Pastos</b>	<b>Nitrófilo-ruderal</b>	<b>Pastoreo VMPC</b>	<b>Pastoreo (otras áreas)</b>
<i>Aconitum-t</i>				
<i>Achillea-t</i>				
<i>Alchemilla-t</i>				
Asteroideae undiff.				
Apiaceae				
Brassicaceae undiff.				
Campanulaceae				
<i>Capsella bursa-pastori-t</i>				
Caryophyllaceae				
<i>Centaurea nigra-t</i>				
<i>Cichorium intybus-t</i>				
Cichorioideae undiff.				
<i>Cirsium-t</i>				
Chenopodiaceae				
<i>Echium-t</i>				
<i>Epilobium</i>				
<i>Euphorbia</i>				
<i>Galium-t</i>				
<i>Lamium-t</i>				
<i>Lotus-t</i>				
<i>Plantago undiff.</i>				
<i>Plantago alpina-t</i>				
<i>Plantago coronopus-t</i>				
<i>Plantago lanceolata-t</i>				
<i>Plantago major/media</i>				
Poaceae				
<i>Polygonum aviculare-t</i>				
<i>Potentilla-t</i>				
<i>Ranunculus acris-t</i>				
<i>Rumex undifrf.</i>				
<i>Sanguisorba minor-t</i>				
<i>Solanun nigrum-t</i>				
<i>Trifolium-t</i>				
<i>Urtica dioica-t</i>				

**Figure 8.** Liste des principales apophytes et de leur signification : Pastos = marqueurs de pâturage / Nitrófilo-ruderal = Marqueurs rudéro-nitrophiles / Pastoreo VMPC = marqueurs du pastoralisme dans la vallée de Madriu-Perafita-Claror / Pastoreo (otras áreas) = marqueurs du pastoralisme (autres secteurs) (d'Ejarque, 2011).

## **5.2. TRAITEMENT PHYSICO-CHIMIQUE**

Le traitement physico-chimique des sédiments permet d'en extraire le contenu sporo-pollinique. Plusieurs protocoles sont utilisés pour traiter les différents types de sédiments. Dans ce travail nous allons exposer les protocoles utilisés pour le traitement des sédiments tourbeux et des sédiments marins.

### **5.2.1. Conques de l'Avió**

Trois sessions de traitement physico-chimique, de huit, quatre et huit échantillons respectivement ont été faites pour Conques de l'Avió. Le protocole d'extraction a suivi les standards internationaux définis par Faegri et Iversen (1989). Celui-ci est résumé ci-dessous (tableau 2) :

	<b>PROCESSUS</b>
	Pesage (1,5-2g) et calcul du volume
Elimination éléments grossiers	Tamissage à 200 µm
	Ajout contaminants (2 pastilles de spores de <i>Lycopodium</i> )
Elimination carbonates	HCl 37%
	H <sub>2</sub> O
Elimination silice	HF 40% (12h min.)
	H <sub>2</sub> O
Elimination fluorosilicates	HCl 37%
	H <sub>2</sub> O
Elimination acides humiques	KOH 10% (bain marie 10 min.)
	H <sub>2</sub> O (x2)
	Acide acétique (x2)
Acétolyse	9/10 d'anhydride acétique et 1/10 d'acide sulfurique
	Bain marie 8 min.
	Acide acétique
	H <sub>2</sub> O
	H <sub>2</sub> O + éthanol (x2)
Séchage	Éthanol
	Séchage
	Montage lames

**Tableau 2.** Traitement physico-chimique des échantillons tourbeux.



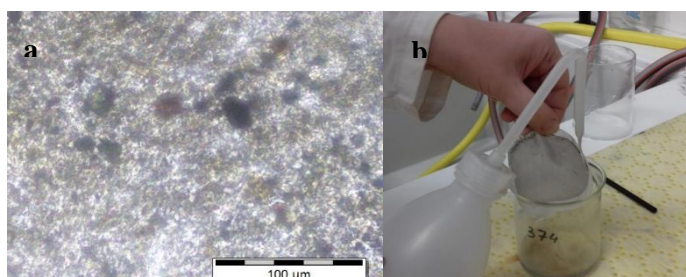
### 5.2.2. La carotte KSGC-31

Le protocole utilisé pour la carotte KSGC-31 est le protocole classique de traitement des sédiments marins (Faegri et Iversen, 1989, légèrement modifié par Combourieu-Nebout *et al.*, 2002) et détaillé ci-dessous (tableau 3) :

PROCESSUS	
	Pesage et calcul du volume
	H <sub>2</sub> O
	Ajout contaminants (2 pastilles de spores de <i>Lycopodium</i> )
Elimination carbonates	HCl 18%
	H <sub>2</sub> O (x2)
Elimination silice	HF 40% (12h min.)
	H <sub>2</sub> O
Elimination fluorosilicates	HCl 18%
	H <sub>2</sub> O
Elimination particules fines	Filtration 5 µm
	Séchage
	Montage lames

*Tableau 3. Traitement physico-chimique des sédiments marins.*

Les premiers échantillons de la carotte KSGC-31 ont été traités par Sandrine Canal sous la direction d'Odile Peyron de l'ISEM, à Montpellier, entre la fin novembre et le début décembre 2017. En observant les premières lames sous le microscope, il a été constaté qu'il restait encore beaucoup de particules grossières et, pour les éliminer, une nouvelle filtration a été effectuée avec un tamis 10 µm (figure 9) à l'Institut de Paléontologie Humaine. Une deuxième série de traitement des échantillons de la carotte

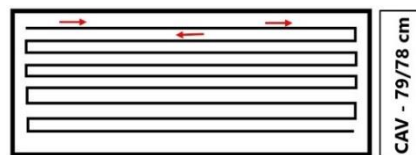


*Figure 9. a Observation de la lame avant filtration b. fin de l'étape de filtration : récupération des palynomorphes sur le filtre avec de l'H<sub>2</sub>O distillée.*

KSGC-31 a été intégralement effectuée au laboratoire de palynologie de l'Institut de Paléontologie Humaine.

### 5.3. IDENTIFICATION, COMPTAGE ET CALCUL DES POURCENTAGES

La lecture des lames a été réalisée à l'aide d'un microscope optique à transmission Zeiss AX10 à grossissement x40 et x100. La figure 10 représente une lame pollinique et la manière dont elle a été lue.



**Figure 10.** Schéma de la lecture des lames polliniques.

L'identification des grains de pollen a été faite à partir de la collection de référence du laboratoire de palynologie de l'IPH, des atlas polliniques (Reille, 1992 ; Beug, 2004) et à partir de photos de grains de pollens et de microfossiles-non polliniques (MNP) collectées dans une collection de référence numérisée et alimentée au fur et à mesure de l'avancement du stage. Les palynomorphes non polliniques ont été identifiés également à partir de thèses de référence (Turon, 1984; Cugny, 2011) et d'articles (Haas, 1996).

Le comptage d'un nombre minimum de 300 grains de pollen (au moins 100 grains en dehors de *Pinus* dans la carotte marine) et d'au moins 20 taxons différents permet d'obtenir des concentrations de palynomorphes statistiquement valides (Heusser et Balsam, 1977 ; Turon, 1984 ; Bennet et Willis, 2001). Au total, 23 échantillons ont été analysés : quatorze échantillons de la carotte de Conques de l'Aviό et 9 échantillons du carottage KSGC-31. Trente-deux lames ont été lues car certains échantillons de la carotte marine ne contenaient pas un nombre suffisant de grains de pollen dans une seule lame.

Les pourcentages des deux diagrammes ont été calculés par rapport à la somme pollinique totale de l'échantillon (exemple tableau 4), en excluant les taxons aquatiques et hygrophytiques, les spores et les MNP. Pour le diagramme de la carotte KSGC-31, les grains de pollen de *Pinus* ont été également exclus car ils sont fortement surreprésentés en contexte marin et minimisent les résultats des autres taxons et donc sont classiquement exclus des calculs des pourcentages (Heusser et Balsam, 1977 ; Turon, 1984). Pour le diagramme de Conques de l'Aviό, les mêmes taxons ont été exclus, sauf *Pinus*. Dans ce mémoire, en suivant l'exemple de la thèse d'A. Ejarque (2011), nous avons décidé de ne pas les exclure car leurs pourcentages n'excédaient pas 60% à la différence des autres études dans les Pyrénées présentant des pourcentages en grains de pollen de pin supérieurs à 60% (Guiter *et al.*, 2005) ou à 80% (Miras *et al.*, 2007). La courbe PA (Pollen d'Arbre) correspond à la somme des pourcentages des taxons arborés, en excluant les pins pour les spectres de la carotte marine. Enfin, les pourcentages des MNP ont été calculés en fonction de la même somme pollinique utilisée pour calculer les fréquences polliniques.

<b>Taxons</b>	<b>Nombre de grains comptés</b>	<b>Pourcentage</b>
<i>Abies</i>	37	11.08%
<i>Quercus</i>	27	8.08%
(...)	(...)	(...)
<b>Total</b>	334	100%

**Tableau 4.** Exemple de calcul des pourcentages.

## **5.4. CONSTRUCTION DES DIAGRAMMES**

Les diagrammes palynologiques ont été construits avec le logiciel C2, version 1.7.7 (Juggins, 2003), qui permet de visualiser les variations des fréquences polliniques. Dans ce diagramme, les échantillons sont équidistants les uns des autres avec mention de leur profondeur et de leur âge estimé. Les taxons ont été placés suivant un ordre écologique : tout d'abord apparaissent les arbres, puis les arbustes et la courbe PA. Ensuite, ont été classés les apophytes, les plantes herbacées et finalement, les plantes hygrophytiques et aquatiques, les grains de pollen indéterminés, les spores de fougère et les microfossiles non-polliniques (annexe 3). Pour les taxons présentant les fréquences les plus faibles, une courbe d'exagération à x5 a été dessinée. La zonation en zones polliniques locales a été effectuée en fonction de la variation des courbes polliniques, une zone étant définie par la variation des pourcentages d'au moins 2 taxons (Faegri et Iversen, 1989).

## **5.5. CONSTRUCTION DU MODÈLE ÂGE-PROFONDEUR**

Le modèle d'âge-profondeur de la carotte KSGC-31 étant déjà publié (Bassetti *et al.*, 2016, voir partie Résultats), seul le modèle de la carotte de Conques de l'Aviô a été construit pour ce mémoire. La construction de ce dernier a été effectuée par Alfredo Mayoral Pascual (GEOLAB, UMR 6042 CNRS, Université Clermont Auvergne) avec le logiciel CLAM, version 2.2 (Blaauw, 2010) utilisé conjointement avec le logiciel de statistique R, version 3.4.4 (Venables *et al.*, 2018).

### 6.1. CONQUES DE L'AVIÓ

#### 6.1.1 Modèle âge-profondeur

Deux modèles d'âge-profondeur ont été construits, par interpolation linéaire et par 'smooth spline'. Les deux modèles ne diffèrent pas substantiellement, hormis une légère différence entre les dates comprises entre 50 et 70 cm. Le modèle par interpolation linéaire a été choisi (figure 11), car nous disposons de peu de datations et qu'il existe des variations du taux de sédimentation avec possiblement des hiatus sédimentaires au-dessus de 50 cm comme le préconisent de nombreux auteurs (Telford *et al.*, 2004 ; Blaauw, 2010).

La carotte étudiée couvre environ les derniers 4000 ans. Le taux de sédimentation est de 0.046 cm/an (21,35 an/cm) entre 84 et 70 cm et de 0.027 cm/an (36,1 an/cm) entre 70 et 50 cm. Le choix des échantillons analysés a été fait tous les deux centimètres entre 83 et 71 cm, et tous les centimètres entre 69 et 67 cm de façon à disposer de la même résolution temporelle d'analyse (environ tous les 40 ans).

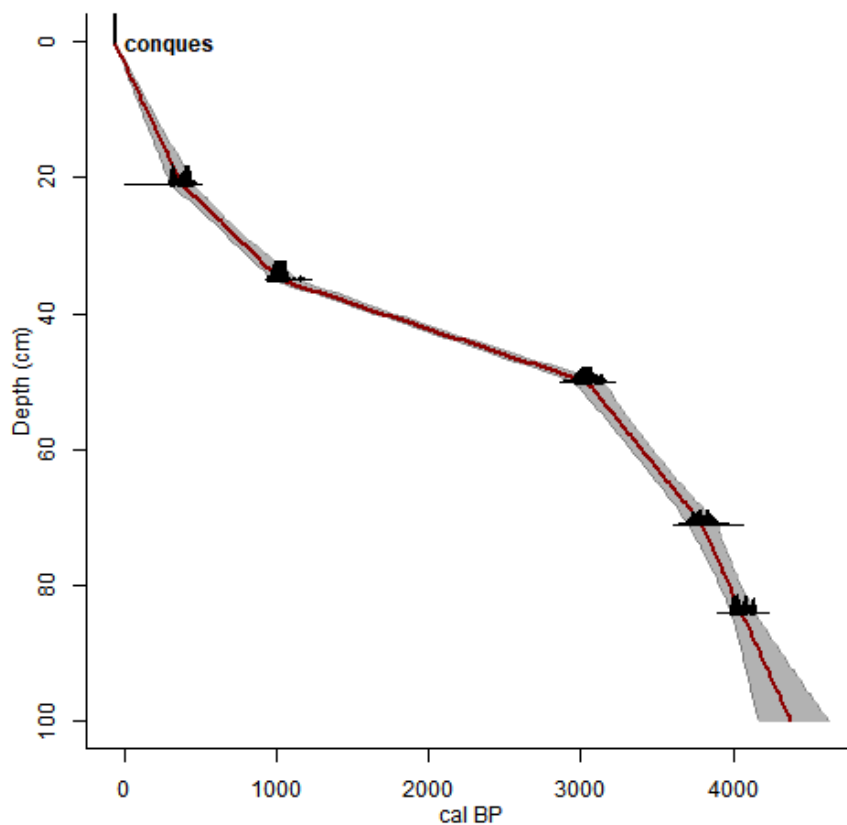


Figure 11. Modèle âge-profondeur par interpolation linéaire (auteur : A. Mayoral Pascual).

### **6.1.2 Résultats des analyses palynologiques**

Les résultats de l'analyse palynologique de Conques de l'Aviό sont présentés sur le diagramme (figure 12), organisé en 5 zones, et décrit dans le tableau 5. Quatorze échantillons ont été étudiés avec un total d'entre 400 et 750 grains de pollen par lame (8415 grains de pollen déterminés en total). En outre, une diversité taxonomique assez élevée a été observée avec plus de 64 taxons identifiés (voir annexe 2).

Sept groupes de taxons ont été définis : arbres et arbustes, apophytes, herbacées, hygrophytes et aquatiques, spores de fougère, spores fongiques et restes fauniques. Les taxons d'arbre sont les plus représentés, parmi eux *Pinus*, *Quercus* et *Abies*, attestant l'importance du couvert forestier. Toutefois, les herbacées sont le groupe présentant la diversité pollinique la plus importante malgré leurs faibles valeurs, hormis Poaceae. Les taxons les moins représentés identifiés au genre ont été regroupés dans la famille correspondante.



Zones polliniques	Age cal BP (médiane)	Description
<b>CAV-5 (66-63 cm)</b>	3615-3507	Après une légère baisse des fréquences de la plupart des arbres (sauf <i>Quercus</i> , <i>Q. ilex-t</i> et <i>Abies</i> ), le PA progresse de nouveau dans les derniers échantillons (de 66 à 77%), avec notamment une hausse des taux de <i>Fagus</i> . Une baisse des fréquences des Poaceae (7,3%) est alors synchronisée d'une hausse remarquable de Chenopodiaceae (6,1%), d'une présence continue de <i>Rumex</i> undiff., <i>Rumex acetosa-t</i> , et de pourcentages substantiels des spores fongiques coprophiles ( <i>Sporormiella</i> -HdV-113-, <i>Sordaria</i> -HdV-55-). Les pourcentages de Cyperaceae sont stables (ca. 12,5%).
<b>CAV-4 (69-67 cm)</b>	3723-3651	Les valeurs maximales (de 69 à 78%) de PA sont expliquées par une nouvelle augmentation des pourcentages de <i>Pinus</i> (57%). La représentation pollinique des autres arbres est assez stable hormis celle de <i>Quercus</i> qui régresse légèrement (5,3%). Les herbacées présentent une tendance à la baisse : Poaceae (ca. 9,7%) et <i>Rumex</i> undiff (0,5%). D'autres taxons ont des fréquences qui se maintiennent ou progressent ( <i>Plantago lanceolata</i> , <i>Plantago</i> undiff., Ranunculaceae, Cichoroideae). Les fréquences de Cyperaceae sont fortes (jusqu'à 20%) puis diminuent en fin de zone (ca. 13%). Une hausse des valeurs de <i>Gaeumannomyces</i> (HdV-126, 2,4%), de <i>Turbellaria</i> undiff. (1,7%), de <i>Mycodalyellia armigera 1A</i> (0,3%) et de <i>Glomus</i> (1,5%) est observée. Les spores fongiques coprophiles restent stables.
<b>CAV-3 (73-71 cm)</b>	3836-3796	Cette zone est définie par une décroissance de PA (à ca. 60%), expliquée par une baisse des pourcentages de <i>Pinus</i> jusqu'à des valeurs minimales (ca. 35%). Les pourcentages des autres arbres restent stables ( <i>Abies</i> , <i>Fagus</i> , <i>Corylus</i> , <i>Betula</i> ), ou augmentent ( <i>Quercus</i> : ca. 11% ; <i>Q. ilex</i> : ca. 0,8%). Les proportions de <i>Juniperus</i> croissent légèrement comme celles des herbacées (40%) avec une hausse des Poaceae (25%), <i>Rumex</i> undiff. (1,4%), <i>Plantago lanceolata-t</i> , <i>Plantago major/media-t</i> , <i>Plantago</i> undiff. et Ranunculaceae. <i>Cirsium-t</i> , <i>Galium-t</i> et <i>Spergularia-t</i> sont notés ponctuellement. Les fréquences des Cyperaceae sont maximales (ca. 21%). Une plus grande diversité de spores fongiques est observée : <i>Sporormiella</i> (HdV-113, 1,1%), <i>Sordaria</i> (HdV-55, 0,8%), <i>Cercophora</i> (HdV-112, ca. 0,16%) et <i>Podospora</i> (HdV-368, 0,8%). Les taux de HdV-28 progressent.
<b>CAV-2 (77-75 cm)</b>	3917-3877	Une augmentation des pourcentages de <i>Pinus</i> (53%) est responsable de l'essor des valeurs de PA (74%). Les valeurs d' <i>Abies</i> (ca. 6%), <i>Fagus</i> (0,5%), <i>Quercus</i> (6%) progressent de même qu' <i>Alnus</i> (1%). <i>Tilia</i> se raréfie dans l'assemblage pollinique comme les herbacées. Seules les valeurs des Poaceae se maintiennent à des pourcentages plus faibles (13%). Les valeurs d'Ericaceae et de <i>Calluna</i> sont de l'ordre de ca. 0,8

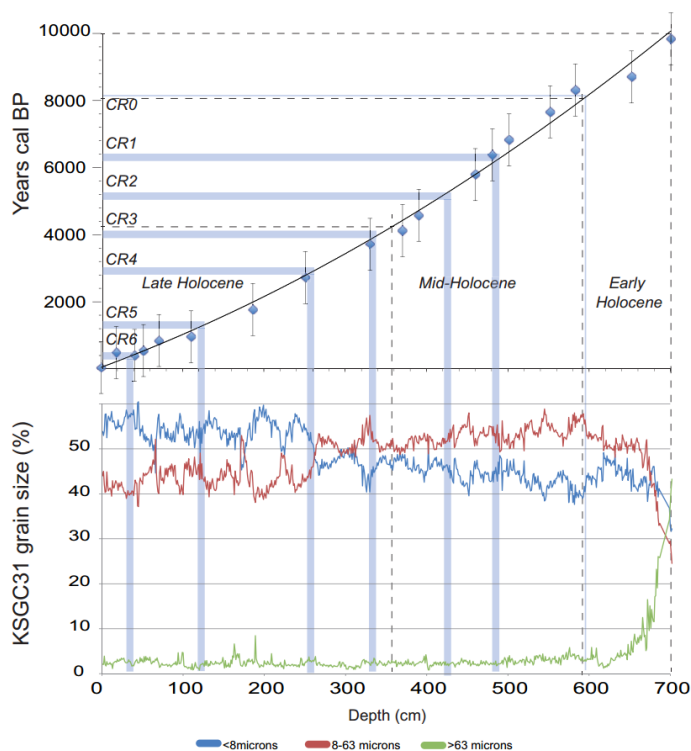
		et 0,6% respectivement et les valeurs des Cyperaceae (8,6%) progressent. Les monoletes ainsi que les MNP ( <i>Sordaria</i> - HdV-55-, <i>Glomus</i> et <i>Turbellaria</i> undiff.) présentent des fréquences légèrement supérieures.
<b>CAV-1 (83-79 cm)</b>	4039-3958	Les fréquences polliniques de PA sont élevées et oscillent entre 70 et 63%. Ceci s'explique par des taux de <i>Pinus</i> qui varient entre 51 et 45%. <i>Abies</i> , <i>Betula</i> , <i>Corylus</i> et <i>Quercus</i> présentent de faibles fréquences (ca. 3%, 4,5%, 2,5% et 5,5% respectivement). Les taux de <i>Fagus</i> , <i>Tilia</i> et <i>Juniperus</i> sont bas (<1%). Les Poaceae dominent l'assemblage pollinique des herbacées avec des fréquences maximales de 21%. Parmi les autres herbacées, peuvent être citées les Cichoroideae (1,5%) et les Scrophulariaceae (1,3%). Les fréquences de Cyperaceae sont stables (ca. 6%) et parmi les MNP sont présents <i>Sordaria</i> (HdV-55), <i>Sporormiella</i> (HdV-113), <i>Glomus</i> et <i>Turbellaria</i> undiff.

**Tableau 5.** Description des résultats des analyses polliniques de la carotte de Conques de l'Aviò. PA = pollen d'arbre / MNP = microfossiles non polliniques.

## **6.2. CAROTTAGE KSGC-31**

### **6.2.1 Modèle âge-profondeur**

Le modèle d'âge-profondeur construit pour la carotte KSGC-31 (Bassetti *et al.*, 2016) est de type 'régression polynomiale' (Bassetti, communication personnelle) (figure 13). Les échantillons analysés dans le cadre de ce mémoire ont un écart temporel d'entre 76 et 107 ans.



**Figure 13.** Modèle âge-profondeur de la carotte KSGC-31 et lithologie en fonction de la granulométrie (d'après Bassetti *et al.*, 2016).



## **6.2.2 Résultats des analyses palynologiques**

Les résultats des comptages palynologiques de la carotte KSGC-31 sont dessinés sur le diagramme (figure 14), découpé en trois zones polliniques, et décrits dans le tableau 6. Neuf échantillons ont été lus avec un total autour de 275 et 350 grains de pollen par lame (2902 grains de pollen déterminés en total). En outre, plus de 39 taxons ont été identifiés (voir annexe 2).

Comme dans le diagramme de Conques de l'Aviò, sept groupes de taxons ont été définis : arbres et arbustes, apophytes, herbacées, hygrophytes et aquatiques, spores de fougère, spores fongiques et restes fauniques. Chez les arbres, les taxons les plus représentés sont également *Pinus*, *Quercus* et *Abies*. Hormis Poaceae, les taxons herbacés sont faiblement représentés. Les taxons les moins représentés, identifiés au genre, ont été aussi regroupés dans la famille correspondante. Dans les indéterminables sont inclus les grains de pollen qui présentaient des particules opaques qui ont empêché leur détermination.

# CAROTTAGE KSGC-31

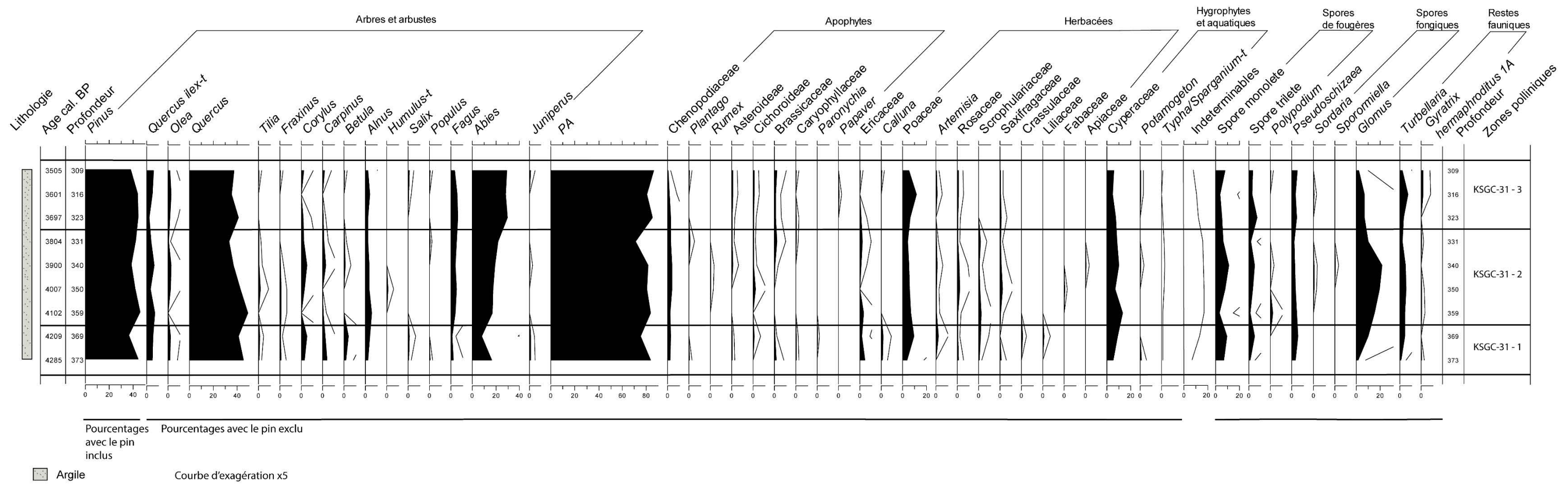


Figure 14 - Diagramme pollinique de la carotte KSGC-31.

Zones polliniques	Age cal BP (médiane)	Description
<b>KSGC-31-3</b> <b>(323-309 cm)</b>	3697-3505	<p>Les pourcentages de <i>Pinus</i> restent identiques. PA oscille entre 80 et 85%. <i>Abies</i> atteint ses plus forts pourcentages (~25%). Les pourcentages de <i>Quercus</i> se stabilisent autour de 35 % tandis que <i>Corylus</i>, <i>Carpinus</i> et <i>Betula</i> sont quasi absents. <i>Fagus</i> augmente jusqu'à plus de 5%. <i>Alnus</i> est présent. <i>Q. ilex</i> (~5%) et <i>Olea</i> (~2%) sont toujours représentés.</p> <p>Les taux de Poaceae montrent un pic (ca. 12%) à 316cm, ceux des Cyperaceae ont leurs plus faibles valeurs (4-5%). Les Asteroideae, Cichoroideae et Brassicaceae sont présentes.</p> <p>Les pourcentages de <i>Glomus</i> diminuent fortement (6 puis 1%), ceux de <i>Turbellaria</i> (ca. 7%) augmentent légèrement peu et les valeurs de <i>Pseudoschizaea</i> restent constantes.</p>
<b>KSGC-31-2</b> <b>(359-331 cm)</b>	4102-3804	<p>Les pourcentages de <i>Pinus</i> sont stables (entre 38 et 45%). PA varie entre 70 et 83%. Les taux d'<i>Abies</i> augmentent de 17 à 22%. Les valeurs de <i>Quercus</i> baissent de 49 à 33%. <i>Corylus</i>, <i>Carpinus</i> et <i>Betula</i> sont en faible proportion avec un petit pic d'abondance à 340 cm. Les fréquences de <i>Fagus</i> augmentent jusqu'à ~ 3-4%. <i>Alnus</i> a ses valeurs les plus élevées (5%) à 349 cm. <i>Q. ilex</i> atteint ses plus forts pourcentages (6 et 7%) et <i>Olea</i> est présent en faible proportion.</p> <p>Les proportions de Poaceae (7%) et de Cyperaceae (7-10%) restent stables, ces dernières montrant un petit pic d'abondance (13%) à 359 cm. Les fréquences de Chenopodiaceae sont entre 2,7 et 3,5%. <i>Rumex</i> est faiblement présent (0,6%).</p> <p>Les proportions de <i>Glomus</i> augmentent de 9 à 21 %. Les spores fongiques <i>Sordaria</i> (HdV-55) et <i>Sporormiella</i> (HdV-113) sont notées à 340 cm en coïncidence avec les plus fortes valeurs en <i>Glomus</i> et en spores. <i>Pseudoschizaea</i> a des pourcentages constants.</p>
<b>KSGC-31-1</b> <b>(373-369 cm)</b>	4285-4209	<p>Les proportions de <i>Pinus</i> oscillent entre 36 et 44%. PA atteint 75 à 83%. Les proportions d'<i>Abies</i> varient entre 7,7 à 16% correspondant à leurs plus faibles valeurs. <i>Quercus</i> montre des fréquences entre 40 à 45%. Les proportions de <i>Corylus</i> (ca. 4,7%) et de <i>Betula</i> (ca. 3,8%) sont maximales. <i>Fagus</i> est présent (&gt;2%). <i>Alnus</i> est observé en faibles pourcentages. La présence régulière de <i>Q. ilex</i> (jusqu'à 5%) et <i>Olea</i> (jusqu'à 2%) est enregistrée.</p> <p>Les herbacées sont représentées par les Poaceae (jusqu'à 9,4%) avec un pic d'abondance à 369 cm, les Cyperaceae (9%) et les Chenopodiaceae (~ 2,5%).</p> <p>Les spores ont des fréquences constantes. Les valeurs de <i>Glomus</i> sont de ~10%, celles de <i>Pseudoschizaea</i> de 3 à 5%.</p>

**Tableau 6.** Description des résultats des analyses polliniques de la carotte KSGC-31. PA = pollen d'arbre / MNP = microfossiles non polliniques.

## 7. DISCUSSION

---

Dans cette partie, les résultats de l'analyse pollinique de la zone humide de Conques de l'Avió et de la carotte marine KSGC-31 seront discutés, d'abord séparément, à propos de leurs dynamiques de végétation, puis seront comparés.

### 7.1. CONQUES DE L'AVIÓ

#### Dynamique de la végétation d'altitude et évolution des conditions locales de la zone humide

Entre ca. 4040 et 3500 cal BP, d'après les données polliniques, le paysage végétal environnant la zone humide de Conques de l'Avió, à 2247 m d'altitude, est ouvert et caractérisé par des pelouses, groupement de végétation prédominant aux étages subalpins supérieurs et alpin dans ce secteur des Pyrénées orientales. Ces pelouses sont principalement composées de Poaceae et de diverses herbacées héliophiles, parmi lesquelles peuvent être citées *Artemisia* (armoise), les Cichorioideae, les Asteroideae, les Scrophulariaceae et les Rosaceae parmi les plus présentes durant toute la période considérée. Les landes à *Calluna vulgaris* (callune) et à d'autres Ericaceae (Ericacées) participent également à la composition de ce paysage éminemment ouvert. En effet, d'après les données polliniques, le secteur de Conques de l'Avió reste au-dessus de la limite supérieure de la forêt durant toute la période considérée même si nous discuterons par la suite d'oscillations altitudinales probables. Les fréquences polliniques de *Pinus* (pin) varient entre ca. 35% et 57%, ce qui reste toujours inférieur aux fréquences polliniques des référentiels polliniques actuels obtenus sous les pinèdes subalpines (ca. 70/80% dans les Pyrénées orientales, Reille et Lowe, 1993 ; >70% dans les Pyrénées andorranes, Ejarque *et al.*, 2011). Toutefois, des individus isolés et dispersés de *Pinus* et de *Juniperus* (genévrier) pouvaient être présents à l'étage altitudinal de Conques de l'Avió.

La variation de la limite supérieure de la forêt implique dans le secteur étudié un partage de l'espace de transition entre les pinèdes et les pelouses subalpines. Ainsi, d'après les données polliniques obtenues, des baisses des fréquences polliniques de *Pinus* sont systématiquement contemporaines de la hausse des pourcentages des Poaceae. Tout ceci indique que l'espace libéré par les pinèdes qui régressent en altitude est immédiatement occupé par les formations de la strate herbacée. C'est particulièrement le cas entre approximativement 3900 et 3800 cal BP (CAV-3) lorsque *Pinus* enregistrent ses valeurs les plus faibles (ca. 35%). Les facteurs de contrôle à ces changements de la végétation d'altitude et les liens possibles avec les activités humaines seront discutés ultérieurement. Après cet événement, entre 3800 et 3600 cal BP approximativement, le regain constaté dans les fréquences de *Pinus* (jusqu'à 57%, CAV-4) témoigne d'une

remontée en altitude des formations forestières subalpines sans pour autant atteindre la côte altitudinale de la zone humide de Conques de l'Aviό.

Ces oscillations, et particulièrement les reculs altitudinaux de la limite supérieure de la forêt, coïncident avec des mêmes événements similaires retrouvés dans le secteur sud de la chaîne pyrénéenne. Dans la vallée du Madriu, en Andorre, entre ca. 4150 et 3550 cal BP, différentes phases de recul altitudinal et d'ouverture des pinèdes sont observées aux étages subalpin et alpin (Miras *et al.* 2007, 2010 ; Ejarque, 2011). D'ailleurs, entre 3900 et 3600 cal BP, la diminution progressive des stomates de *Pinus*, et une hausse de micro-charbons dans l'enregistrement de l'Estany Forcat (2531 m, Ejarque, 2011) mettent au jour une rétraction altitudinale des pinèdes contemporaines de celle de Conques de l'Aviό. Les oscillations répétées de la limite supérieure de la forêt s'inscrivent dans une phase de forte variabilité climatique marquée tout de même par des conditions plus froides entre ca. 4500 et 3100 cal BP (Pla et Catalan, 2005). Sur le versant nord des Pyrénées, entre approximativement 3950 et 3050 cal BP, une légère baisse des pourcentages de *Pinus* est également enregistrée au Gourg Nègre (2080 m). Cependant, entre 4000 et 3800 cal BP, les fréquences de *Pinus* sont assez stables et n'enregistrent pas d'oscillations significatives pendant cette période au Lac Racou (Guiter *et al.*, 2005). Cette comparaison versant nord-versant sud des données palynologiques, entre des sites de haute altitude des Pyrénées orientales, montre une variabilité spatiale à échelle micro-locale et une hétérogénéité altitudinale de l'extension des pinèdes subalpines entre 4150 et 3050 cal BP.

Dans la haute vallée de la Têt, à Conques de l'Aviό, entre 4000 cal BP et 3700 cal BP approximativement (de CAV-1 à CAV-4), l'étage montagnard est principalement occupé par les sapinières qui s'étendent (fréquences de 3 à 9%) avec une présence plus modérée de *Fagus* (hêtre) et de *Betula* (bouleau). Le hêtre ne démarre véritablement son installation que vers 3700 cal BP approximativement (CAV-4). Son extension restera toujours modérée pour la période considérée dans le cadre de notre recherche.

Entre ca. 4000 cal BP et 3700 cal BP à Conques de l'Aviό, les sapinières s'étendent de manière lente et progressive (fréquences maximales d'*Abies* de ca. 9% à CAV-4). Sur le versant sud, à Riu dels Orris (Ejarque, 2011), une légère phase d'expansion des sapinières est également attestée autour de ca. 3900-3800 cal BP. Les sapinières sont également installées sur le versant nord durant la même période (Gourg Nègre, Reille et Lowe, 1993). Il est intéressant de noter qu'entre 3900 et 3050 cal BP les données polliniques attestent une plus grande extension des sapinières sur le versant nord par rapport au versant sud. Au Lac Racou, malgré l'existence de nombreuses fluctuations du sapin d'après les données polliniques, *Abies* atteint des pourcentages maximum, entre 4400 et 3500 cal BP, ce qui témoigne de son expansion (Guiter *et al.*, 2005). Enfin, c'est autour de cette même période qu'en Ariège, les sapinières prédominent la végétation régionale à des altitudes moyennes (Pinet, 880 m, Reille, 1990).

A Conques de l'Aviό, entre 3600 et 3500 cal BP (CAV-5), la végétation montagnarde est toujours prédominée par les sapinières qui sont de plus en plus infiltrées par le hêtre (augmentation de pourcentages de *Fagus* de 0,2 à 2,3%). Bien que les

pourcentages puissent paraître faibles, ils atteignent des valeurs semblables dans d'autres enregistrements de la même période sur le versant nord (Estables I, Jalut, 1973 et Lac Racou, Guiter *et al.*, 2005) et sud des Pyrénées (Planells de Perafita, Miras *et al.*, 2010). L'expansion du hêtre ou bien son association avec les sapinières se fait autour de 3700 et 3300 cal BP à Fournas (1510 m), vers 3650-3380 cal BP à Balcère (1764 m) et entre ca. 3900 et 3050 cal BP au Gourg Nègre (2080 m). Sur le versant sud, les données polliniques donnent une contribution plus remarquable de *Fagus* à la végétation régionale principalement à partir de 3500 cal BP (Bosc dels Estanyons, 2180 m, Miras *et al.*, 2007) par rapport aux résultats de l'analyse de Conques de l'Avió.

Pour ce qui concerne la végétation des étages inférieurs, les chênaies pubescentes et sclérophylles sont présentes dès la base de notre enregistrement sédimentaire autour de ca. 4000 cal BP. Un développement sensible de ces groupements de végétation est révélé par l'analyse palynologique à partir de 3800 cal BP, même si nous devons reconnaître que la séquence de Conques de l'Avió enregistre peu la végétation méso et supraméditerranéennes. Ceci semble cohérent avec la prévalence de conditions climatiques plus sèches, entre ca. 4300 et 3400 cal BP en Méditerranée occidentale (Jalut *et al.*, 2009).

Localement, la végétation située sur le milieu de dépôt témoigne également de changements importants indiquant des modifications du régime hydrique de la zone humide. Entre 3900 et 3650 cal BP (CAV-2 à CAV-4), les données palynologiques (pollen et microfossiles non-polliniques) attestent une tendance vers des conditions moins humides et plus eutrophes de la zone humide de Conques de l'Avió. Ceci est démontré par le remplacement progressif de taxons aquatiques (*Potamogeton*) par des taxons hygrophytiques (*Typha/Sparganium*-t, Cyperaceae et pour une certaine partie des Ranunculaceae). Le développement *in situ* d'une cariçaie est également soulignée par les hausses des pourcentages de *Gaeumannomyces* (HdV-126), champignon qui parasite le genre *Carex* (Tunno et Mensing, 2017) et d'*Arthrinium cf. luzulae* (TM-4070), champignon qui parasite le genre *Luzula* (Ellis, 1971). Ainsi, le développement de la cariçaie et des formations de hautes herbes (roselières et mégaphorbiaies à Apiacées et Filipendule) témoigne de conditions hydroclimatiques moins humides (CAV-3 à CAV-5), principalement à partir de 3800 cal BP. La hausse simultanée des spermatophores de Copepoda (HdV-28), des petits crustacés indiquant des conditions d'eaux libres (van Geel et van der Hammen, 1978 ; Cugny, 2011 ; Shumilovskikh *et al.*, 2015) et les restes de *Turbellaria* undiff. (plus spécifiquement de *Micodalyellia armigera 1A*), indicateurs de statut trophiques élevés dans les écosystèmes aquatiques (Haas, 1996), indique un processus d'eutrophisation de la zone humide à partir de 3800 cal BP approximativement. L'analyse des microfossiles non-polliniques révèle enfin une présence continue, quoique plus substantielle à partir de ca. 3700 cal BP de la spore fongique *Glomus* (CAV-4). Ce microfossile non-pollinique est classiquement interprété comme un marqueur de processus érosifs dans le bassin versant d'une zone humide (van Geel *et al.*, 1989). Ce phénomène d'érosion peut être lié à des perturbations d'origine naturelle ou anthropique (van Geel, 1986 ; Ejarque *et al.*, 2011 ; Morellón *et al.*, 2016 ; Sadori *et al.*, 2016 ; Mensing *et al.*, 2018). Toutefois, dans les dépôts tourbeux, ces spores peuvent être liées

à la pénétration de racines de la végétation palustre (Kolaczek *et al.*, 2013). D'après nos données palynologiques, les pourcentages de *Glomus* suivent la représentation de *Gaeumannomyces* (HdV-126) et d'*Arthrinium cf. luzulae* (TM-4070). Aussi nous privilégions cette seconde interprétation.

### Du Néolithique final au Bronze moyen : intensification de l'impact anthropique dans les espaces de haute montagne

A partir des analyses palynologiques de la zone humide de Conques de l'Aviò, trois phases d'anthropisation ont été repérées en haute montagne :

La première phase d'anthropisation a lieu entre 4040 et 3960 cal BP (CAV-1). La régularité des taxons rudéro-nitrophiles (ex : *Rumex undiff.* -oseille-, Asteroideae, *Plantago undiff.*, *Plantago lanceolata*-t -plantain lancéolé- et *Plantago major/media* - Grand plantain/plantain moyen-) et de spores coprophiles (*Sordaria* et *Sporormiella*) suggère la fréquentation des environs de la zone humide par des groupes de troupeaux herbivores dans le cadre d'une activité pastorale. C'est ainsi qu'a été interprétée la hausse des apophytes et des spores fongiques coprophiles pour des chronologies voisines dans d'autres sites sud-pyrénéens : Estany Forcat (Ejarque, 2011) et Bosc dels Estanyons (Miras *et al.*, 2007). De manière générale l'impact anthropique s'intensifie assez nettement dans les Pyrénées pendant la transition entre le Néolithique final et le Bronze ancien d'après les données palynologiques (Ejarque, 2011 ; Galop *et al.*, 2013). Nos résultats convergent d'ailleurs avec les données archéologiques mises à jour dans les proches hautes vallées du Ter et Freser pour la fin du Néolithique (figure 15). En effet, sur le versant sud, il a été daté dans la vallée de Núria, à 2275 m d'altitude un niveau d'occupation sous-jacent à un mur d'enclos (secteur/site de Coma de l'Embut – Forat de l'Embut), entre ca. 4150 et 3970 cal BP (ca. 2200 et 2020 cal BC). En outre, à proximité de ce secteur, dans la vallée de Coma de Vaca plus précisément (secteur/site de Coma de Vaca I), à 2110 m, il a été mis au jour un autre sol d'occupation rapporté au Bronze ancien, entre ca. 3980 et 3730 cal BP (ca. 2030-1780 cal BC) et situé sous une cabane de l'époque romaine (Palet *et al.*, 2012, 2015, 2016). D'après les auteurs (Palet *et al.*, 2017), ces données archéologiques doivent être associées aux activités de petits groupes humains (pastoralisme saisonnier, chasse, cueillette), attirés par les ressources naturelles des formations forestières et herbacées de la haute montagne. En outre, en Andorre près de l'Estany Forcat (2531 m), le site archéologique d'Els Estanyons (2530 m) est daté approximativement entre 4420 et 4015 cal BP (2470 et 2065 cal BC). Ce site témoigne de l'occupation humaine la plus haute en altitude des montagnes ouest-européennes pour la fin du Néolithique. Il s'agit d'un groupe de quatre structures d'habitation, d'un enclos pour le bétail et un grand mur entourant la zone d'habitat (Orengo, 2010). L'enclos d'Els Estanyons est proche d'une structure d'habitation du site de Pleta de Bacives I. Ces deux structures semblent avoir été occupés au même moment entre 4240 et 3990 cal BP (2290 et 2040 cal BC) possiblement par le même groupe de population. A Els Estanyons, la présence de graines de *Triticum dicoccum* (blé amidonnier) et de récipients en céramique, mis au jour dans une des structures, suggère des pratiques agricoles ayant lieu à plus basses altitudes. D'après Orengo *et al.* (2014), une des structures de 40 m<sup>2</sup> de superficie



aurait pu abriter un groupe de 20 personnes, ce qui témoigne d'un groupe assez important de personnes pratiquant un pastoralisme estival dans la partie haute de la vallée andorrane du Madriu. Ceci semble différer de la haute vallée du Ter où les groupes humains, interprétés par l'équipe d'archéologues de l'ICAC (Institut Català d'Arqueologia Clàssica de Tarragona), sont démographiquement plus réduits. Sur le versant nord, à Enveig, en Cerdagne, un foyer a été daté entre 4385 et 4010 cal BP (2435 et 2060 cal BC), dans le site de Serrat de la Padrilla (Rendu, 2003) (figure 15). En fait, l'augmentation de la pression anthropique des milieux montagnards entre le Néolithique final et le début de l'âge du Bronze n'est pas seulement enregistré dans les Pyrénées, mais aussi dans d'autres massifs montagnards à partir des approches palynologiques et/ou archéologiques comme dans les Alpes (Walsh *et al.*, 2007 ; Walsh *et al.*, 2014, entre autres) ou le Massif central (Miras, 2004 ; Faure, 2012 ; Miras *et al.*, 2015, entre autres).

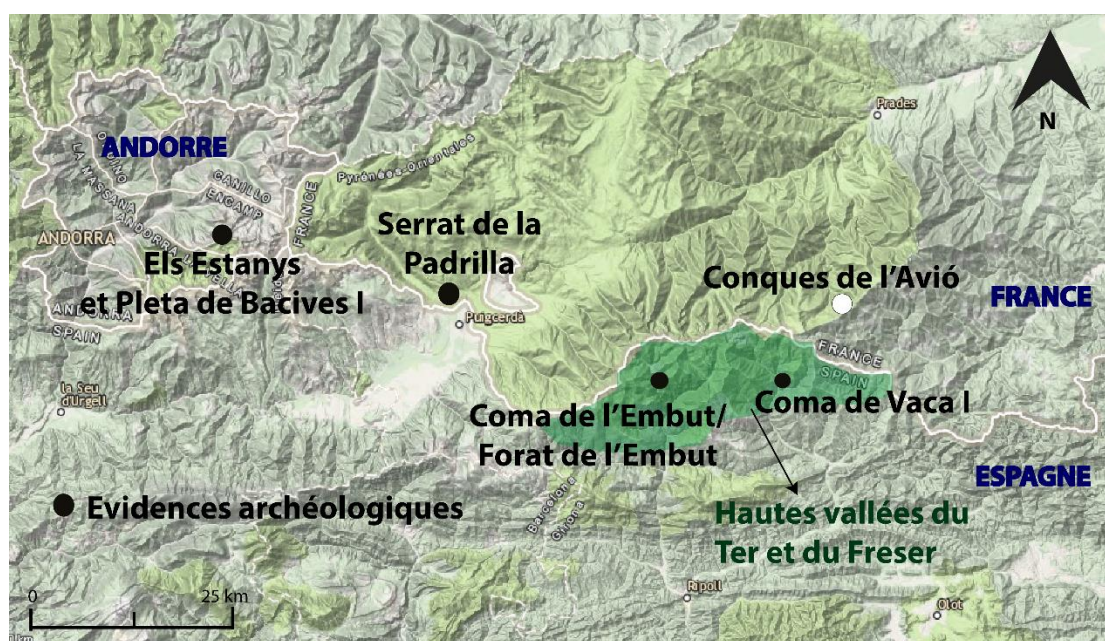


Figure 15. Localisation des évidences archéologiques de haute montagne mentionnées dans le texte.

Entre ca. 3920 et 3880 cal BP (CAV-2), la pression anthropique semble moins intense, d'après les données palynologiques, car la pinède se développe légèrement (fréquences de *Pinus* de 45% à 53%) en même temps que les pelouses se rétractent (fréquences de Poaceae ca. 13%). De la même manière, certains taxons héliophiles et certaines apophytes disparaissent, hormis une présence résiduelle de la spore coprophile *Sordaria*. Ces données indiquent une courte période de diminution de la pression anthropique dans les espaces de la haute montagne des Pyrénées orientales et qui est contemporaine de la raréfaction du nombre de sites archéologiques mis au jour dans ce secteur. Seul, le site de Coma de Vaca I a été daté approximativement entre 3980 et 3730 cal BP (ca. 2030-1780 cal BC) (Palet *et al.*, 2017).

La deuxième phase d'anthropisation a lieu autour de 3800 cal BP (CAV-3). La baisse substantielle des fréquences de *Pinus* (à 35%) a été précédemment interprétée comme un recul en altitude de la limite supérieure de la forêt. Cet événement est contemporain d'une reconquête de l'espace montagnard subalpin par les pelouses ce qui est traduit par l'augmentation des valeurs des Poaceae et la diversification des herbacées héliophiles parmi lesquelles de nombreux indicateurs polliniques d'anthropisation



(*Plantago lanceolata*-t, *Plantago major/media*, *Cirsium*-t -cirse-, *Galium*-t -gaillet-, *Spergularia*-t -spergulaire-) et de microfossiles non-polliniques notamment les spores coprophiles (*Sporormiella*, *Sordaria*, *Cercophora*, *Podospora*). Nous pouvons donc suggérer que ces ouvertures de pinèdes traduisent un impact anthropique par le biais de défrichements à vocation pastorale. Dans la vallée du Madriu, des phases globalement contemporaines de défrichement des pinèdes par le feu ont été observées (Miras *et al.*, 2007) ce qui permet d'envisager un même mécanisme d'ouverture du paysage. Toutefois, cette hypothèse ne pourra être corroborée qu'après l'analyse des échantillons de méso-charbons prélevés dans le cadre de ce mémoire mais qui n'ont pu malheureusement pas faire l'objet d'analyse par manque de temps. Nous rappellerons enfin l'existence du sol d'occupation de Coma de Vaca I (3980 et 3730 cal BP / 2030-1780 cal BC) (Palet *et al.*, 2017). Tout ceci permet donc de discuter, sous l'éclairage des analyses palynologiques, l'affirmation de Gassiot *et al.*, (2017, p. 97) suivante : « *in general terms, in the three areas of the Pyrenees studied here* [entre la vallée d'Aran et l'extrémité des Pyrénées orientales], *the archaeological evidence tends to disappear in the second half of the third-millennium cal BC* [à partir de 4450 cal BP / 2500 cal BC] ». En effet, les recherches archéologiques et palynologiques menées dans les hautes vallées du Ter, du Freser et de la Têt montrent bien l'existence de phases d'occupation et d'impacts anthropiques entre 4000 et 3800 cal BP. Les données polliniques obtenues par D. Galop sur le versant nord montrent une hausse de l'anthropisation sur toute la chaîne pyrénéenne et à toutes les altitudes (Galop *et al.*, 2013). Des cabanes pastorales ont en effet été mises au jour vers 2000 m d'altitude (Rendu, 2003). Ce processus à portée régionale s'explique en particulier par une hausse démographique caractérisant le début de l'âge du Bronze.

Entre 3720 et 3650 cal BP environ (CAV-4), une stabilité voire une légère régression de la pression anthropique en altitude est indiquée par le regain de la pinède et le recul des Poaceae, de nombreuses herbacées héliophiles (*Plantago major/media*, Caryophyllaceae undiff., Campanulaceae) et des Ericaceae. De plus, aucune structure archéologique n'a été mise en évidence dans ce secteur (Orengo, 2010 ; Palet *et al.*, 2017). Ce bref intervalle de moindre impact anthropique est suivi par la troisième et dernière phase d'anthropisation révélée par l'analyse palynologique de Conques de l'Avió. Elle a lieu pendant la transition entre le Bronze ancien et le Bronze moyen, soit approximativement entre 3650 et 3500 cal BP (CAV-5). Les analyses palynologiques de Conques de l'Avió montrent que le milieu s'ouvre sensiblement (PA de 76 à 68%) et que la représentation des apophytes reste stable, hormis un pic de Chenopodiaceae (6,1%) et de la présence substantielle de spores fongiques coprophiles (*Sporormiella* et *Sordaria*). Au sein de la famille des Chenopodiaceae, deux espèces peuvent se trouver à 2247 m d'altitude : *Chenopodium subalpinum* et *Chenopodium bonus-henricus* (Braun-Blanquet, 1948). *Chenopodium subalpinum* se développe à la limite entre l'étage alpin et subalpin, dans les reposoirs à troupeaux enrichis d'azote, apporté par les excréments du bétail et marqué par le piétinement des troupeaux. *Chenopodium bonus-henricus* se développe seulement à l'étage subalpin et est souvent considéré comme une plante fourragère (Braun-Blanquet, 1948). Les deux taxons sont donc liés à la présence de bétail. La concomitance existant entre les fortes fréquences de Chenopodiaceae et les présences de

plantes nitrophiles (*Rumex*) et de spores coprophiles suggèrent la fréquentation de la zone humide par les troupeaux. Dans le même temps, une passée sableuse est enregistrée dans la séquence lithologique. Elle est issue probablement des altérites granitiques du bassin versant, et traduisant de même une érosion accrue générée par cette fréquentation pastorale. Plus à l'ouest, en Andorre, différentes phases d'impact anthropique modéré ont été révélées par l'analyse palynologique à l'étage alpin et subalpin à la transition Bronze ancien-Bronze moyen (Riu dels Orris et Estany Forcat, Ejarque, 2011). Ces données palynologiques semblent contradictoires avec l'absence manifeste de structures archéologiques révélées pour cette période. D'après H. Orenge (2010) ce phénomène dans la vallée du Madriu doit être interprété non pas comme un abandon des espaces montagnards sinon comme un changement dans les formes d'habitat. La question se pose donc aussi pour les communautés des hautes vallées du Ter et de la Têt.

## **7.2. CAROTTAGE KSGC-31**

Entre ca. 4280 et 4200 cal BP, des Pyrénées jusqu'au Haut Languedoc (KSGC-1-1), la végétation est très arborée. La chênaie et la pinède dominant tandis que les hêtraies-sapinières sont faiblement représentées et probablement développées dans les étages montagnards des massifs les plus proches du site étudié (Corbières, Haut Languedoc et Pyrénées orientales). Les essences méditerranéennes, *Quercus ilex* et *Olea* (olivier) sont présentes dans les étages inférieurs.

Vers 4200 cal BP, la forêt régresse comme le montre le recul de nombreux arbres tels que *Pinus*, *Quercus*, *Abies* et *Fagus* et le développement des herbacées (Poaceae, *Artemisia*, Cichoroideae). Ces changements de végétation marquent sans doute un événement climatique, probablement de sécheresse, qui entraîne la régression des pinèdes, des chênaies et des hêtraies-sapinières sur les massifs montagneux du haut Languedoc jusqu'aux Pyrénées orientales. Cette ouverture du paysage est confirmée par le léger développement des arbres héliophiles tels que *Corylus* et *Betula*. La présence de la spore *Glomus* au même moment dans les spectres marins suggère une augmentation de l'érosion sur le continent en accord avec l'ouverture du paysage. Dans la carotte KSGC-31, cette régression est également corrélée avec un refroidissement des eaux de surface du Golfe du Lion mis en évidence par l'analyse des alkénones dans les mêmes échantillons (Jalali *et al.*, 2016).

Les changements enregistrés dans la carotte KSGC31 à 4200 ans cal BP sont contemporains de l'événement aride et/ou froid qui s'est produit entre 4300 et 3800 cal BP (Magny *et al.*, 2009) et qui a été choisi pour définir la limite entre l'Holocène moyen et l'Holocène final (Walker *et al.*, 2012) et est contemporain de l'événement de Bond 3 (Bond *et al.*, 2001). Cet événement climatique a eu un impact majeur à toutes les latitudes (entre autres, deMenocal, 2001 ; Mayewski *et al.*, 2004 ; Staubwasser et Weiss, 2006, Weiss, 2012) et, en particulier, en Méditerranée (i.e. Magny *et al.*, 2009, 2013 ; Combourieu-Nebout *et al.*, 2009, 2013 ; Peyron *et al.*, 2011, 2013). Cette régression des

arbres (*Pinus*, *Abies*, *Quercus* et *Fagus*), observée dans la carotte KSGC-31, est également enregistrée à la même période dans la séquence de Palavas (Hérault, Azuara, 2017), dans les spéléothèmes et enregistrements polliniques italiens (Zanchetta *et al.*, 2016, entre autres) ainsi que dans de nombreux enregistrements marins méditerranéens (Kotthoff *et al.*, 2008 ; Schmiedl *et al.*, 2010 ; Fletcher *et al.*, 2012 ; Combourieu-Nebout *et al.*, 2013 ; Desprat *et al.*, 2013, entre autres). Cette régression est interprétée comme la réponse des écosystèmes à une baisse des températures (Davis *et al.*, 2003 ; Combourieu-Nebout *et al.*, 2009 ; Combourieu-Nebout *et al.*, 2013) mais aussi des précipitations. Ainsi, le niveau hydrique de plusieurs lacs européens diminue fortement au même moment (Magny, 2004), tandis qu'une baisse des précipitations d'été est constatée dans le nord de l'Italie d'après les enregistrements polliniques (Peyron *et al.*, 2013).

Vers 4100 cal BP (KSGC-1-2), l'enregistrement de la carotte KSGC-31 montre que les formations arborées s'étendent dans la région. *Pinus*, *Quercus* et *Abies* se développent indiquant des conditions climatiques plus humides et/ou plus chaudes. Par la suite, les sapinières de l'étage montagnard commencent à se développer dans les étages d'altitude de même que les hêtraies dans une moindre mesure. Au cours de cette même période, les taxons héliophiles tels que *Corylus* et *Betula* se développent légèrement ce qui montre une ouverture des forêts caducifoliées à moyenne altitude à partir de ca. 4080 cal BP (KSGC-31-2). La régression de *Quercus* enregistrée dans la carotte KSGC-31 coïncide avec celle observée dans les enregistrements polliniques récoltés dans le golfe du Lion tels que ceux du carottage marin 92K19 (Beaudouin, 2003), de la lagune de Capestang (Jalut *et al.*, 2009) et de la séquence de Palavas (Azuara *et al.*, 2015). Ce changement qui apparaît régional à l'échelle du golfe du Lion est contemporain des modifications de la végétation observées dans d'autres régions de la Méditerranée comme la mer Adriatique (Combourieu-Nebout *et al.*, 2013), la mer d'Alboran (Combourieu-Nebout *et al.*, 2009) mais aussi dans plusieurs sites continentaux de la péninsule ibérique (i.e. Pérez-Obiol, 1988 ; Carrión *et al.*, 2003 ; Pérez-Obiol *et al.*, 2011) et des îles Baléares (Yll *et al.*, 1997). L'expansion progressive des sapinières (*Abies*) enregistrée dans la carotte KSGC-31 correspond, quant à elle, avec le développement des hêtraies dans la séquence de Palavas, le sapin y restant toujours peu abondant (Azuara *et al.*, 2015) tout comme dans les données du sud du Massif central (Faure, 2012) qui montrent également le développement du hêtre et une très faible représentation des sapinières vers 3700 cal BP. Une phase d'expansion des sapinières est en revanche remarquée dans les Pyrénées orientales, autour de 4000 cal BP, (Ejarque, 2011 ; Guiter *et al.*, 2005) qui montrerait un développement plus localisé dans cette région. Plus à l'est, en Méditerranée centrale, les sapinières s'étendent également dans les Apennins entre 4100 et 3500 cal BP (carotte MD 90-917, mer Adriatique, Combourieu-Nebout *et al.*, 2013).

Entre 4000 et 3800 cal BP, la diversité d'apophytes (*Plantago*, *Rumex*, Asteroideae, Caryophyllaceae) et des herbacées (i.e. Rosaceae, Fabaceae, Apiaceae) est la plus importante de la séquence, témoignant probablement d'un paysage un peu plus ouvert. Ceci est en accord avec les données régionales (i.e. Reille et Lowe, 1993 ; Mercuri *et al.*, 2012 ; Guiter *et al.*, 2015 ; Ejarque *et al.*, 2016, Azuara, 2017) où est noté le même changement de la végétation. De plus, vers 3900 cal BP, les spores coprophiles fongiques

(*Sordaria* et *Sporormiella*) qui sont souvent associées à des activités pastorales (van Geel *et al.*, 1989) sont observées dans les échantillons de la carotte KSGC-31, et sont ici signalées pour la première fois dans une carotte marine. Simultanément sont remarquées l'augmentation des apports en spores de Ptéridophytes et la plus forte représentation de *Glomus*, tandis que la granulométrie des sédiments de la carotte KSGC-31 montre des apports principalement d'origine terrigène (Bassetti *et al.*, 2016). Ces observations concomitantes reflètent un probable renforcement des apports hydriques (ruissellement, apport des fleuves) qui auraient permis le transport des microfossiles non polliniques jusqu'au site de la carotte KSGC-31. Ces apports sont sans doute associés avec des processus d'érosion plus intenses sur les bassins versants ce qui est exprimé dans la KSGC-31 par la présence substantielle de *Glomus* (van Geel *et al.*, 1989). La présence des spores coprophiles associée à celle de différents indicateurs polliniques d'anthropisation (ex : *Rumex*) ainsi qu'à l'ouverture de la chênaie (présence des héliophiles tels que *Corylus*) peut indiquer ici des activités humaines, en particulier dans la plaine littorale ou possiblement dans l'arrière-pays. Cette observation, exceptionnelle dans une carotte marine, est confirmée par les résultats polliniques des sites lagunaires côtiers de cette région dans lesquels sont enregistrées des activités agropastorales ayant entraîné des ouvertures de la forêt à partir du Néolithique : dans l'Hérault (lagune de Palavas, Azuara *et al.*, 2015 ; lagune de Thau, Court-Picon *et al.*, 2010) ou dans l'Empordà au nord de la Catalogne (lagune de Castelló, Ejarque *et al.*, 2016 ; lagune de Sobreestany, Parra, 2012). Quelques sites archéologiques dans la région attestent d'ailleurs des occupations contemporaines : grotte de Montou et la grotte des Châtaigniers dans les Pyrénées-Orientales (Gasco, 2011), sites de Pradalas, Robert, Foun de Madamo et Pesquié, entre les Corbières et la Montagne Noire (Barthès, 1991) et le site de la Bauma del Serrat del Pont dans les Pré-Pyrénées (Alcalde *et al.*, 1997), entre autres.

Après 3700 cal BP et jusqu'à la fin de la séquence à 3500 cal BP, sont enregistrées les fréquences les plus importantes des sapinières (ca. 30%) qui témoignent de leur dominance dans l'étage montagnard, tandis que les hêtraies restent présentes (KSGC-31-3). Les forêts de chênes, ne reculent plus et se développent à moyenne altitude. Les associations méditerranéennes (*Quercus ilex* et *Olea*) augmentent légèrement probablement en lien avec la mise en place du régime méditerranéen et de sa sécheresse estivale, comme cela a été montré, par ailleurs, en Méditerranée centrale (Combourieu-Nebout *et al.*, 2013). Cette période est comprise dans une période plus large entre ~4200 et ~3500 cal BP qui s'inscrit dans le schéma général de l'installation de conditions climatiques plus arides en Méditerranée occidentale initiée à partir de 5500 cal BP (Jalut *et al.*, 2000, 2009 ; Roberts *et al.*, 2011).

Vers 3600-3500 cal BP, le développement des Poaceae en lien avec la présence de certains taxons apophytes (Asteroideae, Caryophyllaceae, *Papaver*) est associé à la présence dans les sédiments de la carotte de la spore coprophile *Sordaria*, observée pour la deuxième fois dans la séquence. Cet indice pourrait peut-être marquer un retour des activités pastorales bien que probablement moins marqué, d'après les données palynologiques, qu'entre 4000-3800 cal BP, ce qui coïnciderait chronologiquement avec

la diminution des indicateurs d'anthropisation observés dans les enregistrements de la plaine littorale (Jalut *et al.*, 2009 ; Ejarque *et al.*, 2016).

### **7.3. COMPARAISON DES ANALYSES PALYNOLOGIQUES DE CONQUES DE L'AVIÓ ET DE LA CAROTTE KSGC-31**

L'analyse palynologique de deux séquences de la même chronologie, situées dans la haute montagne des Pyrénées orientales et dans le Golfe du Lion, permet de discuter les dynamiques environnementales à caractère local ou plus régional :

Nous nous attacherons dans un premier temps à la dynamique de *Pinus*, fortement représenté dans les deux diagrammes, et en conséquence, composant majeur de la végétation régionale de ce secteur. La dynamique de *Pinus* semble très différente dans les deux carottes. Dans la carotte de Conques de l'Avió, *Pinus* (probablement *Pinus uncinata*) marque les fluctuations de la limite supérieure de la forêt dans la partie haute de la montagne. Ces fluctuations des peuplements de pin en altitude ne peuvent être mises en évidence dans la carotte marine car celle-ci enregistre tous les étages de végétation. La baisse de la limite supérieure de la forêt n'affecte pas les apports de pollen de pin dans la carotte marine qui pourra toujours refléter la présence de cet étage de pinède dans les montagnes de la région. A titre d'exemple, autour de 3800 cal BP, la carotte de Conques de l'Avió enregistre un recul de la limite supérieure de la forêt, marqué par la baisse des fréquences de *Pinus* (de 53 à 35%), qui n'a aucun impact dans la carotte marine avec des pourcentages de *Pinus* demeurant assez stables. Cet événement paléobotanique n'a donc qu'une portée locale et ne concerne que le paysage montagnard. Cette comparaison des deux séquences semble donc renforcer l'origine anthropique précédemment avancé pour cette variation dans l'extension des pinèdes subalpines.

Entre ca. 4000 cal BP et 3700 cal BP, le sapin se développe de manière lente et progressive à Conques de l'Avió et dans les sites polliniques de la même période des Pyrénées orientales (Jalut, 1973 ; Reille, 1990 ; Reille et Lowe, 1993 ; Ejarque, 2011). Au cours de la même période, les sapinières sont également enregistrées dans la carotte KSGC-31, avec l'augmentation du sapin qui démarre vers 4200 cal BP tout d'abord en faibles proportions puis qui s'accroissent fortement jusqu'à la fin de la séquence (ca. 3500 cal BP). Les deux carottes s'accordent donc sur une dynamique d'expansion du sapin même si cette dernière est plus accentuée dans la carotte marine qui traduit l'extension des sapinières à l'échelle régionale. La dynamique d'*Abies* est donc un processus éminemment contrôlé par le climat et de portée régionale.

Concernant les dynamiques d'anthropisation, plusieurs événements sont observés de manière synchrone dans les deux carottes. Ainsi, pendant la transition du Néolithique final au début de l'âge de Bronze, les spores fongiques coprophiles *Sordaria* et *Sporormiella* et les apophytes sont enregistrées à Conques de l'Avió (ca. entre 4040 et 3960 cal BP) et dans la carotte KSGC-31 (entre 4100 et 3800 cal BP). Cela coïncide avec

un impact anthropique majeur précédemment enregistré par les données palynologiques dans les Pyrénées andorranes (Ejarque, 2011) et dans les autres parties de la chaîne pyrénéenne (Galop, 1998) mais également dans la plaine littorale (Court-Picon *et al.*, 2010 ; Parra, 2012 ; Ejarque *et al.*, 2016 ; Azuara, 2017). En lien avec ces activités anthropiques de caractère pastoral dans la haute montagne, autour de 3800 cal BP, il se produit une phase de défrichement de la pinède subalpine à Conques de l'Avió. Ce dernier épisode n'est pas enregistré dans la carotte marine ce qui confirme son caractère local. Au début du Bronze moyen, entre 3600 et 3500 cal BP approximativement, de nouveaux indices d'anthropisation sont observés dans les deux carottes (apophytes et microfossiles non polliniques). L'impact semble néanmoins avoir plus d'incidence en haute montagne qu'en plaine littorale. La comparaison de tous ces événements mis à jour dans la carotte de Conques de l'Avió et la carotte KSGC-31 pourrait être complétée avec l'analyse de sites intermédiaires, entre la montagne et la mer, afin d'obtenir un transect complet depuis les sommets montagneux jusqu'au littoral et aux enregistrements marins.

## 8. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

---

La comparaison de deux séquences palynologiques, situées dans la haute montagne pyrénéenne et dans le Golfe du Lion, a permis non seulement une caractérisation de la dynamique de la végétation en haute montagne, mais aussi, plus régionalement, dans les Pyrénées orientales, entre la fin du Néolithique et le Bronze moyen, ainsi qu'une première discrimination des forçages climatiques et anthropiques.

Concernant la dynamique de la végétation, plusieurs événements paléobotaniques sont observés. Certains se sont produits localement dans les environs de la zone humide de Conques de l'Aviό dans les étages montagnards, subalpins et alpins, tandis que d'autres ont une portée plus régionale. Par exemple, la phase de défrichement anthropique révélée à Conques de l'Aviό par les données palynologiques concerne seulement les pinèdes subalpines, cette ouverture du milieu illustrant le recul altitudinal de la limite supérieure de la forêt à cette période. D'autres événements palynologiques se produisent de manière synchrone dans les deux espaces géographiques, comme, par exemple, l'expansion du sapin et du hêtre ainsi que plusieurs phases d'anthropisation, et peuvent donc être considérées comme de portée plus régionale. Parmi les trois phases d'anthropisation à caractère pastoral observées en haute montagne par l'analyse palynologique, deux sont ainsi également détectées dans les analyses de la carotte marine. Ces phases d'impacts anthropiques détectées en montagne, corrélées avec les données archéologiques, démontrent que les communautés humaines auraient largement occupé tout l'espace, depuis la plaine littorale jusqu'aux hautes montagnes des Pyrénées orientales entre le Néolithique final et le début du Bronze moyen.

Compléter cette ébauche de transect terre-mer en le complétant par des sites intermédiaires de moyenne altitude et côtiers permettrait d'enrichir les données paléoenvironnementales obtenues dans le cadre de ce master et les interactions socioenvironnementales. Ces sites intermédiaires pourraient être des dépôts tourbeux ou lacustres, situés en zones de piémont et des lagunes littorales (comme l'étang de Canet-Saint Nazaire ou l'étang de Salses), qui seraient étudiés avec la même résolution temporelle d'analyse et dans le cadre d'une approche « multi-proxy ». Ces sites supplémentaires, lien entre le site de haute montagne et l'enregistrement marin, permettrait *in fine* d'étudier la diversité des systèmes d'exploitation des ressources par les sociétés agropastorales et leurs pratiques territoriales, depuis le pastoralisme saisonnier de la haute montagne jusqu'aux pratiques agricoles ayant lieu aux basses altitudes.

De plus, une démarche comparative, « multi-proxy » et multi-sites, entre les versants nord et sud des Pyrénées orientales permettrait de mieux caractériser, entre autres les processus de néolithisation qui semble se produire plus précocement sur le versant sud des Pyrénées que sur le versant nord d'après les données palynologiques (Galop, 2006). Ces nouvelles perspectives demanderaient l'établissement d'un nouveau transect terre-mer sur le versant méridional des Pyrénées. Les nombreux sites publiés en haute montagne (Miras *et al.*, 2007, 2010 ; Ejarque, 2011) pourraient ainsi être comparés avec

des sites de moyenne et basse altitude, côtier et enfin marin. Toutefois, si aucun site intermédiaire présentant des milieux de dépôt favorables à l'analyse palynologique dans des zones de piémont n'a été trouvé sur le versant sud (exemple des Albères - programmes de recherche Interambar et Carambar, dirigés par R. Julià, J. M. Palet et S. Riera), certains sites comme l'Estany de Banyoles, situé à mi-chemin entre la montagne et la côte, déjà étudiés du point de vue palynologique, pourraient jouer ce rôle (i.e. Pérez-Obiol et Julià, 1994 ; Revelles, 2017). Les études réalisées sur les lagunes littorales de Sobrestany (Parra, 2012) et de Castelló (Ejarque *et al.*, 2016) complèteraient ce transect le long de la côte et le prélèvement d'un carottage marin au nord de la Costa Brava prolongerait ce transect méridional dans le golfe du Lion.



## BIBLIOGRAPHIE

---

**ALCALDE G., MOLIST M. & SAÑA M., 1997** – *Procés d'ocupació de la Bauma del Serrat del Pont (la Garrotxa) entre el 2900 i el 1450 cal AC*. Museu Comarcal de la Garrotxa, 125 p.

**AZUARA J., 2017** – *L'influence du climat et des activités humaines sur l'histoire holocène de la végétation du nord-ouest de la Méditerranée*. Thèse de Doctorat, Muséum National d'Histoire Naturelle, 283 p.

**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.

**BARTHÈS P., 1991** – Le bassin de l'Aude du Néolithique à l'âge du Fer. *Archéologie de la France Informations* [En ligne], Languedoc-Roussillon, mis en ligne le 1 mars 2004, consulté le 3 juin 2018. URL : <http://journals.openedition.org/adlfi/11949>.

**BASSETTI M. A., BERNÉ S., SICRE M. A., DENNIELOU B., ALONSO Y., BUSCAIL R., JALALI B., HEBERT B., MENNITI C., 2016** – Holocene hydrological changes in the Rhône River (NW Mediterranean) as recorded in the marine mud belt. *Climate of the Past*, **12**, 1539-1553.

**BEAUDOUIN C., 2003** – *Effets du dernier cycle climatique sur la végétation de la basse vallée du Rhône et sur la sédimentation de la plate-forme du golfe du Lion d'après la palynologie*. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard – Lyon 1, 417 p.

**BEHRE K. E., 1981** – The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen et Spores*, **23**, 225-245.

**BENNETT K. D. & WILLIMS K. J., 2001** – Pollen. In J. P. Smol, H. J. B. Birks & W. M. Last (ed.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, **3**, 5-32.

**BEUG H. J., 2004** – *Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 542 p.

**BLAAUW M., 2010** – Methods and code for 'classical' age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology*, **5**, 512-518.

**BOND G., KROMER B., BEER J., MUSCHELER R., EVANS M. N., SHOWERS W., HOFFMAN S., LOTTI-BOND R., HAJDAS I. & BONANI G., 2001** – Persistent solar influence of North Atlantic climate during the Holocene. *Science*, **294** (5549), 2130-2136.

**BRAUN-BLANQUET J., 1948** – *La végétation alpine des Pyrénées Orientales. Étude de Phytosociologie comparée*. Monografía de la estación de Estudios Pirenaicos y del Instituto de Edafología, Ecología y Fisiología Vegetal, CSIC, Barcelona, 306 p.

**CAÑELLAS-BOLTÀ N., RULL V., VIGO J. & MERCADÉ A., 2009** – Modern pollen-vegetation relationships along an altitudinal transect in the central Pyrenees (southwestern Europe). *The Holocene*, **19** (8), 1185-1200.

**CARRIÓN J. S., SÁNCHEZ GÓMEZ J., MOTA J. F., YLL R., & CHAÍN C., 2003** - Holocene vegetation dynamics, fire and grazing in the Sierra de Gádor, southern Spain. *The Holocene*, **13**, 839–849.

**COHEN J., 1969** – Diagramme pollinique du lac de Balcère. In M. Van Campo & G. Jalut (ed.), *Analyse pollinique de sédiments des Pyrénées orientales, lac de Balcère (1764 m)*, Pollen et spores, **11**, 117-126.

**COMBOURIEU-NEBOUT N., TURON J. L., ZAHN R., CAPOTONDI L., LONDEIX L., & PAHNKE K., 2002** - Enhanced aridity and atmospheric high-pressure stability over the western Mediterranean during the North Atlantic cold events of the past 50 k.y. *Geology*, **30**, 863–866.

**COMBOURIEU-NEBOUT N., PEYRON O., DORMOY I., DESPRAT S., BEAUDOUIN C., KOTTHOFF U. & MARRET F., 2009** – Rapid climatic variability in the west Mediterranean during the last 2000 years from high resolution pollen data. *Climate of the Past*, **5**, 503-521.

**COMBOURIEU-NEBOUT N., PEYRON O., BOUT-ROUMAZEILES V., GORING S., DORMOY I., JOANNIN S., SADORI L., SIANI G. & MAGNY M., 2013** – Holocene vegetation and climate changes in the central Mediterranean inferred from a high-resolution marine pollen record (Adriatic Sea). *Climate of the Past*, **9**, 2023-2042.

**COURT-PICON M., VELLA C., CHABAL L., BRUNETON H., 2010** – Paléoenvironnements 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.

**CUGNY C., 2011** – *Apports des microfossiles non-polliniques à l'histoire du pastoralisme sur le versant nord Pyrénéen. Entre référentiels actuels et reconstitution du passé*. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse 2 Le Mirail, 284 p.

**CUGNY C., MAZIER F. & GALOP D., 2010** – Modern and fossil non-pollen palynomorphs from the Basque mountains (western Pyrenees, France): the use of coprophilous fungi to reconstruct pastoral activity. *Vegetation History and Archaeobotany*, **19**, 391-408.

**DAGET P., 1977** – Le bioclimat méditerranéen : caractères généraux, modes de caractérisation. *Vegetatio*, **34** (1), 1-20.

- DAVIS B. A. S., BREWER S., STEVENSON A. C., GUIOT J. & DATA CONTRIBUTORS, 2003** - The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data. *Quaternary Science Reviews*, **22** (15-17), 1701-1716.
- DELMAS, 2009** – *Chronologie et impact géomorphologique des glaciations quaternaires dans l'est des Pyrénées*. Thèse de Doctorat, Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 530 p.
- DEMENOCAL P. B., 2001** – Cultural responses to climate change during the late Holocene. *Science*, **292**, 667-673.
- DESPRAT S., COMBOURIEU-NEBOUT N., ESSALLAMI L., SICRE M. A., DORMOY I., PEYRON O., SIANI G., BOUT ROUMAZEILLES V. & TURON L., 2013** – Deglacial and Holocene vegetation and climatic changes in the southern Central Mediterranean from a direct land-sea correlation. *Climate of the Past*, **9**, 767-787.
- DUBOIS G. & DUBOIS C., 1946** – L'analyse pollinique de la tourbière de Pinet à Roquefeuil (Aude). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, **222**, 455-456.
- EJARQUE A., 2011** – *Génesis y configuración microregional de un paisaje cultural pirenaico de alta montaña durante le Holoceno: estudio polínico y de otros indicadores paleoambientales en el valle del Madriu-Perafita-Claror (Andorra)*. Thèse de Doctorat, Universitat Rovira i Virgili, 348 p.
- EJARQUE A., MIRAS Y., RIERA S., PALET J. M. & ORENCO H. A., 2010** – Testing micro-regional variability in the Holocene shaping of high mountain cultural landscapes: a palaeoenvironmental case-study in the eastern Pyrenees. *Journal of Archaeological Science*, **37**, 1468-1479.
- EJARQUE A., MIRAS Y. & RIERA S., 2011** – Pollen and non-pollen palynomorph indicators of vegetation and highland grazing activities obtained from modern surface and dung datasets in the eastern Pyrenees. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **167**, 123-139.
- EJARQUE A., JULIÀ R., REED J. M., MESQUITA JOANES F., MARCO BARBA J., RIERA S., 2016** – Coastal evolution in a Mediterranean microtidal zone: mid to late Holocene natural dynamics and human management of the Castelló lagoon, NE Spain. *PLoS ONE*, **11** (5), 1-28.
- ELLIS M., 1971** – *Dematiaceous Hyphomycetes*. Commonwealth Mycological Institute. Kew, Surrey, UK. 608 p.
- ESTEBAN A., 1995** – *Evolución del paisaje durante los últimos 10000 años en las montañas del Mediterráneo Occidental: ejemplos del Pirineo Oriental y Sierra Nevada*. Thèse de Doctorat, Universitat de Barcelona.
- FAEGRI K. & IVERSEN J., 1989** - *Textbook of pollen analysis. IV edition*, Wiley, London, 328 p.

**FAURE E., 2012** – « Hautes terres » : l'anthropisation des monts d'Aubrac et du Lézou (Massif Central, France) durant l'holocène : approche palynologique des dynamiques socio-environnementales en moyenne montagne. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse le Mirail – Toulouse II, 311 p.

**FLETCHER W. J., DEBRET M., SÁNCHEZ GOÑI M. F., 2012** – Mid-Holocene emergence of a low-frequency millennial oscillation in western Mediterranean climate: Implications for past dynamics of the North Atlantic atmospheric westerlies. *The Holocene*, **23** (2), 153-166.

**GALOP D., 1998** – *La forêt, l'homme et le troupeau dans les Pyrénées. 6000 ans d'histoire de l'environnement entre Garonne et Méditerranée. Contribution palynologique.* Toulouse, GEODE – Laboratoire d'Ecologie Terrestre – FRAMESPA, 285 p.

**GALOP D., 2006** – La conquête de la montagne Pyrénéenne au Néolithique. Chronologie, rythmes et transformations des paysages à partir des données polliniques. In J. Guilaine (ed.), *Populations Néolithiques et Environnement.* Paris, Editions Errance, 279-295.

**GALOP D., RIUS D., CUGNY C. & MAZIER F., 2013** - A history of long-term human-environment interactions in the french Pyrenees inferred from the pollen data. In L. R. Lozny (ed.), *Continuity and Change in Cultural Adaptation to Mountain Environments*, Studies in Human Ecology and Adaptation, **7**, 19-30.

**GASCO J., 2011** - Géographie régionale de l'âge du Bronze en Languedoc. *Quaderns de prehistòria i arqueologia de Castelló*, **29**, 135-152.

**GASSIOT E., MAZZUCCO N., CLEMENTE I., RODRIGUEZ D., OBEA L., QUESADA M. & DIAZ S., 2017** – The beginning of high mountain occupations in the Pyrenees. Human settlements and mobility from 18,000 cal BC to 2000 cal BC. In J. Catalan, J. M. Ninot & M. Aniz (ed), *High Mountain Conservation in a Changing World, Advances in Global Research*, **62**, 75-105.

**GAUSSEN H., 1926** – Végétation de la moitié orientale des Pyrénées. Sol, climat, végétation. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, **15** (4), 564 p.

**GAUTHIER E., 2004** – *Forêts et agriculteurs du Jura. Les quatre derniers millénaires.* Annales littéraires de l'Université de Franche-Comté, 197 p.

**GOMEZ A. & ESTEBAN A., 1993** – Análisis polínico de la turbera de la Feixa (La Màniga, Cerdanya, 2150 m). Evolución del paisaje. In M. P. Fumanal & J. Bernabeu (ed.), *Estudios sobre Cuaternario. Medios sedimentarios. Cambios ambientales. Hábitat humano.* Valencia, Universitat de València, 185-190.

**GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ P., VALERO-GARCÉS B. L., MORENO A., JALUT G., GARCÍA RUIZ J. M., MARTÍ-BONO C., DELGADO-HUERTAS A., NAVAS A., OTTO T. & DEDOUBAT J.J., 2006** - Climate variability in the spanish Pyrenees during the last 30,000 yr revealed by the El Portalet sequence. *Quaternary Research*, **66**, 38–52.

**GRUBER M., 1981** – Espèces indicatrices des différents étages de végétation dans les Pyrénées. *Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques*, **128** (4-5), 295-302.

**GUITER F., ANDRIEU-PONEL V., DIGERFELDT G., REILLE M., DE BEAULIEU J. L. & PONEL P., 2005** – Vegetation history and lake-level changes from the Younger Dryas to the present in Eastern Pyrenees (France) : pollen, plant macrofossils and lithostratigraphy from Lake Racou (2000 m a.s.l.). *Vegetation History and Archaeobotany*, **14**, 99-118.

**HAAS J. N., 1996** – Neorhabdocoela occytes – palaeoecological indicators found in pollen preparations from Holocene freshwater lake sediments. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **91**, 371-382.

**HEUSSER L. & BALSAM W., 1977** – Pollen distribution in the Northeast Pacific Ocean. *Quaternary Research*, **7**, 45-62.

**HUMILOVSKIKH L. S., SCHLÜTZ F., ACHTERBERG I., BAUEROCHSE A. & LEUSCHNER H. H., 2015** – Non-pollen palynomorphs from mid-Holocene peat of the raised bog Borsteler Moor (Lower Saxony, Germany). *Studia Quaternaria*, **32** (1), 5-18.

**IVERSEN J., 1941** – Landnam i Danmark Stenalder. *Danmarks Geologiske Undersogelse*, **66**, 1-68.

**JACOBSON G. L. & BRADSHAW R. H. W., 1981** – The selection of sites for paleovegetational studies. *Quaternary Research*, **16**, 80-96.

**JALALI B., SICRE M. A., BASSETTI M. A. & KALLEL N., 2016** – Holocene climate variability in the North-Western Mediterranean Sea (Gulf of Lions). *Climate of the Past*, **12**, 91-101.

**JALALI B., SICRE M. A., KALLEL N., AZUARA J., COMBOURIEU-NEBOUT N., BASSETTI M. A. & KLEIN V., 2017** – High-resolution Holocene climate and hydrological variability from two major Mediterranean deltas (Nile and Rhone). *The Holocene*, **27** (8), 1158-1168.

**JALUT G., 1974** – *Evolution de la végétation et variations climatiques, durant les quinze derniers millénaires dans l'extrémité orientale des Pyrénées*. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse III.

**JALUT G., 1977** – Végétation et climat des Pyrénées méditerranéennes depuis quinze mille ans. *Archives d'Écologie Préhistorique*, École des Hautes Études en Sciences Sociales, **2**, 141p.

**JALUT G., AUBERT S., GALOP D., FONTUGNE M. & BELET J. M., 1996** – France, type region F-zg and F-r, the northern slope of the Pyrenees. In B. E. Berglund, H. J. B. Birks, M. Ralska-Jasiewiczowa & H. E. Wright (ed.), *Palaeoecological events during the last 15000 years: regional syntheses of palaeoecological studies of lakes and mires in Europe*. Chichester, John Wiley & Sons, 612-624.

**JALUT G., ESTEBAN 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., DEDOUBAT J. J., FONTUGNE M. & OTTO T., 2009** – Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: climate forcing and human impact. *Quaternary International*, **200**, 4-18.

**JUGGINS S., 2003** – C2, Software for ecological and palaeocological data analysis and visualisation. University of Newcastle : <https://www.staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins/software/code/C2.pdf>

**KELLER P., 1929** – Analyse pollinique de la tourbière de Pinet. *Archives de Botanique*, **3**, 57-63.

**KOLACZEK P., ZUBEK S., BLASZKOWSKI J., MLECZKO P. & MARGIELEWSKI W., 2013** – Erosion or plant succession – How to interpret the presence of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) spores in pollen profiles collected from mires. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **189**, 29-37.

**KOTTHOFF U., MÜLLER U. C., PROSS J., SCHMIEDL G., LAWSON I. T., VAN DE SCHOOTBRUGGE B. & SCHULZ H., 2008** – Late Glacial and Holocene vegetation dynamics in the Aegean region: An integrated view based on pollen data from marine and terrestrial archives. *The Holocene*, **18**, 1019-1032.

**LÓPEZ-VILA J., MONTOYA E., CAÑELLAS-BOLTÀ N. & RULL V., 2014** – Modern non-pollen palynomorphs sedimentation along an elevational gradient in the south-central Pyrenees (southwestern Europe) as a tool for Holocene paleoecological reconstruction. *The Holocene*, **24** (3), 327-345.

**MAGNY M., 2004** – Holocene climate variability as reflected by mid-European lake-level fluctuations and its probable impact on prehistoric human settlements. *Quaternary International*, **113** (1), 65-79.

**MAGNY M., VANNIERE B., ZANCHETTA G., FOUACHE E., TOUCHAIS G., PETRIKA L., COUSSOT C., WALTER-SIMONNET A. V. & ARNAUD F., 2009** – Possible complexity of the climatic event around 4300-3800 cal. BP in the central and western Mediterranean. *The Holocene*, **19** (6), 823-833.

**MAGNY M., COMBOURIEU-NEBOUT N., DE BEAULIEU J. L., BOUT-ROUMAZEILLES V., COLOMBAROLI D., DESPRAT S., FRANCKE A., JOANNIN S., ORTU E., PEYRON O., REVEL M., SADORI L., SIANI G., SICRE M. A., SAMARTIN S., SIMONNEAU A., TINNER W., VANNIERE B., WAGNER B., ZANCHETTA G., ANSELMETTI F., BRUGIAPAGLIA E., CHAPRON E., DEBRET M., DIDIER J., ESSALLAMI, GALOP D., GILLI A., KALLEL N., MILLET L., STOCK A., TURON J. L. & WIRTH S., 2013** – North-south palaeohydrological contrasts in the central Mediterranean during the Holocene: tentative

synthesis and working hypotheses. *Climate of the Past*, European Geosciences Union (EGU), **9**, 2043-2071.

**MAYEWSKI P., ROHLING E. E., CURT STAGER J., KARLÉN W., MAASCH K., MEEKER L. D., MEYERSON E. A., GASSE F., VAN KREVELD S., HOLMGREN K., LEE-THORP J., ROSQVIST G., RACK F., STAUBWASSER M., SCHNEIDER R. R. & STEIG E. J., 2004** – Holocene climate variability, *Quaternary Research*, **62** (3), 243-255.

**MAZIER F., 2007** – *Modélisation de la relation entre pluie pollinique actuelle, végétation et pratiques pastorales en moyenne montagne (Pyrénées et Jura). Application pour l'interprétation des données polliniques fossiles*. Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté et Université de Neuchâtel, 243 p.

**MAZIER F., GALOP D., BRUN C., BUTTLER A., 2006** – Modern pollen assemblages from grazed vegetation in the western Pyrenees, France: a numerical tool for more precise reconstruction of past cultural landscapes. *The Holocene*, **16**, 1, 91-103.

**MENSING S., SCHOOLMAN E. M., TUNNO I., NOBLE P. J., SAGNOTTI L., FLORINDO F. & PIOVESAN G., 2018** – Historical ecology reveals landscape transformation coincident with cultural development in central Italy since the Roman Period. *Scientific Reports*, **8** (1), 1-9.

**MERCURI A. M., BANDINI MAZZANTI M., TORRI P., VIGLIOTTI L., BOSI G., GLORENZANO A., OLMI L. & MASSAMBA N'SIALA I., 2012** – A marine/terrestrial integration for mid-late Holocene vegetation history and the development of the cultural landscape in the Po valley as a result of human impact and climate change. *Vegetation History and Archaeobotany*, **21**, 353-372.

**MIRAS Y., 2004** – *L'analyse pollinique du plateau de Millevaches (Massif central, France) et de sites périphériques limousins et auvergnats : approche des paléoenvironnements, des systèmes agro-pastoraux et évolution des territoires ruraux*. Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, 301 p.

**MIRAS Y., EJARQUE A., RIERA S., PALET J. M., ORENGO H. & EUBA I., 2007** – Dynamique holocène de la végétation et occupation des Pyrénées andorranes depuis le Néolithique ancien, d'après l'analyse pollinique de la tourbière de Bosc dels Estanyons (2180 m, Vall del Madriu, Andorre). *Comptes Rendus Palevol*, **6**, 291-300.

**MIRAS Y., EJARQUE A., ORENGO H., MORA S. R., PALET J. M., 2010** – Prehistoric impact on landscape and vegetation at high altitudes: An integrated palaeoecological and archaeological approach in the eastern Pyrenees (Perafita valley, Andorra). *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, **144** (4), 924-939.

**MIRAS Y., BEAUGER A., LAVRIEUX M., BERTHON V., SERIEYSSOL K., ANDRIEU-PONEL V. & LEDGER P. M., 2015** – Tracking long-term human impacts on landscape, vegetal biodiversity and water quality in the Lake Aydat catchment

(Auvergne, France) using pollen, non-pollen palynomorphs and diatom assemblages. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **424**, 76-90.

**MORELLÓN M., ANSELMETTI F. S., ARIZTEGUI D., BRUSHULLI B., SINOPOLI G., WAGNER B., SADORI L., GILLI A. & PAMBUKU A., 2016** – Human-climate interactions in the central Mediterranean region during the last millennia: the laminated record of Lake Butrint (Albania). *Quaternary Science Reviews*, **136**, 134-152.

**MUDIE P.J. & MCCARTHY F. M. G., 2006** – Marine palynology: potentials for onshore-offshore correlation of Pleistocene-Holocene records. *Transactions of the Royal Society of South Africa*, **61**, 2, 139-157.

**ORENGO H., 2010** – *Arqueología de un paisaje pirenaico de alta montaña. Dinámicas de ocupación del valle del Madriu-Perafita-Claror (Andorra)*. Thèse de Doctorat, Universitat Rovira i Virgili, 386 p.

**ORENGO H., PALET J. M., EJARQUE A., MIRAS Y. & RIERA R., 2014** – Shifting occupation dynamics in the Madriu-Perafita-Claror valleys (Andorra) from the early Neolithic to the Chalcolithic: the onset of high mountain cultural landscapes. *Quaternary international*, **353**, 1-13.

**OZENDA P., 1975** – Sur les étages de végétation dans les montagnes du bassin méditerranéen. *Documents de cartographie écologique*, **16**, 1-32.

**PAIRAUD I., DESMARE S., GATTI J. & TAUPIER-LETAGE I., 2012** – *Caractéristiques et état écologique. Méditerranée Occidentale. Etat physique et chimique. Caractéristiques physiques. Courantologie*. Ifremer – La Seyne, 9 p.

**PALET J. M., EJARQUE A., MIRAS Y., RIERA S., EUBA I. & ORENGO I., 2007** – Formes d'ocupació d'alta muntanya a la vall de la Vansa (Serra del Cadí – Alt Urgell) i a la vall del Madriu-Perafita-Claror (Andorra): estudi diacrònic de paisatges culturals pirinencs. *Tribuna d'Arqueologia*, 2006-2007, 229-253.

**PALET J. M., ORENGO H. A. & GARCIA A., 2012** – Informe de les intervencions arqueològiques (excavació i sondejos) a Vall de Núria (Queralbs, Ripollès). Campanya 2012, Institut Català d'Arqueologia Clàssica.

**PALET J. M., ORENGO H. A. & GARCIA A., 2015** – Informe de les intervencions arqueològiques (prospecció i mostreig) a Coma de Fresser i a la Capçalera de Vallter (Setcases i Queralbs, Ripollès).

**PALET J. M., GARCIA A., ORENGO H. A. & POLONIO T., 2016** – Memòria de les intervencions arqueològiques a Vall de Núria, Coma de Vaca, Coma de Fresser (Queralbs) i a Capçalera de Vallter (Setcases). 2014 i 2015. GIAP, Institut Català d'Arqueologia Clàssica.



**PALET J. M., GARCIA A., ORENGO H. A., POLONIO T., 2017** – Els espais altimontans pirenaics orientals a l'Antiguitat: 10 anys d'estudis en arqueologia del paisatge del GIAP – ICAC. *Treballs d'Arqueologia*, **21**, 77-97.

**PARRA I., 2012** – Sobrestany, Gerona. In J. S. Carrión (ed). *Paleoflora y Paleovegetación de la Península Ibérica e Islas Baleares: Plioceno-Cuaternario*. Madrid: Ministerio de Economía y Competitividad, 314-316.

**PÉREZ OBIOL R., 1988** - Histoire Tardiglaciaire et Holocène de la végétation de la région volcanique d'Olot (NE Péninsule Ibérique). *Pollen et Spores*, **30** (2), 189–202.

**PÉREZ OBIOL R. & JULIÀ R., 1994** – Climatic change on the Iberian Peninsula recorded in a 30,000-Yr pollen record from Lake Banyoles. *Quaternary Research*, **41** (1), 91-98.

**PÉREZ OBIOL R., JALUT G., JULIÀ R., PÈLACHS A., IRIARTE M. J., OTTO T. & HERNÁNDEZ-BELOQUI B., 2011** - Mid-Holocene vegetation and climatic history of the Iberian Peninsula. *The Holocene*, **21** (1), 75-93.

**PEYRON O., GORING S., DORMOY I., KOTTHOFF U., PROSS J., DE BEAULIEU J. L., DRESCHER-SCHNEIDER R., VANNIÈRE B. & MAGNY M., 2011** – Holocene seasonality changes in the central Mediterranean region reconstructed from the pollen sequences of Lake Accesa (Italy) and Tenaghi Philippon (Greece). *The Holocene*, **21** (1), 131-146.

**PEYRON O., MAGNY M., GORING S., JOANNIN S., DE BEAULIEU J. L., BRUGIAPAGLIA E., SADORI L., GARFI G., KOULI K., IOAKIM C. & COMBOURIEU-NEBOUT N., 2013** – Contrasting patterns of climatic changes during the Holocene across the Italian Peninsula reconstructed from pollen data. *Climate of the Past*, **9**, 1233-1252.

**PLA S. & CATALAN J., 2005** - Chrysophyte cysts from lake sediments reveal the submillennial winter/spring climate variability in the northwestern Mediterranean region throughout the Holocene. *Climate Dynamics*, **24**, 263-278.

**QUEZEL P. & MEDAIL F., 2003** – *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Collection environnement, Editions scientifiques et médicales Elsevier SAS, 572 p.

**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., 1990** – *Leçons de Palynologie et d'analyse pollinique*. Éditions du CNRS, Paris, 206 p.

**REILLE M., 1992** – *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Editions du C.N.R.S et Editions Louis-Jean, Gap, 520 p.

**REIMER P. J., BARD E., BAYLISS A., BECK J. W., BLACKWELL P. G., BRONK RAMSEY C., GROOTES P. M., GUILDERTSON T. P., HAFLIDASON H., HAJDAS I., HATT C., HEATON T. J., HOMANN D. L., HOGG A., 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.

**RENDU C., 2003** – *La montagne d'Enveig, une estive pyrénéenne dans la longue durée*. Editions Trabucaire, Canet en Roussillon, 606 p.

**RENDU C., CAMPMAJO P., DAVASSE B. & GALOP D., 1995** - Habitat, environnement et systèmes pastoraux en montagne : acquis et perspectives de recherches à partir de l'étude du territoire d'Enveig. *Cultura i medis de la prehistòria a l'Edat Mitjana. Xe col.loqui internacional d'arqueologia de Puigcerdà, homenatge a Jean Guilaine*. Puigcerdà, Institut d'Estudis Catalans, 661-708.

**REVELLES J., 2017** – *Mid-Holocene vegetation history, climate change and Neolithic landscape transformation. Archaeopalynology in La Draga and Lake Banyoles (NE Iberian Peninsula)*. Thèse de Doctorat, Universitat Autònoma de Barcelona, 357 p.

**ROBERTS N., BRAYSHAW D., KUZUCUOGLU C., PEREZ R. & SADORI L., 2011** – The mid-Holocene climatic transition in the Mediterranean: causes and consequences. *The Holocene*, **21** (1), 3-13.

**SADORI L., GIRAUDI C., MASI A., MAGNY M., ORTU E., ZANCHETTA G. & IZDEBSKI A., 2016** – Climate, environment and society Italy during the last 2000 years. A review of the environmental, historical and archaeological evidence. *Quaternary Science Reviews*, **136**, 173-188.

**SCHMIEDL G., KUHN G., EHRMANN W., EMEIS K. C., HAMANN Y., KOTTHOFF U., DULSKI P. & PROSS J., 2010** – Climatic forcing of eastern Mediterranean deep-water formation and benthic ecosystems during the past 22 000 years. *Quaternary Science Reviews*, **29**, 3006-3020.

**STAUBWASSER M. & WEISS H., 2006** – Holocene climate and cultural evolution in late prehistoric-early historic West Asia. *Quaternary Research*, **66**, 372-387.

**STUIVER M. & REIMER P. J., 1993** – Extended <sup>14</sup>C Data Base and Revised Calib 3.0 <sup>14</sup>C Age Calibration Program. *Radiocarbon*, **35**, 215-230.

**SULTAN N. & VOISSET M., 2002** – GMO2 – CARNAC cruise, RV Le Suroît, <http://dx.doi.org/10.17600/2020080>.

**TELFORD R. J., HEEGAARD E., BIRKS H. J. B., 2004** – All age-depth models are wrong: but how badly? *Quaternary Sciences Reviews*, **23**, 1-5.

**TUNNO I. & MENSING S., 2017** – The value of non-pollen palynomorphs in interpreting palaeoecological change in the Great Basin (Nevada, USA). *Quaternary Research*, 1-15.

**TURNER B. L., KASPERSON R. E., MATSON P. A., MCCARTHY J. J., CORELL R. W., CHRISTENSEN L., ECKLEY N., KASPERSON J. X., LUERS A., MARTELLO M., POLSKY C., PULSIPHER A. & SCHILLER A., 2003** – A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **14**, 8074-8079.

**TURON J. L., 1984** – Le palynoplancton dans l'environnement actuel de l'Atlantique Nord-Oriental. Évolution climatique et hydrologique depuis le dernier maximum glaciaire. *Mémoire de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine*, **17**, 313 p.

**VAN GEEL B. & VAN DER HAMMEN T., 1978** – Zygnemataceae in Quaternary colombian sediments. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **25**, 377-192.

**VAN GEEL B., 1986** – A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and The Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **25**, 1-120.

**VAN GEEL B., COOPE G. R. & VAN DER HAMMEN T., 1989** – Paleoecology and stratigraphy of the Lateglacial type section at Usselo (The Netherlands). *Review of Palaeobotany and Palynology*, **60**, 25-129.

**VENABLES W. N., SMITH D. M. & THE R CORE TEAM., 2018** – An introduction to R. Notes on R: a programming environment for data analysis and graphics. Version 3.4.4.

**WALKER M. J. C., BERKELHAMMER M. BJÖRCK S., CWYNAR L. C., FISHER D. A., LONG A. J., LOWE J. J., NEWNHAM R. M., RASMUSSEN S. O. & WEISS H., 2012** – Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a discussion paper by a working group of INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the subcommission on Quaternary stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). *Journal of Quaternary Science*, **27** (7), 649-659.

**WALSH K., COURT-PICON M., MOCCI F., SEGARD M., & PALET-MARTINEZ J. M., 2007** – Occupation de la montagne et transformation des milieux dans les Alpes méridionales au cours de l'Âge du Bronze : approche croisée des données palynologiques et archéologiques en Champsaur et Argentiérois (Hautes-Alpes, France). In C. Mordant, H. Richard & M. Magny (ed.), *Environnements et cultures à l'Âge du Bronze en Europe occidentale*, 89-106.

**WALSH K., COURT-PICON M., DE BEAULIEU J. L., GUITER F., MOCCI F., RICHER S., SINET R., TALON B. & TZORTZIS S., 2014** – A historical ecology of the Ecrins (Southern French Alps): Archaeology and palaeoecology of the Mesolithic to the Medieval period. *Quaternary international*, **353**, 52-73.

**WEISS H., 2012** – Altered trajectories: the Intermediate Bronze Age in Syria and Lebanon 2200-1900 BCE. In A. E. Killebrew & M. Steiner (ed.), *Oxford Handbook of the Archaeology of the Levant*. Oxford University Press, Oxford, 367-387.

**YLL E. I., PÉREZ OBIOL R., PANTALÉON CANO J. & ROURE J. M., 1997** - Palynological evidence for climatic change and human activity during the Holocene in Minorca (Balearic Islands). *Quaternary Research*, **48**, 339–347.

**ZANCHETTA G., REGATTIERI E., ISOLA I., DRYSDALE R. N., BINI M., BANESCHI I. & HELLSTROM J. C., 2016** – The so-called « 4.2 event » in the central Mediterranean and its climatic teleconnections. *Alpine and Mediterranean Quaternary*, **28**, 5-17.

# INDEX DE FIGURES ET TABLEAUX

---

## FIGURES

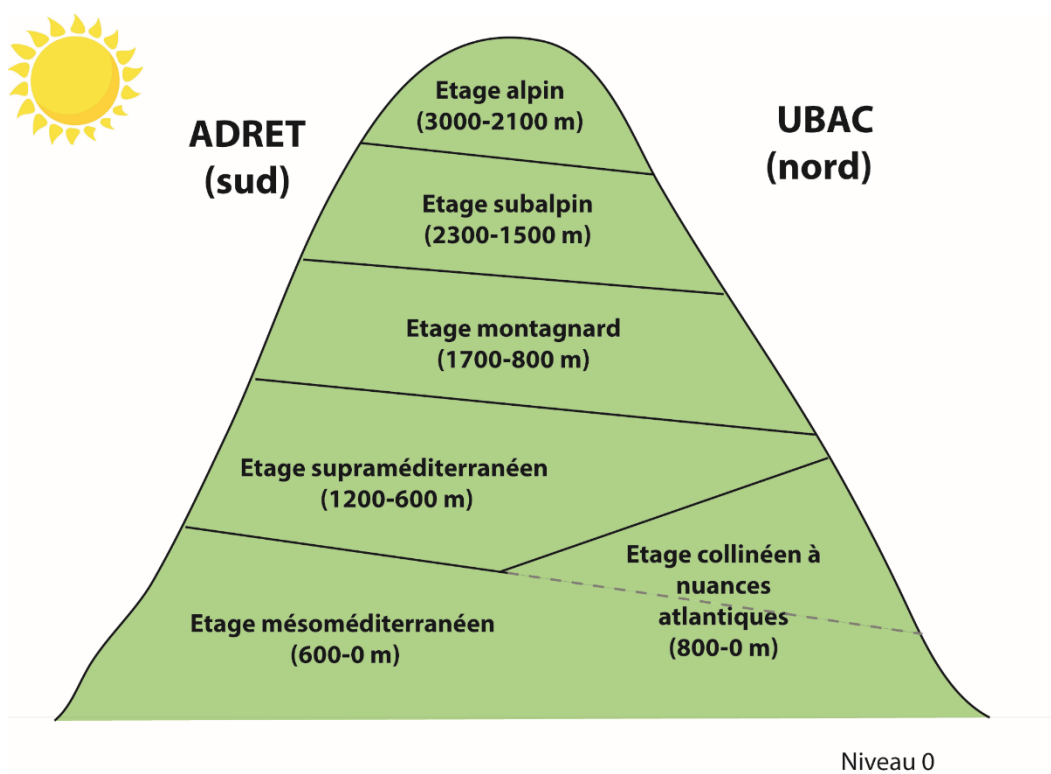
Figure 1. Localisation des principaux sites polliniques des Pyrénées orientales enregistrant des séquences holocènes et situation du site analysé dans ce mémoire (Conques de l'Avió) : en Andorre, Estany Forcat (2531 m), Riu dels Orris (2390 m), Planells de Perafita (2240 m) et Bosc dels Estanyons (2180 m). En Cerdagne, Turbera de la Feixa (2150 m) et Pla de l'Orri (2150 m). En Conflent, La Borde (1660 m), Le Serre (1760 m), Lac Racou (2000 m), Lac de Balcère (1764 m), Gourg Nègre (2080 m) et Nohèdes (1680 m). En Vallespir, Les Estables (1750 m). En Ariège, Ruisseau du Laurenti (1860 m), Fournas (1510 m) et Pinet (880 m).....	8
Figure 2 - Localisation géographique des deux carottes étudiées, Conques de l'Avió et KSGC-31, avec la rose des vents de la région (NO, Tramontane ; N, vent de Narbonne ; NE, Grecale ; E, Levant ; SE, Marinade ; S, Sirocco ; SO, vent d'Espagne ; O, Ponant) et les climatogrammes de Mantet et Perpignan (T, en rouge = température en °C - P, en bleu = précipitations en mm).....	12
Figure 3. Localisation de la zone humide de Conques de l'Avió.....	16
Figure 4. Zone humide de Conques de l'Avió (crédit : Santiago Riera).....	17
Figure 5. Carotte prélevée (crédit : Santiago Riera).....	17
Figure 6. Echantillonnage de la carotte de Conques de l'Avió.....	18
Figure 7. Niveaux datés de la carotte KSGC-31 (d'après Bassetti et al., 2016 et Jalali et al., 2016).....	20
Figure 8. Liste des principales apophytes et de leur signification : Pastos = marqueurs de pâturage / Nitrófilo-ruderal = Marqueurs rudéro-nitrophiles / Pastoreo VMPC = marqueurs du pastoralisme dans la vallée de Madriu-Perafita-Claror / Pastoreo (otras áreas) = marqueurs du pastoralisme (autres secteurs) (d'Ejarque, 2011).....	22
Figure 9. a Observation de la lame avant filtration - b fin de l'étape de filtration : récupération des palynomorphes sur le filtre avec de l'H <sub>2</sub> O distillée.....	24
Figure 10. Schéma de la lecture des lames polliniques.....	25

Figure 11. Modèle âge-profondeur par interpolation linéaire (auteur : A. Mayoral Pascual).....	27
Figure 12 - Diagramme pollinique de Conques de l'Avió.....	29
Figure 13. Modèle âge-profondeur de la carotte KSGC-31 et lithologie en fonction de la granulométrie (d'après Bassetti <i>et al.</i> 2016).....	31
Figure 14 - Diagramme pollinique de la carotte KSGC-31.....	33
Figure 15. Localisation des évidences archéologiques de haute montagne mentionnées dans le texte.....	39

## **TABLEAUX**





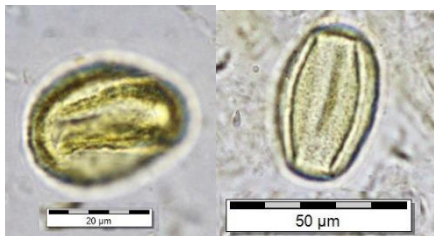


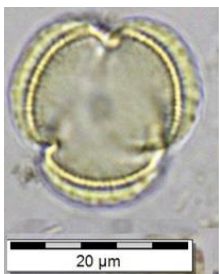
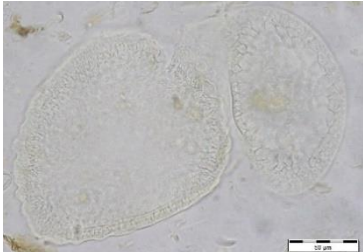



Tableau 1. Résultats des datations de la carotte de Conques de l'Aviό.....	18
Tableau 2. Traitement physico-chimique des échantillons tourbeux.....	23
Tableau 3. Traitement physico-chimique des sédiments marins.....	24
Tableau 4. Exemple de calcul des pourcentages.....	26
Tableau 5. Description des résultats des analyses polliniques de la carotte de Conques de l'Aviό. PA = pollen d'arbre / MNP = microfossiles non polliniques.....	30-31
Tableau 6. Description des résultats des analyses polliniques de la carotte KSGC-31. PA = pollen d'arbre / MNP = microfossiles non polliniques.....	34

Annexe 1. Schéma sur l'étagement de la végétation dans les Pyrénées orientales

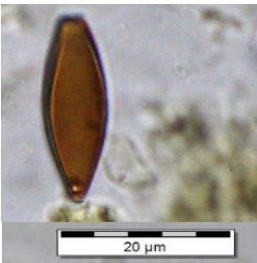
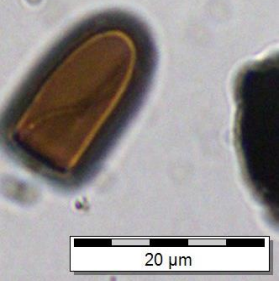
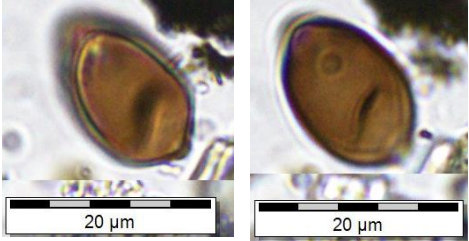







Annexe 2. Sélection de grains de pollen identifiés lors de l'analyse

 <p>20 µm</p>	 <p>50 µm</p>	 <p>20 µm</p>
<p><i>Cistus</i> (CAV)</p>	<p><i>Pinus</i> (CAV)</p>	<p><i>Plantago</i> (CAV)</p>
 <p>20 µm</p>	 <p>20 µm 50 µm</p>	 <p>20 µm</p>
<p><i>Ericaceae</i> (CAV)</p>	<p><i>Quercus</i> (CAV)</p>	<p><i>Ranunculaceae</i> (CAV)</p>
 <p>20 µm</p>	 <p>20 µm</p>	 <p>50 µm</p>
<p><i>Humulus</i> (CAV)</p>	<p><i>Artemisia</i> (CAV)</p>	<p><i>Abies</i> (CAV)</p>
 <p>20 µm</p>	 <p>50 µm</p>	 <p>20 µm</p>
<p><i>Corylus</i> (CAV)</p>	<p><i>Cyperaceae</i> (CAV)</p>	<p><i>Poaceae</i> (CAV)</p>

Annexe 3. Sélection de microfossiles non-polliniques identifiés lors de l'analyse

 <p><i>Cercophora</i>/HdV-112 (CAV)</p>	 <p><i>Sporormiella</i>/HdV-113 (KSGC-31)</p>	 <p><i>Sordaria</i>/HdV-55 (KSGC-31)</p>
 <p><i>Arthrinium cf. Luzulae</i>/ TM-4070 (CAV)</p>	 <p><i>Podospora</i>/HdV-368 (CAV)</p>	 <p><i>Gaeumannomyces</i>/HdV-126 (CAV)</p>