



HAL
open science

Dynamique de la biodiversité et changements environnementaux en Corse depuis 7000 ans : éclairages paléoentomologiques et paléobotaniques

Yoann Poher

► **To cite this version:**

Yoann Poher. Dynamique de la biodiversité et changements environnementaux en Corse depuis 7000 ans : éclairages paléoentomologiques et paléobotaniques. Biodiversité et Ecologie. Aix Marseille Université, 2017. Français. NNT: . tel-01771752

HAL Id: tel-01771752

<https://hal.science/tel-01771752v1>

Submitted on 19 Apr 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.

Doctorat Aix-Marseille Université

École Doctorale 251 : « Sciences de l'Environnement »

Spécialité : Écologie

Thèse préparée à l'IMBE

**Dynamique de la biodiversité et changements
environnementaux en Corse depuis 7 000 ans**

Éclairages paléontologiques et paléobotaniques

par

Yoann Poher

Soutenue le 8 décembre 2017 devant le jury composé de :

Nicole Limondin-Lozouet, directrice de recherche, Université de Paris 1, rapporteuse
Hervé Brustel, enseignant-chercheur, École d'Ingénieurs de PURPAN, Université de Toulouse, rapporteur
Mona Court-Picon, maître de conférences, Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, examinatrice

Franck Richard, professeur, Université de Montpellier, examinateur

Valérie Andrieu-Ponel, maître de conférences, Aix-Marseille Université, examinatrice

Philippe Ponel, directeur de recherche, Aix-Marseille Université, directeur de thèse

Frédéric Guiter, maître de conférences, Aix-Marseille Université, co-directeur de thèse

Frédéric Médail, professeur, Aix-Marseille Université, co-directeur de thèse

Conservatoire Botanique National



OFFICE DE
L'ENVIRONNEMENT
DE LA CORSE



Cette thèse a bénéficié des financements :

Bourse de l'école doctorale ED 251

Programme DyPaCo : Dynamique des paléoenvironnements de la Corse, Office de l'environnement de la Corse (OEC)/Conservatoire botanique national de Corse (pilotage F. MÉDAIL, L. HUGOT)

Programme CoP²A : Corsican Palaeoclimate, Palaeoenvironments & Anthropization, Laboratoire d'Excellence Objectif-Terre Bassin méditerranéen (Labex OT-Med), Aix Marseille Université (pilotage F. GUITER)

Remerciements

Les archives sédimentaires recueillies au cours de terrains inoubliables ont constitué l'unique fenêtre permettant d'entrevoir les changements anciens des paysages de Corse. Leur étude durant ces quatre années de thèse a présenté pour moi un intérêt scientifique certain mais aussi un plaisir pour l'imagination. Ces années de thèse m'ont permis de rencontrer, travailler ou simplement côtoyer des personnes qui m'ont enrichi scientifiquement et/ou humainement ; je souhaiterais les remercier ici.

En premier lieu, j'adresse mes remerciements aux rapporteurs et aux examinateurs pour l'honneur qu'ils m'ont fait d'accepter d'évaluer cette thèse : Nicole Limondin-Lozouet, Hervé Brustel, Mona Court-Picon, Franck Richard et Valérie Andrieu-Ponel.

Je souhaiterais remercier chaleureusement Philippe Ponel, mon directeur de thèse ainsi que Frédéric Guiter et Frédéric Médail, mes co-encadrants sans qui cette thèse n'aurait pas vu le jour. Philippe m'a appris énormément sur l'étude des coléoptères, qu'ils soient vieux de plusieurs milliers d'années ou encore « frais ». Je remercie vivement Frédéric Médail pour l'intérêt qu'il a toujours montré pour mon travail : son expérience en biogéographie insulaire a grandement contribué sur des questions de fond et a également permis de faire la passerelle entre le passé et le présent. Enfin, je remercie Frédéric Guiter pour m'avoir mis le pied à l'étrier. Ses commentaires, critiques et positifs à la fois, ont toujours été utiles. À tous les trois, merci pour la confiance et la disponibilité que vous m'avez accordé tout au long de ces quatre années.

Cette thèse se voulait résolument multidisciplinaire et comme le riche potentiel du matériel sédimentaire s'y prêtait, nous avons parfois voulu aller plus loin que la paléontologie et la palynologie pour reconstruire les paléoenvironnements corses. Ceci nous a amené à collaborer avec d'autres chercheurs, maîtres de conférence et techniciens de l'ISEM (Institut des Sciences de l'Évolution) et du CEREGE (Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement) que je voudrais remercier ici. Un grand merci à Kazuyo Tachikawa et à Marta Garcia (CEREGE) pour m'avoir initié à l'utilisation de l'ITRAX core-scanner et pour leur aide dans l'interprétation des données géochimiques. Merci également à Laurent Bouby et à Jean-Frédéric Terral (ISEM) pour leur aide à la détermination des macrorestes botaniques. Plusieurs spécialistes ont aussi contribué à ce travail : Olivier Rose (ONF), Antoine Mantilleri (Muséum national d'Histoire naturelle), Mattéo Vacchi, Matthieu Ghilardi (CEREGE) et Andrés Currás. Merci à eux.

Je remercie également Brigitte Talon et Frédéric Guibal (IMBE) qui ont identifié respectivement les charbons et bois datés dans cette étude. Frédéric, merci encore pour ta participation musclée aux carottages sur le plateau du Coscione et dans le marais de Cannuta (les sangsues te regretteront !).

Je remercie chaleureusement toutes les personnes rencontrées en Corse qui nous ont offert l'hospitalité et/ou leur aide sur le terrain. Je pense à l'assistance d'Alain Delage du Conservatoire du Littoral lors du carottage du marais de Cannuta ; à Richard Moulenc (ONF) qui nous a fait découvrir les fantastiques tourbières de Bagliettu et de Valdu ; au Corse anonyme qui nous a sorti des pistes de l'Agriate ; et au maire de Serra-di-Scopamène, M. Jean-Paul Rocca Serra qui n'a pas hésité à « mettre la main à la pâte » lors des prospections réalisées au plateau du Coscione. Je remercie également les maires des autres communes de Corse qui ont autorisé nos campagnes d'échantillonnage et qui ont montré de l'intérêt pour nos recherches : M. Jacques Costa (maire de Moltifao et directeur du Parc Naturel Régional de Corse), M. Antoine Sylvestre Pietri (maire de Quenza), M. Marc Tomi (maire de Santo-Pietro-di-Tenda). Merci aussi au Conservatoire Botanique National de Corse et à sa directrice Laetitia Hugot pour leur support constant dans cette recherche.

Je remercie surtout l'Institut Méditerranée d'Écologie et de Biodiversité marine et continentale (IMBE), son directeur Thierry Tatoni et son personnel pour m'avoir accueilli à l'Arbois. J'y ai trouvé un cadre de travail accueillant et stimulant, ce qui est important dans le « marathon intellectuel » que peut parfois constituer une thèse. Je remercie les personnes avec qui j'ai partagé de bons moments de vie « hors labo ». Je pense à Mathilde Herve, Mariana Fader et Morteza Djamali pour cette inoubliable observation des étoiles sous le ciel de Dormillouse ; à l'ascension du « géant chauve » avec Alexandre Million et Lenka Brousset ; aux innombrables kilomètres parcourus dans la colline avec Emmanuel Gandouin (pour bien commencer la journée) ; aux repas et aux soirées enquêtes avec Coralie Santelli, Cécile Langlois, Gabriela Boéri, Marianick Juin et d'autres.

Je n'oublie pas les collègues de l'Arbois qui n'ont pas encore été cités et avec qui j'ai eu des échanges chaleureux : Jérémie Migliore, Marine Pouget, Maryse Alvitre (article 22 !), Cécile Miramont, Daniel Pavon, Michelle Leydet, Hélène de Meringo, Ester Artells, Christian Marshall, Julien Issartel, Nathalie Duong, Sondes Fkiri, Cyril Aubert, Lisa Bajolle, Julie Braschi, Thierry Pin, Davhya Belkacema et bien d'autres. Un merci à tous les étudiants de master qui ont amené leur bonne humeur et de bons plats : Adèle Binétruy, Mélanie Renard, Cassy Berguet, Gwenaël Magne, Margaux Meurant, Cécile Danovaro, Chloé Blaise... Certains d'entre eux sont en thèse maintenant et je leur souhaite le meilleur des succès dans leur recherche.

J'adresse un remerciement tout particulier à Élodie Brisset et Rosine Cartier, mes collègues du « bloc dendro » avec qui j'ai commencé ma thèse. Un grand merci à elles pour les nombreux échanges scientifiques et plus encore pour les randonnées, les bulgogis et aussi les recherches... aux champignons ! Je leur souhaite tout le succès possible dans leur post-doc actuel et leur future carrière.

Enfin, j'adresse un dernier remerciement à tous mes proches, ma famille, ma belle-famille et *mon* Élodie. Ils ont toute ma gratitude et ma tendresse pour les encouragements et le soutien qu'ils m'ont apportés.

Table des matières

Remerciements	7
Introduction générale.....	13
Chapitre I : Présentation générale de la zone d'étude et sites sélectionnés	19
I. Contexte général de la Corse et biodiversité insulaire	20
1. La Corse : une île méditerranéenne au relief montagneux	20
2. Structure géologique.....	22
3. Conditions climatiques actuelles	23
4. Végétation et diversité entomologique.....	25
Le couvert végétal	25
La faune de coléoptères	28
II. Précédentes études paléoenvironnementales et résumé de l'histoire humaine en Corse.....	28
1. Changement de végétation tardiglaciaire et holocène en Corse	28
2. Occupation humaine plurimillénaire de la Corse	43
III. Sélection des sites étudiés	47
Chapitre II : Reconstruction multiproxy en contexte micro-insulaire méditerranéen depuis 7000 cal. BP	53
I. Introduction	54
II. Histoire environnementale holocène d'une petite île méditerranéenne en réponse aux changements relatifs du niveau marin, au climat et aux activités anthropiques – Article n°1	54
III. Conclusion.....	72
Chapitre III : Changement passé du niveau marin et impact sur la biodiversité littorale.....	73
I. Introduction	74
II. Érosion de la diversité entomologique en réponse à 7000 ans de montée relative du niveau marin sur une petite île de Méditerranée – Article 2	74
III. Conclusion.....	92
Chapitre IV : Variabilités hydrologiques et impacts anthropiques depuis 3700 cal. BP dans une basse vallée de Corse	95
I. Introduction	96

II.	Trajectoire environnementale de la tourbière de Bagliettu sur les derniers 3700 cal. BP reconstruite à partir des macrofossiles d'insectes et de plantes – Article 3	96
III.	Analyses complémentaires : changement de structure de l'écosystème mis en évidence par les analyses multi-variées	128
1.	Traitement numérique des données paléontologiques et carpologiques.....	128
2.	Résultats et interprétations des ordinations DCA.....	130
IV.	Conclusion.....	131
Chapitre V : Histoire des paléo-environnements littoraux du territoire de l'Agriate : impacts humains et climatiques depuis 5900 ans (marais de Cannuta)		
I.	Introduction	134
II.	Cadre géographique et géomorphologique.....	135
III.	Précédentes données sur l'histoire de la végétation du territoire de l'Agriate	138
IV.	Résultats et interprétations	142
1.	Caractérisation du sédiment, lithostratigraphie et chronologie	142
	Corrélation des profils sédimentaires et construction du profil synthétique	142
	Datations radiocarbone et chronologie.....	145
2.	Variations géochimiques du profil sédimentaire CAN-4	146
	Analyses des corrélations des éléments mesurés par XRF core scanner.....	146
3.	Analyse entomologique.....	151
	Unité faunique d'insectes 1, 400-240 cm (5900 à 3950 cal. BP)	154
	Unité faunique d'insectes 2, 240-160 cm (3950 à 1240 cal. BP)	156
	Unité faunique d'insectes 3, 160-0 cm (1240 cal. BP à l'actuel)	158
V.	Discussion	160
1.	Remontée relative du niveau marin holocène et évolution géomorphologique des zones humides littorales de Saleccia.....	160
2.	Évolution des paysages thermoméditerranéens de l'Agriate entre 5900 cal. BP et l'actuel déduit de la comparaison pollen/insecte.....	163
3.	Changements hydro-sédimentaires depuis 2000 ans et potentielles influences climatiques ou anthropiques ?.....	166
VI.	Conclusion.....	169

Chapitre VI : Synthèse et discussion générale	171
I. Spécificités et similitudes des réponses des zones humides littorales corses à la transgression marine holocène	173
1. Absence d'archive sédimentaire littorale corse couvrant la première moitié de l'Holocène : un déterminisme eustatique ?	173
2. Les zones humides littorales corses : spécificités et similitudes des changements de biodiversité entomologique.....	175
II. Forçages climatiques et anthropiques dans l'évolution holocène des écosystèmes de Corse	179
1. Sur le rôle de l'anthropisation	179
2. Sur le rôle de la variabilité climatique holocène	182
III. La faune des coléoptères des anciennes forêts : un éden perdu ou une continuité écologique ?	188
Conclusions générales, aspects de conservation et perspectives de recherche.....	191
1. Résumé des principaux résultats	192
2. Intérêt de l'étude rétrospective pour les aspects de conservation.....	194
3. Perspectives de recherche.....	195
Références bibliographiques (hors articles)	197
Table des figures et tableaux	223
Liste des figures (hors articles et annexes).....	223
Liste des tableaux (hors articles et annexes)	226
Liste des figures en annexes	227
Liste des tableaux en annexes.....	227
Annexe I : Techniques et méthodes.....	228
1. Carottage et échantillonnage sédimentaire	228
2. Datations radiocarbone et chronologie	230
3. Analyse paléoentomologique	231
4. Analyse sporo-pollinique.....	233
5. Analyse des macrorestes végétaux	233
6. Analyse géochimique : fluorescence aux rayons-X (XRF par ITRAX core scanner).....	234
7. Analyses statistiques multivariées des données.....	234

Annexe II : Liste des arthropodes fossiles identifiés à l'étang du Greco, à la tourbière de Bagliettu et au marais de Cannuta	235
Annexe III : Données paléoentomologiques et carpologiques utilisées pour les analyses multivariées à Bagliettu	251
Abstract	253
Résumé	254

Introduction générale

Les îles sont des territoires originaux et fragiles, souvent considérés comme des réservoirs de biodiversité (Whittaker et Fernández-Palacios 2007 ; Losos et Rickelfs 2009). La biodiversité de ces milieux peut être héritée d'un territoire plus grand (dans le cas d'îles continentales) ou exclusivement dépendante de la colonisation d'espèces (pour les îles océaniques). Ainsi, du point de vue environnemental, les îles sont intéressantes puisque le confinement et l'isolation constituent des moteurs évolutifs uniques qui amènent à l'apparition d'adaptations particulières (e.g. nanisme, gigantisme, aptérisme, naïveté insulaire), à la présence d'espèces en limite d'aire ou encore à l'émergence d'espèces spécialisées et endémiques. Du point de vue sociétal, ces territoires marginaux présentent des cultures originales et des adaptations humaines aux modes de vie insulaires particulières.

Pour ces raisons, ces milieux ont été très tôt considérés comme des « laboratoires naturels » pour l'étude des processus adaptatifs et biogéographiques (Warren et al. 2015). Ce sont également des territoires sensibles aux perturbations environnementales et humaines, dont la biodiversité est particulièrement vulnérable face aux invasions et dont l'intégrité est menacée par le changement global (Brookfield 1990). Les changements climatiques sont un des facteurs qui ont le plus d'impact sur les caractéristiques propres des îles et leur biodiversité : les successions des périodes glaciaires et interglaciaires ont été un puissant moteur de spéciation puisqu'elles ont influé sur la distribution géographique de nombreuses espèces animales et végétales (Médail et Diadela 2009 ; Woolbright et al. 2014 ; Thibault et al. 2016 ; Fernández-Palacios et al. 2016), tandis que les fluctuations du niveau marin peuvent créer de nouvelles connections biogéographiques ou au contraire augmenter l'isolement et réduire la taille des îles (Weigelt et al. 2016). Par ailleurs, bien que jouant sur une plus courte échelle temporelle, les activités humaines peuvent être la source d'importantes perturbations et altérer en profondeur la composition et la résilience des écosystèmes insulaires. Notamment, plusieurs études rétrospectives menées sur des îles océaniques colonisées depuis moins de 700 ans ont démontré que des extinctions d'espèces, des introductions anciennes d'espèces que l'on pensait natives et plus généralement une dégradation des paysages forestiers avait eu lieu en lien avec des pratiques agro-sylvo-pastorales (Flenley et al. 1991 ; Mieth et Bork 2010 ; Lawson et al. 2007 ; Prebbel et Wilmshurst 2009 ; Wilmshurst et al. 2014 ; Rull et al. 2017).

Ainsi, la conservation des écosystèmes insulaires, en particulier dans les zones de hotspot de la biodiversité comme l'archipel du bassin méditerranéen, doit intégrer une dimension historique nécessaire pour la compréhension des paysages actuels et des facteurs externes impliqués dans leur mise en place (Floyd et Willis 2008). En effet, le bassin méditerranéen comprend quelque 10 000 îles et îlots ; lesquels présentent une forte hétérogénéité environnementale et abritent une biodiversité unique ainsi qu'un taux d'endémisme élevé (entre 7 et 13 % chez les plantes ; Médail et Quézel 1997 ; Médail et Myers 2004). Paradoxalement, les paysages actuels des plus grandes îles de Méditerranée sont

l'aboutissement d'interactions multimillénaires entre les perturbations anthropiques¹ (introduction d'espèces, agriculture, pastoralisme, déforestation) et naturelles (incendie, changement climatique, transgression marine) (Blondel 2006, 2008 ; Vannièrè et al. 2008 ; Zeder 2008 ; Roberts et al. 2011).

Ainsi, c'est par l'intermédiaire d'études rétrospectives qu'il peut être envisagé de distinguer au sein de ces interactions complexes, les rôles respectifs des changements environnementaux et des impacts anthropiques dans la structure actuelle de ces hotspots de biodiversité. De plus, les îles de Méditerranée sont menacées : (1) par l'urbanisation galopante des zones littorales, la fragmentation/destruction des zones humides (Beltrame et al. 2012 ; Marignani et al. 2017) et (2) par la montée relative du niveau des océans prévue dans le siècle à venir (Church et al. 2013 ; Bellard et al. 2013a, b ; Marcos et al. 2016). La connaissance des réponses de ces écosystèmes insulaires sur le long terme représente donc un atout pour proposer des mesures de conservation durable et optimale, à même de maintenir les nombreux services écosystémiques qu'ils offrent (réservoir de biodiversité, héritage culturel, écotourisme, activités halieutiques et portuaires). C'est dans ce contexte insulaire méditerranéen que s'inscrit cette thèse dont les objectifs principaux sont :

- De **reconstruire l'histoire des paléoenvironnements de Corse au cours de l'Holocène** ;
- D'**étudier la réponse de plusieurs écosystèmes présentant actuellement de forts enjeux de conservation face aux activités humaines passés et aux changements climatiques**, et
- D'**estimer les conséquences biologiques de la remontée relative du niveau marin holocène** sur la biodiversité des zones humides côtières de Corse.

Cette vaste problématique de thèse reposera sur l'**étude multiproxy** des restes biologiques préservés dans des **archives sédimentaires plurimillénaires** supposées continues (marais, étangs, tourbières). Notamment, l'analyse des variations des bioindicateurs sélectionnés (insectes coléoptères, pollen et macrorestes de plante) en matière de compositions taxonomiques, de successions d'assemblages et de changements d'abondances, sera utilisée pour tenter de reconstruire à la fois des facteurs locaux, tels que les changements hydrologiques, l'occupation des sols, la dynamique de la végétation, mais aussi des facteurs climatiques à portée régionale (érosion du bassin versant) ou globale (changements relatifs du niveau marin).

Le choix de la Corse s'est posé du fait de son fort potentiel pour répondre à la démarche paléoenvironnementale proposée dans ce travail de thèse. En effet, l'île de la Corse présente une longue histoire géologique, climatique et humaine à l'origine d'une forte biodiversité et d'un taux d'endémisme important (Médail et Verlaque 1997 ; Guidicelli 1975). De plus la Corse présente 2,5 % de zones humides inventoriées sur son territoire en 2005 (e.g. étangs littoraux, lacs et pozzines d'altitude,

¹ Les impacts anthropiques apparaissent clairement dès 10 000 ans dans l'est du bassin Méditerranéen et depuis plus de 7500 ans dans les secteurs ouest, en lien avec la diffusion des sociétés néolithiques (Zeder 2008).

tourbières de basse altitude). Toutes constituent des archives sédimentaires potentielles qui n'ont d'ailleurs pas échappées à l'attention de la communauté scientifique puisqu'un grand nombre d'entre elles ont fait l'objet d'études paléocéologiques depuis 1975.

Trois archives sédimentaires en Corse se sont révélées adaptées à une approche multidisciplinaire combinant entre autre, analyses paléontologiques et paléobotaniques. Il s'agit :

- De l'**étang du Greco** sur l'île Cavallo où aucune étude paléoenvironnementale n'a été menée par le passé ;
- De la **tourbière de Bagliettu**, l'une des seules tourbières de Corse et du bassin méditerranéen localisée à basse altitude ;
- Du **marais de Cannuta** dans le territoire de l'Agriate, l'une des zones les plus précocement colonisée de Corse mais où les impacts des occupations humains et de la transgression marine restent peu connus.

Ces trois sites présentent tous un intérêt patrimonial pour la faune et la flore actuelle de la Corse et pour lesquels une étude rétrospective permettra de mieux comprendre la mise en place de ces écosystèmes et les dynamiques de la biodiversité qu'ils abritent.

Notre travail s'inscrit dans le cadre des projets DyPaCo : Dynamique des paléoenvironnements de la Corse et CoP²A : Corsican Palaeoclimate, Palaeoenvironments & Anthropization, respectivement portés par l'Office de l'environnement de la corse (OEC)/Conservatoire botanique national de Corse et le Laboratoire d'Excellence Objectif-Terre Bassin méditerranéen (Labex OT-Med) d'Aix Marseille Université.

Dans ce travail de thèse, une compilation de 3 articles scientifiques en anglais publiés ou soumis dans des revues internationales à comité de lecture et une analyse paléoenvironnementale préliminaire basée sur des données en cours d'exploitation sont présentés, tous traitant des questions de recherche susmentionnées. Ce mémoire de thèse s'organise autour de six chapitres de la manière suivante :

- Des informations à portée générales sont fournies dans le **Chapitre I** où le contexte géographique, géologique et climatique de la Corse est posé. Une synthèse des précédentes études paléoenvironnementales, des questionnements soulevés par ces études pionnières ainsi qu'un résumé de l'histoire de l'occupation humaine en Corse y sont présentés. Enfin, ce chapitre décrit le choix des sites d'études.
- Le **Chapitre II** présente l'analyse des assemblages d'insectes et de pollen d'une séquence sédimentaire provenant de l'île Cavallo. Les changements environnementaux qui ont eu lieu depuis 7000 ans sur cette petite île sont détaillés dans ce chapitre qui discute de la sensibilité

des écosystèmes en contexte micro-insulaire. Il inclut un article scientifique publié dans la revue internationale *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (**article 1**).

- Dans le **Chapitre III**, une partie des informations fournies par l'étude multiproxy de l'étang du Gréco sur l'île Cavallo est utilisée et confrontée aux données disponibles sur la remontée relative du niveau marin en Méditerranée. Le but de ce chapitre, résolument orienté vers des problématiques de conservation, est de mieux comprendre la réponse sur le long terme de la biodiversité des écosystèmes côtiers aux fluctuations du niveau de la mer. Il inclut un article scientifique publié dans la revue internationale *Biodiversity and Conservation* (**article 2**).
- Le **Chapitre IV** est consacré à l'analyse des assemblages d'insectes, des macrorestes de plantes et des charbons d'une séquence provenant de la tourbière de Bagliettu. Ce chapitre vise à dater et à documenter la mise en place de cette zone humide, remarquable pour la Corse, mais aussi à étudier les implications des changements hydro-morphologiques et d'usage des terres dans l'histoire et le devenir de ce site. Il inclut un article scientifique en révision dans la revue internationale *Vegetation History and Archaeobotany* (**article 3**).
- Le **Chapitre V** présente les résultats paléontologiques, radiométriques et géochimiques acquis sur la séquence sédimentaire du marais de Cannuta. Les travaux antérieurs de Reille (1992) et de Vella et al. (2014) ont montré que des changements de végétation et des épisodes érosifs avaient eu lieu localement, en lien avec des activités humaines et des changements climatiques. Ce chapitre a pour but d'identifier l'influence de ces forçages externes (anthropiques, climatiques mais également eustatiques) sur la trajectoire du marais littoral et de son bassin versant au cours des 5900 dernières années. Il inclut des interprétations paléoenvironnementales préliminaires, rédigées sous forme d'article.
- Finalement, le **Chapitre VI** dresse le bilan des résultats obtenus et les associe pour discuter des effets des forçages identifiés (eustatiques, anthropiques, climatiques) sur la trajectoire des écosystèmes étudiées en particulier, et sur les environnements insulaires méditerranéens plus globalement. Nous tenterons de définir si des particularités propres à la Corse et à ses écosystèmes étudiés existent.

L'ensemble des techniques et méthodes employées au cours de cette thèse sont décrites dans l'**Annexe I**. Celles qui ont été appliquées spécifiquement sur chacune des archives sédimentaires étudiées en fonction de leur potentiel paléoenvironnementale seront détaillées dans les chapitres concernés. Ces méthodes analytiques sont les suivantes :

- Technique de carottage sédimentaire, corrélation des profils et sous-échantillonnage ;
- Datation des séquences sédimentaires et élaboration d'un modèle âge-profondeur ;
- Analyse paléontomologique (la liste des arthropodes fossiles identifiés pour chacun des sites étudié est disponible dans l'**Annexe II**) ;
- Analyse sporo-pollinique ;
- Analyse des macrorestes végétaux ;
- Analyse géochimique semi-quantitative par fluorescence aux rayons-X
- Analyses statistiques multi-variées

Chapitre I : Présentation générale de la zone d'étude et sites sélectionnés

I. Contexte général de la Corse et biodiversité insulaire

1. La Corse : une île méditerranéenne au relief montagneux

La Corse est, avec une superficie de 8722 km², la 4^e plus grande île de Méditerranée après la Sicile, la Sardaigne et Chypre (Figure 1). Localisée dans l'ouest du bassin méditerranéen, la Corse s'étend de 6°15'3'' de longitude est à 7°16'0'' (soit 183 km de long) et de 41°15'6'' de latitude nord jusqu'à 43°1'25'' (soit 83,5 km de large) (Simi 1981). L'île est bordée à l'est par la Mer Tyrrhénienne et au nord-ouest par les eaux du bassin Liguro-Provençal. Elle est séparée de la Sardaigne, au sud, par le détroit des Bouches de Bonifacio. Environ 82 km séparent la Corse des plus proches côtes de la Toscane à l'est et 160 km de la Côte d'Azur au nord-ouest.

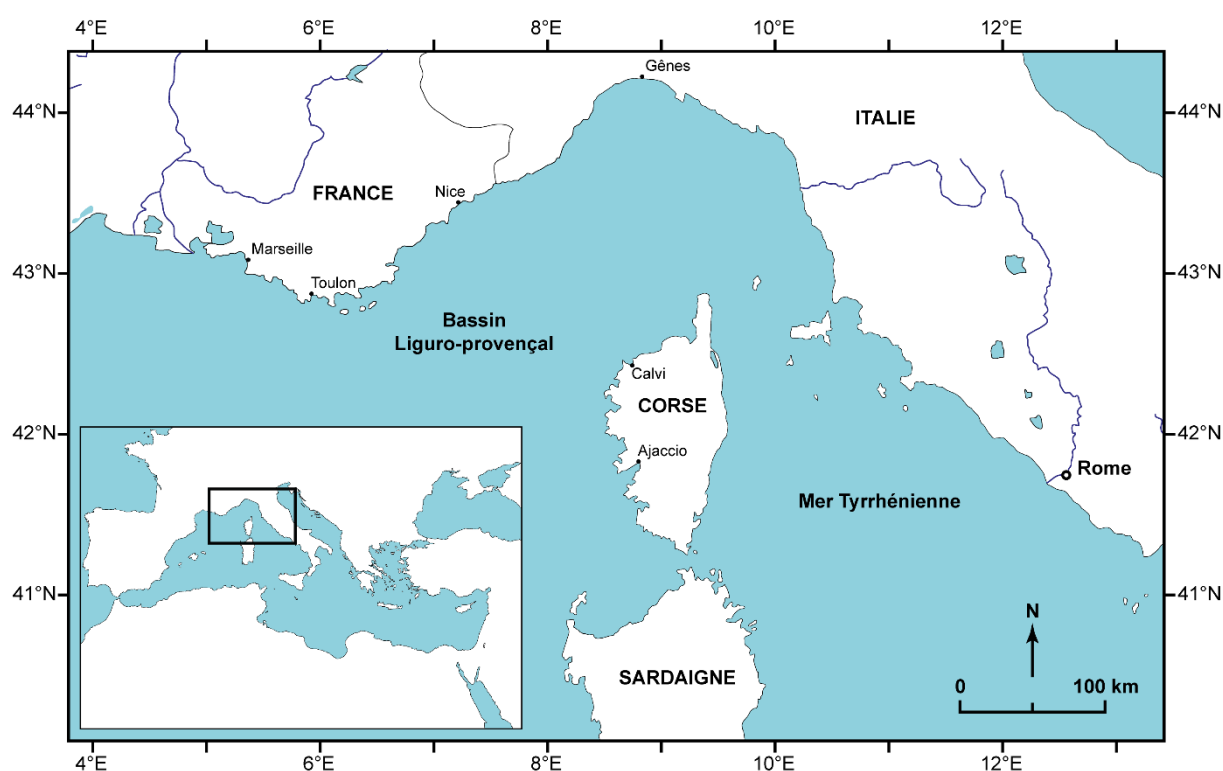


Figure 1 : Localisation de la Corse dans l'ouest du bassin méditerranéen.

Le rivage de la Corse compte environ 1050 km de linéaire côtier, dont 90 % est composé de côtes rocheuses et de plages de poches situées au fond de baies délimitées par des caps rocheux. Les 10 % restant correspondent à la Plaine orientale. En 2015, 24,5 % du linéaire côtier était protégé par le Conservatoire du littoral (www.conservatoire-du-littoral.fr).

La Corse est une île essentiellement montagneuse présentant une altitude moyenne de 568 mètres et se caractérisant par de nombreux sommets qui dépassent les 2000 mètres d'altitude (Figure 2). Le point culminant de l'île, le Monte Cinto, atteint 2710 m. C'est la courte distance séparant ces sommets de la mer, et ce, en tout point de l'île, qui a valu à la Corse la qualification de « montagne dans la mer » faite par Ratzel en 1982. À l'image de ce relief escarpé de par leurs cours et du climat de par leurs régimes,

les fleuves et rivières qui drainent la Corse sont des torrents méditerranéens typiques. En effet, les régimes de ces cours d'eau dépendent largement des précipitations, ce qui implique de fortes variations de débits intra-annuels (www.hydro.eaufrance.fr) et des crues répétées. Les rivières les plus importantes excèdent rarement 50 km de long et présentent souvent des bassins versants couvrant moins de 500 km². Les principales rivières de l'île sont le Golo, le Tavignano, l'u Fium'Orbo à l'est et la Gravona et le Taravo à l'ouest (Figure 2). Les principales caractéristiques de ces rivières sont données Tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des principales rivières de Corse (sources : www.hydro.eaufrance.fr et www.sandre.eaufrance.fr).

Rivière	Bassin versant (km ²)	Élévation maximale du bassin versant (m)	Longueur de la rivière (km)
Golo	926	2706	90
Tavignano	693	2327	89
Taravo	482	2041	65
Gravona	318	2352	46
Fango	279	2556	23
u Fium'Orbo	275	2352	46
Bravona	178	1724	37
Figarella	134	2154	24

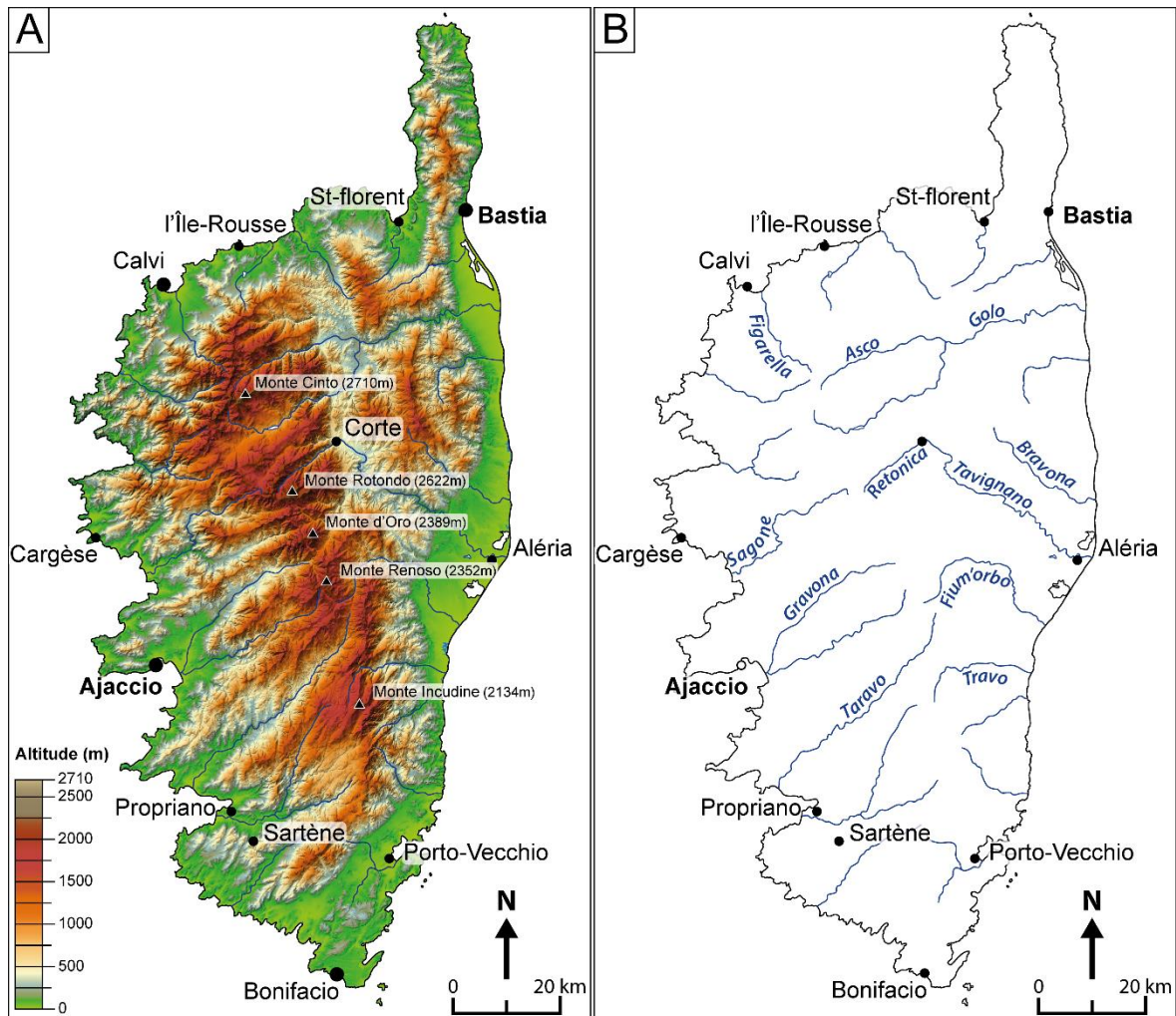


Figure 2 : A) Relief et principaux sommets de Corse. B) Localisation des principales rivières de Corse.

2. Structure géologique

L'insularité de la Corse tire son origine de la dérive du microcontinent Corso-Sarde par rapport à la Basse Provence. Si la chronologie précise de cette dernière et ses interprétations structurales sont toujours discutées (Orsini et al. 1980 ; Réhault et al. 1984 ; Edel et al. 2001 ; Speranza et al. 2002 ; Gattacceca et al. 2007), les grandes étapes géologiques sont maintenant relativement bien connues : Cette dérive aurait commencée à l'Oligocène entre -34 et -28 millions d'années et se serait poursuivie avec une rotation antihoraire d'environ 30°, suite à l'ouverture du bassin Liguro-Provençal durant le Miocène, entre -21,5 et -16 à -15 millions d'années (Gattacceca et al. 2007).

Du point de vue géologique, la Corse se divise classiquement en trois grands ensembles comprenant d'une part la **Corse Hercynienne occidentale** (dite granitique) et la **Corse orientale alpine** (schisteuse), toutes deux séparées par une zone déprimée présentant d'importantes fractures et d'autre part les **bassins Miocènes**, lesquels présentent des terrains néogènes et quaternaires (Caritg et al. 2009a, 2009b).

Plus précisément, la **Corse Hercynienne**, qui couvre les deux tiers sud-ouest de l'île, est essentiellement constituée de graniotoïdes datés du Carbonifère-Permien (entre -340 et -240 Ma) se prolongeant au sud

en Sardaigne et présentant des affinités avec le massif de Tanneron et de l'Esterelle (Orsini et al. 1980). Cette unité comprend les plus grands massifs et sommets de Corse le long de la ligne de crête médiane (du Monte Cinto au Monte Incudine). On y retrouve également des roches métamorphiques anciennes d'âge anté-Hercynien (gneiss, amphibolite) et des roches sédimentaires (schiste argileux et calcaire) d'âge primaire allant du Cambrien au Carbonifère (entre -500 et -300 Ma).

Couvrant le dernier tiers nord-est de l'île, la **Corse alpine** consiste principalement en des schistes lustrés ophiolitifères, d'âge Jurassique et Crétacé, affectés par un métamorphisme alpin polyphasé. Cette unité allochtone correspond aux reliefs orientaux de l'île (Cap Corse et Castagniccia). Cette partie géologiquement complexe, comprend également la **dépression centrale** de Corse, orientée du nord-ouest au sud-est et s'étendant de l'Île Rousse à Solenzara en passant par Corte. Cette dernière est composée de matériel sédimentaire autochtone d'âges variés, peu ou pas métamorphisé reposant sur le socle cristallin.

Enfin, les **bassins sédimentaires Miocènes** sont essentiellement représentés par les bassins calcaro-gréseux de Bonifacio et de St-Florent ainsi que par les accumulations conglomératiques et les dépôts marno-sableux de la Plaine orientale. Les terrains quaternaires de Corse, sont essentiellement représentés par des nappes alluviales successives, réparties aux alentours des embouchures des grandes rivières de Corse (le Taravo, la Gravona, le Golo ou le Tavignano), mais également par des formations glaciaires et fluvio-glaciaires en altitude.

3. Conditions climatiques actuelles

Les données climatiques sont malheureusement parcellaires en Corse (Rome et Giorgetti 2007) et les relevés thermométriques et ombrométriques proviennent de stations localisées, dans 80 % des cas, au-dessous de 625 mètres (aucune au-delà de 1450 mètres). Il est donc difficile de caractériser rigoureusement le climat du centre de la Corse autre que par des extrapolations ou des cumuls de données sur 10 ans ou moins (Canellas et al. 2014). Les températures minimales et maximales annuelles moyennes et la pluviométrie moyenne annuelle reconstruites sur la trentaine 1970-2000 ont été rassemblées par Desprats (2010) sur la Figure 3.

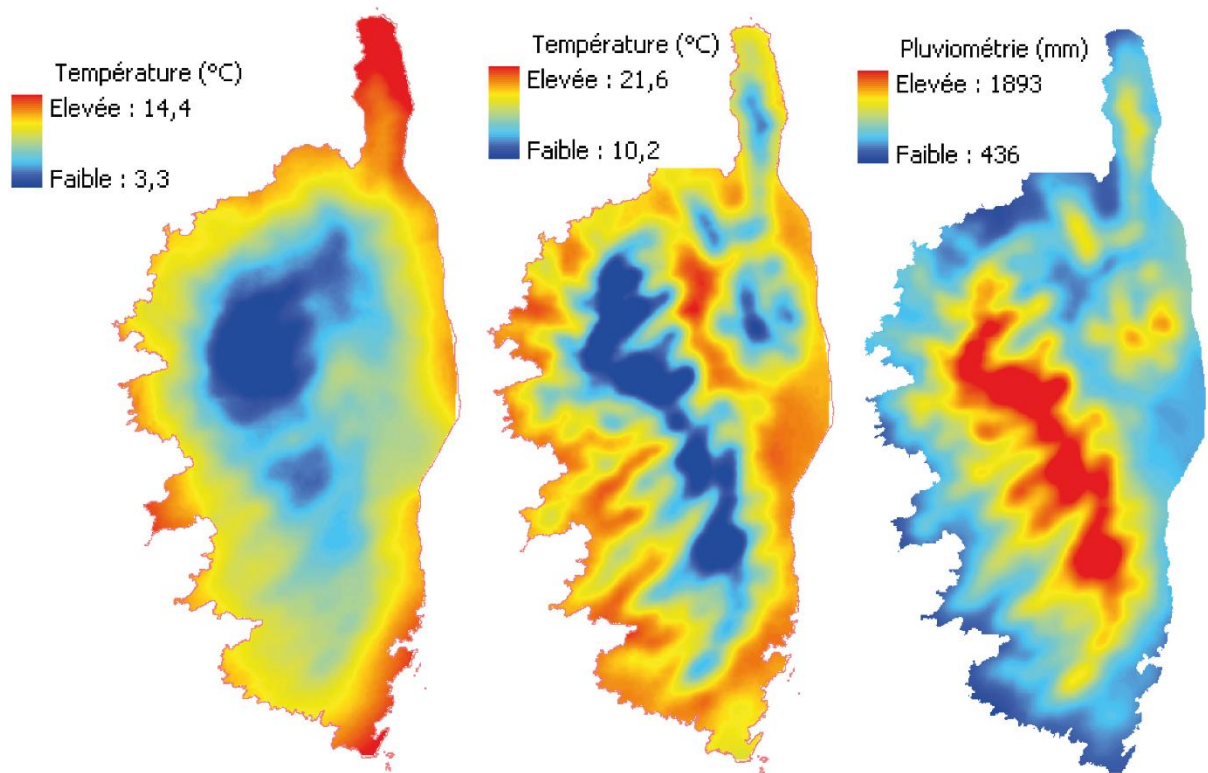


Figure 3 : Températures minimales (gauche), maximales (centre) et pluviométrie (droite) moyenne annuelle sur 30 ans en Corse (base AURHELY ; d'après Desprats 2010).

Les précipitations sont principalement réparties à l'automne et l'hiver avec des maximums de précipitations entre octobre-novembre et février-avril. Le mois de juillet est généralement le plus sec. Les moyennes annuelles de précipitations sont de 600 mm sur les côtes occidentales (481 mm à Bonifacio, 513 mm à l'Île Rousse) et s'élèvent jusqu'à 1500 mm à 1000 m d'altitude (1326 mm à Aïtone à 1100 m, 1844 mm à Popaja à 1070 m) et à 2000 mm en hautes montagnes (Bruno et al. 2001).

Un gradient pluviométrique indique une croissance des pluies d'environ 160 mm tous les 100 mètres entre Ajaccio et le plateau d'Ese pour la partie occidentale et entre Aléria et la station de ski de Ghisoni pour la partie orientale (Rome et Giorgetti 2007). Cependant, l'altitude n'explique que 78 % de cette augmentation du nombre moyen de jours de pluie. D'autres variables, comme la topographie ou la position des stations vis-à-vis des vents dominants de Corse ont leur importance.

En effet, la mer apporte humidité et douceur sur l'ensemble des côtes et jusqu'au cœur de nombreuses vallées par l'intermédiaire des vents. Ces derniers ont donc une action majeure sur le climat de l'île puisque le *libecciu* et le *ponente*, des vents respectivement du sud-ouest et de l'ouest sont associés à de fortes précipitations hivernales tandis que le *mistral*, qui affecte la partie occidentale de la Corse, est un vent du nord-ouest particulièrement violent et sec en été. Le *sirocco*, quant à lui est un vent chaud et humide du sud-est et le *grecale*, un vent du nord-est concernant la partie orientale de la Corse qui apporte de l'humidité au nord tout en s'asséchant vers le sud. Le *levante* est un vent d'est typiquement tyrrhénien

associé à de fortes précipitations sur la façade orientale de l'île. Enfin, la *tramontane* est un vent froid du nord à nord-est, responsable de pluies soutenues en hiver.

Les températures sont maximales en juillet-août, minimales de décembre à février et la moyenne annuelle varie de 15-16°C en zone côtière (15,8°C à Bonifacio), à 8-9°C en haute montagne (9,8 °C à Aitone) (Rome et Giorgetti 2007). En été, le littoral présente une grande sécheresse. Les orages sont rares et violents, l'eau ne s'écoule que superficiellement et fait gonfler les rivières.

En outre, la Corse toute entière s'intègre dans la zone de climat méditerranéen aux affinités subtropicales caractérisée par un été chaud et sec et par une relative douceur hivernale fournie par la mer (Bruno et al. 2001). Toutefois, en raison des contrastes ombrothermiques importants introduits notamment par le relief de l'île, trois types de climats sont classiquement définis en Corse d'après Simi (1964) et repris par Gamisans (1999) :

- un **climat méditerranéen doux et humide**, de 0 à 600 m d'altitude, caractérisé par une température moyenne annuelle de 14 à 17°C, des précipitations abondantes mais irrégulières (généralement inférieures à 800 mm) avec un creux estival important et des amplitudes thermiques estivales élevées ;
- un **climat méditerranéen d'altitude** (600-1200 m), caractérisé par des températures moyennes annuelles comprises entre 10 et 13°C, des précipitations allant de 800 à 1200 mm et par une saison sèche estivale encore marquée ;
- un **climat méditerranéen à nuance alpine** au-dessus de 1200 m d'altitude, toujours caractérisé en été par de fréquentes sécheresses et des pluies irrégulières mais abondantes, mais présentant des hivers rigoureux avec de fortes amplitudes thermiques et des inversions en fond de vallée, un nombre de jours de gel significatif et des chutes de neige.

4. Végétation et diversité entomologique

Le couvert végétal

La flore de Corse comprend quelque 2325 taxons floristiques indigènes auquel, en 2007 il fallait rajouter 456 espèces végétales invasives. Cette flore autochtone se singularise par la présence d'un taux important d'espèces endémiques (316 taxons endémiques au sens large dont 146 propres à la Corse), mais également par la présence d'espèces en limite d'aire de répartition.

Le climat qui vient d'être défini ainsi que d'autres facteurs comme la nature du sol, les conditions topographiques (altitude, exposition), les divers régimes de vents et la longue histoire humaine (voir **Chapitre I.II.2**) se conjuguent pour former des étages de végétation correspondant à la juxtaposition de deux systèmes d'étagement, l'un méditerranéen (en basse altitude) et l'autre eurosibérien (dans les

altitudes supérieures). Ainsi, du littoral jusqu'aux plus hauts sommets, les zonation altitudinales de la végétation suivantes ont été définies par Gamisans (1999) et représentées sur la Figure 4 :

- un **étage thermoméditerranéen** qui s'étend du littoral jusqu'à 100 m et pouvant atteindre 200 m sur les versants suffisamment exposés. Cet étage n'apparaît que dans les secteurs les plus chauds où les températures moyennes annuelles sont proches et supérieures à 16°C. Il couvre une surface réduite en Corse et peu ponctuellement s'interrompt. Il est principalement caractérisé par des formations arbustives à *Pistacia lentiscus* et des maquis ou bois de *Quercus ilex* où peuvent apparaître *Olea europaea*, *Euphorbia dendroides*, *Phillyrea latifolia*, *Myrtus communis*, *Juniperus phoenicea* subsp. *mediterranea* ou *J. oxycedrus* subsp. *macrocarpa* ;
- un **étage mésoméditerranéen** qui s'étend du littoral (dans les secteurs où le précédent étage est absent) jusqu'à 700 m sur les ubacs et jusqu'à 900 m sur les adrets, sous des températures moyennes annuelles comprises entre 12 et 16°C. Cet étage couvre les superficies les plus importantes. Il est caractérisé essentiellement par des maquis à bruyères (*Erica arborea*, *E. scoparia*) et à *Arbutus unedo*, mais aussi par des forêts de *Quercus ilex*, *Pinus pinaster*, *Quercus suber*, *Quercus pubescens*, *Castanea sativa*, des fruticées basses à *Lavandula stoechas*, *Genista corsica*, *Teucrium marum* et des cistaies (*Cistus monspeliensis*, *C. salviifolius* et *C. creticus*) ;

Enfin, à des altitudes excédant notre secteur d'étude mais à titre informatif :

- un **étage supraméditerranéen** (de 500-700 à 900-1000 m dans les ubacs et de 800-1000 à 1200-1350 m dans les adrets) marqué par l'augmentation d'éléments eurosibériens en mélange avec la flore méditerranéenne. Les essences caducifoliées (e.g. *Quercus petraea*, *Q. pubescens*, *Castanea sativa*, *Alnus cordata*, *Ostrya carpinifolia*) et les bois mixtes à *Taxus baccata* et *Ilex aquifolium*, de *Pinus nigra* subsp. *laricio*, augmentent ou apparaissent tandis que disparaissent *Arbutus unedo*, *Lavandula stoechas*, *Rosmarinus officinalis* et *Cistus monspeliensis* ;
- un **étage montagnard** (de 900-1000 à 1600 m sur les ubacs et de 1300 à 1800 m sur les adrets) où la proportion d'éléments floristiques eurosibériens dépasse celle d'éléments méditerranéens. *Quercus ilex*, *Q. pubescens*, *Pinus pinaster*, *Castanea sativa* et les bruyères (*Erica arborea*, *E. scoparia*) disparaissent alors qu'apparaît ou qu'augmente la proportion de *Fagus sylvatica*, *Abies alba* et de plantes de la fruticée naine (*Juniperus communis* subsp. *alpina*, *Berberis aetnensis*, *Genista lobelii*). Les hêtraies et les sapinières (essentiellement aux ubacs) et les forêts de pins laricio (principalement aux adrets) présentent ici leurs plus beaux peuplements ;
- un **étage cryo-oroméditerranéen** localisé sur les adrets et les crêtes entre 1700-1800 et 2200 m. Il est marqué par un climat rigoureux (températures moyennes annuelles entre 3 et 7°C) mais un net assèchement estivale des sols, par la disparition des pins laricio et la présence de fruticées naines à composition floristique proche de l'étage précédent mais où apparaissent des espèces plus alticoles (e.g. *Armeria multiceps*, *Bellardiochloa variegata* et *Paronychia polygonifolia*).

- un **étage subalpin** localisé exclusivement sur les ubacs entre 1400-1600 et 2100 m. Lui aussi présente un climat rigoureux mais la sécheresse estivale y est moins marquée que dans l'étage précédent. Il est caractérisé par la disparition des hêtraies et du pin laricio et par la présence massive de formation à *Alnus viridis* subsp. *suaveolens* et de quelques sapinières (essentiellement dans le massif de Bavella).
- un **étage alpin** présent dans les plus hauts sommets de Corse (Monte Cinto, Rotondo, Renoso) au-dessus de 2100 m. Il est marqué par la disparition des fruticées naines (aux adrets) et des formations à aulne odorant (aux ubacs) ainsi que la présence de pelouses et de formations propres aux éboulis et aux falaises.

Outre ces principaux étagements, il est également possible de distinguer une végétation propre à la ligne littorale, fortement influencée par la salinité (apportée par les embruns, les infiltrations d'eau marine et saumâtre) avec des groupements liés aux dunes, côtes rocheuses, marais salés et étangs littoraux saumâtres ; ainsi qu'une végétation des eaux douces et des bords de cours d'eau échappant partiellement à la sécheresse estivale. Cette dernière intègre des groupements ripicoles et hygrophiles variés d'affinité eurosibérienne (e.g. les groupements rivulaires en montagne), méditerranéenne (e.g. végétation des ruisseaux et des mares temporaires) ou à vaste répartition géographique (Gamisans 1999).

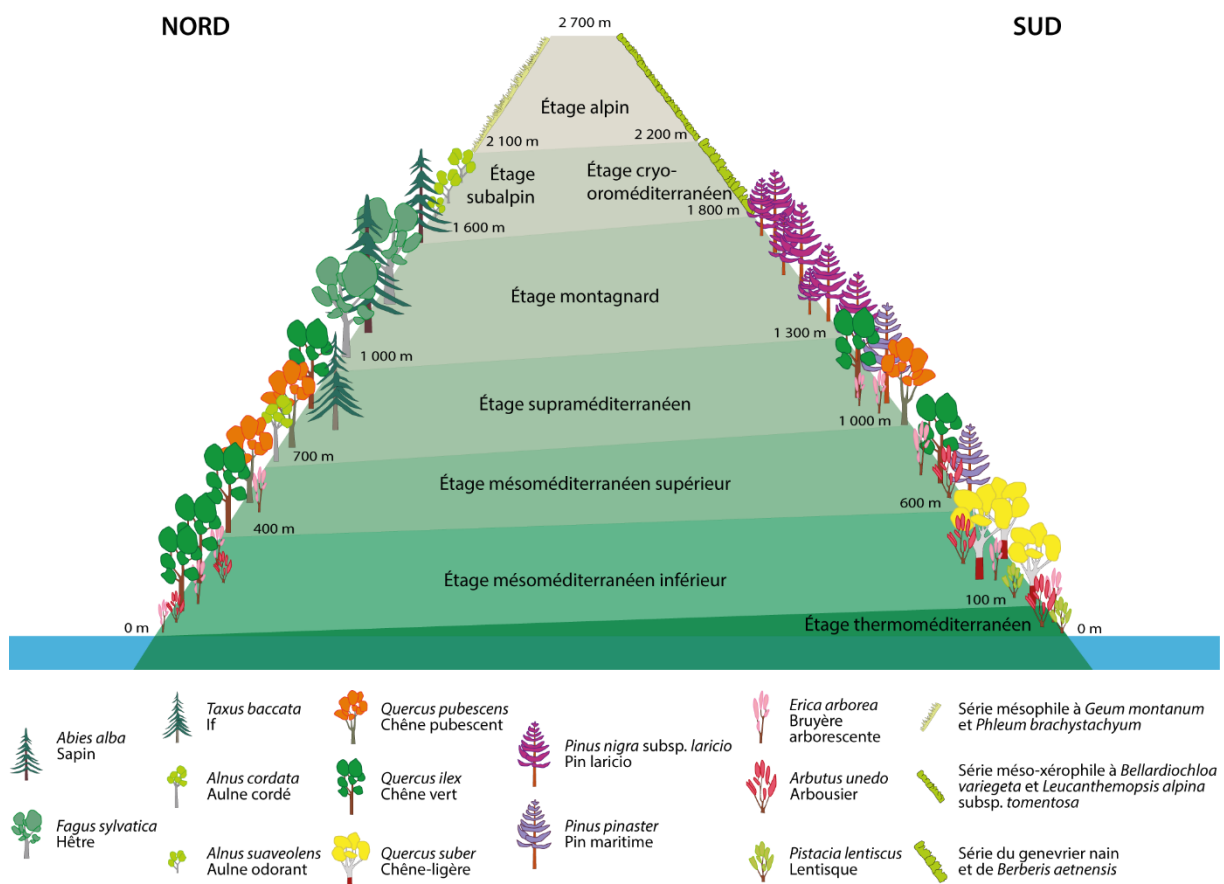


Figure 4 : Schéma des étagements altitudinaux de la végétation actuelle de la Corse (adapté d'après Gamisans 1999).

La faune de coléoptères

La vaste majorité des fragments fossiles d'insectes retrouvés dans les sédiments quaternaires sont des coléoptères. Ceci s'explique (1) par la diversité taxonomique de ce groupe qui comprend quelque 11 650 espèces, uniquement en France métropolitaine (Tronquet 2014) et (2) par la robustesse de l'exosquelette chitinisé² des coléoptères.

Le « *Catalogue critique des Coléoptères de la Corse* » de Sainte-Claire Deville (1906–1914), enrichi de ses suppléments (1921, 1926), constitue encore une solide référence sur l'entomofaune de la Corse. Outre le fait de répertorier quelque 2662 espèces, ce catalogue a mis en avant l'originalité de la faune de coléoptères et sa richesse biogéographique avec : la présence d'éléments endémiques ou tyrrhéniens, des éléments étrangers (des espèces holarctiques venus d'Asie en passant par l'Égée, la Sicile et la Sardaigne), des résidus tropicaux en limite d'aire de répartition, des affinités proches avec la Sardaigne ou plus lointaines avec la Toscane ou encore des rapports avec la faune de coléoptères du sud (Sicile et nord de l'Afrique) ou de l'est (Baléares et péninsule ibérique). La caractéristique principale de la faune de coléoptères de la Corse réside dans l'existence de nombreuses lacunes faunistiques (absence d'éléments largement répandus sur le continent qui n'ont vraisemblablement jamais atteint l'île) et un important endémisme. À titre d'exemple, le travail de Guidicelli (1975) dénombre 24 endémiques sur 160 espèces de coléoptères dulçaquicoles (en incluant les autres ordres d'insectes aquatiques, le taux d'endémisme monte à 49 % dans les habitats de montagne).

Les travaux de Sainte-Claire Deville ont depuis été complétés par de nombreuses prospections entomologiques qui ont amené à environ 2748 le nombre d'espèces de coléoptères en Corse (non exhaustivement, voir Schaefer 1964 ; Pericart et Tempere 1972 ; Soldati 2007 ; Thieren et Delwaide 2011 ; Orousset 2007, 2013 ; Moubazed-Breil et al. 2013). Au cours de cette thèse, nous nous sommes principalement appuyés sur cette littérature pour établir les préférences écologiques des taxons identifiés à l'état fossile.

II. Précédentes études paléoenvironnementales et résumé de l'histoire humaine en Corse

1. Changement de végétation tardiglaciaire et holocène en Corse

Notre connaissance de l'histoire tardiglaciaire et holocène du couvert végétal en Corse repose actuellement sur les données polliniques de 31 sites principaux. Il s'agit de lacs et pozzines d'altitude, ainsi que des tourbières de moyenne altitude et des étangs littoraux (Figure 5) qui ont été essentiellement

² La chitine est une protéine polysaccharide, supportant à la fois les conditions anoxiques et sèches.

étudiés entre 1975 et 1999 par Reille (1975, 1977, 1984, 1988a, 1988b, 1988c, 1992, 1997), Reille et al. (1997, 1999) et plus récemment par Vella et al. (2014), Ghilardi et al. (2016) et Currás et al. (2016). Pris ensemble, ces travaux fournissent un cadre chronologique relativement robuste (85 datations radiocarbone $^{14}\text{C}^3$ au total), pour replacer les interprétations polliniques. Toutefois, ce cadre est géographiquement hétérogène puisque 19 sites littoraux ou de montagne ne présentent aucune datation radiocarbone (Figure 5). De plus, il reste encore de vastes secteurs en Corse sans aucune donnée pollinique (e.g. Massif du Cinto, zone côtière sud-ouest) ou pour lesquels les données ne sont pas publiées (e.g. Taravo, St-Florent).

Dans les paragraphes suivants, une synthèse des principaux enregistrements polliniques de Corse est proposée afin de résumer les changements majeurs de la végétation de Corse, entre 0 et 2100 mètres d'altitude, depuis 18 000 ans. La chronologie de cette synthèse, exprimée en années calibrées avant 1950 (cal. BP), repose : sur les datations ^{14}C et les modèles âge-profondeur disponibles⁴ ; sur les chronozones tardiglaciaires et holocènes définies par les auteurs au sens de Firbas (1954) (Dryas ancien, Bølling/Allerød, Dryas récent, Préboréal, Boréal, Atlantique, Subboréal et Subatlantique) ; et sur les marqueurs palyno-stratigraphiques établis en Corse par Reille (1975) et Reille et al. (1997, 1999). Ces informations sont fournies dans le Tableau 2 et représentées sur la Figure 6.

³ Souvent non calibrés dans les travaux originaux

⁴ Si aucun modèle âge-profondeur n'avait été établi dans les travaux originaux et qu'au moins 4 datations étaient disponibles, nous avons généré des modèles âge-profondeur basés sur des interpolations de type smooth-spline.

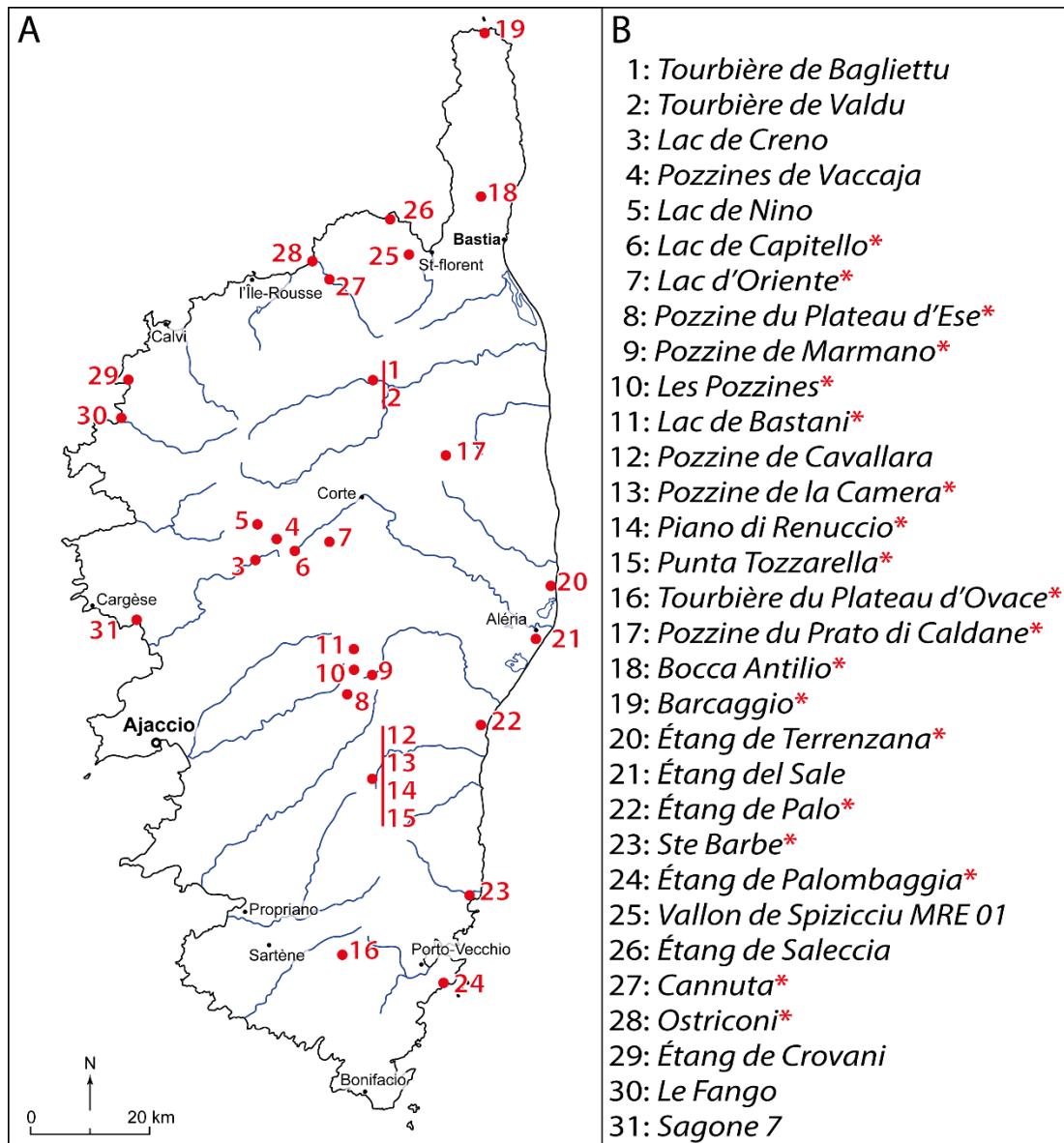


Figure 5 : A) Localisation des principales archives sédimentaires étudiées en Corse. B) Code attribué aux principaux sites étudiés en Corse (références données dans le Tableau 2). Les astérisques signalent les sites pour lesquels aucune datation ^{14}C n'est disponible.

La Figure 7 représente l'histoire tardiglaciaire et holocène simplifiée des principaux arbres et arbustes de Corse et de quelques plantes herbacées, en fonction de 4 zones géographiques qui regroupent :

- **Les sites de montagnes centrales** compris entre 1200 et 2100 mètres d'altitude dans le massif du Rotondo (le lac de Creno, les pozzines de Vaccaja, le lac de Nino, le lac de Capitello et le lac d'Oriente) et dans le massif du Renoso (les pozzines du Plateau d'Ese, les pozzines de Marmano, les Pozzines et le lac de Bastani) (**sites 3–11** sur la Figure 5).
- **Les sites du massif de l'Incudine**, situés entre 1400 et 1700 mètres d'altitude (les pozzines de Cavallara, les pozzines de la Camera, le site de Piano di Renuccio et celui de la Punta Tozzarella) (**sites 12–15** sur la Figure 5).
- **Les sites côtiers orientaux**, situés en-dessous de 10 mètres d'altitude (les étangs de Terrenzana, del Sale, de Palo, de Ste Barbe et de Palombaggia) (**sites 20–24** sur la Figure 5).

- **Les sites côtiers occidentaux**, situés en-dessous de 220 mètres d'altitude (l'étang de Barcaggio, la carotte MRE 01 du vallon de Spizicciu, le marais de Saleccia, l'étang de Cannuta⁵, l'étang d'Ostriconi, l'étang de Crovani, Le Fango et la séquence 7 de Sagone) (**sites 19, 25–31** sur la Figure 5).

Les pozzines du plateau d'Ovace, du Prato di Caldane, et de Bocca Antilio (respectivement **sites 16, 17 et 18** sur la Figure 5) n'ont pas été incluses dans les précédents groupes du fait de leur isolement géographique et de l'absence de datation ¹⁴C sur ces séquences. D'autres analyses archéobotaniques n'apparaissent pas dans cette synthèse et nous invitons le lecteur à se référer au travail de Ruas et Vigne (1995) et aux références qu'il contient pour de plus amples informations concernant l'état des recherches carpologiques en Corse.

Ainsi, en se référant à la Figure 7, les principales dynamiques de la végétation en Corse depuis 18 000 ans peuvent être résumées comme ceci :

Tardiglaciaire (18 000-11 700 cal. BP) :

Cette période est uniquement enregistrée en Corse par les sites d'altitude du lac de Creno, de Nino et de Bastani (Figure 6). Durant l'épisode froid et sec du Dryas ancien (18 000-14 700 cal. BP), des pelouses steppiques à *Artemisia* (incluant aussi des *Amaranthaceae*, *Poaceae*, *Apiaceae*, *Asteroidae* et *Plantago subulata* subsp. *insularis*) et une végétation xérophytique à *Fabaceae* (type *Astragalus*) occupaient la place des actuelles forêts de *Pinus nigra* subsp. *laricio*. Les arbres alticoles (*P. nigra* subsp. *laricio*, *Abies*, *Betula pendula*, *Alnus viridis* subsp. *suaveolens*) et mésophiles (*Fagus*, *Quercus* décidus, *Corylus avellana*, *Taxus baccata*) étaient apparemment distants des zones de montagne ou rares puisqu'ils sont absents ou faiblement représentés dans les spectres polliniques de cette période.

L'amélioration climatique de l'Allerød (14 700-13 300 cal. BP) se traduit en Corse par une diminution des steppes à *Artemisia* et l'extension de *Betula pendula* et des aulnes (*Alnus viridis* subsp. *suaveolens* dans un premier temps, puis *Alnus glutinosa*). Bien que les spectres polliniques suggèrent que *Pinus nigra* subsp. *laricio* n'a pas connu de véritable extension durant l'Allerød, les récentes données anthracologiques et paléobotaniques de Leys et al. (2014) ont démontré que cet arbre était présent à l'altitude du lac de Creno (1280 m) à la toute fin de l'Allerød (ca. 13 200 cal. BP). Aussi, les zones refuges de ce résineux devaient être suffisamment éloignées des lacs corses d'altitude, où les peuplements de pins *laricio* devaient être peu denses, pour amener Reille et al. (1997) à envisager que ce taxon était peut-être absent de Corse durant l'Allerød. À plus basse altitude, les conditions plus chaudes et humides de l'Allerød semblent avoir été favorables à *Abies* et aux mésophiles *Quercus* décidus et *Corylus avellana*.

⁵ Notez que l'étang de Cannuta (commune de Palasca, Haute-Corse) étudié par Reille (1992) a le même toponyme que le marais étudié au cours de cette thèse (commune de Santo-Pietro-di-Tenda, Haute-Corse).

Le dernier refroidissement tardiglaciaire du Dryas récent (13 300-11 700 cal. BP) est marqué par une ré-expansion des pelouses steppiques, tandis que *Corylus* et *Quercus* décidus disparaissent ou se raréfient des spectres polliniques d'altitude. Seul *Alnus viridis* subsp. *suaveolens* semble se maintenir au-dessus de 1200 mètres. Toutefois, en opposition avec l'hypothèse de Reille (1975) selon laquelle « la forêt de laricio de l'Allerød a été repoussée très bas », l'augmentation des macrorestes de *Pinus nigra* subsp. *laricio* au lac de Creno dès ca. 11 900 cal. BP (Leys et al. 2014) révèle la proximité des refuges de cet arbre et sa recolonisation rapide. Ceci suggère aussi que les conditions climatiques du Dryas récent ont pu être en Corse moins sévère que dans les Alpes notamment.

Durant la totalité du Tardiglaciaire, et malgré leur proximité avec la mer, les sites de montagne n'enregistrent pas la végétation thermophile (*Pistacia*, *Myrtus*, *Arbutus*, *Cistus*, *Olea*). Par conséquent, ces éléments devaient certainement être confinés aux espaces littoraux : à cette époque, ces derniers étaient plus vastes qu'aujourd'hui et plus éloignés des lacs d'altitude, puisque le niveau marin relatif était une centaine de mètres plus bas (Lambeck et Bard 2000). Toutefois, en l'absence de données disponibles concernant l'histoire de la végétation entre 0 et 1200 mètres d'altitude durant le Tardiglaciaire, la question de la place de cette végétation en Corse reste ouverte (Reille et al. 1999). Il en va de même concernant l'indigénat de *Quercus ilex* puisque cet arbre qui est enregistré dans la péninsule ibérique et dans le sud de la France depuis environ 15 000 ans cal. BP (cf. de Beaulieu et al. 2005), présente en Corse de très faibles taux polliniques à cette même période. Aussi, Reille et al. (1999) ont émis l'hypothèse que *Q. ilex* était absent de l'île durant les quatre premiers millénaires du postglaciaire et que cet arbre a pu être introduit durant l'Holocène moyen.

Holocène inférieur (11 700-8200 cal. BP) :

Au début de l'Holocène, la principale caractéristique du Préboréal (11 700-10 000 cal. BP) est l'expansion rapide des forêts à *Pinus nigra* subsp. *laricio* au-dessus de 1300 m et le déclin des plantes steppiques, en réponse aux conditions climatiques plus chaudes. Cette expansion se produit dans le massif du Rotondo (lacs de Creno et de Nino) entre 11 600 et 11 300 cal. BP. C'est également au Préboréal que *Corylus* apparaît en courbe continue et qu'*Alnus glutinosa* connaît une phase d'expansion. Les données du lac de Bastani suggèrent qu'un schéma similaire s'est produit dans le massif du Renoso. Malgré leur faible représentation pollinique sur cette période, les données de Leys et al. (2014) attestent que *Fagus*, *Abies* et *Erica arborea* existaient en mélange avec les forêts de pins laricio au lac de Creno dès le début de l'Holocène. À plus basse altitude, *Quercus* décidu (et *Quercus ilex* ?) commencent modérément à s'étendre alors que des thermophiles (*Phyllirea*, *Pistacia*) apparaissent pour la première fois dans les spectres polliniques d'altitude.

La seconde partie de l'Holocène inférieur (Boréal de 10 000 à 8650 cal. BP et début de l'Atlantique) est marquée par la régression d'*Alnus viridis* subsp. *suaveolens* et l'expansion de *Taxus* et d'*Erica arborea*. *Taxus* présente un premier optimum enregistré au lac de Creno entre ca. 9500 et 8800 cal. BP. Toutefois,

le fait que cet évènement n'ait pas eu d'équivalent dans les enregistrements polliniques des lacs de Nino et de Bastani (Reille 1975, 1992) indique que les peuplements de cet arbre étaient réduits et/ou situés en-dessous de 1500 mètres. *Erica arborea* atteint rapidement un optimum à partir de ca. 8600 cal. BP et supplante *Taxus*. Alors que *Pinus nigra* subsp. *laricio* devait occuper des sites plus alticoles, les formations forestières ou arbustives d'*Erica arborea* dominaient probablement la végétation à moyenne altitude jusqu'à 1300 m (Reille et al. 1999 ; Leys et al. 2014). Une dernière particularité de l'Holocène inférieur et du Boréal en Corse réside dans le fait que *Corylus avellana* et *Quercus* décidus ne présentent aucun optimum comme c'est pourtant le cas dans les Alpes à cette époque (de Beaulieu 1977 ; Finsinger et al. 2006).

Holocène moyen (8200-4200 cal. BP) :

C'est à partir de l'Holocène moyen que les zones littorales livrent les premiers enregistrements polliniques avec les étangs de Barcaggio, de Terrenzana, del Sale et de Ste Barbe pour la partie orientale, et les sites de Saleccia, de Crovani et du Fango pour la partie occidentale de la Corse (Figure 6). Durant l'Atlantique (8650-6000 cal. BP), *Erica arborea* décline au-dessus de 1200 m en faveur de *Pinus nigra* subsp. *laricio*, *Quercus* décidus, *Fagus*, *Abies* et de *Taxus*. Ce dernier présente alors un deuxième optimum. Pourtant, simultanément, *Erica arborea* présente un optimum à plus basse altitude (davantage marqué le long de la côte occidentale). L'expansion de la hêtraie-sapinière en altitude (où elle devait se mêler aux pins *laricio*) et des forêts mésophiles (chênaies caducifoliées et formations mixtes à *Taxus*) à moyenne et basse altitude, marque en Corse l'optimum climatique postglaciaire.

Il est intéressant de noter qu'une dissymétrie apparaît clairement dans la végétation des sites côtiers orientaux et occidentaux (Figure 7). En plus des formations dominantes à *Erica arborea*, il semble que plusieurs arbres et arbustes thermophiles méditerranéens (*Olea*, *Pistacia*, *Arbutus*, *Cistus*) étaient davantage présents le long des côtes occidentales que celles orientales. À l'inverse, la chênaie caducifoliée et les formations mixtes à *Taxus* étaient plus développées le long du littoral oriental où elles s'étendaient « jusqu'au bord de la mer » (Reille 1984). L'auteur explique cette dernière particularité par certaines caractéristiques topographiques et pédologiques de l'île : les versants occidentaux de Corse, abrupts jusqu'à la mer, ont dû favoriser *Erica arborea* et les plantes thermophiles méditerranéennes sur des sols pauvres, tandis que les sols plus profonds et humides de la Plaine orientale, ont pu offrir à la chênaie caducifoliée et à *Taxus* des conditions plus favorables.

La fin de l'Holocène moyen (début du Subboréal entre 6000 et 2600 cal. BP), est marquée par d'importants changements de végétation (Figure 7). Il s'agit tout d'abord de l'expansion optimale des forêts de *Quercus* décidus jusqu'à 1300 m, qui remplacent graduellement *Taxus* et *Betula*. Les formations de *Pinus nigra* subsp. *laricio* se maintiennent et s'étendent en altitude (Leys et al. 2014). À plus basse altitude, alors qu'il ne jouait auparavant aucun rôle forestier, *Quercus ilex* connaît une forte expansion. Dans tous les sites littoraux, l'essor de la chênaie verte a pour conséquence une première

régression d'*Erica arborea* mais aussi de *Quercus* décidus et de *Taxus*. En se basant sur les enregistrements polliniques, Reille (1975, 1984, 1992) suggère que ce changement majeur a été causé par des impacts humains néolithiques. En effet, les premières traces de la présence humaine dans les diagrammes polliniques pourraient être données par les rares occurrences de *Cerealia*-type durant l'Atlantique (Figure 7), au début du Néolithique (7800-5500 cal. BP). Reille et al. (1999) émettent même l'hypothèse que *Quercus ilex* ait été introduit et que son expansion s'est faite au sein d'une végétation autochtone déjà fortement impactée par l'homme dès 7600 cal. BP. Toutefois, l'origine de la régression d'*Erica arborea* au profit de *Quercus ilex* est une question qui reste encore débattue en Corse et en Sardaigne et pour laquelle le rôle du climat (Beffa et al. 2015) ou de l'homme (Carcaillet et al. 1997 ; Reille et al. 1999) comme forçage majeur est toujours discuté. C'est aussi à la fin de l'Holocène moyen (à partir de ca. 5500 cal. BP dans les sites côtiers orientaux), que *Castanea*, *Juglans* et *Quercus suber*, des arbres favorisés par les activités anthropiques, sont enregistrés pour la première fois (Figure 7).

Holocène supérieur (4200 cal. BP à l'actuel) :

L'expansion de *Quercus ilex* se poursuit à basse altitude jusqu'à former un optimum forestier à partir de 3000 cal. BP (Figure 7). Cependant, si *Erica arborea* régresse le long des côtes occidentales, les sites côtiers orientaux enregistrent quant à eux une expansion modérée de la bruyère arborescente. Comme proposé par Reille (1984), ceci traduit vraisemblablement le rapprochement des formations à *Erica arborea* des sites littoraux, dans les espaces précédemment occupés par la chênaie caducifoliée et les formations à *Taxus*, bien que *Quercus ilex* domine la végétation régionale. Cette hypothèse a récemment été étayée par Currás et al. (2016) qui ont mis en évidence un décalage d'environ 500 ans entre l'expansion de *Quercus ilex* et celle d'*Erica arborea*, soulignant qu'autour d'Aléria, ces deux taxons n'occupaient pas exactement les mêmes espaces. À la fin du Subboréal, le chêne vert atteint les zones de montagne, jusqu'à 1300 m où il est alors en mélange avec *Erica arborea*. Cette intrusion se fait là aussi au détriment de la chênaie caducifoliée qui régresse une première fois dans le Rotondo et le Renoso. La hêtraie-sapinière occupait toujours des sites d'altitudes, mais contrairement à ce que suggère Reille et al. (1999), les macrorestes d'*Abies* retrouvés au lac de Creno (Leys et al. 2014) confirment que l'augmentation des fréquences polliniques de cet arbre entre 3000 et 2500 cal. BP correspond effectivement à une expansion de la sapinière en altitude. Leys et al. (2014) propose que cette expansion soit une réponse à une diminution de la fréquence des feux en Corse, sous des conditions climatiques plus froides et humides. Bien qu'aucune datation ¹⁴C ne soit disponible pour ces sites (Tableau 2), les données polliniques d'*Abies* aux lacs de Bastani et de Capitello suggèrent que cette expansion s'est également produite dans le Renoso à la transition Subboréal/Subatlantique.

Le site des pozzines de Cavallara, dont le remplissage est daté de 4350 cal. BP, nous fournit les premières informations concernant l'histoire de la végétation du massif de l'Incudine (Figure 6). Plusieurs particularités méritent d'être évoquées, comme le fait que durant l'Holocène supérieur *Quercus* décidus, *Erica arborea* et *Quercus ilex* n'ont apparemment jamais atteint le plateau du Coscione (1400 m).

D'autre part, si les données polliniques de Cavallara attestent la présence d'une hêtraie-sapinière (où *Fagus* était dominant), le paysage forestier devait être très clairsemé et impacté par les activités anthropiques, comme le suggère les taux de *Cerealia*-type et de *Rumex* (Figure 7).

C'est au cours du Subatlantique (2600 cal. BP à l'actuel) que les plus grandes transformations dans la végétation de Corse sont enregistrées, dont certaines sont directement liées aux activités humaines. En effet, les derniers 2500 ans sont marqués par une augmentation des indicateurs anthropogéniques (*Cerealia*-type et les herbacées rudéro-anthropiques *Artemisia*, *Rumex*, *Plantago lanceolata*). Reille (1975, 1984, 1992) propose l'existence de trois événements de dégradation forestière dans les zones de montagne. Il s'agit tout d'abord d'un premier éclaircissement de la chênaie caducifoliée et de la régression de *Corylus* à partir de 3000 cal. BP. Le second a eu lieu entre 1600 et 1400 cal. BP. Il correspond à l'ultime dégradation de la chênaie caducifoliée et il est corrélé à l'augmentation de la fréquence des feux au lac de Creno à 1500 cal. BP (Leys et al. 2014). Alors que cet événement semble favorable à l'expansion de *Fagus* dans les massifs du Rotondo et du Renoso, c'est la destruction de la hêtraie qui est enregistrée à la même période dans le massif de l'Incudine (Figure 7). Enfin le dernier événement est synchrone de l'occupation génoise (700-600 cal. BP). Il est marqué par une réduction de tous les types de forêts (*Quercus ilex*, *Fagus* et particulièrement *Abies*).

Dans les zones littorales occidentales et orientales, la fin de l'Holocène supérieur est marquée par l'expansion de *Pinus pinaster*, de *Cistus* et l'apparition de *Myrtus* comme dernier arrivant dans la végétation thermophile. Selon Reille (1984, 1992), ces événements sont une conséquence directe des activités humaines sur les maquis méditerranéens. Un autre fait marquant est le déclin quasi-systématique de *Quercus ilex* à basse altitude, à partir de 1300-1100 cal. BP jusqu'à la période génoise (Figure 7). Enfin, bien que les interprétations autour d'*Olea*, *Juglans* et *Castanea* en Corse souffrent de l'absence d'une chronologie précise, il est intéressant de noter que ces trois arbres sont régulièrement enregistrés dans les sites côtiers orientaux et occidentaux durant le Subboréal. En accord avec Mercuri et al. (2013), ceci plaide pour une culture de ces arbres durant la période romaine. Selon Reille (1984), l'expansion de *Q. suber* autour des sites côtiers orientaux de Pinarello et de Palombaggia (Figure 5), correspond également à une culture de cet arbre dans la région de Porto-Vecchio après 1500 cal. BP.

Finalement, si l'état actuel de la végétation de Corse est clairement l'héritage des changements climatiques et anthropiques qui viennent d'être résumés, l'abandon des terres agricoles et des activités pastorales depuis 150 ans est à l'origine d'un important processus de reforestation des montagnes dont *Quercus ilex* et *Pinus pinaster* sont les principaux acteurs (San Roman Sanz et al. 2013).

À l'issue de cette synthèse, une série de remarques et de questionnements émergent :

- Tout d'abord, l'absence de données polliniques à moyenne/basse altitude durant le Tardiglaciaire et le début de l'Holocène constitue une lacune majeure à nos connaissances sur l'évolution et la mise en place des paysages végétaux en Corse. Où étaient localisées les pinèdes à *laricio* durant le Tardiglaciaire ? La végétation méditerranéenne était-elle réellement absente de l'île à cette période ?
- Ce premier constat amène à s'interroger sur les facteurs à l'origine de la sédimentation apparemment tardive des sites littoraux mais aussi sur les changements (anthropogéniques ou eustatiques) qu'ont connu les environnements côtiers et leur biodiversité durant l'Holocène ? Quels sont les forçages responsables de l'expression pollinique tardive de la végétation méditerranéenne thermophile dans ces secteurs ?
- La nature des activités humaines néolithiques/chalcolithiques, leurs impacts éventuels sur les écosystèmes de l'île et plus généralement les interactions climat/homme/environnement à moyenne et basse altitude sont également des questions de recherche qui restent encore peu développées à ce jour en Corse.
- Par ailleurs, la question de la régression d'*Erica arborea* et la disparition des chênaies caducifoliées (au profit notamment de *Quercus ilex* et *Pinus pinaster*) reste encore largement débattue ; est-elle imputable à d'ancestrales pratiques agro-pastorales ? A-t-elle une origine climatique ?
- Pour finir, la pauvreté en datations radiocarbone de certains sites côtiers ou de montagne constitue un frein important à l'interprétation des rythmes et de la chronologie des changements de végétation mais également à la confrontation de ces changements aux données archéologiques.

Ce sont notamment ces questions autour de l'histoire holocène des écosystèmes de Corse qui ont suscité le présent travail de thèse et l'étude multi-proxies de trois nouvelles archives sédimentaires (cf.

Chapitre I.III).

Tableau 2 : Compilation de carottes sédimentaires étudiées en Corse par : a) Reille (1997) ; b) Reille (1975) ; c) Reille (1988b) ; d) Reille (1992) ; e) Reille et al. (1997) ; f) Reille et al. (1999) ; g) Reille (1988a) ; h) Reille (1977) ; i) Reille (1988c) ; j) Reille (1984) ; k) Currás et al. (2016) ; l) Vella et al. (2014) ; m) Ghilardi et al. (2016). Les critères de sélection des sites sont basés sur la présence d'une description lithologique et d'une analyse pollinique. Le code attribué à chaque site fait référence à la Figure 5 de localisation géographique et à la Figure 6 de synthèse stratigraphique. Les astérisques indiquent les sites pour lesquels la chronologie est uniquement basée sur la palynostratigraphie. Les imprécisions dans la profondeur des échantillons datés sont codées « ≈ ».

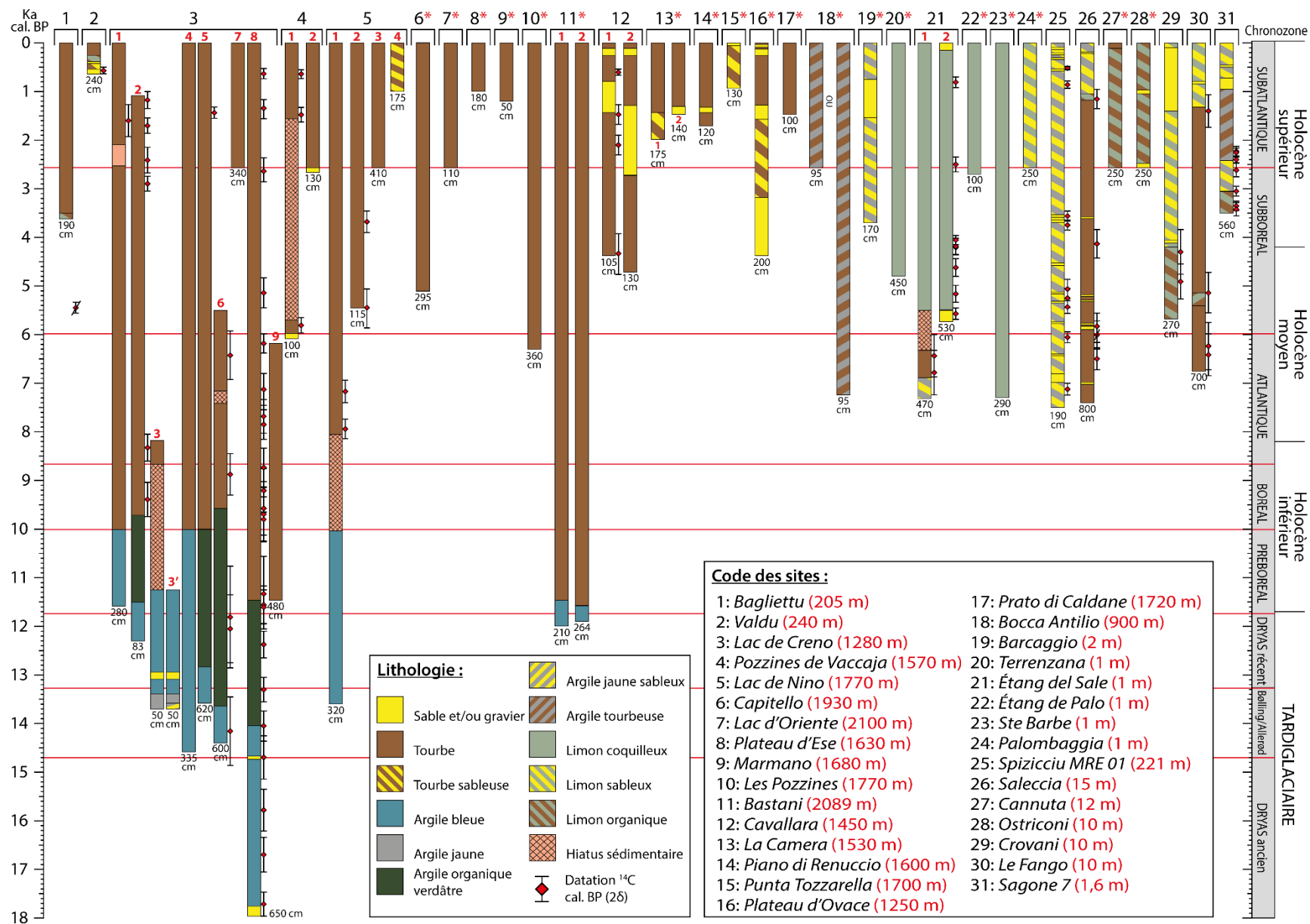
Code	Nom du site	Référence	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)	Code échantillon	Âge ¹⁴ C uncal. BP	Âge min cal. BP (2σ)	Âge max cal. BP (2σ)	Profondeur dans la carotte (cm)	Matériel daté	Remarque
1	Tourbière de Bagliettu	a	42,48	9,15	205	AA-21334	4720±55	5322	5584	180	Tourbe	Rejeté
2	Tourbière de Valdu	a	42,48	9,18	240	AA-21333	515±45	500	638	230	Tourbe	
3	Lac de Creno (8)	b, c, d, e, f	42,20	8,94	1310	Poz-7243	645±85	519	725	60-65	Sédiment (gyttja)	
						Poz-7244	1435±90	1183	1531	100-105	Sédiment (gyttja)	
						Poz-7245	2595±90	2380	2866	165-170	Sédiment (gyttja)	
						Poz-7246	4465±125	4834	5463	255-260	Sédiment (gyttja)	
						Poz-7247	5419 +80/-75	5992	6392	305-310	Sédiment (gyttja)	
						Poz-7248	6285 +155/-150	6802	7470	335-340	Sédiment (gyttja)	
						Poz-7249	6815 +195/-190	7332	8014	355-360	Sédiment (gyttja)	
						Poz-7250	6985 +170/-166	7567	8164	370-375	Sédiment (gyttja)	
						Poz-7251	7830 +175/-170	8331	9129	390-395	Sédiment (gyttja)	
						Poz-7252	8315±180	8771	9659	410-415	Sédiment (gyttja)	
						Poz-7253	8460 +185/-180	9008	10113	423-425	Sédiment (gyttja)	
						Poz-7254	8620 +220/-215	9138	10223	430-435	Sédiment (gyttja)	
						Poz-7255	8730 +195/-190	9325	10254	440-445	Sédiment (gyttja)	
						Poz-7256	9805±240	10567	12073	460-465	Sédiment	
						Poz-12738	9960±130	11188	11968	480-485	Sédiment	
						Poz-12739	10035±85	11256	11947	497-500	Fragments végétaux	
						Poz-12740	10495±90	12102	12654	510	Sédiment	
						Poz-12741	11440±150	13045	13567	520	Sédiment	
						Poz-12742	12150±100	13748	14361	551	Sédiment	
						Poz-12743	12520±100	14250	15137	568	Fragments végétaux	
						Poz-12744	13180±140	15359	16207	591	Sédiment	
						Poz-12745	13810±110	16339	17052	611	Sédiment	
						Poz-12746	14560±100	17488	17980	646	Sédiment	
4	Pozzines de Vaccaja	b	42,23	8,97	1570	Lv-669	720±50	559	734	30-35	Tourbe	
						Lv-670	1580±50	1331	1616	60-65	Tourbe	
						Lv-671	5080±80	5650	5989	75-85	Tourbe	
5	Lac de Nino (1, 2)	b	42,25	8,94	1770	Lv-645	3440±85	3480	3901	75-80	Tourbe	
						Lv-646	4770±130	5064	5881	110-115	Tourbe	
						Lv-667	6250±80	6947	7408	245-250	Tourbe	
						Lv-668	7110±80	7757	8154	285-290	Tourbe	
6	Lac de Capitello	d, g	42,21	9,01	1930	*	*	*	*	-	-	
7	Lac d'Oriente	b	42,22	9,05	2100	*	*	*	*	-	-	
8	Pozzine plateau d'Ese	b	42,00	9,12	1630	*	*	*	*	-	-	
9	Pozzine de Marmano	b	42,02	9,14	1680	*	*	*	*	-	-	

Tableau 2 : (suite)

Code	Nom du site	Référence	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)	Code échantillon	Âge ¹⁴ C uncal. BP	Âge min cal. BP (2σ)	Âge max cal. BP (2σ)	Profondeur dans la carotte (cm)	Matériel daté	Remarque
10	Les Pozzines	b	42,03	9,13	1770	*	*	*	*	-	-	
11	Lac de Bastani	d, f, g	42,06	9,13	2089	*	*	*	*	-	-	
12	Pozzine de Cavallara	b	41,87	9,17	1450	Lv-653	650±65	536	687	45-50	Tourbe	
						Lv-654	1560±100	1296	1692	70-75	Tourbe	
						Lv-655	2090±60	1902	2302	78-80	Tourbe	
						Lv-656	3860±120	3921	4781	100-105	Tourbe	
13	Pozzine de la Camera	b	?	?	1530	*	*	*	*	-	-	
14	Piano di Renuccio	b	41,84	9,16	1600	*	*	*	*	-	-	
15	Punta Tozzarella	b	41,85	9,17	1700	*	*	*	*	-	-	
16	Plateau d'Ovace	b, h	41,58	9,08	1250	*	*	*	*	-	-	
17	Prato di Caldane	b, c	42,33	9,34	1720	*	*	*	*	-	-	
18	Bocca Antilio	b, c, i	42,76	9,40	900	*	*	*	*	-	-	
19	Barcaggio	d, i	43,00	9,41	2	*	*	*	*	-	-	
20	Étang de Terrenzana	j	42,16	9,54	1	*	*	*	*	-	-	
21	Étang del Sale	c, j, k	42,09	9,52	1	Ly-2257	5650±190	6005	6884	≈375	Tourbe	
						Ly-2256	5920±190	6325	7241	≈390	Tourbe	
						Poz-71368	1315±30	701	916	92	Charbon	
						Poz-65452	2810±30	2346	2666	130	Charbon	
						Poz-65838	3720±35	3972	4156	168	Charbon	
						Poz-65450	4165±30	4010	4349	206	Charbon	
						Poz-65451	4175±30	4045	4376	210	Charbon	
						Poz-65840	4065±35	4437	4802	280	Charbon	
						Poz-65453	4935±35	5330	5330	363	Charbon	
						Poz-74700	5260±35	5691	5691	455	Charbon	
22	Étang de Palo	j	41,95	9,40	1	*	*	*	*	-	-	
23	Ste Barbe	j	41,68	9,36	1	*	*	*	*	-	-	
24	Étang de Palombaggia	j	41,56	9,33	1	*	*	*	*	-	-	
25	Spizicciu MRE 01	l	42,66	9,25	221	Poz-35416	480±30	497	543	40	Charbon	
						Poz14026	940±30	790	930	55	Charbon	
						Poz-35418	3345±35	3477	3686	90	Charbon	
26	Étang de Saleccia	d	42,72	9,20	15	Ly-4488	1270±110	962	1361	≈75	Tourbe	
						Ly-4489	3730±110	3833	4416	≈180	Tourbe	
						Ly-4490	5160±100	5664	6183	≈450	Tourbe	
						Ly-4491	5690±100	6295	6714	≈600	Tourbe	
						Ly-4492	5250±140	5718	6302	≈800	Tourbe	Rejeté
27	Cannuta	d	42,65	9,08	12	*	*	*	*	-	-	
28	Ostriconi	d	42,65	9,06	10	*	*	*	*	-	-	
29	Étang de Crovani	c, d, i	42,47	8,68	10	Ly-4142	3820±140	3837	4781	≈155-160	Sédiment (limon)	
						Ly-3660	4300±120	4536	5286	≈230-245	Sédiment (limon)	
30	Le Fango	c, d, i	42,42	8,66	10	Ly-4143	1500±150	1083	1729	≈165-170	Tourbe	
						Ly-4144	4450±140	4713	5571	≈345-355	Sédiment (argile)	
						Ly-4145	5630±190	5996	6855	≈535-550	Tourbe	
						Ly-4216	5460±200	5756	6710	≈657-667	Tourbe	Suspect

Tableau 2 : (suite)

Code	Nom du site	Référence	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)	Code échantillon	Âge ¹⁴ C uncal. BP	Âge min cal. BP (2σ)	Âge max cal. BP (2σ)	Profondeur dans la carotte (cm)	Matériel daté	Remarque
31	Sagone 7	m	42,11	8,69	2	Poz-65991	2175±30	2113	2311	228	Sédiment organique	
						Poz-65992	2290±30	2181	2355	240	Fragments végétaux	
						Poz-65994	2360±30	2333	2486	245	Fragments végétaux	
						Poz-65995	2245±30	2156	2343	282	Fragments végétaux	
						Poz-61972	2945±30	2494	2768	472	<i>Posidonia oceanica</i>	
						Poz-61969	2900±30	2954	3157	489	Bois	
						Poz-61971	3145±30	3259	3447	593	Sédiment organique	
						Poz-61968	3245±30	3397	3561	630	Fragments végétaux	



▲ *Figure 6 : Lithotypes simplifiés des principales archives sédimentaires étudiées en Corse et datations radiocarbone (calibrées) utilisées pour l'interprétation palynostratigraphique de la Figure 7 (les détails et références de chaque site sont donnés dans le Tableau 2. Les astérisques signalent les sites pour lesquels aucune datation ^{14}C n'est disponible.*

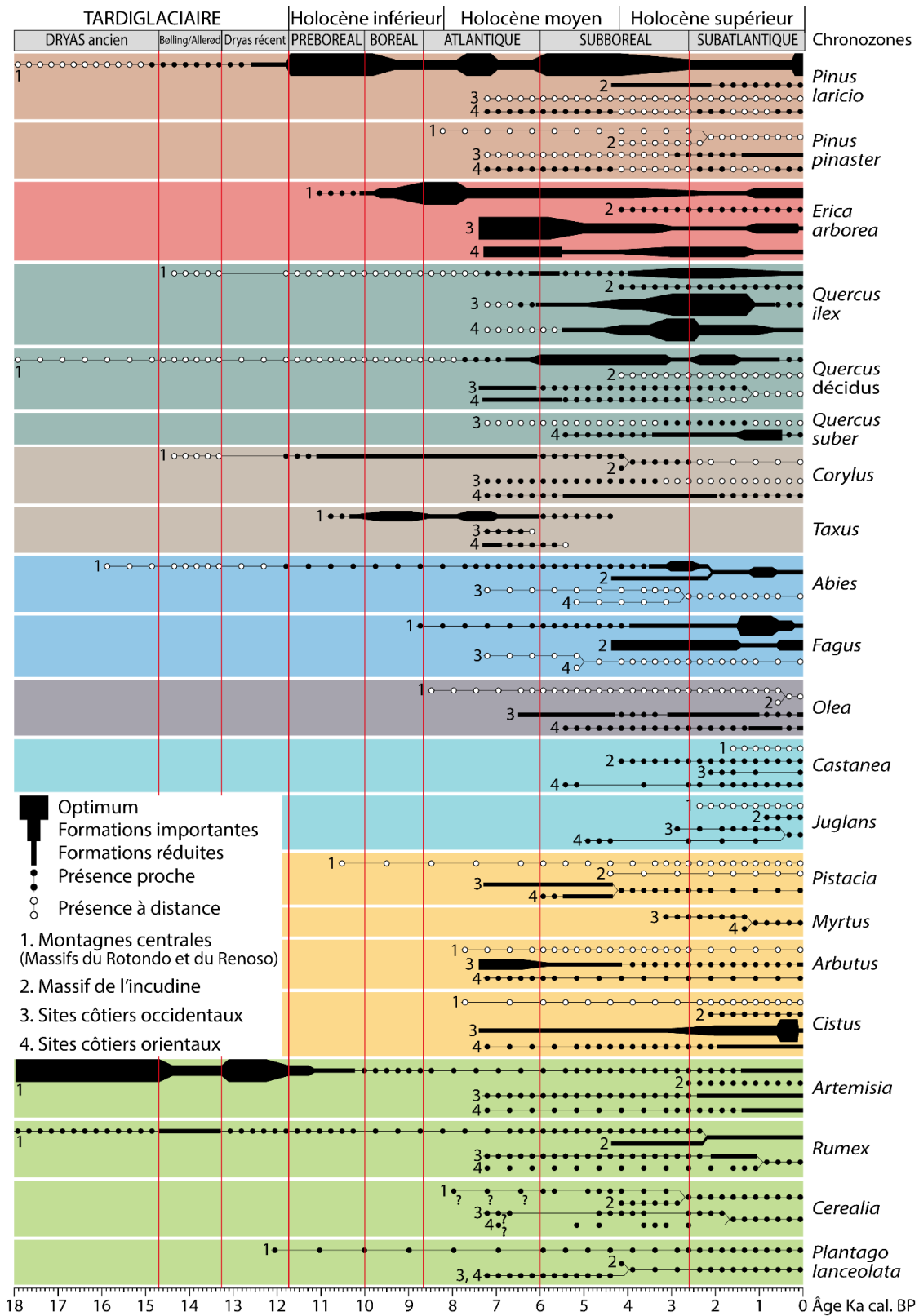


Figure 7 : Chronologie synthétique des dynamiques des principaux arbres, arbustes et de quelques herbacées de Corse depuis 18 000 ans. Les sites inclus dans les montagnes centrales de Corse (1), le massif de l'Incudine (2) et dans les secteurs côtiers occidentaux (3) et orientaux (4) sont donnés dans le texte (**Chapitre I.II.1**). Les datations utilisées pour les chronozones et les interprétations polliniques sont disponibles dans le Tableau 2.

2. Occupation humaine plurimillénaire de la Corse

Les changements de végétation qui viennent d'être décrits et l'établissement des paysages et des écosystèmes actuels de Corse ne peuvent être compris sans tenir compte des complexes interactions entre l'homme et son environnement. De fait, la Corse présente une longue histoire dont les nombreux indices archéologiques d'occupations humaines plurimillénaires sont le témoignage. Il convient d'en dessiner les traits majeurs.

Si de premières incursions par des chasseurs paléolithiques en Corse sont supposées par divers auteurs (Arca et al. 1982 ; Sondaar et al. 1986 ; Bonifay et al. 1998 ; Sondaar 2000), c'est au Mésolithique, à partir de 10 400 ans avant l'actuel, qu'apparaissent les preuves d'une véritable colonisation de l'île par voie marine (de Lanfranchi et Weiss 1973 ; Camps 1988 ; Vigne 1989 ; de Lanfranchi 1998 ; Costa 2004). En effet, à cette période le niveau marin était à environ 35 à 40 mètres plus bas (Vacchi et al. 2016) et la Corse déjà isolée de la Sardaigne par le détroit des Bouches de Bonifacio. À la sortie du Pléistocène, la faune mammalienne autochtone comprenait alors six espèces endémiques : certaines de petites tailles comme la musaraigne endémique de Corse (*Episoriculus corsicanus*), le lapin rat (*Prolagus sardus*), le mulot endémique corso-sarde (*Rhagamys orthodon*) et le campagnol endémique corso-sarde (*Tyrrhenicola henseli*), d'autres plus larges comme le dhole de Sardaigne (*Cynotherium sardous*) et le cerf de Caziot (*Megaloceros cazioti*)⁶ (Vigne 1992).

Les occupations mésolithiques sont principalement localisées à proximité de la mer avec les sites d'Araguina-Sennola, Longone, Monte Leone, Punta di Canisjonu, Campu Stefanu, Strette, Torre d'Aquila ou Gritulu (voir Figure 8). Les modes de vie de ces petits groupes humains semblent basés en grande partie sur la chasse de petits vertébrés, comme en témoigne le nombre parfois important d'ossement de *Prolagus* en particulier (environ 100 000 individus, uniquement sur le site de Monte Leone), mais également l'exploitation des ressources marines (coquillages, petits poissons marins). L'occupation de certains sites comme celui du Monte Leone, de Strette ou d'Araguina-Sennola fut, semble-t-il, discontinu dans le temps (Vigne et al. 1998, Vigne 1988, Magdeleine 1984). Toutefois, le site de Punta di Canisjonu, présentant vraisemblablement les plus anciennes traces d'occupation Mésolithique, suggère une relative sédentarité autour d'habitats structurés, ainsi qu'une exploitation des ressources naturelles tel que la collecte de végétaux ou l'exploitation des abeilles sauvages (Pasquet et Demouche 2012). De plus, le site de Curacchiaghju (850 m d'altitude) témoigne de circulations, même saisonnières ou ponctuelles à travers l'île des chasseurs-pêcheurs-collecteurs mésolithiques (Figure 8).

La néolithisation de l'ensemble corso-sarde s'est faite sans retard apparent avec le reste du bassin occidental de la Méditerranée, probablement du fait d'importantes diffusions maritimes par le relais siculo-italique. Toutefois en Corse, un hiatus chronologique apparaît entre les plus récentes traces

⁶ Ces deux dernières espèces ont rapidement disparus au Mésolithique.

mésolithiques, vers 8500 cal. BP et les premières installations des agriculteurs-éleveurs au Néolithique ancien, vers 7800 cal. BP (Costa 2004). Sur l'île, le Néolithique ancien se caractérise comme sur le continent par les céramiques dites « cardiales » et par de profonds changements des modes de vie, liés notamment à l'apparition d'espèces végétales et animales allochtones. Ces nouvelles introductions, notamment du mouton (*Ovis aries*), de la chèvre (*Capra hircus*), du cochon (*Sus scrofa domesticus*) et, plus tardivement, du bœuf (*Bos taurus*) et du chien (*Canis familiaris*), ont induit de profonds bouleversements écologiques pour la biodiversité autochtone de Corse (Vigne 1992). Mise à part quelques rares pièces, c'est également à partir du Néolithique ancien que les vestiges lithiques siliceux en silex ou en obsidienne sont largement retrouvés en Corse (de Lanfranchi 1980). Ces matières premières, absentes de l'île, témoignent d'un rapprochement entre les sociétés de Corse et de Sardaigne puisqu'elles sont principalement importées depuis le bassin de Perfugas, près de Sassari pour le silex et depuis le massif du Monte Arci pour l'obsidienne (Tykot 1966 ; Costa 2006 ; Bressy et al. 2007 ; Le Bourdonnec et al. 2010, 2011 ; Bressy-Leandri 2016).

La fréquentation de la Corse s'intensifie au cours du Néolithique moyen jusqu'au début de l'âge du Bronze (Costa 2004) : la répartition géographique des sites connus couvre le littoral, les vallées et les plateaux. L'occupation des milieux d'altitude est également attestée par plusieurs sites comme l'abri des Castelli (2150 m ; Mazet et al. 2012) et le plateau d'Alzu (1580-1800 m ; Ameziane et al. 2012). Entre autres, les sites de Basi, Presa et Monte Revincu (voir Figure 8) attestent du développement de l'agriculture et de l'élevage d'ovins, caprins et bovins dans les vallées et sur les bas-plateaux ainsi que de l'émergence des premières architectures mégalithiques (Bailloud 1969 ; Vigne 1988 ; Gilabert et al. 2011 ; de Lanfranchi 2012). Les premières perturbations des dynamiques de végétation par les activités humaines, bien qu'encore réduites, commencent à apparaître au cours de l'Atlantique, entre 6500 et 5000 années cal. BP (Reille 1984, 1992 ; Reille et al. 1999). C'est également à cette période, durant le Néolithique moyen et tardif que le hérisson d'Europe (*Erinaceus europaeus*), le mulot sylvestre (*Apodemus sylvaticus*) et le loir gris (*Glis glis*) font leur apparition en Corse (Vigne 1992). Enfin, c'est durant le Néolithique final-Chalcolithique, à partir de 5500 cal. BP que la métallurgie fait son apparition en Corse, accompagnée d'un déclin progressif des industries lithiques jusqu'à environ 4000 cal. BP. Les sites majeurs pour cette période, celui de Terrina ou I Calanchi, nous apprennent que l'exploitation de l'environnement naturel (espaces marécageux, prairies de plaine) et la circulation de matériaux entre sites éloignés pouvaient être importante et que la production carnée était essentiellement assurée par les bovins et les porcins, tandis que la production laitière l'était par les caprinés (Camps 1988 ; Cesari 1992 ; Cesari et Magdeleine 1998 ; Vigne 1998).

L'âge du Bronze (entre 4000 et 2700 cal. BP) voit se développer de petits habitats fortifiés, édifiés sur des reliefs peu accessibles ou intégrés à des enrochements naturels (Costa 2004). C'est également à cette période qu'apparaît les statues-menhirs, armées ou non, lesquelles traduisent vraisemblablement l'existence de sociétés hiérarchisées dominées par une classe guerrière (Pêche-Quilichini 2012 ; Cesari

et al. 2013). La multiplication de ces *castelli* sur toute l'île, comme à Campu Stefanu, Cucuruzzu, Turrichju-Filitosa, Torre ou à Rusumini (voir Figure 8), traduit l'état conflictuel des sociétés corses à cette période et au début de l'âge du Fer (Cesari et al. 2013). De fait, de nombreuses tours (*torre*) ou monuments mégalithiques sont édifiés au débouché de plaines ou le long de voies de communications, certainement pour en contrôler l'accès. Ces habitats fortifiés sont préférentiellement localisés dans des zones à bonnes potentialités agro-pastorales, en lien avec les besoins de l'élevage et la recherche de pâturage. Pourtant les études archéozoologiques montrent des difficultés de l'élevage durant cette période jusqu'à l'âge du Fer, se traduisant par un abaissement des âges d'abattage ainsi que par l'amélioration des zootechniques et des races domestiques (béliers, brebis et porcs en particulier) pour améliorer la rentabilité des troupeaux (Vigne 1988). L'accroissement des activités agricoles jusqu'à l'âge du Fer apparaît dans de nombreux sites côtiers au travers des courbes polliniques de *Cerealia*-type comme à Saleccia (Reille 1992), Aleria (Reille 1984 ; Currás et al. 2016) ou à Sagone (Ghilardi et al. 2016), mais aussi dans les assemblages archéobotaniques de Cucuruzzu (e.g. *Triticum dicoccum*, *T. aestivo-compactum*, *Hordeum vulgare*) (de Lanfranchi et Marinval 1985).

L'âge du Fer débute en Corse vers 2850-2800 cal. BP et se voit caractérisé, d'une part par l'introduction de la métallurgie du fer, mais surtout par d'importants échanges avec les autres cultures méditerranéennes au travers du commerce et finalement de la colonisation successive de l'île par les Grecs, les Étrusques, les Carthaginois et finalement les Romains (Pêche-Quilichini 2012 ; Pêche-Quilichini et Leandri 2012). Cette période voit l'apparition de nouveaux mammifères introduits comme la souris domestique (*Mus musculus domesticus*) ou le lérot (*Eliomys quercinus*), mais également le cheval (*Equus caballus*) et l'âne (*Equus asinus*) vers 2500 cal. BP puis plus tardivement le cerf élaphe (*Cervus elaphus*) durant la période romaine vers 1600 cal. BP (Vigne 1992).

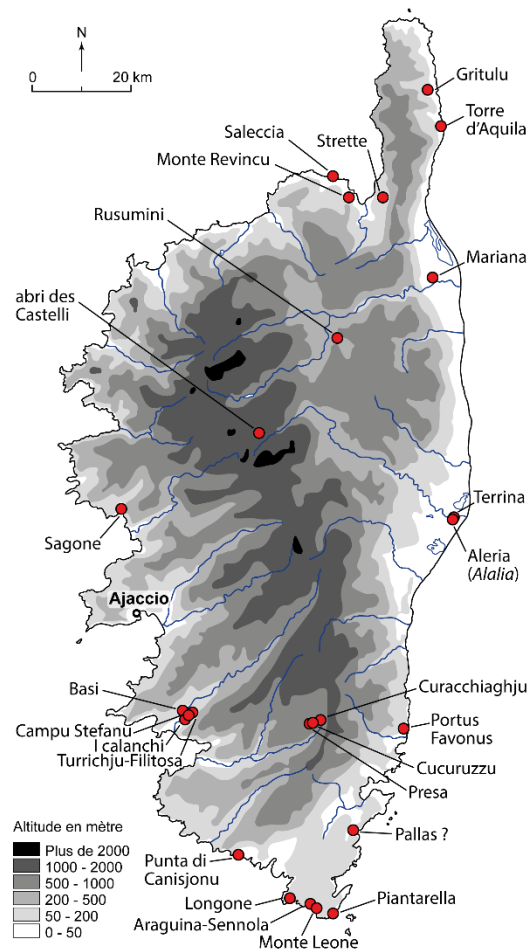


Figure 8 : Localisation des sites archéologiques et paléoécologiques mentionnés dans le *Chapitre I.II.2*.

La fin de l'âge du Fer est marquée par l'annexion de l'île par les Romains à l'issue de la première guerre punique (264-241 av. J.-C.) avec la prise de l'ancienne cité phocéenne d'Alalia en 259 av. J.-C. Cette dernière prend alors le nom d'Aléria pour devenir la capitale administrative, économique et politique de la Corse. L'histoire romaine de l'île va durer environ 600 ans, entre le III^e siècle av. J.-C. et le milieu du V^e siècle de notre ère. La domination romaine est tout d'abord marquée par de grandes révoltes insulaires qui prennent fin en 111 av. J.-C. même si les habitants de l'intérieur, refoulés dans la montagne ne se plièrent pas docilement au joug. Le long du littoral oriental, de grandes villes (Mariana, Pallas), ports (Portus Favonus) ou établissements (Piantarella) voient le jour, reliés par des voies romaines de circulation et de communication dont il est fait mention dans l'Itinéraire d'Antonin (Figure 8) (Agostini 1985–1986 ; Jehasse 1986 ; Jehasse et Nucci 2000). À l'inverse, les recherches archéologiques suggèrent une pénétration plus discrète de l'intérieur de l'île, bien que la carte de Ptolémée, au II^e siècle, y dénombre 14 lieux de regroupement de population (Jehasse 1986). L'occupation du territoire se manifesta par le remplacement de nombreuses forêts par des vignes, du blé et des oliviers. De fait, de nombreux produits étaient exportés de la Corse vers Rome comme le blé, la peau, le miel, le bois et le liège mais également du granite dont l'exploitation a été mise en évidence dans l'archipel des Lavezzi (Corse-du-Sud) (Vigne 1994). La raréfaction de biotopes favorables en lien avec ces déboisements ainsi

que la compétition avec d'autres espèces allochtones, notamment la musaraigne des jardins (*Crocidura suaveolens*), le pachyure étrusque (*Suncus etruscus*) et le rat noir (*Rattus rattus*), ont semble-t-il poussé à l'extinction les derniers mammifères endémiques de Corse entre la Période romaine et le Moyen Âge central (Vigne et Marinval-Vigne 1989 ; Vigne 1992 ; Vigne et Valladas 1996).

La domination romaine à son terme, la Corse fut conquise par les barbares. Les Vandales l'occupèrent vers 420 ap. J.-C., suivis par les Ostrogoths en 548-549 ap. J.-C. C'est durant le Moyen-Âge, après le XI^e siècle, que Pise et Gênes se partagent la Corse et que les *pieve* médiévales apparaissent. L'île tombe complètement sous l'occupation génoise à partir de 1284 ap. J.-C., et ce pour 600 ans (Istria 2012). C'est durant la République de Gênes, entre le XVI^e et le XVIII^e siècle, puis dans une moindre mesure, durant l'époque napoléonienne que les plus grandes perturbations de la végétation par les activités humaines apparaissent sur l'ensemble de l'île (Reille 1975). L'exploitation des forêts, plus particulièrement du sapin et du pin laricio pour la construction navale, la construction d'édifices ou encore la production de bois de chauffage et de charbon, a induit un important déboisement, menant à la précarité plusieurs forêts comme celle d'Aitone ou de Vizzavona (Pia Rota et Cancellieri 2001).

Entre le XVIII^e et le XIX^e siècle, les activités agro-sylvo-pastorales reposent sur la valorisation des pentes par des terrasses et leur mise en culture pour les céréales, la vigne, les châtaigniers, les oliviers, etc., ainsi que par un pastoralisme utilisant de manière extensive le territoire et pratiquant une double transhumance des troupeaux (transhumance d'hiver sur les terres littorales et d'été dans les estives montagnardes) (Mercury 2013).

La période moderne, entre la fin du XIX^e siècle et 1950, est caractérisée par la régression des surfaces céréalières et un fort essor des élevages d'ovins et de caprins qui profita aux industries laitières (Mercury 2013). Finalement les 60 dernières années ont été marquées en Corse par un exode ruromontagnard et une diminution des activités agro-pastorales traditionnelles d'altitude du fait des changements d'habitude de consommation après la Seconde Guerre mondiale (San Roman Sanz et al. 2013).

III. Sélection des sites étudiés

Dans le cadre de cette thèse, deux zones humides littorales et une tourbière de moyenne altitude, réparties le long d'un transect nord-sud (Figure 9), ont été retenues : **l'étang du Greco sur l'île Cavallo** (Bouches de Bonifacio, Corse-du-Sud), **la tourbière de Bagliettu** (Moltifao, Haute-Corse) et **le marais de Cannuta** (Santo-Pietro-di-Tenda, Haute-Corse).

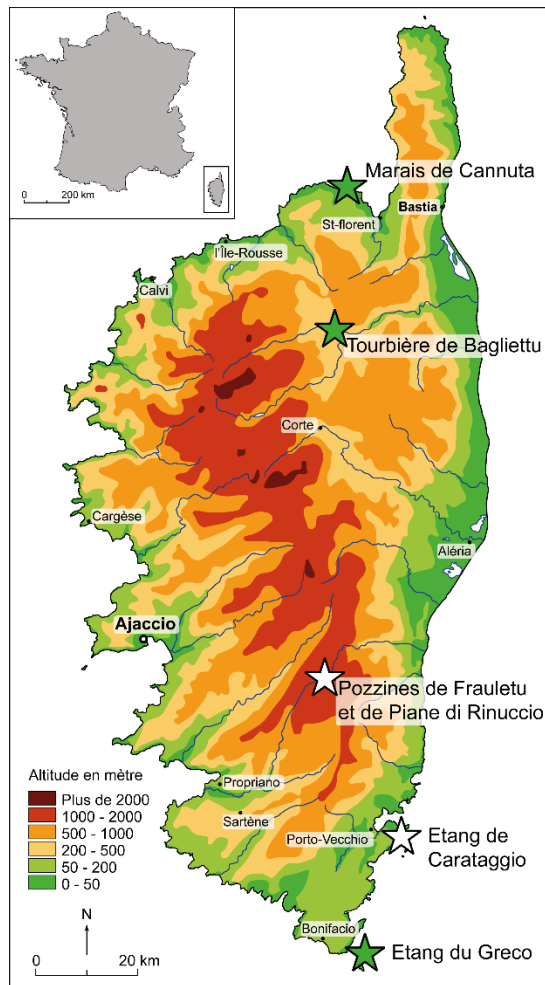


Figure 9 : Localisation des archives sédimentaires étudiées (étoiles vertes) ou échantillonnées mais non retenues dans cette thèse (étoiles blanches).

Le choix de ces sites a été motivé par la nécessité de combler les lacunes de connaissances des dynamiques paléoenvironnementales dans les secteurs étudiés, mais ils devaient également posséder un intérêt patrimonial pour la faune et la flore actuelle. Il va de soi que la préservation de la biodiversité est une priorité en Corse compte tenu de son fort taux d'endémisme. Cette préservation nécessite de prendre des décisions de gestion et de conservation qui peuvent être enrichies par des approches rétrospectives. De fait, de telles études, menées sur des sites remarquables de par leur biodiversité, permettent de comprendre (1) comment cette dernière s'est mise en place et a évolué au cours du temps, (2) comment le climat et/ou les activités humaines ont influencé dans la trajectoire de ces sites et (3) comment ils sont susceptibles d'évoluer dans le futur.

Ces trois sites s'inscrivent dans la démarche paléoécologique et conversationniste qui est la nôtre, puisque :

- **L'île Cavallo** (41°22'06''N, 9°15'45''E, Figure 10) est située au sein de la Réserve des Bouches de Bonifacio (bien qu'elle soit exclue de cette dernière). Une première prospection réalisée en 1994 par Paradis et al. faisait état de 191 espèces végétales principalement

thérophytes parmi lesquelles des espèces micro-insulaires rares telle que *Silene velutina* ou *Helicodicerus muscivorus* ainsi que des groupements végétaux originaux. Dans le cadre d'une école de terrain du Master SET-SBEM (Aix-Marseille Université) et de l'Initiative pour les Petites Îles de Méditerranée (PIM), des inventaires de la biodiversité (Médail et al. 2014, 2015) ont permis de mettre en évidence la présence d'espèces végétales d'intérêt patrimonial (e.g. *Acis rosea* et *Charybdis undulata*) mais également plusieurs taxons très rares ou nouvellement signalés pour la Corse et la France chez les lichens (*Ramalina clementeana*, *R. tingitana*, *R. implexa*) et les invertébrés (araignée *Argiope trifasciata*).



Figure 10 : Photographie de l'étang du Greco sur l'île Cavallo. Les côtes bonifaciennes sont visibles en arrière-plan.

- **La tourbière de Bagliettu** (42°28'54"N, 09°11'17"E, Figure 11), avec celle de Valdu, sont toutes deux considérées comme des tourbières hautes actives, uniques pour la région méditerranéenne. Des espèces rares telles que *Liparis loeselii* ou *Spiranthes aestivalis* sont aujourd'hui menacées et des groupements faunistiques et floristiques (e.g. association à *Drosero rotundifoliae-Ericetum terminalis* Gamisans et al. 1998) originaux occupent ce site sensible classé Natura 2000.



Figure 11 : Photographie de la tourbière de Bagliettu. La ripisylve marque la limite entre les éminences tourbeuses à *Erica terminalis* et la rivière de l'Asco.

- **L'étang de Cannuta** (42°43'6,32''N, 9°12'53,25''E, Figure 12) est une zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF940004073 – Zone humide de Saleccia-Loto) dépendante du Conservatoire du littoral de la Corse. Ce marais, précieux d'un point de vue patrimonial, présente des groupements arbustifs uniques (aulnaie et saulaie) croissant sur des tremblants formés par la végétation à *Thelypteris palustris*, *Carex pseudocyperus*, *Juncus subnodulosus*, *J. effusus* et *Typha angustifolia*. Parmi les peuplements originaux décrits récemment par Paradis et al. (2013), plusieurs taxons protégés comme *Ranunculus ophioglossifolius* et *Tamarix africana* ou rares comme *Thelypteris palustris* présentent un intérêt au niveau spécifique.



Figure 12 : Photographie de la végétation à *Salix cinerea* et *Alnus glutinosa* du marais de Cannuta.

Les méthodes d'échantillonnage et les techniques d'analyse appliquées pour ces trois sites sont décrites dans l'**Annexe I**. La liste des sites échantillonnés lors de nos campagnes n'est toutefois pas exhaustive et d'autres sondages prospectifs ont été réalisés (Figure 9). Après une pré-expertise des contenus en matériels paléontologique et sporo-pollinique des sédiments récoltés, les sites d'études suivants n'ont pas été retenus :

- **l'étang de Carataggio** (Porto-Vecchio, Corse-du-Sud) site classé Natura 2000 a été échantillonné en novembre 2013 ;
- **la pozzine de Fraletu** (Serra-di-Scopamène, Haute-Corse) et **la pozzine de Piane di Rinuccio** (Quenza, Haute-Corse), sites classés Natura 2000, ont été échantillonnées en octobre 2014.

Chapitre II : Reconstruction multiproxy en contexte micro-insulaire méditerranéen depuis 7000 cal. BP

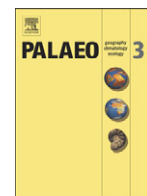
I. Introduction

Ce chapitre propose la reconstruction paléoenvironnementale d'un système insulaire de petite taille afin d'étudier la sensibilité et la résilience des petites îles de Méditerranée aux influences locales et régionales. En effet, ce type d'écosystème « simplifié » est particulièrement adapté pour étudier les interactions complexes entre la biodiversité, les changements climatiques (incluant ses effets indirects comme les variations eustatiques) et les activités humaines.

La présence d'un étang d'arrière-dune fait de l'île Cavallo un site de choix pour réaliser cette étude paléoenvironnementale. Cette île de seulement 120 ha est localisée dans les bouches de Bonifacio entre la Corse et la Sardaigne dont on sait qu'elles ont été empruntées par les sociétés préhistoriques, notamment pour l'échange de ressource lithique (Le Bourdonnec et al. 2011 ; Bressy-Leandri 2016). De plus, plusieurs études ont montré que le sud de la Corse a été très tôt colonisé par l'homme (voir **Chapitre I.II.2**). L'hypothèse qui en résulte est que les écosystèmes de l'île Cavallo ont pu être profondément modifiés par l'occupation humaine. Une autre hypothèse peut être formulée en tenant compte d'autres spécificités propres à l'île. Cette dernière, entourée de bas-fonds, a nécessairement été connectée aux autres îles de l'archipel et avec la Corse lors du dernier maximum glaciaire (Lambeck et Purcell 2005). Par conséquent, les environnements côtiers de l'île ont pu être affectés par la remontée relative du niveau de la mer durant l'Holocène.

Dans ce chapitre, nous testons ces deux hypothèses par une approche pluridisciplinaire basée sur l'étude d'une carotte sédimentaire de 340 cm de longueur extraite de l'étang littoral du Greco sur l'île Cavallo. Cette approche inclut l'analyse des fossiles d'insectes (70 échantillons ; voir en **Annexe II**), l'analyse du contenu sporo-pollinique de 38 échantillons ainsi que la comparaison des résultats obtenus avec les données archéologiques disponibles localement et les précédentes études paléoenvironnementales réalisées sur d'autres îles de Méditerranée. Cette étude est développée dans l'**article 1** « Holocene environmental history of a small Mediterranean island in response to sea-level changes, climate and human impact » paru en janvier 2017 dans la revue *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.

II. Histoire environnementale holocène d'une petite île méditerranéenne en réponse aux changements relatifs du niveau marin, au climat et aux activités anthropiques – Article n°1



Holocene environmental history of a small Mediterranean island in response to sea-level changes, climate and human impact



Yoann Poher ^{*}, Philippe Ponel, Frédéric Médail, Valérie Andrieu-Ponel, Frédéric Guiter

Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE), Aix-Marseille Université, UMR CNRS IRD Avignon Université, Technopôle Arbois-Méditerranée, Bât. Villemin, BP 80, F-13545 Aix-en-Provence cedex 04, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 20 May 2016

Received in revised form 25 October 2016

Accepted 31 October 2016

Available online 3 November 2016

Keywords:

Holocene

Coleoptera

Pollen

Corsica

Mediterranean island

Palaeoenvironment

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate human-climate-environment interactions in a small Mediterranean island. Comparison between palynological and palaeontomological data from the Greco pond (Cavallo Island, southern Corsica) reveals that the island was first covered by a more-or-less open *Erica arborea* pasture-woodland from ca. 7000 to 6100 cal. yr B.P. Grazing animals from 7000 to 6200 cal. yr B.P., followed by a spreading of *Ficus carica* (marked by the bark beetle *Hypoborus ficus*) from ca. 6100 to 5750 cal. yr B.P., suggest that human activities could be implicated in the *E. arborea* forest opening. From ca. 5500 cal. yr B.P., a regional expansion of *Q. ilex* was recorded, but an open landscape with thermophilous and drought-tolerant plants locally took place from ca. 4700 cal. yr B.P. onward. Pastoral and agricultural biomarkers (pollen, NPP and insect) together with archaeological evidence indicate that human activities were involved in the installation of a lasting open vegetation. Simultaneously, the effects of the Holocene relative sea-level rise on the coastal wetland are recorded: (1) freshwater conditions prevailed in the Greco pond since 7000 cal. yr B.P. at least, (2) the first evidence of salt marsh development dates back to ca. 4500 cal. yr B.P., (3) a strong increase of salinity with marine intrusions were recorded at ca. 3700 cal. yr B.P. while a decline in aquatic insect diversity occurred and (4) a phase of sand dune formation was recorded from ca. 2000 cal. yr B.P. onward. Our results suggest that if large-scale climatic trend such as the Holocene relative sea-level rise could affect coastal ecosystem, effects of human activities could play the leading role in vegetation and terrestrial beetle assemblage changes in a small island context.

© 2016 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

During the Holocene, the Mediterranean region was deeply affected by environmental changes resulting from a complex history of human land-use and climatic interactions (e.g., de Beaulieu et al., 2005; Jalut et al., 2009; Roberts et al., 2004; Walsh, 2014). The study of these interactions in insular contexts is pertinent since these marginal territories constitute simplified ecosystems where ecological and species dynamics could be more easily understood (Whittaker and Fernández-Palacios, 2007). For this reason islands are classically considered as 'laboratories' for the study of biodiversity structure and dynamics. Islands are also fragile systems, highly vulnerable to rapid environmental changes and anthropic pressure. Since the 1990s, studies based on pollen analysis aiming to reconstruct the impact of human activities and climate changes on Mediterranean islands have increased, but most are focused on large islands such as the Balearic Islands (Burjachs et al., 1994; Yll et al., 1997), Malta (Carroll et al., 2012; Djamali et al.,

2012; Gambin et al., 2016), Sardinia (Beffa et al., 2015; Di Rita and Melis, 2013) or Sicily (Noti et al., 2009; Tinner et al., 2009). In Corsica, the vegetation history is quite well known from various palynological analyses carried out on high-altitude sites (Reille, 1975, 1977, 1988a, 1988b; Reille et al., 1997, 1999) and on coastal marshes (Currás et al., 2016; Reille, 1984, 1988b, 1988c, 1992a). These studies highlight the major role of human activities as drivers of vegetation landscape dynamics since the Neolithic period (ca. 7600 cal. yr B.P.). However, small (i.e. <1000 ha) and medium Mediterranean islands are still under-investigated (but see Avramidis et al., 2013; Calò et al., 2013; Pavlopoulos et al., 2010), because holocene sedimentary deposits are rare. For example in Corsica little or no information is available about palaeoenvironmental history of the numerous small peripheral islands (c. 145 islands and islets according to Guillemette, 2015) beyond the past few centuries (Vigne, 1994). Yet, these simplified ecosystems are especially suitable to study the complex relationships between environment, sea-level changes and human practices: in general, low-elevation islands are sensitive to sea-level variations whereas small islands could be sensitive to land-use changes (Bass and Dalal-Clayton, 1995).

Despite their small size, some of corsican satellite islands were occupied by Neolithic humans (Agostini, 1978; Vigne, 1994). This is notably the case of the Lavezzi archipelago, located in the 16 km-strait

^{*} Corresponding author.

E-mail addresses: yoann.poher@imbe.fr (Y. Poher), philippe.ponel@imbe.fr (P. Ponel), frederic.medail@imbe.fr (F. Médail), valerie.andrieu-ponel@imbe.fr (V. Andrieu-Ponel), frederic.guiter@imbe.fr (F. Guiter).

separating Corsica from Sardinia that could have been used as a land bridge, making these islands a potential place of contact for regional civilizations. Moreover, this archipelago surrounded by shallow waters and composed of low-elevation islands, was strongly affected by past sea-level fluctuations. The relative sea-level changes are well-documented in Corsica (De Muro and Orrù, 1998; Laborel et al., 1994; Vacchi et al., 2016a) and could be compared to the regional study of Holocene relative sea-level changes reconstructed in Sardinia (Antonoli et al., 2012; De Muro and Orrù, 1998) or on the Southern France coasts (Laborel et al., 1994; Morhange et al., 2001; Vella and Provansal, 2000), providing a satisfying high-resolution context for NW-Mediterranean chronology and sea-level change (Vacchi et al., 2016b). Among this archipelago, Cavallo Island is therefore in a key position to investigate such issues.

This study is a multidisciplinary analysis of beetle, pollen and non-pollen palynomorph fossil assemblages carried out on a retrodunal sedimentary sequence on the island of Cavallo. Coleopteran species are particularly numerous in the Mediterranean area: more than half of the French beetle fauna is present in Provence (Caillol, 1908; Tronquet, 2014). Many species are specific to very narrow ecological niches, they respond quickly to ecosystem shifts and disturbances, and they are relatively easy to identify to species or species-group level. Recent multidisciplinary studies including pollen and coleopteran analyses provide original and independent data concerning forest dynamics, human

activities and climate (Ponel et al., 1992, 2001, 2011; Gustavsson et al., 2009; Tessier et al., 1993). This study is the first multidisciplinary analysis including Coleoptera carried out in the Corso-Sardinian region. The main objectives are: (1) to reconstruct the environmental changes on Cavallo Island, (2) to evaluate the respective roles of humans and relative sea-level changes on biodiversity dynamics in a small island context and (3) to compare these results with other Holocene sequences from Corsica, Sardinia and the western Mediterranean area.

2. Study area and archaeological context

The Lavezzi archipelago (Corse-du-Sud, France) is located in the Strait of Bouches-de-Bonifacio between Corsica and Sardinia. The entire archipelago covers approximately 185 ha and it is formed by six main islands with many satellite islets. The distance between Lavezzi islands and the Corsican coast varies from 240 m for the closer island (Piana) (see Fig. 1) to 6 km for the further island (Sperduto, not represented in Fig. 1). Located at 2300 m from the South-East coast of Corsica, Cavallo (41°22'06"N, 9°15'45"E, area: 120 ha, maximum elevation: 32 m a.s.l.) is the largest of the six islands belonging to the Lavezzi archipelago. The bathymetry around these six islands scarcely reaches 20 m in depth. These islands were part of a land-bridge linking Corsica and Sardinia during the Würmian regression (Conchon, 1976; Van Andel,

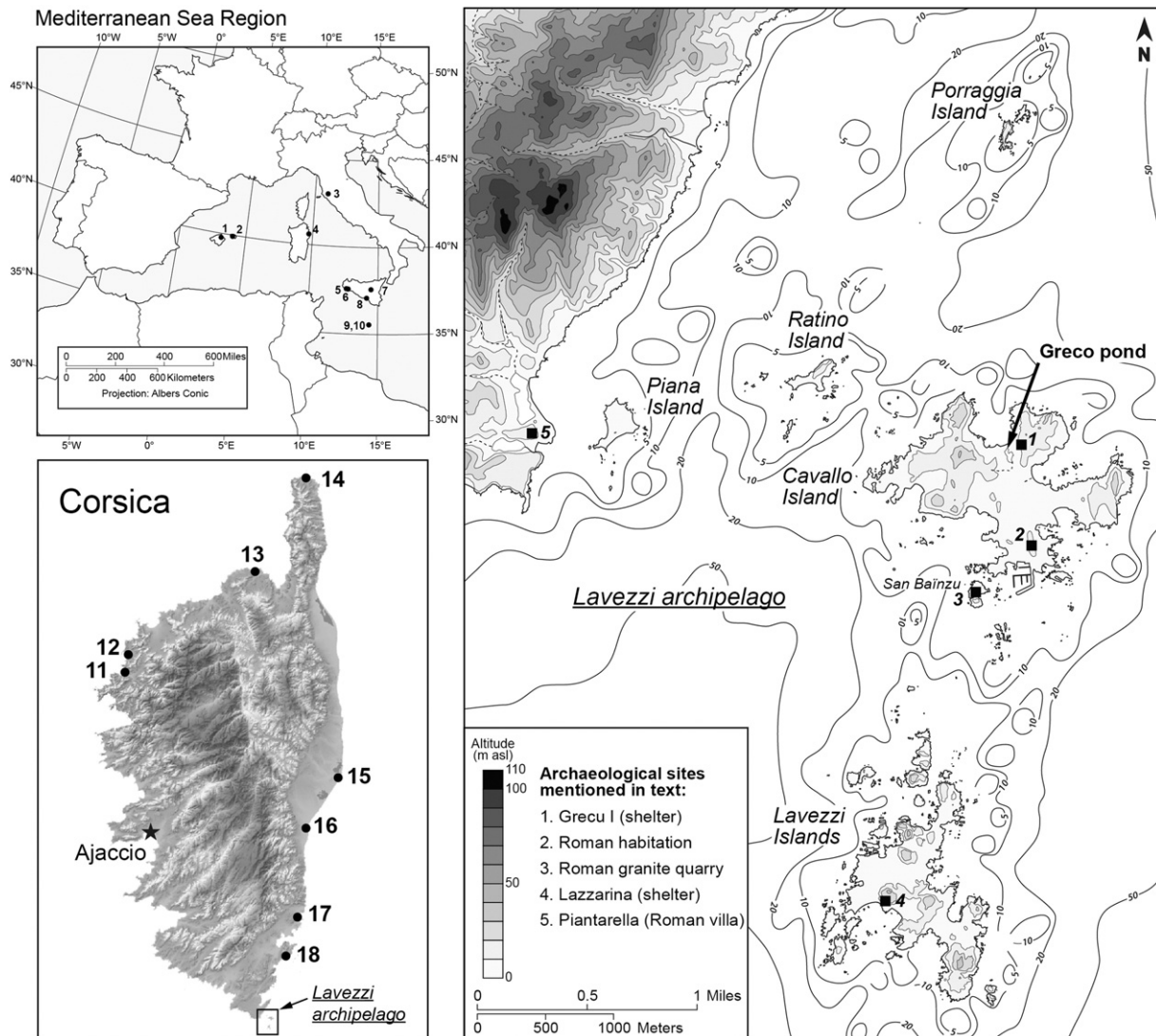


Fig. 1. Geographic location of the study area. Selected sites mentioned in text: 1 Alcudia, 2 Algendar, 3 Lago Accessa, 4 Stagno di Sa Curcurica, 5 Gorgo Basso, 6 Lago Preola, 7 Lago di Pergusa, 8 Biviere di Gela, 9 BM1, 10 BM2, 11 Le Fango, 12 Crovani, 13 Salecchia, 14 Barcaggio, 15 Del Sale, 16 Etang de Palo, 17 Pinarello, 18 Palombaggia.

1989). Thus, the isolation of Cavallo Island is recent (Fig. 1) and it is believed to have taken place during the early Holocene, probably between 8000 and 5000 cal. yr B.P. (Vigne, 2014).

All the Lavezzi islands present similar granitic substrates (monzogranite and granodiorite) lying on a Hercynian bedrock but some of them (Porraccia, Lavezzi and Cavallo) are interspersed by rhyolitic veins (Gauthier, 1984). Natural depressions of clayey-quartz deposits derived from the erosion of the granitic bedrock have allowed for formation of two permanent water bodies on Cavallo (Greco pond and a small swamp) fed by fresh water sources. They were formerly connected but recent urbanization and earthwork have badly damaged these wetlands and the swamp located at the center of Cavallo was drained during the construction of an airstrip. The Greco pond (1 m a.s.l.) is located in the northern part of the island behind a sand barrier.

The archipelago is characterized by a Mediterranean climate but the wind from the East and the West accentuates the summer drought. Meteorological data from the closest station of Cape Pertusato (Bonifacio) indicate that the mean annual rainfall for the period 1981–2010 is of ca. 542 mm and that the mean annual temperature is of ca. 16.4 °C with an annual temperature range of ca. 8.2 to 27.2 °C (Météo-France, 2010). This data indicates that the area must be included within the thermo-Mediterranean vegetation belt, under a semi-arid bioclimate according to the Emberger's classification (Emberger, 1930).

Since the 1960s, Cavallo Island was the most human-impacted island of the Lavezzi archipelago. Privatized from 1967, the urbanization started around 1970. Before these changes, the island was covered by dense scrublands of *Pistacia lentiscus* (Gamisans and Paradis, 1992) locally destroyed by man-made fires, favoring pastures and grasslands. Today, Cavallo is still covered by thermo-Mediterranean scrublands dominated by *Pistacia lentiscus*, *Cistus monspeliensis* and *Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata*. Some thermo-xerophilous grasslands induced by goat grazing during the 20th century are still locally present. Dunes are relatively well-preserved, with *Pancreatium maritimum*, *Othantus maritimus*, *Eryngium maritimum* and *Euphorbia peplis*. The Greco pond is fringed by the most important formation of *Tamarix africana* of the archipelago and surrounded by a marshy vegetation, including different species of *Juncus* and *Carex*, with a floating mat of *Potamogeton pectinatus*. Depressions subject to marine influence (salt rising during summer and sea spray) are occupied by halophilous taxa, with *Atriplex prostrata*, *Salicornia patula*, *Frankenia laevis* and *Spergularia* div. spp.

Concerning the Coleoptera fauna, the Lavezzi archipelago is relatively well documented. The first inventory (Rungs, 1991) recorded almost 100 Arthropoda species. These results were later compiled by Cocquempot and Rungs (2009) with recent data (Cocquempot and Chambon, 1991; Lanza and Poggesi, 1986; Lemaire, 1992; Orousset, 1995, 2007a, 2007b; Tiberghien et al., 1993). This study brings the number of Arthropoda species known from Lavezzi and Cerbicale Islands to 513, 240 of those being Coleoptera. The most recent investigations carried out in 2014 and 2015 on Cavallo add 43 new beetle species for the island (Médail et al., 2014, 2015). Nevertheless, the entomofauna of Cavallo Island is still not fully studied and the coleopteran communities predating the recent urbanization on Cavallo are unknown.

Several traces of human occupation have been found in the southern part of Corsica representing the Early Neolithic and Middle Neolithic intervals (ca. 8000 to 6000 B.P.) (de Lanfranchi and Weiss, 1972, 1977; Pêche-Quilichini and Bertocco, 2009; Vigne, 1992, 2014). The circulation of obsidian during the 4th millennium cal. BC testifies to the existence of socio-economic connections between Corsica and Sardinia (Costa, 2006; Le Bourdonnec et al., 2011). However, the first human presence in the Lavezzi archipelago is believed to have occurred during Chalcolithic time (ca. 4500 B.P.) according to Agostini (1978). Other pieces of pottery and stone tools indicate that the island was also occupied during the Middle Bronze age, the Early Iron age and the Roman period (evidence of a Roman quarry is still visible). Historical

documents testify to the occupation of the archipelago during medieval time (Thibault et al., 1987). From the 18th century onward, Lavezzi and Cavallo islands were farmed (10% of pastureland and 15% of arable land on Lavezzi Island) and were grazed by goat cattle from autumn to late spring.

3. Methods

3.1. Coring and lithology

A Russian corer (Ø 5 cm) was used to sample the Greco pond on Cavallo Island in 2014 (41°22'14.8"N, 9°15'47.8"E, 0.48 ha, 1 m.a.s.l.). The water column was about 80 cm and the upper 70 cm consisted of superficial mud deposits and unsampled sand. Thus the core starts 1.5 m under the water surface and reaches 4.9 m depth. The sedimentary profile, CAVA-1 is 3.4 m long (Fig. 2).

3.2. Insect analysis

The profile was cut into 70 insect subsamples (each subsample was about 5 cm thick, 38 g and 48 cm³ in volume in average). Insect fossils extraction was carried out using the paraffin flotation method described by Coope (1986) over a 300 µm sieve. Identifications were made by direct comparison with specimens from a modern reference collection. The minimal number of individuals (MNI) for each taxon is estimated by counting diagnostic elements of exoskeleton. The term "taxa" refers to all fossils identified at any taxonomic levels (species, genus, family). Since Coleoptera macrofossils were abundant and well preserved, only this order is taken into account in the analysis and the interpretations. Nomenclature and taxonomic order follow Tronquet (2014). The palaeoecological interpretation of beetle assemblages is based on geographical distributions and biotic features described in modern literature (Balachowsky, 1949; Caillol, 1908; Coiffait, 1984; Constantin and Liberti, 2011; Delobel and Delobel, 2003; Delobel and Tran, 1993; Guignot, 1947; Hoffman, 1950, 1954, 1958; Jeannel, 1941, 1942; Koch, 1989a, 1989b, 1992; Paulian and Baraud, 1982; Saint-Claire Deville, 1914; Soldati and Coache, 2005; Théron, 1975). Coleoptera taxa were grouped into ecological categories according to their ecological affinities or their preferred biotopes (described in Table 1) and presented on a synthetic histogram (Fig. 3) drawn with C2 software (Juggins, 2007).

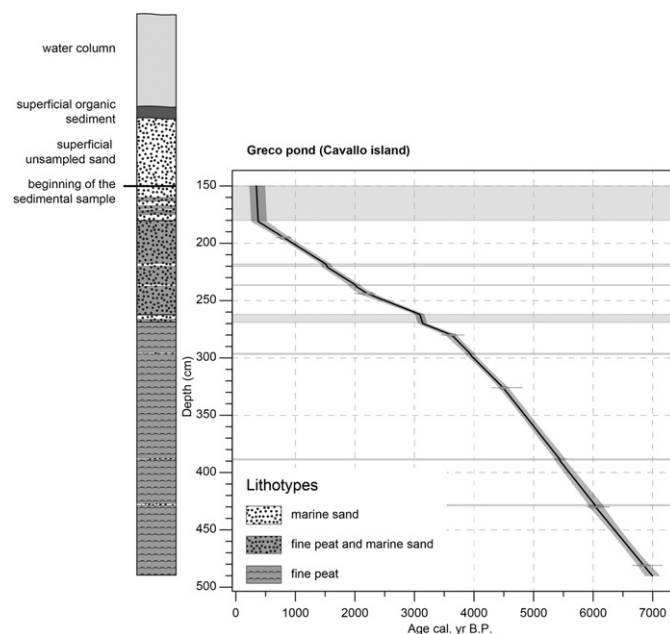


Fig. 2. Lithology and age-depth model of CAVA-1 from the Greco pond sequence (Cavallo Island). Sand layers excluded in the age-depth modeling are shaded.

Table 1
Groups of Coleoptera according to their ecological affinities.

Groups	Features and non-exhaustive Coleoptera examples
Aquatic coleoptera	Beetles living exclusively in standing or running water at a moment of their development (e.g. adults of all taxa belonging to the Dytiscidae, Hydraenidae, Hydrophilidae and Noteridae families, larva of <i>Contacyphon</i>) and including halotolerant species
Coprophilous/coprophagous coleoptera	Directly coprophagous beetles (e.g. <i>Aphodius</i> , <i>Caccobius schreberi</i> , <i>Euoniticellus</i> , <i>Onthophagus verticicornis</i> , <i>O. taurus</i> or <i>O. vacca</i>) or predator in dung matter (e.g. <i>Oxytelus piceus</i>). A few of these insects were classed both in this group and that of open or woodland/scrubland environment taxa
Decayed matter-dependent coleoptera	Non-coprophilous beetles feeding or living in decayed plant or animal matter (e.g. <i>Dignomus brevicornitus</i> , <i>Ptinus</i> , <i>Anthicus</i> , <i>Hirticomus</i>)
Driftwood-dependent coleoptera	This beetle fauna strictly associated with driftwood is different than species included in the Woodland/scrubland taxa group (e.g. <i>Aphanommata filum</i> , <i>Mesites pallidipennis</i> , <i>Pselatrix spadix</i>)
<i>Hypoborus ficus</i>	A saproxylic species digging galleries in the branches of <i>Ficus carica</i>
Open environment coleoptera	Beetles living in herbaceous land (e.g. <i>Bruchidius</i> , <i>Longitarsus</i> , <i>Apion</i> , <i>Aspidapion aeneum</i> or <i>Gymnetron</i>)
Salt marsh and salt land coleoptera	Aquatic beetles that tolerate salt conditions (e.g. <i>Hydrovatus cuspidatus</i> , <i>Hyphydrus aubei</i>) or non-aquatic beetles living in salt meadows (e.g. <i>Microlestes</i> , <i>Bledius unicoloris</i>)
Sand dune coleoptera	Psamphilous beetles adapted to sand biotope (e.g. <i>Catomus consentaneus</i> , <i>Platytomus laevistriatus</i> , <i>Psammodyus</i>)
Unclassified	This category groups together eurytopic taxa (which ecology is not sufficiently known) and taxa identified to genus or higher taxonomic level (which do not provide any precise ecological information)
Wetland and waterside coleoptera	Group of non-aquatic beetles occurring on wetland and marsh margins at some point of their development (e.g. <i>Bembidion articulatum</i> , <i>B. octomaculatum</i> , <i>Dryops</i> , <i>Phalacrus</i> , adults of <i>Contacyphon</i> , <i>Ochtheophilum</i>)
Woodland and scrubland coleoptera	Beetles living in forest environments (<i>Triodonta cf. cribellata</i> , <i>Sulcatifrons fronticornis</i>) that can be xylophagous (<i>Scobicia chevrieri</i> , <i>S. pustulata</i> , <i>Hypoborus ficus</i>) or not

Insect Fauna Units (IFU) were established using hierarchical agglomerative cluster analysis (the dissimilarity matrix was calculated using Bray-Curtis distance) with the R 2.13.2 software (R Development Core Team, 2011) and Bray-Curtis distance was computed with 'rioja' R package (Juggins, 2012). The more parsimonious number of biozone (IFU-1 and IFU-2) was established using a broken-stick model (Bennett, 1996) with the Connis model (Grimm, 1987). We sub-divided IFU-1 into 3 under-units (IFU-1a, IFU-1b and IFU-1c) on the basis of changes in entomological assemblages (Fig. 3).

3.3. Pollen and non-pollen palynomorph analyses

The sediment core was sampled every 1 cm (sandy layers were not sampled) for pollen and non-pollen palynomorph (NPP) analyses. Thirty-eight subsamples of circa 2 cm³ were prepared using the standard method described by Faegri and Iversen (1989). Pollen and NPP counts were performed using a Leica microscope at ×500 magnification oil immersion. Identifications were made with standard atlases and keys (Beug, 2004; Reille, 1992b; Van Geel, 2001). A minimum of 300 pollen grains per sample were counted; beyond this number, only new pollen types were counted (Table S1, published online as supplementary material). Pollen data are represented in percentages of total pollen sum excluding Cyperaceae, *Sparganium-Typha* type, fern spores, algae, microforaminiferal linings and aquatic plants (e.g., *Myriophyllum type spicatum*, *M. type alterniflorum*). NPP are expressed in concentrations of spores or elements per grams. Pollen and NPP are presented on a synthetic diagram (Fig. 4) drawn with C2 software. Pollen Assemblage Zones (PAZ) were established using hierarchical agglomerative cluster analysis (Bray-Curtis distance) with the R 2.13.2 software (Fig. 4). To facilitate cross-comparison with insect data, pollen and NPP are also grouped into summary curves according to their local ecological affinities (Reille, 1992a; Gamisans, 1999) or their value as indicators of anthropogenic impact (Behre, 1981; Baker et al., 2013) (Table 2) and presented on a synthetic diagram (Fig. 5).

3.4. Radiocarbon data

The chronology of CAVA-1 is based on six AMS radiocarbon measurements (Table 3) performed on bulk peat sediment samples (1 cm thick) by the Poznań radiocarbon Laboratory (Rubiż, Poland). We calibrated the ages and created an interpolated age-depth model with the "CLAM" R package (Blaauw, 2010) of R 2.13.2 software. The fine sand layers intercalated in the peat profile (probably corresponding to latest-immediate aeolian deposits) were not taken into account in the age-depth modeling (Fig. 2).

4. Changes in beetle assemblages

A total of 2039 fragments of Arthropod fossils were identified, corresponding to 144 taxa among which 133 taxa are Coleoptera (Table S2, published online as supplementary material). Other taxa include Heteroptera, Hymenoptera (Formicidae) and Araneae orders. In this study, 39% of Coleoptera were identified to species level, 48% to the genus and 13% to higher taxonomic level. Within the Coleoptera, the most represented families are Staphylinidae (17%), Curculionidae and Dytiscidae (11%), Harpalidae (8%), Hydrophilidae and Scarabeidae (6%), other families represent <5% of Coleoptera fauna. Abundance patterns mirrored those of taxa richness since there is a high correlation coefficient between the number of taxa and abundance in each sample ($r = 0.956$; $P < 0.00001$; $n = 70$). An average of 11 beetle taxa and 16 minimal number of individuals (MNI) are recorded per sample which is low in comparison with previous entomological studies in archaeological or palaeological context (e.g., Coope and Elias, 2000; Ponel et al. 1992, 2000, 2007) but quite high considering the initial volume of sediment analysed. Indeed, the number of individuals/100 g varies from 0 to 188 which is in the norm of the studies cited above (Table S2, published online as supplementary material). Furthermore, the good taxonomic resolution and the existence of many stenotopic beetle taxa with narrow ecological requirements are relevant to reconstruct biodiversity and environmental changes with accuracy. On the basis of the four biozones (IFU-1a, IFU-1b, IFU-1c and IFU-2), it is possible to describe beetle assemblage changes and to propose palaeoecological interpretations for each chronologically-constrained biozone (Fig. 3):

4.1. IFU-1a, a diversified insect fauna in a wooded island (490–440 cm; 6993–6200 cal. yr B.P.)

The richest beetle assemblage is identified in this lowermost/oldest biozone (Fig. 3). This assemblage is dominated by aquatic beetles, and beetles living on wetland margins (respectively 28 and 15 taxa). Three aquatic beetles living exclusively in standing or slowly running freshwater are almost restricted to this biozone: *Hydrochus*, *Helochares* and *Limnebius*. Several characteristic aquatic taxa living in lacustrine or swampy environment are recorded, such as *Agabus bipustulatus*, *Colymbetes fuscus*, *Ochthebius*, *Berosus*, *Enochrus* or *Noterus*. Aquatic beetle assemblages also include halotolerant species which can live in brackish water or saltmarsh as *Hygrotus parallelogrammus*, *Hydrobius fuscipes* or *Limnoxenus niger*. The record of *Canthydrus diophthalmus* is remarkable since this Ethiopian species is known in Europe only in the Iberian Peninsula, and has never been recorded in Corsica nor France (Millán et al., 2005; Montes and Soler, 1985). The ecology of this Noteridae is not well

known but it seems that it occurs in shallow water with a certain degree of eutrophication and fine organic particles (I. Ribera, pers. comm.). The rich riparian beetle fauna including *Contactyphon*, *Paratachys bistriatus*, *Ocydromus*, *Phalacrus*, *Bagous* or *Hylobius transversovittatus* attests that this wetland was bordered by a rich and abundant hygrophilous flora. Species belonging to the genus *Bagous* live on different aquatic plants: Potamogetonaceae, Lemnaceae, Lentibulariaceae, Equisetaceae, Typhaceae, Cyperaceae and Frankeniaceae on coastal environment. The larva of *Hylobius transversovittatus* lives and overwinters in the ligneous roots of *Lythrum salicaria* while the adult is found on wet margins of swamps. The Greco pond and the former central marsh were probably connected during the deposition of IFU-1a, in the form of a wide central wetland with a permanent fresh water body and swampy margins covered by an abundant hygrophilous vegetation. During this period, salt meadows or brackish water bodies were probably present as indicated by halophilous Caraboidea such as *Pterostichus cursor* or halotolerant such as *Bembidion octomaculatum*. However, the sea line was probably far away and the marine influence was very low.

The remaining part of Cavallo Island was probably covered by a ligneous vegetation, enabling a rich phytophagous and xylophagous beetle fauna to establish, with *Scobicia chevrieri*, *S. pustulata*, *Agrilus* and *Berginus tamarisci*. The two first species live in dead wood of various ligneous species such as *Ficus carica* (common fig tree), *Tamarix* or *Vitis* (vine). Most of the species belonging to the genus *Agrilus* are associated with Fagaceae, Salicaceae and to a lesser extent, Rosaceae. Adults of *Berginus tamarisci* are found on trees (*Pinus*, *Tamarix*), on shrubs (*Crataegus*, *Clematis*) but also on *Genista scorpius* and *Spartium junceum*. Several specimens of *Aphanommata filum* and *Mesites pallidipennis* both associated to driftwood

suggest that the shoreline displayed some accumulations of drift wood. These wood debris could originate from the local vegetation but may also have been brought by the sea from distant trees. Some occurrences of open-ground beetles are recorded suggesting that open environments must have been present in the immediate vicinity (Fig. 3): *Pachybrachis cf. rugifer*, a thermophilous species living on Lamiaceae (*Thymus* sp., *Satureja montana*, *Rosmarinus* spp.); *Apion* or *Tychius* both associated to various herbaceous plants such as *Trifolium* and *Medicago*, and one taxa belonging to the Bruchinae subfamily whose larva are mostly associated to Fabaceae seeds. IFU-1a also contains a coprophagous beetle fauna usually living on grassland and grazed land, with *Aphodius*, *Euoniticellus*, *Onthophagus taurus* and *O. vacca*. This strongly suggests that Cavallo Island was grazed by wild animals or cattle.

4.2. IFU-1b, a first beetle fauna impoverishment (440–380 cm; 6200–5311 cal. yr B.P.)

This short period corresponds to a change in beetle assemblage composition. This less diversified biozone with 58 beetle taxa, includes 12 taxa present nowhere else in the profile. Aquatic beetles and beetles living on wetland margins show a slight decrease of both diversity and MNI but remain dominant (respectively 24 and 12 taxa, see Fig. 3). Some taxa were already recorded in the lowermost IUF, such as *Bagous*, *Colymbetes fuscus*, *Hygrotus parallelogrammus*, *Ochthebius*, *Berosus*, *Enochrus*, *Limnoxenus niger*, *Noterus* but two new species are found for the first time: *Phytobius leucogaster* and *Hyphydrus aubei*. Adults of *Phytobius leucogaster* live in ponds and swamps on *Myriophyllum* whereas *Hyphydrus aubei* is a halotolerant water beetle, living in muddy standing

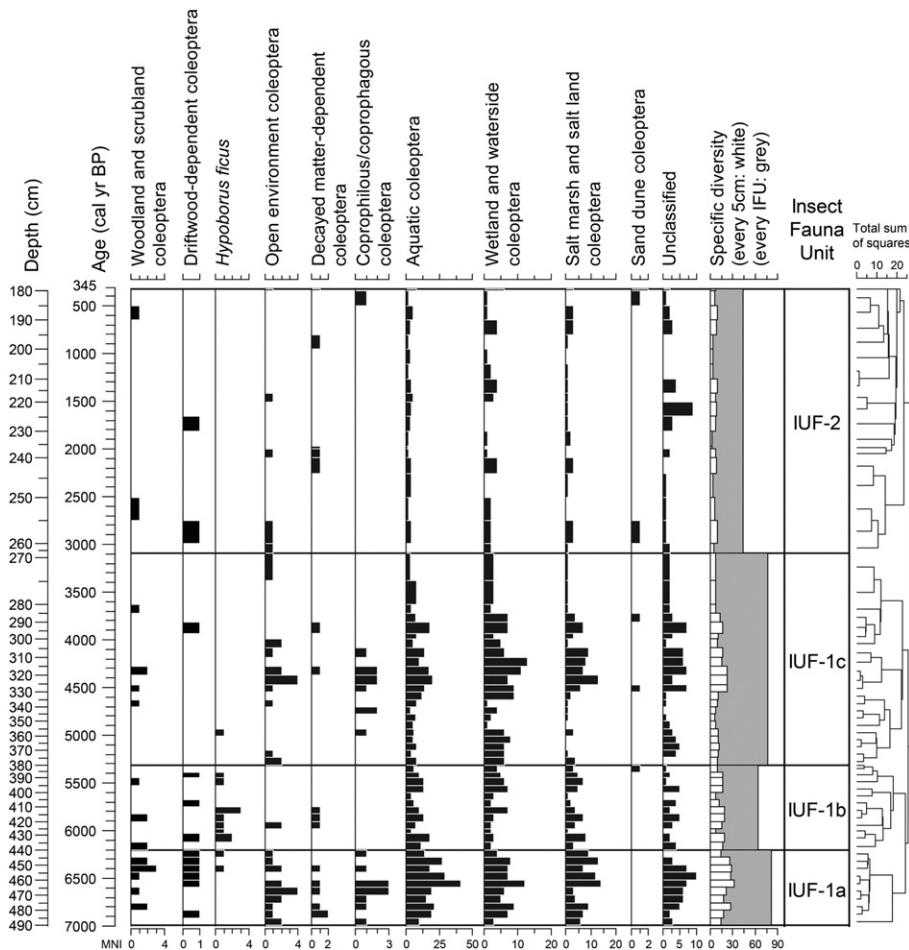


Fig. 3. Histogram of ecological groups and selected Coleoptera species from the Greco pond (Cavallo Island). IFU, insect fauna units.

water with dead leaves on the bottom but also in brackish water. Among the newly recorded hygrophilous beetles are *Acupalpus cf. elegans*, *Dyschirius*, *Bledius* and *Protapalochrus flavolimbatus*. *Acupalpus elegans*, is a riparian halophilous species occurring on salt meadows along the shore or inland. Many species belonging to the genus *Dyschirius* are halophilous, they are found along with *Bledius* on salty sandy clay (1.5 to 3‰ of marine salt) covered by Chenopodiaceae. *Protapalochrus flavolimbatus* lives on *Typha latifolia*, *Phragmites communis* (common reed grass) and *Juncus* where adults and larvae hunt other insects living inside reed tubes. As a whole, the freshwater wetland fauna was certainly not markedly different in the IFU-1b in comparison with the IFU-1a. Even if the aquatic beetles are slightly less diversified than before with more halotolerant/halophilous elements, the fauna is still characteristic of permanent ponds. Around these ponds, the vegetation was probably dominated by emergent and aquatic macrophytes (*Protapalochrus flavolimbatus* is the best indicator of this). Continuous records of halotolerant aquatic taxa such as *Hygrotus parallellogrammus*, *Ochthebius* and *Limnoxenus niger* still suggest that moderately saline habitats may have been available from time to time in the immediate vicinity. In this faunal unit, open-environment beetles are scarce (*Bruchidius* and *Aspidapion aeneum* only) while coprophagous/coprophilous beetles disappear completely (Fig. 3). An important faunal change also affects the woodland/scrubland taxa group: most of the beetle species previously recorded are replaced by new ones. New characteristic elements include *Sulcaxis fronticornis* which lives on Polyporaceae, especially *Trametes versicolor* and *Lenzites betulinus* associated with broadleaved trees; *Phloeotribus cf. scarabaeoides* which digs galleries in Oleaceae wood (mainly *Olea europaea* and *Phillyrea*) in all the Mediterranean region; *Dryophilus cf. anobioides*, another xylophagous beetle living on dying branches of *Spartium junceum*; and *Triodontia cf. cribellata* a Corso-Sardinian endemic species living on riparian shrubs. *Hypoborus ficus* which almost-exclusively dominates the xylophagous fauna, is the only element in common between IFU-1a and IFU-1b (Fig. 3). This bark beetle digs galleries in common fig tree (*Ficus carica*) branches and follows the geographical range of its host plant in the Mediterranean region. The common fig tree probably occupied an important place in the landscape, this supports the hypothesis of its native status in the western Mediterranean Basin. In spite of the occurrence of two new taxa (*Amaurorhinus cf. bewickianus/sardous* and *Pselactus spadix*), the driftwood fauna is reduced, suggesting that the amount of dead wood deposited on the beach was less abundant, compared to IFU-1a.

4.3. IFU-1c: a disturbed wetland in an open landscape (with grazing practice) (380–269 cm; 5311–3090 cal. yr B.P.)

Within this unit, the coleopteran fauna shows a temporary increase of diversity with 70 identified taxa. Three main events mark this zone: an impoverishment in the aquatic beetle fauna, a strong decrease in beetle indicators of woodland/scrubland and the return of dung-dependent beetles associated with open land beetles in the middle of this IFU (Fig. 3).

At the beginning of the period, the hygrophilous fauna still dominates the beetle assemblages (19 taxa) but the aquatic fauna strongly decreases (falling from 24 to 18 taxa) with the disappearance of e.g., *Cybister*, *Hydroglyphus geminus* and *Limnebius*. All the common aquatic beetles recorded in this unit (*Bagous*, *Enochrus*, *Hygrotus*, *Limnoxenus niger*, *Ochthebius*, *Noterus*) present similar patterns of abundance: they simultaneously disappear (or decline) at the beginning of the period (about ca. 5300 to 4600 cal. yr B.P.), then they become more abundant from ca. 4600 to 3700 cal. yr B.P. and finally disappear anew from ca. 3700 to 3100 cal. yr B.P. (Fig. 3). This transitory wetland fauna expansion in the middle of the IFU-1c, within a global unfavorable period suggests an environmental instability of wetlands which will be discussed in the light of other indicators, such as pollen and NPP. Among all these marshy taxa characteristic of standing water, the occurrence of *Esolus* (represented by a single macrofossil) is unexpected. This riffle beetle is associated with rapid streams and rivers with a rocky bottom,

but there is currently no river network on Cavallo Island. The presence of *Esolus* could be due to a distant transport, but it is possible that small temporary tributaries existed at that time, during wettest period. Hygrophilous beetles living on wetland margins diversified during this period with 7 new taxa, including *Oodes gracilis* a subaquatic Harpalidae living in wetland with abundant vegetation, and several hygrophilous rove beetles occurring under plant debris, such as *Lathrobium*, *Mycetoporus* and *Ochtheophilum brevipenne*, a halophilous species. All these damp ground taxa indicate that the substratum was enriched in plant debris. The presence of aquatic halotolerant beetles previously recorded, *Ochtheophilum brevipenne* and *Pterostichus cursor* (whose occurrences increases from the middle of IFU-1c) indicate that meadows or brackish water bodies were probably extended during this period.

A new beetle indicator of sand dune environments occurs in this fauna unit (Fig. 3). The isolated occurrences of two flightless psammophilous species – *Catomus consentaneus* and *Pimelia cf. angusticollis/payraudi* (already recorded at the very end of the IFU-1b) – suggest that sand dunes were present in the immediate vicinity of the deposit site. Most of the Coleoptera indicators of woodland/scrubland disappear. Open ground beetles become diversified again with taxa previously recorded (*Apion*, *Aspidapion aeneum* and Bruchinae) and first appearance of others (*Gymnetron* and *Pedinus meridianus*). The palaeoenvironment of the island was certainly a vast open land, covered by an abundant herbaceous flora since *Aspidapion aeneum* larvae develop in stems of various Malvaceae such as *Althaea* and *Malva* whereas *Gymnetron* larvae live on stems, leaves, roots and flowers of some Scrophulariaceae and Plantaginaceae. *Pedinus meridianus* is also a good open ground indicator since this thermophilous species is associated with open and dry environments. In IFU-1c, the dung-dependent fauna is less abundant but more diversified than in the IFU-1a, with coprophilous Staphylinidae (*Oxytelus piceus*) and coprophagous Scarabaeidae (*Aphodius*, *Caccobius schreberi*, *Euoniticellus*, *Onthophagus verticicornis*, *O. gr. ovatus*, *O. taurus*). This assemblage clearly suggests that grazing animals were again present locally, mainly between ca. 5000 and 4100 cal. yr B.P.

4.4. IFU-2: overall impoverishment of the beetle fauna (269–150 cm; 3090–345 cal. yr B.P.)

The insect unit IFU-2 is marked by a simultaneous decline of all former ecological categories, both MNI and species diversity (77 beetles taxa were identified in the 22 samples of IFU-1c but only 38 beetle taxa in the 25 samples of IFU-2). The species diversity does not exceed 17 taxa per sample (Fig. 3). The impoverishment of beetle assemblages is particularly visible in the aquatic beetle assemblages since only the most widespread standing water taxa persist (e.g., *Bagous*, *Ochthebius* or *Berosus*). Other aquatic beetles are occasionally recorded: *Colymbetes fuscus*, *Cybister*, *Hygrotus parallellogrammus*, *Enochrus*, *Limnoxenus niger* and *Noterus*. The hygrophilous beetle fauna is affected by the same impoverishment since it is represented only by 4 Caraboidea (*Dyschirius*, *Ocydromus*, *Bembidion articulatum*, *B. octomaculatum*) and 6 Staphylinidae (*Bledius* sp., *B. unicornis*, *Carpelimus*, *Pselaphinae*, *Stenus*, *Tachyporus*). Even *Contacyphon*, a ubiquitous widespread wetland taxa, rapidly disappears at the beginning of IFU-2. Such impoverished assemblages could result from unfavorable taphonomic conditions since there is a lithological change in CAVA-1 during this unit (transition from fine peat to peat mixed with marine sand, see Fig. 2). The sand dune influence is suggested by three psammophilous taxa (*Catomus consentaneus*, *Platytomus laevistriatus* and *Psammodius*) living buried in the sand dune at the roots of psammophytes. However, the global decline in insect diversity occurs at the end of the IFU-1c (from ca. 3700 cal. yr B.P.), within a homogenous sedimentary unit. Thus, the disappearance of many aquatic and hygrophilous beetles before any lithological change clearly indicates an increase of salinity in the Greco pond.

From insect data, the last 3100 years provide little information regarding the evolution of the landscape on Cavallo Island. Woodland and scrubland indicators are almost-totally absent in IFU-2 and it is

likely that dry and open-land or low scrubland prevailed at that time. Nevertheless, such impoverished assemblages do not enable to establish a solid palaeoecologic reconstruction. The upper part of the sedimentary profile (150–180 cm) is exclusively made of sand, which corresponds to the base of the current sand-barrier separating the Greco pond from the sea. These first 30 cm contain 15 arthropod taxa probably reworked in the sand deposits, they are not represented in the insect diagram.

5. Changes in sporo-pollinic assemblages

5.1. PAZ-1 (375–490 cm; 6993–5235 cal. yr B.P.), the mid-Holocene dominance of *Erica arborea*?

The lowermost/oldest pollen assemblage zone spans the whole IFU-1a and IFU-1b. This zone is characterized by an optimum of *Erica arborea* (up to 80%) which exists from the beginning of the sequence with

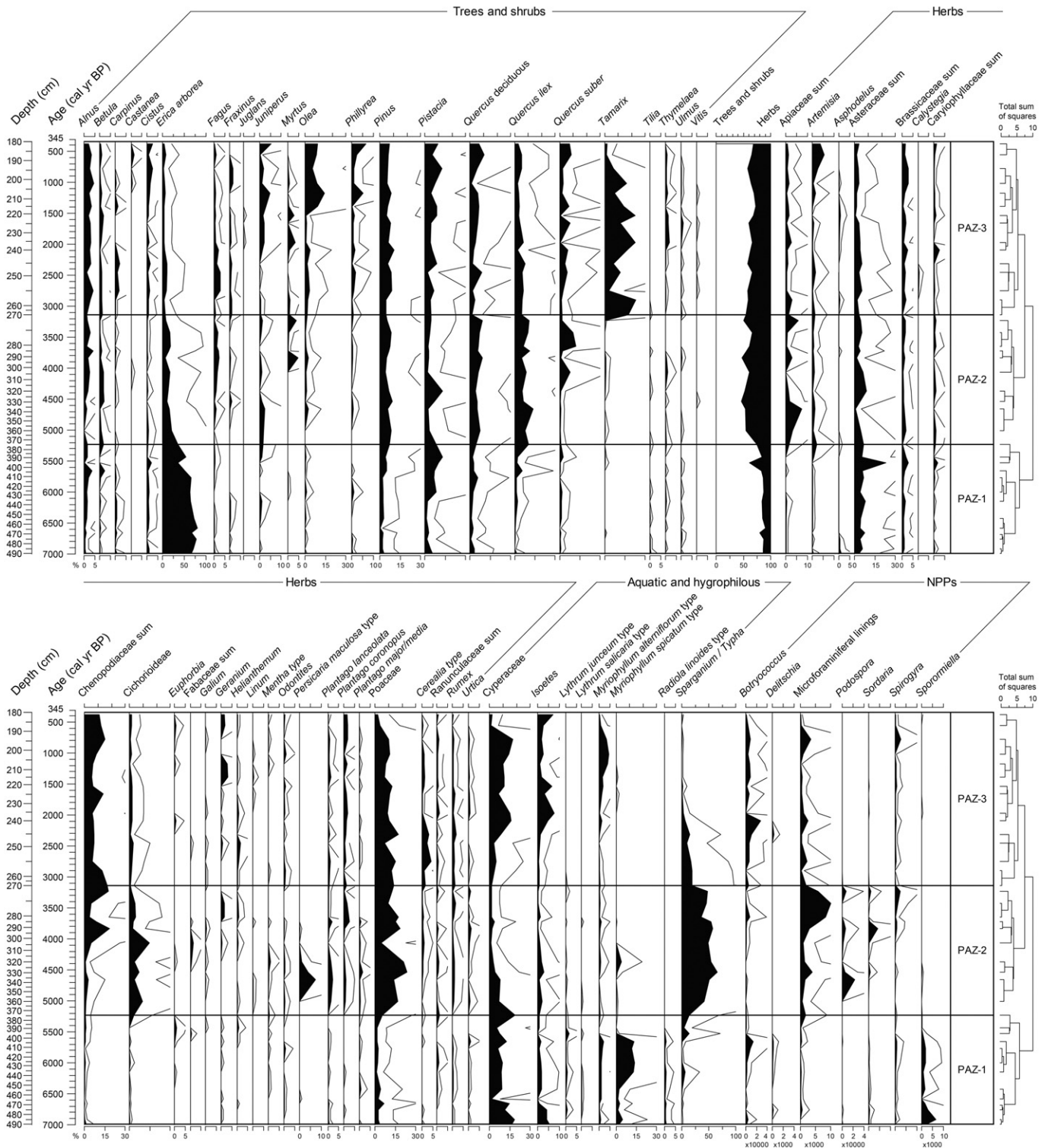


Fig. 4. Simplified pollen and non-pollen palynomorphs diagram from the Greco pond (Cavallo Island). All pollen percentage values are expressed in percentage of total terrestrial pollen sum excluding spores, aquatics plants and non-pollen objects. Empty curves show 5× exaggerations. PAZ, pollen assemblage zones.

Table 2
Groups of pollen and non-pollen palynomorphs according to their ecological affinities.

Groups	Pollen types
Aquatic freshwater plants	<i>Myriophyllum</i> type <i>spicatum</i> , <i>Nymphaea</i>
Deciduous <i>Quercus</i> forest	<i>Corylus</i> , deciduous <i>Quercus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Ulmus</i>
Maquis plants	<i>Asphodelus</i> , <i>Borago</i> type, <i>Cistus</i> , <i>Cuscuta</i> , <i>Echium</i> , <i>Euphorbia</i> , <i>Fumaria</i> , <i>Geranium</i> , <i>Helianthemum</i> , <i>Myrtus</i> , <i>Odontites</i> , <i>Pistacia</i> , <i>Sanguisorba minor</i> , <i>Thymelaea</i>
Hygrophilous salt-intolerant plants	<i>Alisma</i> , <i>Isoetes</i> , <i>Lythrum salicaria</i> , <i>Lythrum junceum</i> , <i>Radiola linearis</i>
Rudero-anthropogenic plants	<i>Artemisia</i> , <i>Galium</i> , <i>Plantago lanceolata</i> , <i>P. major/media</i> , <i>P. coronopus</i> , <i>Polygonum persicaria</i> , <i>Rumex</i> , <i>Urtica</i>
Sclerophyllous Mediterranean forest	<i>Arbutus</i> , <i>Erica arborea</i> , <i>Juniperus</i> , <i>Olea</i> , <i>Phillyrea</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Quercus suber</i>
Groups	NPP types (HdV for Hugo de Vries, TM for Toulouse-Mirail)
Coprophilous fungi	<i>Delitschia</i> (TM-023), <i>Podospora</i> (TM-342), <i>Sordaria</i> (HdV-55), <i>Sporormiella</i> (HdV-113)
Algae	<i>Botryococcus</i> (HdV-901), <i>Spirogyra</i> (HdV-315)
Microforaminiferal linings	Microforaminiferal lining (M4G)

frequencies above 60% (Fig. 4). According to the modern pollen-rain/vegetation relationships described by Reille (1992a), the low frequencies of *Quercus ilex* (<5%) compared to high percentages of *E. arborea* indicates that *Q. ilex* did not play any part in the local or regional vegetation. This reflects the dominance of *E. arborea* forests during this period on Cavallo Island. The ¹⁴C dates of this study and previous palaeobotanical data (Reille, 1975) enable us to confidently attribute PAZ-1 to the Atlantic period (from ca. 8000 to 5000 cal. yr B.P.).

Low frequencies of deciduous *Quercus* and *Quercus suber* (both <6%) but also sporadic records of *Tilia*, *Fagus* and *Carpinus* correspond to a long-distance signal. *Pinus laricio*, a major pollen producer, is only recorded in low frequencies (<5%) indicating that the representation of this taxa results also from long-distance transport from higher elevation in southern Corsica. With the exception of *Erica arborea*, some other plants characterizing the thermo-Mediterranean belt such as *Juniperus* (probably *J. turbinata*), *Pistacia* or *Phillyrea* (respectively 1, 5 and 1%) are scarcely recorded before 6000 cal. yr B.P. while *Myrtus* is almost absent. Apart from Asteroideae (6% on average), other herbaceous plants show low frequencies: Chenopodiaceae (1%), Poaceae (3%), Cichorioideae (>1%). From ca. 7000 to 5500 cal. yr B.P., low frequencies of anthropogenic pollen indicators (<2%, see Fig. 5) and coprophilous fungi concentration (*Sporormiella* >3000 spores/g, *Delitschia* till 240 spores/g) suggest that if pastoral practices occurred on Cavallo Island during Neolithic time, they were moderate. From ca. 6200 to 5500 cal. yr B.P., the representation of both aquatic and wetland plants is optimal while other riparian plants such as Cyperaceae remain stable, around 10%. Among paludicolous and aquatic plants, *Alisma* (<1%), *Radiola* type *linearis* (1%), *Lythrum* type *junceum* (2%), *L. type salicaria* (<1%) and *Myriophyllum* type *spicatum* (14%) indicate that when Greco pond was formerly connected to the central pond, both were predominantly occupied by fresh water, with little or no marine influence (Fig. 4).

However, the end of this period provides evidence for an increase in salinity in the Greco pond. This is suggested by the increase of microforaminiferal concentrations from <600 to 1783 linings/g, the disappearance of *Radiola* type *linearis* and the reduction of *Myriophyllum* type *spicatum*. The end of PAZ-1 is also characterized by a decrease in frequencies of *Erica arborea* (65 to 36%), an increase of *Quercus ilex* (1 to 10%) and *Pistacia* (till 13%).

5.2. PAZ-2 (375–266 cm; 5235–3138 cal. yr B.P.), decline of *Erica arborea* and development of open-landscape

The pollen zone PAZ-2 spans almost exactly the IFU-1c. The decline of *Erica arborea* (35 to 6%) and the reduced rate of increase of *Quercus*

ilex (to 14%) place the entire PAZ-2 in the Sub-boreal period (from ca. 5000 to 3000–2500 cal. yr B.P.) described classically in Corsica (Reille et al., 1999). The expansion of *Fagus* in the Incudine massif (50 km from Cavallo) described by Reille (1975) and Reille et al. (1999) at the same period, is here recorded by frequencies reaching 2%.

During the Sub-boreal, the major consequence of the degradation of *E. arborea* was the expansion of *Q. ilex* in Corsica. On coastal zones, another consequence was the increase of a thermophilous vegetation (Reille, 1975, 1984, 1988b, 1992a). On Cavallo Island, the expansion of this thermophilous vegetation seems to be modest: *Pistacia* frequency is about 4%, *Olea*, *Juniperus*, and *Phillyrea* show a continuous curve starting from ca. 4700 cal. yr B.P., whereas *Myrtus* occurs later, from ca. 3800 cal. yr B.P. (Fig. 4). In contrast to this, the increase of Poaceae (up to 24%), Cichorioideae (15%), Apiaceae (7%) and anthropogenic pollen indicators (up to 14%) suggest that the opening of *E. arborea* stands benefited these thermo-xerophilous herbs. From ca. 4700 cal. yr B.P., the continuous curve of *Cerealia*-type and the peak of coprophilous fungi (*Sordaria* till 17,000 spores/g, *Podospora* >20,000 spores/g) indicate that agriculture and pastoral practices could probably be accountable for these major vegetation changes. At the same date, a short but significant increase of *Persicaria maculosa* (up to 7%) is also an indicator of these anthropogenic practices. This hygrophilous plant lives in anthropogenically and naturally disturbed habitats such as meadows and fields, but also occurs on the margins of lowland ponds and rivers (Simmonds, 1945).

A decrease of both aquatic and paludicolous plants (in particular the disappearance of *Myriophyllum* type *spicatum* and *Radiola* type *linearis*), a strong increase in Chenopodiaceae frequencies (probably halophilous species of salt grounds) and a rise of microforaminiferal linings concentrations along the period (to 10,080 linings/g) are simultaneously recorded. Many Chenopodiaceae taxa are halophytes (Grigore and Toma, 2007) and the increase of Chenopodiaceae in Mediterranean coastal context has already been used as a salt marsh indicator by Court-Picon et al. (2010) on the Lion gulf (southern France) or in other coastal sites in Italy (Di Rita et al., 2011; Di Rita and Melis, 2013). On Cavallo Island, the conjunction with relatively high value of Chenopodiaceae and microforams is also interpreted as a growing salinity indicator suggesting the transition from a freshwater to a brackish water environment.

Among riparian plants, Cyperaceae declines (19 to 1%) while the increase of *Sparganium-Typha* frequencies (>50%) reveals the expansion of the community of reed beds. In Corsica, the genus *Sparganium* is only represented by *S. erectum* and *S. minimum*, two salt-intolerant species both absent from the Cavallo flora today (Médail et al., 2014, 2015). Among the Typhaceae taxa that exist in Corsica, only *Typha latifolia* is present today on the Island. Cattails are known to occur in a wide range of habitats, from mineral-poor to mineral-rich soils and tolerate many levels of salinity (Smith 1986) but *T. latifolia*, in particular, is considered halotolerant and is able to quickly colonize disturbed areas (Stewart et al., 1997).

5.3. PAZ-3 (266–150 cm; 3138–345 cal. yr B.P.), the late-Holocene establishment of an anthropogenic landscape

The uppermost zone PAZ-3 spans exactly the last insect unit IFU-2. The low optimum of *Fagus* (almost 3%) dated to ca. 2700 cal. yr B.P. following a relative decline of deciduous *Quercus* and *Quercus suber* (from 9 to <5%) constitutes an unambiguous indication that the PAZ-3 corresponds to the Subatlantic period (from ca. 3000–2500 cal. yr B.P. to the present) described classically by palynologists. During all of the PAZ-3, the decline of *Erica arborea* continues (5%) and more thermophilous shrubs [*Cistus* (3%), *Juniperus* (5%), *Myrtus* (3%), *Pistacia* (13%), *Thymelaea* (2%)] seem to take advantage of increased human influence. However, herbaceous vegetation still dominated the landscape of Cavallo Island: Poaceae (around >8%) and anthropogenic pollen

indicators (up to 8%, see Fig. 5). From ca. 2700 to 2300 cal. yr B.P., pollen records show evidence of important cultivation practices since the frequencies of *Cerealia*-type reach 4%. The near-absence of coprophilous fungi during PAZ-3 suggests that pastoral practices were extremely reduced during this period. At ca. 2000 cal. yr B.P., first occurrences of *Juglans* following at ca. 1000 cal. yr B.P. by *Castanea* indicate the expansion of these cultivated trees in Corsica from the Roman Period and during the Medieval Period. Simultaneously, the curve of *Juniperus* (up to 5%) indicates that juniper shrubs (probably the coastal *Juniperus turbinata*) occupied a sizeable place in the landscape of Cavallo during the last 2000 cal. yr B.P.

The pollen zone is also marked by a substantial increase of *Tamarix* which frequencies reach 23% with a transitory decline from ca. 2700 to 2300 cal. yr B.P. This pollen type probably belongs to *Tamarix africana*, the widespread species of the genus in Corsica (Gamisans, 1999) and the only *Tamarix* species currently present on Cavallo Island. According to a modern pollen rain study of *Tamarix africana* (Triat, 1971), such frequencies attest to the local presence of this tree. Currently *Tamarix africana* occurs in various environments: on the margins of estuaries, temporary ponds, salt meadows with *Juncus maritimus*, red beds margins, in mosaic with *Salicornia* or on salt marshes margins. In most of these situations, *T. africana* is a pioneer tree, in poorly-vegetated areas because of the salinity of substratum (Paradis et al., 2013). The expansion of *Tamarix* matches the decrease of *Sparganium-Typha* (19 to <1%) and of the microfaminiferin linings concentrations (an average of 853 linings/g). At the end of PAZ-3, pollen records suggest more pronounced freshwater conditions on Cavallo wetlands: percentages of *Isoetes* and *Cyperaceae* increase (respectively from <1 to 8% and from 2 to >10%) while pollen of *Alisma* and *Myriophyllum* type *spicatum* occur again.

6. The palaeoenvironment history of Cavallo Island inferred from Coleoptera, pollen and NPP cross-comparisons

Palaeoentomological studies have already demonstrated that insect remains in a deposit are not necessarily related to the immediate surrounding area (Kenward, 1975, 1976), that insect macrofossils could undergo important taphonomical problems (Kenward, 1976; Ponel et al., 2011) and that deposition of dead beetles from far-afield by wind and water could lead to the formation of complex fossil assemblages, difficult to interpret (Ponel and Richoux, 1997). Beetle taxa were regularly represented by a single occurrence in the sediment core CAVA-1. With such low abundances, it becomes difficult to establish whether insect number fluctuations are due to preservation conditions, random inclusions, catchment changes, or environmental changes. The beetle data alone should be interpreted with caution – and therefore compared with pollen data. Previous multiproxy studies have demonstrated a good agreement between both records (e.g., Hughes et al., 2000; Ponel et al., 2001, 2014): monophagous or oligophagous beetles may confirm the local presence of plant taxa (e.g., *Phytobius leucogaster*) or reveal the presence of plant not indicated in the pollen record (e.g., *Ficus carica*), and both proxy may provide original information concerning local past human activities (e.g., dung dependent beetles and coprophilous spores).

The small surface of Cavallo (only 120 ha), its restricted catchment area (with a higher elevation of 32 m a.s.l.) and its relative isolation from Corsica mainland lead to reduce both the overrepresentation of pollen grains from the regional vegetation and inward influx of allochthonous beetles. In the Cavallo profile, the chronological boundaries of insect fauna units (IFU) and pollen assemblages zones (PAZ) are almost identical. Such an agreement suggests that environmental changes on Cavallo during the last 7000 years have influenced vegetation structure and insect diversity simultaneously and in the same way (Fig. 5).

6.1. 7000 to 5500 cal. yr B.P.: rise and fall of *Erica arborea*, the end of a forested landscape?

Nowadays in Corsica, *Erica arborea* forms a more-or-less dense maquis strongly shaped by fires and humans, hardly exceeding 2–3 m in height, between the thermo- and supra-Mediterranean vegetation belts (Gamisans, 1999). However, this plant is able to reach 20 m in height in some forests in Madeira (Press and Short, 1994) or La Gomera (Arco Aguilar, 2006). Palaeoecological analyses showed that the latter experienced little transformations since the last ca. 5500 cal. yr B.P. and that the *Erica* woody heath did not suffer important human impacts since they settled between ca. 3100 and 1800 cal. years ago (Nogué et al., 2013). This raises the question of the potential vegetation at low and medium altitudes in Corsica and Sardinia before human impacts, and if *Erica arborea* also formed forests as suggested by palynological studies (Beffa et al., 2015; Reille, 1992a; Reille et al., 1999), or tall scrublands. On Cavallo Island, pollen data suggest that the landscape was dominated by *Erica arborea* (Fig. 4) between ca. 7000 and 5800 cal. yr B.P. (PAZ-1 and IFU-1a). Despite a high percentage of *Erica arborea* (>70%) during the period ca. 7000–6200 cal. yr B.P., continuous curves of *Cistus* and *Asteroidae* suggest the existence of low scrublands and grasslands in the heather vegetation. This feature is similar to other coastal pollen sites in Corsica (Reille, 1984, 1988b, 1992a). This highlights the limits of pollen analysis alone to reconstruct the structure and the state of maturity of the woody vegetation: was it composed of relatively low *Erica* shrubs or old trees and decaying trunks in a mature forest with a notable amount of dead wood? As emphasized by Ponel (1995) and Ponel et al. (1992, 2001), fossil beetles could help to answer this difficult question. Concerning Cavallo Island, the saproxylic beetles recorded during the maximum of *Erica arborea* frequencies could bring part of an answer (Fig. 5). Driftwood-dependent beetles occurring from ca. 7000 to 6000 cal. yr B.P. (*Aphanommata filum*, *Mesites pallidipennis* and *Pselactus spadix*) are stenotopic species that need pieces of wood and trunks deposited on the beaches by the waves (Hoffman, 1954). If we suppose that some of this material may originate from local vegetation, then this suggests that *Erica arborea* stands could be represented by a forest or high-scrubland with well-developed trunks. Even if wood debris could have been brought by the sea from a distant source, we consider this as indirect evidence that *Erica arborea* could form tree plants at low altitude in Corsica during the Atlantic period. On Cavallo Island, coprophilous beetles also indicate open and grazing conditions suggesting that *Erica arborea* was present in the form of a more-or-less open pasture-woodland (or pasture-tall scrubland).

From ca. 6100–6000 cal. yr B.P. (end of PAZ-1 and IFU-1b), rarefaction of woodland/scrubland and driftwood-dependent beetle taxa (Fig. 5) probably marks the first hint of the *E. arborea* forest regression, even if pollen frequencies remain stable until ca. 5800 cal. yr B.P. Reille (1992a) suggests that clearance of *E. arborea* could be hidden by its important pollen dispersal. The gap between saproxylic beetles rarefaction at 6000 cal. yr B.P. and *Erica arborea* pollen decline 200 years latter could be the result of a pollen dispersion artefact. This hypothesis was reinforced by the continuous beetle record of *Hypoborus ficus* from ca. 6100 to 5800 cal. yr B.P. which indicates local establishment of *Ficus carica*. The common fig tree is a native plant domesticated early in the Mediterranean basin during Neolithic times (8000–7000 B.P.; Zohary and Hopf, 2000) and seeds were already found in association with cereals in archaeological remains in Sicily (Leighton, 1999) or Sardinia (Uccesu et al., 2015). The genetic structure of Mediterranean populations of *Ficus carica*, suggests an ancient origin of this tree in the West Mediterranean before domestication (Khadari et al., 2005). But in Corsica, Khadari et al. (2005) proposed an intermediate situation where the common fig tree probably results from a mixture of ancient local natural populations with recent human introductions. Thus, even if native *Ficus* populations could have been present at this period on Cavallo, we cannot exclude the hypothesis that the common fig tree could have also been favored by agro-pastoral activities. Such a local expansion of

Ficus carica following grazing evidence suggests that *Erica arborea* did not exclusively dominate the vegetation from ca. 6100 cal. yr B.P. onward. Furthermore, the rarefaction of *Hypoborus ficus* from ca. 5800 cal. yr B.P. (certainly resulting from *Ficus carica* decline) corresponds to an increase in Asteroideae, in *Pistacia* frequencies and to the first regional expansion of *Quercus ilex* (Fig. 5). This attests to the demise of *E. arborea* 300 to 400 years before the evergreen oak forest expansion.

6.2. 5500 cal. yr B.P. to the present: regional expansion of the evergreen oak forests and installation of a lasting open landscape

From ca. 5500 cal. yr B.P., the increase of *Quercus ilex* frequencies occurs on Cavallo later than in northern Corsican coastal sites [6426 ± 430 cal. yr B.P. at Fango (site 11 in Fig. 1), 6505 ± 210 cal. yr B.P. at Saleccia (site 13 in Fig. 1); Reille, 1992a], but it is synchronous with the evergreen forest expansion recorded in northeastern Sardinia [5300 cal. yr B.P. at Stagno di Sa Curcurica (site 4 in Fig. 1); Beffa et al., 2015]. During the PAZ-2, our results suggest that an increase in pollen frequencies of *Q. ilex* co-occurs with open vegetation development (*Artemisia*, Cichorioideae, Poaceae, *Plantago lanceolata*, *P. coronopus*, Apiaceae; Fig. 4). The scarcity of woodland and scrubland beetles during maxima of *Quercus ilex* and regular occurrences of open ground beetles such as *Apion* or *Pedinus meridianus* suggest that the evergreen forest did not play any significant role in the vegetation of Cavallo Island. Furthermore, from ca. 5000 to 4000 cal. yr B.P., records of open environment and dung beetles in IFU-1c as well as anthropogenic pollen indicators (continuous curve of *Cerealia*-type, presence of *Plantago lanceolata*, *Persicaria maculosa*, *Rumex*), and a coprophilous fungi maximum (almost 23,200 spores/g) probably indicate a marked increase in agro-pastoral practices (Fig. 5). This pattern is consistent with the herbaceous vegetation expansion, which reaches a maximum around 4500 cal. yr B.P. whereas *Quercus ilex* frequencies declines from ca. 4700 to 3800 cal. yr B.P. Mediterranean shrubs such as *Pistacia* and *Myrtus* but also other elements of the sclerophyllous Mediterranean forest such as *Olea* seem to take advantage of the regional decline of *Q. ilex* (Fig. 5).

The whole PAZ-3, corresponding to the IFU-2 (ca. 3100–770 cal. yr B.P.), is characterized by the decline of *Q. ilex*, minimal frequencies of *E. arborea* and stable occurrences of herbaceous plants. Together, pollen indicators of land use (*Cerealia*-type, *Rumex*, *Plantago lanceolata*, *P. coronopus*) suggest a strong increase of human activities, especially agriculture, on Cavallo Island dated to ca. 2700–2000 cal. yr B.P. Such an event is not documented in the beetle sequence since open environment and dung beetles decline in IFU-2 (Fig. 5). In response to the decline of deciduous *Quercus* at the end of the Subatlantic period, *Erica arborea* re-expands on many Corsican coastal sites [étang Del Sale, étang de Palo (site 16 in Fig. 1), Pinarello (site 17 in Fig. 1) in Currás et al., 2016; Reille, 1984; Barcaggio (site 14 in Fig. 1) in Reille, 1988c; Le Fango, Crovani (site 12 in Fig. 1), Saleccia in Reille, 1992a]. It is not the case on Cavallo since *E. arborea* no longer played an important role in the island vegetation. In contrast to this, the regular frequencies of thermophilous and drought-tolerant taxa such as *Juniperus*, *Pistacia*, *Cistus* and *Myrtus* suggest that the landscape was relatively stable during the last 2000 years and was comparable to the more-or-less open maquis that exists on the island today. From ca. 2000 to 1200 cal. yr B.P., *Juniperus* especially is well recorded but during the last 1st millennium cal. B.P. *Cistus* expanded while *Juniperus* declined. Calò et al. (2013) also recorded a similar dynamic at around 850 cal. yr B.P. on the small island of Pantelleria (Italy) and proposed that anthropogenic activities (repeated fires) could lead to a regressive succession from *Juniperus* communities towards a *Cistus*-dominated maquis. This strengthens the idea that Cavallo has remained rather open during the last 2000 years.

7. Discussion

7.1. Impact of human activities on island ecosystems

7.1.1. The archaeological contribution

In insular context, several studies of historical colonization have shown important environmental changes related to initial human settlement (Connor et al., 2012; Flenley et al., 1991; Frenot et al., 2001), with a rapid deforestation and a subsequent expansion of herbaceous vegetation. On several tropical islands, collapse of natural environments (i.e. pre-anthropogenic) occurred rapidly and quite simultaneously between ca. 1200 and 1500 yr A.D. (Prebble and Wilmshurst, 2009; Mieth and Bork, 2010; Wilmshurst et al., 2013). These studies provide a rare opportunity to compare the pre-human environment to the post-impact phase at an historical scale. In the Mediterranean region, the issue is more complex since human activities are recorded before 10,000 cal. yr B.P. from eastern areas and spread to all larger Mediterranean islands during the Neolithic (Vigne et al., 2004; Vigne, 2014; Zeder, 2008). In such context, it remains difficult to disentangle the role of human impact on insular landscapes and the long-term environmental changes induced by natural factors such as climatic or eustatic changes. Nevertheless, there is a large amount of archaeological studies which allows to shed light on human expansion in the Mediterranean area, including Corsica.

The potential oldest archaeological evidence on Cavallo Island is not chronologically well-constrained: the site 'Greco I' (Agostini, 1978; see Fig. 1), located <50 m away from the Greco pond, revealed an amount of marine shells, fish skeletons and some bones (identified as 'rabbits' but probably belonging to *Prolagus sardus*; J.-D. Vigne, pers. comm.). Pieces of pottery and lithic tools suggested that a human occupation could have occurred during the Chalcolithic-Early Bronze Age and/or during the middle Bronze Age and the early Iron Age from 3500 to 2900 B.P. (Agostini, 1978). The site of 'shelter Lazzarina' (Lavezzi Island, Agostini, 1978; see Fig. 1) yielded a great number of obsidian pieces and flint lithic tools related specifically to the Chalcolithic period (ca. 4500 B.P.).

On the contrary, Roman influence in the archipelago is well-documented from the end of the 1st to the 4th century A.D. (i.e. 2000 to 1700 B.P.) by a habitation in the southern part of Cavallo Island but also by some granite quarries on Lavezzi, Cavallo and on the islet San Baïnzù (Fig. 1). These vestiges are contemporary with a Roman villa with warehouses in the archaeological site of Piantarella (located on the Corsican mainland <4 km away from Cavallo Island) dated between the 1st to the end of 4th century A.D. (Agostini, 1985–1986). As suggested by Agostini (1978), the strategic location of Cavallo Island is probably at the origin of the first Roman settlement, haven or look-out post surveying the Strait of Bonifacio. Exploitation of the San Baïnzù quarry starting at the end of the 1st century A.D. onward (from which granite was largely commercialized even to Rome), attest to the Roman expansion in southern Corsica and northern Sardinia (Agostini, 1978, 1985–1986; Vigne, 2014; Vigne and Valladas, 1996). Such an 'industrial' activity implied the presence of many workers and habitations, and certainly played a significant role in the installation of the current open thermo-Mediterranean vegetation. As a result, the archaeological context on Cavallo, and in the surroundings, confirms the presence of man at minima from around 4500 yr B.P., with a heavy imprint of the Roman civilization.

At the scale of the Mediterranean basin, but also locally, these human occupations can also be identified in the past vegetation dynamics: several indicators of forest clearance in Sicily, with a lowering of evergreen forests and landscape opening are recorded around 4300 cal. yr B.P. at Biviere di Gela (site 8 in Fig. 1; Noti et al., 2009), and at ca. 3700 cal. yr B.P. at Lago di Pergusa (site 7 in Fig. 1; Sadori et al., 2013). In north-eastern Sardinia, a moderate vegetation opening is also attributed to the increase of agricultural and pastoral activities at Stagno di Sa Curcurica between ca. 5300 and 2750 cal. yr B.P. (Beffa et

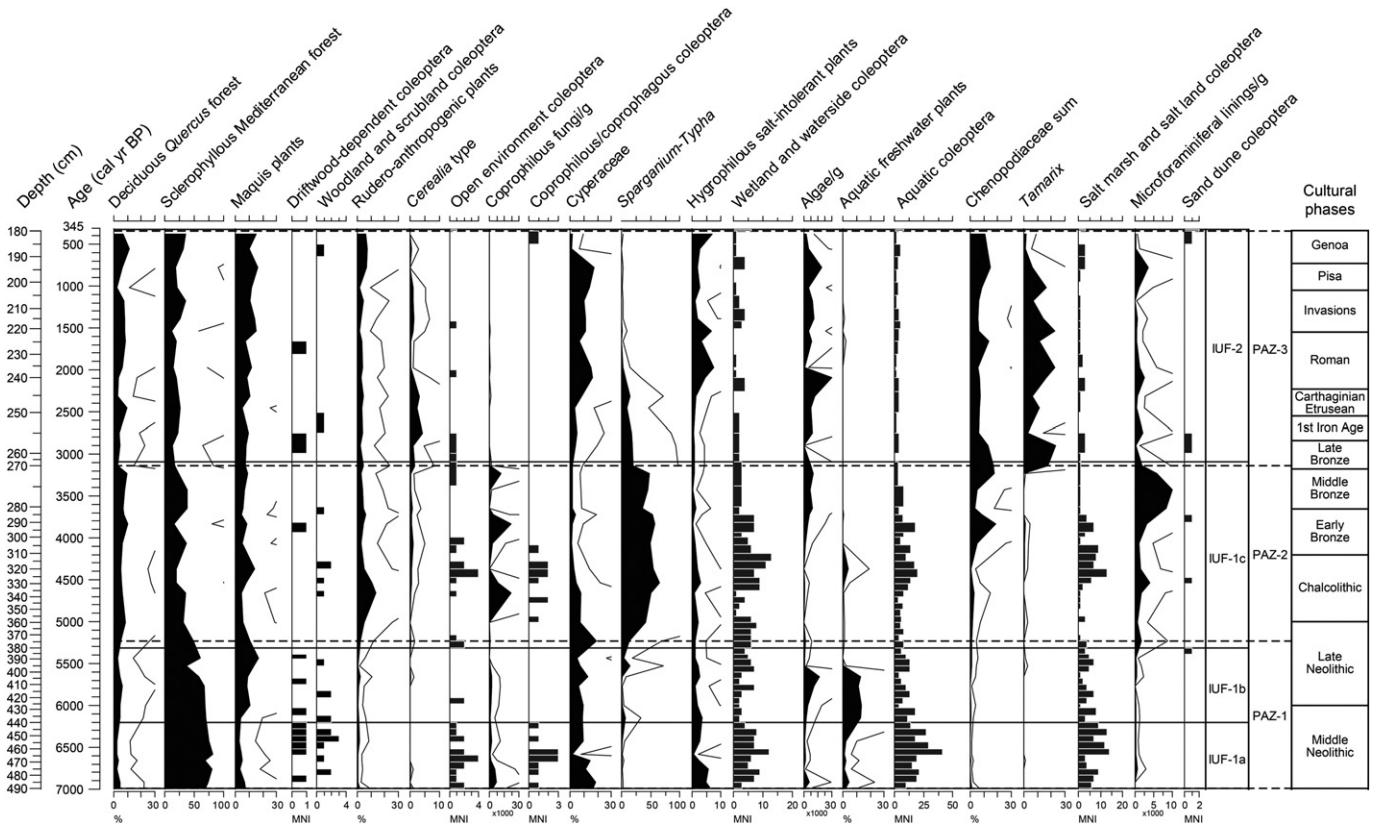


Fig. 5. Selection of coleoptera, pollen and non-pollen palynomorphs groups or type of the Greco pond (Cavallo Island). IFU, insect fauna unit; PAZ, pollen assemblage zone.

al., 2015). Lastly, a general increase in human activity (leading to the spread of open and more xeric vegetation) is reported in the Mediterranean islands between ca. 2750 and 2500 cal. yr B.P. at Sa Curcurica (Sardinia; Beffa et al., 2015), at Gorgo Basso (Sicily; Tinner et al., 2009), at Alcudia and at Algendar (Majorca, respectively sites 1 and 2 in Fig. 1; Burjachs et al., 1994; Yll et al., 1997) but also on Corsica since 2600 B.P. (Reille, 1975, 1984, 1992a; Vigne and Valladas, 1996), with an increase of fire episodes between 2000 and 1600 B.P. (Carcaillet et al., 1997). Thus, it is likely that the current thermo-Mediterranean vegetation of Cavallo Island is the legacy of a long history of ancient human influence (probably prior to 4500 yr B.P.) which continued during Antiquity.

7.2. An early human imprint inferred from beetles?

On Cavallo Island, the coprophilous beetles, the open environment beetles (IFU-1a) and the coprophilous fungal spores recorded since 6993 cal. yr B.P. (Fig. 5), could correspond to an early presence of domestic cattle 2500 years before the first archaeological evidence of human presence in the Lavezzi archipelago. Co-occurrences of these bio-indicators have often been used as markers of pastoralism but it is

necessary to interpret dung beetle fossils carefully: these specialized insects could be associated with domestic mammals and pastoralism but they could also reveal the local presence of wild animals as shown in the Alps (Lemdahl 2000; Ponel et al., 2001, 2011). In Corsica, the issue is different because the Holocene endemic mammal fauna comprised only *Episorculus corsicanus*, *Prolagus sardus*, *Rhagamys orthodon* and *Tyrrhenicola henseli*. Zoo-archaeological investigations in southern Corsica proved that populations of *Prolagus sardus* have been sizable: 75,000 to 150,000 individuals of this endemic lagomorph have been consumed by Mesolithic people (mainly between ca. 9500 and 9000 cal. yr B.P.) at the single site of Monte Leone (Vigne and Desse-Berset, 1995; Vigne et al., 1998). This wild mammal fauna became extinct before the Roman Period while domestic animals were progressively introduced from Early Neolithic, 7000 years ago (Vigne, 1990, 1992, 2014). Without pre-Neolithic insect data, it is impossible to know if some native unknown dung species disappeared at the same time or if they switched to the dung of new domesticated animals. The second option is more probable since the coprophagous beetles recorded on Cavallo Island (e.g., *Onthophagus verticicornis*, *O. taurus*, *O. vacca* or *Caccobius schreberi*) are small species which can be satisfied with dung provided by small mammals such as *Episorculus corsicanus*,

Table 3 Radiocarbon dates of CAVA-1 from the Greco pond (Cavallo Island).

Depth (cm)	Material	Laboratory code	¹⁴ C age B.P.	2σ calibrated age (cal. yr B.P.)
195	Bulk peat sediment	Poz-60044	880 ± 30	729–907
244	Bulk peat sediment	Poz-66300	2175 ± 30	2074–2309
280	Bulk peat sediment	Poz-66301	3380 ± 35	3512–3705
326	Bulk peat sediment	Poz-60045	4025 ± 30	4422–4568
430	Bulk peat sediment	Poz-60046	5260 ± 35	5932–6178
481	Bulk peat sediment	Poz-66302	6010 ± 40	6748–6946

Prolagus sardus, *Rhagamys orthodon* and *Tyrrhenicola henseli*. Moreover, around Bonifacio, there is zoo-archaeological evidence of sheep, goat herds, pigs and then bovines since the beginning of Neolithic time (from ca. 7000 cal. yr B.P.; Vigne, 1984). It is likely that pastoralism was also practiced locally on Cavallo (located only 8 km away from there). The impact of such practices on vegetation cover is difficult to interpret from dung beetle data (see Smith et al., 2010, 2014) but the presence of cattle or important density of endemic mammals such as *Prolagus sardus* could have played a significant role in the opening of the vegetation.

Moreover, the presence of *Ficus carica* inferred from *Hypoborus ficus* between ca. 6100 to 5800 cal. yr B.P. demonstrates that this heliophilous tree took advantage of the *Erica arborea* decline, 300–400 years before the regional *Q. ilex* expansion. Similar dynamics were reported from Sicily because an increase of *Ficus carica* during early-Neolithic agricultural phase (at 7300 cal. yr B.P.) is recorded along with an opening of the landscape (i.e. *Pistacia* scrublands) just before the expansion of *Quercus ilex* at 7000 cal. yr B.P. (Gorgo Basso and Lago Preola, respectively sites 5 and 6 in Fig. 1; Calò et al., 2012; Tinner et al., 2009). More generally if the clearance of *Erica arborea* vegetation is recorded everywhere on Corsica Island from coastal sites (Reille, 1984, 1988b, 1988c, 1992a) to high altitude (until 1500 m; Reille, 1975, 1988a; Reille et al., 1999), the chronological framework of this decline has to be refined and compared with the archaeological evidence to evaluate the synchronicity or discrepancy of this active phase, but we also need to evaluate the role that Neolithic societies could have played in these dynamics.

7.3. Did environmental factors play a role in ecosystem dynamics?

7.3.1. Impact of mid- and late-Holocene relative sea-level change

A major consequence of climatic oscillation from cold to warm conditions at the end of the last glacial period was the melt of the Northern Hemisphere ice sheets which led to a global rise in eustatic sea-level. In the Mediterranean area, the majority of this eustatic contribution occurred before 6000 cal. yr B.P. (Lambeck and Bard, 2000; Lambeck and Purcell, 2005; Peltier, 2004). But even if the Corso-Sardinian block was not affected by significant tectonic processes during the Holocene (Conchon, 1975; Lambeck et al., 2004; Serpelloni et al., 2005), the glacio-hydro-isostatic component in this area is more difficult to estimate and the amplitude/timing of late-Holocene relative sea-level rise (RSLR) is a matter of debate (Pirazzoli, 2005). In Corsica and on the Southern France coasts, many studies, suggest a sub-linear RSLR of about 2.5 to 1.5 m during the last 5000 years, with a rapid rise until 1500 years B.P., then a stabilization close to the modern sea-level 500 years ago (Laborel et al., 1994; Morhange et al., 1996, 2001; Vacchi et al., 2016a; Vella and Provansal, 2000). However, Antonioli et al. (2007, 2012) suggest a RSLR of about 2 m during the last 2400 years only. In this context, there is abundant evidence of coastal environment changes from ostracod, foraminifera, diatoms or molluscan assemblages in relation to Holocene marine transgression (e.g., Marriner et al., 2012; Marco-Barba et al., 2013; Currás et al., 2016) while little attention has been paid to insect fauna. Yet beetle assemblages, through the narrow ecological requirements of many species, are excellent bioindicators of salinity changes: if many beetles are adapted to brackish waters or hypersaline habitats such as marine rockpools, species which can live in complete marine conditions are scarce.

From ca. 7000 to 6200 cal. yr B.P. (IFU-1a), the Greco pond was clearly a diversified freshwater wetland with freshwater plants and non halophilous aquatic beetles such as *Hydrochus*, *Helochares*; *Limnebius*. Large-aquatic beetles (*Cybister*) and *Myriophyllum* type *spicatum* (see Figs. 3 and 4) suggest that the pond was probably at least as deep as it is today (around 1 m in depth). Many hydro/hydrophilous beetle taxa reach their maximum relative abundances under these freshwater conditions. Between ca. 7200 and 6200 cal. yr B.P., data from southeastern France indicate that relative sea-level rose from -6.4 ± 0.5 to

-4.7 ± 0.5 m a.s.l. (Vella and Provansal, 2000 corrected by Vacchi et al., 2016b). Closer data from southern Corsica and northern Sardinia (Antonioli et al., 2012; De Muro and Orrù, 1998 corrected by Vacchi et al., 2016b) respectively suggest a sea-level of -15.5 ± 1.6 and -8 ± 0.2 m a.s.l. at ca. 7100 and 7000 cal. yr B.P. In both cases, marine influence was reduced due to the distant position of the coastline.

During the period ca. 6200–5300 cal. yr B.P. (IFU-1b), marine transgression continues and relative sea-level rise is estimated from -4.7 ± 0.5 to -2.8 ± 0.5 m a.s.l. in the Rhone delta, southeastern France (Vella and Provansal, 2000 corrected by Vacchi et al., 2016b). However, the relative sea-level is estimated to -7.5 ± 1.9 m below the modern sea-level at ca. 5100 cal. yr B.P. in northern Sardinia (De Muro and Orrù, 1998 corrected by Vacchi et al., 2016b). These estimations suggest that marine influence should be minimal in the coastal pond. This is consistent with the persistence of freshwater plants (*Myriophyllum* type *spicatum* until 13%) in the Greco pond during this period. However, this finding contrasts with the disappearance/decline of salt intolerant aquatic beetles. This conflict could be explained by the strong development of *Myriophyllum* type *spicatum* (the presence of which is confirmed by the occurrence of the weevil *Phytobius leucogaster*). This plant is stimulated by nutrient-rich sediments and able to rapidly colonize and dominate areas disturbed by bioturbation, trampling or by water quality and level changes (Smith and Barko, 1990). Such an expansion of *Myriophyllum* was previously reported on the coastal site of Palombaggia (site 18 in Fig. 1) synchronously with a strong decrease in coastal vegetation induced by man (southern Corsica; Reille, 1984). Thus, it is possible that the wetland fauna diversity has been affected by an eutrophication process even if freshwater conditions persisted.

From ca. 5300 cal. yr B.P. (IFU-1c), the high microforaminiferal lining concentrations and occurrences of sand dune beetles (Fig. 5) should be attributed to the proximity of the shoreline. The relative sea-level is indicated at -1.7 ± 0.3 m a.s.l. at ca. 4600 cal. yr B.P. in Marseille harbor (Morhange et al., 1996 corrected by Vacchi et al., 2016b) and at -1.0 ± 0.4 m a.s.l. at ca. 3100 cal. yr B.P. in La Ciotat (southern France) and in Centuri (northern Corsica) (Laborel et al., 1994 corrected by Vacchi et al., 2016b). In this context, the temporary increase of both diversity and abundance of wetland beetle fauna (34 taxa) between ca. 4600 and 4200 cal. yr B.P. but also the short development of salt-intolerant plants (*Isoetes*, *Myriophyllum spicatum*) around 4400 cal. yr B.P. is unexpected. However, considering that these events took place during the development of a reed bed (*Sparganium-Typha* reaches 66%) and the opening of the landscape (decline of *Erica arborea* and increase of Poaceae), it is likely that the *E. arborea* decline should have induced an increase of soil erosion. Consecutive infilling of the pond may have led to the reed bed and *Isoetes* expansion on the pond margin. This hypothesis is consistent with the observed increase of the ruderal-anthropogenic hydrophilous plant *Persicaria maculosa* between ca. 4600 and 4200 cal. yr B.P.

From ca. 4300 cal. yr B.P., the increase of halotolerant beetles (*Bembidion octomaculatum*, *Pterostichus cursor*, *Ochthebius*) and the high percentages of Chenopodiaceae (probably halophilous species) probably indicate a salinity increase in relation to marine transgression. About 600 years later, a drastic decrease in insect wetland diversity occurred since only 31% of aquatic taxa, 38% of wetland taxa and 58% of halotolerant taxa persisted. The microforaminiferal lining concentration and freshwater plants decrease suggest that the impoverishment of wetland beetle fauna could be induced by a strong increase of salinity and even marine intrusions in the pond from 3700 cal. yr B.P. At this date, relative sea-level estimations range from -1.5 ± 0.3 to -1.1 ± 0.4 m in Corsica and southern France (Laborel et al., 1994; Morhange et al., 2001 corrected by Vacchi et al., 2016b), and could even reach -3.5 ± 1.6 m at ca. 2700 cal. yr B.P. in south Corsica (De Muro and Orrù, 1998 corrected by Vacchi et al., 2016b).

The simultaneous expansion of *Tamarix* and the strong decline of microforaminiferal linings at ca. 3100 cal. yr B.P. (IFU-2 and PZ-3), could indicate the reinstallation of a sand barrier between the pond

and the sea. The high frequencies of *Tamarix* suggest the formation of a more stable sand dune in relation to the last slowing down of marine transgression during the last 2000 years in western Mediterranean (Vacchi et al., 2016a, 2016b). Protected by this sand-barrier system, it is likely that the circulation of water runoff was modified in the Greco pond. Thus, varied conditions and mixed water sources (fresh and salt water) could explain the persistence of eurytopic or halotolerant aquatic beetles, the development of hygrophilous vegetation and the retraction of herbaceous plants (mostly Apiaceae, Chenopodiaceae). Such a scenario was already described from pollen data in Corsica (Pinarello; Reille, 1984) from around 3100 B.P., on the South French coast (Court-Picon et al., 2010) from 5000 cal. yr B.P. and on the Italian coast (Tavoliere plain; Di Rita et al., 2011) from 4880 and 3230 cal. yr B.P.

Comparison of fossil beetle data and modern beetle faunal data available for Cavallo Island (Cocquempot and Rungs, 2009; Médail et al., 2014, 2015) suggests many local beetle extinctions: 53% of fossil beetles found in the sedimentary sequence are not reported in the modern beetle fauna (e.g., *Dignomus brevicrinitus*, *Scobicia pustulata*, *Pachybrachis cf. rugifer*, *Berginus tamarisci*) (Table S1). Most of this probably extinct fauna is present in the lowermost part of the sedimentary record since 59% was recorded in IFU-1a against 26% in the IFU-2. Out of 67 aquatic and hygrophilous fossil beetles (35 and 32 taxa respectively), 42 taxa are new for the archipelago including *Canthydrus diopthalmus*, a species new for the French fauna (Cocquempot and Rungs, 2009; Médail et al., 2014, 2015; Tronquet, 2014). Seventeen aquatic beetles and 8 hygrophilous taxa only are present in the fossil record as well as in the modern fauna, comprising 17% of the fossil wetland diversity. This drastic impoverishment is probably a consequence of marine intrusions caused by RSLR since 69% of aquatic fossil beetles and 63% of hygrophilous fossil beetles are only recorded before 3700 cal. yr B.P.

Other changes in terrestrial beetle diversity are more complex to interpret and could result from a combined effect of anthropogenic pressure and reduction of the island's surface due to the relative sea-level rise (Weigelt et al., 2016). The Lavezzi archipelago's islands have been isolated late but the precise timing of this event is difficult to estimate because the relative sea level estimations are insufficiently constrained between ca. 8000 and 6000 cal. yr B.P. in southern Corsica (Vacchi et al., 2016a, 2016b). The predictive relative sea-level curve given for this sector of the western Mediterranean indicates that the sea rose above ≈ -10 m a.s.l. at ca. 8000 cal. yr B.P. (Vacchi et al., 2016a). According to the current bathymetry, we can reasonably suppose that major islands of the archipelago (Piana, Ratino, Cavallo and Lavezzi Islands) were partially connected together and with Corsica until at least ca. 8000 cal. yr B.P. (Fig. 1). The appearance of new insular conditions has probably exacerbated the effects of vegetation changes on terrestrial beetle diversity, especially for the sapro-xylophagous species. On Cavallo, the opening of the vegetation (decrease of tree and shrub frequencies down to 50%) matches a decline of saproxylic beetles (94% of woodland/scrubland and driftwood-dependent taxa are present in IFU-1a and IFU-1b and 35% in the IFU-1c). It was already suggested that Arthropod species could be represented only by reduced populations with few individuals on small islands (Gillespie and Roderick, 2002). So, in the case of stenotopic beetles reliant on driftwood-dependent or flightless species (e.g., *Percus strictus*), the destruction of the local habitat or of the population is tantamount to the local extinction of the species. On the other hand, a basic assumption of island biogeography theories is that the number of species decreases proportionately with island area; this is described as the relaxation process (Gillespie and Roderick, 2002, Whittaker and Fernández-Palacios, 2007). On Cavallo, it is difficult to consider that this long-time ecological process could have played the leading role in the observed biodiversity changes considering the effects of human activities and RSLR, but it is probably safe to assume that new insular conditions have influenced these deep changes in biodiversity by preventing immigration of individuals from mainland.

7.3.2. The role of past climate variability

The present Mediterranean vegetation is characterized by evergreen trees such as *Quercus ilex* but also sclerophyllous shrubs within the semi-arid bioclimate of the meso-Mediterranean and thermo-Mediterranean vegetation belts. But the question of when the current Mediterranean climate became established and what were the consequences of human impact in the spread of xeric vegetation across the Mediterranean region is complex and not completely solved (de Beaulieu et al., 2005; Jalut et al., 2009; Magny et al., 2013; Vanni ere et al., 2011). The drivers of *Erica arborea* clearance around ca. 6500 cal. yr B.P. and the expansion of *Quercus ilex* from ca. 5000 to 2500 cal. yr B.P. in Corsica and Sardinia are matters of debate. For a long time, this vegetation shift was considered as a 'major event' too rapid for a climatic change explanation and resulting of anthropogenic actions (Reille, 1984, 1992a; Reille et al., 1999) but pollen indicators of human activities were scarce and reduced to a few pollen grain of *Cerealia*-type and ruderal plants as *Plantago lanceolata* type or *Rumex*. Moreover, even though these plants thrive in human-modified landscapes, they are also naturally present in Mediterranean ecosystems, so it is often difficult to distinguish the influence of climatic change versus human impact (de Beaulieu et al., 2005; Sadori et al., 2013). More recently, many studies show that the climatic shift from around 7000–5500 cal. yr B.P., with a contrasting pattern of precipitation south and north of ca. 40°N in the central Mediterranean, has played an important role in vegetation composition changes and fire activity (Jalut et al., 2009; Magny et al., 2002, 2007, 2013; Roberts et al., 2004; Vanni ere et al., 2011). The results from multi-proxy studies of lacustrine (Lago Accesa's lake-level, site 3 in Fig. 1) and marine records, Magny et al. (2013) suggest that mid Holocene up to ca. 4500 cal. yr B.P. was characterized by humid winters and dry summers north of ca. 40° N, and humid winters/summers south of ca. 40° N. In contrast to this, a climatic transition towards wetter/cooler summers in areas north of ca. 40°N and dry winters and warm/dry summers south of ca. 40° N, is suggested during the late Holocene. According to this climatic context, Beffa et al. (2015) suggest that in northern-eastern Sardinia (Sa Curcurica), the prolonged dominance of *Erica* species (*E. arborea* and *E. scoparia*) and the absence of the evergreen oak forest until the period 7000–5500 cal. yr B.P. is due to humid winters and dry summers. They assume that the decrease in summer insolation leading to dryer winters and moister summers after 5500 cal. yr B.P. could explain the decline in fire frequency and the *Q. ilex* expansion. South of 40°N, the expansion of sclerophyllous trees (both *Pistacia* and/or *Q. ilex*) from ca. 7000–6700 to 5500 cal. yr B.P. on coastal areas was also interpreted as the result of an increase of moisture availability (during summer and winter) in Sicilia (Cal o et al., 2012; Noti et al., 2009; Tinner et al., 2009) and Malta (BM1 and BM2 sediments cores, respectively sites 9 and 10 in Fig. 1; Djamali et al., 2012; Gambin et al., 2016).

Since we have no direct and independent climate indicators (temperature, precipitation) on Cavallo Island during these periods, it is difficult to distinguish the respective role of climate and human activities on the local vegetation. Clearly, first insect and pollen evidence of human activities recorded between ca. 7000 and 5800 cal. yr B.P. coincide with the *E. arborea* decline (Fig. 5). Early human activities were confirmed in some Mediterranean islands before 5000 cal. yr B.P. (Beffa et al., 2015; Carroll et al., 2012; Gambin et al., 2016; Tinner et al., 2009) but it was often assumed that climate was the primary driver of vegetation changes whereas anthropogenic impacts seem significant after 4000–3000 cal. yr B.P. Nevertheless, the last 4700 cal. years reveal a strong human imprint on Cavallo vegetation. Beetles, pollen, NPP data and archaeological evidence from the Chalcolithic, the Early Bronze Age, the Iron Age and finally the Roman period suggest that successive pastoral and agricultural practices, probably exacerbated by the trend towards drier conditions, have locally taken the leading role in the final clearance of *E. arborea*, the evergreen oak forest decline and the development of an open landscape (Fig. 5). Thus it is possible that human and/or climate pressures on small islands such as Cavallo during the late

Holocene were quite amplified compared to continental sites or larger islands such as Corsica, Sardinia or Sicily. For instance, palynological, molluscan and sedimentary evidence from the Maltese Islands (only 316 km² in surface), indicates that vegetation opening since the early Bronze Age (ca. 4500 cal. yr B.P.) was followed by a long story of agricultural practices leading to a degraded environment, increased soil erosion and rapid sedimentation in the Burmarrad ria from ca. 4000 cal yr B.P. onward (Carroll et al., 2012; Gambin et al., 2016; Marriner et al., 2012). At the same way, Pavlopoulos et al. (2010) recorded early agro-pastoral practices on Skyros Island (only 22,310 ha, Greece) since the Neolithic time (from ca. 7500 cal. yr B.P.), that were intensified during the settlement of Palamari from 4800 to 3700 cal. yr B.P. If the authors highlighted that the coastline has been mainly influenced by the RSLR, they also interpreted evidence of higher erosion in the coastal plain after ca. 3700 cal. yr B.P. as the effects of these anthropogenic activities on the vegetation cover.

8. Conclusion

This paper presents a high-resolution entomological record as well as pollen and non-pollen palynomorph analyses from the sediments of the Greco pond. This unprecedented approach for the Corso-Sardinian region suggests that Cavallo was first covered by tall *Erica arborea* stands which reinforces the hypothesis of *E. arborea* woodlands before the *Quercus ilex* expansion at low elevation in Corsica (Reille, 1984) and Sardinia (Beffa et al., 2015). Evidence of animals (wild endemic mammals or domesticated cattle) followed by a significant *Ficus carica*-spreading (inferred by the bark beetle *Hypoborus ficus*) from ca. 6100 cal. yr B.P., suggest that natural and/or pastoral grazing occurred and had a major impact on the vegetation of Cavallo. However, the clearance of the heather forest could be doubtfully attributed alone to the *Prolagus* or other endemic mammals and probably implicates human activities. From ca. 5500 cal. yr B.P., *Q. ilex* presented a regional expansion, but locally its influence was strongly reduced and an herbaceous vegetation became established. Pastoral markers (dung beetles and coprophilous fungi) and open vegetation markers (open ground beetles and rudero-anthropogenic plants) as well as archaeological evidence of successive occupations in the archipelago indicate that a strong human-dominated ecosystem thrived on Cavallo Island from ca. 4700 cal. yr B.P. until historical period. Our results suggest that climatic trends observed in many Mediterranean sites during the mid- and late-Holocene were not clearly pronounced in our site. On the contrary, it can be reasonably assumed that the small size and elevation of Cavallo (within the same bioclimatic and vegetation belt) make the whole island more sensitive to human activities than climatic changes compared to coastal sites in bigger islands or in the continent. In such a context, human activities although moderate were probably sufficient to induce an early pronounced opening of the vegetation.

In this study we also investigate the effects of the Holocene RSLR on the coastal wetland. Information provided by palaeoentomological data and pollen analysis show that the Greco pond initially had freshwater conditions. As a consequence of the marine transgression, evidence of salt marsh development from ca. 4500 cal. yr B.P. and a strong increase of salinity with marine intrusions were recorded at ca. 3700 cal. yr B.P. The comparison between the palaeoentomological record and the modern beetle fauna underlines the conclusion that an important beetle taxa turnover occurred on Cavallo Island during the last 7000 years since 72% of the fossil wetland beetles became locally extinct (including *Canthydrus diophthalmus*, a species new to the French fauna). Moreover, considering that the most recent entomological inventories came after the recent urbanization of Cavallo (Cocquemot and Rungs, 2009; Médail et al., 2014, 2015), we can only speculate on the degree of impact on the already-reduced beetle fauna. The palaeoentomological results of Cavallo Island provide part of the answer.

To conclude, working on such a small geographical scale is not a weakness from a scientific point of view since islands are often

considered as laboratories for the study of ecological processes (Whittaker and Fernández-Palacios, 2007). These vulnerable insular environments, especially the smaller ones, offer the rare opportunity to study past human-environment interactions as well as climate-ecosystems dynamics. Using this approach, this study shows that fossil beetles are a valuable tool to improve reconstructions of the vegetation cover. They also shed light on the nature/intensity of past human activities and to identify biodiversity responses to global changes, in our case to relative sea-level fluctuations. Such a perspective is of primary importance and should be conducted, not only in the Mediterranean area but in other small insular contexts where palaeoecological records are available.

Supplementary data to this article can be found online at doi:10.1016/j.palaeo.2016.10.037.

Funding statement

Financial supports of this research were provided by the Office de l'environnement de la Corse (OEC)/Conservatoire botanique national de Corse (project DyPaCo: *Dynamique des paléoenvironnements de la Corse*, convention no.15/005) and by the Laboratoire d'Excellence Objectif-Terre Bassin méditerranéen (Labex OT-Med) of the Aix Marseille University (ANR-11-LABEX-0061) with the project Cop2A *Corsican Palaeoclimate, Palaeoenvironments & Anthropization*. The fieldwork was funded by the French government (projet Investissements d'Avenir) within the Initiative d'excellence A*MIDEX / MEDNET of Aix Marseille University (ANR-11-IDEX-0001-02), and performed during a field school of the Master SET-SBEM of Aix Marseille University.

Acknowledgments

We would like to thank the Conservatoire Botanique National de Corse and its director Laetitia Hugot for their constant support concerning this research. We thank the Association pour la protection de l'environnement de l'île de Cavallo (APEIC), and notably Mrs. Matthieu Bidali and Michel Orlanducci for their permission to work on the private island of Cavallo and for their kind logistic help for transportation. We thank A. Mantillieri (National Museum of Natural History, Paris) for the loan of modern coleopteran specimen, I. Ribera for entomological details about ecological requirements of *Canthydrus diophthalmus*, O. Rose for assistance in fossil beetle determination and M. Alvitre for help at the laboratory. Finally, Professor S. A. Elias and the anonymous reviewer are thanked for their valuable comments, and for their help on the improvement of the English.

References

- Agostini, P., 1978. Recherches archéologiques dans l'île Cavallu (Bonifacio, Corse) 1972–1977. *Archeol. Corsa* 3, 15–54.
- Agostini, P., 1985–1986. Le site romain de Piantarella, Bonifacio. *Archeol. Corsa* 10–11, 3–43.
- Antonioli, F., Anzidei, M., Lambeck, K., Auriemma, R., Gaddi, D., Furlani, S., Orrù, P., Solinas, E., Gaspari, A., Karinja, S., Kovačić, V., Surace, L., 2007. Sea-level change during the Holocene in Sardinia and in the northeastern Adriatic (central Mediterranean Sea) from archaeological and geomorphological data. *Quat. Sci. Rev.* 26:2463–2486. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.06.022>.
- Antonioli, F., Orrù, P., Porqueddu, A., Solinas, E., 2012. Variazioni del livello marino in Sardegna durante gli ultimi millenni sulla base di indicatori geo-archeologici costieri. In: Cocco, M.B., Gavini, A., Ibba, A. (Eds.), *L'Africa romana, XIX. Atti del Convegno di Studio*, Roma, pp. 2963–2971.
- del Arco Aguilar, M. (Ed.), 2006. Mapa de vegetación de Canarias. GRAFCAN, Santa Cruz de Tenerife.
- Avramidis, P., Geraga, M., Lazarova, M., Kontopoulos, N., 2013. Holocene record of environmental changes and palaeoclimatic implications in Alykes Lagoon, Zakynthos Island, western Greece, Mediterranean Sea. *Quat. Int.* 293:184–195. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2012.04.026>.
- Baker, A.G., Bhagwat, S.A., Willis, K.J., 2013. Do dung fungal spores make a good proxy for past distribution of large herbivores? *Quat. Sci. Rev.* 62:21–31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.11.018>.
- Balachowsky, A.S., 1949. Faune de France 50, Coléoptères Scolitydae. *Libr. Fac. Sci., Paris*.

- Bass, S., Dalal-Clayton, B., 1995. Small island states and sustainable development: strategic issues and experience. *Environmental Planning Issues*, No. 8. International Institute for Environment and Development, London.
- Behre, K.-E., 1981. The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen Spores* 23, 225–245.
- Beffa, G., Pedrotta, T., Colombaroli, D., Henne, P.D., van Leeuwen, J.F.N., Süsstrunk, P., Kaltenrieder, P., Adolf, C., Vogel, H., Pasta, S., Anselmetti, F.S., Gobet, E., Tinner, W., 2015. Vegetation and fire history of coastal north-eastern Sardinia (Italy) under changing Holocene climates and land use. *Veg. Hist. Archaeobotany* <http://dx.doi.org/10.1007/s00334-015-0548-5>.
- Bennett, K.D., 1996. Determination of the number of zones in a biostratigraphical sequence. *New Phytol.* 132, 155–170.
- Beug, H.J., 2004. Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. Verlag, Munich.
- Blaauw, M., 2010. Methods and code for 'classical' age-modelling of radiocarbon sequences. *Quat. Geochronol.* 5:512–518. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quageo.2010.01.002>.
- Burjachs, F., Pérez-Obiol, R., Roure, J.M., Julia, R., 1994. Dinámica de la vegetación durante el Holoceno en la isla de Mallorca. In: Mateu, I., Dupré, M., Güemes, J., Burgaz, M.E. (Eds.), *Trabajos de Palinología básica y aplicada*. Universitat de València, València, pp. 199–210.
- Caillol, H., 1908. Catalogue des Coléoptères de Provence d'après des documents recueillis et groupés, 1er partie. Société des Sciences Naturelles de Provence, Marseille.
- Calò, C., Henne, P.D., Curry, B., Magny, M., Vescovi, E., La Mantia, T., Pasta, S., Vannièr, B., Tinner, W., 2012. Spatio-temporal patterns of Holocene environmental change in southern Sicily. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 323–325:110–122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.01.038>.
- Calò, C., Henne, P.D., Eugster, P., van Leeuwen, J., Gilli, A., Hamann, Y., La Mantia, T., Pasta, S., Vescovi, E., Tinner, W., 2013. 1200 years of decadal-scale variability of Mediterranean vegetation and climate at Pantelleria Island, Italy. *The Holocene* 23:1477–1486. <http://dx.doi.org/10.1177/0959683613493935>.
- Carcaillet, C., Barakat, H.N., Panaïotis, C., Loisel, R., 1997. Fire and late-Holocene expansion of *Quercus ilex* and *Pinus pinaster* on Corsica. *J. Veg. Sci.* 8, 85–94.
- Carroll, F.A., Hunt, C.O., Schembri, P.J., Bonanno, A., 2012. Holocene climate change, vegetation history and human impact in the Central Mediterranean: evidence from the Maltese Islands. *Quat. Sci. Rev.* 52:24–40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.07.010>.
- Cocquempot, C., Chambon, J.-P., 1991. Rapport préliminaire de mission: Inventaire de la faune des îles Lavezzi (Corse-du-Sud). Document du Comité scientifique de la Réserve naturelle des Cerbicale et Lavezzi.
- Cocquempot, C., Rungs, C., 2009. Liste des Arthropodes terrestres recensés dans les réserves naturelles des îles Cerbicale et Lavezzi (France, Corse-du-Sud). *Bioscisme Mésogéen*, Nice 26:1–56. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Coiffait, H., 1984. Coléoptères Staphylinides de la région paléarctique occidentale, V, Sous famille Paederinae, Tribu Paederini 2, Sous famille Euaesthetinae. *Nouv. Rev. Entomol. (Suppl.)* 13, 1–424.
- Coope, G.R., 1986. Coleoptera analysis. In: Berglund, B.E. (Ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Wiley & Sons, Chichester, pp. 703–713.
- Coope, G.R., Elias, S.A., 2000. The environment of Upper Palaeolithic (Magdalenian and Azilian) hunters at Hauterive-Champréveyres, Neuchâtel, Switzerland, interpreted from coleopteran remains. *J. Quat. Sci.* 15, 157–175.
- Conchon, O., 1975. Les formations quaternaires de type continental en Corse orientale. (Thèse de Doctorat). Université de Paris VI, France.
- Conchon, O., 1976. The human settlement of Corsica: palaeogeographic and tectonic considerations. *J. Hum. Evol.* 5, 241–248.
- Connor, S.E., van Leeuwen, J.F.N., Rittenour, T.M., van der Knaap, W.O., Ammann, B., Björck, S., 2012. The ecological impact of oceanic island colonization – a palaeoecological perspective from the Azores. *J. Biogeogr.* 39:1007–1023. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02671.x>.
- Constantin, R., Liberti, G., 2011. Coléoptères Dasytidae de France. Société linnéenne de Lyon, Lyon.
- Costa, L.J., 2006. Récents acquis sur la circulation préhistorique de l'obsidienne en Corse. *Bull. Soc. Préhist. Fr.* 103:71–85. <http://dx.doi.org/10.3406/bspf.2006.13396>.
- Court-Picon, M., Vella, C., Chabal, L., Bruneton, H., 2010. Paléo-environnements littoraux depuis 8000 ans sur la bordure occidentale du Golfe du Lion. *Quaternaire* 21:43–60. <http://dx.doi.org/10.4000/quaternaire.5440>.
- Currás, A., Ghilardi, M., Peche-Quilichini, K., Fagel, N., Vacchi, M., Delanghe, D., Dussouillez, P., Vella, C., Bontempi, J.M., Ottaviani, J.C., 2016. Reconstructing past landscapes of the eastern plain of Corsica (NW Mediterranean) during the last 6000 years based on molluscan, sedimentological and palynological analyses. *J. Archaeol. Sci. Rep.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.09.016>.
- de Beaulieu, J.-L., Miras, Y., Andrieu-Ponel, V., Guiter, F., 2005. Vegetation dynamics in north-western Mediterranean regions: instability of the Mediterranean bioclimate. *Plant Biosyst.* 139:114–126. <http://dx.doi.org/10.1080/11263500500197858>.
- de Lanfranchi, F., Weiss, M.-C., 1972. La civilisation des Corses. Les origines (éd. Cynos et Méditerranée, Ajaccio).
- de Lanfranchi, F., Weiss, M.-C., 1977. Araguina-Sennola, dix années de fouilles préhistoriques à Bonifacio. *Archeol. Corsica* 2, 1–167.
- Delobel, A., Delobel, B., 2003. Les plantes hôtes des bruches (Coleoptera Bruchidae) de la faune de France, une analyse critique. *Bull. mens. Soc. Linn. Lyon* 72, 199–221.
- Delobel, A., Tran, M., 1993. Les Coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. *Faune tropicale* 32. CTA/Orstom Editions, Paris.
- De Muro, S., Orrù, P., 1998. Il contributo delle Beach-Rock nello studio della risalita del mare olocenico. Le Beach-Rock post-glaciali della Sardegna nord-orientale. *Il Quaternario* 11, 19–39.
- Di Rita, F., Simone, O., Caldara, M., Gehrels, W.R., Magri, D., 2011. Holocene environmental changes in the coastal Tavoliere Plain (Apulia, southern Italy): a multiproxy approach. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 310, 139–151.
- Di Rita, F., Melis, R.T., 2013. The cultural landscape near the ancient city of Tharros (central West Sardinia): vegetation changes and human impact. *J. Archaeol. Sci.* 40: 4271–4282. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2013.06.027>.
- Djamali, M., Gambin, B., Marriner, N., Andrieu-Ponel, V., Gambin, T., Gandouin, E., Lanfranco, S., Médail, F., Pavon, D., Ponel, P., Morhange, C., 2012. Vegetation dynamics during the early to mid-Holocene transition in NW Malta, human impact versus climatic forcing. *Veg. Hist. Archaeobotany* <http://dx.doi.org/10.1007/s00334-012-0380-0>.
- Emberger, L., 1930. La végétation de la région méditerranéenne: essai d'une classification des groupements végétaux. *Rev. Gen. Bot.* 42, 641–662.
- Fægri, K., Iversen, J., 1989. *Textbook of Pollen Analysis*. John Wiley and Sons, New York.
- Flenley, J.R., King, A.S.M., Jackson, J., Chew, C., Teller, J.T., Prentice, M.E., 1991. The late quaternary vegetational and climatic history of Easter Island. *J. Quat. Sci.* 6, 85–115.
- Frenot, Y., Gloaguen, J.C., Massé, L., Lebouvier, M., 2001. Human activities, ecosystem disturbance and plant invasions in subantarctic Crozet, Kerguelen and Amsterdam Islands. *Biol. Conserv.* 101, 33–50.
- Gambin, B., Andrieu-Ponel, V., Médail, F., Marriner, N., Peyron, O., Montade, V., Gambin, T., Morhange, C., Belkacem, D., Djamali, M., 2016. 7300 years of vegetation history and climate for NW Malta: a Holocene perspective. *Clim. Past* 12:273–297. <http://dx.doi.org/10.5194/cp-12-273-2016>.
- Gamisans, J., 1999. La végétation de la Corse. Edisud, Aix-en-Provence.
- Gamisans, J., Paradis, G., 1992. Flore et végétation de l'île Lavezzi. *Trav. Sci. du Parc Nat. régional des Réserves Nat. Corse* 37, 1–68.
- Gauthier, A., 1984. Première contribution à la connaissance de la géologie des îles Cerbicale et Lavezzi. Parc naturel régional de la Corse, Ajaccio.
- Gillespie, R.C., Roderick, G.K., 2002. Arthropods on islands: colonization, speciation, and conservation. *Annu. Rev. Entomol.* 47, 595–632.
- Grigore, M.N., Toma, C., 2007. Aspect on the ecological and functional anatomy of some halophyte species from the Chenopodiaceae family. *Proceedings of the 1st International Conference Environment – Natural Sciences – Food Industry in European Context*, pp. 257–264 (Bia Mare, 16–17 November 2007).
- Grimm, E.C., 1987. CONISS: a fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Comput. Geosci.* 13, 13–35.
- Guignot, F., 1947. Coléoptères Hydrocanthares, Faune de France 48. Paul Lechevalier, Paris.
- Guillemette, C., 2015. La biodiversité des petites îles de Corse. Éléments de synthèse en vue d'une stratégie régionale de conservation. Mémoire de 5ème année, ISTOM. Ecole d'ingénieurs en agro-développement international & Initiative PIM, Aix-en-Provence.
- Gustavsson, G., Lemdahl, G., Gaillard, M.J., 2009. Abrupt forest ecosystem change in SW Sweden during the late Holocene. *The Holocene* 19, 691–702.
- Hoffman, A., 1950. Coléoptères Curculionides (première partie). *Faune de France* 52. Librairie de la Faculté des Sciences, Paris.
- Hoffman, A., 1954. Coléoptères Curculionides (deuxième partie). *Faune de France* 59. Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles, Paris.
- Hoffman, A., 1958. Coléoptères Curculionides (troisième partie). *Faune de France* 62. Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles, Paris.
- Hughes, P.D.M., Kenward, H.K., Hall, A.R., Large, F.D., 2000. A high-resolution record of mire development and climatic change spanning the Late-glacial-Holocene boundary at Church Moss, Davenham (Cheshire, England). *J. Quat. Sci.* 15, 697–724.
- Jalut, G., Dedoubat, J.J., Fontugne, M., Otto, T., 2009. Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: climate forcing and human impact. *Quat. Int.* 200:4–18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2008.03.012>.
- Jeannel, R., 1941. Coléoptères Carabiques première partie. *Faune de France* 39. Paul Lechevalier et Fils, Paris.
- Jeannel, R., 1942. Coléoptères Carabiques deuxième partie. *Faune de France* 40. Paul Lechevalier et Fils, Paris.
- Juggins, S., 2007. C2 Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualization. User Guide Version 1.5. Newcastle University Press, Newcastle upon Tyne, UK.
- Juggins, S., 2012. The Rioja Package: Analysis of Quaternary Science Data. (R package, version 0.7-3). <http://cran.r-project.org/package=rioja>.
- Kenward, H., 1975. Pitfalls in the environmental interpretation of insect death assemblages. *J. Archaeol. Sci.* 2, 85–94.
- Kenward, H., 1976. Reconstructing ancient ecological conditions from insects remains: some problems and an experimental approach. *Ecol. Entomol.* 1, 7–17.
- Khadari, B., Grout, C., Santoni, S., Kjellberg, F., 2005. Contrasted genetic diversity and differentiation among Mediterranean populations of *Ficus carica* L.: a study using mtDNA RFLP. *Genet. Resour. Crop. Evol.* 52, 97–109.
- Koch, K., 1989a. Die Käfer Mitteleuropas, Ökologie 1. Goecke and Evers, Krefeld.
- Koch, K., 1989b. Die Käfer Mitteleuropas, Ökologie 2. Goecke and Evers, Krefeld.
- Koch, K., 1992. Die Käfer Mitteleuropas, Ökologie 3. Goecke and Evers, Krefeld.
- Laborel, J., Morhange, C., Lafont, R., Le Campion, J., Laborel-Deguen, F., Sartoretto, S., 1994. Biological evidence of sea-level rise during the last 4500 years on the rocky coasts of continental southwestern France and Corsica. *Mar. Geol.* 120, 203–223.
- Lambeck, K., Bard, E., 2000. Sea-level change along the French Mediterranean coast for the past 30 000 years. *Earth Planet. Sci. Lett.* 175, 203–222.
- Lambeck, K., Antonioli, F., Purcell, A., Silenzi, S., 2004. Sea-level change along the Italian coast for the last 10,000 yr. *Quat. Sci. Rev.* 23:1567–1598. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.02.009>.
- Lambeck, K., Purcell, A., 2005. Sea-level change in the Mediterranean Sea since the LGM: model predictions for tectonically stable areas. *Quat. Sci. Rev.* 24:1969–1988. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.06.025>.

- Lanza, B., Poggessi, M., 1986. Storia naturale delle isole satelliti della Corsica. L'Universo 66, 1–198.
- Le Bourdonnec, F.-X., Poupeau, G., Lugliè, C., D'Anna, A., Bellot-Gurlet, L., Bressy-Leandri, C.S., Pasquet, A., Tramoni, P., 2011. New data and provenance of obsidian blocks from Middle Neolithic contexts on Corsica (western Mediterranean). C. R. Palevol 10:259–269. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crpv.2011.01.001>.
- Leighton, R., 1999. Sicily Before History: An Archaeological Survey from the Palaeolithic to the Iron Age. Cornell University Press, Ithaca, New York.
- Lemaire, J.-M., 1992. Coléoptères récoltés aux îles Lavezzi du 1er au 4 juin 1992. Trav. Sci. du Parc Nat. régional des Réserves Nat. Corse 39, 85–96.
- Lemdahl, G., 2000. Lateglacial and Early Holocene insect assemblages from sites at different altitudes in the Swiss Alps – implications on climate and environment. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 159, 293–312.
- Magny, M., Miramont, C., Sivan, O., 2002. Assessment of the impact of climate and anthropogenic factors on Holocene Mediterranean vegetation in Europe on the basis of palaeohydrological records. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 186, 47–59.
- Magny, M., de Beaulieu, J.-L., Drescher-Schneider, R., Vannière, B., Walter-Simonnet, A.-V., Miras, Y., Millet, L., Bossuet, G., Peyron, O., Brugiapaglia, E., Leroux, A., 2007. Holocene climate changes in the central Mediterranean as recorded by lake-level fluctuations at Lake Accesa (Tuscany, Italy). Quat. Sci. Rev. 26:1736–1758. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.04.014>.
- 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., Vannière, B., Wagner, B., Zanchetta, G., Anselmetti, F., Brugiapaglia, E., Chapron, E., Debret, M., Desmet, M., Didier, J., Essallami, L., Galop, D., Gilli, A., Haas, J.N., 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. Clim. Past 9:2043–2071. <http://dx.doi.org/10.5194/cp-9-2043-2013>.
- Marriner, N., Gambin, T., Djamali, M., Morhange, C., Spiteri, M., 2012. Geoaerchaeology of the Burmarad ria and early Holocene human impacts in western Malta. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 339–341:52–65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.04.022>.
- Marco-Barba, J., Holmes, J.A., Mesquita-Joanes, F., Rosa Miracle, M., 2013. The influence of climate and sea-level change on the Holocene evolution of a Mediterranean coastal lagoon: evidence from ostracod palaeoecology and geochemistry. Geobios 46: 409–421. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geobios.2013.05.003>.
- Médail, F., Ponel, P., Brousset, L., Poher, Y., Master SET SBEM students (Aix Marseille University), 2014. Contributions à l'inventaire de la biodiversité terrestre de l'île de Cavallo (Archipel Lavezzi, Bonifacio, Corse du Sud). Note naturaliste, Initiative pour les Petites Îles de Méditerranée (PIM). (www.initiative-pim.org/document/55542).
- Médail, F., Ponel, P., Rivière, V., Master SET SBEM students (Aix Marseille University), 2015. Contributions à l'inventaire des arthropodes terrestres et aquatiques sur l'île de Cavallo (Archipel Lavezzi, Bonifacio, Corse du Sud). Note naturaliste, Initiative pour les Petites Îles de Méditerranée (PIM) (www.initiative-pim.org/document/79864).
- Météo-France, 2010. Données météorologiques de la station de Bonifacio de 1981–2010 (www.meteofrance.com/climat/france/cap-pertusato/20041001/normales).
- Mieth, A., Bork, H.-R., 2010. Humans, climate or introduced rats – which is to blame for the woodland destruction on prehistoric Rapa Nui (Easter Island)? J. Archaeol. Sci. 37:417–426. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2009.10.006>.
- Millán, A., Hermando, C., Aguilera, P., Castro, A., Ribera, I., 2005. Los coleópteros acuáticos y semiacuáticos de Doñana: reconocimiento de su biodiversidad y prioridades de conservación. Bol. Soc. Entomol. Aragonesa 36, 157–164.
- Montes, C., Soler, A.G., 1985. *Canthyrus diophthalmus* (Reiche and Saulcy, 1855), nuevo Noterinae para el continente euro (Col. Dytiscidae). In: Arbocco, G., Capocaccia, L. (Eds.), Annali del Museo Civico di Storia Naturale “Giacomo Doria” vol. 85. Monotipia Eredi, Genova, pp. 187–199.
- Morhange, C., Laborel, J., Hesnard, A., Prone, A., 1996. Variation of relative mean sea level during the last 4000 years on the northern shores of the Lacydon, the ancient harbor of Marseilles. J. Coast. Res. 12, 841–849.
- Morhange, C., Laborel, J., Hesnard, A., 2001. Changes of relative sea level during the past 5000 years in the ancient harbor of Marseilles, Southern France. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 166, 319–329.
- Nogué, S., de Nascimento, L., Fernández-Palacios, J.M., Whittaker, R.J., Willis, K.J., 2013. The ancient forests of La Gomera, Canary Islands, and their sensitivity to environmental change. J. Ecol. 1–11. <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2745.12051>.
- Noti, R., van Leeuwen, J.F.N., Colombaroli, D., Vescovi, E., Pasta, S., La Mantia, T., Tinner, W., 2009. Mid- and late-Holocene vegetation and fire history at Biviere di Gela, a coastal lake in southern Sicily, Italy. Veg. Hist. Archaeobotany 18:371–387. <http://dx.doi.org/10.1007/s00334-009-0211-0>.
- Orousset, J., 1995. La faune des Coléoptères des îles Lavezzi (résumé de la conférence du 3 janvier 1994). Bull. de l'A.C.O.REP.P. 22, 9–13.
- Orousset, J., 2007a. Contribution à l'inventaire des Coléoptères de l'archipel des Lavezzi (Corse). Liste actualisée. Le Coléoptériste 10, 23–43.
- Orousset, J., 2007b. Coléoptères hypogés de Corse. XXXIV. La faune de l'archipel des Lavezzi. Bull. Soc. Entomol. Fr. 112, 413–426.
- Paradis, G., O'Deye-Guizien, K., Piazza, C., 2013. Etude floristique, phytosociologique et cartographique des zones humides de Saleccia (Agiate, Corse). J. Bot. Soc. Bot. France 63, 15–24.
- Paulian, R., Baraud, J., 1982. Faune des Coléoptères de France, vol. 2. Lucanoidea et Scarabaeoidea. Encyclopédie Entomologique 43. Editions Lechevalier S.A.R.L., Paris.
- Pavlopoulos, K., Triantaphyllou, M., Karkanias, P., Kouli, K., Syrides, G., Vouvalidis, K., Palyvos, N., Tsourou, T., 2010. Palaeoenvironmental evolution and prehistoric human environment, in the embayment of Palamari (Skyros Island, Greece) during Middle-Late Holocene. Quat. Int. 216:41–53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2009.08.015>.
- Pêche-Quilichini, K., Bertocco, G., 2009. Bonifacio et l'extrême sud de la Corse (2000 av. J.-C./500 ap. J.-C.): un littoral marginal ouvert vers l'extérieur? Archéologie des rivages méditerranéens: 50 ans de recherche, pp. 131–136 (Oct 2009, Arles, France. Errance, Paris).
- Peltier, W.R., 2004. Global glacial isostasy and the surface of the ice-age Earth: the ICE-5G (VM2) model and GRACE. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 32:111–149. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.earth.32.082503.144359>.
- Pirazzoli, P.A., 2005. A review of possible eustatic, isostatic and tectonic contributions in eight late-Holocene relative sea-level histories from the Mediterranean area. Quat. Sci. Rev. 24:1989–2001. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.06.026>.
- Ponel, P., 1995. Rissian, Eemian and Würmian Coleoptera assemblages from La Grande Pile (Vosges, France). Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 114, 1–41.
- Ponel, P., de Beaulieu, J.-L., Tobolski, K., 1992. Holocene palaeoenvironments at the timberline in the Taillefer Massif, French Alps: a study of pollen, plant macrofossils and fossil insects. The Holocene 2, 117–130.
- Ponel, P., Richoux, P., 1997. Difficultés d'interprétations des assemblages de coléoptères fossiles quaternaires en milieu d'altitude. Geobios 21, 213–219.
- Ponel, P., Mattern, V., Coulthard, N., Yvinec, J.-H., 2000. La Tène and Gallo-roman natural environments and human impact at the Touffréville rural settlement, reconstructed from coleoptera and plant macroremains (Calvados, France). J. Archaeol. Sci. 27: 1055–1072. <http://dx.doi.org/10.1006/jasc.1999.0514>.
- Ponel, P., Andrieu-Ponel, V., Parchoux, F., Juhasz, I., de Beaulieu, J.-L., 2001. Late-glacial and Holocene high-altitude environmental changes in Vallée des Merveilles (Alpes-Maritimes, France): insect evidence. J. Quat. Sci. 16:795–812. <http://dx.doi.org/10.1002/jqs.634>.
- Ponel, P., Gandouin, E., Coope, G.R., Andrieu-Ponel, V., Guiter, F., Van Vliet-Lanoë, B., Franquet, E., Brocandel, M., Brulhet, J., 2007. Insect evidence for environmental and climate changes from Younger Dryas to Sub-Boreal in a river floodplain at St-Momelin (St-Omer basin, northern France), Coleoptera and Trichoptera. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 245:483–504. <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.09.005>.
- Ponel, P., Court-Picon, M., Badura, M., Guiter, F., de Beaulieu, J.-L., Andrieu-Ponel, V., Djamali, M., Leydet, M., Gandouin, E., Buttler, A., 2011. Holocene history of Lac des Lauzons (2180 m a.s.l.), reconstructed from multiproxy analyses of Coleoptera, plant macroremains and pollen (Hautes-Alpes, France). The Holocene 21:565–582. <http://dx.doi.org/10.1177/0959683610385725>.
- Ponel, P., Andrieu-Ponel, V., Bouiron, M., 2014. Vegetation and landscape from 14th to 17th century AD in Marseille city centre, reconstructed from insect and pollen assemblages. Quat. Int. 341:152–171. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2014.04.034>.
- Prebble, M., Wilmshurst, J.M., 2009. Detecting the initial impact of humans and introduced species on island environments in Remote Oceania using palaeoecology. Biol. Invasions 11:1529–1556. <http://dx.doi.org/10.1007/s10530-008-9405-0>.
- Press, J.R., Short, M.J., 1994. Flora of Madeira. The Natural History Museum, London.
- Development Core Team, 2011. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.
- Reille, M., 1975. Contribution pollenanalytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation de la montagne corse. (Thèse de Doctorat). Université d'Aix-Marseille III, France.
- Reille, M., 1977. Analyse pollinique de la tourbière du plateau d'Ovace (montagne de Cagna, Corse). Ecol. Mediterr. 3, 159–166.
- Reille, M., 1984. Origine de la végétation actuelle de la Corse sud-orientale; analyse pollinique de cinq marais côtiers. Pollen Spores 26, 43–60.
- Reille, M., 1988a. Analyse pollinique des premières carottes sous-lacustres de lac de haute altitude en Corse. Compte rendu de l'Académie des Sciences de Paris 306, 617–620.
- Reille, M., 1988b. Recherches pollenanalytiques Sur le littoral occidental de Corse, région de Galéria: la place naturelle de *Erica arborea* et de *Quercus ilex*. Trav. Sci. du Parc Nat. régional des Réserves Nat. Corse 18, 53–75.
- Reille, M., 1988c. Recherches pollenanalytiques dans le cap Corse: analyse pollinique du marais de Barcaggio. Trav. Sci. du Parc Nat. régional des Réserves Nat. Corse 18, 77–92.
- Reille, M., 1992a. New pollen-analytical researches in Corsica: the problem of *Quercus ilex* L. and *Erica arborea* L., the origin of *Pinus halepensis* Miller forests. New Phytol. 122, 359–378.
- Reille, M., 1992b. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille.
- Reille, M., Gamisans, J., de Beaulieu, J.-L., Andrieu, V., 1997. The late-glacial at Lac de Creno (Corsica, France): a key site in the western Mediterranean basin. New Phytol. 135, 547–559.
- Reille, M., Gamisans, J., Andrieu-Ponel, V., de Beaulieu, J.-L., 1999. The Holocene at Lac de Creno, Corsica, France: a key site for the whole island. New Phytol. 141, 291–307.
- Roberts, N., Stevenson, A.C., Davis, B., Cheddadi, R., Brewer, S., Rosen, A., 2004. Holocene climate, environment and cultural change in the circum-Mediterranean region. In: Battarbee, R.W., Gasse, F., Stickley, C. (Eds.), Past Climate Variability through Europe and Africa. Kluwer, Dordrecht, pp. 343–362.
- Rungs, C., 1991. Eléments pour servir à l'établissement d'un inventaire des espèces d'Arthropodes terrestres présentes dans les Réserves naturelles des îles Cerbicales et des îles Lavezzi (Corse-du-Sud). Trav. Sci. du Parc Nat. régional des Réserves Nat. Corse 32, 69–92.
- Sadori, L., Ortu, E., Peyron, O., Zanchetta, G., Vannière, B., Desmet, M., Magny, M., 2013. The last 7 millennia of vegetation and climate changes at Lago di Pergusa (central Sicily, Italy). Clim. Past 9:1969–1984. <http://dx.doi.org/10.5194/cp-9-1969-2013>.
- Saint-Claire Deville, J., 1914. Catalogue critique des coléoptères de la Corse. Imprimerie Adeline, G. Poisson et Cie, Successeurs, Caen.
- Serpelloni, E., Anzidei, M., Baldi, P., Casula, G., Galvani, A., 2005. Crustal velocity and strain-rate fields in Italy and surrounding regions: new results from the analysis of permanent and non-permanent GPS networks. Geophys. J. Int. 161:861–880. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02618.x>.

- Simmonds, N.W., 1945. *Polygonum persicaria* L. J. Ecol. 33, 121–131.
- Smith, C.S., Barko, J.W., 1990. Ecology of Eurasian Watermilofoil. J. Aquat. Plant Manag. 28, 55–64.
- Smith, D., Whitehouse, N., Bunting, M.J., Chapman, H., 2010. Can we characterise 'openness' in the Holocene palaeoenvironmental record? Modern analogue studies of insect faunas and pollen spectra from Dunham Massey deer park and Epping Forest, England. The Holocene 20:215–229. <http://dx.doi.org/10.1177/0959683609350392>.
- Smith, D., Nayyar, K., Schreve, D., Thomas, R., Whitehouse, N., 2014. Can dung beetles from the palaeoecological and archaeological record indicate herd concentration and the identity of herbivores? Quat. Int. 341:119–130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2013.11.032>.
- Smith, S.G., 1986. Cattails (*Typha*): interspecific ecological differences and problems of identification. Lake Reservoir Manage. 2, 357–362.
- Soldati, F., Coache, A., 2005. Faunistique des Coléoptères Tenebrionidae de Corse, résultats d'une deuxième campagne de prospections. Bull. Soc. Linn. Bordeaux 33, 79–98.
- Stewart, H., Miao, S.L., Colbert, M., Carraher Jr., C.E., 1997. Seed germination of two cattail (*Typha*) species as a function of Everglades nutrient levels. Wetlands 17, 116–122.
- Tessier, L., de Beaulieu, J.L., Couteaux, M., Edouard, J.L., Ponel, P., Rolando, C., Thion, M., Thomas, A., Tobolski, K., 1993. Holocene palaeoenvironments at the timberline in the French Alps – a multidisciplinary approach. Boreas 22, 244–254.
- Thérond, J., 1975. Catalogue des Coléoptères de la Camargue et du Gard, 1ère partie. Société d'étude des Sciences Naturelles de Nîmes, Nîmes.
- Thibault, J.-C., Delaugerre, M., Cheylan, G., Guyot, I., Miniconi, R., 1987. Les vertébrés terrestres non domestiques des îles Lavezzi (Sud de la Corse). Bull. mens. Soc. Linn. Lyon 56, 73–152.
- Tiberghien, G., Canard, A., Rollard, C., Ysnel, F., 1993. Invertébrés du Parc naturel régional de Corse: Des richesses à inventorier (seconde partie) – Les Réserves de Scandola, Lavezzi et Cerbicale. Insectes 91, 23–27.
- Tinner, W., van Leeuwen, J.F.N., Colombaroli, D., Vescovi, E., van der Knaap, W.O., Henne, P.D., Pasta, S., D'Angelo, S., La Manti, T., 2009. Holocene environmental and climatic changes at Gorgo Basso, a coastal lake in southern Sicily. Italy. Quat. Sci. Rev. 28: 1498–1510. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.02.001>.
- Triat, H., 1971. Contributions à l'étude de la dispersion pollinique de Tamaris. Ann. Univ. Provence 46, 151–154.
- Tronquet, M., 2014. Catalogue des Coléoptères de France. Association Roussillonnaise d'Entomologie éd, Perpignan.
- Ucchesu, M., Peña-Chocarro, L., Sabato, D., Tanda, G., 2015. Bronze Age subsistence in Sardinia, Italy: cultivated plants and wild resources. Veg. Hist. Archaeobotany 24: 343–355. <http://dx.doi.org/10.1007/s00334-014-0470-2>.
- Vacchi, M., Ghilardi, M., Spada, G., Currás, A., Robresco, S., 2016a. New insights into the sea-level evolution in Corsica (NW Mediterranean) since the late Neolithic. J. Archaeol. Sci. Rep. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.07.006>.
- Vacchi, M., Marriner, N., Morhange, C., Spada, G., Fontana, A., Rovere, A., 2016b. Multiproxy assessment of Holocene relative sea-level changes in the western Mediterranean: sea-level variability and improvements in the definition of the isostatic signal. Earth-Science Rev. 155:172–197. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.02.002>.
- Van Andel, T., 1989. Late Quaternary sea-level changes and archaeology. Antiquity 63: 733–745. <http://dx.doi.org/10.1017/S0003598X00076869>.
- Van Geel, B., 2001. Non-pollen palynomorphs. In: Smol, J.P., Birks, H.J.B., Last, W.M. (Eds.), Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators III. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 99–119.
- Vannièrè, B., Power, M.J., Roberts, N., Tinner, W., Carrión, J., Magny, M., Bartlein, P., Colombaroli, D., Daniau, A.L., Finsinger, W., Gil-Romera, G., Kaltenrieder, P., Pini, R., Sadori, L., Turner, R., Valsecchi, V., Vescovi, E., 2011. Circum-Mediterranean fire activity and climate changes during the mid-Holocene environmental transition (8500–2500 cal. BP). The Holocene 21:53–73. <http://dx.doi.org/10.1177/0959683610384164>.
- Vella, C., Provansal, M., 2000. Relative sea-level rise and neotectonic events during the last 6500 yr on the southern eastern Rhône delta, France. Mar. Geol. 170, 27–39.
- Vigne, J.-D., 1984. Premières données sur les débuts de l'élevage du Mouton, de la Chèvre et du Porc dans le sud de la Corse (France). In: Clutton-Brock, J., Grigson, C. (Eds.), Animals and Archaeology, 3 – Early Herders and Their Flocks. Archaeopress (BAR International Series, 202), Oxford, pp. 47–65.
- Vigne, J.-D., 1990. Biogeographical history of the mammals on Corsica (and Sardinia) since the final Pleistocene. In: Azzaroli, A. (Ed.), Biogeographical Aspects of Insularity. Academia Nazionale dei Lincei, Rome, pp. 370–392.
- Vigne, J.-D., 1992. Zooarchaeology and the biogeographical history of the mammals of Corsica and Sardinia since the last ice age. Mammal Rev. 22, 87–96.
- Vigne, J.-D., 1994. L'île Lavezzi, hommes, animaux, archéologie et marginalité (XIIIe-XXe siècles, Bonifacio, Corse). CNRS Edition (Monographies du CRA, 13), Paris.
- Vigne, J.-D., 2014. The origins of mammals on the Mediterranean islands as an indicator of early voyaging. Eurasian Prehistory 10, 45–56.
- Vigne, J.-D., Desse-Berset, N., 1995. The exploitation of animal resources in the Mediterranean islands during the Preneolithic: the example of Corsica. In: Fisher, A. (Ed.), Man and Sea in the Mesolithic (Oxbow Monograph, 53). Oxbow books, Oxford, pp. 309–318.
- Vigne, J.-D., Valladas, H., 1996. Small mammal fossil assemblages as indicators of environmental change in northern Corsica during the last 2500 years. J. Archaeol. Sci. 23, 199–215.
- Vigne, J.-D., Bourdillat, V., André, J., Brochier, J.-E., Mai, B.T., Ciusin, J., David, H., Desse-Berset, N., Heinz, C., de Lanfranchi, F., Ruas, M.-P., Thiébaud, S., Tozzi, C., 1998. Nouvelles données sur le Prénéolithique corse: premiers résultats de la fouille de l'abri du Monte Leone (Bonifacio, Corse-du-Sud). In: D'Anna, A., Binder, D. (Eds.), Production et identité culturelle. APDCA, Antibes, pp. 251–260 (Actualité de la recherche).
- Vigne, J.-D., Guilaine, J., Debue, K., Haye, L., Gérard, P., 2004. Early taming of the cat in Cyprus. Science 304, 259.
- Walsh, K., 2014. The Archaeology of Mediterranean Landscapes, Human-Environment Interaction from the Neolithic to the Roman Period. Cambridge University Press, Cambridge.
- Weigelt, P., Steinbauer, M.J., Cabral, J.S., Kreft, H., 2016. Late quaternary climate change shapes island biodiversity. Nature 00:1–15. <http://dx.doi.org/10.1038/nature17443>.
- Whittaker, R.J., Fernández-Palacios, J.M., 2007. Island Biogeography: Ecology, Evolution, and Conservation. second ed. Oxford University Press, Oxford.
- Wilmshurst, J.M., Moar, N.T., Wood, J.R., Bellingham, P.J., Findlater, A.M., Robinson, J.J., Stone, C., 2013. Use of pollen and ancient DNA as conservation baselines for Offshore Islands in New Zealand. Conserv. Biol. 00:1–11. <http://dx.doi.org/10.1111/cobi.12150>.
- Yll, E.-I., Perez-Obiol, R., Pantaleon-Cano, J., Roure, J.M., 1997. Palynological evidence for climatic change and human activity during the Holocene on Minorca (Balearic Islands). Quat. Res. 48, 339–347.
- Zeder, M.A., 2008. Domestication and early agriculture in the Mediterranean Basin: origins, diffusion, and impact. PNAS 105:11597–11604. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0801317105>.
- Zohary, D., Hopf, M., 2000. Domestication of Plants in the Old World. third ed. Oxford University Press, New York.

III. Conclusion

Les sédiments préservés dans l'étang littoral du Greco se sont révélés être une archive précieuse pour reconstruire les changements dans les écosystèmes de l'île Cavallo depuis 7000 ans. L'étude multiproxy a montré que cette petite île de Méditerranée a connu une histoire environnementale contrastée avec une période forestière dominée par *Erica arborea* (avant 6100 cal. BP) et une longue période asylvatique depuis les 4700 dernières années.

Les données polliniques et la faune de coléoptères xylophages sont les premiers témoins de la modification irréversible qui a eu lieu sur l'île puisqu'ils traduisent la dégradation de la couverture forestière à partir de 6100 cal. BP. Ce changement majeur fait suite à du pâturage animal pouvant correspondre à des activités humaines du Néolithique moyen. Il est également concomitant d'une extension du figuier entre 6100-5750 cal. BP, probablement en réponse à la dégradation de l'écosystème terrestre. Il s'agit d'une nouveauté dans l'histoire de la végétation de la Corse qui mériterait d'être recherchée ailleurs sur l'île et en Méditerranée afin de mieux comprendre l'histoire biogéographique de cet arbre (voir Khadari et al. 2005). Si en Corse et sur d'autres grandes îles de Méditerranée, *Quercus ilex* connaît une expansion régionale à partir de 5500 cal. BP attribuée au climat par certains auteurs, les dynamiques de végétation de l'île Cavallo n'enregistrent rien de tel. Au contraire, l'intensification des activités agro-pastorales depuis 4700 ans durant le Chalcolithique, l'âge du Fer, la période romaine et l'époque moderne apparaît déterminante pour expliquer la persistance d'un maquis méditerranéen thermophile et la structure actuelle de la végétation de l'île Cavallo.

Ainsi, il semblerait que les caractéristiques de l'île (petite taille, faible élévation, végétation entièrement incluse dans le bioclimat thermoméditerranéen) induisent une sensibilité accrue de ses écosystèmes vis-à-vis des activités humaines. Mais outre l'effet de l'homme sur le compartiment terrestre, des changements d'abondance des communautés d'insectes aquatiques et leur appauvrissement à partir de 3700 cal. BP ont été identifiés, probablement en lien avec des variations des conditions de salinité dans l'étang du Greco. Il est donc probable que si l'homme a joué un rôle majeur dans la dynamique de végétation de cette petite île de Méditerranée, la remontée relative du niveau marin a pu constituer un facteur très significatif dans la structure de la biodiversité des zones humides de l'île.

L'île Cavallo offre donc une opportunité d'identifier les effets de la montée relative du niveau marin sur la biodiversité et la structure des écosystèmes côtiers à long terme. Ceci constitue un enjeu majeur dans le contexte du changement climatique actuel, notamment pour mieux anticiper ses conséquences sur les zones humides littorales et ainsi proposer des mesures de conservation adaptées. Le **Chapitre III** se propose d'aborder cette délicate problématique du point de vue de la conservation et de la biodiversité.

Chapitre III : Changement passé du niveau marin et impact sur la biodiversité littorale

I. Introduction

La biodiversité des écosystèmes littoraux est menacée par la remontée du niveau marin, une conséquence du changement global. En région méditerranéenne, où une remontée du niveau marin de 9,8-25,6 cm est attendue d'ici 2050 (Galassi et Spada 2014), ce sont plus de 10 000 îles et îlots qui sont menacés, incluant des hotspots de la biodiversité. Face à ce constat, il y a un besoin urgent d'étudier la vulnérabilité de ces écosystèmes et leurs réponses à de tels événements afin d'assurer la conservation de la biodiversité des écosystèmes côtiers sur le long terme. Ceci est un enjeu d'autant plus grand que les pressions anthropogéniques qui pèsent sur ces milieux sont parfois importantes.

Pour répondre à cette problématique, l'utilisation d'un analogue passé est tout à fait appropriée. En effet, des précédentes estimations faites pour l'ouest du bassin méditerranéen, nous savons que le niveau relatif de la mer est passé d'environ -9 à -2 m NGF (nivellement général de la France) entre 7500 et 4000 cal. BP avant d'atteindre progressivement son niveau actuel (Vacchi et al. 2016). Ainsi, de nombreux environnements côtiers de Méditerranée ont expérimenté les effets d'une remontée du niveau marin. Dans le chapitre précédent, la reconstitution paléoenvironnementale nous a appris que les zones humides de l'île Cavallo ne font pas exception puisque les communautés végétales et d'insectes qui les peuplaient ont été influencées par la transgression holocène. Cette île peut donc être considérée comme un modèle pour comprendre quels pourront être les impacts d'une hausse du niveau marin sur la biodiversité des écosystèmes côtiers. Ainsi, dans le **Chapitre III**, nous avons adapté les protocoles dédiés à l'analyse des assemblages d'espèces et à l'analyse de la biodiversité pour comparer les faunes d'insectes présentes actuellement sur l'île Cavallo avec celles enregistrées à l'état fossile. Les changements de biodiversité observés ont été confrontés aux données glacio-hydro-isostatiques disponibles pour la Corse et le sud de la France. Grâce à cette approche nous pourrions estimer les conséquences d'une remontée du niveau marin passée sur la biodiversité et proposer des mesures de conservation afin de mieux anticiper les changements à venir.

La démarche méthodologique et les résultats obtenus sont présentés dans l'**article 2** paru en février 2017 dans la revue internationale *Biodiversity and Conservation* et intitulé « Erosion of insect diversity in response to 7000 years of relative sea-level rise on a small Mediterranean island ».

II. Érosion de la diversité entomologique en réponse à 7000 ans de montée relative du niveau marin sur une petite île de Méditerranée – Article 2

Erosion of insect diversity in response to 7000 years of relative sea-level rise on a small Mediterranean island

Yoann Poher¹ · Philippe Ponel¹ · Frédéric Guiter¹ · Valérie Andrieu-Ponel¹ · Frédéric Médail¹

Received: 22 June 2016 / Revised: 25 January 2017 / Accepted: 10 February 2017
© Springer Science+Business Media Dordrecht 2017

Abstract We have investigated the potential effects of global sea-level rise on Mediterranean coastal wetlands by studying the Coleoptera and pollen fossil remains in a 7000-year sedimentary record, which we obtained from a coastal marshy area on a small Mediterranean island (Cavallo, southern Corsica). Using beetle structural diversity and plant composition as recorded prior to marine and human influences as a ‘past analogue’, we reconstructed the impact of the Holocene relative sea-level rise on the coastal ecosystem. Our results show that beetle species richness and diversity were highest when freshwater was predominant, which was the case until about 6200 years ago. We also found that a major increase in salinity had occurred over the last 5300 years, experiencing a peak rate of increase at about 3700 years ago. These changes are clearly reflected in the fossil records of the following key taxa: halophilous beetles (*Ochthebius* sp., *Pterostichus cursor*), halophilous plants (Chenopodiaceae, *Tamarix*) and non-pollen palynomorphs (microforaminiferal linings). In particular, we note that the majority (60%) of wetland beetle fauna became locally extinct in response to the salinity changes, and these changes were exacerbated by the recent aggravation of human pressures on the island. The major part of this diversity loss occurred 3700 years ago, when the relative Mediterranean sea-level rose above -1.5 ± 0.3 meters. These findings demonstrate the value of fossil beetle assemblage analysis as a diagnostic for the response of coastal wetland biodiversity to past salinity increases, and serve as a means of forecasting the effects of sea-level rise in the future. The conservation of inland freshwater bodies could ultimately prove essential to preserving freshwater insect diversity in threatened coastal environments.

Keywords Fossil Coleoptera · Biodiversity · Island · Sea-level rise · Wetland

Communicated by Eckehard G. Brockerhoff.

Electronic supplementary material The online version of this article (doi:10.1007/s10531-017-1322-z) contains supplementary material, which is available to authorized users.

✉ Yoann Poher
yoann.poher@imbe.fr

¹ Aix Marseille Univ, Univ Avignon, CNRS, IRD, IMBE, Marseille, France

Introduction

Coastal ecosystems such as wetlands are major biodiversity hotspots. Despite being the subject of intense research, the full extent to which these fragile environments are vulnerable to future global sea-level rise remains poorly understood. Mediterranean coastal wetlands are particularly challenging to study because they are subject to threats from human activities and land-use changes (Beltrame et al. 2012) in addition to relative sea-level rise (RSLR) induced by current climate warming. RSLR is particularly damaging because it can lead to the intensification of coastal erosion and to the submersion of low elevation islands and coastal wetlands (Nicholls et al. 2016; Wong et al. 2014).

Fortunately, there are multiple methods by which these myriad effects can be teased apart and analysed. One approach is based on predictive global sea-level change models, and has been employed in recent studies to suggest that several oceanic island hotspots will likely suffer a great loss of terrestrial biodiversity (Bellard et al. 2013a, b; Courchamp et al. 2014). Although quite informative, such prospective studies do not consider local parameters (which may differ between islands) together with the 'historical background'. For this reason they should be thought of as providing more of a general idea rather than a highly detailed view of the situation.

A more nuanced perspective can be obtained using the alternate approach, which is to begin by reconstructing the ecosystem dynamics of Mediterranean wetlands in the distant past (Anderson et al. 2006; Magurran et al. 2010; Willis et al. 2010). However, this tends to be complicated by the fact that ecological monitoring records do not typically go back more than a few decades. Therefore, palaeoecological investigations on sedimentary archives, through multi-disciplinary approach, are the key to understanding how coastal ecosystems have responded to past RSLR. This knowledge can then be used to shed light on future RSLR scenarios (Woodroffe and Murray-Wallace 2012). This approach, though potentially quite effective, appears relatively infrequently in the body of literature dealing with the impact of past RSLR on the biodiversity of coastal wetlands (Virah-Sawmy et al. 2009).

In this paper we present a multi-proxy study, using beetles, pollen, sedimentology and radiometric dating to analyse a sedimentary profile from the small Corsican island of Cavallo (Lavezzi archipelago). We chose these particular proxies and this specific record because (1), fossil beetles and pollen are excellent markers of past environmental conditions and landscape dynamics, (2) Corsica has historically been the source of several paleoecological records and has a landscape whose Holocene history is relatively well known (e.g., Reille 1984, 1992), and (3) past RSLR is well documented in this part of the Mediterranean (Laborel et al. 1994; Lambeck and Purcell 2005; Morhange et al. 2001; Vacchi et al. 2016; Vella and Provansal 2000).

The overall aim of the present study is to (1) reconstruct past ecosystem dynamics and past Coleoptera diversity changes in relation to Holocene sea-level rise, (2) provide a 'past analogue' suitable for predicting the condition of the area by 2050 (Galassi and Spada 2014), and (3) propose strategies for insect conservation within the framework of future sea-level rise in the Mediterranean basin.

Materials and methods

Study site, sampling and chronology

Cavallo Island [N 41°22′06″/E 9°15′45″; area: 120 ha; maximal elevation: 32 meters above sea level (m.a.s.l.)] is a low-elevation island of the Lavezzi archipelago (Southern Corsica, France; Fig. 1a). The waters surrounding Cavallo are shallow, with depths rarely exceeding 10 m. A coastal retrudanal pond (Greco pond; 0.48 ha, 1 m.a.s.l.), located on the northern part of the island, was sampled using a Russian corer. A 340 cm length sediment profile (CAVA-1) was obtained. After description of its lithology, CAVA-1 was subsampled into seventy 5 cm-thick slices and 38 *circa* 2 cm³ subsamples respectively for coleopteran and pollen analyses.

Six AMS radiocarbon measurements were performed on bulk peat sediment samples (Poznan Radiocarbon Dating Laboratory, Poland). Ages were calibrated to calendar years before present (cal. yr B.P.; present fixed at 1950) and an interpolated age-depth model was created using the ‘CLAM’ R package (Blaauw 2010) from the R 2.13.2 software (R Development Core Team 2011) (Online Resources 1, 2). The fine sand layers intercalated in the peat profile (likely corresponding to instant aeolian deposits) were not taken into account in the age-depth modelling.

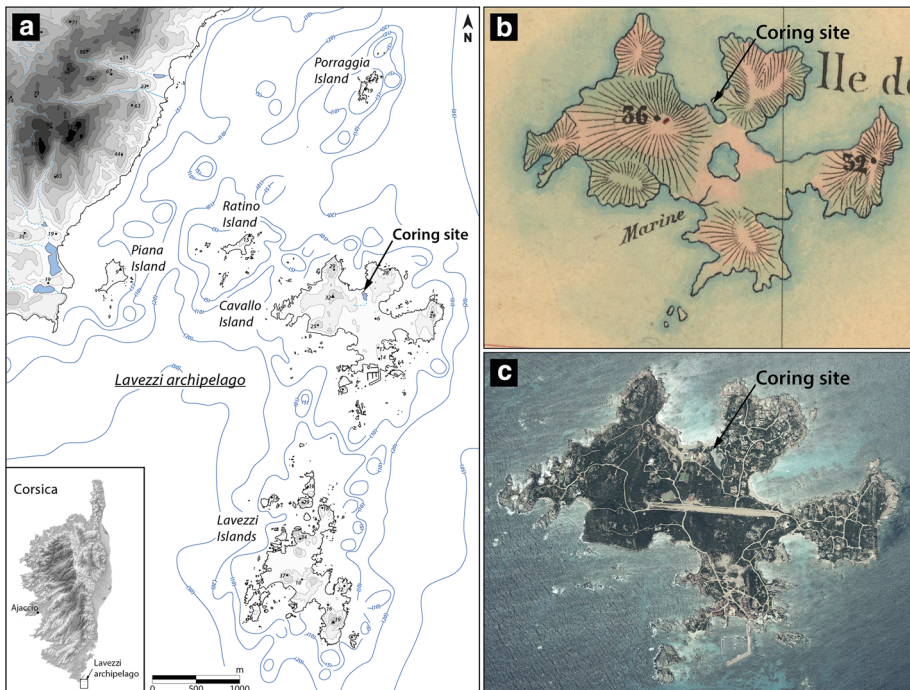


Fig. 1 a Location map of the Lavezzi archipelago (Southern Corsica, France), showing Cavallo Island; b IGN map from 1866 (<http://www.geoportail.gouv.fr>, SARTENE); c photo of Cavallo Island, taken in 2002 (<http://www.geoportail.gouv.fr>, aerial photography mission CP02000032_2002_fd2A2B250_0223, picture n°223)

Coleopteran fossil analysis

Fossil insects were extracted using the standard method (Coope 1986) and Coleoptera remains were identified by direct comparison with modern specimens from a reference collection (see Online Resource 3). The term ‘taxa’ refers to beetle fossils identified at any taxonomic rank (e.g., species, genus, family). The palaeoecological interpretation of the fossil assemblages is based on the species’ modern biological and geographical distribution derived from the literature available for the region (Balachowsky 1949; Caillol 1908; Coiffait 1984; Constantin and Liberti 2011; Delobel and Delobel 2003; Delobel and Tran 1993; Guignot 1947; Hoffman 1950, 1954, 1958; Jeannel 1941, 1942; Koch 1989a, b, 1992; Paulian and Baraud 1982; Saint-Claire Deville 1914; Soldati and Coache 2005; Thérond 1975; Tronquet 2014). These data were compared with the BugsCEP database (Buckland and Buckland 2006) which is a rich source of information on European beetle fauna. The nomenclature and taxonomic order are based on Tronquet (2014).

In order to provide a robust final dataset for supporting interpretations, a method derived from Poirier et al. (2010) was applied to the initial dataset (a 70 samples × 133 beetle taxa matrix, see Online Resource 4). The original method, which was initially used on mollusc death assemblages, was designed to obtain a statistically meaningful dataset of n stations × p species using selection criteria. Then the stations were classified into homogeneous groups according to the taxonomic composition of the death assemblages using hierarchical agglomerative cluster analysis. For the present study we employ the same approach and use it to investigate the taxonomic composition and temporal distribution

Table 1 Groups of Coleoptera according to their ecological affinities

Ecological groups	Ecological features and non-exhaustive beetle examples
Aquatic Coleoptera	Beetles living in standing and/or running water at some stage of their development (e.g., taxa belonging to the Dytiscidae or Hydrophilidae families) that can be halotolerant or not
Salt marsh/Salt land Coleoptera	Halotolerant aquatic beetles (e.g., <i>Hydrovatus cuspidatus</i>) or non-aquatic beetles living on salty land (e.g., <i>Bledius unicomis</i>)
Woodland and scrubland Coleoptera	Beetles living in forest or shrubby environments (e.g., <i>Scobicia chevrieri</i> , <i>Triodonta</i> cf. <i>cribellata</i>) that can be xylophagous or not
Sand dune Coleoptera	Psammophilous beetles adapted to sand biotope (e.g., <i>Catomus consentaneus</i> , <i>Platytomus laevistriatus</i>)
Driftwood-dependent Coleoptera	Beetles strictly associated with driftwood beached along the coastline (e.g., <i>Mesites pallidipennis</i> , <i>Pselactus spadix</i>)
Wetland and waterside Coleoptera	Non-aquatic beetles associated with wetlands and marshes (e.g., <i>Dryops</i> , <i>Phalacrus</i>). A few of these beetles were also halotolerant
Open environment Coleoptera	Beetles living in grasslands (e.g., <i>Bruchidius</i> , <i>Longitarsus</i>)
Decayed vegetable matter-dependent Coleoptera	Non-coprophilous beetles feeding or living in decayed vegetal matter (not presented on the Fig. 3a)
Coprophilous/coprophagous Coleoptera	Beetles feeding directly upon dung (e.g., <i>Caccobius schreberi</i> , <i>Onthophagus taurus</i>) or predatory, feeding upon small coprophagous organisms such as Diptera larvae (e.g., <i>Oxytelus piceus</i>). A few of these beetles were classed both in this group and that of open environment or woodland and scrubland Coleoptera
No information	In this category are lumped together taxa whose ecology is not sufficiently known and which do not provide any precise ecological information (not presented in Fig. 3a)

along the profile of Coleoptera fossil assemblages. Thus, samples and taxa that successively match the four following requirements were excluded: (1) taxa identified at family rank, (2), taxa that occurred in less than five samples, (3) taxa for which the sum of relative abundance did not exceed 1% and (4) samples devoid of fossil beetles. A final dataset of 68 samples \times 23 taxa consisting of the most abundant and widely represented beetles and the richest assemblages was obtained. Dissimilarity matrices, as parameterised by Bray-Curtis distances, were then compiled for both samples (Samples-matrix) and taxa (Taxa-matrix) using the 'rioja' R package (Juggins 2012). A stratigraphically-constrained cluster analysis was carried out on the Samples-matrix via the CONISS agglomeration method (Grimm 1987) to obtain significant insect fauna units (IFUs) and an unconstrained cluster analysis was performed on Taxa-matrix using the UPGMA (Unweighted Pair Group Method Average) method to obtain homogeneous ecological groups. The cross-comparison between the two clusters is given in Fig. 2. Entomological data are expressed in minimal number of individuals (MNI). Fossil beetles have been plotted in a simplified diagram (Fig. 3a, drawn with C2 software; Juggins 2007) according to ecological habitats (Table 1).

The specific richness, i.e., the total number of identified beetle taxa and the Shannon diversity index (Shannon and Weaver 1964) were calculated for each sample. We also calculated the Pielou's evenness index which is sensitive to the relative evenness of taxa in the samples (Pielou 1966). The value is minimal when one taxon dominates the fossil assemblage from one sample and maximal when all the taxa are present in equal abundance within the assemblage.

Pollen and non-pollen palynomorph analyses

Extraction of pollen fossils and non-pollen palynomorphs (NPP including spores, microforaminiferal linings and algae such as *Botryococcus* and *Spirogyra*) from the sediment follows the standard method (Faegri and Iversen 1989). Pollen and NPP counts were performed using a Leica microscope at \times 500 magnification oil immersion. Identifications were made with the standard atlases and keys (Beug 2004; Reille 1999; see Online Resource 5). A minimum of 300 pollen grains were counted, beyond this number, only new pollen types were counted. Aquatic and helophytic plants (*Alisma*, Cyperaceae, *Lotus*, *Myriophyllum* type *spicatum*, *Myriophyllum* type *alterniflorum*, *Nymphaea*, *Sparganium-Typha* type) and NPP were excluded of the total pollen sum. To facilitate the cross-comparison with insect data, some pollen and NPP have been merged into ecological categories (see Online Resource 6) and plotted in Fig. 3a.

Past Relative sea-level framework

A recent review based on 917 relative sea-level data-points provides a detailed Holocene relative sea-level framework for the western Mediterranean (Vacchi et al. 2016), which made it possible to re-evaluate relative sea-level data published for southeastern France (Laborel et al. 1994; Morhange et al. 2001; Vella and Provansal 2000) and for Corsica (Laborel et al. 1994). These corrected data were plotted on Fig. 3b and compared to the predictive model of sea-level on the French Mediterranean coast from Lambeck and Purcell (2005).

Results

Lithology

Sediment profile CAVA-1 is composed of two sedimentary units both interspersed with marine sandy layers (see Online Resource 2). Between 490 and 266 cm, the sediment consists of homogenous fine peat. Fine sandy peat is found deposited between 262 and 160 cm. It must be noted that the curves of total MNI and of Coleoptera specific richness show a similar trend throughout the record (Fig. 3a), which raises the question of preservation and taphonomy. This point will be addressed again later.

Beetle assemblages and diversity

From a total of 2039 arthropod fossils belonging to 144 taxa, 133 Coleoptera taxa were identified (see Online Resource 4). Thirty-nine percent of them were identified down to the species level, 48% to the genus and 13% to a higher taxonomic level. The fossil beetles were dominated by aquatics (35 taxa), by hygrophilous (32 taxa) and then by open environment and woodland/scrubland-dependent beetles (both 13 taxa). The richness varies from 0 to 29 taxa in all samples (11 taxa in average) and in terms of abundance, each taxa is represented by 1–173 individuals along the sediment core (8 individuals on average). Curves of specific richness and of Shannon diversity index have a similar trend since number of taxa and heterogeneity of the diversity are positively correlated ($r = 0.8929$; $P < 0.00001$; $n = 70$). The Pielou's evenness index suggests that the less diversified samples are also those whose taxa have an equal abundance within the assemblage (Fig. 3a).

The constrained cluster analyses sorted samples into four insect fauna units (Fig. 2). The three basal insect fauna units (IFU_1 to IFU_3) correspond to the lower sedimentary

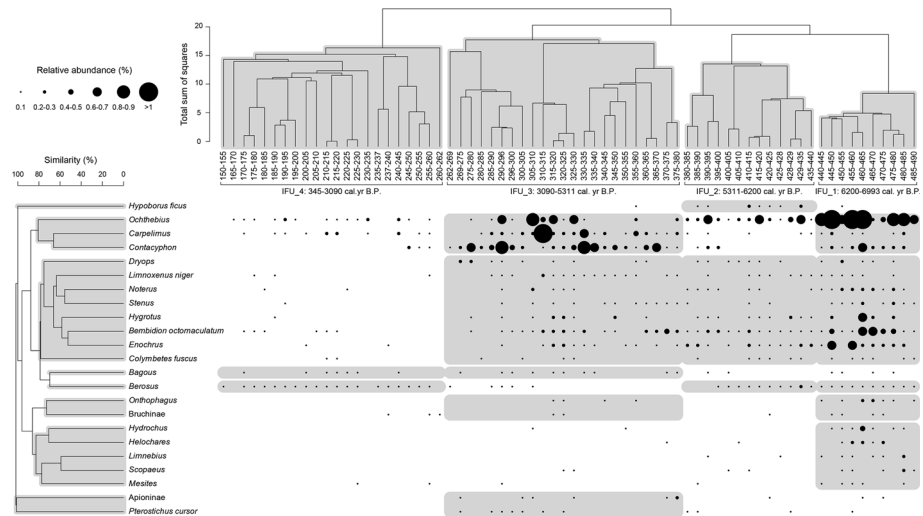


Fig. 2 Constrained hierarchical cluster analysis and unconstrained cluster analysis performed respectively on samples-matrix with the Bray-Curtis distance method and on the Taxa-matrix with the UPGMA aggregation method: grey-shaded areas indicate clusters of beetle groups

unit (homogenous peat) and IFU 4 corresponds to the upper sedimentary unit (sandy peat). The unconstrained cluster analysis performed on Taxa-matrix allowed us to define eight main beetle assemblages (Fig. 2) detailed in Table 2. The comparison between the two cluster approaches makes it possible to characterise the temporal distribution of each taxa within the eight main beetle assemblages for each IFU. The three aquatic or semi-aquatic taxa of the ‘*Ochthebius* assemblage’ are present in each IFU with high relative abundances in IFU_1 and IFU_3. The ‘*Bembidion octomaculatum* assemblage’ is the most diversified, since it encompasses three species and species-groups that are found at the water margin (*Dryops*, *Stenus*, *Bembidion octomaculatum*) and five aquatic beetles. All of these taxa are recorded together in IFU_1, IFU_2 and IFU_3 but the relative abundances are generally higher in the first. The two groups of taxa in the ‘*Onthophagus* assemblage’ (*Onthophagus* and Bruchinae) are recorded together only in IFU_1 and IFU_3. The specific composition of the ‘*Pterostichus cursor* assemblage’ is the most ecologically incoherent since it combines Apioninae taxa which are commonly found on herbaceous vegetation and *P. cursor*, a halotolerant hygrophilous beetle living on the margins of brackish water. These taxa were sporadically recorded but they were most frequent in IFU_3. The ‘*Hypoborus ficus*, *Bagous* and *Berosus* assemblages’ comprise a single taxon. Except for *H. ficus* (which is almost-exclusively recorded in IFU_2), *Bagous* and *Berosus* are more or less continuously recorded in every IFU.

History of the coastal wetland inferred from the pollen and beetle fossil assemblages

A total of 100 plant types belonging to 64 families and 14 NPP were identified via pollen analysis (see Online Resource 5). The most abundant pollen types of aquatic and hygrophilous plants were *Sparganium*/*Typha*, *Myriophyllum* type *spicatum*, *M.* type *alterniflorum*, *Radiola linearis* type, *Isoetes* and Cyperaceae. The description and interpretation of the coleopteran, pollen and NPP assemblages, presented in Fig. 3a, are described for each IFU.

Table 2 Coleopteran assemblages obtained by the unconstrained cluster analysis performed on Taxa-matrix (see Fig. 2)

Coleoptera assemblage	Taxa included and ecological features
<i>Hypoborus ficus</i> assemblage	<i>Hypoborus ficus</i> (saproxylous beetle digging galleries in the branches of <i>Ficus carica</i>)
<i>Ochthebius</i> assemblage	<i>Ochthebius</i> (aquatic genus where the majority of species are halophilous); <i>Contacyphon</i> (subaquatic); <i>Carpelimus</i> (wetland margin beetle)
<i>Bembidion octomaculatum</i> assemblage	<i>Dryops</i> ; <i>Stenus</i> ; <i>Bembidion octomaculatum</i> (3 dump ground beetles); <i>Limnoxenus niger</i> ; <i>Hygrotus</i> ; <i>Enochrus</i> (3 aquatic halotolerants); <i>Colymbetes fuscus</i> ; <i>Noterus</i> (2 ubiquitous aquatic beetles)
<i>Bagous</i> assemblage	<i>Bagous</i> (aquatic beetle of standing or slow-moving waters)
<i>Berosus</i> assemblage	<i>Berosus</i> (aquatic beetle of standing waters)
<i>Onthophagus</i> assemblage	<i>Onthophagus</i> (coprophilous beetle); <i>Bruchinae</i> (open ground beetle)
<i>Hydrochus</i> assemblage	<i>Hydrochus</i> ; <i>Helochares</i> ; <i>Limnebius</i> (3 dulcicolous aquatic beetles); <i>Scopaeus</i> (hygrophilous beetle); <i>Mesites</i> (drift-wood dependent beetle)
<i>Pterostichus cursor</i> assemblage	Apioninae (open-land beetle); <i>Pterostichus cursor</i> (halotolerant hygrophilous beetle)

IFU_1 (6993–6200 cal. yr B.P.)

Beetle diversity is maximal (up to 32 taxa per sample). Aquatic and hygrophilous beetles prevail (respectively 27 and 15 taxa) and some taxa of the ‘*Ochthebius*, *B. octomaculatum* and *Hydrochus* assemblages’ reach their highest relative abundances (Fig. 2). Wetland environment is indicated by freshwater plants (e.g. *Myriophyllum* type *spicatum*, *Radiola* type *linoides*) and dulcicolous beetles of the ‘*Hydrochus* assemblage’ (Figs. 2, 3a) suggesting that no marine influence has significantly disturbed the pond ecosystem during this period although salt marsh and salt land coleopteran are also well-represented in this IFU. These beetles probably indicate the presence of salty environments on Cavallo Island not far from the freshwater pond.

IFU_2 (6200–5311 cal. yr B.P.)

During this period, the relative abundances and MNI of aquatic and hygrophilous beetles decrease (respectively 24 and 12 taxa) while diversity remains high. The persistence of wetland taxa of the ‘*B. octomaculatum* assemblage’ indicates the persistence of freshwater conditions (Fig. 3a). Aquatic beetle diversity briefly decreases (disappearance and reduction in number of taxa belonging to the ‘*Hydrochus* and *Ochthebius* assemblages’) possibly caused by eutrophication of the pond, as this is suggested by an up to 13% increase in the salt-intolerant macrophyte *Myriophyllum spicatum*.

IFU_3 (5311–3090 cal. yr B.P.)

This unit is marked by an increase in microforaminiferal linings concentrations and regular occurrences of sand dune beetles, suggesting that the mire is subject to an increasing marine influence (Fig. 3a). Beginning around 4400 cal. yr B.P., the increase in groups of halotolerant beetles (e.g. *Pterostichus cursor* and specimens of the genus *Ochthebius*) and Chenopodiaceae (which probably are halophilous species) also indicates that salinity undoubtedly increased locally (Fig. 3a). Indeed, among the 8 Chenopods currently present on Cavallo Island (Médail et al. 2014), the majority of taxa are halophytes (i.e. *Atriplex halimus*, *Atriplex prostrata*, *Beta vulgaris* subsp. *maritime*, *Halimione portulacoides*, *Salicornia patula*, *Salsola kali* subsp. *tragus*), the others being halo-resistant (*Chenopodium album*) or non-native species recently introduced to the island (*Chenopodium ambrosioides*). The diversification of wetland beetle fauna (34 taxa) which occurs between 4600 and 4200 cal. yr B.P., simultaneously to the development of *Sparganium-Typha* (up to 66%) is followed by a collapse of these wetland beetle fauna (e.g. ‘*B. octomaculatum* assemblage’) from 3700 cal. yr B.P. coinciding with the maximal concentration of microforaminiferal linings. During this period, the pond is under a strong marine influence and salt water intrusions are probably occurring.

IFU_4 (3090–345 cal. yr B.P.)

This last unit is marked by the impoverishment of all ecological groups (38 taxa identified in the entire insect fauna unit). From 3100 cal. yr B.P., the increase of *Tamarix* frequencies (up to 23%) is concomitant with the decrease of microforaminiferal linings (Fig. 3a), suggesting that the formation of a sand-barrier might have disconnected the pond from marine input. This sand-barrier system (favourable for *Tamarix* development) probably

causes a modification of water circulation and creates mixed water sources beginning at 2000 cal. yr B.P., which allows for the persistence of ubiquitous (e.g., *Berosus*, *Bagous*) or halophilous aquatic beetles of the genus *Ochthebius* and the development of hygrophilous plants (Cyperaceae). At that time, the morphology of the Greco pond was probably comparable to its current state.

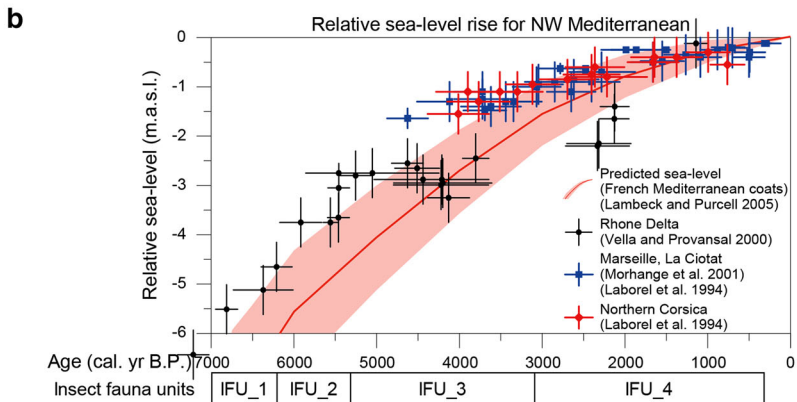
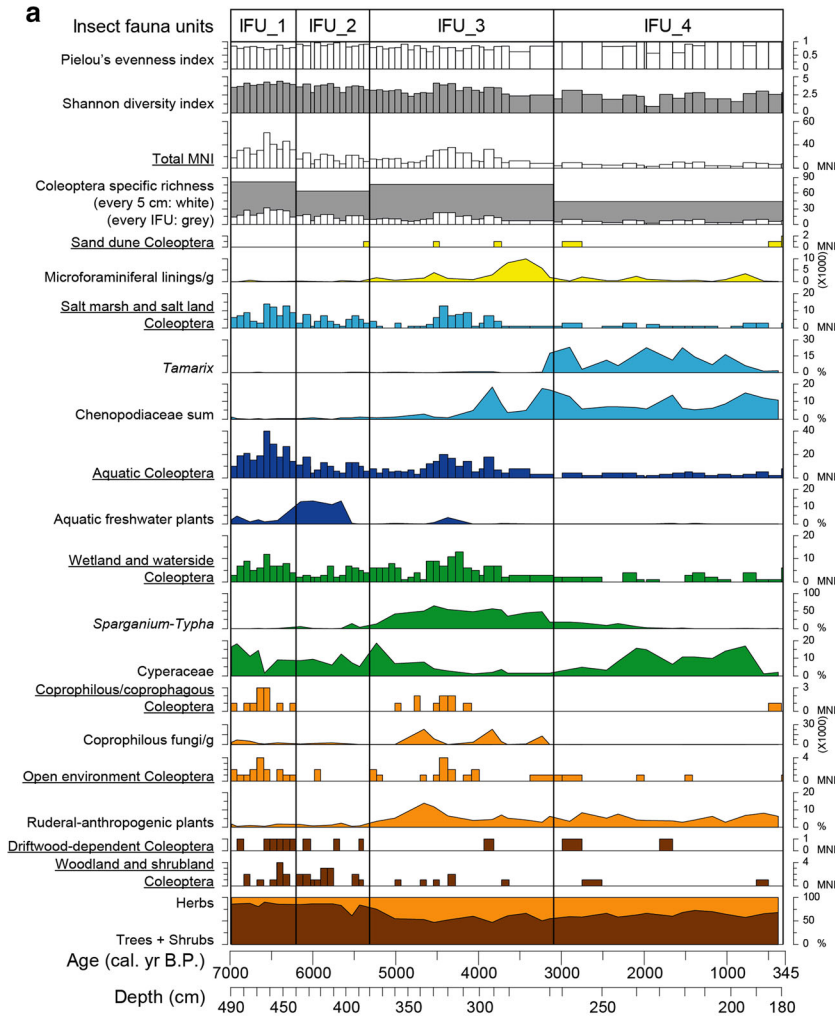
Past changes to the relative sea-level

Figure 3b is a compilation of data on RSLR available in the literature for the north-west Mediterranean basin and modified according to the last study by Vacchi et al. (2016). First, during the period encompassed by IFU_1, the relative sea-level is estimated as rising from -6.4 ± 0.5 to -4.7 ± 0.5 m.a.s.l. between ~ 7200 and 6200 cal. yr B.P. This level is reconstructed at -2.8 ± 0.5 m.a.s.l. at the end of IFU_2 (Vella and Provansal 2000) (Fig. 3b). Whereas the sea-level data for the Rhone Delta show a plateau between ~ 5000 and 4000 cal. yr B.P. (Vella and Provansal 2000), data from northern Corsica and La Ciotat indicate respectively a continuous rise until -1.6 ± 0.4 and -1.3 ± 0.4 m.a.s.l. at ~ 4000 cal. yr B.P. This suggests a rapid rise of about 5.1 m during IFU_1, IFU_2 and the first part of IFU_3. Finally, during IFU_4, the sea-level estimated from northern Corsica and southern France coasts indicates a rise of -1.0 ± 0.4 over the last ~ 3100 cal. yr B.P. (Laborel et al. 1994; Morhange et al. 2001). The pattern of RSLR indicates a significant decrease in rates of rise for the second part of IFU_3 and all of IFU_4. The last slowing of the marine transgression during IFU_4 is concomitant with the formation of a sand-barrier and the expansion of *Tamarix* (Figs. 3a, b).

Discussion

Beetle assemblages as bioindicators of salinity changes

In reconstructing sea-level variations along coastal marine environments, previous studies have focused on some bioindicator assemblages (e.g., foraminifera, ostracods, diatoms, molluscs). Our results suggest that wetland Coleoptera could represent excellent bioindicators of salinity changes because of their narrow ecological requirements. For example, in the North Sea coastal plain, the increase in number of halotolerant beetles is interpreted as being the result of increasing salinity from marine incursions (Ponel et al. 2007). On Cavallo Island, the record of three dulcicolous aquatic beetles from the ‘*Hydrochus* assemblage’ and the presence of salt-intolerant plants (*Myriophyllum* type *spicatum*) indicate that freshwater conditions prevailed until ~ 5500 cal. yr B.P. Following this, the composition of wetland beetle fauna suggests that until 3700 cal. yr B.P. the salinity rise caused by marine transgression may have resulted in the disappearance of several aquatic beetles (out of 35 fossil aquatic taxa, 94% of them are present in IFU_1 and IFU_2 and 54% are in IFU_3), whereas hygrophilous beetles were less impacted (out of a total of 32 hygrophilous beetles, 63% of them are present in IFU_1 and IFU_2 and 59% are in IFU_3) (Fig. 3a). Saltmarsh and salt land beetle diversity remains stable but the relative abundance of some halophilous taxa (*Pterostichus cursor*, *Ochthebius*) increases until 3700 cal. yr B.P., suggesting that this well-adapted fauna was able to find suitable salinity conditions (Fig. 2).



◀ **Fig. 3** **a** Selected ecological groups of beetles (*underlined letters*, in minimal number of individuals: MNI), pollen (percentage of the pollen calculation sum) and NPP (concentration of elements by grams) from Greco pond. Taxa included into ecological groups are given in Online Resources 4 and 6. **b** Relative sea-level curve in the NW Mediterranean Sea from observations in SE France (Laborel et al. 1994; Morhange et al. 2001; Vella and Provansal 2000), Corsica (Laborel et al. 1994) and from eustatic and glacio-hydro-isostatic model (Lambeck and Prucell 2005)

The Holocene relative sea-level rise as a driver of coastal wetland biodiversity?

The succession observed in the beetle assemblages fits well with the reconstruction of past RSLR based on several studies (Fig. 3b): during the period covered by IFU_1 and IFU_2, freshwater indicators are present while the sea-level is remains below -2.8 ± 0.5 m.a.s.l. (Vella and Provansal 2000). When the marine influence is at its maximum in IFU_3, relative sea-level is estimated at -1.5 ± 0.3 m.a.s.l. in southern France (Morhange et al. 2001, corrected by Vacchi et al. 2016) and estimates vary between -1.3 ± 0.4 and -1.1 ± 0.4 m.a.s.l., at respectively ~ 3800 and 3500 cal. yr B.P. in northern Corsica (Laborel et al. 1994, corrected by Vacchi et al. 2016) (see Fig. 3b). After 3700 cal. yr B.P., only 31% of all aquatic taxa, 38% of all wetland taxa and 58% of all halotolerant taxa remain. This indicates that the wetland insect richness and abundance decline greatly when freshwater habitats are impacted by a sharp increase in salinity due to a shift of the coastline.

However, the potential impact of taphonomy on the past biodiversity record at Cavallo remains questionable. It must be noted that the drastic lowering of total MNI and Coleoptera specific richness curves is concomitant with sedimentological and fossil evidence of marine influences (Fig. 3a). Therefore, changes from freshwater to brackish water could have impacted the deposition and preservation processes. Moreover, the slight decrease in sedimentation rate from 262 cm onward might have led to a degradation of beetle macro-remains prior to their burial in the sediment (see Online Resource 2). If this hypothesis were valid, all beetle assemblages would have been poorly preserved, which is not the case. As examples, occurrences of *Bagous*, *Berosus* or *Carpelimus* are more-or-less ubiquitous throughout (Fig. 2). There is also a nearly continuous presence of *Ochthebius* along IFU_4. Moreover, the fossils of this last insect unit do not show the visible marks of degradation commonly found in cases where there are taphonomical problems (i.e., holes, corrosion marks and thinning down of macroremains). Pollen analysis clearly revealed local aquatic vegetation changes and salinity increases in IFU_3 and IFU_4 (Fig. 3a). This rather suggests that the diversity decrease of the Greco pond is a consequence of adverse conditions for fresh water aquatic and hygrophilous beetles.

Schallenberg et al. (2003) also found reduced diversity and altered structure in invertebrate communities in coastal freshwater wetlands following marine intrusions. Other studies at shorter temporal scales generally show an inverse relationship between the increase of salinity and taxa richness of macroinvertebrates in lakes (Hammer 1986), wetlands (Pinder et al. 2005) or rivers (Velasco et al. 2006). Pinder et al. (2005) registered a decline in total wetland species richness as salinity increased (above 4.1 g l^{-1}) but when salt-tolerant species were excluded, a lower level of salinity (from 2.6 g l^{-1}) led to a decline in species richness. This pattern is comparable to our results, since fresh water beetles of the '*Hydrochus* assemblage' first decline in IFU_2 even though the taxa richness remains relatively high until 3700 cal. yr B.P. (Figs. 2 and 3a).

It must be also noted that another water body was previously located at the center of Cavallo: this swamp has been described in the IGN map dating from 1866 as covering around 1.6% of the island surface (Fig. 1b). There is no doubt that such a large wetland has played a major role as 'refuge' for aquatic and wetland fauna when environmental conditions became unfavourable in the coastal pond.

Did climate or humans play a role in the observed biodiversity changes?

The important question remains as to whether other drivers, such as human alteration or climatic changes, in addition to Holocene RSLR have influenced beetle diversity. In the central Mediterranean, high lake levels from Italy (Magny et al. 2009, 2013), low fire activity in the western Mediterranean (Vannière et al. 2011) and pollen-inferred climate reconstructions across the Italian Peninsula (Peyron et al. 2013) suggest a prolonged wet phase from ~4300 to 3800 cal. yr B.P. However, even though this episode could perhaps explain the transitory diversification of wetland beetles and the scarce presence of aquatic freshwater plants around ca. 4400 cal. B.P., climatic factors apparently played a minor role. Notwithstanding the salinisation process from ~4100 cal. yr B.P. which could have possibly been buffered by wetter conditions, the impoverishment of the wetland beetle fauna after 3700 cal. yr B.P. seems mainly due to the RSLR because respectively 69 and 63% of aquatic and hygrophilous fossil beetles are only recorded at times prior to marine intrusions.

On the other hand, it is well known that human activities exacerbated by sea-level changes have triggered coastal instability (Anthony et al. 2014). In the Mediterranean region, human impacts led to major environmental changes that are reflected in the coleopteran fauna dating back to Neolithic times (Andrieu-Ponel and Ponel 1999) and during the Antiquity (Andrieu-Ponel et al. 2000). On Cavallo Island, significant records of open environment and coprophilous beetles, ruderal-anthropogenic plants and coprophilous fungi suggest successive phases of human activities during the Neolithic period (from 6993 to 6200 cal. yr B.P.), the Chalcolithic period (from 5000 to 4000 cal. yr B.P.) and since the Iron Age (from 2700 cal. yr B.P. onward). This is confirmed by several traces of human occupation in the Lavezzi archipelago since the Chalcolithic time according to Agostini (1978). The opening of the vegetation (increase of herbaceous pollen) and the decline of saproxylic beetles which are clearly recorded during the second anthropogenic phase from 5000 to 4000 cal. yr B.P. suggest that this long-time human occupation has impacted the landscape. Nevertheless, our results suggest that there is no negative impact on wetland and aquatic Coleoptera, since a marked abundance increase in these communities is recorded around ca. 4400 cal. B.P. (Fig. 3a). It is likely that the decline in trees and shrubs induced by humans should have caused an increase in soil erosion and the progressive filling in of the pond, leading to the reed bed (*Sparganium-Typha*) expansion on the pond margin along with the associated hygrophilous beetle fauna. Finally, the most 'deleterious' human impact has certainly been the recent urbanisation of Cavallo since the 1970s (see Fig. 1c). The filling in of the main swamp during the construction of an airstrip is probably partially involved in the differences between current and past biodiversity, but deconstructing its specific impact is beyond the scope of this paper. Moreover, this urbanisation predated all modern entomological inventories (Cocquempot and Rungs, 2009; Médail et al. 2014, 2015).

Past local extinction of some remarkable beetles

Currently 283 beetle species are known to inhabit the Lavezzi archipelago (Cocquempot and Rungs 2009; Médail et al. 2014, 2015). The comparison of palaeoecological data and modern inventories shows that 63 of them were found in the fossil assemblages whereas 1 family, 1 subfamily, 31 genera and 37 species of fossil beetles were not reported. Although this result could be tempered by the fact that the modern Coleoptera fauna of Cavallo is probably incompletely inventoried, 60% of the hitherto unknown taxa are aquatic and hygrophilous beetles (respectively 24 and 18 taxa on a total of 70). Both are relatively easy to detect, since the Greco pond is the only extant body of water on the island. This suggests that many beetles became locally extinct during a short time span (less than 7000 years).

Even though RSLR has directly affected the aquatic and hygrophilous coleopteran diversity through a major change in salinity, it has also induced an indirect impoverishment of beetle fauna through the wetland vegetation composition changes. Indeed, many authors have shown a close relationship between macrophytes communities and the diversity, abundance and distribution patterns of invertebrates (Ali et al. 2007; Walker et al. 2013) since they play a major role in maintaining the freshwater ecosystems by determining the physical structure of these systems (Chambers et al. 2008), by increasing habitat complexity (Thomaz and Ribiero da Cunha 2010), and by constituting a food resource for invertebrate populations (Habid and Yousuf 2015). Thus, the disappearance of salt-intolerant plants (i.e. *Alisma*-type, *Lythrum* type *junceum*, *L.* type *salicaria*, *Myriophyllum* type *spicatum*, *Radiola linearis*-type) has been tantamount to a loss of habitat for stenotopic species (Fig. 3a). Such is the case of *Hylobius transversovittatus* and *Phytobius leucogaster* which respectively live on *Lythrum salicaria* and *Myriophyllum* sp. (Koch 1992) that were only observed between 6500 and 4500 cal. yr B.P.

The Holocene RSLR cannot by itself obviously explain the apparent extinction of hygrophilous taxa of the reed bed such as *Protapalochrus flavolimbatus* and *Oodes gracilis* (Koch 1989a; Saint Claire Deville 1914) since their habitat is still present on the Greco pond. The recent human impact on the Island, which has caused particular damage to Cavallo's central swamp, has undoubtedly played a major role in the local extinction of these stenotopic species. As already evidenced in southern France, drainage and expansion of cultivation might have contributed to regional extinction of *Odacantha melanura* and *Cerapheles lateplagiatus*, two species that occur in very similar biotopes (Andrieu-Ponel and Ponel 1999). As a whole, the fossil occurrences of all these now-absent wetland species suggest that their past regional distributions were greater than they are today, as is true of their biotopes.

Conclusion

Our multidisciplinary investigation has revealed that the past ecosystem dynamics and biodiversity changes in the coastal wetland of Cavallo Island were significantly driven by 7000 years of RSLR. Coleoptera fossil assemblages responded rapidly to increasing salinity, culminating in the local extinction of freshwater aquatic beetles and the regression of hygrophilous and riparian freshwater beetles. The regression/disappearance of freshwater helophytes and the subsequent increase in salty ground plants have played also a major role in these insect diversity changes. Furthermore, the recent destruction of the central swamp on Cavallo, which may have played a role as a reservoir for the freshwater

insect community, has undoubtedly worsened the resilience of the island ecosystems that have faced past RSLR.

It can therefore be concluded that the effects of ongoing RLSR on coastal diversity could be more severe in areas destabilised by humans: because the Mediterranean coastline is experiencing increasing human pressure on natural habitats (due to urbanisation, tourism, concretisation of the littoral; see Beltrame et al. 2012), the protection of coastal freshwater bodies and inland marshes (especially on small continental islands; see Médail 2013; PIM initiative: Initiative pour les petites îles de Méditerranée) represents a high priority. Such a habitat loss has already resulted in a drastic retraction of the geographical range of many aquatic beetles over the past hundred years (Ribera 2000). Thus, a Mediterranean sea-level rise of 9.8–25.6 cm by 2050, as estimated by Galassi and Spada (2014), represents an added threat on top of generalised direct human pressure: coastal freshwater wetlands will probably suffer salinity increases while inland water bodies, which for now are distant from the coastline, will no longer play the role of refugia.

Facing future RLSR, comparison between prospective studies such as Irmiler et al. (2002) and retrospective studies such as the present work will be valuable in improving estimates of how coastal wetland insect diversity will be likely to change their composition and adapt. This is going to be an important field of research in the Mediterranean basin where some 12,500 islands of all sizes have been identified, most of them biodiversity hotspots (Médail and Myers 2004; Médail 2013). The future trajectories of these island ecosystems remain questionable, but there is no doubt that their capability to be resilient to RSLR depends on the persistence of natural habitats beyond the coastline. The major challenge for decision-makers will be to preserve and protect these future refugia (for instance, by reducing damming, draining, fragmentation, pollution and isolation of source habitats).

Acknowledgements This study was incorporated within the framework of the CoP²A (Corsican Palaeoclimate, Palaeoenvironments & Anthropization) project, which is supported by the Laboratoire d'Excellence Objectif-Terre Bassin méditerranéen (Labex OT-Med) of Aix Marseille University (ANR-11-LABEX-0061), and by the DyPaCo (Dynamique des paléoenvironnements de la Corse, convention no.15/005) project which is supported by the Office de l'environnement de la Corse (OEC)/Conservatoire botanique national de Corse. The fieldwork was funded by the French government (projet Investissements d'Avenir) within the Initiative d'excellence A*MIDEX/MEDNET of Aix Marseille University (ANR-11-IDEX-0001-02), and performed during a field school of the Master SET-SBEM of Aix Marseille University. The authors wish to thank the Conservatoire Botanique National de Corse and its director Laetitia Hugot for their constant support of this research. We also thank the Association pour la protection de l'environnement de l'île de Cavallo (APEIC), notably Mrs. Matthieu Bidali and Michel Orlanducci for their permission to work on the private island of Cavallo. Finally, thanks are due to the two anonymous reviewers for their constructive remarks.

References

- Agostini P (1978) Recherches archéologiques dans l'île Cavallu (Bonifacio, Corse) 1972–1977. *Archeol Corsa* 3:15–54
- Ali MM, Mageed AA, Heikal M (2007) Importance of aquatic macrophyte for invertebrate diversity in large subtropical reservoir. *Limnologia* 37:155–169. doi:10.1016/j.limno.2006.12.001
- Anderson NJ, Bugmann H, Dearing JA, Gaillard MJ (2006) Linking palaeoenvironmental data and models to understand the past and to predict the future. *Trends Ecol Evol* 21:696–704. doi:10.1016/j.tree.2006.09.005
- Andrieu-Ponel V, Ponel P (1999) Human impact on Mediterranean wetland Coleoptera: an historical perspective at Tourves (Var, France). *Biodiv Conserv* 8:391–407

- Andrieu-Ponel V, Ponel P, Bruneton H, Leveau P, de Beaulieu JL (2000) Palaeoenvironments and cultural landscapes of the last 2000 years reconstructed from pollen and Coleopteran records in the Lower Rhône Valley, southern France. *The Holocene* 10:341–355
- Anthony EJ, Marriner N, Morhange C (2014) Human influence and the changing geomorphology of Mediterranean deltas and coasts over the last 6000 years: from progradation to destruction phase? *Earth-Sci Rev* 139:336–361. doi:10.1016/j.earscirev.2014.10.003
- Balachowsky AS (1949) Faune de France 50. Coléoptères Scolityidae. Libr. Fac. Sci, Paris
- Bellard C, Leclerc C, Courchamps F (2013a) Impact of sea level rise on the 10 insular biodiversity hotspots. *Glob Ecol Biogeogr* 23:203–212. doi:10.1111/geb.12093
- Bellard C, Leclerc C, Courchamps F (2013b) Potential impact of sea level rise on the French islands worldwide. *Nat Conserv* 5:75–86. doi:10.3897/natureconservation.5.5533
- Beltrame C, Chazée L, Galewski T, Perennou C (2012) Mediterranean wetlands: outlook. First Mediterranean wetlands observatory report—Technical report—2012. Tour du Valat, France
- Beug HJ (2004) Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. Verlag Friedrich Pfeil, Munich
- Blaauw M (2010) Methods and code for ‘classical’ age-modelling of radiocarbon sequences. *Quat Geochronol* 5:512–518. doi:10.1016/j.quageo.2010.01.002
- Buckland PI, Buckland PC (2006) BugsCEP Coleopteran ecology package. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2006-116. NOAA/NCDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA. URL: <http://www.bugscep.com>
- Caillol H (1908) Catalogue des Coléoptères de Provence d’après des documents recueillis et groupés, 1er partie. Société des Sciences Naturelles de Provence, Marseille
- Chambers PA, Lacoul P, Murphy KJ, Thomaz SM (2008) Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. *Hydrobiologia* 595:9–26. doi:10.1007/s10750-007-9154-6
- Cocquemot C, Rungs C (2009) Liste des Arthropodes terrestres recensés dans les réserves naturelles des îles Cerbicales et Lavezzi (France, Corse-du-Sud). *Biocosmos Mésogéen* 26:1–56
- Coiffait H (1984) Coléoptères Staphylinides de la région paléarctique occidentale, V, Sous famille Paederinae, Tribu Paederini 2, Sous famille Euaesthetinae. *Nouv Rev Entomol Suppl* 13:1–424
- Constantin R, Liberti G (2011) Coléoptères Dasytidae de France. Société linnéenne de Lyon, Lyon
- Coope GR (1986) Coleoptera analysis. In: Berglund BE (ed) *Handbook of holocene palaeoecology and palaeohydrology*. Wiley, Chichester, pp 703–713
- Coord Tronquet M (2014) Catalogue des Coléoptères de France. Association Roussillonnaise d’Entomologie, Perpignan
- Courchamp F, Hoffman BD, Russell JC, Leclerc C, Bellard C (2014) Climate change, sea-level rise, and conservation: keeping island biodiversity afloat. *Trends Ecol Evol* 29:127–130. doi:10.1016/j.tree.2014.01.001
- Delobel A, Delobel B (2003) Les plantes hôtes des bruches (Coleoptera Bruchidae) de la faune de France, une analyse critique. *Bull mens Soc Linn Lyon* 72:199–221
- Delobel A, Tran M (1993) Les Coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. *Faune tropicale* 32. CTA/Orstom Editions, Paris
- Faegri K, Iversen J (1989) *Textbook of pollen analysis*, 4th edn. Wiley, New York
- Galassi G, Spada G (2014) Sea-level rise in the Mediterranean Sea by 2050: roles of terrestrial ice melt, steric effects and glacial isostatic adjustment. *Glob Planet Change* 123:55–66. doi:10.1016/j.gloplacha.2014.10.007
- Grimm EC (1987) CONISS: a fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computer Geosci* 13:13–35
- Guignot F (1947) Coléoptères Hydrocanthares, Faune de France 48. Paul Lechevalier, Paris
- Habib S, Yousuf A (2015) Effect of macrophytes on Phytophilous macroinvertebrate community: a review. *J Entomol Zool Stud* 3:377–384
- Hammer UT (1986) *Saline Lake Ecosystems of the World*. Junk W Publishers, Dordrecht
- Hoffman A (1950) Coléoptères Curculionides (première partie). *Faune de France*, vol 52. Librairie de la Faculté des Sciences, Paris
- Hoffman A (1954) Coléoptères Curculionides (deuxième partie). *Faune de France*, vol 59. Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles, Paris
- Hoffman A (1958) Coléoptères Curculionides (troisième partie). *Faune de France*, vol 62. Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles, Paris
- Irmeler U, Heller K, Meyer H, Reinke HD (2002) Zonation of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and spiders (Araneida) in salt marshes at the north and the Baltic sea and the impact of the predicted sea level increase. *Biodiv Conserv* 11:1129–1147

- Jeannel R (1941) Coléoptères Carabiques première partie, Faune de France 39. Paul Lechevalier et Fils, Paris
- Jeannel R (1942) Coléoptères Carabiques deuxième partie, Faune de France 40. Paul Lechevalier et Fils, Paris
- Juggins S (2007) C2 Version 1.5 user guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation. Newcastle University Press, Newcastle upon Tyne
- Juggins S (2012) The rioja package: Analysis of Quaternary Science Data, R package, version 0.7-3. <http://cran.r-project.org/package=rioja>
- Koch K (1989a) Die Käfer Mitteleuropas, Ökologie 1. Goecke and Evers, Krefeld
- Koch K (1989b) Die Käfer Mitteleuropas, Ökologie 2. Goecke and Evers, Krefeld
- Koch K (1992) Die Käfer Mitteleuropas, Ökologie 3. Goecke and Evers, Krefeld
- Laborel J, Morhange C, Lafont R, Le Campion J, Laborel-Deguen F, Sartoretto S (1994) Biological evidence of sea-level rise during the last 4500 years on the rocky coasts of continental southwestern France and Corsica. *Mar Geol* 120:203–223. doi:10.1016/0025-3227(94)90059-0
- Lambeck K, Purcell A (2005) Sea-level change in the Mediterranean sea since the LGM: model predictions for tectonically stable areas. *Quat Sci Rev* 24:1969–1988. doi:10.1016/j.quascirev.2004.06.025
- Magny M, Vannière B, Zanchetta G, Fouache E, Touchais G, Petrika L, Coussot C, Walter-Simonnet AV, Arnaud F (2009) Possible complexity of the climatic event around 4300–3800 cal. BP in the central and western Mediterranean. *The Holocene* 19:823–833. doi:10.1177/0959683609337360
- Magny M, Combourieu-Nebout N, de Beaulieu JL et al (2013) North-south palaeohydrological contrasts in the central Mediterranean during the Holocene: tentative synthesis and working hypotheses. *Clim Past* 9:2043–2071. doi:10.5194/cp-9-2043-2013
- Magurran AE, Baillie SR, Buckland ST, Dick JM, Elston DA, Marian Scott E, Smith RI, Somerfield PJ, Watt AD (2010) Long-term datasets in biodiversity research and monitoring: assessing change in ecological communities through time. *Trends Ecol Evol* 25:574–582. doi:10.1016/j.tree.2010.06.016
- Médail F (2013) The unique nature of Mediterranean island floras and the future of plant conservation. In: Cardona Pons E, Esta n Claris  I, Comas Casademont M, Fraga i Arguimbau P (eds) Islands and plants: preservation and understanding of flora on Mediterranean islands. 2nd Botanical Conference in Menorca. Consell Insular de Menorca, Institut Menorqu  d'Estudis, Recerca 20, Menorca, pp 325–350
- Médail F, Ponel P, Brousset L, Poher Y, Master SET SBEM students (Aix Marseille University) (2014). Contributions à l'inventaire de la biodiversité terrestre de l' le de Cavallo (Archipel Lavezzi, Bonifacio, Corse du Sud). Note naturaliste, Initiative pour les Petites  les de Méditerranée (PIM). www.initiative-pim.org/document/55542
- Médail F, Ponel P, Riviere V, Master SET SBEM students (Aix Marseille University) (2015). Contributions à l'inventaire des arthropodes terrestres et aquatiques sur l' le de Cavallo (Archipel Lavezzi, Bonifacio, Corse du Sud). Note naturaliste, Initiative pour les Petites  les de Méditerranée (PIM). www.initiative-pim.org/document/79864
- Médail F, Myers N (2004) Mediterranean Basin. In: Mittermeier RA, Robles Gil P, Hoffmann M, Pilgrim J, Brooks T, Mittermeier CG, Lamoreux J, da Fonseca GAB (eds) Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial eco regions. CEMEX, Monterrey, Conservation International, Washington, pp 144–147
- Morhange C, Laborel J, Hesnard A (2001) Changes of relative sea level during the past 5000 years in the ancient harbor of Marseilles, Southern France. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 166:319–329
- Nicholls RJ, Woodroffe C, Burkett V (2016) Coastal degradation as an indicator of global change. In: Letcher T (ed) *Climate change: observed impacts on planet earth*, 2nd edn. Elsevier Press, Oxford, pp 309–324
- Paulian R, Baraud J (1982) In: Lechevalier S.A.R.L (ed) *Faune des Coléoptères de France*, vol 2. Luca-noidea et Scarabaeoidea. Encyclopédie Entomologique 43 Paris
- Peyron O, Magny M, Goring S et al (2013) Contrasting patterns of climatic changes during the Holocene across the Italian Peninsula reconstructed from pollen data. *Clim Past* 9:1233–1252. doi:10.5194/cp-9-1233-2013
- Pielou E (1966) The measurement of diversity in different types of biological collections. *J Theor Biol* 13:131–144
- Pinder AM, Halse SA, McRae JM, Shiel RJ (2005) Occurrence of aquatic invertebrates of the wheat belt region of western Australia in relation to salinity. *Hydrobiologia* 543:1–24. doi:10.1007/s10750-004-5712-3
- PIM initiative: Initiative pour les petites îles de Méditerranée. www.initiative-pim.org
- Poirier C, Sauriau PG, Chaumillon E, Bertin X (2010) Influence of hydro-sedimentary factors on mollusc death assemblages in a temperate mixed tide-and-wave dominated coastal environment: implications for the fossil record. *Cont Shelf Res* 30:1876–1890. doi:10.1016/j.csr.2010.08.015

- Ponel P, Gandouin E, Coope GR, Andrieu-Ponel V, Guiter F, Van Vliet-Lanoë B, Franquet E, Brocandel M, Brulhet J (2007) Insect evidence for environmental and climate changes from Younger Dryas to Sub-Boreal in a river floodplain at St-Momelin (St-Omer basin, northern France), Coleoptera and Trichoptera. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 245:483–504. doi:[10.1016/j.palaeo.2006.09.005](https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.09.005)
- R Development Core Team R (2011) R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna. <http://www.R-project.org>
- Reille M (1984) Origine de la végétation actuelle de la Corse sud-orientale; analyse pollinique de cinq marais côtiers. *Pollen Spores* 26:43–60
- Reille M (1992) New pollen-analytical researches in Corsica: the problem of *Quercus ilex* L. and *Erica arborea* L., the origin of *Pinus halepensis* Miller forests. *New Phytol* 122:359–378
- Reille M (1999) Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord, 2nd edn. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille
- Ribera I (2000) Biogeography and conservation of Iberian water beetles. *Biol Conserv* 92:131–150
- Saint-Claire Deville J (1914) Catalogue critique des coléoptères de la Corse. Imprimerie Adeline, Poisson G et Cie, Caen
- Schallenberg M, Hall CJ, Burns CW (2003) Consequences of climate-induced salinity increases on zooplankton abundance and diversity in coastal lakes. *Mar Ecol Prog Ser* 251:181–189
- Shannon CE, Weaver W (1964) The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana
- Soldati F, Coache A (2005) Faunistique des Coléoptères Tenebrionidae de Corse, résultats d'une deuxième campagne de prospections. *Bull Soc Linn Bordeaux* 33:79–98
- Théron J (1975–1976) Catalogue des Coléoptères de la Camargue et du Gard I, II. Société d'Étude des Sciences Naturelles de Nîmes, Nîmes
- Thomaz SM, Ribiero da Cunha E (2010) The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages' composition and biodiversity. *Acta Limnol Bras* 22:218–236. doi:[10.4322/actalb.02202011](https://doi.org/10.4322/actalb.02202011)
- Vacchi M, Marriner N, Morhange C, Spada G, Fontana A, Rovere A (2016) Multiproxy assessment of Holocene relative sea-level changes in the western Mediterranean: sea-level variability and improvements in the definition of the isostatic signal. *Earth-Sci Rev* 155:172–197. doi:[10.1016/j.earscirev.2016.02.002](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.02.002)
- Vannièr B, Power MJ, Roberts N et al (2011) Circum-Mediterranean fire activity and climate changes during the mid-Holocene environmental transition (8500–2500 cal. BP). *The Holocene* 21:53–75. doi:[10.1177/0959683610384164](https://doi.org/10.1177/0959683610384164)
- Velasco J, Millán A, Hernández J, Gutiérrez C, Abellán P, Sánchez D, Ruiz M (2006) Response of biotic communities to salinity changes in a Mediterranean hypersaline stream. *Saline Syst* 2:12. doi:[10.1186/1746-1448-2-12](https://doi.org/10.1186/1746-1448-2-12)
- Vella C, Provansal M (2000) Relative sea-level rise and neotectonic events during the last 6500 yr on the southern eastern Rhône delta, France. *Mar Geol* 170:27–39
- Virah-Sawmy M, Willis KJ, Gillson L (2009) Threshold response of Madagascar's littoral forest to sea-level rise. *Global Ecol Biogeogr* 18:98–110. doi:[10.1111/j.1466-8238.2008.00429.x](https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2008.00429.x)
- Walker PD, Wijnhoven S, van der Velde G (2013) Macrophyte presence and growth form influence macro invertebrate community structure. *Aquat Bot* 104:80–87. doi:[10.1016/j.aquabot.2012.09.003](https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2012.09.003)
- Willis KJ, Bailey RM, Bhagwat SA, Birks HJB (2010) Biodiversity baselines, thresholds and resilience: testing predictions and assumptions using palaeoecological data. *Trends Ecol Evol* 25:583–591. doi:[10.1016/j.tree.2010.07.006](https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.07.006)
- Wong PP, Losada IJ, Gattuso JP, Hinkel J, Khattabi A, McInnes KL, Saito Y, Sallenger A (2014) Coastal systems and low-lying areas. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy ES, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds) *Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. contribution of working group II to the Fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, Cambridge
- Woodroffe CD, Murray-Wallace CV (2012) Sea-level rise and coastal change: the past as a guide to the future. *Quat Sci Rev* 54:4–11. doi:[10.1016/j.quascirev.2012.05.009](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.05.009)

III. Conclusion

À l'issue de ce travail, nous avons démontré que la diversité entomologique des zones humides littorales de l'île Cavallo a été irréversiblement affectée par la remontée relative du niveau marin durant l'Holocène. En effet, la comparaison entre les inventaires entomologiques modernes et la diversité enregistrée à l'état fossile dans les sédiments de l'étang du Greco a permis d'identifier des disparitions locales d'espèces de coléoptères qui ne peuvent pas être exclusivement attribuées aux activités anthropiques sur l'île. Au contraire, l'interprétation croisée des données paléontomologiques et sporo-polliniques associée aux estimations du niveau marin dans ce secteur de la Méditerranée permet de relier pour une grande part les changements de biodiversité observés avec la transgression holocène.

Ainsi, on retrouve dans la période 7000-6200 cal. BP un optimum commun pour les espèces végétales et animales dulçaquicoles lorsque le niveau marin est bas, en-dessous de $-4,7 \pm 0.5$ m NGF et que l'influence marine dans l'étang du Greco est inexistante. Avec la transgression marine, la remontée du biseau salé est tout d'abord enregistrée dans les assemblages de coléoptères par une raréfaction des espèces d'eau douce dès 6200 cal. BP, puis par une diminution des plantes dulçaquicole à partir de 5500 cal. BP. L'augmentation des marqueurs témoignant de la salinité (Amaranthaceae⁷, tests de microforaminifères) traduit une période de plus forte influence marine entre 3700 et 3200 cal. BP correspondant probablement à des connections entre l'étang du Greco et la mer. Ce point de bascule dans l'étang littoral à 3700 cal. BP se produit lorsque le niveau de la mer atteint environ $-1,5 \pm 0.3$ m NGF. Il apparaît comme une rupture irréversible dans l'écosystème puisque dès lors, la richesse et l'abondance de la faune des coléoptères aquatiques et hygrophiles déclinent et restent faible jusqu'à aujourd'hui.

Au total, nous estimons que 60 % des taxons de coléoptères de la zone humide a localement disparu suite à ce changement des conditions de salinité dans l'étang d'eau douce. Toutefois, cet appauvrissement a vraisemblablement été exacerbé par les activités anthropiques récentes. En effet, la destruction d'un second étang sur l'île (lequel a pu jouer le rôle de refuge pour les espèces de coléoptères dulçaquicoles face à la remontée relative du niveau marin) a probablement eu pour effet une perte de résilience de la biodiversité. En outre, la persistance de zones humides à l'intérieur des terres et le maintien d'une connectivité écologique entre les étangs littoraux et ces plans d'eau douce pour l'instant distant apparaissent déterminant pour préserver la biodiversité de ces environnements sur le long terme face à la hausse du niveau marin.

Les résultats obtenus sur l'île Cavallo (**articles 1 et 2**) offrent des éléments de réponses quant aux effets indirects du climat (la montée relative du niveau marin) et des impacts anthropiques sur les écosystèmes insulaires. Cependant, la question se pose de savoir si des effets cette fois-ci directs du climat

⁷ Appelé Chenopodiaceae dans l'**article 2**.

(sécheresse, changement de régime hydrologique) ont impacté le fonctionnement d'autres zones humides en Corse ? Est-ce que les sociétés préhistoriques ou modernes ont là encore joué un rôle déterminant dans la résilience de ces écosystèmes et dans leurs états actuels ? Ces points de discussion ont pu être développés dans le **Chapitre IV** grâce à l'étude pluridisciplinaire des sédiments de la tourbière de Bagliettu.

Chapitre IV : Variabilités hydrologiques et impacts anthropiques depuis 3700 cal. BP dans une basse vallée de Corse

I. Introduction

Comme nous l'avons vu dans le **Chapitre I.II.1**, les précédentes études paléoenvironnementales en Corse se sont concentrées sur les secteurs montagnards et côtiers. Cependant, dans les zones de moyennes altitudes (100 à 900 m), nos connaissances sur les changements environnementaux sont lacunaires et limitées à quelques enregistrements polliniques menés par Reille (1988c, 1997) et Vella et al. (2014). Dans ces zones, plus de données sont nécessaires pour préciser nos connaissances sur les dynamiques de mise en place des paysages corses tels que nous les connaissons actuellement. Toutefois, en raison du climat méditerranéen et de la topographie accidentée de la Corse, peu d'archives sédimentaires sont favorables pour réaliser de telles études paléoécologiques entre les hautes montagnes et la zone littorale.

Situées au centre d'île, au sein de l'étage mésoméditerranéen de la végétation, les zones humides de Moltifao dans la basse vallée de l'Asco constituent une exception. Plus particulièrement, les sédiments de Bagliettu constituent une archive paléoécologique précieuse pour la Corse puisqu'ils offrent l'opportunité d'étudier les dynamiques de la végétation et les changements environnementaux à moyenne altitude sur une période plurimillénaire. Du point de vue de la conservation, une telle approche rétrospective permettrait de mieux comprendre l'origine de cette tourbière, les raisons de sa persistance dans un contexte climatique a priori défavorable et d'étudier les relations entre cette zone humide et les activités humaines sur le long terme pour mieux appréhender le devenir de ce site sensible, classé Natura 2000.

C'est pour répondre à ce double enjeu (paléoécologique et de conservation) que nous avons analysé dans le **Chapitre IV** le contenu en insectes fossiles (voir en **Annexe II**), macrorestes de plantes et macro-charbons de 30 échantillons d'une carotte sédimentaire de 390 cm de long couvrant les 3700 dernières années. En nous appuyant sur les données polliniques préalablement obtenues sur la même tourbière (Reille 1997), nous présentons les résultats de notre étude pluridisciplinaire sous la forme d'un article soumis dans la revue internationale *Vegetation History and Archaeobotany* : **article 3**, « 3700 years of environmental changes and land-use in mid-altitude Corsican inlands inferred from botanical and insect records (Bagliettu peat-bog) » (révisions en cours).

II. Trajectoire environnementale de la tourbière de Bagliettu sur les derniers 3700 cal. BP reconstruite à partir des macrofossiles d'insectes et de plantes – Article 3

“3700 years of environmental changes and land-use in mid-altitude Corsican inlands inferred from botanical and insect records (Bagliettu peat-bog)”

Yoann Poher¹, Philippe Ponel¹, Frédéric Médail¹, Laurent Bouby², Élodie Brisset^{1,3,4}, Maurice Reille⁵, Frédéric Guiter¹

¹Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie marine et continentale (IMBE), Aix Marseille Univ, Univ Avignon, CNRS, IRD, Aix-en-Provence, France

²CNRS, Institut des Sciences de l'Évolution (ISEM), UMR 5554, Montpellier, France

³Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES), Zona Educacional 4, Campus Sescelades URV (Edifici W3), 43007 Tarragona, Spain

³Àrea de Prehistòria, Universitat Rovira i Virgili (URV), Avinguda de Catalunya 35, 43002 Tarragona, Spain

⁵Venède, 48000 Mende, France

Article soumis dans la revue *Vegetation History and Archaeobotany* le 15 février 2017

Abstract: The present palaeoecological study of a peat-bog from Central Corsica (Bagliettu), includes insects, plant macroremains, charcoals, radiocarbon and pollen data, allowing the reconstruction of the palaeoenvironmental history of this wetland and its surrounding area over the last 3700 years. Our results suggest that its development was primarily controlled by hydro-morphological dynamics of the nearby Asco River. The abundance of bog-dwelling insects, associated with botanical evidence for bog vegetation between 3700 and 3550 cal. BP suggest that Bagliettu was initially a back swamp separated from the main riverbed with an open patchy vegetation. The progressive disconnection of the peat-bog from the river started at 3350 cal. BP, which is very likely related to the river downcutting. This was associated with the local colonisation of a swampy alder forest. In particular, we note a disappearance of running water insects in response to this hydrological change. Over the last 700 years, indicators of livestock presence, agricultural practices and local fires are recorded, attesting of intensive land management during the Genoa period. The continuation of these dynamics of river entrenchment, the local expansion of *Erica terminalis* and the anthropisation of the catchment, do not seem favourable to a long-term persistence of this wetland, especially with the warmer and drier conditions expected in the Mediterranean region in the near future.

Keywords: Fossil insects, Plant macrofossils, Pollen analysis, Human impact, Corsica, late Holocene

Introduction

Although wetlands comprise only about 1.5% of the terrestrial land surface of the Mediterranean area, they are local biodiversity reservoirs particularly sensitive to a combination of climatic (drought, rise in sea-levels for coastal wetlands) and human (fragmentation, pollution, urbanisation) pressures that present a constant threat to them (Plan Bleu 2009; Beltrame et al. 2012): it is estimated that 50% of the wetlands have been lost during the 20th century. Against this global trend, there is an urgent need of conservation planning which could be enhanced by long-term ecological data (Froyd and Willis 2008): palaeoecological investigations could inform conservationists about the origin of a particular wetland, their past ecological successions, their longevity, and also the extent and duration of past human impacts (e.g. Andrieu-Ponel and Ponel 1999; Andrieu-Ponel et al. 2000; Muller et al. 2008; Jouffroy-Bapicot et al. 2016; Poher et al. 2017). These studies highlight that many Mediterranean wetlands have undergone substantial prehistorical modifications (e.g. deforestation phases, drainage, burning or agro-pastoral practices) which have led to the current landscape.

Peatlands cover a relatively small surface in Corsica, most of them localised in the subalpine or oromediterranean levels of vegetation and locally known under the name of ‘pozzine’ (Briquet 1910; de Litardière and Malcuit 1926). Only few of these ecosystems are located in mid-altitude Corsican valleys because the slopes are too steep. But two peat-bogs, Bagliettu and Valdu, were discovered by scientists in 1995 in the Asco valley. These sites present habitats of patrimonial interest and some unique vegetation assemblages that are confined in a small area of 34 ha (Branthomme and Varelides 1996; Gamisans 1996; Laitung 1997; Gamisans et al. 1998). In particular, the climatic and geomorphological contexts of Bagliettu are original since this peat-bog is perched above the alluvial plain on a gentle slope and it endures a strong summer rainfall shortage. For these reasons, the multi-millennium persistence of this peat-bog under the Mediterranean climate remains poorly understood.

Only one palaeoenvironmental study has been performed in this wetland (Reille 1997), showing that the sedimentary archive of Bagliettu has recorded the peat-bog history from its initial formation at 5580–5320 cal. BP (2σ interval) until today. However, this study was based on a single proxy (pollen analysis), analysed at a low-sampling resolution and chronologically constrained by a single radiocarbon age on bulk sediments. In this paper, we expand upon this palaeoecological record by coupling plant and insect macrofossil analyses and macrocharcoal counts with a new set of radiocarbon dates in order to 1) document the initiation and the development of Bagliettu peat-bog, 2) relate past land-use to the current state of the ecosystem, and 3) discuss the possible future evolution of this remarkable Corsican wetland.

General description of the study site

Location and geomorphological context

Bagliettu peat-bog (42°28'54"N, 09°11'17"E; 205–220 m a.s.l.) is located in the alluvial plain of the Asco River, downstream of an alpine catchment (central Corsica, France) (*Fig. 1a*). This part of the valley is characterised by gentle slopes contrasting with the steep upper part. The basement mainly consists of igneous and metamorphic rocks (granite, basalt, gneiss and schist) (*Fig. 1b*). The valley floor is infilled by coarse fluvial sediments that have been chronologically attributed to successive Pleistocene glaciations (Conchon 1975). The floodplain, restricted to a narrow channel upstream, becomes wider at the confluence with the Tartagine River, where several levels of terraces and active or inactive channels have been formed, some of them occupied by wetlands (*Fig. 1b*). The Asco River has a seasonal torrential regime. The river discharge fluctuates between 7.02–9.35 m³.s⁻¹ from November to May and is minimum in August at 1.33 m³.s⁻¹ (measurement period of 57 years at Morrosaglia; data available on <http://www.hydro.eaufrance.fr>). The Bagliettu peat-bog stands on an ancient terrace above the active channel, which has incised the conglomerate basement about 3 meters deep (*Fig. 1c*). Today, the peat-bog is supplied by water from lateral resurgences.

Climate and vegetation

The lower part of the Asco valley (below about 300 m a.s.l.) is characterised by a Mediterranean climate with mean annual rainfall ranging from 400 to 800 mm.yr⁻¹ and a mean annual temperature ranging from 6 to 15 °C with a period of summer drought (Delbosc et al. 2015). Bagliettu is located within the meso-mediterranean vegetation belt in contact with *Buxus sempervirens* and *Quercus ilex* oak forest, but 70% of the flora of the peat-bog is composed of circumboreal and eurosiberian taxa (Laitung 1997). According to Gamisans et al. (1998) and Laitung (1997), this wetland escaped the regional influence of the Mediterranean climate because of permanent seepage of cold ground water.

The main vegetation types of Bagliettu are organised in successive belts (Branthomme and Varelides 1996; *Fig. 1c*). Riverbanks are fringed by a forest gallery dominated by *Alnus glutinosa*. The peat-bog itself is established on a gentle slope with *Erica terminalis* stands. A swampy alder forest composed by *Alnus glutinosa* with *Malus sylvestris*, *Rosa sempervirens* and *Phillyrea latifolia* occupies the northern part of the peat-bog. Temporary ponds characterised by hydrophytic (*Baldellia ranunculoides*, *Glyceria fluitans*), helophytic (*Eleocharis palustris*) and hemicryptophytic plants (*Cyperus longus*, *Carex distans*, *C. cuprina*, *Juncus effusus*, *J. conglomeratus*, *Prunella vulgaris*, *Mentha aquatica*) are also present. The wetland is used as a pasture land for livestock: cattle roam the peat-bog and thus maintain the open state of the vegetation. Numerous vestiges of human occupation are visible on ancient aerial photographs (1951 AD); some of them date back to the Genoan period while others are more recent (ruins of medieval hamlet dated between the 15th to the beginning of 18th century AD, ruins of stone walls for animal enclosure, sheepfolds, water-mills; *Fig. 1b*).

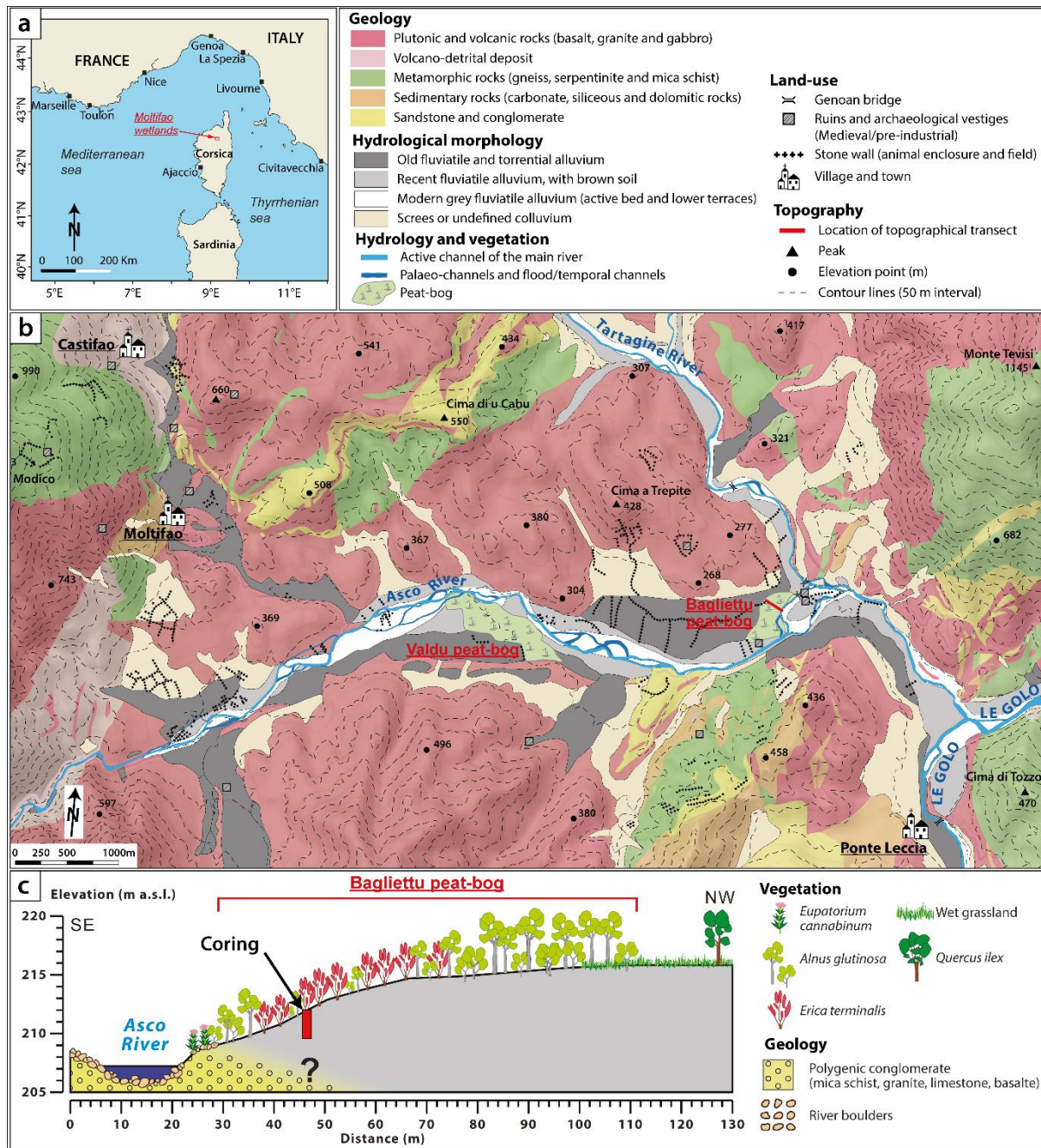


Fig. 1 Geographical setting. (a) Location map of the study site (Asco valley, Corsica). (b) Geomorphological map of the Asco valley and location of Bagliettu peat-bog. (c) Simplified vegetation composition along a topographical transect of Bagliettu peat-bog

The palynological background

The palynological study of Bagliettu peat-bog (Reille 1997) marks out four phases of past landscape dynamics over the last 5580–5320 cal. BP (2σ interval) (Fig. 2):

- Zone A: this zone was characterised by the dominant role of *Erica arborea* (65%) compared to *Quercus ilex* (<5%). Deciduous *Quercus* (<5%) probably occupied a limited place in the riverine forest together with *Vitis*, *Tilia* and *Salix*. The presence of open environments close to the peat-bog has been suggested by pollen of *Cistus*, *Asphodelus*, Apiaceae and Asteroideae.

- Zone B: pollen of *Cerealia*-type, *Quercus suber*, *Olea* and associated ruderal plants such as *Asphodelus*, *Plantago lanceolata* and *Rumex* have been interpreted as evidence of human occupation and agriculture. The frequencies of *E. arborea* declined throughout zone B (from 47 to 24%) whereas those of *Q. ilex* increased (up to 10%).
- Zone C: this zone has been interpreted as a less human-impacted period, taking into account the disappearance of *Cerealia*-type, the reduction of percentages of *Cistus* and the considerable increase of *Erica arborea* (up to 63%).
- Zone D: pollen percentages of *Erica terminalis* increase in this zone. Pollens of *Castanea* appear and those of *Cerealia*-type, *Juglans* and *Olea* have been considered as evidence for a strong human impact during the last five centuries. As a consequence, *Q. ilex* thrived at the expense of *E. arborea* (respectively 20 and 19%).

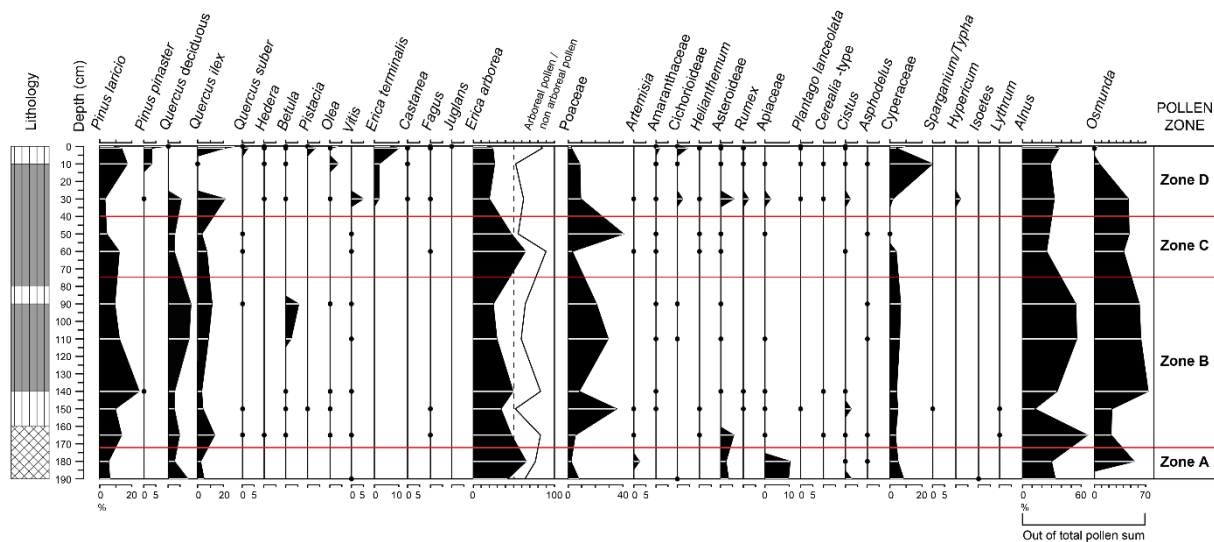


Fig. 2 Simplified pollen diagram for the sediment core from Bagliettu peat-bog (digitalised from Reille 1997). Only selected taxa shown. See Fig. 3 for the description of the lithology

Field and laboratory methods

Coring, sampling and chronology

Bagliettu peat-bog was sampled in June 2014 (Fig. 1c) using a Russian corer (100 cm long, Ø 8 cm; Jowsey 1966). A borehole (BAG-D) composed of four individual core sections reaching 240 cm in depth was recovered (42°28'54.1"N, 09°11'17.9"E; 212 m a.s.l.). Core sections were correlated one to another on the basis of distinct lithological changes (Fig. 3). BAG-D was sliced into 5 cm sections and 38 sub-samples (constant volume of sediment of 202 cm³) were put up for multi-proxy analysis.

The chronology of BAG-D is based on 7 AMS radiocarbon measurements of seeds and fruits by the Poznań radiocarbon Laboratory (Poland). The ages were calibrated and a smooth-spline age-depth model (IntCal13, smooth=0.45 and 10,000 iterations) was built using the 'clam' R package (Blaauw 2010) (Table 1, Fig. 3).

Table 1 AMS radiocarbon dates of core BAG-D (Bagliettu peat-bog, Asco Valley, Corsica)

Sample depth (cm)	Lab. code	Dating material (seed and fruit taxon)	AMS ¹⁴ C date BP	Calibrated age (cal. BP) at 2σ-range	Age in the age-depth model (cal. BP) at 2σ-range
50–55	Poz-74273	<i>Alnus</i> ; <i>Carex</i> ; Euphorbiaceae; <i>Moehringia</i> ; <i>Potentilla</i> ; <i>Rubus</i> ; <i>Vitis vinifera</i>	475 ± 30	498–540	378–548
70–75	Poz-80365	<i>Alnus</i> ; <i>Carex</i> ; <i>Moehringia</i> ; <i>Rubus</i> ; <i>Sambucus</i> ; <i>Vitis vinifera</i>	1375 ± 30	1268–1339	1280–1700
80–85	Poz-80366	<i>Carex</i>	2815 ± 35	2800–3020	3723–3733
90–95	Poz-74201	<i>Alnus</i> ; <i>Carex</i> ; <i>Potamogeton</i>	2835 ± 35	2859–3057	2920–3006
140–145	Poz-74274	<i>Alnus</i> ; <i>Carex</i> ; <i>Mentha</i> ; <i>Moehringia</i> ; <i>Rubus</i> ; <i>Sambucus</i>	3190 ± 30	3362–3458	3382–3418
185–190	Poz-74275	<i>Alnus</i> ; <i>Carex</i> ; <i>Hypericum</i> ; <i>Rubus</i> ; <i>Sambucus</i>	3435 ± 35	3595–3827	3634–3651
220–225	Poz-74202	<i>Carex</i> ; <i>Rubus</i>	3420 ± 35	3578–3823	3723–3733

Insect analysis

The sediment samples were sieved over a 300 µm sieve and sorted under a stereoscopic microscope at the IMBE laboratory (France). This methodology enabled the extraction of remains that could not be collected with the classical method described by Coope (1986) (e.g. Trichoptera cases), involving a paraffin flotation stage. Identifications of Coleoptera (beetles) and Formicidae (ants) were made by direct comparison with specimens from a modern reference collection. Trichoptera (caddis flies) macrofossils were identified from the frontoclypeal sclerites using works from Lepneva (1964–1971) and Faessel (1985). The minimal number of individuals (MNI) for each insect taxon was estimated by counting diagnostic elements of exoskeleton (**Fig. 4**, **Fig. 5**). The term ‘taxa’ refers to all fossils identified at different taxonomic rank (species, genus, family). Nomenclature of Coleoptera follows Tronquet (2014) and that of Trichoptera and other Arthropods follows Fauna Europaea (<http://www.fauna-eu.org>). Insect taxa were merged into ecological groups according to their biological features and their preferred biotopes given by the BugsCEP database (Buckland and Buckland 2006) and completed by modern literature available for the region (e.g. Caillol 1908–1954; Saint-Claire Deville 1914; Théron 1975–1976). Ecological groups (**Table 2**) were plotted on a synthetic histogram (**Fig. 6**). Insect fauna units (IFUs) were defined according to a constrained hierarchical cluster analysis using the CONISS algorithm (Grimm 1987) with the ‘rioja’ R package (Juggins 2012). The number of IFUs was established on the basis of differences in the specific composition of insect assemblages as a whole and on the fluctuations of ecological groups.

Plant and charcoal macrofossil analyses

Plant macrofossils (seeds, fruits, buds) and charcoal fragments > 300 µm were sorted from the 38 subsamples used for insect analysis. All plant remains were identified under a stereoscopic microscope at × 50 magnification using standard works (e.g. Schoch et al. 1988; Cappers et al. 2012) and the reference collection of the Institut des Sciences de l’Evolution (ISEM, France). Results were presented as

concentration per 100 cm³. Plant macrofossil assemblage zones (PMAZs) were defined according to a constrained hierarchical cluster analysis using the CONISS algorithm (Grimm 1987).

Morphometric analyses were carried out on un-fragmented grape pips to discriminate between wild forms and modern cultivars. This analysis was based on the classical approach used in archaeobotany (Bouby et al. 2005, 2013): measures of four segments on the dorsal side (L: total length, LS: length of stalk and PCH: placement of chalaza and B: total breadth). Using a factorial discriminant analysis (AFD), these measurements were compared to a balanced actual referential of 2056 wild and cultivated grape seeds from Europe, Mediterranean and Caucasia. Results of morphometric analyses of grape seed are given on **Table 3**. Macroscopic charcoal fragments > 300 µm were counted and results were presented as concentrations (particles.cm⁻³) and as charcoal accumulation rate (particles > 300 µm.cm⁻².yr⁻¹), which was calculated based on the estimated sediment accumulation rates from the age-depth model (**Fig. 7**).

Table 2 Groups of insects according to their ecological affinities based on the BugsCEP database (Buckland and Buckland 2006)

Groups	Features and non-exhaustive insect examples
Aquatic beetles	Insects living in/on water, in any form (standing or running). From temporary pools to lakes and rivers (e.g. all Dytiscidae, Hydraenidae). Trichoptera are not included here.
Indicators: Standing water	Aquatic insects which primary habitat is in/on pools, ponds, slow flowing water (e.g. <i>Hydroporus memnonius</i> , <i>Hydraena testacea</i>) – including temporary ponds.
Indicators: Running water	Aquatic insects living in rivers and/or streams (<i>Rhythrodytes sexguttatus</i> and <i>Sericostoma</i>).
Wetland/marshes	Group of water tolerant insects but not living specifically in water. May include mud and bank species (e.g. <i>Limnichus</i> , <i>Tachys bistratus</i>), as well as those hygrophilous vegetation dwellers that prefer permanently wet environments (e.g. <i>Cercyon rhomboidalis</i> , <i>Contacyphon</i>).
Open wet habitats	Hygrophilous shade intolerant species occurring on sandy or gravelly soils such as dried part of permanent or temporary rivers and other exposed wet environments (e.g. <i>Endomia</i> , <i>Scopaeus</i>).
Pasture/Dung	Grazed land of varying form. Includes most dung beetles (e.g. <i>Sisyphus schaefferi</i> , <i>Onthophagus taurus</i>) and those that are not stenotopic to dung (e.g. <i>Anotylus sculpturatus</i>).
Dung/foul habitats	A wide category for species that live in decaying environments, including rotten vegetation, dung and animal matter (e.g. <i>Aphodius fimetarius</i> , <i>Oxytelus</i>).
Carrion	Insects living on/in animal carcasses of all forms (e.g. many <i>Histeridae</i> and <i>Silphidae</i> species).
Meadowland	Insects of natural grassland or near equivalents but always on open landscapes (e.g. <i>Chaetocnema arenacea</i> , <i>Entomoderus laesirostris</i>).
Disturbed/arable	Insects living in any disturbed ground surface, be it by animal, geological or human action (chiefly <i>Diplapion confluens</i> and <i>Protapion</i>)
Sandy/dry disturbed	Similar to the above, but more xerophilous species that occur on river bank or ploughed fields on more sandy soils (e.g. <i>Bruchidius biguttatus</i> , <i>Tetramorium</i>).
Woodland and trees	Species tied to either actual wood, trees or the forest/woodland environments (e.g. <i>Curculio</i> , <i>Xyleborinus saxesenii</i>).
Indicators: Deciduous	Species specific to deciduous wood or woodland, not found on coniferous wood except on rare occasions (e.g. <i>Scolytus rugulosus</i> , <i>Stenoscelis submuricata</i>).
Indicators: Coniferous	Species specific to coniferous wood or woodland, not found on deciduous wood except on rare occasions (<i>Brachytemnus porcatus</i>).
Dry dead wood	Species typically found on large fallen trees in warmer climates (e.g. <i>Anobium</i>).
Heathland & moorland	Species typically found on heathland and moorland (<i>Micrelus cf. ferrugatus</i>)
Unclassified	Eurytopic species (whose ecology is not sufficiently known) and taxa identified to genus or higher taxonomic rank level (which do not provide any precise ecological information)

Results

Lithology and chronology

The sediment profile BAG-D is composed of three sedimentary units (**Fig. 3**). From 240 to 195 cm depth, sediment consists in silty gyttja with coarse sand. Then, peat sediments are deposited from 195 cm depth to the top, comprised of Cyperaceae fibrous peats (195–78 cm and 50–35 cm) intercalated with finer, amorphous peat (78–50 cm and 35–0 cm). Superficial roots of *Erica terminalis* appear on the top 35 cm. The age-depth model indicates that BAG-D covers the last 3970–3680 cal. BP (2 σ interval). Radiocarbon analysis returned results of a modern age from 37 cm depth. A chronological gap of ca. 1600 years is observed between the ages given at 70–75 cm and 80–85 cm depth. This temporal gap occurs on either side of a lithological discontinuity occurring at 78 cm depth, suggests the occurrence of a sediment hiatus at this depth. The initial sediment accumulation is relatively high between 240 and 79 cm depth (0.18 cm.yr⁻¹ in average), and low from 78 cm to the top (0.02 cm.yr⁻¹ in average).

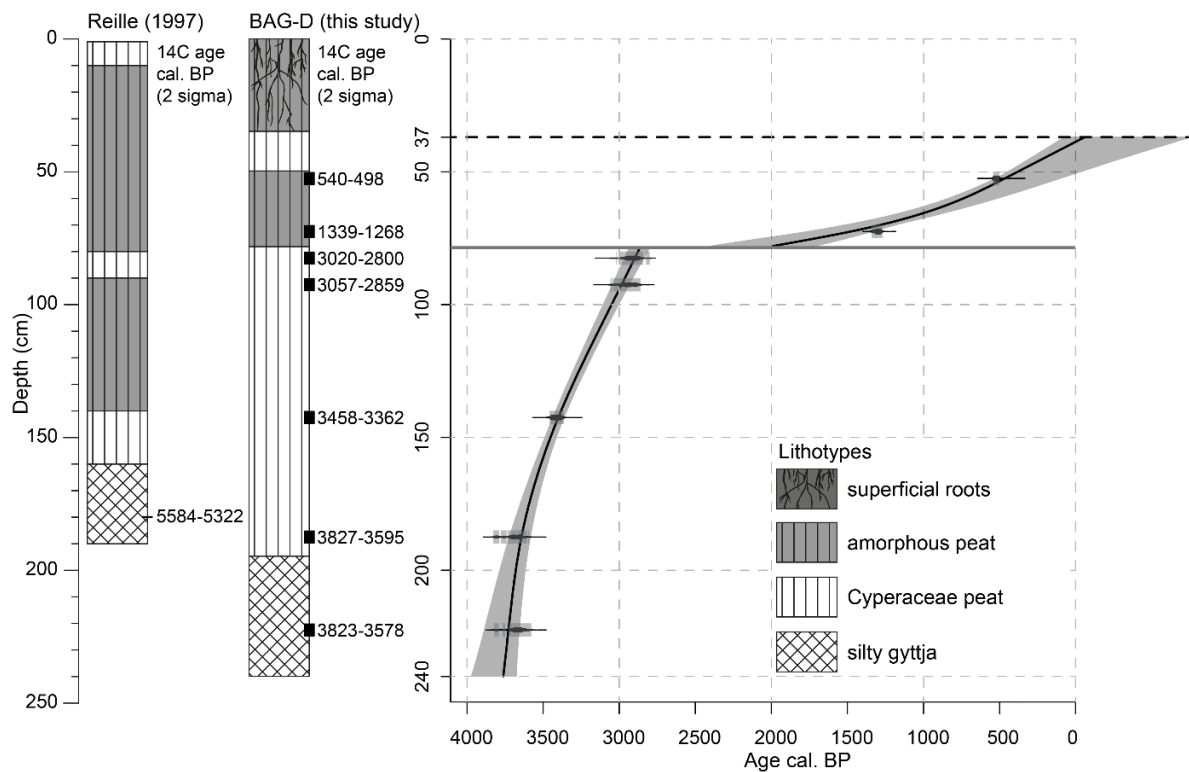


Fig. 3 Stratigraphy and chronology for the sediment core studied by Reille (1997) and for BAG-D (this study). Age-depth model of BAG-D computed on 7 ¹⁴C dating

Fossil insect assemblages

Out of a total of 4121 insect fragments, 200 taxa were identified, including 170 taxa of Coleoptera (see **Fig. 4**, **Fig. 5** and ESM 1 Table S1). Other taxa include the orders Aranaea, Diptera, Heteroptera, Hymenoptera (Formicidae), Orthoptera (Gryllotalpidae) and Trichoptera. Almost 42.4% of beetle fragments were identified to the species or species-group level, 42.3% to the genus and 15.3% to higher taxonomic level. Relying on the CONISS analysis, 6 biozones (IFU-1 to IFU-6) stood out (**Fig. 6**):



Fig. 4 Arthropod fossils from BAG-D. 1: *Limnichus*, charred body; 2: *Xyleborinus saxesenii*, pronotum and elytrons; 3: *Scolytus rugulosus*, elytra; 4: *Curculio*, elytron; 5: *Berginus tamarisci*, elytron; 6: *Dryophilus*, elytron; 7: *Percus corsicus*, elytron; 8: *Gastrallus*, elytron; 9: *Astenus*, head, pronotum and elytron; 10: *Mesocoelopus collaris*, elytron; 11: *Salpingus planirostris*, head; 12: *Carpophilus*

bipustulatus, *elytra*; 13: Hylesinus toranio, *elytron*; 14: Gymnetron, *elytron*; 15: Sphaerotachys hoemorrhoidalis, *elytron*; 16: Gyrohypnus angustatus, *head*; 17: Brachytemnus porcatus, *pronotum*; 18: Coelostoma orbiculare, *pronotum*; 19: Choerorhinus squalidus, *elytra*; 20: Magdalis cerasi, *pronotum*; 21: Rhyncolus punctatulus, *head*; 22: Melasis buprestoides, *elytron*; 23: Cercyon rhomboidalis, *head, pronotum, elytra and metasternum*; 24: Cardiophorus cf. vestigialis, *head and pronotum*; 25: Euoniticellus fulvus, *head*; 26: Dichillus cf. minutus, *head*; 27: Dryops, *entire body*; 28: Helops caeruleus, *pronotum*; 29: Onthophagus ruficapillus, *head*; 30: Micrelus cf. ferrugatus, *pronotum*; 31: Cephennium aubei, *elytra and genitalia*; 32: Bembidion lunulatus, *head and pronotum*; 33: Rhythrodytes sexguttatus, *pronotum and elytra*; 34: Quedius, *head and pronotum*; 35: Hydroporus memnonius, *head, pronotum and elytrons*; 36: Oxyomus sylvestris, *elytron*; 37: Cobosia pruinosa, *elytron*; 38: Ocypus cf. aethiops, *elytron*; 39: Entomoderus laesirostris, *mesosternum and genitalia*; 40 Platypus cylindrus, *elytra (male, female)*

IFU-1 (240 to 200 cm depth; 3760-3680 cal. BP)

The 8 samples of this IFU are characterised by few insect remains: <25 fragments per sample and 16 insect taxa. Only 3 aquatic taxa were recorded: *Hydroporus*, *Agabus bipustulatus*, a common species in almost all types of standing or running water (Guignot 1947; Nilsson and Holmen 1995) and *Dryops* which live buried in the muddy margins of water bodies (Koch 1989–1992; Tronquet 2014). Hygrophilous beetles of sandy/muddy riverbanks (*Limnichus*) and sandy/gravelly soils (*Scopaeus*) were found as well. The first isolated occurrences of *Onthophagus*, a coprophagous beetle and *Protapion* which feed on Fabaceae (mainly *Trifolium* sp.) suggest the availability of grasslands in close proximity to Bagliettu. The record of *Xyleborinus saxesenii*, a saproxylophagous species usually living on Fagaceae (*Castanea sativa*, *Quercus* and *Fagus sylvatica*), is probably due to the presence of a riparian forest along the Asco River.

IFU-2 (200 to 170 cm depth; 3680-3570 cal. BP)

The five samples of IFU-2 are characterised by a diversified insect fossil assemblage (365 macrofossils and 28 taxa per samples in average). Aquatic habitats are reflected by 13 aquatic taxa. Some of them are exclusively recorded in IFU-2 (e.g. *Hyphydrus*, *Enochrus*, *Hydrobius*) or strictly limited to this IFU and the following (e.g. *Agabus bipustulatus*, *Hydraena testacea*, *Limnoxenus niger*). These standing-water beetles live on pools, rich in decaying leaves, or in the calm part of lakes and rivers (Guignot 1947; Koch 1989–1992; Nilsson and Holmen 1995). Among Trichoptera remains, the frontoclypeus of Limnophilidae and of *Sericostoma* have been identified (see [Fig. 5](#)). According to Lepneva (1964–1971), the Limnophilidae are usually found in small and stagnant waterbodies while species of *Sericostoma* live in brooks and rivulets with rapid current.

Several wetland insects were also identified. Among them, some phytophagous Coleoptera give information about the flora composition, such as *Donacia marginata* which eats leaves of *Sparganium* at margins of bogs and pools (Koch 1989–1992). The presence of *Carex* is suggested by Phalacridae, of which the larvae of many species feed on smut spores infecting sedges and grasses (Thompson 1958). *Epitrix pubescens* is an oligophagous beetle mainly found on *Solanum dulcamara* and *S. nigra* (Koch

1989–1992). Amongst the others hygrophilous taxa were the ground beetle *Acupalpus*, *Tachys* and the rove beetles *Carpelimus* and *Ochthephilum*. All of these taxa occur close to standing water or on the wet banks of streams and marshes (Fauvel 1875; Jeannel 1941–1942). The vicinity of sandy riverbanks is suggested by the presence of *Limnichus*, *Scopaeus* and *Rugilus*, the latter of which usually live under stones and in flood detritus (Fauvel 1875). Presence of flood debris and mouldy plant debris are also suggested by *Cercyon rhomboidalis*, a Corsican endemic species (Tronquet 2014).

Regarding xylophagous insects, the majority are polyphagous on various broad-leaved trees (*Alnus*, *Castanea*, *Fagus*, *Fraxinus*, *Quercus*, *Salix*, *Ulmus*, etc.). Such is the case for the weevils *Choerorhinus squalidus*, *Stenoscelis submuricata*, the Eucnemidae *Melasis buprestoides* and the Throscidae *Trixagus* (Hoffman 1954; Koch 1989–1992). Other species are limited to fewer food sources: *Hylesinus toranio* is found on *Fraxinus* but also on *Fagus* or *Olea europaea* and *Scolytus rugulosus* lives especially on/under the bark of rosaceous fruit trees (*Prunus*, *Pyrus*, *Malus*) (Koch 1989–1992). The local presence of *Quercus* is suggested by *Salpingus planirostris* and specimens of *Curculio*. Most *Curculio* species larvae depend on oak acorns (Hoffman 1954). The presence of dry wood is indicated by the wood borers *Dryophilus*, *Gastrallus* and *Mesocoelopus collaris* (that depends on *Hedera helix*). The presence of old and decaying trees is attested by *Aspidiphorus* cf. *orbiculatus* and *Sepedophilus*, that occur on rotten wood with mushrooms (Koch 1989–1992), and by *Helops caeruleus* which lives in hollow trees or under the bark of decaying trees.

Open landscape with grasslands is suggested by numerous fossils of the weevil, including *Diplapion confluens* (relying on *Matricaria* and *Anthemis*) and *Protapion*. The fossils of *Bruchidius biguttatus*, the larvae of which develop in the seeds of various Cistaceae, and of *Smicronyx* that depends on *Cuscuta* were found. These beetles point to the presence of thermophilous plants (Hoffman 1954; Tronquet 2014). Some coprophagous beetles (*Caccobius schreberi*, *Euoniticellus fulvus* and *Onthophagus taurus*) occur occasionally through this unit.

IFU-3 (170 to 125 cm depth; 3570-3270 cal. BP)

Similarly to IFU-2, 74 coleopteran taxa were identified in IFU-3 but there are variations in the faunal composition. Three new aquatic taxa appear only in IFU-3: *Rhythrodytes sexguttatus*, *Ochthebius* and *Berosus*. The occurrences of *R. sexguttatus*, are interesting since this rheophilous Mediterranean species lives in clear and relatively cold running waters of small mountain streams (Giudicelli and Talin 1997). Trichoptera cases were found in considerable numbers (258 cases in total). Most of the wetland Coleoptera taxa found in IFU-2 are still present in IFU-3 (i.e. *Donacia marginata*, *Cercyon rhomboidalis*, Phalacridae, *Contacyphon*, *Carpelimus*, *Ochthephilum* and *Tachys*). Among the new species, fossil records of *Elodes*, *Bembidion lunulatus* and *Tachys bistriatus* are noteworthy. Adults of *Elodes* live on the riparian vegetation but larvae are aquatic and live in running waters occurring from the sources to the rhithron and epipotamon zones (Koch 1989–1992). The Carabids *Bembidion lunulatus*

and *Tachys bistriatus* occur on margins of freshwater swamps and in flood detritus of sandy/muddy banks, respectively (Jeannel 1941–1942). Two new taxa, *Endomia* and *Erichsonius signaticornis*, make their appearance as well; they are commonly associated with riverbanks (Thérond 1975–1976).

The taxonomic richness of wood- and tree-dependent beetles slightly decreases in IFU-3, compared with IFU-2 (respectively 15 and 17 taxa) but almost all taxa of the unit are recorded there for the first time. Among them, *Sphinginus lobatus* is found in light deciduous woods, mainly on oak (Koch 1989–1992) and *Platypus cylindrus* digs galleries on large broadleaf trees (mainly *Quercus* sp., *Fagus sylvatica* and *Castanea sativa*). Local presence of sick or decaying trees is indicated by occurrences of *Cis*, *Rhyncolus punctatulus* and *Cephennium aubei*. Species of *Cis* are mycetophagous, feeding on Polyporaceae (Rose 2012) and *Rhyncolus punctatulus* bores in the trunk of sick trees or under the bark where the larva feeds on rotten wood (Hoffman 1954). The rove beetle *Cephennium aubei* lives on the litter, humus and decayed wood (Koch 1989–1992). The presence of rosaceous trees is attested to by *Magdalis cerasi* (Hoffman 1954). Insects of meadows and disturbed ground are only represented by scarce occurrences of *Protapion* (**Fig. 6**) and coprophagous beetles are less abundant in this IFU compared with IFU-2.

IFU-4 (125 to 70 cm depth; 3270-1280 cal. BP)

The first five samples of IFU-4 are characterised by a decline of the total number of taxa (148 remains and 36 coleopteran identified). Aquatic fauna are represented by scarce fragments of previously-discussed taxa (*i.e.* *Hydroporus*, *Anacaena*, *Dryops* and Trichoptera). Wetland insects decrease and those of open wet habitats disappear altogether. Only *Coelostoma orbiculare*, a semi-aquatic Hydrophilid living in mud and vegetal debris in wetlands (Koch 1989–1992), appears for the first time in the sequence. In the contrast to this, wood- and tree-dependent beetles remain well-represented with taxa already found in IFU-2 and/or IFU-3 (*Platypus cylindrus*, *Rhyncolus*, *Berginus tamarisci*, Anobiidae, *Cephennium aubei* and *Trixagus*) and two new taxa: *Cetonia* and *Habrocerus capillaricornis*. Species of *Cetonia* are found on flowers, mainly Asteraceae, but the larvae live in compost of old trees (Paulian and Baraud 1982) whereas *Habrocerus capillaricornis* lives in the leaf litter of deciduous and mixed woodlands (Koch 1989–1992). Insects of disturbed ground are scarce in IFU-4: only the first records of *Gymnetron* and *Tetramorium* are noteworthy. Species of *Gymnetron* reported in Corsica depend on various *Veronica* and they are always found on disturbed grassland (Tronquet 2014). Ants of the genus *Tetramorium* are thermophilous and nest under the stones on poorly-vegetated and sandy areas (Bolton and Collingwood 1975).

The last sample of IFU-4 (75–70 cm depth) is composed of amorphous peat deposited after the lithological change at 78 cm depth (**Fig. 3**). It is characterised by 3 new wood- and tree-dependent beetles for the sequence: *Agelastica alni* (considered as an alder damager), *Hemicoelus* cf. *fulvicornis* (a xylophagous living on dead broadleaf trees with a predilection for *Fagus sylvatica*) and *Netocia morio*. Ecological features of *Netocia morio* are close to *Cetonia* but adults are also found on tree

wounds (*Quercus*, *Salix*, etc.) and are frugivorous on *Myrtus* and *Ficus* (Caillol 1908–1954; Degallier 1976). In this sample, the fossils of *Micrelus* cf. *ferrugatus* (dependent on *Erica arborea* and *Erica scoparia*) are the unique indicators of heathlands in the whole BAG-D (Hoffman 1954; Tronquet 2014).

IFU-5 (70 to 30 cm depth; 1280 cal. BP to the present)

IFU-5 is the most diversified unit with 92 coleopteran taxa. This diversification mainly applies to wood- and tree-dependent beetles, taxa associated with open environments and indicators of dung and pastures. The aquatic fauna is represented by a few specimens of *Hydroporus memnonius*, *Hydraena*, *Limnebius*, *Anacaena*, *Dryops* and of Trichoptera cases. The paludicolous Carabids *Acupalpus brunnipes*, *Agonum gracile*, *Sphaerotachys hoemorrhoidalis* (Jeannel 1941–1942) and the Gryllotalpidae *Gryllotalpa* (commonly found on meso-hygrophilous meadows) are recorded for the first time.

The continued presence of the xylophagous beetles (e.g. *Agelastica alni*, *Cobosolia pruinosa*, *Curculio*, *Platypus cylindrus*, *Scolytus rugulosus*, *Stenoscelis submuricata*, *Trixagus dermestoides* and *Xyleborinus saxesenii*) indicates the presence of a riparian forest including alders, rosaceous trees and oaks. The presence of *Quercus* in the vicinity is also suggested by *Dolichoderus quadripunctatus*. This arboreal ant nests on the dead wood of *Ulmus*, *Populus* and *Salix* alongside rivers but is generally associated with oak-leaf galls produced by the attacks of the gall wasp *Cynips quercusfolii* (Torossian 1960, 1968; Barbard 1968).

Many specimens of *Diplapion confluens*, *Protapion* and *Gymnetron* are recorded. Some meadowland and disturbed ground species are only recorded in this unit: the leaf beetles *Chaetocnema arenacea*, *Chrysolina* cf. *viridana*, the weevils *Ceutorhynchus*, *Tychius* and the ground beetle *Demetrias atricapillus*. *Chaetocnema arenacea* occurs on Poaceae in wet meadows (Koch 1989–1992) and *Chrysolina* cf. *viridana* is restricted to *Mentha* (Tronquet 2014). Species of *Ceutorhynchus* and of *Tychius* live on herbaceous vegetation (Hoffman 1954). *Demetrias atricapillus* is found on the aquatic Apiaceae *Oenanthe* and occurs on various open/wet biotopes (Jeannel 1941–1942). IFU-5 is also characterised by a rich coprophilous and coprophagous beetle fauna including *Bubas bison*, a large deep-tunneling beetle that buries into the dung of large mammals (e.g. cowpat, horse dung), and other dung beetles (e.g. *Caccobius schreberi*, *Onthophagus rufficapilus* and *O. taurus*) that are found in excrement left by smaller mammals (Paulian and Baraud 1982). Species occurring in dung as much as rotten vegetal matter were also found (e.g. *Aphodius fimetarius*, *Oxyomus sylvestris*, *Anotylus nitidulus*, *A. sculpturatus* and *Oxytelus*).



Fig. 5 Arthropod fossils from BAG-D. 41: *Agonum gracile*, head, pronotum and elytra; 42: *Netocia morio*, scutellum; 43: *Bubas bison*, head (horn); 44: *Acupalpus*, pronotum and elytron; 45: *Chaetocnema arenacea*, elytron; 46: *Anotylus nitidulus*, head and pronotum; 47: *Bruchidius biguttatus*, elytron; 48: *Gryllotalpa*, femur; 49: *Sisyphus schaefferi*, femur; 50: *Atomaria*, elytra; 51: *Caccobius*

schreberi, pronotum and femur; 52: Demetrias atricapillus, head; 53: Cerylon, elytron; 54: Aphodius, elytron; 55: Cetonia aurata, head (clypeus); 56 Brachygluta, pronotum; 57: Onthophagus taurus, head; 58: Ochtheophilum fracticornis, head; 59: Erichsonius signaticornis, pronotum; 60: Lordithon, elytron; 61: Cis, elytron; 62: Stenoscelis submuricata, elytron; 63: Anotylus sculpturatus, pronotum and elytra; 64: Tropinota squalida, scutellum; 65: Habrocerus capillaricornis, pronotum, elytra and genitalia; 66: Hydraena testacea, head, pronotum and elytra; 67: Donacia marginata, pronotum; 68: Valgus hemipterus, femur; 69: Trixagus, elytra; 70: Diplapion confluens, head, pronotum and elytra; 71: Carabodinae, cephalothorax; 72: Poneria, head; 73: Solenopsis, head; 74: Myrmecina graminicola, head; 75: Tetramorium, head; 76: Dolichoderus quadripunctatus, head; 77: Lasius, head; 78: Limnophilidae, frontoclypeus; 79: Sericostoma, frontoclypeus; 80: Trichoptera, cases

IFU-6 (30 cm depth to the surface; modern sediment)

This unit is characterised by poor insect content (8 beetle taxa). *Contacyphon* is still regularly recorded, however, and together with *Carpelimus* act as the only indicator of wetlands. Aquatic beetles are represented by a single occurrence of *Dryops* and *Hydroporus*. The presence of open landscape with pasture is still suggested by the last records of *Protapion* and *Aphodius*. These poor preservation conditions are explained by the presence of *Erica terminalis* roots: the sub-recent insect fragments of this unit are corroded and pierced by rhizomes.

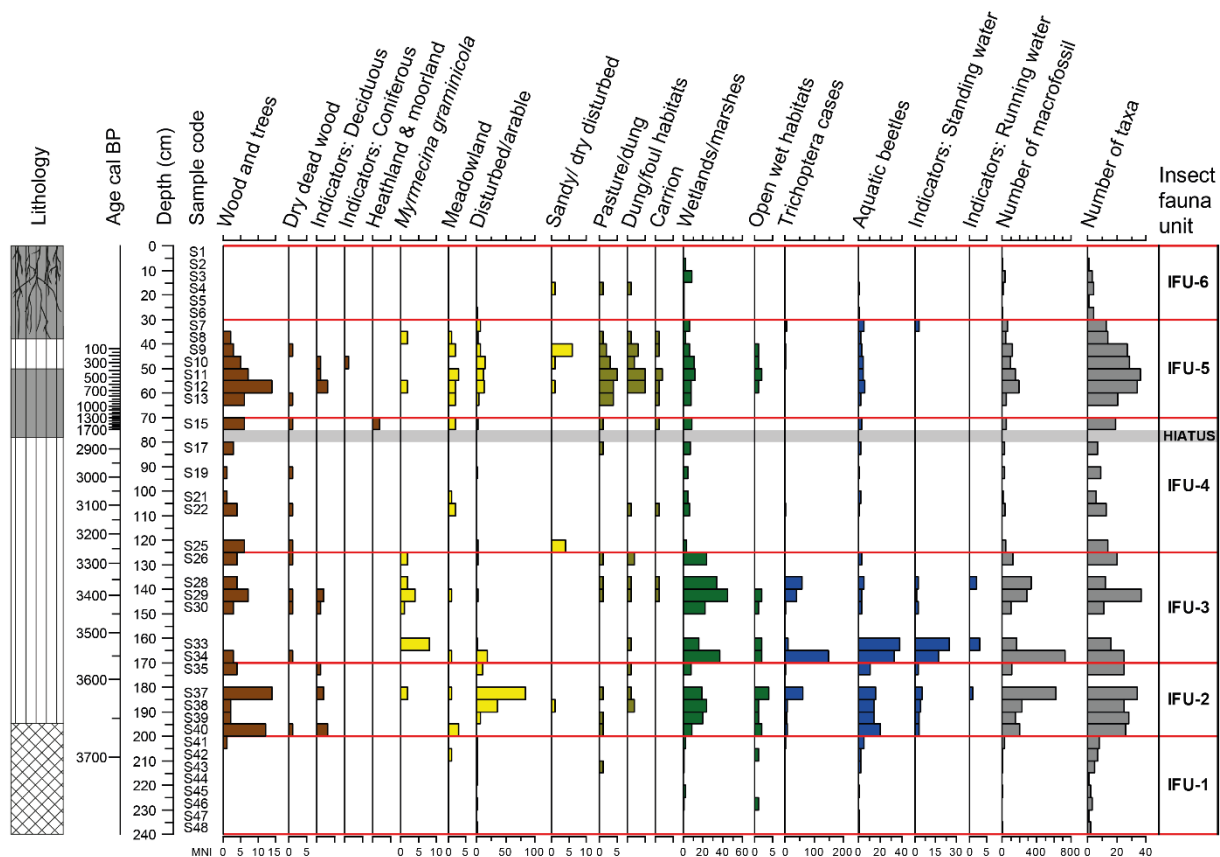


Fig. 6 Histogram of main insect ecological groups and selected insect taxa from Bagliettu peat-bog (BAG-D). All insect fossil values are expressed as minimum number of individuals (MNI) per sample. IFU, Insect fauna unit. The horizontal grey band highlights the sedimentary hiatus. See Fig. 3 for the description of the lithology

Macroscopic plant remains and charcoals

Plant macrofossil assemblages are composed of 4137 identified items belonging to 34 plant taxa (ESM 2 Table S2). Almost all of the identified plant taxa are characteristic of modern flora in the study area. Plant macrofossils are divided into 5 assemblage zones (from PMAZ-1 to -5) (Fig. 7). The richness in macrofossils varies along the core, with the poorest samples (PMAZ-1 and -5) corresponding to the poorest insect-content samples (IFU-1 and -6).

Among shrubs and trees, *Alnus* is frequently recorded. The greatest amount of fruits (85 per 100 cm³) is found at 170–175 cm depth, together with 132 fruit stones of *Rubus*. *Rubus* is also represented by an amount of fruit stones in PMAZ-4 (from 40 to 65 cm depth). *Erica* is represented both by seeds and buds in PMAZ-4, and -5. The greatest amount of *Erica* (30 buds and 32 seeds per 100 cm³) is recorded at 35–40 cm depth. Fruit stones of *Sambucus* are regularly recorded in PMAZ-2 but are scarce in other PMAZs. *Vitis vinifera* is regularly encountered along the core and the greatest amount of its seeds is found in PMAZ-4 (at 60–65 cm depth). The morphometric measures on two non-charred grape seeds (at 145–150 and 70–75 cm depth) indicate that these two pips presented a wild form *Vitis vinifera* ssp. *sylvestris* (Table 3).

Table 3 Results of grape seed classification from the results of AFD analysis. L: total length, LS: length of stalk and PCH: placement of chalaza and B: total breadth. Pr (Cep): probability for cultivated grape seed, Pr (Syl): probability for wild grape seed. Only affectations with a probability above 0.75 were considered as significant

Samples	Measures of segments (cm)				Result of AFD analysis			
	L	LS	PCH	B	Predicted class	Pr(Cep)	Pr(Syl)	F1
S30 (150–145 cm)	4.63	0.534	1.913	3.876	Sylvestris	0.000	1.000	3.902
S15 (75–70 cm)	4.548	0.648	1.793	3.417	Sylvestris	0.000	1.000	2.904

Among Cyperaceae, *Carex* is the most represented taxon with 129 three-sided specimens and 256 biconvex specimens per 100 cm³ at 50–55 cm depth. *Carex echinata* and *Isolepis setacea*-type, are recorded respectively at 190–195 and 40–45 cm depth. *C. echinata* is a characteristic plant of acidic peat-bogs also occurring in peaty/sandy shores or wet meadows (Ball and Reznicek 2002) and *I. setacea* is typically found on the muddy margins of standing waters and on seasonally-inundated or permanently-moist disturbed ground (Lansdown 2013). *Eleocharis* is only recorded in PMAZ-5 and seeds of *Cyperus* cf. *longus* are more abundant in this assemblage. Six other aquatic and hygrophilous plant taxa were recorded: *Juncus*, *Sparganium* (6 buds in PMAZ-2), *Eupatorium cannabinum*, *Lycopus europaeus* and *Potamogeton* (2 fruit stones in PMAZ-3). *Eupatorium cannabinum* and *Lycopus europaeus* are abundant but limited to PMAZ-2.

Macrofossils of terrestrial plants were relatively diverse. Most of them are limited to PMAZ-4, such as Euphorbiaceae, Fabaceae, *Fumaria*, *Montia*, *Ornithopus* cf. *compressus*, *Polycnemum*, *Silene* and *Trifolium*. Some taxa: *Hypericum*, *Moehringia*, *Potentilla*, *Prunella vulgaris* and *Viola* are found in

other PMAZs but are more abundant in PMAZ-4. Among others, *Mentha* is frequently recorded (until 19 schizocarps per 100cm³ in PMAZ-2) and *Chenopodium*, Polygonaceae and *Solanum* are represented by few specimens along the sediment core.

All analysed samples from BAG-D have provided macroscopic charcoal remains (*Fig. 7*; ESM 3 Table S3). The charred-particle count ranged between 2 and 6285 particles per sample, with a mean value of 948 (median of 590). Mean charcoal influx rates are higher in the silty-gyttja sediments below 195 cm depth (1.6 particules.cm⁻².yr⁻¹) than in the peaty sediments above (0.4 particules.cm⁻².yr⁻¹) suggesting that charcoal influx have changed due to a change of depositional processes. Charcoal deposition may be linked to fluvial detrital supply in the siltier unit and may rather be related to surface runoff on lateral slopes or *in situ* fires in the peat unit. The peaty unit is characterised by four concomitant peaks of charcoal concentration and influxes at 165–170, 140–145, 105–110 and 55–60 cm depth (*Fig. 7*). This corresponds to a higher charcoal influx in PMAZ-2 and -3 (respectively 0.8 and 0.7 particules.cm⁻².yr⁻¹) than in PMAZ-4 (0.2 particules.cm⁻².yr⁻¹).

Discussion: Environmental history and land-use

Causes of the sedimentary gap: climate, fire, human impact?

A temporal gap dated from 2940 to 1720 cal. BP (2 σ interval) has been found at 78 cm depth in the core BAG-D, characterised by a lithological change from a fibrous Cyperaceae peat to amorphous peat (*Fig. 3*). The sedimentological changes in BAG-D may correspond to those observed by Reille (1997) at 80 cm depth. This hypothesis is corroborated by the fact that this depth corresponds to the transition between the pollen zones B and C (*Fig. 2*). Accordingly, it is reasonable to consider that both cores (from Reille 1997 and BAG-D) display a hiatus at these depths. In our case, the pollen zone C necessarily matches the last sample of PMAZ-3 and the beginning of PMAZ-4 (from 79 cm depth onward). This hiatus of sedimentation may be related to an interruption of peat accumulation, to peat combustion because of fire or because of erosion.

Holocene climatic changes are poorly documented in Corsica. Studies of Lake Accessa (Italy), located 150 km-east from Bagliettu at a comparable latitude and altitude (42°N, 157 m a.s.l.), suggest the existence of a drier period ranging from 2100 to 1800 cal. BP (Magny et al. 2007; Vannière et al. 2008) which may partly fit the temporal range of the hiatus in BAG-D. Considering that Bagliettu peat-bog is currently supplied by water from lateral sources (Gamisans et al. 1998), we cannot rule out the hypothesis that drier climatic conditions could have induced a drying out of these springs, causing an interruption in wetland ecosystem productivity and peat accumulation.

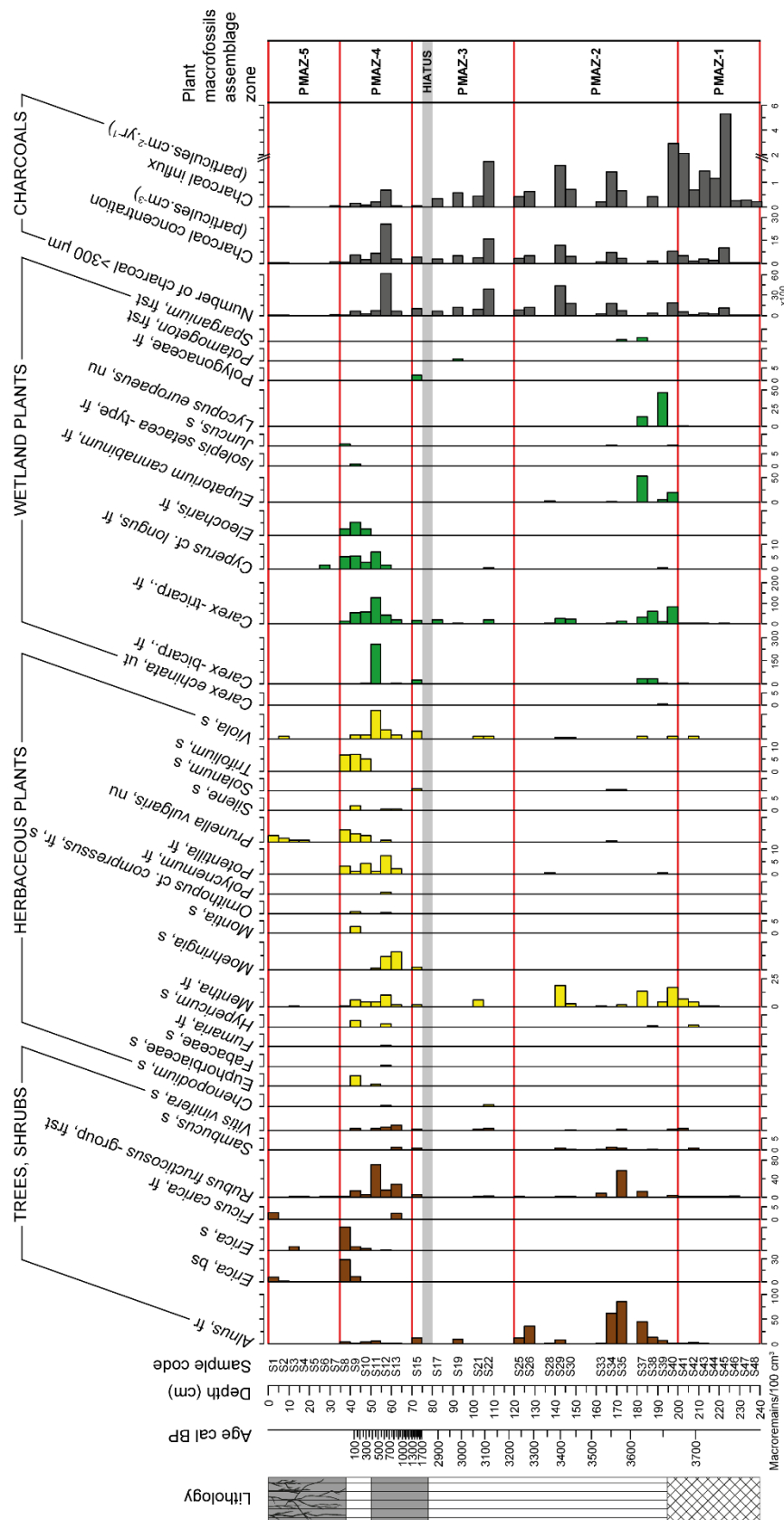


Fig. 7 Plant macrofossil and macrocharcoal histograms from Bagliettu peat-bog (BAG-D). Fr: fruit; s: seed; bs: buds; frst: fruitstone; nu: nutlets; ut: utricle. PMAZ, plant macrofossils assemblage zone. Total number of charcoal fragments >300µm, charcoal concentration (particules.cm-3) and charcoal influx (particules.cm-2.yr-1) are given. The horizontal grey band highlights the sedimentary hiatus. See Fig. 3 for the description of the lithology

An alternative explanation is related to the increase of pollen and zoo-archaeological evidence of land-use in several Corsican sites during the Iron Age and the Roman Period (Reille 1984, 1992; Vigne 1988; Vigne and Valladas 1996; Currás et al. 2016; Poher et al. 2017). In Bagliettu, pollen of ruderal and cultivated plants (*Rumex*, *Plantago lanceolata*, *Cerealia*-type) and coprophilous beetles recorded respectively in zone D and IFU-5 (**Fig. 8**) also suggest occurrences of human activities during the Roman period. It is plausible that fire event(s), possibly resulting from slash-and-burn agriculture occurred at Bagliettu between ca. 2940–2800 and 2390–1720 cal. BP (2σ), inducing the hiatus. It is also possible that cattle trampled and over-grazed the peat-bog, leading to an opening of the vegetation, soil destabilisation and an increased erosion at the coring point until a recent date i.e. 1700 cal. BP. Besides, it is noteworthy that a high percentage of values of *Erica arborea* are found after the hiatus (pollen zone C; **Fig. 2**). This suggests that the sedimentation of the Bagliettu peat-bog could have started again only after the colonisation of heathland in the catchment.

Origin of the peat-bog

With a single ^{14}C AMS date performed on bulk sediment, Reille (1997) estimated the formation of Bagliettu peat-bog around 5580–5320 cal. years ago (2σ). However, the bottom of our core dates back to 3970–3680 cal. BP (2σ), which raises the question of contemporaneity between the two sediment cores. If we compare the previous pollen data with plant macrofossils data (**Fig. 8**), we observe several correlations which are summarised in **Table 4**. All these correlations suggest that the Cyperaceae peat deposits of BAG-D and the sediment core analysed in 1997 are almost contemporaneous. This leads us to think that the ^{14}C age 5453 ± 131 cal. BP, obtained by Reille (1997) on sediments is older than the age of the sediment deposition and should be rejected.

Given that the Asco River currently stands at 206 m a.s.l. and that BAG-D was sampled at 212 m a.s.l., the base of the sedimentary deposit stands at 209.6 m a.s.l., ca. 3.5 m above the current riverbed. The presence of coarse sands in the silty-gytja indicates that sediment deposition probably occurred in a palustrine environment located ca. 3.5 m above the current riverbed, influenced by intermittent overbank flow from the main river channel. This could explain why plant and insect macrofossils (respectively in PMAZ-1 and IFU-1) are rare and the Cyperaceae peat poorly-developed before 3700 cal. BP (**Fig. 8**). Thus, these results argue that the peat-bog was initially connected to the Asco River during major floods and submitted to its hydrological changes.

It must be noticed that over the last 57 years, large floods of the Asco River occurred after intense precipitation events, with decennial flows ranging between 84 and 110 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (<http://www.hydro.eaufrance.fr>). These high discharges provide the energy to transport a large quantity of sediment which has shaped the braided morphology of the river since the last century (**Fig. 1b**). Past flood events have certainly generated diversions of the active channels, with the formation of alluvial

terraces and abandoned meanders. In this context, the Bagliettu peat-bog probably formed on an abandoned channel of the Asco River.

Table 4 Example of correspondence between pollen and macroremains of selected plants

Selected plants represented both by pollen and macroremains	Pollen data (Reille 1997)	Plant macroremains (this study)
Asteroidae	Continuous curve of Asteraceae between 190 and 165 cm	Macrofossils of <i>Eupatorium cannabinum</i> abundantly recorded between 200 and 180 cm
<i>Alnus</i>	Double increase in pollen curve of <i>Alnus</i> at 165 and 110 cm	Double increase in abundance of <i>Alnus</i> fruits at respectively 175–165 cm and 130–120 cm
<i>Vitis</i>	Optimum of <i>Vitis</i> at 30 cm	Particular abundance of <i>Vitis</i> at 65–60 cm
Cyperaceae	Peak in curve of Cyperaceae at 10 cm	Increase in abundance of <i>Carex</i> fruits (bicarp and tricarp) at 55–50 cm
<i>Erica terminalis</i>	Continuous curve of <i>Erica terminalis</i> from 30 cm to the surface	Buds and seeds of <i>Erica</i> from 60 cm to the surface

The past ecosystem dynamics of Bagliettu between ca. 3700 and 2900 cal. BP

Between 3650 and 3500 cal. BP (IFU-2, IFU-3 and PMAZ-2), the groups of running and standing water insects indicate that deposition took place in a still or slow-moving waterbody under the form of a swamp close to the Asco River (**Fig. 6**). Plant macrofossils (*Eupatorium cannabinum*, *Lycopus europaeus*) and beetles of open wet habitats indicate that muddy, poorly-vegetated banks probably stretched beside the river (**Fig. 8**). The local development of marshy plants is indicated by pollen grains and macrofossils of Cyperaceae and by a diversified wetland insect fauna directly linked to these plant communities (e.g. *Donacia marginata*, Phalacridae).

From 3600 cal. BP, macrofossils of *Alnus* became dominant while those of *E. cannabinum* disappeared, suggesting that a more mature riparian forest become established (**Fig. 8**). Xylophagous beetles confirm the presence of woodland made up of alders and probably oaks. As suggested by Smith et al. (2010), the proportion of terrestrial insects associated with trees can reflect the presence of ‘dense forests’ and assess the degree of openness. They suggested that a proportion of >20–25% tree-associated Coleoptera may indicate closed canopy woodlands, while values <5% rather indicate a largely cleared landscape. Finally, intermediate values may indicate pasture-woodland landscapes. In IFU-4, insect indicators for trees/woods accounted for 30% of the terrestrial fauna (25% in IFU-3 and 27% in IFU-2). These results should be used with caution since the vegetation and climatic contexts here are different than the ones used in Smith et al. (2010). Still, they suggest that woodlands were present between ca. 3700 and 2900 cal. BP but that the past canopy cover was probably denser from ca. 3200 cal. BP. Otherwise, the alder carr seems to have been stable between ca. 3300 and 2900 cal. BP but the low resolution of the pollen analysis could have missed environmental changes or perturbations. In particular, the synchronicity between a peak of charcoal influx at ca. 3100 cal. BP with macrofossils of herbaceous plants (*Cyperus* cf. *longus*, *Chenopodium*) suggests that a fire occurred, favouring the temporary development of heliophilous vegetation (**Fig. 7**).

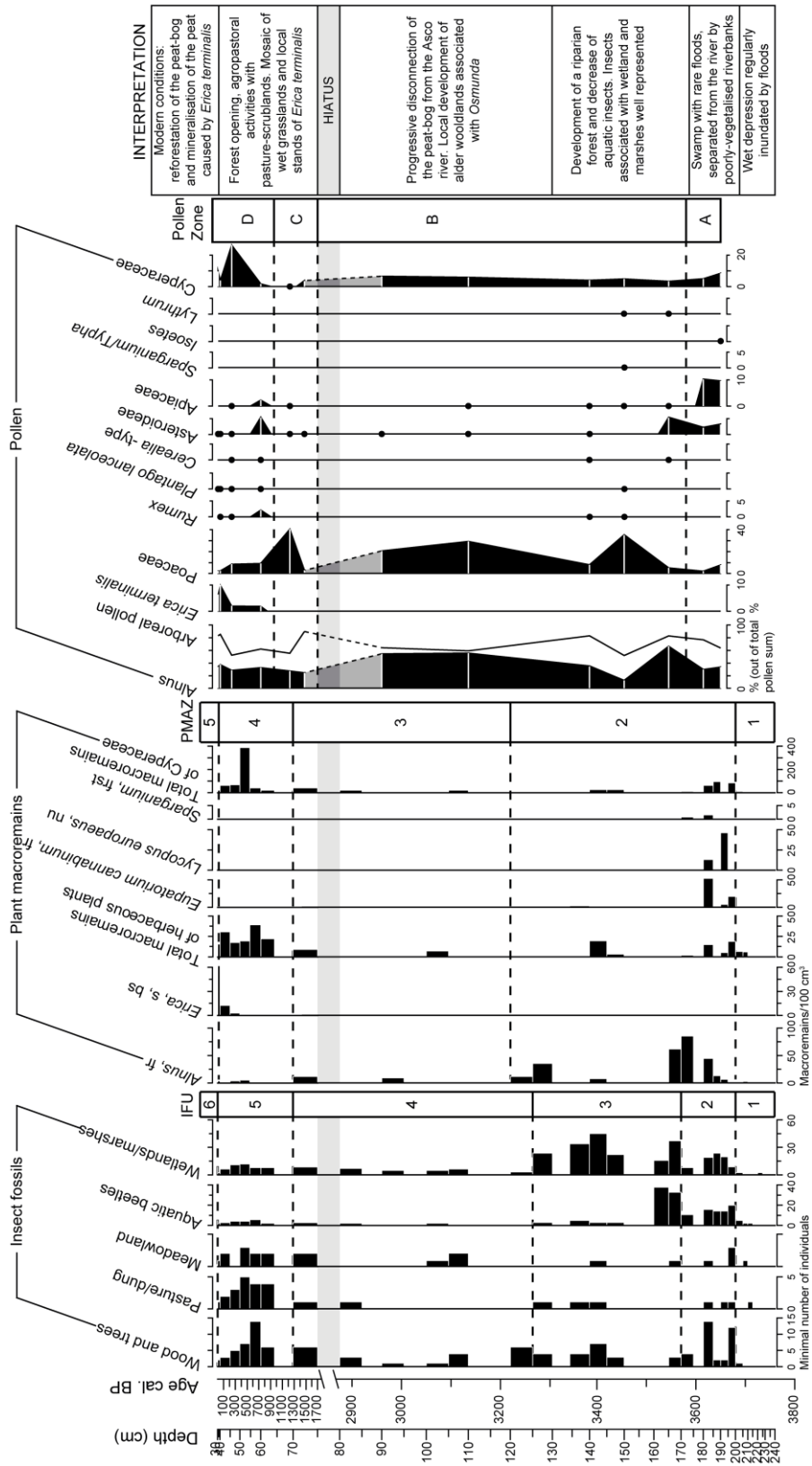


Fig. 8 Selection of ecological groups of insects and of plant macrofossils from BAG-D and selection of pollen types from Reille (1997) with summary interpretations of the three proxies. IFU, insect fauna units; PMAZ, plant macrofossils assemblage zones. The horizontal grey band highlights the sedimentary hiatus

Progressively, from ca. 3300 to 2900 cal. BP, the disappearance of Trichoptera might indicate that the peat-bog was disconnected from the Asco. This could have been the result of a progressive entrenchment of the river during the late-Holocene. Indeed, a predominantly Mediterranean river behavior of incision has been reconstructed for the last 7000 cal. BP as a result of the reduced sediment supply (Hewitt 2002, Brisset et al. 2014; Saillard et al. 2014). During the same period, plant and insect macrofossils became less abundant, raising the question of preservation and taphonomy. In the pollen record, *Alnus* and *Osmunda* increased during this period: it is possible that the development on the bog of alder woodlands associated with *Osmunda*, might have played a filtering role in the insect record. Moreover, the presence of this alder-fern wood vegetation could have worsened the taphonomic processes by changing the physico-chemical conditions in the bog. This could explain why all the insect ecological groups are represented although a low number of macrofossils occurred (**Fig. 6**).

Between 3700 and 2900 cal. BP insect fossils and plant macrofossils do not reveal any important human impact on the peat-bog: patchy meadowlands with grazing animals (wild grazers or domesticated cattle) must have been present from time to time in the immediate vicinity, as suggested by the regular occurrences of coprophilous beetles and by scarce macrofossils of herbaceous plants (e.g. *Potentilla*, *Prunella vulgaris*, *Solanum*). However, the discoveries of grinding stones during recent archaeological studies around Moltifao attest to agricultural activities and have unveiled a human presence in the valley since the Neolithic, with sporadic or long human occupations [source: Direction régionale des affaires culturelles Corse (DRAC-Corse)]. Given that palynological data suggest the presence of human activities in the Asco valley during the Middle Bronze Age (Reille 1997), the high pollen record of *Erica arborea* and *Alnus* confirm that the impacts of human land-use practices were spatially restricted and probably almost absent from the peat-bog itself (**Fig. 2**).

The increasing role of human impact as driver of vegetation changes after 1700 cal. BP: toward the end of the bog?

Between 1700 and 700 cal. BP, increasing evidence of grazing in the area is recorded. Coprophagous beetle indicators of big mammals (e.g. *Bubas bison*, *Sisyphus schaefferi*), macrofossils of *Moehringia*, *Sambucus* and *Rubus* are observed and could indicate that local pasture-scrublands were developing. However, no anthropogenic indicators were observed in the pollen record, which is dominated by *Erica arborea* (zone C) (**Fig. 2**). This part of the record is isolated from the lower part by a hiatus of about 1000 years. If we assume that our sequence and the core studied by Reille (1997) are contemporary (see above), then the pollen record is probably also affected by the hiatus, which could also explain the absence of first occurrences of anthropogenic pollen taxa.

After ca. 700 cal. BP, a major change in the peat-bog landscape is shown by the marked shift of insect and plant macrofossil assemblages (IFU-5, PMAZ-4). First, a human disturbance of the soil and an

intensification of pastoralism is suggested by the significant amounts of insect indicators of meadowland (*Gymnetron*, *Chrysolina* cf. *viridana*, *Ceutorhynchus*) and of grazed land (*Onthophagus taurus*, *Caccobius schreberi*, *Sisyphus schaefferi*) (**Fig. 8**). Furthermore, in IFU-5, wood- and tree-dependent insects only accounted for 20% of the terrestrial fauna, suggesting that the woodland surface decreases over the period. Secondly, plant macrofossils data indicate an expansion of grasslands (Euphorbiaceae, *Ornithopus* cf. *compressus*, *Prunella vulgaris*, *Silene* and *Trifolium*) with vegetation of temporary pond (*Isolepis setacea*, *Cyperus* cf. *longus* and *Eleocharis*) (**Fig. 8**). Additionally, it is important to remark that almost all these indicators of grazed open lands occurred after a distinct peak of charcoal concentration (at 60-55 cm depth in **Fig. 7**). This turning point probably corresponds to the very end of zone C: the peak of Poaceae is likely related to the fire that occurred around 700 cal. BP. Then, the reduction of arboreal taxa (*Erica arborea*, *Quercus* deciduous) and the presence of herbaceous plants suggest that a major change in vegetation dynamics occurred over the last few centuries (**Fig. 8**). The pollen of *Cerealia*-type and the expansion of ‘weedy’ ruderal vegetation (*Plantago lanceolata*, *Rumex*, *Artemisia*, *Asphodelus*) show that these environmental changes were anthropogenically driven.

This set of evidence indicates that the Bagliettu peat-bog was occupied and exploited by humans at that period, corresponding to the onset of the Genoan period in Corsica (from the 13th century AD onwards). Medieval vestiges including two Genoan bridges (located <1 km away from the coring point) have been found, as have numerous stone walls and sheepfolds dating to the Medieval and the pre-industrial period have been identified in the valley (**Fig. 1b**). The Castrum of Rostino, located 10 km east from Bagliettu, also stands as a significant example of perennial human occupation in the area during the last 700 years. The study of this late medieval site (occupied between the 12th and 14th centuries AD) has provided the larger assemblage of Caprinae of Corsica (Cucchi 2003). These points lead us to suggest that human activities in the lower part of the Asco valley (pastoralism and agriculture), played a substantial role in shaping the semi-open landscape of the peat-bog at that time.

Today, the surface of the bog consists of amorphous peat that is penetrated by roots of *Erica terminalis* (**Fig. 3**). This implies that organic matter decays quickly and explains why the top 35 cm of BAG-D have provided extremely poor insect and plant assemblages. Furthermore, the sedimentation rate is relatively low and in places, the peat is eroded by cattle trampling, rainfall and water resurgences which induce the formation of muddy rivulets across the bog. However, the peat at the foot of *E. terminalis* stands is not trampled and forms tussocks.

Expansion of *Erica terminalis* at Bagliettu: a biogeographical point of view

The good correspondence between the pollen curve of *Erica terminalis* in zone D and buds/seeds of *Erica* sp. in PMAZ-4 (**Table 4, Fig. 8**) suggests that these macrofossils probably belong to *E. terminalis* rather than *Erica arborea*. This implies a recent expansion of the Corsican Heath starting from 830–520 cal. BP (2σ) onwards. Today, *E. terminalis* has a restricted distribution in the Tyrrhenian region and is

found only in Corsica, Sardinia and on the western coast of the Italian peninsula (Campania: near Salerno, and on Capri and Ventotene islands) (Pignatti 1982). This acidophilic plant grows on siliceous soils with important water reserves or in areas with a suitable water balance, often in shady habitats (Rameau et al. 2008). In Corsica it is found on the banks of streams or on wet ravines and dells, up to 1500 m a.s.l. (Rameau et al. 2008). *E. terminalis* is a native plant. Its first occurrence in the pollen record of Corsica dates back to ca. 9500 cal. BP at Lake Creno (Reille et al. 1999). This shrub was probably present near Bagliettu between ca. 3700 and 2900 cal. BP but it never spread on the peat-bog where the swampy alder forest was established. However, the alder forest was quite open and impacted by cultivation, pastoralism and fires during the last 1700 cal. BP. Thus, it is possible that human-induced clearances left an unoccupied niche, favorable for the *E. terminalis* expansion from ca. 700 cal. BP onwards.

Thus, the current landscape of Bagliettu, in which *Erica terminalis* is abundant, is relatively recent and unprecedented in the peat-bog history (Reille 1997). It likely corresponds to a previously disturbed state of vegetation maintained by past sylvo-pastoral activities. Indeed, aerial photograph comparisons show that the alder forest recovered moderately during the last 40 years (see ESM 4 Fig. S1), as a consequence of land-abandonment and reduction of grazing in the valley after the Second World War period (Ravis-Giordani 1983). However, despite being a 'natural' trajectory of the ecosystem, this colonisation by ligneous vegetation is a major issue for the conservation status of the Bagliettu peat-bog. In particular, it endangers some rare and threatened plant species such as the orchids *Liparis loeselii* and *Spiranthes aestivalis* or the carnivorous plant *Drosera rotundifolia* which were previously favored by the open vegetation induced by moderate grazing (ONF 2003).

Conclusion

This study represents the first contribution of fossil insects to the knowledge on late Holocene environmental changes in Corsica mainland. By comparing this proxy to plant macrofossils, charcoal and the pollen record, it has been possible to: (1) provide new insights on the origins of the peat-bog, (2) reconstruct the late-Holocene dynamics of this ecosystem and (3) evaluate the legacy of land-use on the current state of the wetland.

Our data suggest that the origin of Bagliettu results from the conjunction of favourable topographical and hydrological conditions that combined between ca. 3700 and 2900 cal. BP. In the beginning, the Asco River likely supplied the water of the peat-bog via groundwater infiltration and floods, along with lateral resurgences (with the latter still at work today). A classic hydrosere succession is recorded and a range of different landtypes such as swamps, marshes and finally swampy woodlands seem to succeed each other. The turn-over of insect and plant macrofossils supports the hypothesis that the river was progressively embanked and flowed away from the coring point to its current location. The hiatus put forth in BAG-D suggests that peat formation in Bagliettu is sensitive to local hydro-geomorphological,

climatic and anthropogenic conditions. In particular, human activities (cattle trampling, denudation of the slope) may have played a role in the decrease of sedimentation rate over the last ca. 1700 years by disturbing vegetation and runoff over the catchment.

Facing the progressive disconnection of the Asco River from the peat-bog and the spreading of *Erica terminalis* which can lead to the mineralisation of the peat, the future trajectories of this remarkable Corsican wetland remain questionable. Especially in a context of increasing aridity in the Mediterranean region (Ducrocq 2016), we can expect that the water balance will not be likely to favor peat inception and accumulation. The management of Mediterranean inland valley ecosystems, as shown at Bagliettu, will involve finding an optimal balance between natural trajectories and the regulation of forest-encroachment to maintain ecological heterogeneity and thus biological diversity.

Acknowledgments: This work was supported by the Office de l'Environnement de la Corse (OEC)/Conservatoire botanique national de Corse (project DyPaCo: Dynamique des Paléoenvironnements de la Corse, convention no.15/005) and by the Laboratoire d'Excellence Objectif-Terre Bassin méditerranéen (Labex OT-Med) of the Aix Marseille University (ANR-11-LABEX-0061) with the project CoP²A “Corsican Palaeoclimate, Palaeoenvironments & Anthropization”. We are grateful to the Office National des Forêts for their support, in particular Richard Moulenc for his kind help during the field campaign. We thank the Conservatoire Botanique National de Corse and its director Laetitia Hugot for their constant support. We also thank Olivier Rose for assistance in fossil beetle determination and Elodie Hugues for English improvements.

References

- Andrieu-Ponel V, Ponel P (1999) Human impact on Mediterranean wetland Coleoptera: an historical perspective at Tourves (Var, France). *Biodiv Conserv* 8:391–407
- Andrieu-Ponel V, Ponel P, Bruneton H, Leveau P, de Beaulieu J-L (2000) Palaeoenvironments and cultural landscapes of the last 2000 years reconstructed from pollen and Coleopteran records in the Lower Rhône Valley, southern France. *Holocene* 10:341–355
- Ball PW, Reznicek AA (2002) *Carex* Linnaeus. In: Flora of North America Editorial Committee (ed) Flora of North America. Oxford University Press, New York, pp 254–572
- Beltrame C, Chazée L, Galewski T, Perennou C (2012) Mediterranean Wetlands: Outlook. First Mediterranean Wetlands Observatory report - Technical report - 2012. Tour du Valat, France
- Bernard F (1968) Les fourmis d'Europe occidentale et septentrionale. Faune de l'Europe et du Bassin méditerranéen, vol. 3. Masson, Paris

- Blaauw M (2010) Methods and code for ‘classical’ age-modelling of radiocarbon sequences. *Quat Geochronol* 5:512–518. doi:10.1016/j.quageo.2010.01.002
- Bolton B, Collingwood CA (1975) Hymenoptera: Formicidae. Handbooks for the identification of British Insects VI, 3(c). Royal Entomological Society of London, London
- Bouby L, Terral J-F, Ivorra S, Marinval P, Pradat B, Ruas M-P (2005) Vers une approche bio-archéologique de l’histoire de la vigne cultivée et de la viticulture : problématique, choix méthodologiques et premiers résultats. *Archéologie du Midi médiéval* 23/24:61–74
- Bouby L, Figueiral I, Bouchette A, Rovira N, Ivorra S, Lacombe T, Pastor T, Picq S, Marinval P, Terral J-F (2013) Bioarchaeological insights into the process of domestication of grapevine (*Vitis vinifera* L.) during Roman times in Southern France. *PLoS ONE* 8(5):e63195. doi:10.1371/journal.pone.0063195
- Branthomme A, Varelides Y (1996) Cartographie de la flore et de la végétation de la tourbière de Bagliettu, commune de Moltifao. Rapport de stage FIF /ENGREF (Document interne/ Programme LIFE/ Office de l’Environnement de la Corse)
- Briquet J (1910) *Prodrome de la flore corse*. Vol 1. Georg, Genève, Bâle, Lyon
- Brisset E, Miramont C, Anthony EJ, Bruneton H, Rosique T, Sivan O (2014) Sediment budget quantification of a sub-Alpine river catchment since the end of the last glaciation. *Catena* 114:169–179. doi:10.1016/j.catena.2013.08.004
- Buckland PI, Buckland PC (2006) BugsCEP Coleopteran Ecology Package. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2006-116. NOAA/NCDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA. <http://www.bugscep.com>
- Caillol H (1908-1954) *Catalogue des Coléoptères de Provence*. vol. 1 (1908), vol. 2(1913), vol. 3 (1914), Société linnéenne de Provence, Marseille, vol. 4 and 5 (1954). Muséum national d’Histoire naturelle, Paris
- Cappers RTJ, Bekker RM, Jans JEA (2012) *Digital Seed Atlas of the Netherlands* (2nd edition). Barkhuis Publishing and Groningen University Library, Groningen
- Coope GR (1986) Coleoptera analysis. In: Berglund BE (ed) *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Wiley & Sons, Chichester, pp 703–713
- Conchon O (1975) *Les formations quaternaires de type continental en Corse orientale*. Unpubl PhD thesis. Université de Paris VI, France

- Cucchi T (2003) Production et distribution de biens d'origine animale en contexte seigneurial de Haute-Corse: la faune mammalienne de la salle 1 du castrum de Rostino (XIIIe-XIVe siècles). *Bulletin d'Archéologie et d'Histoire de la Corse* 1:70–93
- Currás A, Ghilardi M, Peche-Quilichini K, Fagel N, Vacchi M, Delanghe D, Dussouillez P, Vella C, Bontempi JM, Ottaviani J-C (2016) Reconstructing past landscapes of the eastern plain of Corsica (NW Mediterranean) during the last 6000 years based on molluscan, sedimentological and palynological analyses. *J Archaeol Sci Rep* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.09.016>
- Degallier N (1976) Observations sur l'écologie des cétoines en Corse (Col., Scarabaeidae). *L'entomologiste* 32:32–41
- Delbosc P, Bioret F, Panaïotis C (2015) Les séries de végétation de la vallée d'Ascu (Corse) (typologie et cartographie au 1:25 000). *Ecologia mediterranea* 41:5–87
- de Litardière R, Malcuit G (1926) Contribution à l'étude phytosociologique de la Corse, le massif du Renoso. Paul Lechevalier, Paris
- Direction régionale des affaires culturelles Corse (DRAC-Corse), Service régional de l'archéologie (2015). Bilan scientifique de la région Corse 2012-2013. Ministère de la culture et de la communication. L'estampile & Couleurs imprimeurs, Marseille
- Ducrocq V (2016) Climate change in the Mediterranean region. In: Sabrié ML, Gilbert-Brunet E, Mourier T (eds) *The Mediterranean region under climate change a scientific update*. IRD éditions, Marseille, pp 71–104
- Faessel B (1985) Les Trichoptères. Données biologiques, éthologiques et écologiques. Clés de détermination larvaire des familles et des principaux genres de France. *Bull Fr Pêch Piscic* 299:1–41
- Fauvel A (1875) Faune Gallo-Rhénane, Coléoptères Tome troisième. F. Le Blanc-Hardel, Caen
- Froyd CA, Willis KJ (2008) Emerging issues in biodiversity & conservation management: The need for a palaeoecological perspective. *Quat Sci Rev* 27:1723–1732. doi:10.1016/j.quascirev.2008.06.006
- Gamisans J (1996) La flore et les groupements végétaux des tourbières de Valdo et de Bagliettu (commune de Moltifao, Haute-Corse). Programme Life Corse. Rapport Université Paul Sabatier - Toulouse III, Toulouse
- Gamisans J, Reille M, Guyot I, Moulenc R (1998) La flore et les groupements végétaux des tourbières de Moltifau (Corse). *Candollea* 53:191–210

- Giudicelli J, Talin J (1997) Recherches sur les peuplements de Coléoptères d'eau courante en Corse. *Ecologia mediterranea* 3:33–54
- Grimm EC (1987) CONISS: A fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Comput Geosciences* 13:13–35
- Guignot F (1947) Coléoptères Hydrocanthares, Faune de France 48. Lechevalier, Paris
- Hewitt S (2002) River response to late Quaternary environmental change in Corsica. PhD Thesis. University of Leeds, Leeds
- Hoffman A (1954) Coléoptères Curculionides. Vol. 2. Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles, Paris
- Jeannel R (1941-1942) Coléoptères Carabiques. Vol. 1 (1941), vol. 2 (1942), Faune de France 39 and 40. Pierre André, Paris
- Jouffroy-Bapicot I, Vannièrè B, Iglesias V, Debret M, Delarras J-F (2016) 2000 years of grazing history and the making of the Cretan Mountain landscape, Greece. *PLoS ONE* 11(6):e0156875. doi:10.1371/journal.pone.0156875
- Jowsey PC (1966) An improved peat sampler. *New Phytol* 65:245–248
- Juggins S (2012) The rioja package: Analysis of Quaternary Science Data, R package, version 0.7-3. <http://cran.r-project.org/package=rioja>
- Koch K (1989-1992) Die Käfer Mitteleuropas, Ökologie 1, 2 and 3. Goecke and Evers, Krefeld
- Laitung B (1997) Les tourbières de Valdu et de Bagliettu (commune de Moltifao, Haute-Corse) : un paysage eurosibérien en Corse méditerranéenne. Mémoire de DEA "Territoire : environnement; aménagement", Universités Paul Sabatier - Toulouse III et le Mirail - Toulouse II pour le Programme Life Corse
- Lansdown RV (2013) *Isolepis setacea*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T164234A13550847. <http://dx.doi.org/10.2305>
- Lepneva SG (1964-1971) Fauna of the U.S.S.R. Trichoptera. Vol. 2 n°1 Larvae and Pupae of *Annulipalpia* (1964), Vol. 2 n°2 Larvae and Pupae of *Intergripalpia* (1971). Smithsonian Institution and National Science Foundation, Washington
- Magny M, de Beaulieu J-L, Drescher-Schneider R, Vannièrè B, Walter-Simonnet A-V, Miras Y, Millet L, Bossuet G, Peyron O, Brugiapaglia E, Leroux A (2007) Holocene climate changes in the central

Mediterranean as recorded by lake-level fluctuations at Lake Accesa (Tuscany, Italy). *Quat Sci Rev* 26:1736–1758. doi:10.1016/j.quascirev.2007.04.014

Muller SD, Bruneton H, Soulié-Märsche I, Rey T, Thiéry A, Waterkeyn A, Brendonck L, Schevin P, Yavercovski N, Grillas P (2008) Long-term dynamics of a Mediterranean alkaline vernal pool (Rhône delta, southern France). *Wetlands* 28:951–966

Nilsson AN, Holmen M (1995) The aquatic Adephaga (Coleoptera) of Fennoscandia and Denmark, Vol. II. Dytiscidae. Brill, Leiden

ONF (2003) Document d'objectif Natura 2000 : Marais et tourbières de Valdo et de Baglietto N°FR9400618

Paulian R, Baraud J (1982) Faune des Coléoptères de France. Vol. II. Lucanoidea et Scarabaeoidea. Lechevalier, Paris

Pignatti S (1982) Flora d'Italia. 3 vols. Edagricole, Bologna

Plan Bleu (2009) State of the Environment and Development in the Mediterranean: 2009. UNEP/MAP Plan Bleu, Athens

Poher Y, Ponel P, Médail F, Andrieu-Ponel V, Guiter F (2017) Holocene environmental history of a small Mediterranean island in response to sea-level changes, climate and human impact. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 465:247–263. doi:10.1016/j.palaeo.2016.10.037

Rameau JC, Mansion D, Dumé G, Gauberville C (2008) Flore forestière française (guide écologique illustré), tome 3 : Région méditerranéenne. Institut pour le Développement Forestier, Paris

Ravis-Giordani G (1983) Bergers corses, les communautés villageoises du Niolu. Edisud, Aix-en-Provence

Reille M (1984) Origine de la végétation actuelle de la Corse sud-orientale; analyse pollinique de cinq marais côtiers. *Pollen Spores* 26:43–60

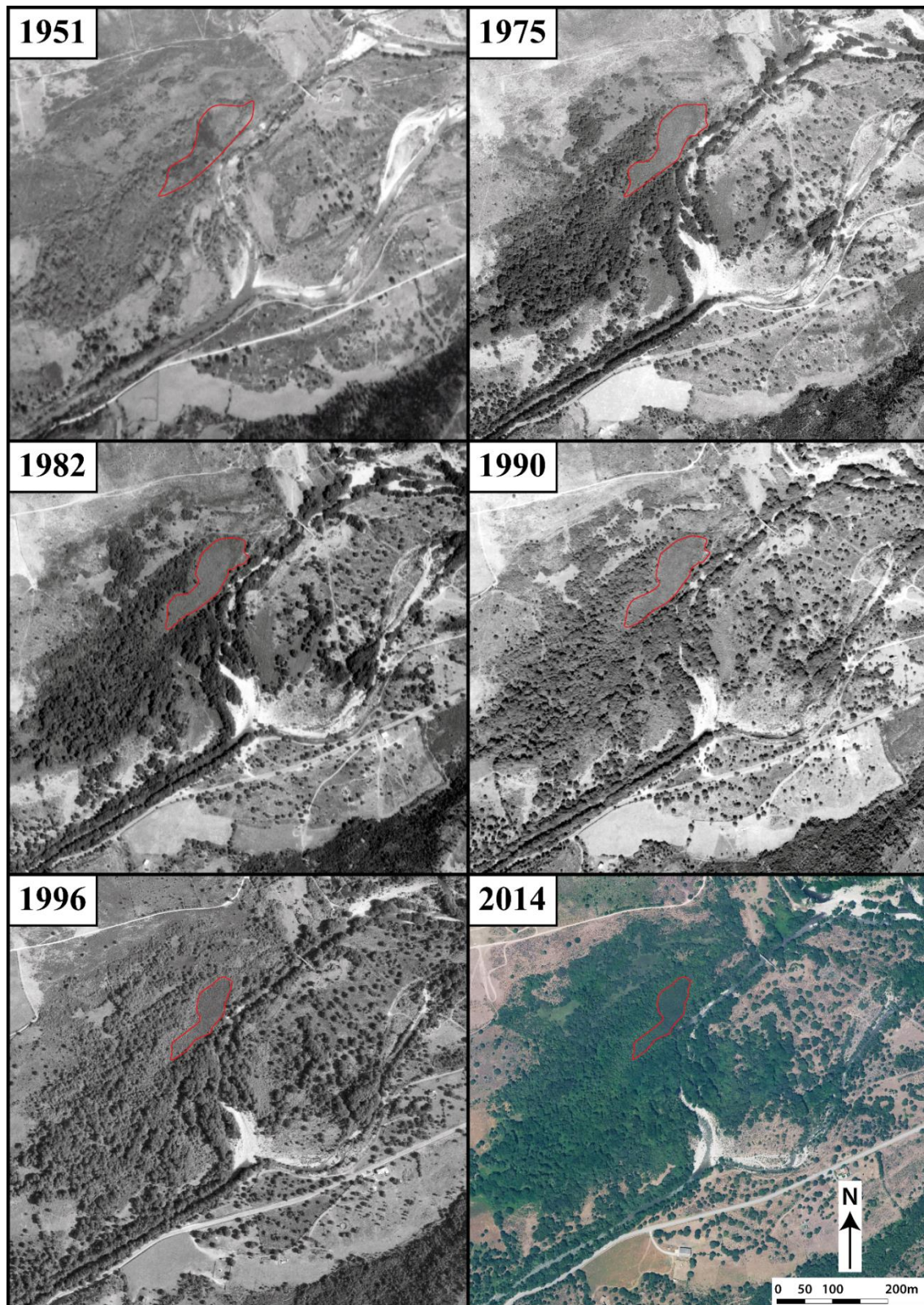
Reille M (1992) New pollen-analytical researches in Corsica: the problem of *Quercus ilex* L. and *Erica arborea* L., the origin of *Pinus halepensis* Miller forests. *New Phytol* 122:359–378

Reille M (1997) Analyse pollinique des tourbières de Valdo et Baglietto (commune de Moltifao, Haute Corse). Rapport scientifique (Document interne/ Programme LIFE/ Office de l'Environnement de la Corse)

Reille M, Gamsans J, Andrieu-Ponel V, de Beaulieu J-L (1999) The Holocene at Lac de Creno, Corsica, France: a key site for the whole island. *New Phytol* 141:291–307

- Rose O (2012) Les Ciidae de la faune de France continentale et de Corse : mise à jour de la clé des genres et du catalogue des espèces (Coleoptera, Tenebrionoidea). Bulletin de la Société entomologique de France 117:339–362
- Saillard M, Petit C, Rolland Y, Braucher R, Bourlès DL, Zerathe S, Revel M, Jourdon A (2014) Late Quaternary incision rates in the Vésubie catchment area (Southern French Alps) from in situ-produced ^{36}Cl cosmogenic nuclide dating: Tectonic and climatic implications. J Geophys Res Earth Surf 119:1121–1135. doi:10.1002/2013JF002985
- Saint-Claire Deville J (1914) Catalogue critique des coléoptères de la Corse. Adeline G, Poisson et Cie, Caen
- Schoch H, Pawlik B, Schweingruber F (1988) Botanische Makroreste: Atlas zur Bestimmung häufig gefundener und ökologisch wichtiger Pflanzensamen. Haupt, Bern
- Smith D, Whitehouse N, Bunting MJ, Chapman H (2010) Can we characterise ‘openness’ in the Holocene palaeoenvironmental record? Modern analogue studies of insect faunas and pollen spectra from Dunham Massey deer park and Epping Forest, England. Holocene 20:215–229. doi:10.1177/0959683609350392
- Thérond J (1975-1976) Catalogue des Coléoptères de la Camargue et du Gard. Société d’Etude des Sciences Naturelles de Nîmes, Nîmes
- Thompson RT (1958) Handbooks for the identification of British insects, Vol. V, Part 5 (b). Coleoptera, Phalacridae. Royal Entomological Society of London, London
- Torossian C (1960) La biologie de la fourmi *Dolichoderus quadripunctatus* (Hyménoptère – Formicidae – Dolichoderidae). Insectes Sociaux 3:383–393
- Torossian C (1968) Recherches sur la biologie et l’éthologie de *Dolichoderus quadripunctatus* (L) (Hym. Form. Dolichoderidae). Insectes Sociaux 15:375–388
- Tronquet M (2014) Catalogue des Coléoptères de France. Association Roussillonnaise d’Entomologie, Perpignan
- Vannièrè B, Colombaroli D, Chapron E, Leroux A, Tinner W, Magny M (2008) Climate versus human-driven fire regimes in Mediterranean landscapes: the Holocene record of Lago dell’Accesa (Tuscany, Italy). Quat Sci Rev 27:1181–1196. doi:10.1016/j.quascirev.2008.02.011
- Vigne J-D (1988) Les Mammifères du Post-Glaciaire de Corse, étude archéozoologique. CNRS, Paris

Vigne J-D, Valladas H (1996) Small mammal fossil assemblages as indicators of environmental change in northern Corsica during the last 2500 years. *J Archaeol Sci* 23:199–215



*Electronic supplementary material 4 Fig. S1 Aerial photography of Bagliettu peat-bog, taken from 1951 to 2014 (<http://www.geoportail.gouv.fr>). The red line shows the approximate limit of the peaty slope covered by *Erica terminalis**

III. Analyses complémentaires : changement de structure de l'écosystème mis en évidence par les analyses multi-variées

1. Traitement numérique des données paléontomologiques et carpologiques

Deux jeux de données ont été préparés pour le traitement numérique des données paléontomologiques et carpologiques à partir d'une matrice initiale de 38 échantillons \times 171 taxons d'insectes (**Annexe II**) et d'une matrice initiale de 38 échantillons \times 29 taxons de plantes. Afin d'obtenir un corpus de données d'insectes fossiles statistiquement significatif, tous les échantillons et les taxons ne répondant pas successivement aux critères suivants ont été exclus :

- (1) Les taxons qui apparaissent dans moins de 5 échantillons,
- (2) Les taxons identifiés au niveau de la famille ou de la sous-famille et ceux n'apportant aucune information écologique précise,
- (3) Les échantillons stériles ou comprenant moins de 10 taxons.

Les taxons aquatiques ou subaquatiques ont également été exclus préalablement au traitement numérique afin d'éviter une répartition des taxons le long d'un gradient d'humidité et de rechercher les autres facteurs influençant la composition des assemblages d'insectes terrestres. De cette manière, une matrice de 24 échantillons \times 22 taxons d'insectes a été obtenue.

Parallèlement, une matrice de 34 échantillons \times 11 taxons de plantes a été obtenue en excluant les plantes rares présentes dans moins de 5 échantillons, les plantes aquatiques et subaquatiques (*Carex* sp., *Cyperus* sp. et *Lycopus europaeus*) ainsi que les échantillons stériles.

Après avoir exclu tous les échantillons qui n'étaient pas communs aux jeux de données paléontomologique et carpologique⁸, deux jeux de données finaux et significatifs de 23 échantillons \times 22 taxons d'insectes et de 23 échantillons \times 11 taxons de plantes ont été obtenus (voir **Annexe III**). L'abondance de chaque taxon (plante et insecte) a été calculée en pourcentage et transformée en racine carrée afin de stabiliser la variance.

Une analyse factorielle des correspondances « détendancées » (DCA) a ensuite été réalisée sur les matrices paléontomologiques et carpologiques finales (Figure 13A, B). La DCA ordonne les échantillons en fonction de leur composition taxonomique et les taxons en fonction de leurs occurrences dans chaque échantillon. Ceci permet de déterminer les principaux facteurs qui influent sur les variables (Hill et Gauch 1980). Ces analyses multivariées ont été réalisées à l'aide des modules « ade4 » et « vegan » du logiciel R 3.3.0 (R Development Core Team 2011).

⁸ Afin de réaliser les analyses multi-variées souhaitées, les deux jeux de données doivent impérativement avoir le même nombre d'échantillons.

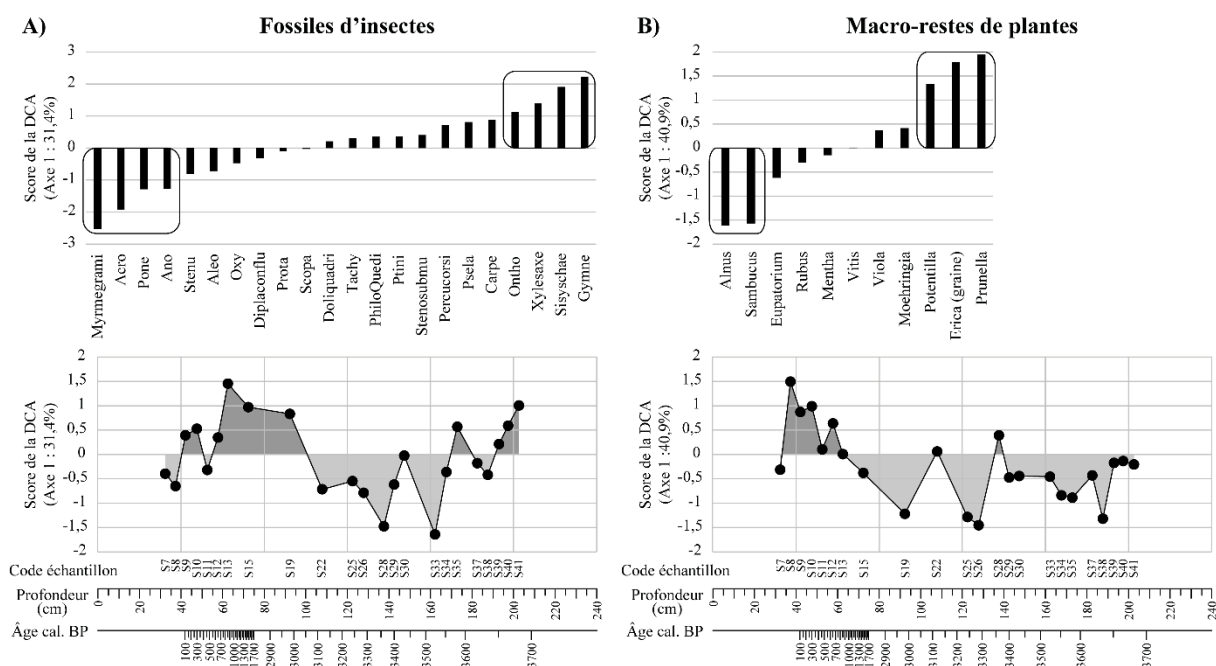


Figure 13 : Analyse factorielle des correspondances « détendancées » (DCA) : (A) sur les taxons d'insectes et (B) sur les taxons de plantes de la carotte BAG-D. Les taxons sont répartis en fonction de leur score sur l'axe 1 de la DCA, les échantillons le sont en fonction de leur profondeur (voir le Tableau 3 pour les abréviations des taxons d'insectes et de plantes).

Tableau 3 : Liste des taxons d'insectes et de plantes déterminés à partir de la carotte sédimentaire BAG-D et sélectionnés pour le traitement numérique, avec les codes associés utilisés dans le texte.

Taxons d'insectes	Code taxon	Taxons de plantes	Code taxon
<i>Acrotrichis</i> sp.	Acro	<i>Alnus</i> sp.	Alnus
Aleocharinae	Aleo	<i>Erica</i> sp.	Erica (graine)
<i>Anotylus</i> sp.	Ano	<i>Eupatorium cannabinum</i>	Eupatorium
<i>Carpelimus</i> sp.	Carpe	<i>Mentha</i> sp.	Mentha
<i>Diplapion confluens</i>	Diplaconflu	<i>Moehringia</i> sp.	Moehringia
<i>Dolichoderus quadrimaculatus</i>	Doliquadri	<i>Potentilla</i> sp.	Potentilla
<i>Gymnetron</i> sp.	Gymne	<i>Prunella vulgaris</i>	Prunella
<i>Myrmecina graminicola</i>	Myrmegrami	<i>Rubus fruticosus</i> –groupe	Rubus
<i>Onthophagus</i> sp.	Ontho	<i>Sambucus</i> sp.	Sambucus
<i>Oxytelus</i> sp.	Oxy	<i>Viola</i> sp.	Viola
<i>Percus corsicus</i>	Percucorsi	<i>Vitis vinifera</i>	Vitis
<i>Philonthus / Quedius</i> sp.	PhiloQuedi		
<i>Ponera</i> sp.	Pone		
<i>Protapion</i> sp.	Prota		
Pselaphini	Psela		
Ptininae	Ptini		
<i>Scopaeus</i> sp.	Scopa		
<i>Sisyphus schaefferi</i>	Sisychae		
<i>Stenoscelis submuricata</i>	Stenosubmuri		
<i>Stenus</i> sp.	Stenu		
<i>Tachys</i> sp.	Tachy		
<i>Xyleborinus saxesenii</i>	Xylesaxe		

2. Résultats et interprétations des ordinations DCA

Une première DCA a été effectuée sur la matrice de données d'insectes fossiles (Figure 13A). Le pourcentage total de variation expliqué par le premier axe de la DCA est de 32,9 % et la longueur du gradient est de 3,1 σ , montrant une réponse unimodale des assemblages paléontologiques vis-à-vis du premier facteur écologique. L'axe 1 oppose du côté positif des coléoptères coprophages (*Onthophagus*, *Sisyphus schaefferi*), d'environnements ouverts (*Gymnetron*) et saproxylophage (*Xyleborinus saxesenii*) avec du côté négatif des fourmis communément trouvées sous les pierres en bordure de forêts (*Myrmecina graminicola*, *Ponera*) et des coléoptères (*Acrotrichis*, *Anotylus*) affectionnant les débris végétaux pourrissants (mais aussi les bouses). Excepté entre 95-90 cm, les scores obtenus sur l'axe 1 par les échantillons en fonction de la profondeur montrent une relative séparation entre les sédiments déposés avant et après le hiatus à 78 cm (Figure 13A).

La seconde DCA réalisée à partir du jeu de données carpologique final (Figure 13B) a mis en évidence une longueur de gradient de 2,9 σ pour l'axe 1 (Eigen value = 0,409), montrant également une réponse unimodale des macrorestes de plantes. L'axe 1 sépare du côté négatif les arbres et arbustes *Alnus* et *Sambucus* et du côté positif *Erica* (probablement *E. terminalis*) et les herbacées *Potentilla*, *Prunella vulgaris*. Tout comme la DCA réalisée sur les fossiles d'insectes, l'axe 1 sépare globalement les échantillons déposés entre 205 et 75 cm (IFU-2 à 4) et ceux déposés entre 65 et 30 cm (IFU-5). Ainsi, les échantillons prélevés dans la tourbe à Cyperaceae sont souvent associés aux scores négatifs, tandis que les échantillons composés de tourbe humifiée sont associés aux scores positifs.

La comparaison entre les deux DCA révèle que l'information dominante est commune aux données entomologiques et carpologiques. Elle oppose un environnement boisé dominé par *Alnus*, riche en matière végétale propice à une entomofaune détritiphage (e.g. *Acrotrichis* et *Anotylus*) et caractérisé par une tourbe à Cyperaceae à un environnement ouvert, dominé par une végétation herbacée (*Potentilla*, *Prunella vulgaris*), une entomofaune indicatrice d'activités pastorales (*Onthophagus*, *Sisyphus schaefferi*) et caractérisé par de la tourbe humifiée. Ce changement d'environnement est communément enregistré par les deux proxies environnementaux à partir de 700 cal. BP, en accord avec le découpage que nous avons proposé dans l'article 3.

À cette forte similitude des réponses des deux proxies, il est également intéressant de noter que :

- Les variables Gymne, Ontho et Sisychae (voir Figure 13A) indiquent que des ouvertures de la végétation liées à du pastoralisme à proximité du site se sont produites durant les périodes 3700-3650 et 3000-2900 cal. BP alors que les variables des macrorestes de plantes ne montrent pas de changements significatifs ;
- Les variables *Alnus* et *Sambucus* sont prédominantes entre 3700 et 1700 cal. BP et traduisent la présence de la ripisylve et du couvert forestier sur toute la période (Figure 13B) ;

- Le fait que les occurrences de coléoptères coprophages entre 3400 et 3300 cal. BP (**article 3**) soient représentées dans la DCA par des scores négatifs suggère que le pâturage des animaux a pu se faire à cette période au sein d'un environnement boisé ;
- Les scores positifs de la DCA réalisée sur les macrorestes de plantes à 110-105 et à 140-135 cm correspondent à des ouvertures fugaces du couvert forestier ; ces niveaux sont communs ou adjacents à des pics de flux de charbon mis en évidence dans l'**article 3** ;

Ainsi, l'expression régionale des activités anthropiques est plus nettement enregistrée par les assemblages paléontologiques terrestres à la différence des macrorestes de plantes qui, à Bagliettu, enregistrent les dynamiques strictement locales de la végétation.

IV. Conclusion

Dans le **Chapitre IV**, les sédiments de la tourbière de Bagliettu ont permis d'étudier la réponse d'une zone humide de moyenne altitude au cours des 3700 dernières années en lien avec des changements hydrologiques et des activités humaines. En particulier, la comparaison des analyses paléontologiques, des macrorestes végétaux et les précédentes données polliniques a révélé des dynamiques progressives et régressives de la végétation. Parallèlement, les données radiométriques ont permis de mieux caler l'origine et la chronologie de cette tourbière par un modèle d'âge cohérent.

Certaines des dynamiques progressives sont liées à des changements hydro-morphologiques : ce sont les divagations du cours d'eau torrentiel de l'Asco dans la plaine alluviale qui ont vraisemblablement permis le développement de la tourbière dans un bras mort, déconnecté du chenal principal il y a environ 3700 ans. Il s'en est suivi une maturation des écosystèmes avec notamment une expansion rapide de l'aulnaie à partir de 3650 cal. BP qui semble perdurer jusqu'à 2900 cal. BP. Toutefois, l'analyse des macro-charbons suggère que l'aulnaie tourbeuse a été plusieurs fois impactée par des feux, notamment à 3400, 3100 et 700 cal. BP.

L'augmentation des bioindicateurs témoignant d'activités agro-sylvo-pastorales dans la vallée à partir de 1700 cal. BP et durant la période génoise, suggère une dynamique régressive de la végétation avec un développement des prairies pâturées nitrophiles. La forte expansion d'*Erica terminalis* qui n'avait auparavant aucun rôle majeur dans la végétation constitue également un changement inédit dans l'histoire de la tourbière.

Depuis une cinquantaine d'année, dynamique de la tourbière s'inscrit dans un contexte de déprise agricole favorable au développement du couvert forestier. Cette évolution de la végétation va demander des choix de conservation afin de savoir quelles espèces et quels paysages doivent être préservés tout en maintenant les services écosystémiques qu'offre la tourbière (réservoir d'espèces protégées, pâturage pour le bétail, réserve cynégétique, sortie éducative, etc.). Alors qu'une aridification du climat

méditerranéen est attendue dans le siècle à venir, ces choix seront d'autant plus cruciaux que la déconnection de Bagliettu avec la rivière de l'Asco rend la tourbière hydrologiquement dépendante des eaux de ruissellement et des résurgences latérales qui l'alimentent.

Finalement, c'est aussi la présence du hiatus dans l'archive sédimentaire de Bagliettu qui a soulevé des interrogations quant à son origine : est-ce que ce hiatus est lié à une interruption des processus de turbigénèse en lien avec une période climatique plus sèche ? Est-ce qu'une intensification des activités agro-pastorales a provoqué une érosion de la tourbière et de son bassin-versant ? En définitive, nous ne pouvons pas exclure une synergie entre ces deux facteurs.

C'est précisément les rôles respectifs du climat et des activités humaines dans les processus érosifs que nous tenterons de mettre en évidence dans le **Chapitre V** à travers l'analyse des sédiments du marais de Cannuta.

Chapitre V : Histoire des paléo- environnements littoraux du territoire de l'Agriate : impacts humains et climatiques depuis 5900 ans (marais de Cannuta)

I. Introduction

Les analyses paléontomologiques et polliniques développées dans les **articles 1** et **2** ont permis d'estimer les réponses de la végétation et des communautés d'insectes à deux forçages importants dans la trajectoire des environnements côtiers : l'homme et la remontée relative du niveau marin. L'un a induit la persistance d'un paysage asylvatique depuis 4700 ans et l'autre, aggravée par les activités anthropiques, a provoqué dès 3700 cal. BP un appauvrissement irréversible de la biodiversité entomologique de l'île Cavallo. Toutefois il s'avère que le faible relief de cette île et l'absence de véritable bassin versant ont constitué une limite pour retracer l'importance relative de l'homme et du climat sur les processus érosifs. Or, l'étude de l'écosystème tourbeux de Bagliettu (**article 3**) a démontré que des changements hydrologiques et de régime érosif ont pu avoir lieu depuis 3700 ans en Corse. De fait, la question du rôle du climat et/ou de l'homme dans l'évolution des versants et la mise en place des environnements littoraux de Corse est encore peu étudiée (Ghilardi et al. 2016, 2017 ; Currás et al. 2016).

Le dépôt sédimentaire de l'étang de Cannuta, dans le territoire de l'Agriate (ouest du golfe de St-Florent), représente une source d'information potentielle pour étudier l'effet de ces trois paramètres (transgression marine holocène, anthropisation et changement hydrologique) puisqu'il est :

- situé sur une petite plaine alluviale à environ 1 km du trait de côte ;
- alimenté par des cours d'eau temporaires (dont le régime hydrique dépend directement des précipitations), qui drainent un bassin versant potentiellement sensible à l'érosion ;
- localisé dans une des zones archéologiques les plus riches de la Corse puisque le territoire de l'Agriate comprend de nombreux monuments mégalithiques (Marchesi et al. 1995).

Ce secteur de Corse a d'ailleurs suscité l'intérêt des paléoenvironmentalistes qui ont montré que le territoire de l'Agriate, encore aujourd'hui qualifié de « désert » a connu une longue histoire humaine et d'importants changements de végétation. Par exemple, l'analyse pollinique réalisée par Reille (1992) dans l'étang côtier de Saleccia a démontré, comme de nombreux autres sites côtiers de Corse (Reille 1984), la dominance d'*Erica arborea* et son remplacement par *Quercus ilex* durant le Subboréal, à partir d'environ 5900 cal. BP (voir la Figure 7 du **Chapitre I**). À Saleccia, M. Reille relie ce changement de la végétation à un pic de la civilisation mégalithique. Par ailleurs, l'arrivée tardive de plusieurs éléments thermophiles, dont *Myrtus communis*, au sein de la végétation littorale de Corse est une autre originalité qui a amené Reille (1984, 1992) à remettre en question l'existence d'un véritable climat méditerranéen en Corse durant l'Atlantique. Plus récemment, les effets conjoints du climat et des activités humaines sur les processus érosifs de plusieurs vallons de l'Agriate (Figure 14) ont été étudiés par Vella et al. (2014). Les résultats des analyses sédimentologiques et palynologiques démontrent une dégradation du couvert forestier à *Erica arborea* et une augmentation des apports détritiques entre ca. 1150 et 1800 cal.

AD (*Anno Domini*). Si l'augmentation de l'érosion est tout d'abord reliée aux activités agropastorales des sociétés médiévales, Vella et al. (2014) proposent que la déstabilisation climatique du Petit Âge Glaciaire (PAG, ca. 1350-1850 AD) en ait exacerbé les effets. Cette augmentation des épisodes hydrologiques aurait notamment eu pour conséquence la multiplication de terrasses pour prévenir l'érosion des sols et maintenir les activités agricoles, mais aussi le développement des zones humides et notamment des étangs littoraux d'arrière-dune.

Pour analyser l'effet de la transgression marine holocène sur le paysage végétal et la biodiversité des plaines alluviales côtières et apporter un nouvel éclairage aux hypothèses posées par Reille (1992) et Vella et al. (2014), ce **Chapitre V** présente les résultats des analyses paléontologiques, radiométriques et géochimiques réalisées sur une période de 5900 ans au marais de Cannuta. Les interprétations qui sont proposées ici ont pour but d'identifier les forçages externes majeurs impliqués dans les changements de l'environnement littoral et tenter de répondre aux questions suivantes :

- (1) Quelle fut l'évolution géomorphologique et du paysage végétal de ce marais côtier de Cannuta en lien avec la remontée relative du niveau marin durant la seconde moitié de l'Holocène ?
- (2) Quelle fut l'influence des pratiques agropastorales et/ou du climat sur l'histoire du bassin-versant et de sa végétation ?

II. Cadre géographique et géomorphologique

Le marais de Cannuta (42°43'6,32''N, 9°12'53,25''E, 2 m d'altitude) se situe dans la partie la plus septentrionale du territoire de l'Agriate, à la Punta di Curza sur la commune de Santo-Pietro-di-Tenda (Haute-Corse), à l'ouest du golfe de St-Florent. Il est localisé au débouché d'un bassin-versant de 39 km², au sein d'une petite plaine dont l'altitude n'excède pas 10 m, formée d'alluvions fluviales et torrentielles holocènes (Figure 14). Cette plaine est délimitée au nord par le massif monzogranitique de Monte Porcini (115 m d'altitude), à l'ouest par des flancs rocheux au substrat affleurant dont les sommets dépassent les 100 m et enfin au sud et au sud-est, par un ensemble de barres rocheuses granitiques dont les sommets avoisinent les 200 m et entre lesquelles coulent le Liscu, et deux ruisseaux temporaires qui viennent alimenter le marais de Cannuta (les ruisseaux de Niolincu et de Saleccia).

D'une longueur de 10,7 km, le Liscu est la principale rivière de l'Agriate. Elle prend sa source à 304 m d'altitude et coule le long d'une importante ligne de faille orientée nord-est, sud-ouest avant de déboucher dans la Mer Méditerranée, après avoir traversé le marais de Padulella. Cette rivière draine un bassin versant dont les altitudes sont comprises entre 842 (Monte Filetto) et 0 m (Figure 14). Les données climatiques de l'Île-Rousse, situé à 25 km au sud-ouest de Cannuta, indiquent que la pluviométrie moyenne annuelle de cette région de Corse est relativement faible (513,2 mm au cours de la période 1981-2010), tout comme l'amplitude annuelle thermique (12,3-18,7°C) (Figure 15). Ces faibles

précipitations, associées aux caractères géomorphologiques du bassin-versant principalement composé de substrats granitiques affleurant et de colluvions grossiers, expliquent le caractère temporaire de la rivière de Liscu. Cette rivière est actuellement déconnectée du marais de Cannuta mais elle l'alimente par infiltration.

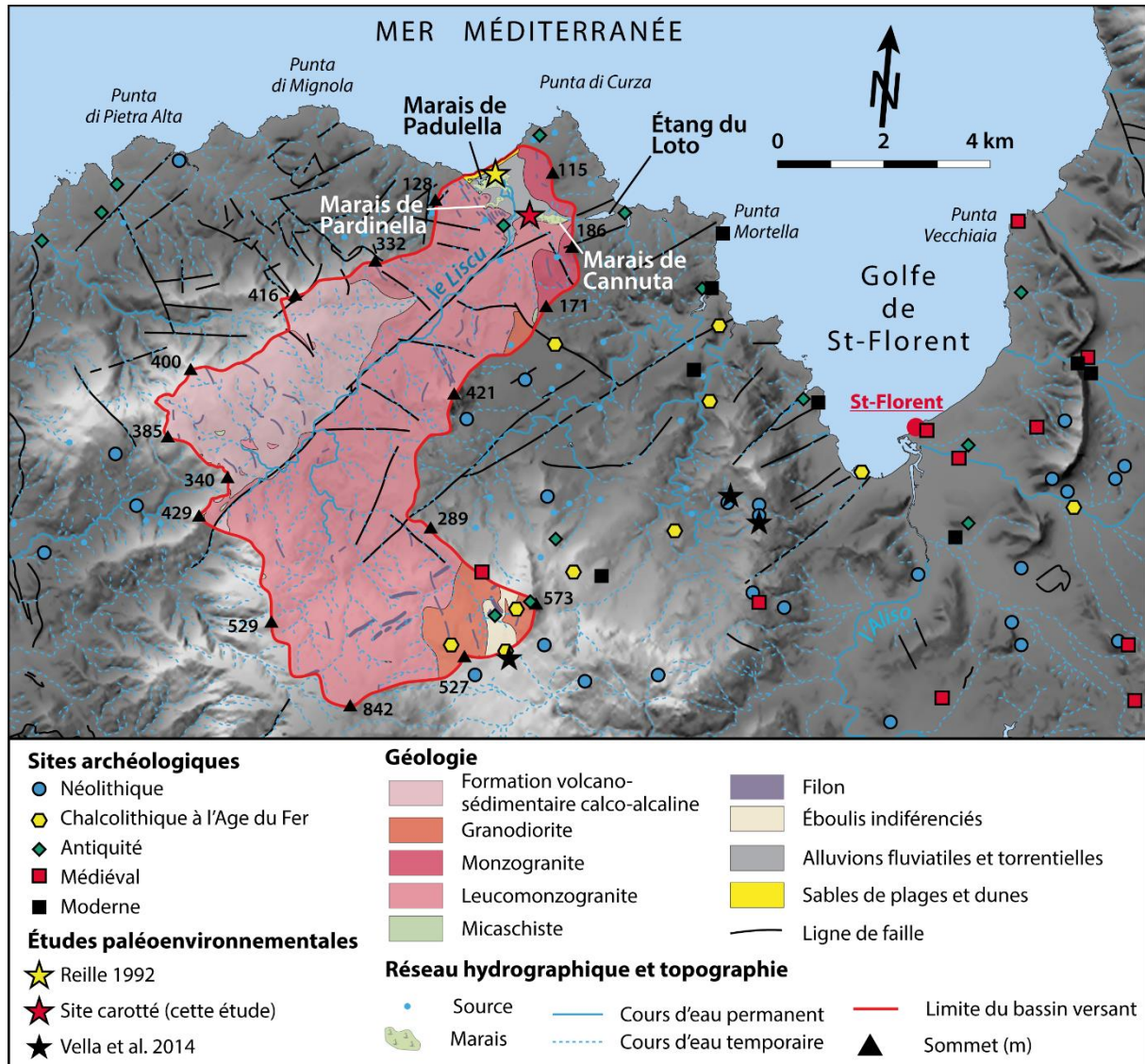


Figure 14 : Géologie, géomorphologie, occupation du sol du territoire de l'Agriate (source : Drac Corse) et localisation des études paléoenvironnementales précédentes et actuelles.

Le marais de Cannuta est isolé de la mer à l'est par la plage du Loto et l'étang du Loto et au nord-ouest par la plage de Saleccia et les marais de Padulella et de Pardinella. Ce marais a une longueur d'environ 850 m pour 60-180 m de large et une superficie de 13 ha (Paradis et al. 2013). Son exutoire au nord-ouest donne sur le Liscu mais un fossé a été creusé à l'est vers l'étang saumâtre du Loto dans une tentative infructueuse d'assèchement, probablement faite dans la seconde moitié du XIX^e siècle.

Le paysage végétal aux alentours de cette plaine alluviale est typique de l'étage thermoméditerranéen (Figure 16A). On y retrouve une végétation des systèmes dunaires boisés par *Juniperus oxycedrus* subsp.

macrocarpa, *Pistacia lentiscus*, *Olea europaea* var. *sylvestris* (olivier sauvage) et *Pinus halepensis*. Notons qu'il s'agit ici de l'unique station du pin d'Alep en Corse qui fut introduit durant le XIX^e siècle (Reille 1992). Le reste de la végétation est constitué d'un maquis avec *Arbutus unedo*, *Erica arborea*, quelques *Quercus ilex*, *Myrtus communis*, *Cistus salviifolius*, *C. monspeliensis* et *Rosmarinus officinalis*. Les bordures des marais saumâtres et les terrains influencés par la remontée du biseau salé, surtout lorsque le substrat s'assèche en été, comportent des prés salés à *Juncus maritimus*, des sansouires à salicorne (*Salicornia fruticosa*) et joncs (dont *Juncus acutus*) ou des tamaris à *Tamarix africana* (Paradis et al. 2013). Le marais de Cannuta lui-même présente une végétation hélophytique comprenant *Schoenoplectus lacustris*, *Phragmites australis* et des radeaux végétaux flottants à *Juncus subnodulosus*, *J. effusus*, *Typha angustifolia*, *Carex pseudocyperus* et *Thelypteris palustris*. Sur ces « tremblants » pousse une végétation arbustive à *Salix cinerea* et *Alnus glutinosa* (Figure 16C, D) (Paradis et al. 2013).

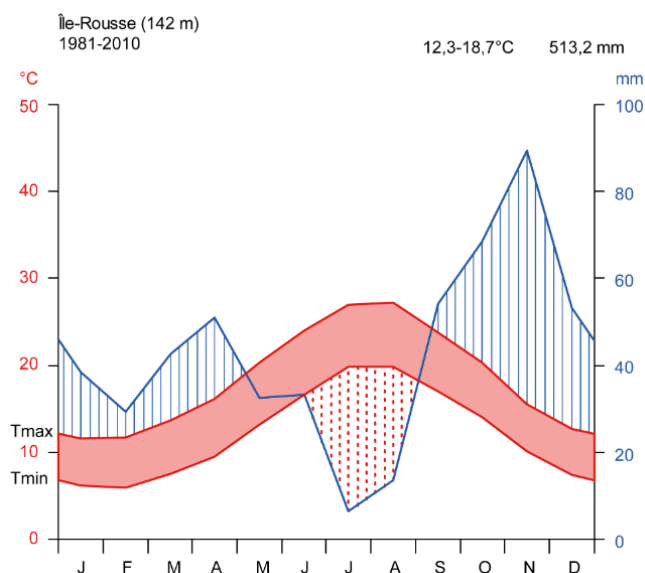


Figure 15 : Diagramme ombrothermique. Données du sémaphore de l'Île-Rousse (Corbara, alt. 142 m), 1981-2010. Tmax : température maximale moyenne ; Tmin : température minimale moyenne.

Les zones humides des environs de Saleccia (Padulella, Pardinella et Cannuta) ainsi que les systèmes dunaires de Saleccia ont été classés Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF940004073 – Zone humide de Saleccia-Loto et ZNIEFF940004072 – Bois de pin d'Alep de Punta di Curza), respectivement en 2014 et 2016.

L'ensemble du territoire de l'Agriate présente de nombreux vestiges d'activités agro-pastorales (murets, bergeries et ruines non datés ; Figure 16B) et plusieurs sites archéologiques majeurs. En particulier, les sites de Mamucci et du Monte Revincu (commune de Santo-Pietro-di-Tenda) ont révélé plusieurs monuments funéraires mégalithiques et des restes d'habitations témoignant d'une occupation humaine dans le secteur depuis le Néolithique moyen, autour de 6400-5800 cal. BP qui s'est poursuivie jusqu'à l'âge du Fer à Mamucci (Gilibert et al. 2011 ; Leandri et al. 2012a, 2012b) (Figure 14).

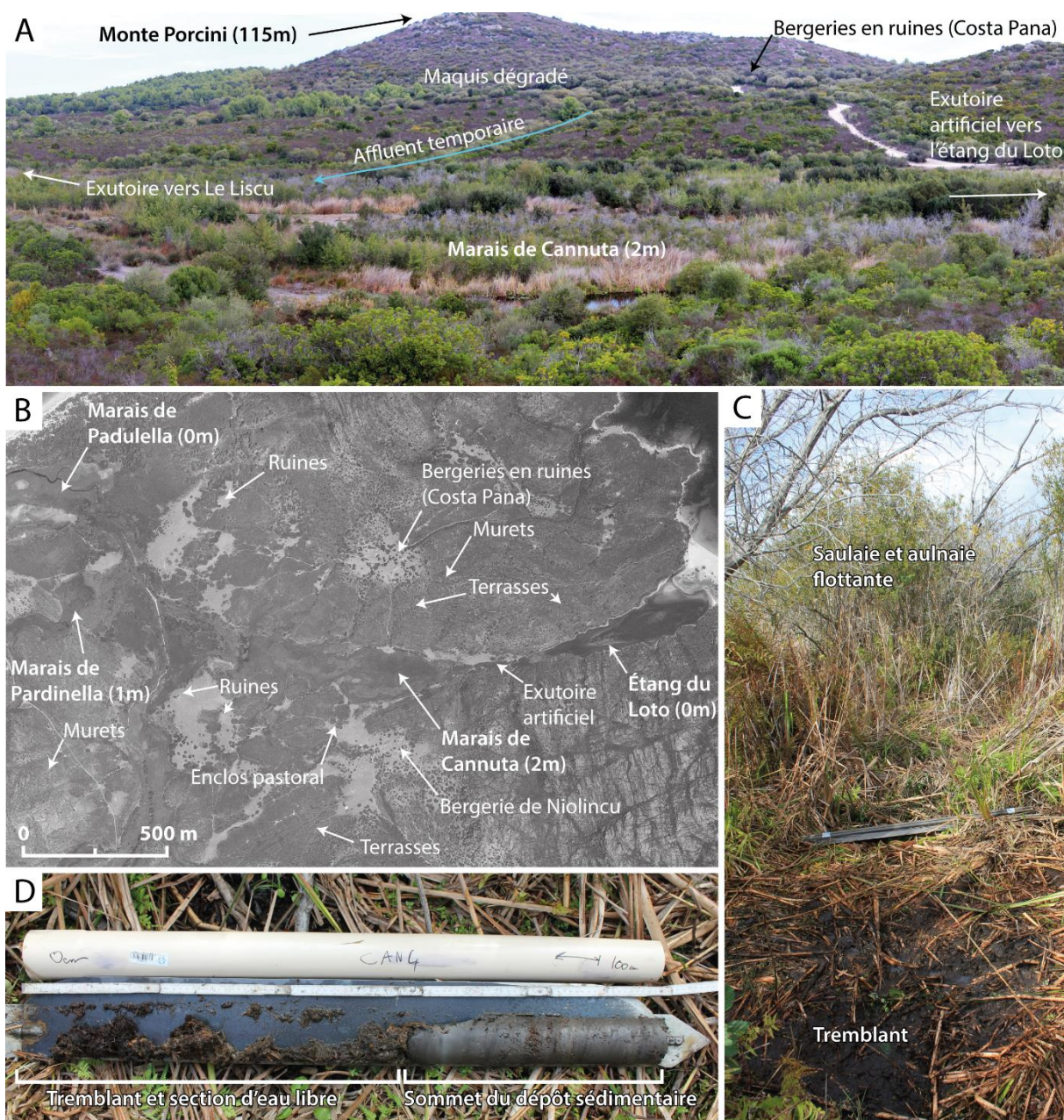


Figure 16 : A). Vue générale (orientation nord-ouest) du marais de Cannuta (2 m). B) Photographie aérienne des zones humides de Saleccia en 1959 (source IGN) ; de nombreux murs de terrasses, enclos de pierre, chemins bordés de murs et bergeries d'âge inconnu témoignent des activités agro-pastorales passées. C) Végétation du marais de Cannuta. D) Exemple de carottes sédimentaires récoltées en 2014, ici la section CAN-4 0-100 cm.

III. Précédentes données sur l'histoire de la végétation du territoire de l'Agriate

En 1992, M. Reille a réalisé l'analyse pollinique du remplissage sédimentaire du marais littoral de Saleccia (appelé marais de Padulella sur les cartes IGN et sur la Figure 16B). Les données polliniques ont été divisées en plusieurs zones au sein des 3 chronozones holocènes : l'Atlantique, le Subboréal et le Subatlantique (Figure 17).

Les résultats montrent qu'entre la base de la séquence et 6180-5660 cal. BP (**zones a et b** correspondant à l'Atlantique), le paysage était dominé par une végétation mixte à *Erica arborea* et *Arbutus unedo* décrite comme forestière par Reille (1992) alors que les chênes à feuillage caduc occupaient les fonds de vallons. La représentation pollinique de plantes herbacées (*Asphodelus*), et arbustives (*Cistus*) indique également la présence d'espaces plus ouverts. Antérieurement à 6505±210 cal. BP, les occurrences de *Cerealia*-type et de plantes rudérales (*Plantago lanceolata*, *Rumex*) sont peut-être les premières traces d'activités anthropiques discrètes sur le territoire de l'Agriate. Dans la **zone b** (entre 6505±210 et 5924±260 cal. BP), l'abondance d'*Olea* est interprétée comme l'établissement d'une dune à proximité du point de carottage en lien avec la transgression marine.

La courbe continue de *Quercus ilex* apparaît à environ 6505±210 cal. BP et reste stable durant la majeure partie du Subboréal (**zone c**). L'yeuse connaît ensuite une phase d'extension importante à partir de 4125±292 cal. BP (**zones d et e**) au détriment d'*Erica arborea* et d'*Arbutus unedo*.

Le Subatlantique (**zones e, f et g**), correspond à une augmentation des plantes herbacées (Amaranthaceae, Poaceae, Asteroideae, *Artemisia*, *Asphodelus*) et à une extension de *Cistus*, concomitantes de plantes et d'arbres cultivés (*Cerealia*, *Juglans*, *Castanea*). La pression anthropique sur l'environnement semble être maximale à environ 1162±200 cal. BP (**zone e**) mais moindre dans la **zone f** (ré-expansion d'*Erica arborea*). C'est également au Subatlantique que *Pinus halepensis* est localement introduit et que *Myrtus communis* apparaît dans les données polliniques comme dernier arrivant de la végétation thermoméditerranéenne (ce dernier point sera discuté plus loin au § V. **Discussion**).

Afin de comparer les données polliniques qui viennent d'être décrites avec les résultats obtenus au cours de ce travail, les âges disponibles à Saleccia ont été calibrés et un modèle âge-profondeur de type smooth-spline (Intcal 13, type= 4, lissage= 0,3, nombre d'itérations= 10 000) a été généré (Figure 18). Conformément à l'interprétation de Reille (1992), la date à la base du modèle a été rejetée.

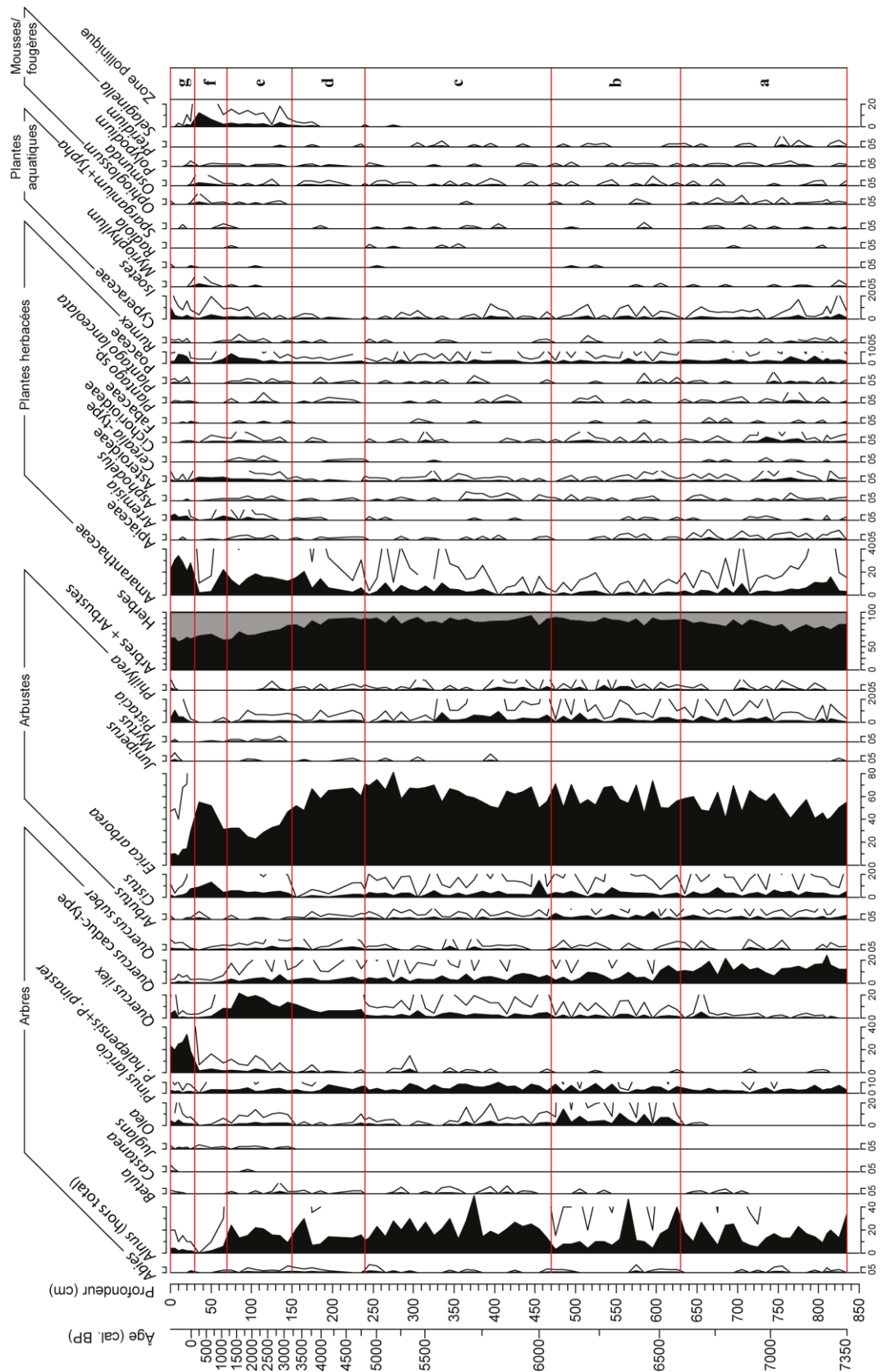


Figure 17 : Diagramme pollinique de l'étang de Saleccia reproduit et simplifié à partir de Reille (1992). Les valeurs sont exprimées en pourcentages de la somme pollinique totale. L'axe des âges a été obtenu d'un modèle âge-profondeur généré à partir des datations radiocarbone disponibles dans Reille (1992) (voir Figure 18).

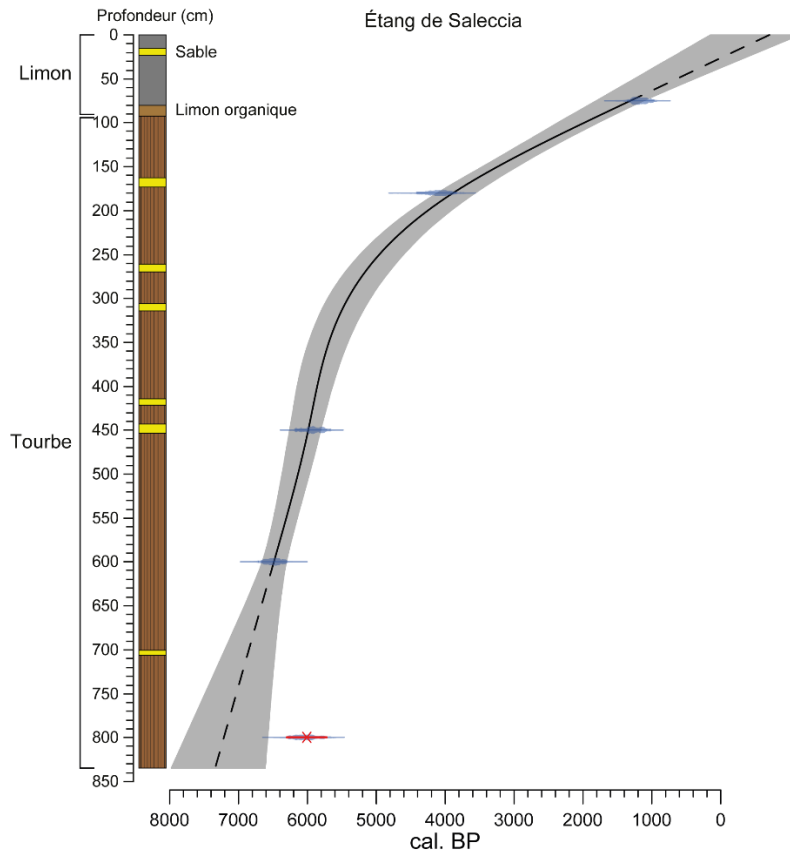


Figure 18 : Lithologie, modèle âge-profondeur de l'étang de Saleccia à partir des 5 âges ^{14}C disponible dans Reille (1992). Les enveloppes en bleu donnent la densité de probabilité à 95 %, l'âge ^{14}C rejeté est annoté en rouge.

Plus récemment, Vella et al. (2014) ont étudié le contenu en matériel palynologique du vallon de Spizicciu (MRE 01), à proximité du site néolithique du Monte Revincu. S'ils ont également mis en évidence la dominance d'un couvert forestier à *Erica arborea* entre ca. 3600 et 860 cal. BP, il semblerait que localement, *Quercus ilex* n'ait connu aucune phase d'expansion majeure. Ceci traduit une origine plus locale de la pluie pollinique à Spizicciu comparé à Saleccia. La régression d'*Erica arborea* apparaît à partir de 930-790 cal. BP de manière synchrone avec l'augmentation des herbacées (Asteroideae, Cichorioideae, *Plantago*) et de *Cistus*. C'est également à cette période qu'apparaît le pollen de *Cerealia*-type. Toutefois, Vella et al. (2014) suggèrent que les conditions micro-régionales et taphonomiques ont nui à la conservation du pollen de *Cerealia*, empêchant l'enregistrement de pratiques agricoles antérieurement à 930-790 cal. BP. Finalement, depuis ca. 860 cal. BP la fréquence d'*Isoetes* augmente, suggérant un progressif développement des zones humides de fonds de vallons. Comme à Saleccia, *Myrtus communis* apparaît tardivement lors du dernier millénaire.

IV. Résultats et interprétations

1. Caractérisation du sédiment, lithostratigraphie et chronologie

Corrélation des profils sédimentaires et construction du profil synthétique

Préalablement à tout échantillonnage et analyse entomologique, il est impératif de caractériser puis corréler chacun des sept profils sédimentaires extraits du marais de Cannuta (Figure 19). Ces profils ont été prélevés avec un décalage vertical de 50 cm pour assurer un recouvrement sédimentaire complet. Une description visuelle des carottes a été réalisée pour établir les faciès principaux en se basant sur la structure du sédiment, sa texture et sa couleur. Toutefois le matériel s'est révélé trop homogène pour réaliser une corrélation visuelle précise entre les sept profils.

Les analyses géochimiques réalisées par l'Itrax XRF Core Scanner sur les sections de U-channels des sept sections individuelles a permis de corréler précisément ces sections entre elles, notamment en s'appuyant sur les courbes de Si et de Ti (Figure 20).

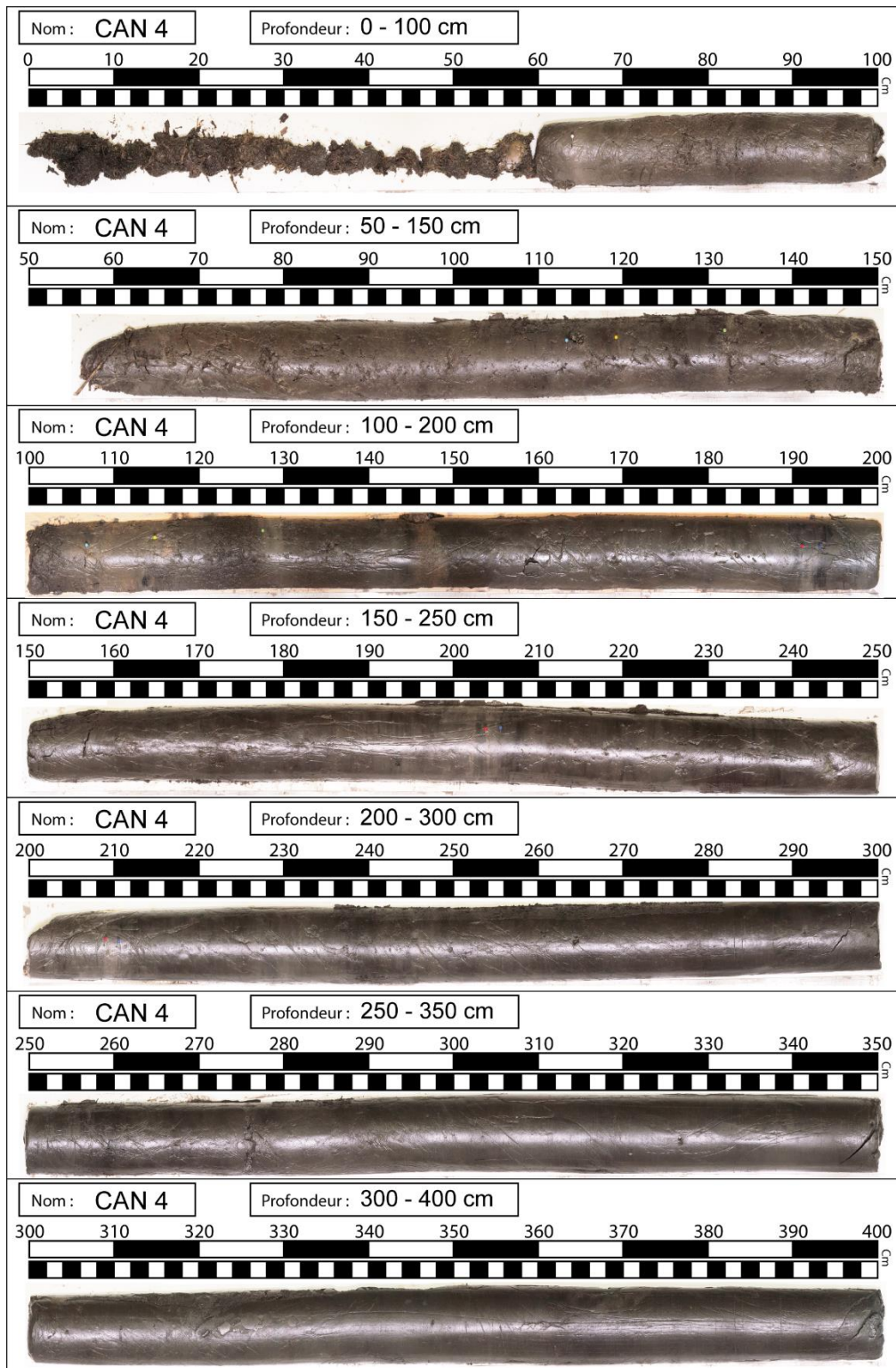


Figure 19 : Photographies des 7 sections individuelles extraites du marais de Cannuta en 2014 et composant la séquence CAN-4.

De cette manière, un profil composite maître est construit, CAN-4, de 401 cm d'épaisseur. Les sections utilisées pour créer le profil composite sont indiquées sur la Figure 20. Les analyses paléoenvironnementales ultérieures (datations radiocarbone, analyses paléontologiques) sont basées sur les côtes de profondeur réelles (recalculées) du profil CAN-4.

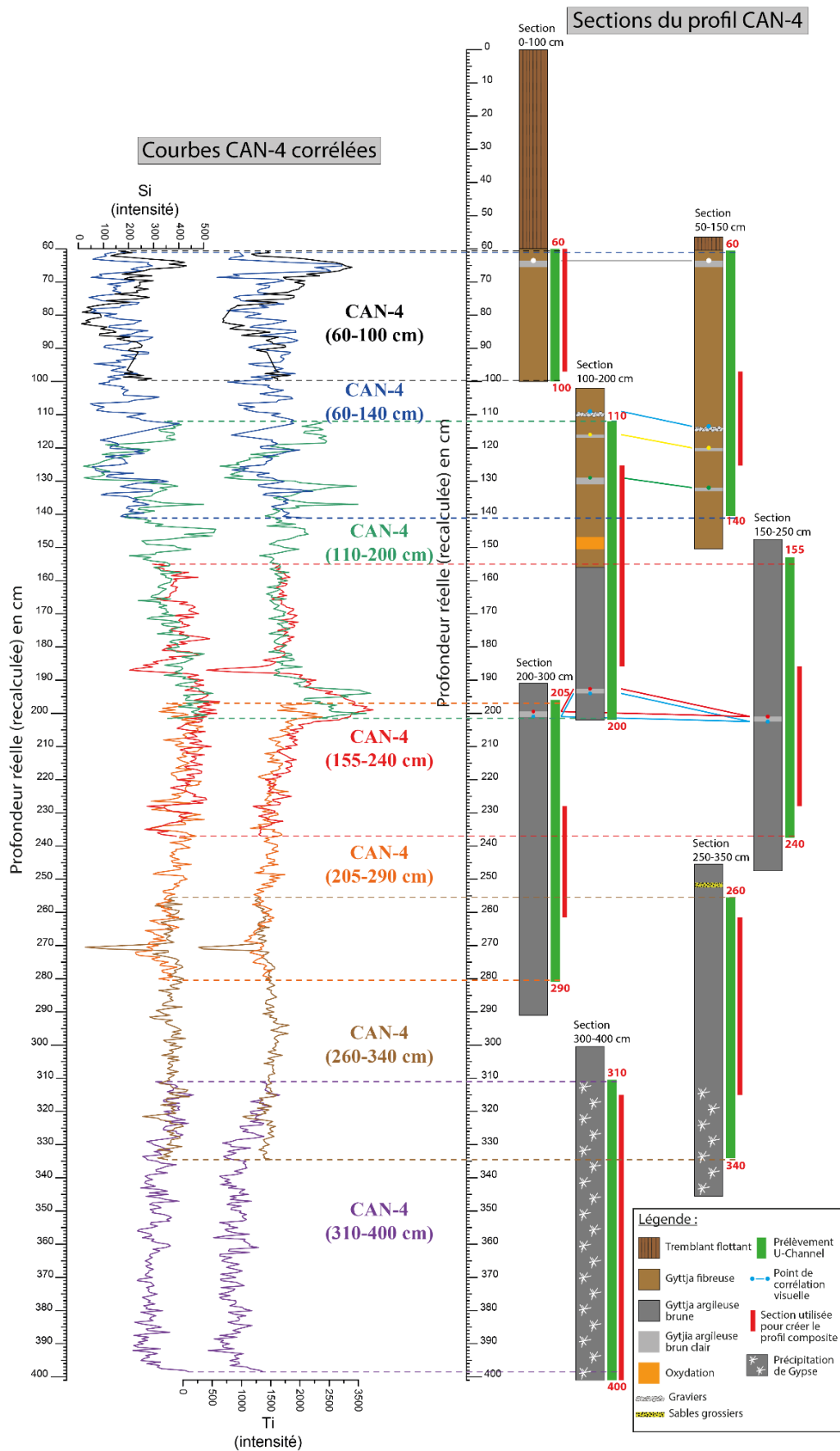


Figure 20 : Synthèse des corrélations entre les 7 sections individuelles extraites du marais de Cannuta et composant le profil synthétique CAN-4.

Datations radiocarbone et chronologie

Neuf datations radiocarbone AMS ont été réalisées au Laboratoire de radiocarbone de Poznań (Pologne) sur des échantillons de macro-charbons⁹ et de bois¹⁰ prélevés le long du profil composite CAN-4. Les résultats ont été calibrés avec les courbes de calibration IntCal 13 (hémisphère Nord) (Reimer et al. 2013) puis exprimés en cal. BP (2σ , Tableau 4) et un modèle d'âge-profondeur de type smooth-spline (type= 4, lissage= 0,3, nombre d'itérations= 10 000) a été généré en utilisant le module « clam » du logiciel R (Figure 21).

Tableau 4 : Datations radiocarbone AMS obtenues sur le profil composite CAN-4.

Code Lab.	Profondeur section maître (cm)	Matériel daté	Âge AMS ¹⁴ C BP	Âge calibré en cal. BP (2σ)	Âge calibré en cal. BC/AD (2σ)	Remarque
Poz-80236	78,5–79,5	Charbons (indet.)	260 ± 30	-3–429	1521–1953 AD	0,4mgC
Poz-90701	119,5–120,5	Charbons (indet.)	385 ± 30	319–507	1443–1631 AD	0,3mgC
Poz-80237	133–134	Charbons (indet.)	215 ± 30	-4–306	1644–1954 AD	rejeté
Poz-90702	163–164	Charbons (indet.)	1340 ± 30	1185–1305	645–765 AD	0,5mgC
Poz-80240	196–197	Charbons (<i>Erica</i> sp.)	2375 ± 30	2340–2650	701–391 BC	
Poz-90703	227–229,5	Charbons (<i>Erica</i> sp., <i>Myrtus</i> sp.)	3595 ± 35	3781–4061	2111–1831 BC	
Poz-80241	268–269	Charbons (<i>Myrtus</i> sp.)	3905 ± 35	4239–4423	2474–2290 BC	
Poz-80242	322–323	Bois (<i>Myrtus</i> sp.)	4445 ± 35	4882–5283	3334–2933 BC	
Poz-80243	376–377	Charbons (<i>Erica</i> sp.)	4905 ± 35	5589–5711	3762–3640 BC	

Le modèle âge-profondeur a été réalisé sur huit âges ¹⁴C : l'âge 215 ± 30, considéré comme trop jeune, a été rejeté. Ce rajeunissement peut être lié à la présence de radicelles subactuelles dans les charbons datés ou à un remaniement de ces derniers dans le sédiment. Le modèle obtenu indique que le profil CAN-4 couvre les derniers 5900 cal. BP entre 401 et 60 cm (Figure 21). Il ne tient pas compte des 60 premiers centimètres de la séquence, lesquels correspondent au tremblant flottant. Entre 401 et 228 cm, le taux de sédimentation est de 0,085 cm/an en moyenne, il chute à un taux moyen et relativement stable de 0,038 cm/an entre 227 et 121 cm, puis il connaît une accélération sur les 500 dernières années (0,20 cm/an).

⁹ Les macro-charbons datés ont été préalablement identifiés à l'IMBE par Brigitte Talon par comparaison avec une collection de charbons de référence.

¹⁰ Le fragment de bois daté a été identifié à l'IMBE par Frédéric Guibal.

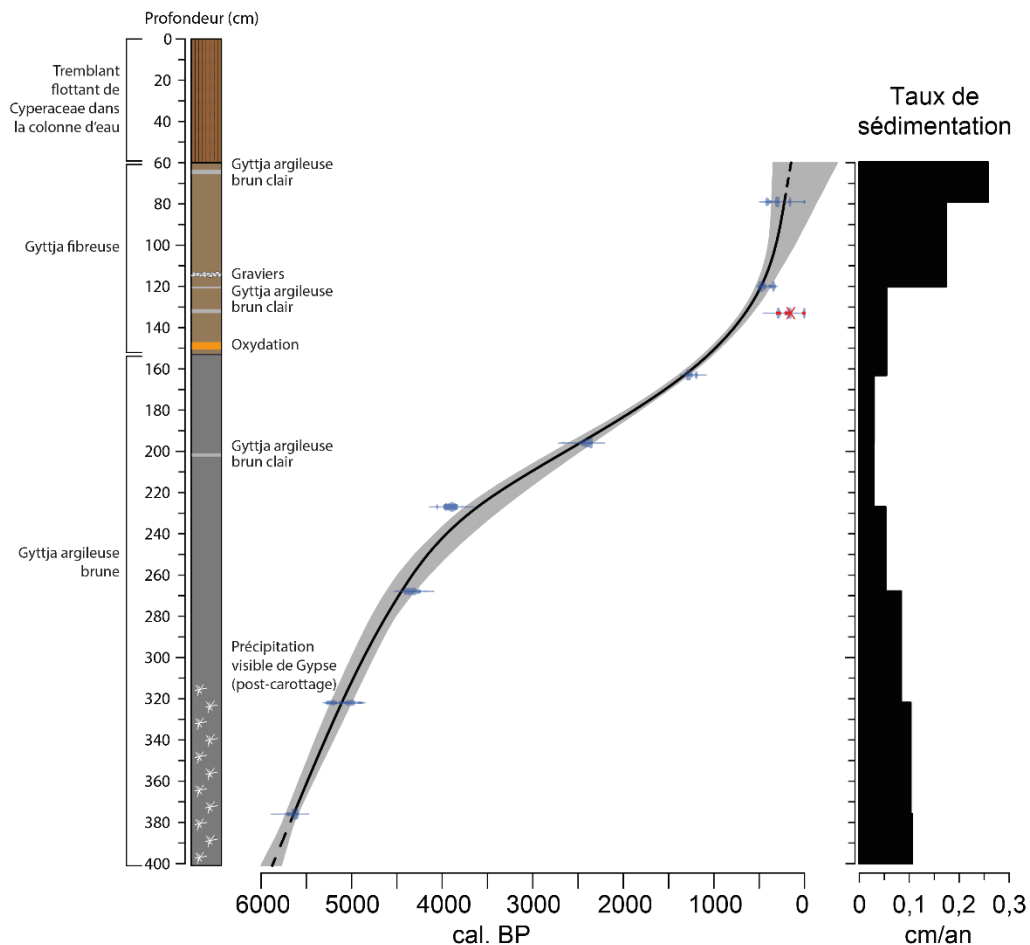


Figure 21 : Lithologie, modèle âge-profondeur de la séquence CAN-4 réalisé à partir de 8 âges ^{14}C (les enveloppes en bleu donnent la densité de probabilité à 95 %, l'âge ^{14}C rejeté est annoté en rouge) et taux de sédimentation.

2. Variations géochimiques du profil sédimentaire CAN-4

Analyses des corrélations des éléments mesurés par XRF core scanner

L'analyse XRF par un Itrax Core Scanner nous renseigne sur les variations relatives (exprimées en intensité) des principaux éléments présents dans les sédiments du profil composite CAN-4. Après avoir trié le jeu de données initial, les variations d'intensité des éléments sélectionnés pour cette étude, à savoir le Si, S, K, Ca, Ti, Fe, Rb et le rapport incohérent/cohérent (inc/coh), sont détaillées le long du profil composite CAN-4 dans la Figure 22.

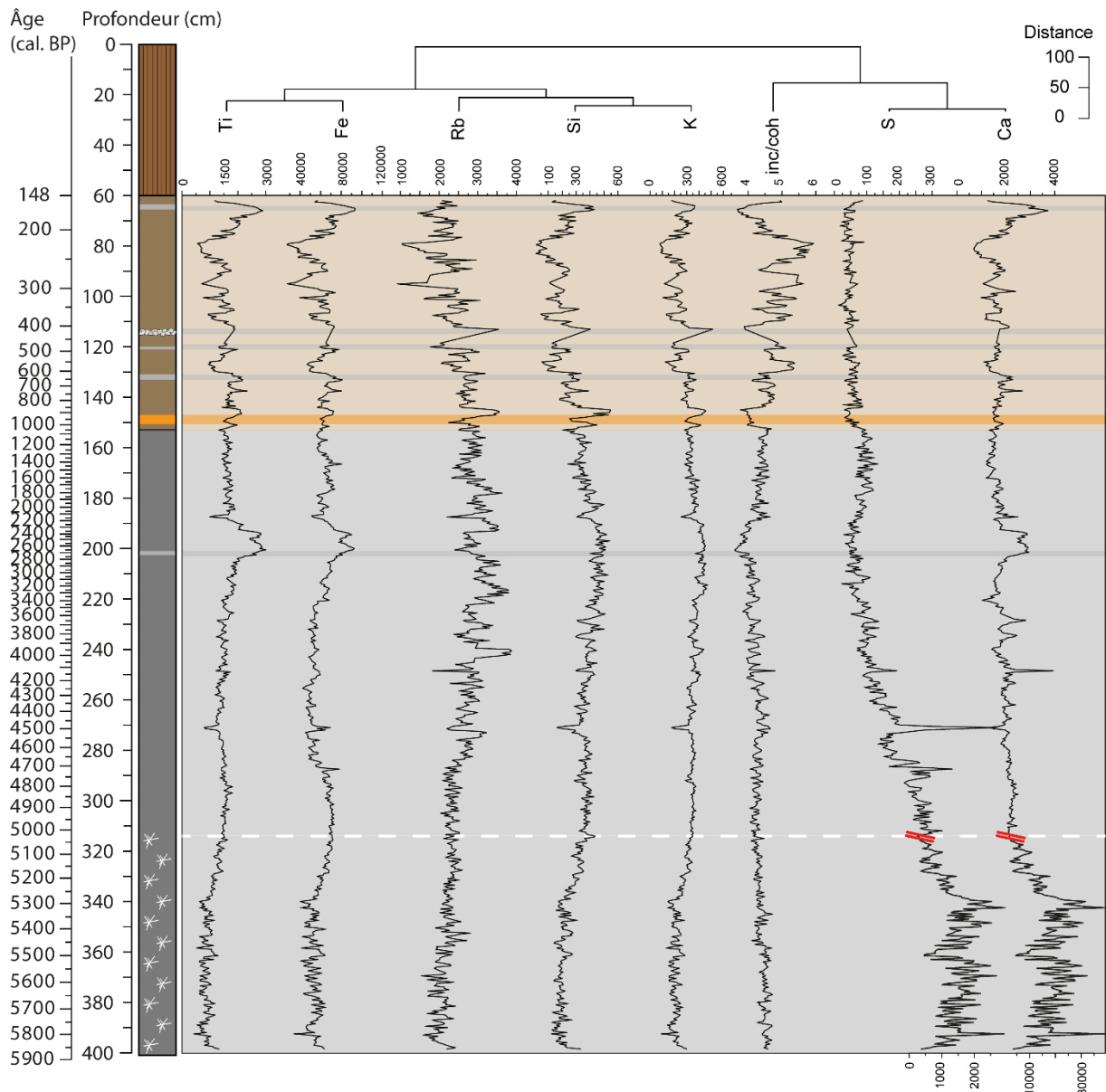


Figure 22 : Courbes des variations relatives (en intensité) des éléments majeurs mesurés par XRF Core Scanner et du rapport incohérent/cohérent (inc/coh) face au profil composite CAN-4 (légende Figure 20). Une analyse d'agglomération a été réalisée pour regrouper les variables étudiées en fonction de leur similarité.

Dans un premier temps, une matrice des corrélations a été réalisée afin de quantifier la magnitude des associations par paire d'éléments géochimiques (Tableau 5). La plus forte corrélation apparaît entre Ca et S ($r= 0,99$), indiquant que ces deux éléments ont la même origine. Les sources de Ca sont multiples et peuvent être autochtones dans les carbonates biogéniques (CaCO_3) (Arz et al. 1998; Tjallingii 2007) ou correspondre à des apports allochtones érosifs (notamment dans la fraction argileuse). Toutefois, compte tenu du contexte d'étude, il est plus vraisemblable que les éléments du groupe [Ca, S] proviennent en grande partie des sels contenus dans l'eau marine. Cette hypothèse est confortée par la présence d'aiguilles de gypse (calcium sulfate dihydraté, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), visible à l'œil entre 401 et 314

cm (Figure 23). La précipitation de ces aiguilles à la surface du sédiment après le carottage confirme le fait que le milieu de dépôt est sursaturé en sels à ces profondeurs.

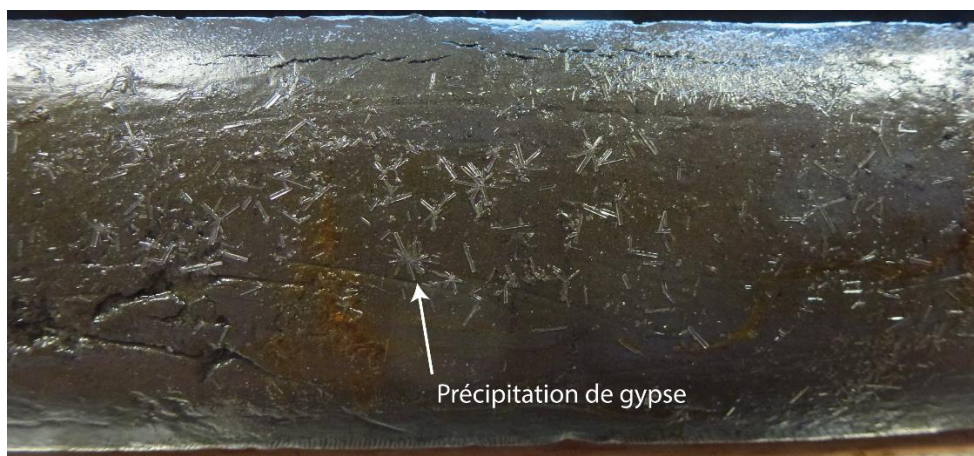


Figure 23 : Exemple de formation de gypse à la surface des carottes sédimentaires du marais de Cannuta.

Parmi les autres éléments, Si, K, Ti, Fe et Rb présentent entre eux des corrélations positives fortes (r entre 0,48 et 0,94), et négatives avec le groupe [Ca, S] et le ratio inc/coh. Ce groupe d'éléments [Si, K, Ti, Fe, Rb] suggère une association entre les argiles et les apports détritiques. En effet, Ti et Rb sont des éléments conservatifs, inertes aux processus diagénetiques (Calvert et Pedersen 2007), c'est pourquoi ils sont souvent représentatifs des apports détritiques. En revanche, Si est abondant dans de nombreux aluminosilicates que l'on retrouve dans les roches calco-alcalines qui composent le bassin versant du marais de Cannuta (monzogranite, leucomonzogranite et formations volcano-sédimentaires ; Figure 14), mais il peut également correspondre à une production de silice biogénique. Enfin, K est un élément mobile, souvent associé aux minéraux argileux, tandis que Fe peut être un indicateur de conditions d'oxydation dans le marais ou d'apports détritiques (Davison 1993).

Tableau 5 : Matrice des coefficients de corrélation de Si, S, K, Ca, Ti, Fe, Rb, et du rapport inc/coh mesurés sur 644 niveaux du profil composite CAN-4 par XRF Core Scanner. Les valeurs en gras suggèrent une forte corrélation entre les éléments ($r \geq 0,5$ ou $r \leq -0,5$). Les corrélations positives sont indiquées en rouge, celles négatives sont indiquées en bleu.

	Si	S	K	Ca	Ti	Fe	Rb	inc/coh
Si	1,00							
S	-0,42	1,00						
K	0,94	-0,56	1,00					
Ca	-0,42	0,99	-0,56	1,00				
Ti	0,67	-0,67	0,76	-0,62	1,00			
Fe	0,48	-0,38	0,55	-0,36	0,79	1,00		
Rb	0,69	-0,45	0,77	-0,43	0,52	0,25	1,00	
inc/coh	-0,78	0,04	-0,73	0,03	-0,55	-0,51	-0,49	1,00

Le rapport inc/coh montre une relation inverse avec les éléments reliés au Ti (r entre -0,49 et -0,78) mais c'est dans la gyttja fibreuse que cette anti-corrélation est la plus visible (Figure 22). Comme il reflète la proportion d'éléments lourds par rapport aux éléments légers, ce rapport est généralement utilisé comme un indicateur de la concentration en matière organique¹¹ (MO) du sédiment (Croudace et al. 2006). Toutefois les variations du rapport inc/coh dépendent également de la teneur en eau interstitielle du sédiment et de sa densité. Aussi, ce rapport peut parfois échouer à prédire les concentrations en MO, même des sédiments particulièrement riches en carbone organique, et peut au contraire être utilisé comme traceur de la teneur en eau (Tachikawa, comm. pers.). Aussi dans notre étude, bien que les valeurs d'inc/coh augmentent dans la gyttja fibreuse par rapport à l'unité précédente (Figure 22), suggérant que ce rapport reflète effectivement la concentration en MO, il convient de rester prudent quant à son interprétation dans les autres unités lithologiques.

L'analyse en composantes principales (ACP) menée sur les données XRF sélectionnées dans cette étude (8 variables et 644 points de mesure) confirme les relations élémentaires précédemment évoquées (voir Figure 24). La première composante principale représente 61,7 % du total de la variance. Elle reflète la forte opposition des éléments associés aux argiles et aux apports détritiques [Si, K, Ti, Fe, Rb] (scores positifs) avec ceux associés au gypse [Ca, S] et, à priori, avec la concentration en matière organique (rapport inc/coh) (scores négatifs). Les interprétations de la seconde composante principale (19,6 % de la variance), contrôlée par le groupe [Ca, S] du côté positif et par le rapport inc/coh du côté négatif, sont plus complexes car le rapport inc/coh peut à la fois refléter des changements de densité, de teneur en eau et de matière organique le long du profil.

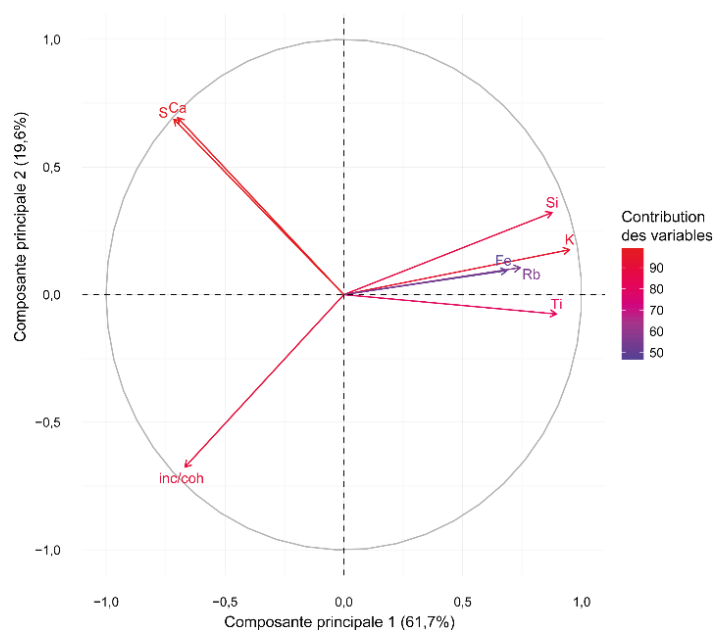


Figure 24 : ACP réalisée sur les mesures élémentaires semi-quantitatives de Si, S, K, Ca, Ti, Fe, Rb, et du rapport incohérent/cohérent (inc/coh) acquises par XRF core scanner sur la séquence CAN-4. Les flèches et leur couleur représentent les variables et leurs contributions sur l'axe 1 et 2.

¹¹ La matière organique est principalement constituée d'atomes légers.

Afin de trier les informations contenues dans les différents lithotypes, nous avons représenté sur la Figure 25 les co-variations des éléments étudiés en fonction des différentes unités lithologiques. Cette figure montre que Si, K, Ti, Fe et Rb présentent une corrélation linéaire dans tous les lithotypes, suggérant que ces éléments restent associés aux argiles et aux apports détritiques tout au long de la séquence CAN-4. En revanche, la Figure 25 met en évidence des co-variations plus complexes pour Ca, S et Ti le long du profil sédimentaire. La forte co-variation entre Ca et S dans la gytija argileuse brune présentant des aiguilles macroscopiques de gypse suggère que des dépôts salins ou d'évaporites sont particulièrement importants à la base du profil sédimentaire. Toutefois, la corrélation entre ces deux éléments est nulle dans le reste de l'unité à gytija argileuse et dans la gytija fibreuse, indiquant une autre source de Ca à la surface du profil. À l'inverse, tandis que [Ti, K] et Ca sont anti-corrélés dans la gytija argileuse brune, une co-variation de ces deux éléments avec Ca apparaît dans la gytija fibreuse ; en outre la source de Ca change dans cette unité et semble être reliée aux apports détritiques.

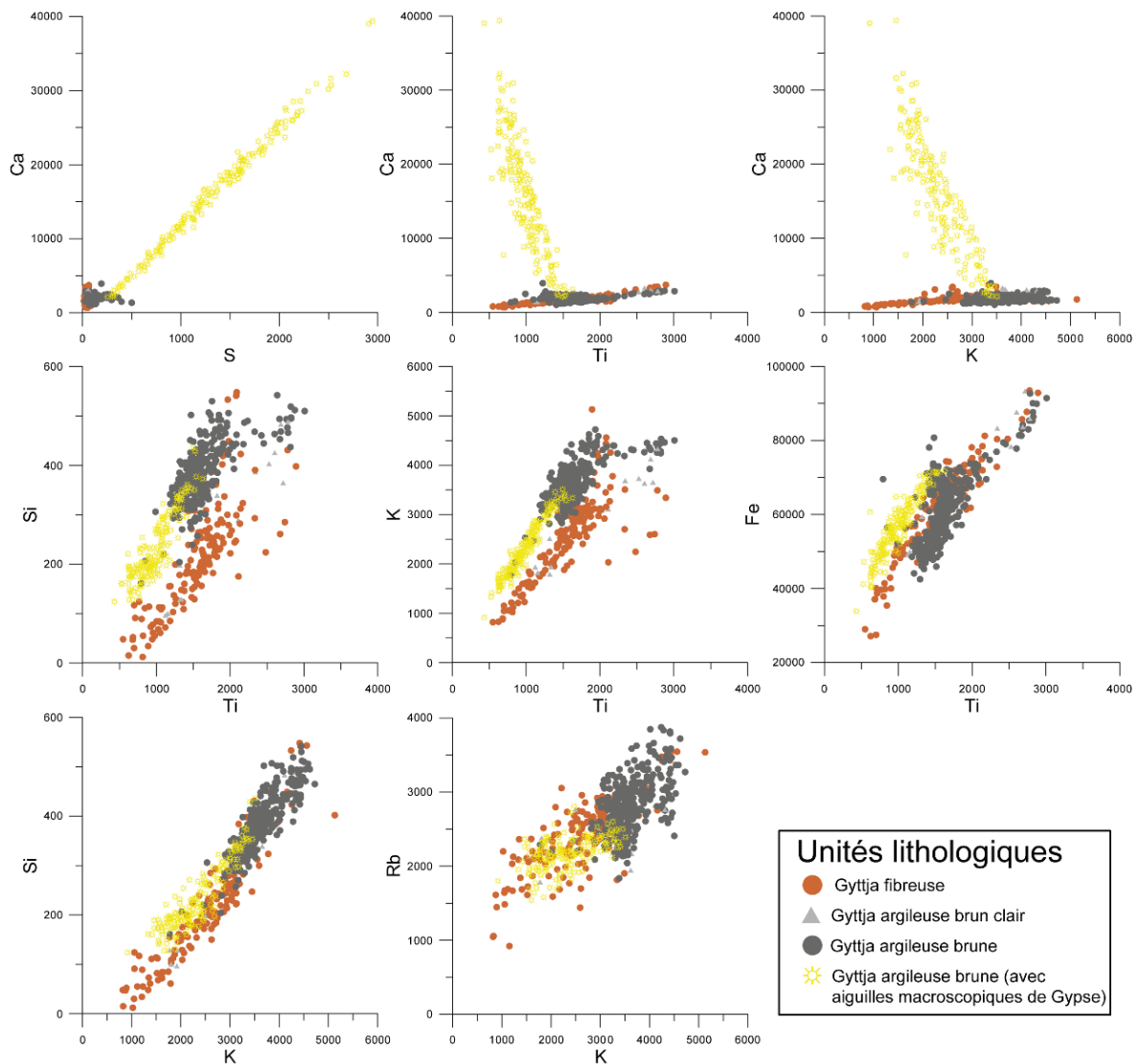


Figure 25 : Diagrammes des co-variations entre les éléments majeurs mesurés par XRF Core Scanner le long du profil composite CAN-4 classés par unité lithologique. Les valeurs sont données en intensité.

De manière synthétique, en comparant les unités lithologiques avec les abondances relatives des éléments majeurs (Ca, S, Ti, Si, Fe, Rb) on peut observer que :

- Dans la gyttja argileuse brune (401 à 153 cm), le groupe [Ca, S] présente des valeurs particulièrement élevées entre 401 et 314 cm, indiquant probablement la présence de gypse à la base du profil sédimentaire. Dans cette unité sédimentaire, aucune tendance dans les variations du groupe [Ti, Fe, Rb, Si, K] ne se dégage, excepté une augmentation relative des intensités du Ti, Fe et Ca entre 205 et 193 cm (2850 et 2350 cal. BP). Cette augmentation correspond dans le profil à un dépôt de gyttja brun clair.
- Dans la gyttja fibreuse (153 à 60 cm), Ca varie avec les éléments du groupe [Ti, Fe, Rb, Si, K]. Plusieurs pics d'intensité de ces éléments suggèrent des épisodes répétés d'enrichissement du sédiment en minéraux argileux après 1050 cal. BP. Certains de ces épisodes détritiques se manifestent dans la séquence sous la forme de dépôts brun clair ou de graviers, comme à 134-131 cm (650-600 cal. BP), 121-122 cm (500 cal. BP), 113-110 cm (400 cal. BP) et à 77-63 cm (200-150 cal. BP). Malgré ces pics, les intensités de Ti, Fe, Rb, Si, K tendent à diminuer dans cette unité, probablement à cause d'une augmentation de la matière organique dans le sédiment (inc/coh) qui dilue le signal de ces éléments.

3. Analyse entomologique

L'analyse entomologique réalisée sur le profil composite CAN-4 comporte 35 échantillons de 431 g en moyenne (détails de la méthode d'extraction entomologique donnés en **Annexe I**). Parmi les 5561 fragments fossiles, 257 taxons d'arthropodes ont pu être identifiés (voir **Annexe II**). Les coléoptères dominent très largement les assemblages avec 226 taxons. Le reste des taxons représente des ordres divers comme les Dermaptera, Diptera, Hemiptera, Homoptera, Hymenoptera, Orthoptera, Trichoptera et les Arachnida. Au cours de cette étude, 38 % des taxons de coléoptères ont été identifiés jusqu'à l'espèce, 49 % jusqu'au genre et 13 % l'ont été à des rangs taxonomiques supérieurs. Au sein des 46 familles de Coleoptera identifiées, les plus représentées sont les Staphylinidae (18 %), les Curculionidae (9 %), les Trechidae (8 %) puis les Harpalidae, Hydrophilidae et Dytiscidae avec 7 % (les autres familles sont toutes représentées par moins de 5 % des taxons).

Une analyse d'agglomération contrainte par la profondeur est réalisée à partir du tableau des données de coléoptères seulement. Trois unités fauniques d'insectes (UFIs) ont ainsi été individualisées (Figure 26). Afin de faciliter l'interprétation, les abondances de chaque taxon ont été sommées au sein des groupes écologiques d'insectes définies dans la base de données BugsCEP (Buckland et Buckland 2006) sur la Figure 27, en fonction des affinités écologiques ou des habitats qu'occupent leurs représentants modernes.

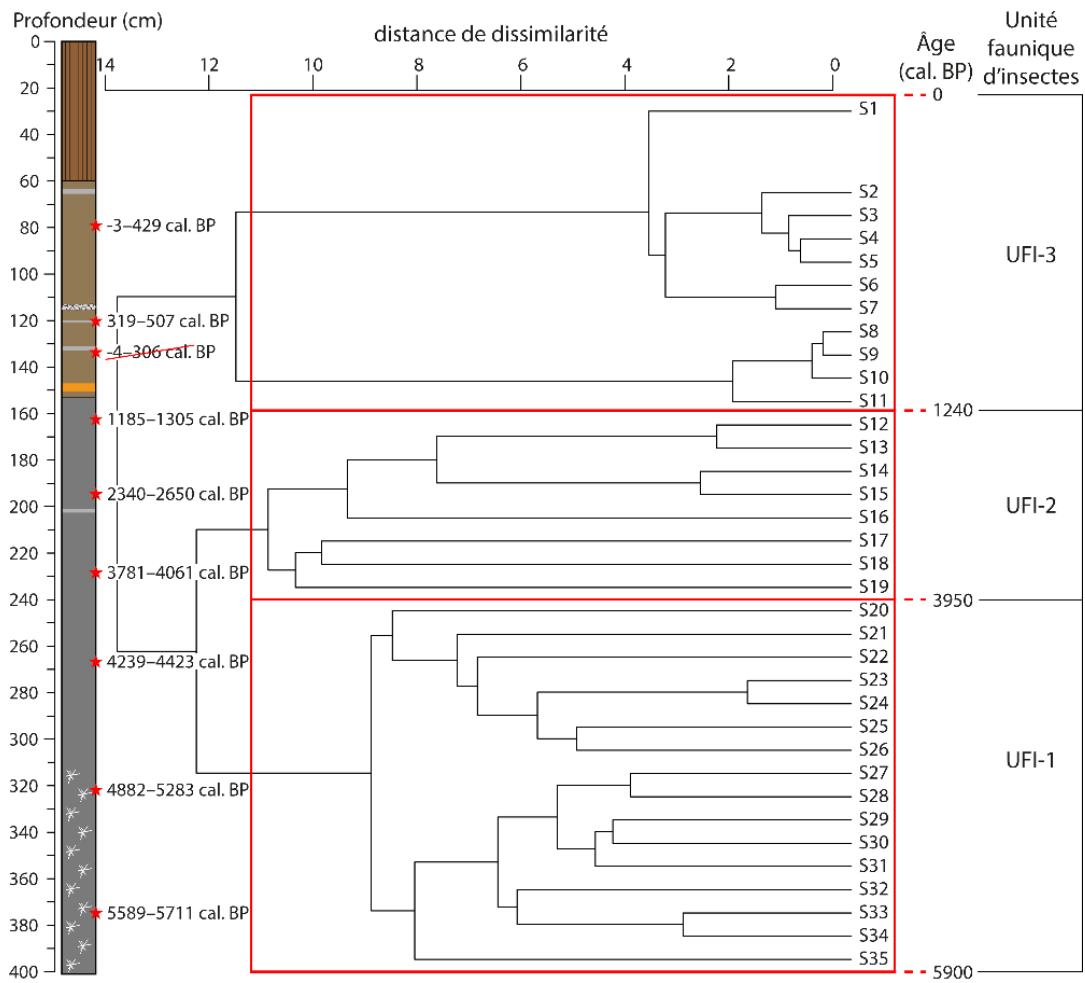


Figure 26 : Dendrogramme contraint par la profondeur et lithologie de la carotte composite CAN-4 (légende Figure 20). Les cadres rouges représentent les limites des unités fauniques d'insectes et leurs bornes chronologiques (années cal. BP).

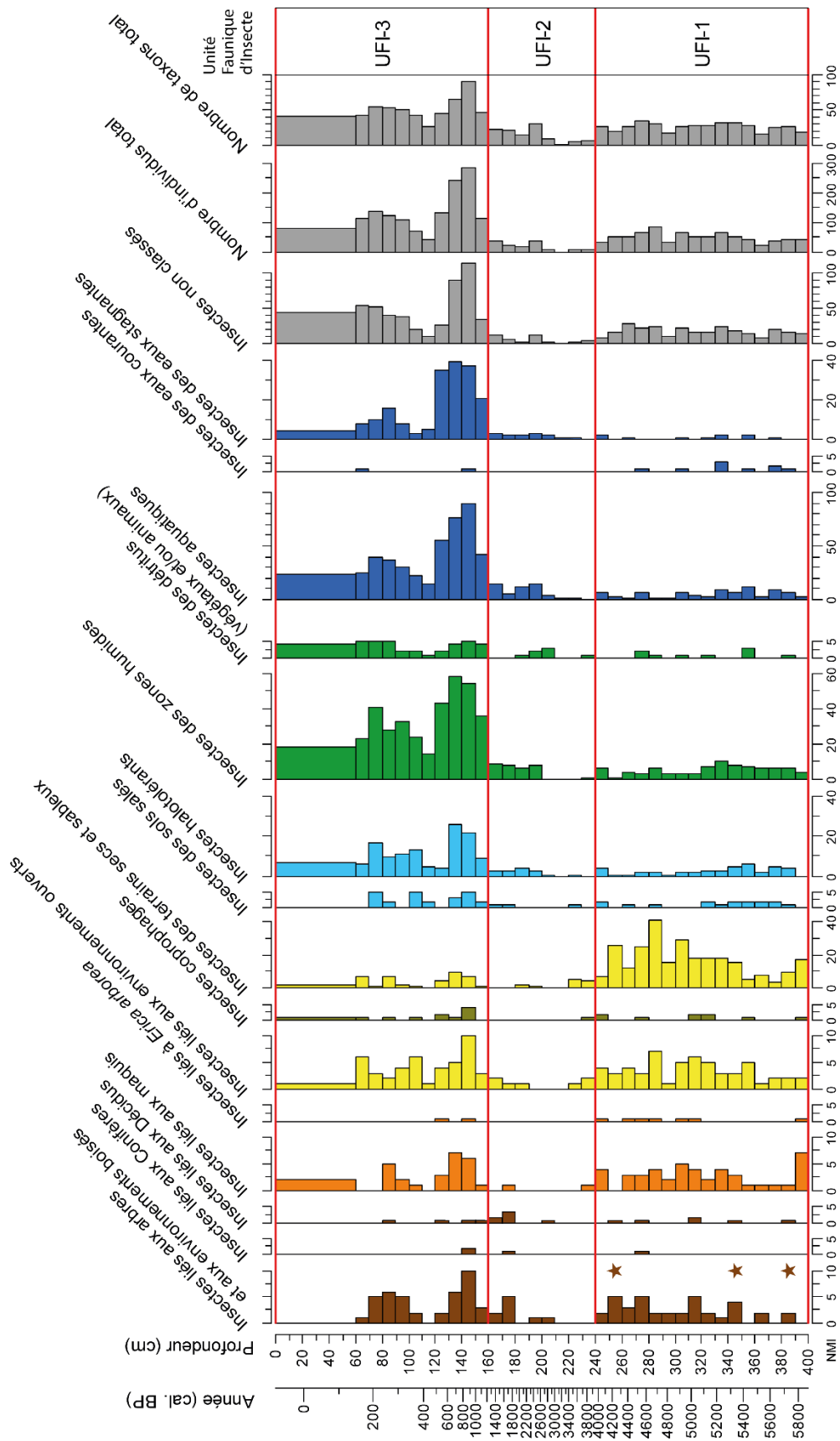


Figure 27 : Diagramme entomologique simplifié de Cannuta avec les principaux groupes écologiques d'insectes. Les taxons inclus dans les différentes catégories écologiques sont indiqués en Annexe II. NMI : nombre minimum d'individus. Les étoiles marquent les occurrences de Hypoborus ficus. Les cadres rouges représentent les limites des unités fauniques d'insectes IFU-1 à -3 décrites dans le texte.

Unité faunique d'insectes 1, 400-240 cm (5900 à 3950 cal. BP)

L'UFI-1 comprend 16 échantillons couvrant la période 5900 à 3950 cal. BP et contenant 125 taxons de coléoptères parmi lesquels se distinguent 24 taxons aquatiques et 101 taxons terrestres dont 30, spécifiquement liés aux zones humides (Figure 27).

Assemblages d'insectes aquatiques :

La plupart des coléoptères aquatiques de l'UFI-1 sont représentés par un ou deux individus. C'est notamment le cas de *Bidessus*, *Hygrotus*, *Gyrinus* cf. *caspius*, *Haliphus*, *Limnebius*, *Hydraena*, *Ochthebius* cf. *minimus*, *Hydrochus*, *Limnoxenus niger* et *Paracymus aeneus*. Plus précisément, *G.* cf. *caspius*, *O.* cf. *minimus*, *L. niger* et *P. aeneus* sont des espèces halotolérantes, occasionnellement trouvées dans les plans d'eaux saumâtres des dépressions salées et les étangs salés intérieurs (Pirisinu 1981 ; Koch 1989 ; Tronquet 2014). D'autres taxons des eaux stagnantes riches en végétation, comme les Hydrophilidae *Anacaena* et *Berosus* sont plus régulièrement enregistrés dans la plupart des échantillons de la séquence. En revanche les occurrences fossiles de *Dryops*, un aquatique vivant dans la boue des marges des eaux, sont quasi-limitées aux premiers échantillons de l'UFI-1. Seul trois coléoptères aquatiques dominent les assemblages de l'UFI-1 et des deux unités suivantes : *Hydrovatus cuspidatus*, *Ochthebius* gr. *meridionalis* et *Noterus clavicornis*. *Hydrovatus cuspidatus* est un aquatique eurytope, subhalophile présent dans les étangs d'eau douce et saumâtre de la côte et dans les lits et fossés de lacs salés (Guignot 1947 ; Koch 1989). *Ochthebius* gr. *meridionalis* est un groupe d'espèces particulièrement fréquent dans les eaux dormantes, à la fois salées et hyperhalines (Pirisinu 1981). Enfin, *Noterus clavicornis* vit dans les eaux stagnantes riches en débris végétaux à moyenne et basse altitude ainsi que dans les eaux saumâtres le long du littoral (Koch 1989).

Tous les coléoptères aquatiques d'eaux courantes de la séquence sont présents dans cette UFI. Il s'agit d'*Oulimnius* et *Laccobius femoralis femoralis*, deux taxons que l'on retrouvera dans l'UFI-3, et de *Pomatinus substriatus* et *Esolus* cf. *parallelipipedus*, dont les occurrences sont limitées à cette unité. Ces coléoptères aquatiques se retrouvent dans les sections rapides et moyennement rapides des cours d'eaux, parmi les enchevêtrements de racines ou sous les pierres (Koch 1989 ; Tronquet 2014).

Assemblages d'insectes terrestres :

À la faune d'insectes aquatiques qui vient d'être décrite viennent s'ajouter de nombreux coléoptères terrestres hygrophiles. Les plus fréquemment rencontrés dans les UFI-1 à -3 sont : *Coelostoma orbiculare*, un coléoptère amphibie vivant dans la boue et débris végétaux ; *Contacyphon*, un genre comprenant de nombreuses espèces qui à l'état adulte se trouvent sur les plantes rivulaires mais dont les larves sont aquatiques (Thérond 1975) ; et *Bembidion normannum*, un carabique vivant sur la vase des terrains salés du littoral ou de l'intérieur (Jeannel 1941 ; Tronquet 2014). La présence de terrains salés est aussi indiquée par *Cyclodinus*, *Microlestes*, *Pogonus chalceus*, *P. littoralis* et *Tachys scutellaris*. Les autres coléoptères hygrophiles de l'UFI-1 sont enregistrés par des occurrences très ponctuelles. Il s'agit

de taxons vivant dans l'humus ou les détritiques végétaux (e.g. *Endomia*, *Cercyon*, *Acrotrichis*, *Omalium* cf. *rugatum*, *O. excavatum*), sur la végétation ripicole (e.g. *Phaedon*, *Bagous*) ou sur la vase et la terre humide aux bords des eaux (e.g. *Acupalpus*, *Helophorus*, *Limnichus*, *Carpelimus*, *Platystethus alutaceus*, *P. nitens*, *Scopaeus*, *Tachyura* cf. *diabrachys*). Plusieurs taxons se nourrissent ou dépendent d'hygrophytes, comme *Donacia marginata* qui se trouve au bord des eaux et dans les zones humides sur *Sparganium*, *Typha* et *Carex* (Tronquet 2014) ou *Astenus misellus* qui vit parmi les feuilles mortes, notamment de *Cistus*, et sur les berges peuplées de *Phragmites* (Thérond 1975).

Les autres coléoptères terrestres sont principalement des taxons d'environnements ouverts, vivant sur les plantes basses et les arbustes de maquis (e.g. *Apion* s.l., *Diplapion confluens* qui vit sur *Matricaria*, *Microhoria* cf. *dejeani*, *Dasytes*, *Meligethes*). L'écologie de certaines espèces est très informative, comme *Pachybrachis* cf. *scriptus* et *Stylosomus minutissimus* qui sont strictement associés à *Erica arborea* (Tronquet 2014). Parmi les Curculionidae, les espèces corses des genres *Sitona* et *Tychius* sont associées aux Fabaceae (notamment à *Lotus*, *Medicago* et *Trifolium* pour *Sitona*) (Hoffman 1950, 1958). C'est aussi le cas des espèces du groupe *Bruchus/Bruchidius* dont les larves se développent dans les graines des Fabaceae (Delobel et Delobel 2003). Les coléoptères xylophages indicateurs d'environnements boisés sont rares, peu abondants et la plupart sont des polyphages sur feuillus (e.g. *Scobicia pustulata*, *Anisandrus*, *Curculio*, *Xyleborinus saxesenii*). Seul *Hypoborus ficus* apporte des informations précises puisqu'il établit des colonies dans les branches de *Ficus carica* (Balachowsky 1949). Les occurrences fossiles de ce scolyte sont limitées à l'UFI-1 (Figure 27).

Des coléoptères coprophages sont enregistrés comme *Caccobius schreberi* et *Onthophagus vacca* qui se retrouvent surtout dans les excréments de bovins mais aussi dans ceux laissés par de plus petits mammifères (Thérond 1975 ; Paulian et Baraud 1982). À ces deux coprophages stricts viennent s'ajouter des coprophiles qui s'accommodent aussi des détritiques végétaux en décomposition (e.g. *Aphodius*, *Acritus nigricornis*, *Anotylus* cf. *inustus*) (Thérond 1975).

Parmi les autres ordres d'insectes, deux taxons méritent d'être signalés. Il s'agit de l'hyménoptère Formicidae *Camponotus lateralis*, qui n'est présent que dans cette unité et de l'hémiptère *Plinthisus longicollis* s.l., qui est le taxon le plus fréquemment retrouvé dans les assemblages fossiles de l'UFI-1 avec des abondances particulièrement élevées entre 5000 et 4160 cal. BP. *Camponotus lateralis* niche très souvent dans les rameaux secs, sous l'écorce des arbres ou sous les pierres au pied des troncs. Cette fourmi est particulièrement abondante dans les forêts de chêne vert plus ou moins humides (Bernard 1968). *Plinthisus longicollis* s.l. est une punaise commune dans le bassin méditerranéen qui affectionne les biotopes chauds et un peu humides ; on rencontre les imagos parmi les détritiques végétaux, ou dans la couche superficielle des sols parfois dénués de toute couverture herbacée. L'espèce est caractéristique de biotopes plutôt ensoleillés : les sables des régions littorales, les bordures de forêts ou les pentes des collines et des montagnes où elle peut atteindre 2000 m d'altitude (Péricart 1998).

Interprétations paléoenvironnementales :

Les fossiles d'insectes de L'UFI-1 permettent de dresser une image des paléoenvironnements entre 5900 et 3950 cal. BP. Tout d'abord, il est surprenant de noter que les assemblages de coléoptères aquatiques et hygrophiles de cette époque paraissent moins diversifiés par comparaison avec ceux qui peuplent actuellement le marais de Cannuta. Les occurrences d'*Hydrovatus cuspidatus*, *Ochthebius* gr. *meridionalis* et *Bembidion normannum* suggèrent qu'une forte salinité prévalait à cette époque dans le marais et les terrains alentours. Les aquatiques d'eau courante, qui sont principalement présents entre 5900 et 5200 cal. BP, suggèrent que de petits cours d'eau tributaires venaient alimenter cette dépression salée. Le fait qu'une faune halotolérante et halophile se maintienne malgré ces apports d'eau douce supporte l'hypothèse que la salinité et les influences marines à Cannuta devaient être importantes durant cette période.

Autour de cet environnement que l'on pourrait qualifier de lagune saumâtre, le paysage devait être relativement ouvert, composé d'une végétation herbacée et d'un maquis à *Erica arborea*. Le chêne vert était également présent, tout comme *Ficus carica*. La présence des coprophages *Caccobius schreberi* et *Onthophagus vacca* peut être à rapprocher à de discrètes activités pastorales, mais compte tenu de la période étudiée, il n'est pas exclu qu'elle puisse être liée à la faune sauvage vertébrée de Corse (e.g. *Prolagus sardus*).

Unité faunique d'insectes 2, 240-160 cm (3950 à 1240 cal. BP)

L'UFI-2 comprend 8 échantillons ayant un poids moyen de 545 g (Figure 26). Tous sont caractérisés par des assemblages d'insectes extrêmement appauvris par rapport à l'unité précédente : le nombre total de taxons identifiés varie entre 1 et 30 par échantillon pour un NMI par échantillon ne dépassant pas 39 (Figure 27). L'aspect corrodé de certains macro-fossiles d'insectes et leur faible proportion dans les sédiments entre 3950 et 2640 cal. BP est probablement à relier à un problème taphonomique.

Assemblages d'insectes aquatiques :

Malgré ces assemblages appauvris, la plupart des coléoptères aquatiques présents dans l'UFI-1 se retrouve aussi dans cette unité comme *Hydrovatus cuspidatus*, *Ochthebius* gr. *meridionalis*, *Berosus* ou encore *Noterus clavicornis*. De nouveaux coléoptères aquatiques sont enregistrés pour la première fois entre 2640 et 1240 cal. BP. Il s'agit de *Colymbetes fuscus*, *Cybister* et *Graphoderus*, des dytiques vivant dans les eaux stagnantes richement végétalisées (Guignot 1947). L'UFI-2 inclut quelques espèces associées à cette végétation aquatique comme *Donacia marginata*, *Bagous* et *Tanysphyrus lemnae*, qui se nourrit exclusivement de *Lemna* (Hoffman 1954).

Assemblages d'insectes terrestres :

Comme les coléoptères aquatiques, la faune d'insectes terrestres est peu diversifiée et abondante dans l'UFI-2. Seule la faune des coléoptères hygrophiles, paludicoles ou ripicoles reste relativement bien

représentée, avec des taxons précédemment évoqués (*Helophorus*, *Cercyon*, *Coelostoma orbiculare*, Phalacridae, *Contacyphon*, *Carpelimus*, *Scopaeus*) ou des nouveaux pour la séquence (*Agonum*, *Lathrobium*, *Bembidion assimilis*).

La présence d'une végétation herbacée et buissonnante est uniquement suggérée par des occurrences isolées de Curculionidae (*Gymnetron* et *Mecinus/Tychius*) et par *Oxythyrea funesta* qui se retrouve au printemps et en été, sur les *Asphodelus*, les *Cistus* mais aussi sur d'autres végétaux du maquis (Paulian et Baraud 1982). Excepté *Scobicia pustulata*, tous les coléoptères des environnements boisés de l'UFI-2 sont enregistrés dans les sédiments pour la première fois. Il s'agit d'espèces dépendantes de polypores comme *Cis comptus* et *Lordithon* ou de xylophages comme *Platypus cylindrus*, *Treptoplatypus oxyurus* et *Scolytus* cf. *intricatus*. *Platypus cylindrus* et *Scolytus* cf. *intricatus* se nourrissent principalement de *Quercus* mais peuvent être accidentellement trouvés sur d'autres essences feuillues (e.g. *Fagus sylvaticus*, *Castanea sativa*) (Balachowsky 1949). La présence de *Treptoplatypus oxyurus* est remarquable puisque ce coléoptère nidifie exclusivement dans le tronc d'*Abies alba* où il creuse de profondes galeries ramifiées (Hoffman 1950). Sa répartition géographique en France est limitée aux sapinières anciennes des Pyrénées et de Corse, dans les zones assez élevées.

Interprétations paléoenvironnementales :

Il est difficile de proposer une interprétation paléoenvironnementale pour la période 3950 à 1240 cal. BP compte tenu du problème taphonomique qui touche les assemblages entomologiques fossiles. Si les échantillons entre 240 et 210 cm sont quasi-stériles, ceux situés entre 210 et 160 cm contiennent principalement des fossiles d'insectes aquatiques et hygrophiles. Ceci indique, en plus de la continuité des dépôts de gyttja, que la zone humide est restée en eau sur toute la période. Il est donc possible que le niveau du marais de Cannuta ait été particulièrement astatique durant cette période et qu'il ait subi des périodes d'assèchement saisonnier sévère entre 3950 et 2640 et moindre entre 2640 et 1240 cal. BP. Cette hypothèse est cohérente avec les traces d'oxydation sur les macrofossiles d'insectes et avec le ralentissement du taux de sédimentation enregistré entre 227 et 163 cm.

Par ailleurs, il est intéressant de noter qu'en proportion, les coléoptères d'environnements boisés sont plus fréquents que ceux d'environnements ouverts ou de maquis. En particulier la présence de *Quercus* est indiquée par plusieurs coléoptères xylophages. En revanche, la présence d'*Abies* à proximité de Cannuta est moins évidente, même si cet arbre connaît ailleurs en Corse une phase d'extension entre 2000 et 1600 BP (Reille 1975). Il est possible que le spécimen isolé de *T. oxyurus* daté de 1880-1540 cal. BP, ait été transporté par le vent ou par ruissellement depuis des altitudes plus élevées, ou que le sapin pectiné ait été effectivement présent à plus basse altitude que l'actuel, dans les environs du marais de Cannuta.

Unité faunique d'insectes 3, 160-0 cm (1240 cal. BP à l'actuel)

La dernière unité faunique comprend 11 échantillons couvrant les 1240 dernières années (Figure 26). La transition entre l'UFI-2 et l'UFI-3 est marquée par une nette augmentation des abondances et du nombre de taxons dans la plupart des groupes écologiques d'insectes (Figure 27). Avec 156 taxons de coléoptères (dont 38 taxons aquatiques et 118 taxons terrestres parmi lesquels 44 sont liés aux zones humides), l'UFI-3 contient à elle seule la majorité des macrofossiles d'insectes identifiés.

Assemblages d'insectes aquatiques :

La principale caractéristique de l'UFI-3 est la forte diversification des taxons aquatiques puisqu'en plus de ceux déjà identifiés dans les échantillons précédents (e.g. *Hydrovatus cuspidatus*, *Gyrinus*, *Limnebius*, *Ochthebius* cf. *minimus*, *Ochthebius* gr. *meridionalis*, *Berosus*, *Enochrus*, *Noterus clavicornis*, etc.), 14 taxons ne sont présents que dans cette unité, dont *Hygrotus inaequalis*, *Hyphydrus aubei*, *Peltodytes caesus*, *Berosus hispanicus* et *Plea minutissima*. Ces derniers sont tous des espèces qui abondent dans les eaux calmes pourvues d'une dense végétation aquatique ou héliophytique (Guignot 1947 ; Bilton 1988). Plus particulièrement, les punaises *Plea minutissima* se trouvent habituellement près des marges des plans d'eau claire et peu profonds où elles prédatent, parmi la végétation aquatique, de petits crustacés et des larves d'insectes (Poisson 1957). Par ailleurs, les abondances de la plupart des taxons déjà rencontrés augmentent : c'est le cas de *H. cuspidatus* qui atteint 29 individus par échantillon ou de *Ochthebius* cf. *minimus* et *Enochrus* avec respectivement jusqu'à 17 et 10 individus dans les premiers échantillons de l'UFI-3.

Parmi les Trichoptera, des Limnophilidae sont régulièrement enregistrés dans l'UFI-3. Si l'identification des frontoclypeus n'a pas pu se faire au-delà de la famille, il est intéressant de constater que tous les trichoptères signalés en Corse dans des milieux humides littoraux, le sont dans des zones d'eaux douces (Moubayed-Breil et al. 2013). Ceci suggère que ces conditions devaient également prévaloir à Cannuta à cette période, comme c'est le cas actuellement. Pourtant, la présence de nombreuses espèces halotolérantes (*H. cuspidatus*, *O.* cf. *minimus*, *O.* gr. *meridionalis*, *L. niger*, *P. aeneus*, *Aulacochthebius exaratus*) suggère que des intrusions d'eau saumâtre par remontée du biseau salé peuvent avoir lieu localement, au moins durant les périodes de sécheresse estivale.

Assemblages d'insectes terrestres :

L'UFI-3 est aussi caractérisée par une forte diversification de la communauté des coléoptères de zone humide qui inclut de nombreux Harpalidae et Trechidae. Cette riche faune de carabiques comprend entre autres *Acupalpus*, *Agonum lugens*, *Oodes*, *Pterostichus cursor*, *P. elongatus*, *Bembidion assimilis*, *B. normannum*, *B. octomaculatus*, *Perileptus areolatus*, *Sphaerotachys haemorrhoidalis*, *Tachys bistriatus* et *T. scutellaris*. Tous ces coléoptères sont associés aux zones marécageuses recouvertes de gerbes de roseaux et de débris végétaux, sur les bords de cours d'eau et d'étangs (Jeannel 1941, 1942 ; Théron 1975 ; Koch 1989). De nombreux Staphylinidae hygrophiles associés à ce même type d'environnement

ont aussi été retrouvés, dont *Brachygluta*, *Carpelimus*, *Erichsonius cinerascens*, *Lathrobium*, *Neobisnius*, *Paederus*, *Pseudomedon* cf. *obscurellus*, *Scopaeus*, *Stenistoderus nothus*. Les représentants du genre *Contacyphon* sont particulièrement présents durant les 1200 dernières années avec un nombre d'individus variant entre 4 et 22 par échantillon. *Donacia marginata* est encore enregistré dans les échantillons de l'UFI-3. Un taxon est nouveau pour la séquence, *Telmatophilus*, un genre de Cryptophagidae associé aux inflorescences de *Typha* et *Sparganium*. Ceci indique que leurs plantes hôtes étaient présentes durant cette période, comme c'est toujours le cas actuellement. La présence régulière de *Notaris scirpi* est elle aussi informative puisque ce coléoptère se développe sur les *Carex* dans les marécages et lieux humides (Tronquet 2014).

La présence d'environnements ouverts, avec notamment des herbacées de la famille des Fabaceae (e.g. *Lathyrus*, *Lotus*, *Medicago*, *Trifolium*) est suggérée par des taxons communs avec l'UFI-1 comme *Bruchus/Bruchidius*, *Sitona* et *Tychius* alors que de nouveaux taxons, comme *Psylliodes* et *Mecinus simus*, apportent de nouvelles informations sur la composition du couvert végétal. Les espèces du genre *Psylliodes* dépendent surtout des Brassicaceae et d'autres familles d'herbacées (Solanaceae, Poaceae, Asteraceae), et *Mecinus simus* vit sur *Plantago* (Hoffman 1958). La présence d'*Erica* parmi la végétation arbustive est indiquée à deux reprises par la Chrysomelidae *Colaspidae oblonga* inféodée à ce taxon.

Les coléoptères dépendants d'environnements boisés incluent des taxons liés à divers feuillus (e.g. *Quercus*, *Ficus carica*, *Corylus*, etc.), tels que *Scobicia* et *Xyleborinus saxesenii* et d'autres espèces xylophages plus significatives. C'est le cas d'*Ogmoderes angusticollis* qui se développe dans les petites branches de chêne mais aussi de *Hylurgops palliatus* et d'un représentant de la tribu des Ipini, qui vivent tous deux sous les écorces de conifères, principalement de pins (Thérond 1976).

En plus des occurrences régulières d'*Aphodius*, la faune coprophage/coprophile de l'UFI-3 est représentée par *Onthophagus taurus* et par les Staphylinidae *Anotylus nitidulus* et *A. tetracarinus* (Thérond 1975).

Interprétations paléoenvironnementales :

La transition entre l'UFI-2 et l'UFI-3 correspond clairement à un changement majeur dans les assemblages d'insectes. En particulier, la soudaine diversification des taxons aquatiques et hygrophiles en matière d'abondance et de richesse spécifique est probablement une réponse écologique à un développement de conditions palustres au sein du marais de Cannuta et de la plaine alluviale. En effet, les taxons liés aux détritux végétaux et ceux associés aux *Typha* et aux phragmites, témoignent de l'expansion des grandes hélophytes à partir de 1240 cal. BP. C'est vraisemblablement durant cette période que se sont mis en place les tremblants qui servent actuellement de support à la saulaie et à l'aulnaie flottante de Cannuta (Paradis et al. 2013). Ce développement de la zone humide peut avoir différentes origines : il peut correspondre à une mobilité du ruisseau du Liscu vers le marais de Cannuta,

mais aussi avoir une origine climatique régionale telle qu'une période plus humide. Il ne faut pas non plus négliger la part des activités humaines qui peuvent avoir un rôle important dans les processus de progradation des plaines alluviales littorales, en aggravant l'érosion. Or la faune de coléoptères coprophages et coprophiles suggère que des troupeaux ont pâturé les abords du marais et les versants de manière quasi continue durant le dernier millénaire.

La faune des coléoptères dépendant des arbres traduit à la fois la présence de la ripisylve (*Salix* et *Betula*) sur le marais lui-même ou poussant à proximité, mais aussi la présence isolée de *Quercus* et de *Pinus* autour du site. Toutefois, les indices d'une mosaïque de paysage incluant des environnements ouverts sur des terrains secs et sableux ainsi qu'une végétation buissonnante thermoméditerranéenne avec *Erica* sont bien suggérés par *Bruchus/Bruchidius*, *Oxythyrea/Tropinota* et *Colaspidea oblonga*. Il semblerait donc que depuis 1200 ans, le paysage autour du marais de Cannuta soit resté très comparable à l'actuel.

V. Discussion

1. Remontée relative du niveau marin holocène et évolution géomorphologique des zones humides littorales de Saleccia

La comparaison des données polliniques du marais de Saleccia (Reille 1992) avec les analyses géochimiques et entomologiques du marais de Cannuta issues du présent travail permettent de reconstruire l'évolution de la plaine alluviale littorale en lien avec la transgression marine depuis 7000 cal. BP (voir Figure 28).

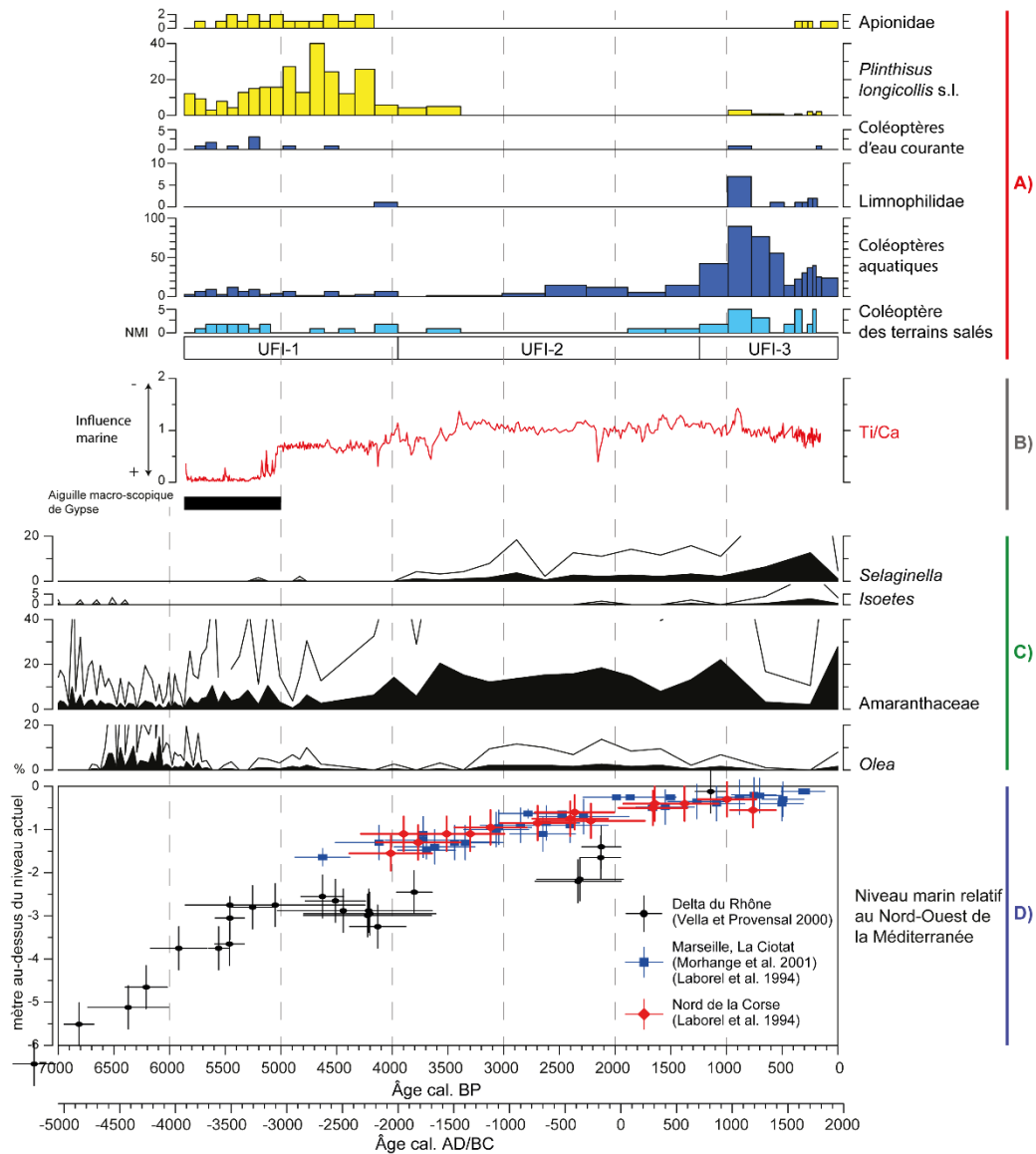


Figure 28 : Comparaison des données (A) paléontologiques et (B) géochimiques du marais de Cannuta avec d'autres archives paléoenvironnementales : (C) courbes sélectionnées du diagramme pollinique du marais de Saleccia (Reille 1992) ; (D) courbe du niveau marin relatif au nord-ouest du bassin méditerranéen d'après les données du sud-est de la France (Laborel et al. 1994 ; Morhange et al. 2001 ; Vella et Provansal 2000) et du nord de la Corse (Laborel et al. 1994) corrigées d'après Vacchi et al. (2016). NMI : nombre minimum d'individus. UFI : unité faunique d'insectes.

De manière synthétique, le rapport du titane sur le calcium (Ti/Ca) peut être considéré à Cannuta comme un bon indicateur de la variation relative des apports terrigènes et marins : dans la Figure 28, de faibles valeurs de Ti/Ca correspondront à des dépôts salins, à l'inverse des concentrations plus importantes en matériel terrigène seront indiquées par des fortes valeurs. Par conséquent, les valeurs minimales de Ti/Ca et les précipitations gypseuses observées à la surface du sédiment entre 401 et 314 cm (5900-5000 cal. BP), indiquent que le milieu de dépôt était fortement influencé par la mer (Figure 28). Dans la première partie de l'UFI-1, entre 5900 et 4980 cal. BP, malgré la présence de tributaires d'eau douce (indiqués par des taxons d'eau courante), la faune de coléoptères halotolérants terrestres (e.g. *Bembidion normannum*, *Pogonus chalceus*, *P. littoralis* et *Tachys scutellaris*) et aquatiques (e.g. *Hydrovatus*

cuspidatus, *Ochthebius* gr. *meridionalis*, *Paracymus aeneus*) atteste des conditions de salinité qui régnaient localement à cette époque. De plus, l'abondance de *Plinthisus longicollis* s.l. et d'Apionidae entre 5900 et 4160 cal. BP confirme la présence de zones sableuses et de milieux ouverts à flore herbacée à proximité directe de Cannuta (Figure 28). L'actuel marais de Cannuta devait correspondre à un environnement lagunaire dans lequel des entrées d'eau de mer se produisaient. Cette connexion avec la mer se faisait probablement par infiltration d'eau salée puisqu'aucun dépôt sableux n'a été trouvé dans la séquence sédimentaire. Les données disponibles dans le delta du Rhône (sud-est de la France) indiquent que le niveau relatif de la mer est remontée de $-3,8 \pm 0,5$ à $-2,8 \pm 0,5$ m NGF entre 5900 et 5000 cal. BP (Vella et Provensal 2000 corrigé d'après Vacchi et al. 2016) (Figure 28), soit à une altitude comparable aux dépôts gypseux (présents entre $-2,4$ à $-1,5$ m NGF).

À partir de 5000 cal. BP, les valeurs du rapport Ti/Ca augmentent brusquement, indiquant une déconnection rapide entre le marais de Cannuta et les apports marins. Compte tenu de la position géographique du site, cette déconnection a pu se faire, soit par le nord-ouest au niveau de l'actuel étang de Padulella, soit par le nord-est par l'actuel étang du Loto (Figure 16B). L'archive sédimentaire du marais de Padulella¹² est majoritairement composée de tourbe et ne présente depuis 7000 cal. BP aucun changement lithologique qui pourrait témoigner d'une telle rupture (e.g. dépôt important de sable marin) (Figure 18). Au contraire, l'abondance d'*Olea* enregistrée entre 6505 ± 210 et 5924 ± 260 cal. BP, correspond selon Reille (1992), à l'édification d'un cordon dunaire à proximité de Saleccia en lien avec la transgression marine (Figure 28). Si cette hypothèse est juste, alors cet événement est antérieur à ce qui est enregistré à Cannuta. Il paraît donc plus probable que l'actuel étang du Loto ait été une lagune ouverte sur la mer jusqu'à 5000 cal. BP environ, date à laquelle le cordon dunaire du Loto a dû se former, diminuant ainsi l'influence marine dans le marais de Cannuta. Toutefois, le fait que les valeurs du rapport Ti/Ca présentent un palier entre 314 et 250 cm (5000-4150 cal. BP) suggère la présence de gypse à ces niveaux malgré l'absence d'aiguilles macroscopiques. Des échanges d'eau salée avec la mer se sont donc maintenus, probablement par remontée du biseau salé.

Entre 3600 et 1050 cal. BP, alors que la salinité décroît dans le marais de Cannuta (comme l'indique l'augmentation des valeurs de Ti/Ca), le développement de zones de sansouires, au moins en bordure du marais de Padulella (Saleccia), est suggéré par les forts taux polliniques d'Amaranthaceae (Figure 28). Ce développement est probablement lié au dernier ralentissement de la transgression marine enregistrée en Méditerranée depuis environ 4000 ans (Vacchi et al. 2016) mais aussi à la diminution du couvert forestier durant cette même période qui a pu libérer des terrains propices aux Amaranthaceae (Reille 1992). Finalement, plusieurs changements majeurs sont enregistrés postérieurement à 1050 cal. BP : l'augmentation des taux de sédimentation (Figure 21) et des abondances des insectes aquatiques dont les trichoptères Linnophilidae à Cannuta, et l'accroissement des taux d'*Isoetes* et *Selaginella*

¹² Ce marais a été étudié par Reille (1992) sous le nom de Saleccia.

(probablement *S. denticulata*, la seule sélaginelle indigène de Corse) à Saleccia (Figure 28). Un développement des zones humides sur la plaine alluviale voire une extension de la plaine elle-même ou une plus forte influence des apports alluviaux du Liscu pourraient expliquer ces assemblages polliniques et entomologiques. En effet, de tels processus géomorphologiques de progradation des deltas sont couramment enregistrés durant les 2500 dernières années à l'échelle du bassin méditerranéen (Maselli et Trincardi 2013 ; Anthony et al. 2014). Ils peuvent résulter de l'expansion des sociétés humaines (augmentation des apports sédimentaires générés par la déforestation et l'intensification de pratiques agro-pastorales), de changements climatiques rapides et de la stabilisation du niveau marin relatif (Vacchi et al. 2016). Le rôle respectif de l'homme et du climat sur ces derniers changements hydro-sédimentaires à Cannuta sera discuté plus loin.

2. Évolution des paysages thermoméditerranéens de l'Agriate entre 5900 cal. BP et l'actuel déduit de la comparaison pollen/insecte

Une première ouverture du couvert végétal favorable au figuier dès 5800 cal. BP ?

La confrontation des données entomologiques de Cannuta aux précédentes études polliniques d'autres sites côtiers permet d'apporter un éclairage nouveau sur les paléoenvironnements du territoire de l'Agriate et sur l'évolution de la végétation de l'étage thermoméditerranéen en Corse (voir Figure 29). Entre 5900 et 3950 cal. BP, les occurrences de coléoptères associés à *Erica* (*Pachybrachis* cf. *scriptus* et *Stylosomus minutissimus*) confirment que des formations de type maquis à *Erica arborea* dominaient localement le paysage. Toutefois, l'augmentation des pourcentages de *Quercus ilex*, de *Cistus* et la présence d'une faune de coléoptères d'environnements ouverts de l'UFI-1, constituent probablement les premiers signes du déclin d'*Erica arborea* durant cette période (Figure 29). De plus, un examen attentif des assemblages d'insectes durant cette transition entre *Erica arborea* et *Quercus ilex* révèle un fait intéressant : plusieurs spécimens fossiles d'*Hypoborus ficus* indiquent la présence ponctuelle de *Ficus carica*¹³ entre 5770 et 4160 cal. BP (Figure 29). Dans l'**article 1**, une phase d'extension du figuier a déjà été déduite des enregistrements fossiles de ce scolyte entre 6100 et 5750 cal. BP. Celle-ci avait également eu lieu durant les premiers signes d'ouverture de la végétation d'*Erica arborea*. Le présent résultat renforce l'hypothèse faite dans l'**article 1** selon laquelle le figuier a pu être recherché et favorisé par les populations néolithiques et chalcolithiques pour la qualité nutritive de ces fruits. En effet, le figuier, probablement aussi indigène dans la partie occidentale du bassin méditerranéen (Khadari et al. 2005), est connu pour avoir été domestiqué très tôt (Zohary et Hopf 2000). En Corse, des restes archéobotaniques attestent de la consommation de figues durant le Néolithique (7000-5000 cal. BP) sur le site de Scaffa Piana (St-Florent), situé à moins de 15 km de Cannuta (Ruas et Vigne 1995). Bien qu'elles doivent être interprétées avec prudence, les occurrences de coléoptères coprophages dans l'UFI-

¹³ Le pollen de cet arbre entomogame n'est généralement pas retrouvé dans les archives sédimentaires. *Ficus carica* n'est pas signalé des inventaires floristiques actuels des zones humides de Saleccia (Paradis et al. 2013)

Il ainsi que les rares grains de pollen de *Cerealia*-type vont dans le sens d'une occupation humaine du territoire durant cette période dans laquelle l'exploitation du figuier aurait pu se faire. Toutefois seules de nouvelles études paléontomologiques et carpologiques permettront de définir si *F. carica* se retrouve ailleurs en Corse à cette période, si cet arbre a connu des « phases d'expansion » et si elles sont là encore, synchrones avec la dégradation d'*Erica arborea*.

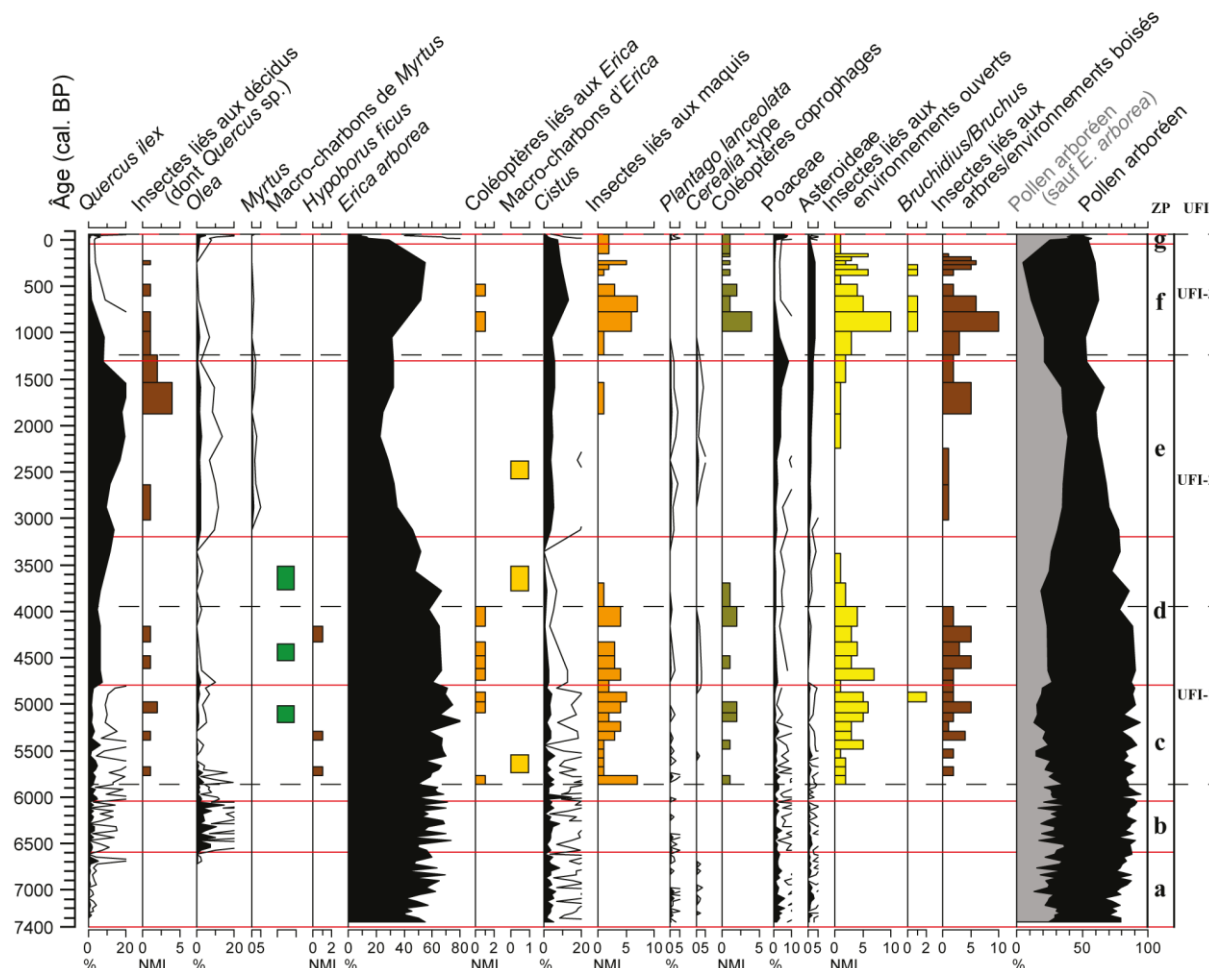


Figure 29 : Diagramme de comparaison entre des taxons sélectionnés d'insectes/groupes écologiques d'insectes du marais de Cannuta et de plantes d'après les données polliniques de l'étang de Saleccia (Reille 1992). NMI : nombre minimum d'individu. ZP : zone pollinique. UFI : unité faunique d'insecte.

De 3350 cal. BP à l'actuel : vers la mise en place des paysages actuels

Après 3350 cal. BP, les données polliniques de Saleccia montrent une forte expansion de *Quercus ilex*, Poaceae, *Cistus*, Asteroideae et une chute des taux d'*Erica arborea* jusqu'à environ 1300 cal. BP (Figure 29 ; Reille 1992). Malgré le problème taphonomique qui touche l'UFI-2, les occurrences isolées de coléoptères xylophages (*Platypus cylindrus* et *Scolytus* cf. *intricatus*) et d'environnements ouverts confirment aussi la présence de *Quercus* décidus et d'une végétation herbacée et buissonnante. Même si les indices entomologiques d'activités pastorales manquent entre 2600 et 1300 cal. BP, les données polliniques de Saleccia indiquent que cette ouverture de la végétation est d'origine anthropique (Reille 1992) (Figure 17). La microrégion de l'Agriate et du Nebbio présente des indices archéologiques

attestant de la présence humaine puisqu'une dizaine d'enceintes fortifiées, occupées pour la plupart entre l'âge du Bronze et le Moyen Âge, y ont été recensées (Figure 14 ; Mazet 2006). C'est notamment le cas du site d'U Castellu, situé à 250 m de la mer et à moins de 3 km du marais de Cannuta (Leandri 2000) ou du site antique de Casta, situé à 1 km au sud de la plage de Saleccia (Figure 14 ; Broc 2014). Aussi, Reille (1992) a émis l'idée, reprise récemment par Vella et al. (2004), que les activités humaines de l'âge du Fer et de la période romaine sont à l'origine de la mise en place des paysages actuels de l'Agriate.

Finalement, entre 1050 cal. BP et l'actuel, Reille (1992) suggère que l'absence de pollen de *Cerealia*-type et la ré-expansion d'*Erica arborea* au détriment de *Quercus ilex* sont les conséquences d'une diminution des pressions anthropiques. Pourtant les occurrences quasi-continues de coléoptères coprophages ou coprophiles (e.g. *Aphodius*, *Onthophagus taurus*, *Anotylus nitidulus*, *A. tetracarinatus*) depuis 990 cal. BP attestent l'existence de pratiques pastorales dans le secteur. De plus, les données polliniques et les faunes d'insectes de l'UFI-3 confirment à la fois la présence d'une végétation herbacée (notamment de Fabaceae) et celle de maquis incluant *Erica arborea* et *Myrtus communis*. Il est donc probable qu'un changement de pratique ait eu lieu et que localement le pastoralisme et les produits de la cueillette (voir paragraphe suivant) aient été favorisés par rapport à l'agriculture. En effet, de nombreux sentiers de transhumance datant du Moyen Âge et de l'époque moderne ont été identifiés dans la région (Vella et al. 2014). Ils confirment que la petite plaine alluviale sur laquelle se situe Cannuta, l'une des seules de l'Agriate, a dû fournir depuis longtemps une aire de pâturage hivernale. Aussi, les données polliniques et entomologiques semblent à la fois refléter la persistance d'un pastoralisme extensif et transhumant mais aussi l'abandon de certaines zones probablement anciennement cultivées. Toutefois, cet abandon ne semble pas généralisé à l'ensemble de l'Agriate puisque Vella et al. (2014) ont montré une continuité des activités agropastorales avec la mise en culture des versants autour du Monte Revincu entre environ 800 et 150 cal. BP. Le paludisme qui sévissait au cours du Moyen Âge dans les zones côtières basses comme à St-Florent (Broc 2014) est certainement l'une des causes de l'occupation saisonnière des milieux de moyenne latitude (Pieretti 1951), et c'est aussi sans doute l'une des raisons des travaux de drainage du marais de Cannuta entrepris au cours du XIX^e siècle.

La place historique de *Myrtus communis* dans le territoire de l'Agriate

Actuellement, *Myrtus communis* est un élément caractéristique des maquis thermophiles littoraux de Corse. Pourtant ce taxon présente une faible diversité génétique en Corse, ce qui suggère une propagation assez importante par l'homme sur l'île (Migliore et al. 2012). D'ailleurs il n'apparaît qu'à partir de ca. 2880 cal. BP dans le diagramme pollinique de Saleccia (Figure 29 ; Reille 1992) et au cours du dernier millénaire dans celui de Spizicciu (Vella et al. 2004). Cette apparition tardive n'est pas propre au territoire de l'Agriate puisque les premières occurrences du pollen de *Myrtus* dans l'étang de Crovani sont postérieures à 4300 cal. BP (Reille 1992). Au Fango, elles remontent à un peu plus de 1400 cal.

BP, et elles sont généralement datées de la période Subatlantique en contexte littoral, comme à Palombaggia, Ostriconi ou Ste-Barbe (Reille 1984, 1992). C'est d'ailleurs l'absence apparente de cette plante et d'autres éléments thermophiles (e.g. *Olea*, *Phillyrea*, *Tamarix*, *Pistacia*) au sein de la végétation de Corse durant des périodes plus anciennes qui a amené Reille (1984) à s'interroger sur l'existence d'une sécheresse estivale le long du littoral oriental durant l'Atlantique (ca. 8000-5000 cal. BP). Toutefois, la présence locale de *Myrtus communis* est attestée à Cannuta par des charbons et du bois datés de 5283-4882, 4423-4239 et de 4061-3781 cal. BP (Tableau 4). Cette présence, plus ancienne que ne le suggéraient les données polliniques de Reille (1992), dénote une faible capacité de dispersion pollinique. Ceci expliquerait son absence dans les spectres polliniques de sites où il est pourtant présent dans la végétation actuelle comme à l'étang del Sale et de Terrenzana (Reille 1984 ; Currás et al. 2016). Il est donc vraisemblable que *Myrtus* ait été présent en Corse dès l'Atlantique en mélange avec la végétation dominante d'*Erica arborea*, mais sans que sa production pollinique n'ait été enregistrée dans les sondages des marais et étangs littoraux. Au contraire, comme l'avait justement remarqué Reille (1992), l'altération des maquis thermophiles littoraux sous l'action humaine a pu favoriser l'apparition récente de *Myrtus* dans les spectres polliniques des sites côtiers. En effet, le pollen de *Myrtus* est généralement enregistré lorsque le taux de boisement passe en-dessous de 60 % ; c'est le cas à l'étang de Palombaggia, de Palo, à Ostriconi, Saleccia et Sagone (Reille 1984, 1992 ; Ghilardi et al. 2016).

Il ne faut pas non plus négliger le fait que le commerce d'exploitation du myrte à St-Florent et au Nebbio durant l'époque génoise est bien connu des archives historiques du XV^e-XVI^e siècle (Broc 2014). La cueillette des baies de myrte se faisait au mois d'août à Saleccia et l'Agriate constituait l'une des plus grandes zones de production de la Corse.

3. Changements hydro-sédimentaires depuis 2000 ans et potentielles influences climatiques ou anthropiques ?

En gardant à l'esprit les incertitudes liées aux datations radiocarbone, plusieurs changements faunistique, floristique, géochimique et sédimentaire mis en évidence dans le marais de Cannuta et celui de Saleccia (Reille 1992) durant les deux derniers millénaires méritent d'être signalés (Figure 30) :

- À partir de 1240 cal. BP, la faune des insectes aquatiques (dont les trichoptères Limnophilidae) et hygrophiles de Cannuta a connu une nette augmentation de l'abondance et du nombre de taxons avec deux optimum datés de 1240-480 cal. BP et 390-190 cal. BP.
- L'analyse XRF des sédiments de Cannuta montre des pics répétés des éléments Si, K, Ca, Ti, Rb, Fe depuis 1050 cal. BP. Ceux correspondant à des changements sédimentaires sont datés de 650-600, 500, 400 et 200-150 cal. BP.
- Le taux de sédimentation à Cannuta augmente à partir de 1305-1185 cal. BP avec des valeurs relativement élevées sur les 500 dernières années (0,2 cm.an⁻¹ en moyenne).

- Malgré une faible résolution sur la période concernée, une hausse des pourcentages d'*Isoetes* et *Selaginella* semble se produire à Saleccia à partir de 1050 cal. BP avec un pic vers 250 cal. BP (Figure 17).

En raison du peu de données paléoclimatiques disponibles localement, ces changements sont comparés à ceux fournis par les enregistrements des niveaux du lac Accessa (Toscane, Italie ; Magny et al. 2007) et aux enregistrements d'alkénones dans le golfe du Lion (carotte Gol-Ho1B_KSGC-31 ; Sicre et al. 2016) (voir Figure 30F, G).

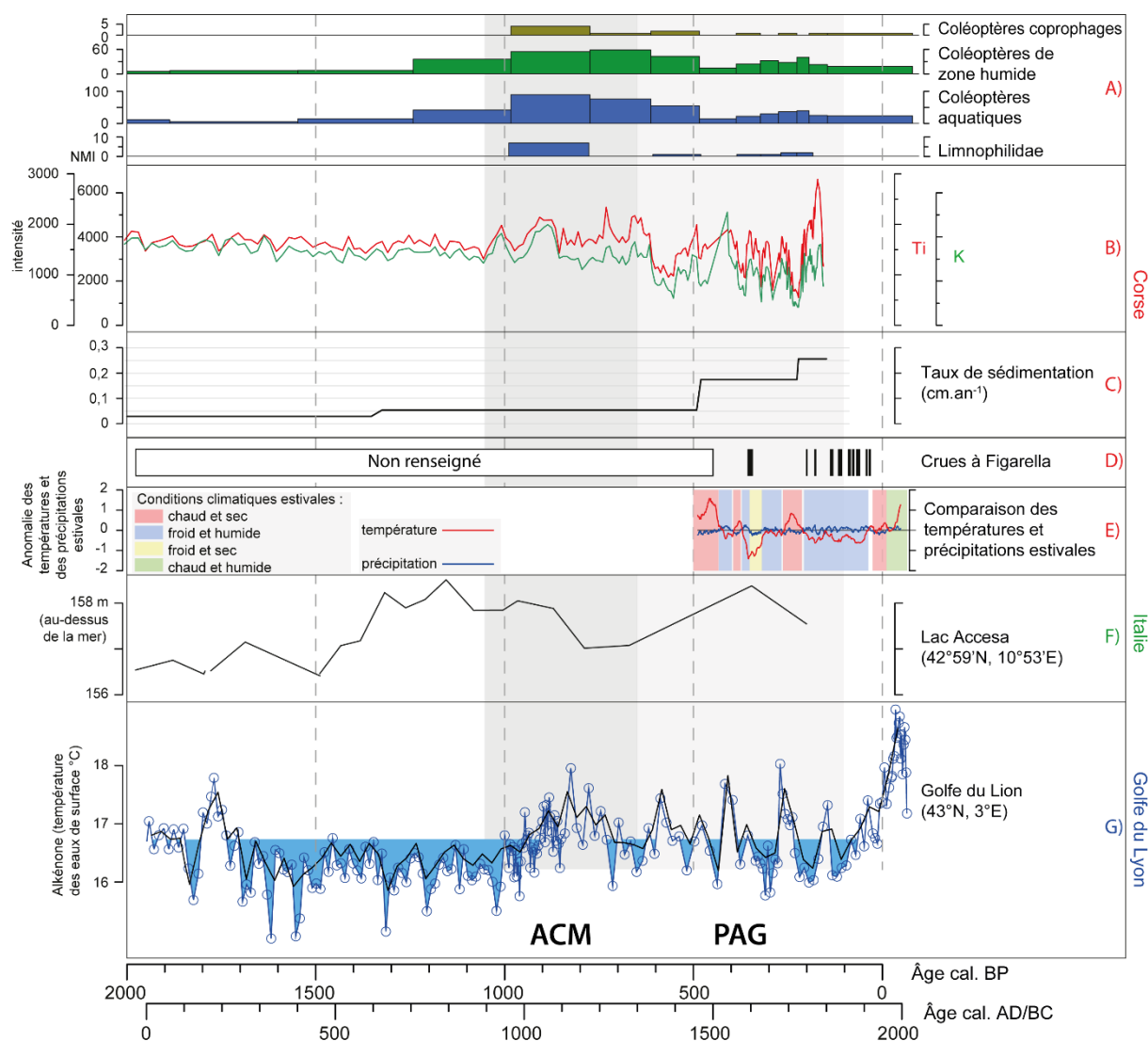


Figure 30 : Comparaison des données (A) paléontologiques, (B) géochimiques et (C) sédimentaires du marais de Cannuta depuis 2000 ans avec d'autres archives paléoenvironnementales et paléoclimatiques : (D) évènements de crues à Figarella depuis 1500 AD (commune de Calvi, Haute-Corse ; Hewitt 2002) ; (E) comparaison des températures et précipitations estivales (moyenne sur 25 ans) reconstruites des isotopes du carbone et des largeurs de cernes de *Pinus nigra* subsp. *laricio* en Corse d'après Szymczak et al. (2014) ; (F) changement relatif du niveau lacustre au lac Accessa (Italie, Magny et al. 2007) ; (G) température des eaux de surface reconstruite des enregistrements d'alkénones de la carotte Gol-Ho1B_KSGC-31 (Golfe du Lion, Sicre et al. 2016). ACM : anomalie climatique médiévale. PAG : anomalie climatique médiévale. NMI : nombre minimum d'individu.

Actuellement, trois espèces d'*Isoetes* sont présentes en Corse. Parmi celles-ci, *I. velata* est une amphibie des mares temporaires de basse altitude tandis que *I. duriei* et *I. hystrix* sont des espèces terrestres des pelouses rases temporairement humides. *S. denticulata* est une plante halo-intolérante vivant principalement sur les petits talus frais, ombragés et temporairement humides sur silice. Ainsi, l'expansion de cette flore hygrophile à Saleccia est cohérente avec la diversification de l'entomofaune aquatique/hygrophile de Cannuta. Cela étaye l'hypothèse d'un accroissement des conditions palustres dans la plaine alluviale à partir de 1240-1050 cal. BP. Toutefois, le fait que Vella et al. (2014) enregistrent également une hausse d'*Isoetes* dans le vallon de Spizicciu depuis ca. 860 cal. BP, suggère que le développement des zones humides, même temporaires, a pu s'opérer plus largement dans le territoire de l'Agriate. À ce phénomène s'ajoute plusieurs épisodes détritiques, enregistrés à Cannuta depuis 1050 cal. BP par des pics des minéraux argileux (Si, K, Ca, Ti, Rb, Fe) et dans plusieurs vallons autour du Monte Revincu depuis environ 860 cal. BP par des dépôts d'alluvions sablo-graveleux (Vella et al. 2014). Si tous ces éléments suggèrent une augmentation récente des processus hydro-sédimentaires dans l'Agriate, il est toutefois extrêmement délicat de séparer les implications potentielles des activités anthropiques sur les versants et du climat sur ces processus.

En effet, c'est durant la période médiévale que la plus grande dégradation des forêts est enregistrée dans l'Agriate. Elle a conduit à l'expansion des maquis à *Erica arborea* et *Cistus*. Cette déforestation s'accompagne d'indices polliniques et entomologiques d'activités agro-pastorales (Figure 29 ; Vella et al. 2014). De plus, plusieurs ruines de bergeries et de murets autour de Cannuta (Figure 16B), ainsi que des documents historiques attestent des activités d'élevage qui ont marqué les paysages de l'Agriate entre le XV^e et le XVI^e siècle (Broc 2014). Ainsi, il est probable que la régression du couvert végétal et la détérioration des sols dans l'Agriate ait favorisé le ruissellement et augmenté les apports détritiques vers les fonds de vallons. En effet, sur les sols peu développés de cette région, les précipitations fortes et irrégulières qui caractérisent actuellement le climat méditerranéen peuvent engendrer un lessivage important des sédiments. Harfouche et Poupet (2013) proposent d'ailleurs que ce phénomène ait eu lieu dans l'Agriate dès le Néolithique moyen et durant l'âge du Bronze final. En effet, l'étude des dépôts pédosédimentaires des vallons septentrionaux du massif de Tenda ont mis en évidence l'existence de paléosols résultant d'une culture en terrasses vers 6310-6190 et 2850-2750 cal. BP. Ces paléosols sont entrecoupés d'alluvio-colluvions traduisant des phases d'abandon des champs et des cycles d'érosion (Harfouche et Poupet 2013).

Toutefois, si le renforcement récent du détritisme peut être expliqué par les activités humaines, la composante climatique ne doit pas être négligée. Globalement, deux changements climatiques rapides ont été identifiés dans la zone méditerranéenne durant les derniers 2000 ans : l'Anomalie Climatique Médiévale (ACM, ca. 900-1300 AD) et le Petit Âge Glaciaire (PAG, ca. 1350-1850 AD). L'analyse des activités fluviales dans le Rhône et la Moyenne Durance (Miramont et al. 1998 ; Arnaud et al. 2005), des niveaux lacustres dans la péninsule ibérique et en Italie (dont le lac Accesa, Figure 30F) (Magny et

al. 2007 ; Moreno et al. 2012) ou encore celle des températures des eaux de surface dans le Golfe du Lion (carotte marine Gol-Ho1B_KSGC-31, Figure 30G) (Sicre et al. 2016), montrent que la période de l'ACM a connu un climat plus chaud et sec ; celle du PAG a été plus froide et humide. La dégradation climatique du PAG est également bien enregistrée en Corse dans les cernes d'arbres de *Pinus nigra* subsp. *laricio* (Figure 30E) (Szymczak et al. 2012 ; 2014). Aussi, bien qu'il faille souligner l'absence d'études climatiques basées sur des proxies de la température ou des précipitations en Corse au-delà de 600 cal. BP, il est plausible que l'altération climatique de l'ACM ait également eu lieu sur l'île. Dans ce cas, les conditions plus chaudes et arides de l'ACM pourraient avoir affecté les versants anthropisés de l'Agriate en augmentant leur sensibilité aux processus érosifs. De telles conditions ont pu favoriser des événements de crue et provoquer un déplacement latéral du Liscu vers le marais de Cannuta, offrant ainsi des conditions propices à la diversification de l'entomofaune aquatique et hygrophile (Figure 30A). Des analyses stratigraphiques des sédiments de la plaine alluviale et une reconstruction paléohydrologique pourraient fournir des informations sur la dynamique du Liscu et l'existence de possibles crises hydrologiques.

Malheureusement, très peu de données existent en Corse concernant la réponse des sociétés humaines et des rivières à la péjoration climatique du PAG. Hewitt (2002) suggère que l'augmentation des fréquences de crue de la rivière Figarella (Calvi, Haute-Corse) à partir de 1750 AD puisse être directement liée à cet événement climatique (Figure 30D). Par ailleurs, certains documents historiques rapportent que des pénuries de grains et des mauvaises récoltes, causées par des pluies excessives, ont fréquemment eu lieu entre 1457 et 1540 AD (Broc 2014). Dans ce contexte, il est possible que la seconde élévation des abondances de coléoptères aquatiques à Cannuta et le pic des *Isoetes* enregistrés à Saleccia et à Spizicciu entre 390-190 cal. BP (Figure 17) aient un lien avec les conditions plus humides du PAG, comme le propose Vella et al. (2014). Mais il est raisonnable de conclure que là encore, les indices d'érosion à Cannuta semblent avoir été principalement influencés par les activités anthropiques, ces dernières ayant pu exacerber la réponse érosive des versants au changement climatique du PAG.

VI. Conclusion

Bien que les interprétations proposées dans cette étude soient encore préliminaires, l'analyse multiproxy des sédiments de Cannuta révèle un schéma paléoécologique complexe de cette plaine alluviale littorale depuis 5900 cal. BP. Cette étude représente la seule contribution des insectes fossiles et de la géochimie à la connaissance des changements environnementaux holocènes sur la côte occidentale de Corse. En comparant ces proxies avec les précédentes données polliniques, il a été possible :

- (1) d'évaluer l'évolution de l'influence marine sur la zone humide et les dynamiques du marais,
- (2) de revoir les précédents schémas proposés concernant l'histoire de la végétation thermophile dans le territoire de l'Agriate et plus largement dans les zones littorales de Corse,

- (3) d'explorer les rôles potentiels de l'occupation humaine du territoire et des changements climatiques récents sur l'érosion des versants.

Le croisement des données géochimiques et entomologiques a permis de mettre en évidence la présence de gypse et d'une faune halotolérante et de milieu sableux, indiquant que le marais de Cannuta était un environnement lagunaire depuis au moins 5900 cal. BP. Toutefois, contrairement à la dynamique mise en évidence dans les **articles 1 et 2**, une déconnection rapide de la zone humide avec les apports marins apparaît après 5000 cal. BP, suivie d'une diminution de la salinité jusqu'à 1240 cal. BP. Après cette date, l'entomofaune atteste du développement des conditions palustres à Cannuta et de l'expansion des macrophytes qui ont permis l'établissement d'une aulnaie et saulaie flottante unique pour la Corse.

Une autre contribution de ces résultats a été de démontrer : (1) que *Myrtus* était présent dans l'Agriate au moins 2200 ans plus tôt que les premières occurrences polliniques de cette plante ; (2) que le figuier a pu connaître une phase d'expansion favorisée par l'Homme entre 5770 et 4160 cal. BP, c'est à dire durant la transition de végétation entre *Erica arborea* et *Quercus ilex* ; et (3) que la ré-expansion d'*Erica arborea* et des maquis à *Cistus* entre 1200 cal. BP et la période subactuelle résulte d'un changement des pratiques anthropiques favorisant le pastoralisme transhumant et les produits de la cueillette.

Par ailleurs, cette étude suggère que le développement de la zone humide de Cannuta durant le dernier millénaire s'est accompagné de plusieurs épisodes détritiques. De précédentes études paléoenvironnementales avaient montré un schéma similaire dans d'autres vallons de l'Agriate pour cette dernière période et évoqué le paramètre climatique. Si l'on se réfère aux rares données de Corse et à celles disponibles ailleurs en Méditerranée, la possibilité que les fluctuations climatiques holocènes récentes (Anomalie Climatique Médiévale et Petit Âge Glaciaire) aient affecté la dynamique hydro-sédimentaire dans le bassin versant de la plaine alluviale de Cannuta semble plausible. Toutefois, l'occupation humaine et l'impact des pratiques pastorales sur les versants apparaissent déterminants pour comprendre les changements enregistrés à Cannuta. En outre, en l'absence d'estimations des paléotempératures et paléoprécipitations en Corse au-delà des derniers 600 ans, une grande prudence quant à l'interprétation des changements hydro-sédimentaires en matière de facteur climatique est nécessaire. Sur ce point, des analyses à haute résolution de ces paramètres climatiques multimillénaires sont nécessaires en Corse : elles permettraient de mieux corréliser les études paléoenvironnementales de l'île avec les autres enregistrements méditerranéens.

Chapitre VI : Synthèse et discussion générale

À l'issue de l'étude des trois archives sédimentaires du Greco, de Bagliettu et de Cannuta, les résultats obtenus ont fourni des connaissances supplémentaires sur la dynamique des écosystèmes littoraux et de moyenne altitude en Corse durant la seconde moitié de l'Holocène. En particulier, l'approche multidisciplinaire croisant analyses paléoentomologiques et paléobotaniques (pollen et/ou macrorestes végétaux) a mis en évidence des variations parfois rapides de diversité spécifique ou d'abondances au sein des communautés d'insectes fossiles qui ont souvent été corrélées avec des changements de végétation. Toutefois, si des reconstructions paléoenvironnementales ont été individuellement proposées dans les **Chapitres II, III, IV** et **V**, il convient de réaliser une comparaison inter-sites des résultats obtenus et de remettre nos recherches dans le contexte des précédentes études réalisées en Corse. Cette comparaison a pour but de mettre en évidence les spécificités propres à chaque site étudié et de tester si l'évolution des écosystèmes de Corse a été soumise à des forçages communs sur la période étudiée.

Par conséquent, ce **Chapitre VI** de synthèse et de discussion confronte ensemble les informations obtenues au cours de cette thèse, les compare aux autres séquences insulaires et littorales dans la région méditerranéenne et aborde une série de questionnements émergeant de la comparaison inter-sites :

Y-a-il une explication au fait que tous les étangs côtiers étudiés en Corse jusqu'à présent semblent s'être installés durant l'Holocène moyen à supérieur ? Peut-on identifier des réponses communes des zones humides littorales et de leur diversité d'insectes aux changements géomorphologiques des plaines alluviales et aux fluctuations du niveau marin durant l'Holocène ?

Comment interpréter le déclin des maquis à *Erica arborea* et l'extension de *Quercus ilex* pendant la seconde moitié de l'Holocène ? Est-il lié aux premiers défrichements ? S'agit-il d'un changement de régime climatique ? Quel fût le rôle des peuples insulaires dans cette phase de régression forestière et la mise en place des paysages actuels, notamment à moyenne et basse altitude ?

Quelles furent les conséquences d'une telle régression pour les faunes d'insectes liées aux anciennes forêts mûres ?

I. Spécificités et similitudes des réponses des zones humides littorales corses à la transgression marine holocène

1. Absence d'archive sédimentaire littorale corse couvrant la première moitié de l'Holocène : un déterminisme eustatique ?

Le rivage de la Corse comporte actuellement de nombreux marais et étangs d'arrière-dune dans des systèmes estuariens ou deltaïques. Cependant la mise en place et le fonctionnement sédimentaire de ces milieux demeurent mal connus au-delà des précédentes recherches pionnières réalisées par Conchon (1985, 1999). La synthèse des précédentes études polliniques (**Chapitre I.II.1.**) et les nouvelles données obtenues au Greco et à Cannuta indiquent que la sédimentation des étangs côtiers de Corse débute entre 7500 et 6000 cal. BP¹⁴ ou plus tardivement, entre 3500 et 2500 cal. BP (Reille 1984, 1992 ; Ghilardi et al. 2016 ; Currás et al. 2016) (voir Figure 6). Cette sédimentation est principalement composée de limon (coquilleux, sableux, organique ou tourbeux) qui caractérise les dépôts côtiers et alluviaux de ces milieux (Figure 6).

Un tel développement des environnements palustres, à partir du premier ralentissement de la transgression marine (ca. 7500 cal. BP), a été décrit dans de nombreux systèmes côtiers de Méditerranée où l'influence des vagues est forte et les marées réduites (Boski et al. 2002 ; Aguzzi et al. 2007 ; Dubar et al. 2011). En effet, les variations glacio-eustatiques et fluviatiles ont été les principaux facteurs sur la sédimentation de la plupart des grandes plaines côtières de Méditerranée (e.g. voir synthèse d'Amorosi et Milli 2001). Plus particulièrement, la décélération de la montée relative du niveau marin dans l'ouest de la Méditerranée (Vacchi et al. 2016) est connue pour avoir favorisé le comblement des rias dans lesquelles les dynamiques de progradation fluvio-deltaïque ont permis le développement des deltas et des étangs littoraux qui les accompagnent (Dubar et al. 2011 ; Anthony et al. 2014). Nous reprendrons donc pour décrire les processus sédimentaires généraux à l'origine de la plupart des basses plaines alluviales actuelles le scénario décrit par Dubar et al. (2011) dans le sud-est de la France, avec :

- Une phase de transgression durant laquelle la remontée rapide du niveau marin submerge les vallées en aval malgré des apports détritiques abondants et forme des systèmes lagunaires qui vont souvent être submergés au fur et à mesure de la transgression (d'environ 14 000 à 7500 cal. BP) (Figure 31).
- Une phase de progradation où la décélération lente (à partir de 7500 cal. BP) puis rapide (à partir de 4000 cal. BP) de la vitesse de remontée du niveau marin permet la mise en place d'une dynamique de progradation des systèmes deltaïques, la formation des cordons littoraux et l'apparition de dépôts tourbeux ou lagunaires actuels (Figure 31).

¹⁴ Situé au sud-ouest de la Corse, le site du Taravo a livré des données polliniques dont la base est datée de 7790-7590 cal. BP (Reille et Burr 1997 repris dans Vella et al. *en cours*).

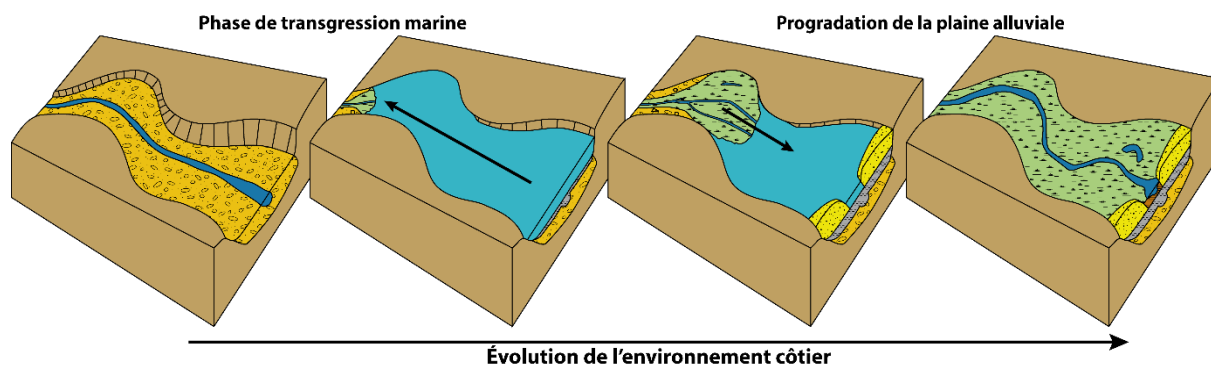


Figure 31 : Évolution simplifiée de l'environnement côtier montrant une voie de remplissage d'un delta-type durant la remontée relative du niveau marin postglaciaire d'après Dubar et al. (2011).

Naturellement la vitesse de ces processus dépend de nombreux paramètres hydro-sédimentaires (régime des fleuves, taux d'alluvionnement, dynamique sédimentaire dans le bassin versant) pouvant être influencés par l'homme positivement (déforestation et pratiques agricoles dénudant les versants) ou négativement (drainage, aménagement de barrage bloquant les sédiments) (Dubar et al. 2011 ; Anthony et al. 2014). Ceci explique, entre autres, pourquoi la déconnection avec la mer des étangs littoraux étudiés au cours de cette thèse et par les précédentes études paléoécologiques n'est pas totalement synchrone : par exemple, l'édification des systèmes dunaires est enregistrée dans le marais de Cannuta vers 5000 cal. BP (**Chapitre V**) alors qu'à l'étang del Sale (Corse-du-Sud) elle se produit vers 4200 cal. BP (Currás et al. 2016). En revanche, l'évolution paléoenvironnementale de l'étang du Greco (**article 1**) est plus complexe puisque des conditions dulçaquicoles sont initialement enregistrées jusqu'à 5300 cal. BP. Les incursions marines se produisent après ca. 3700 cal. BP lorsque le niveau marin relatif atteint $-1,5 \pm 0,3$ m NGF (Vacchi et al. 2016). Ceci suggère, comme dans la plaine de Sagone (Corse-du-Sud) où un ancien marais dulçaquicole s'est maintenu jusqu'à environ 3700 cal. BP (Ghilardi et al. 2016), que la zone humide s'est aussi développée dans une dépression topographique (séparée de la mer par un seuil granitique ou un paléorelief pléistocène) qui ne fût atteinte par la transgression marine que tardivement. Par conséquent, l'édification des systèmes de cordon dunaire est plus tardive dans ces deux sites : à partir de 3100 cal. BP au Greco (**article 1**) et de 2800 cal. BP à Sagone (Ghilardi et al. 2016).

Bien évidemment, il ne nous appartient pas d'envisager seul les implications des mouvements eustatiques holocènes de la Méditerranée et des dynamiques morpho-sédimentaires dans la formation des environnements côtiers en Corse : démarche pour laquelle le carottage et la datation systématique de l'ensemble des lagunes seraient nécessaires. Néanmoins, la prise en compte de ces processus dans leurs grandes lignes est indispensable pour : (1) comprendre quelles sont les raisons pour lesquelles les étangs littoraux actuels sont postérieurs à 8000 cal. BP ; (2) interpréter les changements de végétation et d'assemblages d'insectes mis en évidence au Greco et à Cannuta ; et (3) tenter de trouver les sites littoraux qui permettraient aux futures recherches paléoécologiques d'étudier l'histoire de la végétation à basse altitude entre 14 000 et 7500 cal. BP en Corse.

2. Les zones humides littorales corses : spécificités et similitudes des changements de biodiversité entomologique

Les reconstructions paléoenvironnementales réalisées à l'étang du Greco (**articles 1 et 2**) et au marais de Cannuta (**Chapitre V**) indiquent que les écosystèmes côtiers de Corse ont connu des changements significatifs de conditions hydriques (fluctuation de la salinité), d'impacts humains (activités agropastorales) et possiblement de conditions climatiques (épisode du Petit Âge Glaciaire) au cours des périodes étudiées. Quels ont été les impacts de ces changements sur la structure des communautés d'insectes liées aux zones humides ? Ce qui ressort clairement de cette étude est que les conditions hydrologiques « initiales » et l'évolution des deux sites étudiés ne sont pas les mêmes (Figure 32) :

- L'étang du Greco était un plan d'eau douce richement végétalisé et diversifié jusqu'à ca. 5300 cal. BP, après quoi les conditions de salinité augmentent progressivement puis fortement.
- Le marais de Cannuta était tout d'abord une lagune saumâtre connectée à la mer par infiltration entre 5900 et 4150 cal. BP, qui a finalement évolué en un plan d'eau douce présentant une riche végétation de macrophytes et des assemblages d'insectes diversifiés après 1200 cal. BP.

Malgré ces trajectoires environnementales opposées, les écosystèmes palustres ont tous deux enregistré une chute de la richesse spécifique et de l'indice de Shannon-Weaver (H') à partir de 3700 et de 3950 cal. BP (respectivement au Greco et à Cannuta). Ceci suggère l'apparition de conditions stressantes pour les communautés d'insectes que nous avons attribuées au Greco aux intrusions marines dont témoignent les taux d'Amaranthaceae et de microforaminifères (Figure 32). Dans les sédiments de Saleccia, une expansion des Amaranthaceae est également enregistrée ; elle est concomitante d'un déclin des indices de diversité à Cannuta (Figure 32). Pourtant, nous avons interprété la hausse du rapport Ti/Ca dans le **Chapitre V** comme une diminution de la salinité à Cannuta. C'est donc à une diversification de l'entomofaune à laquelle nous aurions pu nous attendre. Cette apparente contradiction peut simplement résulter du problème taphonomique qui touche l'unité faunique d'insectes 2 entre 3950 et 2640 cal. BP (Figure 27). Néanmoins, même lorsque les conditions de préservation s'améliorent, entre 2640 et 1200 cal. BP, les abondances et la richesse spécifique des insectes aquatiques/hygrophiles restent relativement faibles pour la séquence. Une explication alternative peut être avancée si l'on tient compte du fait que l'archive sédimentaire de Cannuta, en plus d'avoir enregistré sa propre faune d'insectes, a certainement piégé une partie de celle inféodée aux plans d'eau environnants : les marais de Padulella (Saleccia), de Pardinella et du Loto. Aussi, une diminution de la salinité peut être enregistrée à Cannuta alors qu'elle a pu augmenter dans les zones humides situées plus près de la mer (notamment à Padulella). Une manière de tester cette hypothèse pourrait être de réaliser des prospections paléontomologiques dans ces marais environnants couplées à des analyses géochimiques des sédiments (par dosages ou fluorescence aux rayons) afin de reconstruire plus finement l'évolution de la salinité et des faunes d'insectes dans la plaine alluviale.

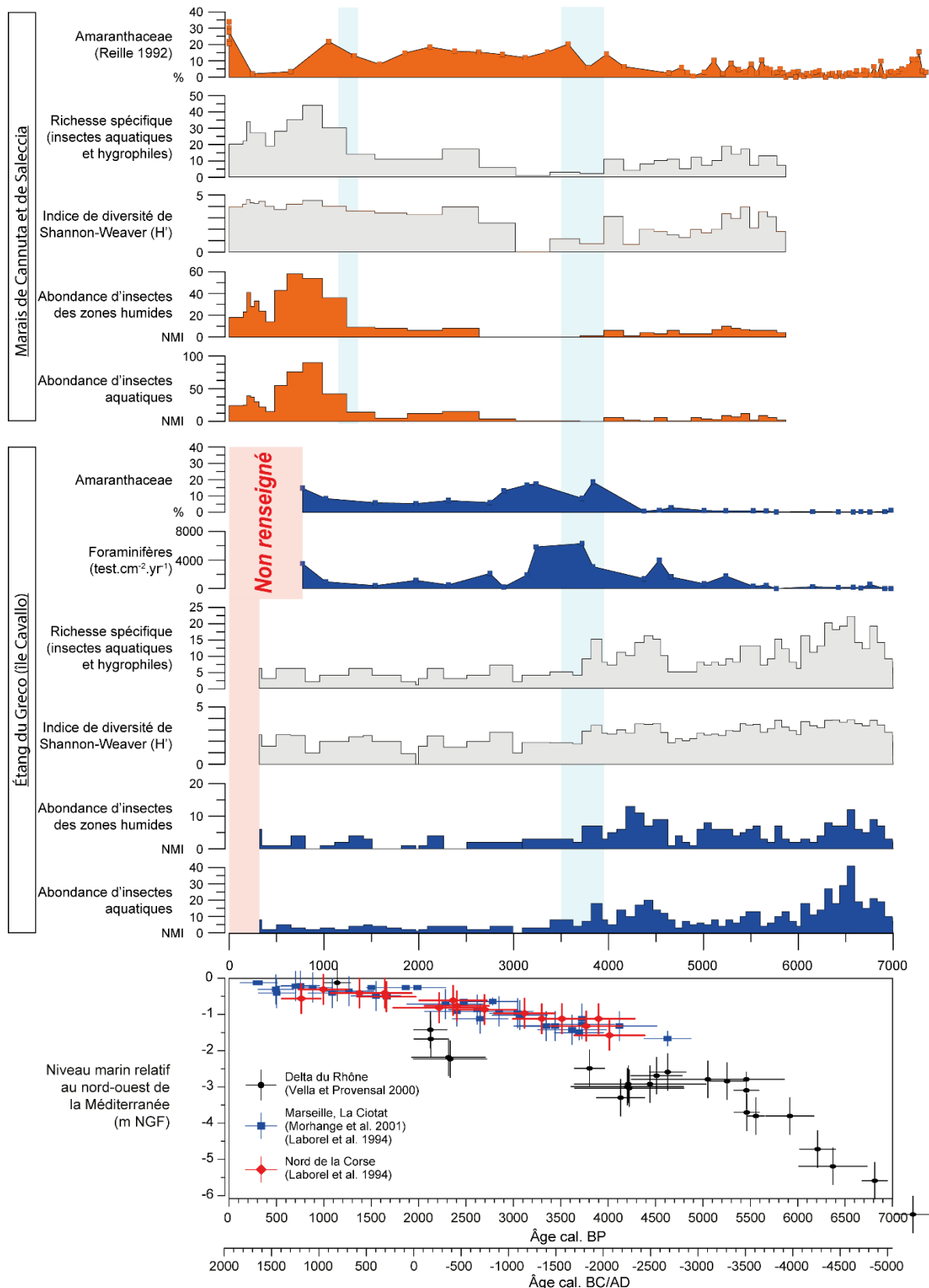


Figure 32 : Sélection de bioindicateurs des conditions de salinité (Amaranthaceae, foraminifère), des abondances des insectes aquatiques et liés aux zones humides et indices de diversité de Shannon-Weaver calculés sur les assemblages d'insectes aquatiques et hygrophiles de l'étang du Greco et du marais de Cannuta au cours des 7000 dernières années. Niveau marin relatif d'après les données du sud-est de la France et du nord de la Corse (Laborel et al. 1994 ; Vella et Provansal 2000 ; Morhange et al. 2001) corrigées d'après Vacchi et al. (2016). NMI : nombre minimum d'individus.

Il faut également considérer le fait que l'effet de la transgression marine sur les communautés d'insectes est peut être modulé par de nombreux paramètres locaux (e.g. proximité au trait de côte, taille du bassin versant et de la plaine alluviale, isolement du plan d'eau). Si nous reprenons l'exemple du marais de Cannuta, la diversification des assemblages entomologiques liés à la zone humide depuis 1200 cal. BP pourrait s'expliquer par l'extension de la plaine alluviale, voire l'établissement du cours du Liscu à proximité du marais (**Chapitre V**). Ce scénario d'évolution du marais littoral est comparable à d'autres secteurs côtiers de Méditerranée (Dubar et al. 2011 ; Marco-Barba et al. 2013 ; Currás et al. 2016). Il implique deux processus successifs : (1) l'isolement progressif du marais des influences marines suite à l'édification d'un cordon littoral (ce processus a lieu à Cannuta entre 5000 et 4000 cal. BP) et (2) la progradation de la plaine alluviale qui isole plus encore le marais du biseau salé et favorise l'augmentation des apports d'eau douce¹⁵. Toutefois, l'ouverture de la végétation et la présence de troupeaux autour de Cannuta et de Saleccia (Reille 1992) durant les 1000 dernières années (voir Figure 29) est également à prendre en compte. Les activités humaines pourraient avoir joué un rôle (peut-être aggravé par le PAG ; Vella et al. 2014) dans ce dernier processus de progradation, en fragilisant les sols des versants à l'érosion. Cette influence anthropique, observée en Méditerranée sur de larges systèmes deltaïques (e.g. delta de l'Ebre en Espagne, delta du Rhône en France, delta du Po en Italie) durant la période romaine et le Petit Âge de Glace (Maselli et Trincardi 2013 ; Anthony et al. 2014) a aussi été récemment proposée en Corse par Ghilardi et al. (2017) dans les basses vallées du Taravo et du Sagone au cours de l'âge du Bronze.

En revanche, ces processus ne semblent pas avoir eu lieu sur Cavallo, où le faible relief de l'île est à l'origine d'un contexte sédimentaire pauvre que les précédentes études archéologiques avaient déjà souligné (Agostini 1978 ; Vigne 1994). Ceci explique pourquoi l'ouverture de la végétation causée par les activités humaines dès 4700 cal. BP ne s'est pas accompagnée d'une augmentation du taux de sédimentation dans l'étang du Greco. Ainsi, le plan d'eau n'a pas été isolé du biseau salé et des entrées d'eau de mer comme ce fut le cas à Cannuta. Par conséquent, la diversité entomologique est restée stable et faible dans l'étang du Greco durant les 3700 dernières années et ce, malgré l'édification d'un cordon dunaire. Au contraire, ce cordon dunaire s'est ouvert à plusieurs reprises durant le dernier siècle. Il subit actuellement les mêmes processus d'érosion que de nombreux deltas pour lesquels les flux sédimentaires sont réduits depuis les deux derniers siècles (Anthony et al. 2014). Par ailleurs, il faut souligner que si les conditions d'insularité sur Cavallo ont contribué à réduire l'immigration d'insectes dans l'étang du Greco depuis d'autres zones humides présentes sur l'île de la Corse, l'urbanisme récent a joué un rôle majeur dans la perte de résilience de cet écosystème (**article 2**).

Ces observations illustrent bien les cascades de réponses et l'instabilité qui caractérise les environnements côtiers. Les changements passés de diversité entomologique dans ces milieux restent

¹⁵ Lorsque le niveau marin relatif se stabilise et que les flux sédimentaires le permettent.

difficiles à étudier tant les interprétations dépendent de la finesse des déterminations, de la résolution d'analyse, de la précision du modèle d'âge et de la prise en compte de nombreux autres facteurs manquant dans cette étude, pour lesquels un corpus de données pluridisciplinaires serait nécessaire. Par exemple, si en première interprétation les conditions de salinité semblent constituer un facteur important, qui conditionne la structure des assemblages d'invertébrés et notamment la composition spécifique (Britton et Johnson 1987 ; Cognetti et Maltagliati 2000 ; Schallenberg et al. 2003 ; Martinoy et al. 2006), d'autres auteurs ont souligné que le facteur limitant de certaines espèces n'est pas la salinité elle-même mais certains des paramètres biotiques (type de végétation, niveau trophique) et abiotiques (hydrodynamisme, connectivité des habitats, pH, température) associés à cette variable (Ribera et al. 1996 ; Basset et al. 2006 ; Garrido et al. 2011). Certains proxies comme les foraminifères, les ostracodes ou les Chironomidae pourraient aider à comprendre les changements paléoenvironnementaux et l'évolution de la biodiversité des milieux côtiers (Gandouin et al. 2006 ; Marco-Barba et al. 2013). Cependant, cette étude illustre déjà le potentiel des assemblages de coléoptères fossiles comme indicateurs de la qualité environnementale actuelle des zones humides littorales mais aussi comme outil pour obtenir des informations sur l'évolution multimillénaire de ces écosystèmes.

II. Forçages climatiques et anthropiques dans l'évolution holocène des écosystèmes de Corse

1. Sur le rôle de l'anthropisation

À l'inverse des îles océaniques (où la colonisation humaine est généralement tardive soit après 2000 cal. BP ; e.g. Connor et al. 2012 ; de Nascimento et al. 2009, 2016), le bassin méditerranéen a été durablement impacté par les activités humaines très tôt au cours de l'Holocène (Roberts et al. 2004 ; Walsh 2014), y compris en milieu insulaire : l'anthropisation remonterait ainsi à 10 000 cal. BP dans l'est de la Méditerranée et vers 7500 cal. BP dans les secteurs ouest (Zeder 2008).

Jusqu'à présent, en Corse, les indices palynologiques d'activités humaines protohistoriques sont relativement réduits dans les archives lacustres d'altitude (Reille 1975) et peu ou mal datés dans les enregistrements littoraux (Reille 1984, 1992). Ainsi, d'après Reille et al. (1999), des activités agricoles ont pu avoir lieu en montagne dès 5600 cal. BP mais le taux de pollen arboréen élevé (>80 %) indique néanmoins que les paysages n'auraient pas subi d'ouverture significative. Ce n'est qu'à partir de ca. 1500 cal. BP (avec les occurrences continues de *Cerealia*-type et la recrudescence des plantes rudéro-anthropiques) que l'occupation humaine apparaît marquée en montagne. L'archéologie confirme le rôle tardif de l'homme en montagne car peu de sites au-dessus de 1000 mètres d'altitude et d'âge néolithique/bronze sont répertoriés. Ils correspondent par ailleurs à des occupations saisonnières alors que la plupart des sites permanents de cette période sont localisés à proximité des côtes (Tozzi et Weiss 2001). La Figure 33 présente une comparaison des données paléoentomologiques et palynologiques simplifiées de nos trois sites d'étude afin d'évaluer les différences des dynamiques écologiques retracées, et notamment dans la chronologie et les modalités d'ouverture des paysages.

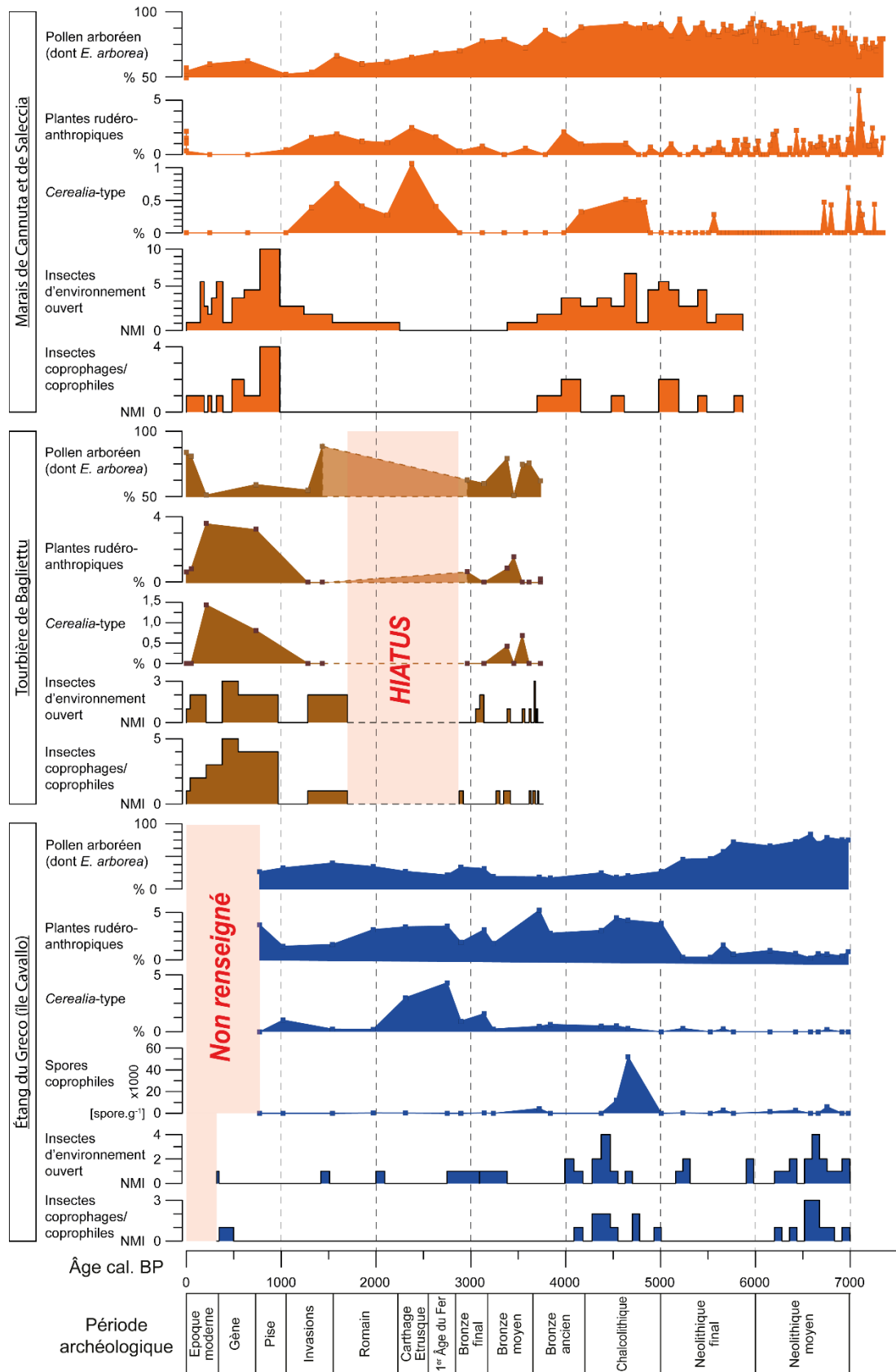


Figure 33 : Sélection de bioindicateurs sporo-polliniques (*Cerealia-type* ; plantes rudéro-anthropiques : *Urtica*, *Rumex*, *Plantago lanceolata* ; spores coprophiles : *Delitschia*, *Podospora*, *Sordaria*, *Sporormiella*) et entomologiques (insectes coprophages/coprophiles, insectes d'environnements ouverts) d'anthropisation de l'étang du Greco, la tourbière de Bagliettu et des marais de Cannuta et Salecchia depuis 7000 cal. BP.

Une anthropisation précoce ?

Les premières occurrences sporadiques de *Cerealia*-type à Saleccia et au Greco vers 7000 cal. BP ainsi que les occurrences de coléoptères coprophages/coprophiles dans l'étang du Greco (entre 7000 et 6200 cal. BP) pourraient être interprétées comme les premiers indices d'anthropisation des zones littorales corses. Il faut souligner que : (1) ces événements ne s'accompagnent pas d'un cortège pollinique rudéro-anthropique¹⁶, (2) le type pollinique *Cerealia* reste très proche de graminées sauvages telles que *Glyceria* ou *Bromus* (voir Beug 2004) pouvant pousser à proximité des marais, et (3) une entomofaune coprophage/coprophile a pu se développer grâce à la présence de mammifères sauvages.

Néanmoins, les premières introductions d'animaux d'élevage sont datées en Corse vers 7500 BP (Vigne 1992) et l'emploi d'outils de broyage se généralise dans les sites corses au cours du Néolithique moyen jusqu'au Chalcolithique (de Lanfranchi 1987–1988 ; Gilabert et al. 2011) : cela conforte ainsi notre hypothèse de premières pratiques agro-pastorales vers ca 7000 ans, dans les zones littorales étudiées.

Une occupation humaine indéniable dès 5000 cal BP

Durant le Chalcolithique et le début du Bronze ancien (5000-4000 cal. BP), l'ensemble de nos données (palynologiques et paléontomologiques) témoigne d'une anthropisation plus marquée : les courbes polliniques de *Cerealia*-type et les occurrences d'insectes coprophages/coprophiles dans l'Agriate (Cannuta, Saleccia) et à l'étang du Greco sont cette fois accompagnées par une légère hausse des plantes rudéro-anthropiques (Figure 33). Sur l'île Cavallo, l'ouverture du couvert végétal qui en résulte est observée à partir de 5500 cal. BP. Dans l'Agriate, l'ouverture du paysage est plus complexe à caractériser : les données entomologiques suggèrent qu'elle a débuté à partir de 5000 cal. BP alors qu'elle n'apparaît clairement dans la courbe des taxons arboréens que 2000 ans plus tard. La forte production pollinique d'*E. arborea* a pu, dans un premier temps, masquer cette première ouverture (mise en évidence par l'entomofaune vers -5000 ans) dans l'enregistrement pollinique. Puis, après 3000 cal. BP, le déclin d'*E. arborea* marque l'ouverture importante du milieu à l'échelle du bassin versant mais également régionalement (voir Reille 1992). Enfin à Bagliettu, les données polliniques et entomologiques témoignent de la présence d'activités agropastorales et d'un paysage semi-ouvert dans la vallée de l'Asco depuis la mise en place de la tourbière, soit depuis 3700 ans (**article 3**). Des prospections archéologiques attestent également l'occupation humaine pendant cette période dans la vallée (gisement d'A Funtanella à Moltifao ; voir rapports DRAC-Corse 2015, 2016) mais également dans les secteurs collinéens et de montagne à la fin de l'âge du Bronze moyen (voir **Chapitre I.II.2** ; Ghilardi et al. 2017).

¹⁶ Il est à noter que dans ce cortège de plantes nitrophiles (*Urtica*, *Rumex*, *Plantago lanceolata*), les Amaranthaceae n'ont pas été inclus car cette famille contient des espèces halophiles des terrains salés.

À partir de 3000 cal BP : une pression anthropique croissante

Sur les trois derniers millénaires, l'intensification des activités humaines est documentée dans nos sites d'étude par trois phases :

- une première, à partir du 1^{er} Âge du Fer¹⁷, dont l'impact sur les formations forestières est visible,
- une seconde, au cours de la période romaine (ca. 3000-2000 cal. BP), et
- enfin, durant le Moyen Âge (après 1000 cal. BP), marquée par une très forte anthropisation, avec la présence de troupeaux particulièrement bien documentée par les assemblages entomologiques de Bagliettu et de Cannuta, voir Figure 33. C'est aussi pendant cette période que les petits mammifères endémiques disparaissent de Corse entre 1500 et 600 cal. BP en raison de cette anthropisation massive et de l'introduction d'espèces compétitrices (e.g. *Rattus rattus*) (Vigne et Valladas 1996). Cette emprise des sociétés humaines sur les écosystèmes insulaires durant les périodes historiques s'observe d'ailleurs sur l'ensemble de la zone méditerranéenne (Di Rita et Magri 2012), y compris en milieux insulaires (Burjachs et al. 1994 ; Jahns et van den Bogaard 1998 ; Schmidt et al. 2000 ; Tinner et al. 2009 ; Noti et al. 2009 ; Beffa et al. 2015).

Ainsi, l'homme aurait joué un rôle d'abord modeste dans la structuration des écosystèmes (durant le Néolithique moyen et final) puis bien plus marqué à partir de 5500-5000 cal. BP sur le littoral de Corse (plus tardivement dans les espaces montagnards). Il convient néanmoins d'aborder l'hypothèse d'un déterminisme climatique dans les dynamiques paléoécologiques reconstruites, compte tenu de l'abondante littérature sur la question du rôle des forçages climatiques et/ou anthropiques en zone méditerranéenne (voir Jalut et al. 1997 ; Pons et Quézel 1998 ; Roberts et al. 2011 ; Vannièrre et al. 2011, etc.).

2. Sur le rôle de la variabilité climatique holocène

En Corse comme en Sardaigne, le déclin des formations forestières/arbustives à *Erica arborea* marque un point de bascule majeur au milieu de l'Holocène à moyenne et basse altitude. Il s'accompagne du développement progressif de groupements forestiers plus typiquement mésoméditerranéens, principalement dominés par *Quercus ilex* (Figure 34). En Corse, ce changement dans la végétation sclérophylle s'accompagne également du déclin de formations de chênes à feuillage caduc, *Taxus* et *Corylus* depuis environ 6000 cal. BP et de l'apparition et/ou l'extension d'arbres et arbustes à affinité xérique comme *Olea*, *Myrtus* et *Cistus* depuis 3500 cal. BP, voir Figure 7. Ce point de bascule peut-il alors être interprété comme la conséquence d'un changement majeur du climat ?

¹⁷ Remarquons que comme dans la région d'Aleria (Currás et al. 2016), les indices polliniques de céréaliculture durant cette période ne s'accompagnent pas, comme on aurait pu le penser, d'indicateurs de troupeaux à l'étang du Greco et au marais de Cannuta (Figure 33).

Les données livrées par les précédentes études polliniques et celles acquises au cours de ce travail, permettent de dresser une chronologie plus précise de ce changement majeur dans la végétation le long du littoral de la Corse et de la Sardaigne. Cette approche synthétique est certes encore limitée par le faible nombre (voire l'absence) de datations radiocarbone (et l'imprécision liée à certaines mesures radiométriques ; écart à 2σ) (Figure 34A), mais elle permet d'illustrer une certaine hétérogénéité spatiale et temporelle dans les dynamiques végétales de l'île, en particulier sur le déclin de la bruyère et l'expansion de la chênaie verte.

Ainsi, l'expansion de *Quercus ilex* aurait débuté du côté occidental entre environ 6500 cal. BP (Reille et Burr 1997 repris dans Vella et al. *en cours*) et 5500 cal. BP en zone littorale (Figure 34B). En revanche, elle a lieu dès 7400 cal. BP en zone de montagne (Reille et al. 1999). Ceci suggère que *Quercus ilex* a tout d'abord commencé à s'étendre du côté occidental, dans les zones de moyenne montagne, puis dans tous les secteurs littoraux. En Sardaigne où l'histoire de la végétation n'est connue que des secteurs littoraux, cette expansion a lieu à partir de 6400 cal. BP à Stagno di Sa Curcurica (Beffa et al. 2015) et depuis au moins 5300 cal. BP au Lagon Mistras (Di Rita et Melis 2013) (Figure 34B). Le déclin d'*Erica arborea* n'est pas non plus synchrone d'un site à l'autre : il a lieu précocement au Fango (6500 cal. BP) et au Taravo (7600 cal. BP : Reille et Burr 1997 repris dans Vella et al. *en cours*), ou plus tardivement comme au Greco (5700 cal. BP) et à Saleccia (3700 cal. BP).

Cette généralisation des paysages à dominante sclérophylle (principalement représenté par *Quercus ilex* et par des formations secondaires arbustives¹⁸) à la fin de l'Holocène moyen trouve en partie son analogue sur d'autres régions de Méditerranée (même si elle ne fait pas toujours intervenir *Erica arborea*) :

- En **Sicile**, *Quercus ilex* s'étend (avec *Olea europaea* et *Pistacia*) au détriment de forêts décidues à partir de 7000-6600 cal. BP et perdure jusqu'à environ 2100 cal. BP (Sadori et Giardini 2007 ; Tinner et al. 2009 ; Noti et al. 2009 ; Calò et al. 2012).
- Dans les **îles Baléares de Minorque et de Majorque**, l'histoire de *Buxus* (supposé être *Buxus balearica*) et de *Quercus* décidus est unique mais elle peut d'une certaine façon être comparée à celle des formations littorales à *Taxus* et *Quercus* décidus de Corse. En effet, avec *Corylus* (et *Juniperus* le long des côtes), ces deux taxons dominent le paysage insulaire des Baléares depuis au moins 8800 cal. BP jusqu'à 7100 cal. BP à Majorque et jusqu'à 5800-5600 cal. BP à Minorque. Ils sont progressivement remplacés par *Olea*, *Quercus ilex-coccifera*-type puis par des taxons arbustifs (e.g. *Pistacia*, *Phillyrea* et *Erica*) à partir de ca. 5100-4600 cal. BP (Burjachs et al. 1994 ; Yll et al. 1997).

¹⁸ De type maquis en Corse, garrigue en France continentale, phrygane en Crête ou encore matorral en Espagne.

- Dans la mer Adriatique, les enregistrements polliniques de l'**île de Mljet** (Croatie) montrent une prédominance des forêts de *Quercus* décidus avec *Corylus* et *Ulmus* entre ca. 9500 et 8000 cal. BP après quoi le couvert forestier change pour une végétation plus ouverte dominée par *Juniperus* et *Phillyrea*. Celle-ci est finalement remplacée vers 6200 cal. BP par *Quercus ilex* (Jahns et van den Bogaard 1998). La forêt sclérophylle à *Quercus ilex* de l'île s'est maintenue durant plusieurs millénaires mais a connu des déclin successifs qui, comme en Corse, sont concomitants d'expansions temporaires d'*Erica* après 3300 cal. BP.
- En **Crète**, l'histoire de la végétation est encore différente puisque Bottema et Sarpaki (2003) ont mis en évidence l'existence d'une chênaie caducifoliée ouverte depuis ca. 9400 cal. BP puis l'expansion des chênes (caducifoliés et sclérophylles : *Quercus coccifera*-type) après 8800 cal. BP. Finalement à partir de 6500 cal. BP, ce couvert forestier décline en faveur d'*Olea*, *Pistacia* et de *Phillyrea* (et *Erica* dans les zones montagneuses) (Bottema et Sarpaki 2003 ; Jouffroy-Bapicot et al. 2016).

Cette tendance à la progression de la chênaie sempervirente s'observe plus généralement le long du **pourtour nord méditerranéen** : elle se produit au sud de l'Espagne après 6000 cal. BP et vers les côtes françaises après 6500-6000 cal. BP (de Beaulieu et al. 2005 ; Pérez-Obiol et al. 2011 ; Sadori et al. 2011). Ainsi, cette « bipartition » de l'histoire holocène des formations forestières méditerranéennes s'observe dans de nombreuses îles et régions méditerranéennes, selon des modalités sensiblement différentes, mais à peu près aux mêmes périodes ; l'hypothèse d'un forçage climatique commun à ces changements doit donc être évaluée.

En effet, de nombreux travaux paléoclimatiques ont été menés en Méditerranée à partir d'enregistrements isotopiques de grottes ou de lacs (Roberts et al. 2011), d'archives paléohydrologiques (Magny et al. 2013), ou d'études d'alkénones sur carottes marines (Jalali et al. 2016, 2017). Ces travaux ont notamment mis en évidence des différences régionales dans l'histoire paléoclimatique en Méditerranée. Ainsi :

- au-dessus de 40°N, d'après Magny et al. (2013) des conditions estivales chaudes et sèches prévalaient entre 9000 et 4500 cal. BP en Méditerranée centrale (avec des températures plus chaudes que l'actuel entre 9000 et 5000 cal. BP, voir Samartin et al. 2017), puis ces conditions deviennent plus humides à partir de 4500 cal. BP.
- À l'inverse, en-dessous de 40°N, la période entre 10 500 et 4500 cal. BP est marquée par des conditions estivales humides, puis une crise d'aridité a lieu à partir de 4500 cal BP.

À cette opposition Nord/Sud se seraient surajoutées des différences de régime climatique entre le nord-ouest et le sud-est de la Méditerranée marquées par des précipitations hivernales plus importantes (entre

6000 et 3000 cal. BP) et des températures plus chaudes (entre 10 000 et 7000 cal. BP) à l'ouest qu'à l'est durant l'Holocène moyen (Roberts et al. 2011 ; Jalali et al. 2016, 2017).

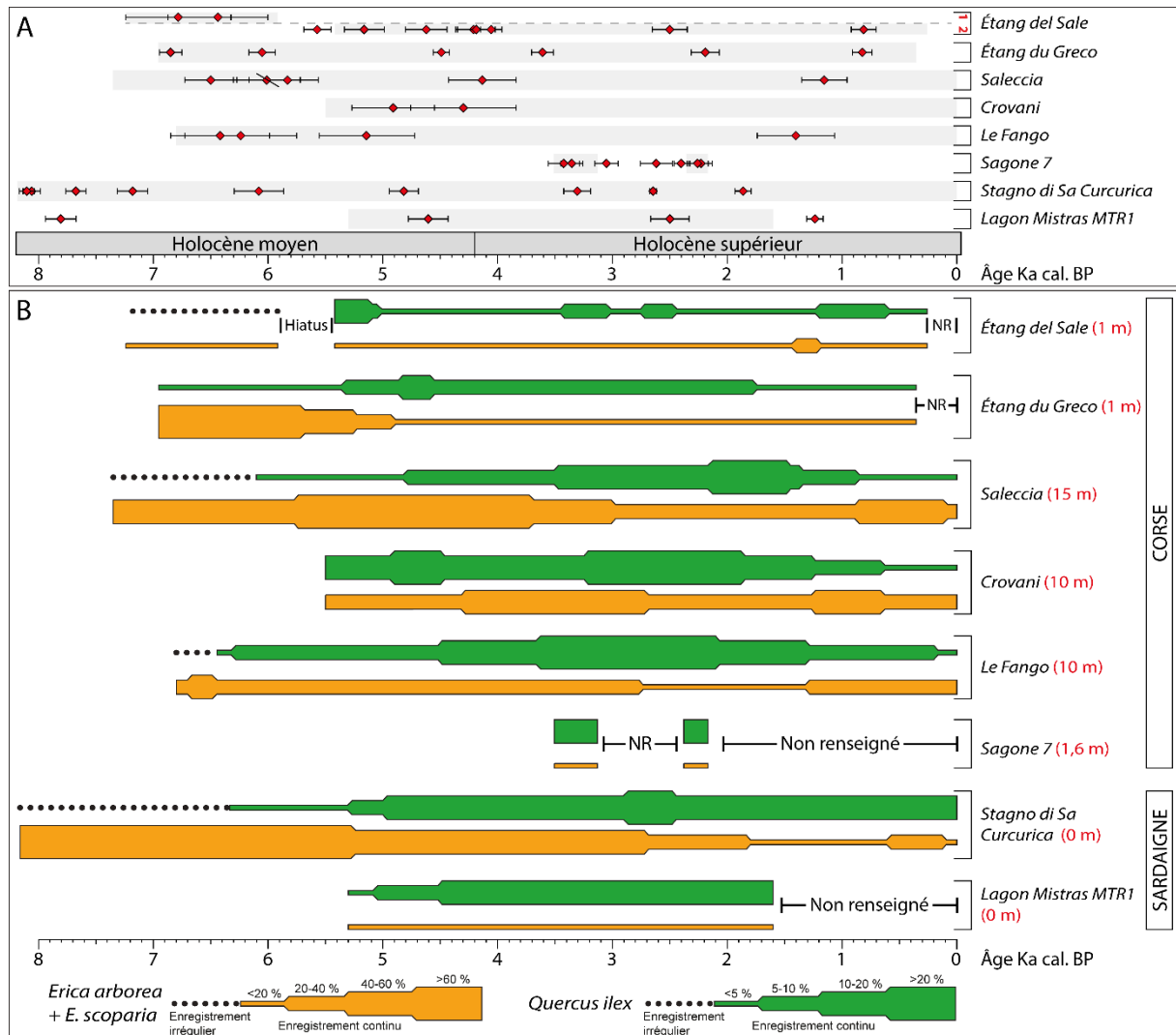


Figure 34 : A) Datations radiocarbone calibrées à 2σ disponibles à basse altitude en Corse : étang del Sale (1 : Reille 1984 ; 2 : Currás et al. 2016), étang du Greco (cette étude), Saleccia, Crovani, Le Fango (Reille 1992), Sagone 7 (Ghilardi et al. 2016) ; et en Sardaigne : Stagno di Sa Curcurica (Beffa et al. 2015), Lagon Mistras MTR1 ; Di Rita et Melis 2013). B) Corrélations des taux polliniques d'*Erica* (arborea et scoparia) et de *Quercus ilex* dans 8 sites côtiers de Corse et de Sardaigne.

La Corse a pu être soumise à cette bipartition paléoclimatique¹⁹ caractérisée par une aridité estivale et une humidité hivernale plus marquées pendant la première moitié de l'Holocène (Magny et al. 2007 ; Peyron et al. 2011) ainsi qu'un fort contraste saisonnier des précipitations (Berger et Loutre 1991). Cette histoire paléoclimatique a-t-elle joué un rôle dans le déclin d'*Erica arborea* ?

D'après Beffa et al. 2015, *Erica arborea*, serait moins sensible aux sécheresses estivales longues et répétées que *Quercus ilex*. De plus, il est possible qu'au cours de l'optimum mid-Holocène d'*Erica*, l'accumulation de litière ait pu jouer le rôle « d'inhibiteur » pour le développement de *Quercus ilex* (Carcaillet et al. 1997). D'ailleurs, Richard et al. (2009) ont montré un taux de mortalité élevé des plantules de *Quercus ilex* dans des formations mûres à *E. arborea* ; ceci à cause d'associations mycorrhisiennes différentes entre les deux taxons et d'une compétition pour l'eau du sol qui accentue les effets de la sécheresse estivale pour *Q. ilex*. À l'inverse, il semblerait qu'*Arbutus unedo* favorise l'établissement et le développement du chêne vert avec lequel il partage plus de la moitié de la diversité de ses mycorhizes (Richard et al. 2009). Aussi, après une perturbation comme un incendie, les stades de succession sur sol siliceux comme en Corse débutent par des espèces pionnières qui sont rapidement suivies d'arbustes comme *Erica arborea* et *Phillyrea latifolia* : ils forment durant plusieurs décennies un maquis où *Quercus ilex* est absent. En l'absence de nouvelles perturbations, ce maquis est progressivement colonisé par *Arbutus unedo* et à terme, si *Quercus ilex* est présent dans les successions, il envahit naturellement les formations dominées par *A. unedo* (Mesléard et Lepart 1991 ; Gamisans 1999).

Par conséquent, comme le suggère Beffa et al. (2015), la diminution des activités de feu enregistrée à Stagno di Sa Curcurica après 5300 cal. BP (en lien avec ces conditions climatiques plus humides) a également pu favoriser les successions écologiques qui amènent *Quercus ilex* à concurrencer *Erica arborea* (Mesléard et Lepart 1991 ; Gamisans 1999). Soulignons que l'optimum de *Quercus ilex* en Corse entre 3500 et 2000 cal. BP (Figure 34B) correspond à un minimum des fréquences de feux enregistrés au lac de Creno (Leys et al. 2014). Ce changement de saisonnalité des précipitations permettrait également d'expliquer en Corse l'optimum synchrone d'*Abies* en montagne et de *Quercus ilex* en-dessous de 1000 m (Figure 7 ; Reille et al. 1999 ; Leys et al. 2014), malgré leurs exigences en humidité apparemment opposées (Guicherd 1994). D'ailleurs, nous avons suggéré dans le **Chapitre V**, que le sapin pectiné avait même pu être présent dans le territoire de l'Agriate vers 1880-1540 cal. BP (présence de son espèce hôte *Treptoplatypus oxyurus*).

Néanmoins, il paraît difficile de concevoir que *Quercus ilex* ait été favorisé significativement par un changement climatique : comme évoqué par Reille (1992) *Erica arborea* formait (notamment à moyenne altitude) des forêts matures, et *Quercus ilex* a été favorisé par l'action anthropique, avec la

¹⁹ A ce jour, il n'existe aucune reconstruction paléoclimatique en Corse au-delà de 600 cal. BP (voir Szylczak et al. 2012, 2014).

réouverture des milieux. Historiquement, la question du déterminisme climatique et/ou anthropique dans la mise en place de ces maquis ouverts reste longuement débattue (Jalut et al. 1997, 2009 ; Pons et Quézel 1998 ; de Beaulieu et al. 2005 ; Roberts et al. 2011 ; Zanchetta et al. 2013). Il faut garder à l'esprit, tout particulièrement pour la Corse, que les conditions édaphiques ont potentiellement joué un rôle bien plus déterminant : contrairement au reste des îles méditerranéennes (sur calcaire), la Corse (très largement cristalline) bénéficie de sols plus profonds. Il est possible que l'ouverture des forêts d'*Erica*, liée aux premiers épisodes anthropiques, ait dégradé ces conditions édaphiques, au profit de la chênaie sclérophylle (dont le développement coïncide d'ailleurs à l'expansion de l'homme en Corse, voir **Chapitre VI.II.1**).

Cependant, cette anthropisation a été moins forte que dans d'autres îles méditerranéennes : citons l'exemple spectaculaire de la civilisation Minoenne en Crète et dans les Cyclades durant l'âge du Bronze entre ca. 4900 et 3200 cal. BP (Rackham et Moody 1996) ou encore Malte, avec l'installation d'une société agropastorale vers 7200-7000 ans cal. BP et une forte fréquentation entre 6050 et 4450 cal. BP (Trump 2002 ; Pace 2004). De plus, comme nous l'avons signalé, il est fort probable que les sols de ces îles calcaires dégradés par les activités humaines n'ont pu se reconstituer alors qu'en Corse, en domaine cristallin, des conditions édaphiques plus favorables au maintien de couvert forestier ont pu se maintenir (voire se renouveler). Cette hypothèse, de même que le relief escarpé et l'anthropisation relativement modeste de l'île (en comparaison du reste de la Méditerranée) pourrait notamment expliquer partiellement le caractère encore forestier de la Corse (couverte à 29 % par des forêts, Norstedt et al. 2001) avec de nombreux arbres mésophiles (*Betula*, *Taxus*) ou fragments de chênaies décidus encore représentés à basse/moyenne altitude (Gamisans 1999).

Enfin, en l'absence de données supplémentaires, nous ne pouvons toujours pas valider ou écarter l'hypothèse historiquement proposée par Reille et al. (1999) selon laquelle *Quercus ilex* ait pu être absent de Corse avant 7500 cal. BP. Les travaux réalisés sur les variations de l'ADN chloroplastique du chêne vert en Méditerranée suggèrent que la péninsule ibérique et le sud de l'Italie ont été des refuges glaciaires pour cet arbre (Lumaret et al. 2002 ; Fineschi et al. 2005). Toutefois ces études ne permettent pas de savoir si durant la dernière période glaciaire, *Quercus ilex* était présent en Corse (malgré la présence de petits glaciers sommitaux) et même en Sardaigne, ou si une migration tardive de cet arbre a eu lieu sur ces îles au début de l'Holocène moyen. De nouvelles études utilisant des techniques modernes d'analyses des séquences nucléaires ribosomales de l'ADN et d'horloge moléculaire couplées à la recherche de macrorestes fossiles de *Quercus ilex* seraient nécessaires pour préciser la phylogéographie de cet arbre et déterminer l'ancienneté de sa présence en Corse.

III. La faune des coléoptères des anciennes forêts : un éden perdu ou une continuité écologique ?

À basse/moyenne altitude en Corse, aucune des archives sédimentaires étudiées n'était antérieure à 7000 cal. BP. Il nous a donc été impossible de connaître la composition taxonomique des communautés de coléoptères qui peuplaient cette partie de l'île avant l'Homme (lorsqu'elles étaient à l'équilibre avec le climat et la végétation).

Ce problème est crucial pour les coléoptères saproxyliques car nombre de ces espèces sont particulièrement sensibles à l'état de maturité et d'ancienneté du milieu forestier (Brustel 2004 ; Cateau et al. 2015). Par conséquent, ce cortège d'espèces fut probablement le premier impacté par le développement des activités agropastorales depuis 5500-5000 cal. BP, et par son corollaire, la disparition des anciennes forêts matures en Méditerranée (Samways et al. 2006).

Bien que le contexte biogéographique et climatique soit différent, les îles britanniques offrent un exemple frappant de l'impact qu'a pu avoir l'ouverture anthropogénique des forêts primaires sur l'entomofaune (Buckland et Dinnin 1993 ; Osborne 1988, 1997 ; Dinnin et Sadler 1999 ; Whitehouse 1997, 2006a). Leur disparition durant le Néolithique et l'âge du Bronze (entre 5000 et 3000 cal. BP) coïncide avec l'extinction de 25 espèces saproxyliques (incluant *Rhysodes sulcatus*, *Porthmadius austriacus*, *Isorhipis melasoides*, *Peltis grossa*, *Prostomis mandibularis* et *Mycetina cruciata*) à l'échelle des îles britanniques. Ce sont notamment la fragmentation des forêts, l'isolement des populations et la discontinuité (spatiale et temporelle) des habitats qui sont en cause dans ces extinctions (Whitehouse 2006a).

Il est probable que des extinctions ou raréfactions d'espèces ont eu lieu en Corse suite à la disparition des forêts matures d'*Erica arborea* et à la fragmentation des anciennes chênaies caducifoliées. Toutefois, excepté *Aurigena unicolor* (Buprestidae) qui se développe dans les souches d'*Erica arborea* (Schaefer 1954), il n'existe pas d'espèces saproxyliques vivant exclusivement dans la bruyère arborescente en France. L'absence apparente de faune saproxylique liée à *Erica arborea* a aussi été constatée à La Gomera (Wollaston 1864 ; Stüben et al. 2010) ou à Madère²⁰ (Erber et Hinterseher 1988 ; Erber et Franquinho Aguiar 1996 ; Assing et Schülke 2006) où la bruyère forme pourtant de véritables forêts (voir Figure 35). En revanche, de nombreuses espèces endémiques de Madère, particulièrement parmi les Staphyloidea, sont liées à la litière des forêts d'*Erica arborea* et de *Vaccinium padifolium* (e.g. *Stenus heeri*, *S. ruivomontis*, *Othius arieironesis*, *O. baculifer*, *Mycetoporus johnsoni*, *Atheta leileri*, *Geostiba arieiroensis*, *G. ericicola*, *Madeirostiba truncorum*, etc.) (Assing et Schülke 2006). Si

²⁰ Notons que *Pseudophloeophagus tenax* (Curculionidae) est signalé dans le bois mort d'*Erica* à Madère (Erber et Hinterseher 1988)

des extinctions d'espèces liées au déclin d'*Erica arborea* ont eu lieu en Corse, elles concernent donc peut-être des coléoptères associés aux horizons superficiels du sol.



Figure 35 : Vieux peuplements d'*Erica arborea* à Madère (à gauche) (crédit photo : Philippe Ponel) et petit spécimen en Corse (à droite).

Concernant l'entomofaune des anciennes forêts de décidus (*Quercus* décidus, *Corylus*, *Tilia*, *Ulmus*) et des forêts mixtes (*Fagus sylvaticus* et *Abies alba*), nos données ne permettent pas de dire si des extinctions ont eu lieu. Les espèces saproxyliques liées aux vieux décidus que nous avons identifiées à l'état fossile (e.g. *Platypus cylindrus*, *Melasis buprestoides*, *Rhyncolus punctatulus*, *Helops coeruleus*, *Hemicoelus* cf. *fulvicornis*) sont toujours présentes en Corse (Tronquet 2014). De plus, ces espèces sont peu exigeantes vis-à-vis de leur habitat larvaire (Brustel 2004). Par conséquent l'extension ancienne de *Quercus ilex* et de *Q. suber* ou plus récente de *Castanea sativa* et *Juglans regia* (depuis environ 1500 ans) a potentiellement compensé le déclin de la chênaie décidue en offrant une continuité de l'habitat.

Le hêtre (*Fagus sylvaticus*) et le sapin pectiné (*Abies alba*) occupaient une place bien plus importante dans les paysages corses entre ca. 4000 et 1000 cal. BP (Reille 1975 ; Leys et al. 2014). De nos jours ils ne forment sur l'île que des peuplements réduits et discontinus qui ne correspondent pas à leur potentiel écologique (Gamisans 1981). La faune saproxylique liée à ces vieilles hêtraie-sapinières a certainement dû souffrir de cette forte réduction de son habitat induite par les activités anthropiques.

Deux espèces de coléoptères saproxyliques illustrent bien cet impact : *Treptoplatypus oxyurus* (Curculionidae) et *Peltis grossa* (Trogossitidae). *T. oxyurus* a une distribution corse très limitée : forêt d'Aitone [ailleurs il est maintenant réduit à quelques sapinières des Pyrénées, du sud de l'Italie (Calabre), en Grèce, et en Turquie] (Whitehead et Zach 2003). *Peltis grossa* n'est connue que des forêts de Vizzavona, d'Aitone et sur la montagne de Cagna (ailleurs en France elle n'est citée que dans quelques forêts matures des Pyrénées centrales et occidentales, dans le massif central, et dans les Alpes) (Valladares et al. 2017). Cette chorologie très limitée suggère qu'en Corse il s'agit d'espèces relictuelles dont la répartition actuelle est une conséquence des déboisements de l'époque génoise. Ceci est confirmé par l'identification à Cannuta (2 m d'altitude) d'un fragment fossile de *Treptoplatypus oxyurus* (Figure

36). Cette découverte suggère qu'en Corse la distribution moderne de cette espèce ne correspond pas à son aire biogéographique originelle. La situation est probablement la même pour *Peltis grossa*, dont on sait que la distribution actuelle relictuelle en Europe ne reflète pas du tout sa distribution originelle²¹ (Osborne 1988 ; Valladares et al. 2017), malheureusement, nous ne disposons pas de données fossiles en Corse pour étayer cette hypothèse.

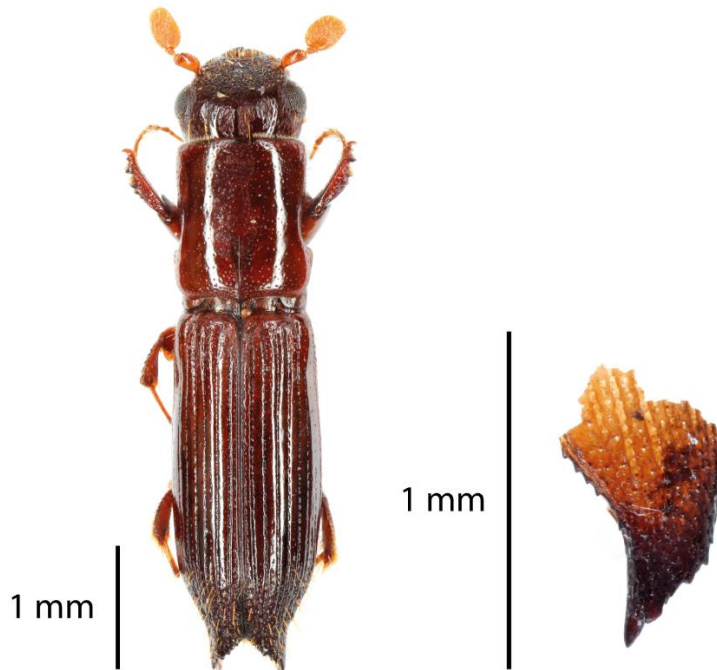


Figure 36 : Spécimen actuel et fragment fossile daté de 1880-1540 cal. BP (apex de l'élytre gauche) de *Treptoplatypus oxyurus*.

Dans le futur, il serait donc intéressant de multiplier les études paléontologiques en Corse²², y compris dans des sites d'altitude situés à proximité des vestiges de forêts mixtes de *Quercus* décidus (Gamisans 1981). L'acquisition de nouvelles données fossiles dans une perspective de gestion des écosystèmes forestiers serait également utile puisqu'elles : (1) apporteraient des informations précieuses sur la structure des anciennes forêts natives, (2) fourniraient un aperçu des déclinés d'espèces ainsi que leurs causes, et (3) pourraient enrichir d'un recul plurimillénaire l'élaboration de mesures visant à assurer la survie et encourager le retour des coléoptères saproxyliques (Whitehouse 2006b).

²¹ *Peltis grossa* a aussi été retrouvée dans des dépôts néolithiques du village lacustre de Chalain situé à 490 m d'altitude dans l'est de la France (Ponel, données non publiées).

²² Avec une attention particulière pour les sites couvrant des périodes pré-néolithiques.

Conclusions générales, aspects de conservation et perspectives de recherche

1. Résumé des principaux résultats

Comme souligné au début de cette thèse (**Chapitre I**), l'histoire des paysages de Corse a fait l'objet de nombreuses études paléoenvironnementales depuis 40 ans. Néanmoins, nos connaissances concernant la dynamique des écosystèmes de l'île et de leur biodiversité sur le long terme présentent encore des lacunes : une approche mono-disciplinaire (analyse pollinique seule) a souvent été développée et la chronologie des événements est généralement mal connue ou imprécise.

Afin de compléter et d'enrichir les enseignements de ces études pionnières, les principaux objectifs de mon travail étaient de **reconstruire les changements environnementaux en Corse durant l'Holocène** par une **approche multidisciplinaire** et d'**identifier les principaux facteurs impliqués dans ces changements** (fluctuations climatiques, remontée du niveau de la mer et usage des terres). Pour cela, trois enregistrements sédimentaires situés dans des contextes géomorphologiques différents ont été échantillonnés, datés et analysés (deux sites côtiers inédits : l'étang du Greco, le marais de Cannuta et un site de moyenne altitude : la tourbière de Bagliettu). J'ai axé ma recherche autour d'un bioindicateur principal : les assemblages d'insectes fossiles (principalement coléoptères), très sensibles aux changements environnementaux et se préservant bien dans le sédiment. Dans une volonté d'approche multidisciplinaire, ce proxy a été confronté aux données paléobotaniques (palynologie, carpologie) et géochimiques préexistantes ou acquises au cours de cette thèse. Cette démarche méthodologique, inédite en région méditerranéenne, a permis de mieux comprendre l'histoire de la mise en place des écosystèmes étudiés, leur dynamique sur le long terme et leur réponse face aux forçages locaux ou externes.

Les principaux résultats qui ressortent de l'étude des archives sédimentaires sont présentés ci-dessous :

- L'étude pollinique et paléontologique des sédiments de l'**étang du Greco** a révélé une forte vulnérabilité des écosystèmes de l'**île Cavallo** aux impacts humains (**article 1**) et aux forçages globaux (ici la remontée du niveau marin ; **article 2**). Le couvert initialement forestier à *Erica arborea* entre 7000 et 6100 cal. BP a progressivement disparu au profit d'un paysage dominé par des arbustes thermophiles à partir de 4700 cal. BP, semblable à celui présent actuellement sur l'île. Cette ouverture du couvert végétal est concomitante d'activités agro-pastorales clairement identifiées depuis 5000 cal. BP. En parallèle, nous avons constaté une perte irréversible de plusieurs composantes de la biodiversité littorale, notamment des coléoptères, en lien avec la transgression marine. Avant 5300 cal. BP, une entomofaune diversifiée et abondante occupait l'étang d'eau douce du Greco. Vers 3700 cal. BP des intrusions marines dans le Greco lorsque le niveau marin a atteint $-1,5 \pm 0,3$ m NGF conduisent à une bascule de l'écosystème vers de nouvelles conditions de salinité, coïncidant avec la raréfaction des coléoptères aquatiques/hygrophiles : nous estimons que 60 % d'entre eux ont localement disparu. L'urbanisme récent a pu aggraver les effets de la remontée du niveau marin (destruction d'une des deux zones humides de l'île).

- L'étude des insectes fossiles, des macrorestes de plantes et des macro-charbons contenus dans les sédiments de la **tourbière de Bagliettu (article 3)** a permis de compléter les analyses polliniques précédemment réalisées (Reille 1997), et de proposer de nouvelles hypothèses concernant l'évolution de l'écosystème. Nos données suggèrent que la tourbière s'est formée dans une dépression en bordure de la rivière de l'Asco il y a 3700 ans. Vers 3500-3250 cal. BP, la dynamique d'incision de l'Asco engendre une déconnection définitive entre la tourbière et la rivière : ceci entraîne un appauvrissement des assemblages d'insectes aquatiques/hygrophiles dans l'enregistrement. Un hiatus sédimentaire est décelé entre 2900 et 1700 cal. BP. Il peut avoir plusieurs origines : des conditions climatiques plus sèches, une érosion de la tourbière liée au déboisement des versants et/ou un piétinement causé par le surpâturage. Finalement l'impact croissant des activités pastorales après 1700 cal. BP a pour conséquence l'ouverture du couvert végétal et la mise en place du paysage actuel de la tourbière (éminence tourbeuse à *Erica terminalis* et aulnaie marécageuse périphérique) depuis 830-520 cal. BP.
- Au **marais de Cannuta (Chapitre V)**, l'étude multiproxy (paléontologie et géochimie) des sédiments a été comparée aux données polliniques du proche **marais de Padulella (Saleccia ; Reille 1992)**. Nous avons ainsi pu mettre en évidence une ouverture locale du couvert végétal d'origine anthropique, à partir de 5000 cal. BP, qui s'étend à l'ensemble des versants vers 3000 cal. BP. À Cannuta, nos données ont permis de retracer des dynamiques environnementales très différentes de celles de l'étang Greco, avec d'abord une phase où le marais était une lagune saumâtre aux assemblages d'insectes pauvres (de 5900 à 4150 cal. BP), suivi d'une diminution de l'influence marine (après 5000 cal. BP) et d'une diversification rapide des coléoptères aquatiques/hygrophiles (de 1200 cal. BP à aujourd'hui). Cette trajectoire de l'environnement s'explique par une progradation de la plaine alluviale côtière, processus reconnu dans d'autres sites méditerranéens et survenu lors du ralentissement de la transgression marine après 4000 cal. BP. Le point de bascule de l'écosystème palustre à 1200 cal. BP coïncide avec des épisodes détritiques pouvant correspondre à une période de fluctuations climatiques rapides (ACM et PAG) intervenant sur des versants anthropisés. Ces interprétations devront cependant être confirmées compte tenu de la faible résolution temporelle pour cette période.

Des changements environnementaux majeurs sont donc survenus en Corse durant la seconde moitié de l'Holocène. Ces changements résultent probablement d'une remontée du niveau marin relatif le long du littoral et de l'introduction de troupeaux sur l'île à partir du Néolithique. À cela pourrait s'ajouter un changement des conditions saisonnières d'humidité et des températures en Méditerranée.

Pour comprendre l'histoire des écosystèmes insulaires sous la triple influence des forçages climatique, eustatique et anthropique, la prise en compte du contexte géomorphologique, géologique et sédimentaire s'avère capitale ; le croisement des résultats obtenus en Corse nous l'a démontré. C'est le cas notamment des écosystèmes palustres côtiers dont la sensibilité à un même

forçage (ici la transgression marine) est différente en fonction du contexte géomorphologique (présence d'un bassin versant et d'une plaine alluviale côtière à Cannuta vs absence à Cavallo). Dans les vallées internes de l'île, le régime hydrologique des rivières apparaît comme un autre paramètre important dans la dynamique des écosystèmes tourbeux attenants et de leur entomofaune. Enfin, à plus large échelle, notre synthèse des précédentes données et celles acquises en Corse montrent un point de bascule des végétations de basse et moyenne altitude à l'Holocène moyen (ca. 7000 à 4000 cal. BP) qui semble principalement lié à l'expansion des sociétés insulaires à partir du Chalcolithique. Ce changement présente certaines similitudes avec d'autres grandes îles de Méditerranée mais là encore, la prise en compte des caractéristiques propres à la Corse (faible densité de population, forte hétérogénéité paysagère, substrat cristallin prédominant) est nécessaire pour comprendre la persistance de forêts anciennes dans divers secteurs de l'île.

2. Intérêt de l'étude rétrospective pour les aspects de conservation

Au-delà de l'aspect fondamental de nos recherches, les données acquises présentent des perspectives intéressantes pour la gestion et la conservation des sites étudiés. En effet, l'approche rétrospective permet de mettre en évidence l'ancienneté des perturbations (naturelles ou anthropiques) et peut aider à évaluer de manière critique « l'état de référence » postglaciaire d'un écosystème et donc à estimer les efforts éventuels de restauration à entreprendre :

- Par exemple, au vu de son histoire et de la hausse du niveau marin attendue en Méditerranée, l'évolution de l'étang du Greco en une lagune semble irrémédiable. Ainsi, dans l'hypothèse où une restauration des zones humides de Cavallo était envisagée, il serait plus pertinent de porter les efforts sur le second marais initialement présent sur l'île. Un tel projet pourrait bénéficier de nos données afin de connaître les communautés d'insectes susceptibles de repeupler le milieu.

Ce type d'étude paléoécologique apporte aussi des informations précises sur la dynamique de la biodiversité au-delà des limites temporelles de l'observation humaine. Elles sont utiles pour prédire la réponse des écosystèmes actuels et de leurs espèces face aux changements climatiques, environnementaux ou anthropiques futurs :

- Citons les formations à *Erica terminalis* de Bagliettu dont la récente expansion a été favorisée par l'ouverture de l'aulnaie mais qui risque de régresser à l'avenir compte tenu du déclin des activités humaines. Plus généralement, c'est la tourbière toute entière qui est menacée par l'élévation des températures attendue en Méditerranée maintenant que son alimentation hydrique dépend fortement de l'eau de ruissellement et des aquifères de la plaine alluviale.

Par ailleurs, nos données ont apporté des informations nouvelles sur l'ancienneté de la mise en place de formations végétales rares en Corse et sur leur continuité dans le temps :

- Par exemple, nous avons pu montrer que l’aulnaie et la saulaie sur tremblants du marais de Cannuta se sont mises en place à partir de 1200 cal. BP et que depuis l’écosystème palustre est resté relativement stable malgré une tentative d’assèchement.

Nos résultats montrent bien l’intérêt des études paléontomologiques afin de mieux cerner les trajectoires dynamiques des écosystèmes et leur état de conservation, en raison de la très bonne résolution taxonomique que l’on peut souvent obtenir. Mais il est important de noter que l’inventaire des communautés de coléoptères présentes actuellement dans les sites étudiés reste un préalable à l’utilisation des données paléontomologiques pour des aspects de conservation. En effet, de la comparaison entre les assemblages de coléoptères fossiles et actuels pourra émerger de nouveaux questionnements lors de l’élaboration de futur plan de gestion :

- Quelles étaient les compositions spécifiques passées et quelle similitude avec celles de l’actuel ?
- Si des espèces ont disparus localement, pourquoi ? Où seraient-elles à chercher maintenant ?
- Les espèces présentes de nos jours assurent-elles des fonctions similaires dans l’écosystème par rapport à celles présentes auparavant ?
- La diversité spécifique passée était-elle plus élevée qu’aujourd’hui ?
- Quelles seraient les mesures de gestion appropriées pour assurer la conservation des espèces sur le long terme ? Que faudrait-il faire pour encourager la recolonisation/l’expansion de certaines espèces relictuelles ?

3. Perspectives de recherche

L’originalité des résultats obtenus au cours de cette thèse, grâce à la complémentarité des données paléontomologiques et paléobotaniques, appelle à poursuivre l’effort d’analyse pluridisciplinaire en Corse, et ailleurs en région méditerranéenne. Parmi les perspectives de travaux futurs, la recherche de sites de basse/moyenne altitude qui pourraient receler des sédiments antérieurs à 8000 cal. BP constitue une priorité :

- Dans cette optique, il serait opportun d’entamer des prospections dans les étangs d’Urbino (42°03’N 9°28’E) et de Diana (42°07’N 9°32’E). Ces deux étangs situés sur la Plaine orientale d’Aleria ont une origine tectonique ; par conséquent leur mise en place échappe en partie aux processus sédimentaires liés à la transgression marine. Cela implique que des dépôts datant du début de l’Holocène pourraient y être conservés²³.
- Davantage de données sur les effets de la remontée relative du niveau marin en Corse et sur d’autres sites côtiers de Méditerranée sont également nécessaires afin d’estimer ces impacts potentiels futurs sur la biodiversité des zones humides littorales à plus large échelle.

²³ Il ne faut pas non plus négliger le fait que certaines zones humides ont été asséchées par l’homme : il existe peut-être des marais littoraux dont les sédiments se sont accumulés durant l’Holocène complet.

- La réalisation d'études paléontomologiques dans des secteurs d'altitude sur des séquences continues depuis le Tardiglaciaire (e.g. lacs de Nino, Creno et de Bastani) permettrait aussi d'étudier les variations passées de la limite supérieure des forêts²⁴ et de connaître la structure et la composition des faunes d'insectes liés aux formations forestières primitives.

Par ailleurs, l'influence du forçage climatique sur les changements environnementaux reconstruits dans cette thèse demeure difficile à estimer. La question de l'évolution du climat en Méditerranée a fait l'objet de nombreuses publications ces dix dernières années mais objectivement nous ignorons encore où se place la Corse dans les schémas régionaux qui ont été établis. Il y a donc un besoin urgent d'acquérir un corpus de données climatiques à haute résolution en Corse, pour la période Holocène :

- Cette démarche a débuté en 2016 avec le mémoire de master recherche (Aix Marseille Université) de C. Berguet réalisé à l'IMBE (encadrement F. Guibal et F. Guiter). Ce travail a mis en avant le potentiel dendroclimatique des séries de cernes du pin laricio (*Pinus nigra* subsp. *laricio*) en montagne durant les 400 dernières années (croissance radiale sensible aux températures de septembre et aux précipitations de juin ; voir Berguet 2016). La prochaine étape consistera à étendre la chronologie des largeurs de cernes faite sur des arbres vivants jusqu'au dernier millénaire en utilisant des vestiges de bois morts²⁵ (e.g. souches, poutres).
- L'utilisation des assemblages de coléoptères fossiles comme proxy pour reconstruire les changements de température serait également une piste de recherche intéressante. En Europe du Nord, de telles reconstructions ont déjà été réalisées avec succès grâce à **la méthode de « l'enveloppe climatique commune »** (MCR en anglais) développée par Atkinson et al. (1987). Toutefois pour obtenir des résultats significatifs en Corse, il faudrait au préalable construire une base de données des enveloppes climatiques des espèces présentes actuellement en région méditerranéenne, analogue à celle constituée en Europe par Buckland et Buckland (2002).
- Les nombreux lacs d'altitude en Corse offrent également la possibilité d'acquérir des données climatiques *via* la reconstruction des changements de niveau lacustre ou encore l'étude des variations des isotopes de l'oxygène dans des fossiles de diatomées et/ou d'ostracodes.

Plus généralement, il serait essentiel d'élargir les études paléontomologiques à d'autres îles de la Méditerranée où des archives sédimentaires seraient disponibles. De tels enregistrements permettraient d'analyser l'histoire biogéographique des faunes d'insectes durant l'Holocène (e.g. mise en évidence de zones refuges glaciaires, de disparitions ou encore d'introductions d'espèces), afin de mieux comprendre l'influence des forçages environnementaux ou de l'impact précoce de l'homme sur la biodiversité insulaire.

²⁴ Ces informations permettraient notamment de mieux comprendre les impacts du réchauffement en haute altitude.

²⁵ Ce travail sera réalisé en concertation avec les gestionnaires de l'environnement (Office national des forêts et Conservatoire botanique national de Corse).

Références bibliographiques (hors articles)

A

- Agostini P (1978) Recherches archéologiques dans l'île Cavallu (Bonifacio – Corse) 1972–1977. *Archeologia Corsa* 3: 15–54.
- Agostini P (1985–1986) Le site romain de Piantarella, Bonifacio. *Archeologia Corsa* 10–11: 3–43.
- Aguzzi M, Amorosi A, Colalongo ML, Lucchi MR, Rossi V, Sarti G, et al. (2007) Late Quaternary climatic evolution of the Arno coastal plain (Western Tuscany, Italy) from subsurface data. *Sedimentary Geology* 202(1-2): 211–229. doi:10.1016/j.sedgeo.2007.03.004
- Ameziane-Federzoni N, Ottaviani-Spella MM and Berlinghi A (2012) L'exploitation de la rhyolite sur le plateau d'Alzu (Corte). In: Cesari J, Leandri F, Maliet V (Eds.), *20 années de recherche sur la préhistoire récente, Stantari : histoire naturelle & culturelle de la Corse*, 29. Bastia, Kyrnos publications, pp. 43–44.
- Amorosi A and Milli S (2001) Late Quaternary depositional architecture of Po and Tevere river deltas (Italy) and worldwide comparison with coeval deltaic successions. *Sedimentary Geology* 144(3-4): 357–375.
- Anthony EJ, Marriner N and Morhange C (2014) Human influence and the changing geomorphology of Mediterranean deltas and coasts over the last 6000 years: From progradation to destruction phase? *Earth-Science Reviews* 139: 336–361.
- Arca M, Martini F, Pitzalis G, Tuveri C and Ulzega A (1982) Il deposito quaternario con industria del Paleolitico inferiore di Sa Pedrosa-Pantallinu (Sassari). *Rivista di Scienze Preistoriche* 37(1-2): 31–53.
- Arnaud F, Revel M, Chapron E, Desmet M and Tribouvillard N (2005) 7200 years of Rhône river flooding activity in Lake Le Bourget, France: a high-resolution sediment record of NW Alps hydrology. *The Holocene* 15(3): 420–428.
- Arz HW, Patzold J and Wefer G (1998) Correlated millennial-scale changes in surface hydrography and terrigenous sediment yield inferred from last-glacial marine deposits off Northeastern Brazil. *Quaternary Research* 50(2): 157–166.
- Assing V and Schülke M (2006) Systematic catalogue of the entomofauna of Madeira archipelago and Selvagens islands. Staphilylinoidea, Staphylinidae (Coleoptera) Vol. II, Part 2. *Boletim do Museu Municipal do Funchal* Suppl. 11: 5–167.

Atkinson TC, Briffa KR and Coope GR (1987) Seasonal temperatures in Britain during the past 22,000 years, reconstructed using beetles remains. *Nature* 325: 587–592.

B

Balachowsky AS (1949) *Faune de France 50, Coléoptères Scolitydae*. Librairie de la Faculté des Sciences, Paris. 320 pp.

Bailloud G (1969) Fouilles de Basi (Serra-di-Ferro, Corse du Sud). Campagne de 1968. *Corse Historique* 9(33): 49–64.

Basset A, Sabetta L, Fonnesu A, Mouillot D, Do Chi T, Viaroli P, et al. (2006) Typology in Mediterranean transitional waters: new challenges and perspectives. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 16(5): 441–455. doi:10.1002/aqc.767

Beffa G, Pedrotta T, Colombaroli D, Henne, PD, van Leeuwen, JFN, Süssstrunk P, et al. (2015) Vegetation and fire history of coastal north-eastern Sardinia (Italy) under changing Holocene climates and land use. *Vegetation History and Archaeobotany* 25(3): 271–289. <http://dx.doi.org/10.1007/s00334-015-0548-5>

Bellard C, Leclerc C and Courchamp F (2013a) Impact of sea level rise on the 10 insular biodiversity hotspots. *Global Ecology and Biogeography* 23(2): 203–212. doi:10.1111/geb.12093

Bellard C, Leclerc C and Courchamp F (2013b) Potential impact of sea level rise on the French islands worldwide. *Nature Conservation* 5: 75–86. doi:10.3897/natureconservation.5.5533

Beltrame C, Chazée L, Galewski T and Perennou C (2012) *Mediterranean wetlands: outlook. First Mediterranean wetlands observatory report*. Technical report, 2012. Tour du Valat, France, 126 pp.

Berger A and Loutre MF (1991) Insolation values for the climate of the last 10 million years. *Quaternary Science Reviews* 10(4): 297–317.

Berguet C (2016) *Exploration du potentiel dendroclimatique de longues séries de cernes de Pinus nigra subsp. laricio de la montagne Corse*. Mémoire de Master 2 Recherche, Aix Marseille Université. 48 pp.

Bernard F (1968) *Les fourmis (Hymenoptera Formicidae) d'Europe occidentale et septentrionale, Faune de l'Europe et du bassin méditerranéen* 3. Masson, Paris, 411 pp.

Beug H (2004) *Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*. München.

- Blaauw M (2010) Methods and code for ‘classical’ age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology* 5(5): 512–518. doi:10.1016/j.quageo.2010.01.002
- Bilton DT (1988) A survey of aquatic Coleoptera in central Ireland and in the Burren. *Bulletin Irish Biogeographical Society* 11: 77–94.
- Blondel J (2006) The ‘design’ of Mediterranean landscapes: a millennial story of humans and ecological systems during the historic period. *Human Ecology* 34(5): 713–729.
- Blondel J (2008) Humans and wildlife in Mediterranean islands. *Journal of Biogeography* 35(3): 509–518. doi:10.1111/j.1365-2699.2007.01819.x
- Bonifay E, Bassiakos Y, Bonifay M-F, Louchart A, Mourer-Chauviré C, Pereira E, et al. (1998) La grotte de la Coscia (Rogliano, Macinaggio) : étude préliminaire d’un nouveau site du Pléistocène supérieur de Corse. *Paléo* 10(1): 17–41.
- Boski T, Moura D, Veiga-Pires C, Camacho S, Duarte D, Scott DB, et al. (2002) Postglacial sea-level rise and sedimentary response in the Guadiana Estuary, Portugal/Spain border. *Sedimentary Geology* 150(1-2): 103–122.
- Bottema S and Sarpaki A (2003) Environmental change in Crete: a 9000-year record of Holocene vegetation history and the effect of the Santorini eruption. *The Holocene* 13(5): 733–749.
- Bressy C, Bellot-Gurlet L, Convertini F, D’Anna A, Guendon J-L, Pelletier D, et al. (2007) Matières premières et circulation des matériaux dans le Néolithique ancien de Renaghju (Sartène, Corse-du-Sud). In: D’Anna A, Cesari J, Ogel L, Vaquer J (Eds.), *Corse et Sardaigne préhistoriques, relations et échanges dans le contexte méditerranéen*, actes du 128^e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques (Bastia, 14-21 avril 2003). Paris, CTHS (Documents préhistoriques, 22), pp. 87–98.
- Bressy-Leandri C (2016) Caractérisation et provenance des silex de sites néolithiques corses. In: Tomasso A, Binder D, Martino G, Porraz G, Simon P, Naudinot N (Eds.), *Ressources lithiques, productions et transferts entre Alpes et Méditerranée*, actes de la journée de la Société préhistorique française (Nice, 28-29 mars 2013). Paris, Société préhistorique française, (Séances de la Société préhistorique française, 5), pp. 277–288.
- Britton RH and Johnson AR (1987) An ecological account of a Mediterranean salina: The Salin de Giraud, Camargue (S. France). *Biological Conservation* 42(3): 185-230.
- Broc D (2014) *Dynamiques politiques, économiques et sociales dans la Corse médiévale : le Diocèse de Nebbio (XI siècle – c. 1540)*. Thèse de doctorat, Université Pascal Paoli. 631 pp.

- Brookfield HC (1990) An approach to Island. *In*: Beller W, d'Ayala P, Hein P (Eds.), *Sustainable development and environmental management of small islands*. Man and the Biosphere Series 5, Paris, Carnforth & New Jersey, UNESCO & the Parthenon publishing group, pp. 23–33.
- Bruno C, Dupré G, Giorgetti G, Giorgetti J-P and Alesandri J (2001) *Chì tempu face? Météorologie, climat et microclimats de la Corse*. CNDP-CRDP de Corse/ Météo France, Ajaccio, France, 130 pp.
- Brustel H (2004) *Coléoptères saproxyliques et valeur biologique des forêts françaises. Perspectives pour la conservation du patrimoine naturel*. Les Dossiers forestiers, Office national des Forêts, Paris, 297 pp.
- Buckland PC and Dinnin MH (1993) Holocene woodlands, the fossil insect evidence. *In*: Kirby KJ, Drake CM (Eds.), *Dead wood matters: the ecology and conservation of saproxylic invertebrates in Britain*. English Nature Science 7, Peterborough, UK, English Nature, pp. 6-20.
- Buckland PI and Buckland PC (2006) BugsCEP Coleopteran ecology package. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2006-116. NOAA/NCDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA. <http://www.bugscep.com>
- Burjachs F, Pérez-Obiol R, Roure JM and Julia R (1994) Dinámica de la vegetación durante el Holoceno en la isla de Mallorca. *In*: Mateu I, Dupré M, Güemes J, Burgaz ME (Eds.), *Trabajos de Palinología básica y aplicada*, X Simposio de Palinología (A.P.L.E.), Universitat de València, València, pp. 199–210.

C

- Calò C, Henne PD, Curry B, Magny M, Vescovi E, La Mantia T, et al. (2012) Spatio-temporal patterns of Holocene environmental change in southern Sicily. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 323–325: 110–122.
- Calvert SE and Pedersen TF (2007) Elemental proxies for palaeoclimatic and palaeoceanographic variability in marine sediments: interpretation and application. *In*: Hillaire-Marcel C, de Vernal A (Eds.), *Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography*. Elsevier, Amsterdam, pp. 567–644.
- Camps G (1988) *Préhistoire d'une île, les origines de la Corse*. Editions Errance, Paris, 283 pp.
- Canellas C, Gibelin A-L, Lassègues P, Kerdoncuff M, Dandin P and Simon P (2014) Les normales climatiques spatialisées Aurelhy 1981-2010 : températures et précipitations. *La Météorologie* 85: 47–55.

- Cappers RTJ, Bekker RM and Jans JEA (2012) *Digital Seed Atlas of the Netherlands (2nd edition)*. Barkhuis Publishing and Groningen University Library, Groningen, 502 pp.
- Carcaillet C, Barakat HN, Panaiotis C and Loisel R (1997) Fire and late-Holocene expansion of *Quercus ilex* and *Pinus pinaster* on Corsica. *Journal of Vegetation Science* 8(1): 85–94. <http://www.jstor.org/stable/3237246>
- Caritg S and others (2009a) *Carte géologique harmonisée du département de la Corse-du-Sud*. BRGM/RP – 57749 –FR, 292 pp., 16 fig., 2 tab ; 3 pl. hors texte.
- Caritg S and others (2009b) *Carte géologique harmonisée du département de la Haute-Corse*. BRGM/RP – 57748 –FR, 483 pp., 28 fig., 2 tab ; 3 pl. hors texte.
- Cateau E, Larrieu L, Vallauri D, Savoie J-M, Touroult J and Brustel H (2015) Ancienneté et maturité : deux qualités complémentaires d'un écosystème forestier. *Comptes Rendus Biologies* 338(1): 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2014.10.004>
- Cesari J (1992) Contribution à l'étude des habitats de l'Âge du Bronze de la Corse-du-Sud. In: *La Sardegna nel Mediterraneo tra il Bronzo medio e il Bronzo recente (XVI-XII sec. a. C.)*. Atti del III° Convegno di Studi (Selargius-Cagliari, novembre 1987), Della Torre, Cagliari, pp. 379–398.
- Cesari J and Magdeleine J (1998) Le Néolithique et le Chalcolithique de la Corse : acquis et problèmes. In: Vaquer J (Ed.), *Le Néolithique du Nord-Ouest méditerranéen*. Actes du XXI^{ème} Congrès Préhistorique de France, Carcassonne, S.F.P., pp. 111–118.
- Cesari J, Léandri F and Pêche-Quilichini K (2013) L'âge du Bronze de la Corse. In: Lo Schiavo F, Milletti M (Eds.), *Les lingots « peau de bœuf » et la navigation en Méditerranée centrale jusqu'à l'époque archaïque*. Actes du II^e colloque international de Mariana (Lucciana, 15-18 septembre 2005), Piazzola, Ajaccio (Patrimoine d'une île, 4), pp. 51–66.
- Church JA, Clark PU, Cazenave A, Gregory JM, Jevrejeva S, Levermann A, et al. (2013) Sea Level Change. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1137–1216.
- Cocquempot C and Rungs C (2009) Liste des Arthropodes terrestres recensés dans les réserves naturelles des îles Cerbicale et Lavezzi (France, Corse-du-Sud). *Biocosme mésogéen* 26(1): 1–56.
- Cognetti G and Maltagliati F (2000) Biodiversity and adaptative mechanisms in Brackish Water Fauna. *Marine Pollution Bulletin* 40(1): 7–14.

- Conchon O (1985) Le Quaternaire littoral de Corse : nouvelles données. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire* 22(1): 13–20. doi:10.3406/quate.1985.1522
- Conchon O (1999) Le littoral de Corse (France) au Quaternaire. *Quaternaire* 10(2): 95–105. doi:10.3406/quate.1999.1634
- Connor SE, van Leeuwen JFN, Rittenour TM, van der Knaap WO, Ammann B and Björck S (2012) The ecological impact of oceanic island colonization – a palaeoecological perspective from the Azores. *Journal of Biogeography* 39(6): 1007–1023. doi:10.1111/j.1365-2699.2011.02671.x
- Coope GR (1978) Constancy of insect species versus inconstancy of Quaternary environments. In: Mound LA, Waloff N (Eds.), *Diversity of insect faunas*, Symposia of the Royal Entomological Society of London, 9. Blackwell, Oxford, pp. 176–187.
- Coope GR (1986) Coleoptera analysis. In: Berglund BE (Ed.) *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Wiley & Sons, Chichester, pp. 703–713.
- Costa L-J (2004) *Corse Préhistorique : Peuplement d'une île et modes de vie des sociétés insulaires (IXe-IIe millénaires av. J.-C.)*. Editions Errance, Paris, 192 pp.
- Costa L-J (2006) Récents acquis sur la circulation préhistorique de l'obsidienne en Corse. *Bulletin de la Société préhistorique française* 103(1): 71–85.
- Croudace IW, Rindby A and Rothwell RG (2006) ITRAX: description and evaluation of a new multi-function X-ray core scanner. In: Rothwell GR (Ed.), *New Techniques in Sediment Core Analysis*. Geological Society of London 267, London, UK, pp. 51–63.
- Currás A, Ghilardi M, Pêche-Quilichini K, Fagel N, Vacchi M, Delanghe D, et al. (2016) Reconstructing past landscapes of the eastern plain of Corsica (NW Mediterranean) during the last 6000 years based on molluscan, sedimentological and palynological analyses. *Journal of Archaeological Science: Reports* 12: 741–754. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.09.016>.

D

- Davison W (1993) Iron and manganese in lakes. *Earth-Science Reviews* 34(2): 119–163. doi:10.1016/0012-8252(93)90029-7
- de Beaulieu J-L (1977) *Contribution pollenanalytique à l'histoire tardiglaciaire et Holocène de la végétation des Alpes méridionales françaises*. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille III, 358 pp.

- de Beaulieu J-L, Miras Y, Andrieu-Ponel V and Guiter F (2005) Vegetation dynamics in north-western Mediterranean regions: Instability of the Mediterranean bioclimate. *Plant Biosystems* 139(2): 114–126.
- de Lanfranchi F (1980) L'obsidienne préhistorique corso-sarde : les échanges et les axes de circulation. *Bulletin de la Société préhistorique française* 77(4): 115–122.
- de Lanfranchi F (1987–1988) L'alimentation des hommes préhistoriques, préparation et consommation de quelques espèces végétales. *Archeologia Corsa* 12-13: 46–53.
- de Lanfranchi F (1998) Prénéolithique ou Mésolithique insulaire ? *Bulletin de la Société préhistorique française* 95(4): 537–545.
- de Lanfranchi F (2012) Le Néolithique moyen de Presa (Altagène). In: Cesari J, Leandri F, Maliet V (Eds.), *20 années de recherche sur la préhistoire récente, Stantari : histoire naturelle & culturelle de la Corse*, 29, Bastia, Kyrnos publications, pp. 28–29.
- de Lanfranchi F and Weiss M-C (1973) *La civilisation des corses. Les origines*. Ajaccio, Edition Cyrnos et Méditerranée, 100 pp.
- de Lanfranchi F and Marival P (1985) Etude paléocarpologique et archéologique de sédiments provenant d'« abri » de l'Âge du Bronze du Castellu de Cucuruzzu (Lévie, Corse). *Archeologia Corsa, Etudes et Mémoires* (1983-84) 8-9: 67–72.
- de Nascimento L, Willis KJ, Fernández-Palacios JM, Criado C and Whittaker RJ (2009) The long-term ecology of the lost forests of La Laguna, Tenerife (Canary Islands). *Journal of Biogeography* 36(3): 499–514. doi:10.1111/j.1365-2699.2008.02012.x
- de Nascimento L, Nogué S, Criado C, Ravazzi C, Whittaker RJ, Willis KJ, et al. (2016) Reconstructing Holocene vegetation on the island of Gran Canaria before and after human colonization. *The Holocene* 26(1): 113–125. doi:10.1177/0959683615596836
- Delobel A and Delobel B (2003) Les plantes hôtes des bruches (Coleoptera Bruchidae) de la faune de France, une analyse critique. *Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon* 72(6): 199–221.
- Desprats JF (2010) *Analyse statistique de paramètres morphologiques et climatiques sur les bassins versants de la Corse – Mise en place du SIG au niveau régional*. Rapport de synthèse RP-58567-FR, 35 pp., 20 ill.
- Di Rita F and Magri D (2012) An overview of the Holocene vegetation history from the central Mediterranean coasts. *Journal of Mediterranean Earth Sciences* 4: 35–52. doi:10.3304/JMES.2012.003

- Di Rita F and Melis RT (2013) The cultural landscape near the ancient city of Tharros (central West Sardinia): vegetation changes and human impact. *Journal of Archaeological Science* 40: 4271–4282. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2013.06.027>
- Dinnin MH and Sadler JP (1999) 10,000 years of change: the Holocene entomofauna of the British Isles. In: Edwards KJ, Sadler JP (Eds.), *Holocene environments of prehistoric Britain*. Quaternary Proceedings 7, Wiley J & Sons, Chichester, UK, pp. 545–562.
- Direction régionale des affaires culturelles Corse (DRAC-Corse), Service régional de l'archéologie (2015). *Bilan scientifique de la région Corse 2012-2013*. Ministère de la culture et de la communication. L'estampile & Couleurs imprimeurs, Marseille, 99 pp.
- Direction régionale des affaires culturelles Corse (DRAC-Corse), Service régional de l'archéologie (2016). *Bilan scientifique de la région Corse 2014-2015*. Ministère de la culture et de la communication. L'estampile & Couleurs imprimeurs, Marseille, 123 pp.
- Dixon P (2003) VEGAN, a package of R functions for community ecology. *Journal of Vegetation Science* 14(6): 927–930.
- Dubar M, Bui-Thi M and Girard M (2011) Evolution de la végétation littorale de la Côte d'Azur (Var et Alpes-Maritimes, France) en relation avec les derniers stades de la remontée du niveau marin à l'Holocène. Esquisse d'un modèle Quaternaire. *Quaternaire* 22(1): 61–71. doi:10.4000/quaternaire.5847

E

- Edel JB, Dubois D, Marchant R, Hernandez J and Cosca M (2001) La rotation miocène inférieur du bloc corso-sarde. Nouvelles contraintes paléomagnétiques sur la fin du mouvement. *Bulletin de la Société Géologique de France* 172(3): 275–283.
- Elias SA (2007) Beetle records: overview. In: Elias SA (Ed.), *Encyclopedia of Quaternary Science* 1, Elsevier, pp. 153–163.
- Erber D and Hinterseher W (1988) Contribution to the knowledge of the Madeira beetles. *Boletim do Museu Municipal do Funchal* 40(202): 139–214.
- Erber D and Franquinho Aguiar AM (1996) New and remarkable species of the Coleopterous fauna of Madeira. *Boletim do Museu Municipal do Funchal* 48(265): 41–62.

F

- Faegri K and Iversen J (1989) *Textbook of Pollen Analysis (4th edn)*. John Wiley and Sons, New York, 328 pp.
- Fernández-Palacios JM, Rijdsdijk KF, Norder SJ, Otto R, de Nascimento L, Fernández-Lugo S, et al. (2016) Towards a glacial-sensitive model of island biogeography. *Global Ecology and Biogeography* 25(7): 817–830. doi:10.1111/geb.12320
- Fineschi S, Cozzolino S, Migliaccio M, Musacchio A, Innocenti M and Vendramin GG (2005) Sicily represents the Italian reservoir of chloroplast DNA diversity of *Quercus ilex* L. (Fagaceae). *Annals of Forest Science* 62(1): 79–84.
- Finsinger W, Tinner W, van der Knaap WO and Ammann B (2006) The expansion of hazel (*Corylus avellana* L.) in the southern Alps: a key for understanding its early Holocene history in Europe? *Quaternary Science Reviews* 25(5-6): 612–631. doi:10.1016/j.quascirev.2005.05.006
- Firbas F (1954) Die Synchronisierung der mitteleuropäischen Pollendiagramme. *Danmarks Geologiske Undersøegelse II* 80: 12–21.
- Flenley JR, King ASM, Jackson J, Chew C, Teller JT and Prentice ME (1991) The Late Quaternary vegetational and climatic history of Easter Island. *Journal of Quaternary Science* 6(2): 85–115. doi:10.1002/jqs.3390060202
- Francus P, Lamb H, Nakagawa T, Marshall M, Brown E and Suigetsu 2006 Project Members (2009) The potential of high-resolution X-ray fluorescence core scanning: Applications in paleolimnology. *PAGES news* 17(3): 93–96.
- Froyd CA and Willis KJ (2008) Emerging issues in biodiversity & conservation management: The need for a palaeoecological perspective. *Quaternary Science Reviews* 27(17-18): 1723–1732. doi:10.1016/j.quascirev.2008.06.006

G

- Galassi G and Spada G (2014) Sea-level rise in the Mediterranean Sea by 2050: roles of terrestrial ice melt, steric effects and glacial isostatic adjustment. *Global and Planetary Change* 123:55–66. doi:10.1016/j.gloplacha.2014.10.007
- Gamisans J (1981) Hêtre, Sapin, Bouleau et Pin laricio en Corse. *Revue forestière française* 33(4): 259–277.
- Gamisans J (1999) *La végétation de la Corse*. Edisud, Aix-en-Provence, 391 pp.

- Gandouin E, Maasri A, Van Vliet-Lanoë B and Franquet E (2006) Chironomid (Insecta: Diptera) assemblages from a gradient of lotic and lentic waterbodies in river floodplains of France: a methodological tool for paleoecological applications. *Journal of Paleolimnology* 35(1): 149–166. doi:10.1007/s10933-005-8149-4
- Garrido J, Pérez-Bilbao A and João Benetti C (2011) Biodiversity and conservation of coastal lagoons. In: Grillo O, Venora G (Eds.), *Ecosystems biodiversity*. Intech open, Croatie, pp. 1–28.
- Gattacceca J, Deino A, Rizzo R, Jones DS, Henry B, Beaudoin B, et al. (2007) Miocene rotation of Sardinia: New paleomagnetic and geochronological constraints and geodynamic implications. *Earth and Planetary Science Letters* 258(3-4): 359–377.
- Ghilardi M, Istria D, Currás A, Vacchi M, Contreras D, Vella C, et al. (2016) Reconstructing the landscape evolution and the human occupation of the Lower Sagone River (Western Corsica, France) from the Bronze Age to the Medieval period. *Journal of Archaeological Science: Reports* 12: 741–754. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.07.009>
- Ghilardi M, Delanghe D, Demory F, Leandri F, Pêche-Quilichini K, Vacchi M, et al. (2017) Enregistrements d'événements extrêmes et évolution des paysages dans les basses vallées fluviales du Taravo et du Sagone (Corse occidentale, France) au cours de l'âge du Bronze moyen à final : une perspective géoarchéologique. *Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement* 23(1): 15–35. doi:10.4000/geomorphologie.11625
- Gilabert C, Leandri F, Jorda C, Assous-Plunian M, Demouche F, Bellot-Gurlet L, et al. (2011) Le site du Monte Revincu : nouvelles données sur un village néolithique moyen du nord de la Corse. In : Bonnardin S, Perrin T, Sénépart I et al. (Eds.), *Marges, frontières et transgressions*, actes des 8^e Rencontres méridionales de Préhistoire récente (Marseille, 7-8 Novembre 2008), Toulouse, France, Archives d'Ecologie Préhistorique, pp. 283–298.
- Guidicelli J (1975) Analyse de l'endémisme dans la faune des eaux courantes de la Corse. *Ecologia Mediterranea* 1: 133–147.
- Guicherd P (1994) Water relations of European silver fir (*Abies alba* Mill) in 2 natural stands in the French Alps subject to contrasting climatic conditions. *Annales des sciences forestières* 51(6): 599–611. doi:10.1051/forest:19940606
- Guignot F (1947) *Coléoptères Hydrocanthares, Faune de France* 48. Paul Lechevalier, Paris, 286 pp.

H

- Harfouche R and Poupet P (2013) Approche pédoarchéologique des espaces de production agricole à l'âge du Bronze dans les montagnes méditerranéennes (exemples des Pyrénées-Orientales et de la Haute-Corse, France). *Préhistoires méditerranéennes* 4. <http://pm.revues.org/748>
- Hewitt S (2002) *River response to Late Quaternary environmental change in Corsica*. PhD Thesis, University of Leeds, 268 pp.
- Hill MO and Gauch Jr. HG (1980) Detrended correspondence analysis: An improved ordination technique. *Vegetatio* 42(1-3):47–58.
- Hoffman A (1950) *Coléoptères Curculionides (première partie)*. *Faune de France* 52. Librairie de la Faculté des Sciences, Paris, 486 pp.
- Hoffman A (1954) *Coléoptères Curculionides (deuxième partie)*. *Faune de France* 59. Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles, Paris, 1208 pp.
- Hoffman A (1958) *Coléoptères Curculionides (troisième partie)*. *Faune de France* 62. Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles, Paris, 1839 pp.

I

- Istria D (2012) *Le Moyen Age en Corse*. Centre régional de Documentation Pédagogique de Corse, France, 82 pp.

J

- Jahns S and van den Bogaard C (1998) New palynological and tephrostratigraphical investigations of two salt lagoons on the island of Mljet, south Dalmatia, Croatia. *Vegetation History and Archaeobotany* 7(4): 219–234.
- Jalali B, Sicre M-A, Bassetti M-A and 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, et al. (2017) High-resolution Holocene climate and hydrological variability from two major Mediterranean deltas (Nile and Rhone). *The Holocene* 27(8): 1–11. doi:10.1177/0959683616683258
- Jalut G, Esteban Amat A, Riera i Mora S, Fontugne M, Mook R, Bonnet L, et al. (1997) Holocene climatic changes in the western Mediterranean: installation of the Mediterranean climate.

Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Sciences de la terre et des planètes 325: 327–334

Jalut G, Dedoubat JJ, Fontugne M and Otto T (2009) Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: Climate forcing and human impact. *Quaternary International* 200: 4–18.

Jeannel R (1941) *Coléoptères Carabiques première partie. Faune de France* 39. Paul Lechevalier et Fils, Paris, 571 pp.

Jeannel R (1942) *Coléoptères Carabiques deuxième partie. Faune de France* 40. Paul Lechevalier et Fils, Paris, 1173 pp.

Jehasse O (1986) *Corsica Classica*. La Marge édition, Ajaccio, 186 pp.

Jehasse O and Nucci F (2000) *Les voies romaines de Corse*. Étude réalisée pour le compte de la collectivité territoriale de Corse-programme interreg IIC : les voies romaines en Méditerranée, Labiana/idim de l'Université de Corse, 48 pp.

Jouffroy-Bapicot I, Vannière B, Iglesias V, Debret M and Delarras J-F (2016) 2000 years of grazing history and the making of the Cretan mountain landscape, Greece. *PLoS ONE* 11(6): e0156875. doi:10.1371/journal.pone.0156875

Jowsey PC (1966) An improved peat sampler. *New Phytologist* 65(2): 245–248. doi:10.1111/j.1469-8137.1966.tb06356.x

Juggins S (2012) The rioja package: Analysis of Quaternary Science Data. R package, version 0.7-3. <http://cran.r-project.org/package=rioja>

K

Khadari B, Grout C, Santoni S and Kjellberg F (2005) Contrasted genetic diversity and differentiation among Mediterranean populations of *Ficus carica* L.: A study using mtDNA RFLP. *Genetic Resources and Crop Evolution* 52(1): 97–109.

Koch K (1989) *Die Käfer Mitteleuropas, Ökologie 1*. Goecke and Evers, Krefeld, 440 pp.

L

Laborel J, Morhange C, Lafont R, Le Campion J, Laborel-Deguen F and Sartoretto S (1994) Biological evidence of sea-level rise during the last 4500 years on the rocky coasts of continental southwestern France and Corsica. *Marine Geology* 120: 203–223. doi:10.1016/0025-3227(94)90059-0

- Lambeck K and Bard E (2000) Sea-level change along the French Mediterranean coast for the past 30 000 years. *Earth and Planetary Science Letters* 175: 203–222.
- Lambeck K and Purcell A (2005) Sea-level change in the Mediterranean Sea since the LGM: model predictions for tectonically stable areas. *Quaternary Science Reviews* 24(18): 1969–1988. doi:10.1016/j.quascirev.2004.06.025
- Lawson IT, Gathorne-Hardy FJ, Chruch MJ, Newton AJ, Edwards KJ, Dugmore AJ, et al. (2007) Environmental impact of the Norse settlement: palaeoenvironmental data from Mývatnssveit, northern Iceland. *Boreas* 36(1): 1–19. doi:10.1080/03009480600827298
- Le Bourdonnec F-X, Bontempi JM, Marini N, Mazet S, Neuville PF, Poupeau G, et al. (2010) SEM-EDS characterization of western Mediterranean obsidians and the Neolithic site of A Fuata (Corsica). *Journal of Archaeological Science* 37(1): 92–106. doi:10.1016/j.jas.2009.09.016
- Le Bourdonnec F-X, Poupeau G, Lugliè C, D’Anna A, Bellot-Gurlet L, Bressy-Leandri CS, et al. (2011) New data and provenance of obsidian blocks from Middle Neolithic contexts on Corsica (western Mediterranean). *Comptes Rendus Palevol* 10(4): 259–269. doi:10.1016/j.crpv.2011.01.001
- Leandri F (2000) Note sur la fouille du Monte Revincu et les prospections dans le Nebbio et les Agriates. *Préhistoire Anthropologie Méditerranéennes* 9: 113–121.
- Leandri F, Gilabert C, Demouche F, Jorda C and Vella M-A (2012a) Le site du Monte Revincu (Santo-Pietro-di-Tenda). In: Cesari J, Leandri F, Maliet V (Eds.), *20 années de recherche sur la préhistoire récente, Stantari : histoire naturelle & culturelle de la Corse*, 29, Bastia, Kyrnos publications, pp. 30–32.
- Leandri F, Gilabert C, Jorda C and Vella M-A (2012b) Le site de Mamucci sur le plateau de Capu Castincu (Santo-Pietro-di-Tenda). In: Cesari J, Leandri F, Maliet V (Eds.), *20 années de recherche sur la préhistoire récente, Stantari : histoire naturelle & culturelle de la Corse*, 29, Bastia, Kyrnos publications, pp. 59–60.
- Leys B, Finsinger W and Carcaillet C (2014) Historical range of fire frequency is not the Achilles’ heel of the Corsican black pine ecosystem. *Journal of Ecology* 102(2): 381–395. doi:10.1111/1365-2745.12207
- Losos JB and Ricklefs RE (2009) *The Theory of Island Biogeography Revisited*. Princeton: Princeton University Press, 496 pp.
- Lumaret R, Mir C, Michaud H and Raynal V (2002) Phylogeographical variation of chloroplast DNA in holm oak (*Quercus ilex* L.). *Molecular Ecology* 11(11): 2327–2336.

M

- Magdeleine J (1984) Les premières occupations humaines de l'abri de Strette. *Archeologia Corsa*, études et mémoires 8-9: 30–50.
- Magny M, de Beaulieu J-L, Drescher-Schneider R, Vannière B, Walter-Simonnet A-V, Miras Y, et al. (2007) Holocene climate changes in the central Mediterranean as recorded by lake-level fluctuations at Lake Accessa (Tuscany, Italy). *Quaternary Science Reviews* 26(13-14): 1736–1758. doi:10.1016/j.quascirev.2007.04.014
- Magny M, Combourieu-Nebout N, de Beaulieu J-L, Bout-Roumazeilles V, Colombaroli D, Desprat S, et al. (2013) North–south palaeohydrological contrasts in the central Mediterranean during the Holocene: tentative synthesis and working hypotheses. *Climate of the Past* 9: 2043–2071. doi:10.5194/cp-9-2043-2013
- Marchesi H, Leandri F and Magdeleine J (1995) Inventaire des mégalithiques de Haute-Corse. *ADLFI. Archéologie de la France – Informations* 265. <http://adlfi.revues.org/19045>
- Marco-Barba J, Holmes JA, Mesquita-Joanes F and Miracle MR (2013) The influence of climate and sea-level change on the Holocene evolution of a Mediterranean coastal lagoon: Evidence from ostracod palaeoecology and geochemistry. *Geobios* 46: 409–421. doi:10.1016/j.geobios.2013.05.003
- Marcos M, Jord  G and Le Cozannet G (2016) Sea level rise and its impacts on the Mediterranean. In: Thi bault S, Moatti J-P (Eds.), *The Mediterranean region under climate change: a scientific update*. Marseille: IRD; AllEnvi, pp. 265–275.
- Marignani M, Bruschi D, Garcia DA, Frondoni R, Carli E, Pinna MS, et al. (2017) Identification and prioritization of areas with high environmental risk in Mediterranean coastal areas: A flexible approach. *Science of the Total Environment* 590-591: 566–578.
- Martinoy M, Boix D, Sala J, Gasc  S, Gifre J, Argerisch A, et al. (2006) Crustacean and aquatic insect assemblages in the Mediterranean coastal ecosystems of Empord  wetlands (NE Iberian Peninsula). *Limnetica* 25(3): 665–682.
- Maselli V and Trincardi F (2013) Man made deltas. *Scientific Reports* 3: 1926. doi:10.1038/srep01926
- Mazet S (2006) *Les enceintes pr - et protohistoriques de Corse – essai de comparaison avec quelques sites de Toscane*. Thèse de doctorat, Université Pascal Paoli, 789 pp.

- Mazet S, Bontempi J-M and Marini N (2012) L'abri des Castelli (Corte). *In: Cesari J, Leandri F, Maliet V (Eds.), 20 années de recherche sur la préhistoire récente, Stantari : histoire naturelle & culturelle de la Corse*, 29, Bastia, Kyrnos publications, pp. 36–38.
- Médail F and Quézel P (1997) Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean Basin. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 84(1): 112–127. doi:10.2307/2399957
- Médail F and Verlaque R (1997) Ecological characteristics and rarity of endemic plants from southeast France and Corsica: implications for biodiversity conservation. *Biological Conservation* 80(3), 269–281.
- Médail F and Myers N (2004) Mediterranean Basin. *In: Mittermeier RA, Robles Gil P, Hoffmann M, Pilgrim J, Brooks T, Mittermeier CG, et al. (Eds.), Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*. CEMEX (Monterrey), Conservation International (Washington), Agrupación Sierra Madre (Mexico), pp. 144–147.
- Médail F and Diadema K (2009). Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. *Journal of Biodiversity* 36(7): 1333–1345. doi:10.1111/j.1365-2699.2008.02051.x
- Médail F, Ponel P, Brousset L, Poher Y and Master SET SBEM students (Aix Marseille University) (2014) *Contributions à l'inventaire de la biodiversité terrestre de l'île de Cavallo (Archipel Lavezzi, Bonifacio, Corse du Sud)*. Note naturaliste, Initiative pour les Petites Îles de Méditerranée (PIM), 82 pp. www.initiative-pim.org/document/55542
- Médail F, Ponel P, Rivière V and Master SET SBEM students (Aix Marseille University) (2015) *Contributions à l'inventaire des arthropodes terrestres et aquatiques sur l'île de Cavallo (Archipel Lavezzi, Bonifacio, Corse du Sud)*. Note naturaliste, Initiative pour les Petites Îles de Méditerranée (PIM), 22 pp. www.initiative-pim.org/document/79864
- Mercuri AM, Bandini Mazzanti M, Florenzano A, Montecchi MC and Rattighieri E (2013) *Olea, Juglans and Castanea*: The OJC group as pollen evidence of the development of human-induced environments in the Italian peninsula. *Quaternary International* 303: 24–42. doi:10.1016/j.quaint.2013.01.005.
- Mercury F-N (2013) *Bergers de Corse et pastoralisme en Méditerranée*. www.francois-noel-mercury.fr
- Mesléard F and Lepart J (1991) Germination and seedling dynamics of *Arbutus unedo* and *Erica arborea* on Corsica. *Journal of Vegetation Science* 2(2): 155–164.

- Mieth A and Bork H-R (2010) Humans, climate or introduced rats – which is to blame for the woodland destruction on prehistoric Rapa Nui (Easter Island)? *Journal of Archaeological Science* 37(2): 417–426. doi:10.1016/j.jas.2009.10.006
- Migliore J, Baumel A, Juin M and Médail F (2012) From Mediterranean shores to central Saharan mountains: key phylogeographical insights from the genus *Myrtus*. *Journal of Biogeography* 39(5): 942–956. doi:10.1111/j.1365-2699.2011.02646.x
- Miramont C, Jorda M and Pichard G (1998) Évolution historique de la morphogénèse et de la dynamique fluviale d'une rivière méditerranéenne : l'exemple de la moyenne Durance (France du sud-est). *Géographie physique et Quaternaire* 52(3): 381–392. doi:10.7202/004855ar
- Morhange C, Laborel J and Hesnard A (2001) Changes of relative sea level during the past 5000 years in the ancient harbor of Marseilles, Southern France. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 166(3-4): 319–329.
- Moreno A, Pérez A, Frigola J, Nieto-Moreno V, Rodrigo-Gámiz M, Martrat B, et al. (2012) The Medieval Climate Anomaly in the Iberian Peninsula reconstructed from marine and lake records. *Quaternary Science Reviews* 43, 16–32. doi:10.1016/j.quascirev.2012.04.007
- Moubayed-Breil J, Verlaque M, Dominici J-M and Bianconi C-H (2013) Zones estuariennes de Corse : Données faunistiques, écologiques et biogéographiques. *Travaux de l'Institut Scientifique, Rabat, Série Zoologie*, 49: 43–58.

N

- Norstedt G, Bader P and Ericson L (2001) Polypores as indicators of conservation value in Corsican pine forests. *Biological Conservation* 99(3): 347–354. doi:10.1016/S0006-3207(00)00220-2
- Noti R, van Leeuwen JFN, Colombaroli D, Vescovi E, Pasta S, La Mantia T, et al. (2009) Mid- and late-Holocene vegetation and fire history at Biviere di Gela, a coastal lake in southern Sicily, Italy. *Vegetation History and Archaeobotany* 18(5): 371–387.

O

- Orousset J (2007) Coléoptères hypogés de Corse. XXXIV. La faune de l'archipel des Lavezzi (Coleoptera). *Bulletin de la Société entomologique de France* 112(4): 413–426.
- Orousset J (2013) Coléoptères hypogés de Corse. XLI. La faune du désert des Agriates (Coleoptera, Staphylinidae, Zopheridae). *Bulletin de la Société entomologique de France* 118(2): 243–256.

Orsini JB, Coulon C and Coccozza T (1980) La dérive cénozoïque de la Corse et de la Sardaigne. *Géologie Alpine* 56: 169–202.

Osborne PJ (1988) A late bronze age insect fauna from the river Avon, Warwickshire, England: Its implications for the terrestrial and fluvial environment and for climate. *Journal of Archaeological Science* 15(6): 715–727. doi:10.1016/0305-4403(88)90061-1

Osborne PJ (1997) Insects, man, and climate in the British Holocene. In: Ashworth AC, Buckland PC, Sadler JP (Eds.), *Studies in Quaternary Entomology - An Inordinate Fondness for Insects: Quaternary Proceedings* 5, pp. 193–198.

P

Pace A (2004) The building of megalithic Malta. In: Cilia D (Ed.), *Malta before History: The world's oldest free-standing stone architecture*. Miranda Books, Malta, pp. 19–40.

Paradis G, Lorenzoni C and Piazza C (1994) Flore et végétation de l'île Piana (réserve des Lavezzi, Corse du Sud). *Travaux scientifiques du Parc naturel régional et des Réserves naturelles de la Corse* 50: 1–87.

Paradis G, O'Deye-Guizien K and Piazza C (2013) Etude floristique, phytosociologique et cartographique des zones humides de Saleccia (Agiate, Corse). *Journal de Botanique de la Société botanique de France* 63: 15–24.

Pasquet A and Demouche F (2012) La punta di Canoscione (Monacia-d'Aullène). In: Cesari J, Leandri F, Maliet V (Eds.), *20 années de recherche sur la préhistoire récente, Stantari : histoire naturelle & culturelle de la Corse*, 29, Bastia, Kyrnos publications, pp. 8–9.

Paulian R and Baraud J (1982) *Faune des Coléoptères de France, vol. 2. Lucanoidea et Scarabaeoidea. Encyclopédie Entomologique* 43. Editions Lechevalier S.A.R.L., Paris. 477 pp.

Pêche-Quilichini K (2012) Le Bronze final et le premier âge du Fer de la Corse, chronologie, production céramique et espaces culturels. *Acta Archaeologica* 83: 203–223.

Pêche-Quilichini K and Leandri F (2012) L'âge du Fer en Corse : un passé à l'imparfait ? Etat de la recherche, travaux récents, acquis et perspectives. In: Pêche-Quilichini KP (Ed.), *L'âge du Fer en Corse – Acquis et perspectives*, actes de la Table-ronde de Serra-di-Scopamena (Serra-di-Scopamena, 7 août 2009), France, Associu Cuciurpula, pp. 7–12.

Pérez-Obiol R, Jalut G, Julià R, Pèlachs A, Iriarte MJ, Otto T, et al. 2011. Mid-Holocene vegetation and climatic history of the Iberian Peninsula. *The Holocene* 21(1): 75–93. doi:10.1177/0959683610384161

- Péricart J (1998) *Faune de France 84 B, Hémiptères Lygaeidae euro-méditerranéens, volume 2*. Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles, Paris, 453 pp.
- Péricart J and Tempere G (1972) Nouvelles notes sur les Curculionides de Corse (Col.). *L'Entomologiste* 28: 9–20.
- Peyron O, Goring S, Dormoy I, Kotthoff U, Pross J, de Beaulieu J-L, et al. (2011) Holocene seasonality changes in the central Mediterranean region reconstructed from the pollen sequences of Lake Accessa (Italy) and Tenaghi Philippon (Greece). *The Holocene* 21(1): 131–147. doi:10.1177/0959683610384162
- Pia Rota M and Cancellieri JA (2001) *De la nature à l'histoire, les forêts de la Corse*. Editions Alain Piazzola, Ajaccio, 159 pp.
- Pieretti A (1951) En Corse : le désert des Agriates. Contribution à l'étude des rapports de l'homme et du sol dans les régions côtières méditerranéennes. *Revue de géographie de Lyon* 26(2): 155–164.
- Pirisinu Q (1981) Palpicorini (Coleoptera: Hydraenidae, Helophoridae, Hydrophilidae, Sperchidae, Hydrochidae, Spheridiidae). In: *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Rome, 97 pp.
- Poisson R (1957) *Faune de France 61, Hétéroptères aquatiques*. Paul Lechevalier, Paris, 263 pp.
- Pons A and Quézel P (1998) À propos de la mise en place du climat méditerranéen. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 327: 755–760.
- Prebble M and Wilmshurst JM (2009) Detecting the initial impact of humans and introduced species on island environments in Remote Oceania using palaeoecology. *Biological Invasions* 11(7): 1529–1556. doi:10.1007/s10530-008-9405-0

R

- R Development Core Team R (2011) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org>
- Rackham O and Moody J (1996) *The making of the Cretan landscape*. Manchester University Press: Manchester, UK, 237 pp.
- Réhault JP, Boillot G and Mauffret A (1984) The western Mediterranean Basin geological evolution. *Marine Geology* 55: 447–477.
- Reille M (1975) *Contribution pollenanalytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation de la montagne corse*. Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille III, 206 pp.

- Reille M (1977) Analyse pollinique de la tourbière du plateau d'Ovace (montagne de Cagna, Corse). *Ecologia Mediterranea* 3: 159–166.
- Reille M (1984) Origine de la végétation actuelle de la Corse sud-orientale ; analyse pollinique de cinq marais côtiers. *Pollen et Spores*, 26(1): 43–60.
- Reille M (1988a) Analyse pollinique des premières carottes sous-lacustres de lac de haute altitude en Corse. *Compte rendu de l'Académie des Sciences de Paris* 306(2): 617–620.
- Reille M (1988b) Recherches pollenanalytiques sur le littoral occidental de Corse, région de Galéria : la place naturelle d'*Erica arborea* et de *Quercus ilex*. *Travaux scientifiques du Parc naturel régional et des réserves naturelles de Corse* 18: 53–75.
- Reille M (1988c) Recherches pollenanalytiques dans le cap Corse : analyse pollinique du marais de Barcaggio. *Travaux scientifiques du Parc naturel régional et des réserves naturelles de Corse* 18: 77–92.
- Reille M (1992) New pollen-analytical researches in Corsica: the problem of *Quercus ilex* L. and *Erica arborea* L., the origin of *Pinus halepensis* Miller forests. *New Phytologist* 122(2): 359–378.
- Reille M (1997) *Analyse pollinique des tourbières de Valdo et Baglietto, commune de Moltifao, Haute Corse*. Rapport scientifique (Document interne/ Programme LIFE/ Office de l'Environnement de la Corse), 8 pp.
- Reille M (1999) *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord, second édition*. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille, 535 pp.
- Reille M and Burr G-S (1997) Au cœur du plus grand peuplement mégalithique de Corse : les conséquences botaniques de l'anthropisation, de 6800 B.P. à l'actuel. *XVème Symposium de l'Association des Palynologues de Langue Française* (Lyon 1-3 Septembre), pp. 49.
- Reille M, Gamsans J, de Beaulieu J-L and Andrieu V (1997) The late-glacial at Lac de Creno (Corsica, France): a key site in the western Mediterranean basin. *New Phytologist* 135(3): 547–559.
- Reille M, Gamsans J, Andrieu-Ponel V and de Beaulieu J-L (1999) The Holocene at Lac de Creno, Corsica, France: a key site for the whole island. *New Phytologist* 141(2): 291–307.
- Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, et al. (2013) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55(4): 1869–1887. doi:10.2458/azu_js_rc.55.16947

- Ribera I, Bilton DT, Aguilera P and Foster GN (1996) A North African-European transition fauna: water beetles (Coleoptera) from the Ebro Delta and other Mediterranean coastal wetlands in the Iberian Peninsula. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 6(3): 121–140.
- Richard F, Selosse M-A and Gardes M (2009) Facilitated establishment of *Quercus ilex* in shrub-dominated communities within a Mediterranean ecosystem: do mycorrhizal partners matter? *FEMS Microbiology Ecology* 68(1): 14–24. doi:10.1111/j.1574-6941.2009.00646.x
- Roberts N, Stevenson AC, Davis B, Cheddadi R, Brewer S and Rosen A (2004) Holocene climate, environment and cultural change in the circum-Mediterranean region. In: Battarbee RW, Gasse F, Stickley C (Eds.), *Past Climate Variability through Europe and Africa*. Kluwer, Dordrecht, pp. 343–362.
- Roberts N, Brayshaw D, Kuzucuoğlu C, Perez R and Sadori L (2011) The mid-Holocene climatic transition in the Mediterranean: Causes and consequences. *The Holocene* 21(1): 3–13. doi:10.1177/0959683610388058
- Rome S and Giorgetti J-P (2007) La montagne corse et ses caractéristiques climatiques. *La Météorologie* 59: 39–50.
- Ruas M-P and Vigne J-D (1995) Perspectives archéobotaniques et archéozoologiques pour les périodes historiques en Corse. In: *Patrimoine d'une île/Patrimoniu isulanu 1*. Ajaccio : Société d'archéologie de Corse-du-Sud, pp. 113–126.
- Rull V, Lara A, Rubio-Inglés MJ, Giralt S, Gonçalves V, Raposeiro P, et al. (2017) Vegetation and landscape dynamics under natural and anthropogenic forcing on the Azores Islands: A 700-year pollen record from the São Miguel Island. *Quaternary Science Reviews* 159: 155–168. doi:10.1016/j.quascirev.2017.01.021

S

- Sadori L and Giardini M (2007) Charcoal analysis, a method to study vegetation and climate of the Holocene: The case of Lago Pergusa (Sicily, Italy). *Geobios* 40(2): 173–180. doi:10.1016/j.geobios.2006.04.002
- Sadori L, Jahns S and Peyron O (2011) Mid-Holocene vegetation history of the central Mediterranean. *The Holocene* 21(1): 117–129. doi:10.1177/0959683610377530
- Sainte-Claire Deville J (1906–1914) *Catalogue critique des Coléoptères de la Corse*. Caen, imprimerie Adeline Poisson et Cie, 580 pp.

- Sainte-Claire Deville J (1921) Catalogue critique des Coléoptères de la Corse. 2^e supplément. *Annales de la Société entomologique de France* 89: 377–404.
- Sainte-Claire Deville J (1926) Catalogue critique des Coléoptères de la Corse. 3^e supplément. *Annales de la Société entomologique de France* 95: 127–128.
- Samartin S, Heiri O, Joos F, Renssen H, Franke J, Brönnimann S, et al. (2017) Warm Mediterranean mid-Holocene summers inferred from fossil midge assemblages. *Nature Geoscience* 10: 207–212. doi:10.1038/ngeo2891
- Samways MJ, Ponel P, and Andrieu-Ponel V (2006) Paleobiodiversity emphasizes the importance of conserving landscape heterogeneity and connectivity. *Journal of Insect Conservation* 10: 215–218. doi:10.1007/s10841-005-6421-6
- San Roman Sanz A, Fernandez C, Mouillot F, Ferrat L, Istria D, Pasqualini V (2013) Long-term forest dynamics and land-use abandonment in the Mediterranean mountains, Corsica, France. *Ecology and Society* 18(2): 38. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05556-180238>
- Schaefer L (1954) Observations sur la biologie et l'hôte de l'*Aurigena unicolor* Ol. en France (Col., Bupr.). *Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon* 23(2): 51–53.
- Schaefer L (1964) Dix voyages entomologiques en Corse. *Annales de la société d'Horticulture et d'Histoire Naturelle de l'Hérault* 104(2, 3, 4): 104–119, 185–203, 269–286.
- Schallenberg M, Hall CJ and Burns CW (2003) Consequences of climate-induced salinity increases on zooplankton abundance and diversity in coastal lakes. *Marine Ecology Progress Series* 251: 181–189. doi:10.3354/meps251181
- Schmidt R, Müller J, Drescher-Schneider R, Krisai R, Szeroczyńska K and Barić A (2000) Changes in lake level and trophic at Lake Vrana, a large karstic lake on the Island of Cres (Croatia), with respect to palaeoclimate and anthropogenic impacts during the last approx. 16,000 years. *Journal of Limnology* 59(2): 113–130.
- Schoch HW, Pawlik B and Schweingruber FH (1988) *Botanische Makroreste: ein Atlas zur Bestimmung häufig gefundener und ökologisch wichtiger Pflanzensamen*. Haupt, Bern, 227 pp.
- Sicre M-A, Jalali B, Martrat B, Schmidt S, Bassetti M-A and Kallel N (2016) Sea surface temperature variability in the North Western Mediterranean Sea (Gulf of Lion) during the Common Era. *Earth and Planetary Science Letters*, 456: 124–133. doi:10.1016/j.epsl.2016.09.032
- Simi P (1964) Le climat de la Corse. Ministère de l'Education Nationale, Comité des travaux historiques et scientifiques. *Bulletin de la Section de Géographie* 76: 1–122.

- Simi P (1981) *Précis de géographie physique, humaine, économique, régionale de la Corse*. Collection « Corse d'hier et de demain », Société des Sciences Historiques et Naturelles de la Corse 11. Imprimerie Sammarceli, Bastia, 608 pp.
- Soldati F (2007) *Fauna of France and Corsica, Coleoptera Tenebrionidae (Alleculinae excluded). Systematic catalogue and atlas*. Mémoires de la Société linnéenne de Bordeaux 6. Société linnéenne, Bordeaux, 186 pp.
- Sondaar PY, Sanges M, Kotsakis T and de Boer PL (1986) The Pleistocene deer hunter of Sardinia. *Geobios* 19(1): 14–25.
- Sondaar PY (2000) Early exploration and exploitation of islands. *Tropics* 10(1): 203–230.
- Speranza F, Villa IM, Sagnotti L, Florindo F, Costentino D, Cipollari P, et al. (2002) Age of the Corsica–Sardinia rotation and Liguro–Provençal Basin spreading: new paleomagnetic and Ar/Ar evidence. *Tectonophysics* 347(4): 231–251.
- Stüben PE, Behne L, Floren A, Günther H, Klopstein S, López H, et al. (2010) Canopy fogging in the Canarian laurel forest of Tenerife and La Gomera. *Weevil News (Curculio Institute)* 51: 1–21.
- Szymczak S, Joachimski MM, Bräuning A, Hetzer T and Kuhlemann J (2012) A 560 yr summer temperature reconstruction for the Western Mediterranean basin based on stable carbon isotopes from *Pinus nigra* ssp. *laricio* (Corsica/France). *Climate of the Past* 8: 1737–1749. doi:10.5194/cp-8-1737-2012
- Szymczak S, Hetzer T, Bräuning A, Joachimski MM, Leuschner H-H and Kuhlemann J (2014) Combining wood anatomy and stable isotope variations in a 600-year multi-parameter climate reconstruction from Corsica black pine. *Quaternary Science Reviews* 101: 146–158. doi:10.1016/j.quascirev.2014.07.010

T

- Thérond J (1975) *Catalogue des Coléoptères de la Camargue et du Gard, 1ère partie*. Société d'étude des Sciences Naturelles de Nîmes, Nîmes, 410 pp.
- Thérond J (1976) *Catalogue des Coléoptères de la Camargue et du Gard, 2ème partie*. Société d'étude des Sciences Naturelles de Nîmes, Nîmes, 223 pp.
- Thibault J-C, Cibois A, Prodon R and Pasquet E (2016) Quaternary history of an endemic passerine bird on Corsica Island: Glacial refugium and impact of recent forest regression. *Quaternary Research* 85(2): 271–278. doi:10.1016/j.yqres.2016.01.002

- Thieren Y and Delwaide M (2011) Apport à la connaissance des Pselaphinae de Corse (Coleoptera Staphylinidae). *L'Entomologiste* 67(6) 305–314.
- Thioulouse J, Chessel D, Dolédec S and Olivier J-M (1997) ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing* 7(1): 75–83.
- Tinner W, van Leeuwen JFN, Colombaroli D, Vescovi E, van der Knaap WO, Henne PD, et al. (2009) Holocene environmental and climatic changes at Gorgo Basso, a coastal lake in southern Sicily, Italy. *Quaternary Science Reviews* 28(15-16): 1498–1510. doi:10.1016/j.quascirev.2009.02.001
- Tjallingii R, Statterger K, Wetzel A and Van Phach P (2010) Infilling and flooding of the Mekong River incised valley during deglacial sea-level rise. *Quaternary Science Reviews* 29(11): 1432–1444. doi:10.1016/j.quascirev.2010.02.022
- Tozzi C and Weiss MC (2001) Nouvelles données sur le Néolithique ancien de l'aire corso-toscane. *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 98(3): 445–458.
- Tronquet M (Coord.) (2014) *Catalogue des Coléoptères de France*. Perpignan, Association Roussillonnaise d'Entomologie éd., 1056 pp.
- Trump DH (2002) *Malta: Prehistory and Temples*. Midsea Books, Malta, 319 pp.
- Tykot RH (1966) Obsidian procurement and distribution in the Central and Western Mediterranean. *Journal of Mediterranean Archaeology* 9(1): 39–82.

V

- Vacchi M, Marriner N, Morhange C, Spada G, Fontana A and Rovere A (2016) Multiproxy assessment of Holocene relative sea-level changes in the western Mediterranean: Sea-level variability and improvements in the definition of the isostatic signal. *Earth-Science Reviews* 155: 172–197. doi:10.1016/j.earscirev.2016.02.002
- Valladares L, Gouix N, Van-Meer C, Calmont B and Brustel H (2017) Distribution de *Peltis grossa* (Linnaeus, 1758) en France (Coleoptera, Trogossitidae). *Naturae* 4: 1–9.
- Vannière B, Colombaroli D, Chapron E, Leroux A, Tinner W and Magny M (2008) Climate versus human-driven fire regimes in Mediterranean landscapes: the Holocene record of Lago dell'Accesa (Tuscany, Italy). *Quaternary Sciences Reviews* 27(11-12): 1181–1196. doi:10.1016/j.quascirev.2008.02.011

- Vannière B, Power MJ, Roberts N, Tinner W, Carrión J, Magny M, et al. (2011) Circum-Mediterranean fire activity and climate changes during the mid-Holocene environmental transition (8500-2500 cal. BP). *The Holocene* 21(1): 53–75.
- Vella C and Provansal M (2000) Relative sea-level rise and neotectonic events during the last 6500 yr on the southern eastern Rhône delta, France. *Marine Geology* 170(1-2): 27–39. doi:10.1016/S0025-3227(00)00063-3
- Vella M-A, Tomas E, Thury-Bouvet G and Muller S (2014) Nouvelles données sur le petit âge de glace en Corse : apports de l’analyse croisée des informations géomorphologique, palynologique et archéologique de la pi ve de Santo Pietro (désert de l’Agriate, Corse). *Méditerranée* 122: 99–111.
- Vigne J-D (1988) *Les mammifères post-glaciaires de Corse, études archéozoologiques*. Supplément   Gallia-Préhistoire 26. Editions du CNRS, Paris, 334 pp.
- Vigne J-D (1989) Le peuplement paléolithique des îles : le débat s’ouvre en Sardaigne. *Les Nouvelles de l’Archéologie* 35: 39–42.
- Vigne J-D (1992) Zooarchaeology and the biogeographical history of the mammals of Corsica and Sardinia since the last ice age. *Mammal Review* 22: 87–96.
- Vigne J-D (1994) *L’ le Lavezzi : hommes, animaux, archéologie et marginalité (XIIIe-XXe siècles, Bonifacio, Corse)*. CNRS Edition (Monographies du CRA, 13), Paris, 304 pp.
- Vigne J-D (1998) Faciès culturels et sous-systèmes techniques de l’acquisition des ressources animales. Application au Néolithique ancien méditerranéen. In: D’Anna A, Binder D (Eds.), *Production et identité culturelle. Actualité de la recherche*, actes 2e Rencontres méridionales de Préhistoire récentes (Arles, 8-9 novembre 1996). Editions APDCA, Antibes, 27–45.
- Vigne J-D and Marinval-Vigne M-C (1989) La faune du site de Castellu (Corte, Corse, VIe siècle AD). In: Pergola P, Vizmara C (Eds.), *Castellu, un établissement de l’Antiquité tardive en Corse*. Maison des Sciences de l’Homme, Documents d’Archéologie Française 18, 115–147.
- Vigne J-D and Valladas H (1996) Small mammal fossil assemblages as indicators of environmental change in northern Corsica during the Last 2500 years. *Journal of Archaeological Science* 23(2): 199–215. doi:10.1006/jasc.1996.0018
- Vigne J-D, Bourdillat V, André J, Brochier J-E, Mai BT, Ciusin J, et al. (1998) Nouvelles données sur le Prénéolithique corse : premiers résultats de la fouille de l’abri du Monte Leone (Bonifacio, Corse-du-Sud). In: D’Anna A, Binder D (Eds.), *Production et identité culturelle. Actualité de la*

recherche, actes 2e Rencontres méridionales de Préhistoire récentes (Arles, 8-9 novembre 1996). Editions APDCA, Antibes, 251–260.

W

Walsh K (2014) *The archaeology of Mediterranean landscapes, human-environment interaction from the Neolithic to the Roman period*. Cambridge University Press, Cambridge, 365 pp.

Warren BH, Simberloff D, Ricklefs RE, Aguilée R, Condamine FL, Gravel D, et al. (2015) Islands as model systems in ecology and evolution: prospects fifty years after MacArthur-Wilson. *Ecology Letters* 18(2): 200–217. doi:10.1111/ele.12398

Weigelt P, Steinbauer MJ, Sarmiento Cabral J and Kreft H (2016) Late Quaternary climate change shapes island biodiversity. *Nature* 532: 99–102. doi:10.1038/nature17443

Whitehead PF and Zach D (2003) Observations on *Treptoplatypus oxyurus* (Dufour, 1843) (Col., Platypodidae) including the first evidence for carnivory in Platypodidae and Scolytidae. *Entomologist's Gazette* 54: 47–53.

Whitehouse NJ (1997) Insect faunas associated with *Pinus sylvestris* L. from the mid-Holocene of the Humberhead levels, Yorkshire, UK. *Quaternary Proceedings* 5: 293–303.

Whitehouse NJ (2006a). The Holocene British and Irish ancient forest fossil beetle fauna: implications for forest history, biodiversity and faunal colonisation. *Quaternary Science Reviews* 25(15-16): 1755–1789. doi: 10.1016/j.quascirev.2006.01.010

Whitehouse NJ (2006b) What can forest managers learn from research on fossil insects? Linking forest ecological history, biodiversity and management. In: Grove S, Simon J, Hanula J, James L (Eds.), *Insect biodiversity and dead wood: proceedings of a symposium for the 22nd International Congress of Entomology*. United States Department of Agriculture Forest Service, Southern Research Station, 30–41.

Whittaker RJ and Fernández-Palacios JM (2007) *Island biogeography: ecology, evolution, and conservation, second edition*. Oxford University Press, New York, 416 pp.

Wilmshurst JM, Moar NT, Wood JR, Bellingham PJ, Findlater AM, Robinson JJ, et al. (2014) Use of pollen and ancient DNA as conservation baselines for Offshore Islands in New Zealand. *Conservation Biology* 28(1): 202–212. doi:10.1111/cobi.12150.

Wollaston TV (1864) *Catalogue of the Coleopterous insects of the Canaries in the collection of the British Museum*. Trustees of the British Museum, London, 648 pp.

Woolbright SA, Whitham TG, Gehring CA, Allan GJ and Bailey JK (2014) Climate relicts and their associated communities as natural ecology and evolution laboratories. *Trends in Ecology & Evolution* 29(7): 406–416. doi:10.1016/j.tree.2014.05.003

Y

Yll EI, Perez-Obiol R, Pantaleon-Cano J and Roure JM (1997) Palynological evidence for climatic change and human activity during the Holocene on Minorca (Balearic Islands). *Quaternary Research* 48(3): 339–347.

Z

Zanchetta G, Bini M, Cremaschi M, Magny M and Sadori L (2013) The transition from natural to anthropogenic-dominated environmental change in Italy and the surrounding regions since the Neolithic: An introduction. *Quaternary International* 303: 1–9. doi:10.1016/j.quaint.2013.05.009

Zeder MA (2008) Domestication and early agriculture in the Mediterranean Basin: Origins, diffusion, and impact. *PNAS* 105(33): 11597–11604. doi:10.1073/pnas.0801317105

Zohary D and Hopf M (2000) *Domestication of plants in the Old World*. 3rd edn. Oxford University Press, New York, 316 pp.

Table des figures et tableaux

Liste des figures (hors articles et annexes)

Figure 1 : Localisation de la Corse dans l'ouest du bassin méditerranéen.....	20
Figure 2 : A) Relief et principaux sommets de Corse. B) Localisation des principales rivières de Corse.	22
Figure 3 : Températures minimales (gauche), maximales (centre) et pluviométrie (droite) moyenne annuelle sur 30 ans en Corse (base AURHELY ; d'après Desprats 2010).....	24
Figure 4 : Schéma des étagements altitudinaux de la végétation actuelle de la Corse (adapté d'après Gamisans 1999).....	27
Figure 5 : A) Localisation des principales archives sédimentaires étudiées en Corse. B) Code attribué aux principaux sites étudiés en Corse (références données dans le Tableau 2). Les astérisques signalent les sites pour lesquels aucune datation ¹⁴ C n'est disponible.....	30
Figure 6 : Lithotypes simplifiés des principales archives sédimentaires étudiées en Corse et datations radiocarbone (calibrées) utilisées pour l'interprétation palynostratigraphique de la Figure 7 (les détails et références de chaque site sont donnés dans le Tableau 2. Les astérisques signalent les sites pour lesquels aucune datation ¹⁴ C n'est disponible.	41
Figure 7 : Chronologie synthétique des dynamiques des principaux arbres, arbustes et de quelques herbacées de Corse depuis 18 000 ans. Les sites inclus dans les montagnes centrales de Corse (1), le massif de l'Incudine (2) et dans les secteurs côtiers occidentaux (3) et orientaux (4) sont donnés dans le texte (Chapitre I.II.1). Les datations utilisées pour les chronozones et les interprétations polliniques sont disponibles dans le Tableau 2.	42
Figure 8 : Localisation des sites archéologiques et paléoécologiques mentionnés dans le Chapitre I.II.2	46
Figure 9 : Localisation des archives sédimentaires étudiées (étoiles vertes) ou échantillonnées mais non retenues dans cette thèse (étoiles blanches).....	48
Figure 10 : Photographie de l'étang du Greco sur l'île Cavallo. Les côtes bonifaciennes sont visibles en arrière-plan.	49
Figure 11 : Photographie de la tourbière de Bagliettu. La ripisylve marque la limite entre les éminences tourbeuses à <i>Erica terminalis</i> et la rivière de l'Asco.....	50
Figure 12 : Photographie de la végétation à <i>Salix cinerea</i> et <i>Alnus glutinosa</i> du marais de Cannuta...	50
Figure 13 : Analyse factorielle des correspondances « détendancées » (DCA) : (A) sur les taxons d'insectes et (B) sur les taxons de plantes de la carotte BAG-D. Les taxons sont répartis en fonction de	

leur score sur l'axe 1 de la DCA, les échantillons le sont en fonction de leur profondeur (voir le Tableau 3 pour les abréviations des taxons d'insectes et de plantes).....	129
Figure 14 : Géologie, géomorphologie, occupation du sol du territoire de l'Agriate (source : Drac Corse) et localisation des études paléoenvironnementales précédentes et actuelles.....	136
Figure 15 : Diagramme ombrothermique. Données du sémaphore de l'Île-Rousse (Corbara, alt. 142 m), 1981-2010. Tmax : température maximale moyenne ; Tmin : température minimale moyenne.	137
Figure 16 : A). Vue générale (orientation nord-ouest) du marais de Cannuta (2 m). B) Photographie aérienne des zones humides de Saleccia en 1959 (source IGN) ; de nombreux murs de terrasses, enclos de pierre, chemins bordés de murs et bergeries d'âge inconnu témoignent des activités agro-pastorales passées. C) Végétation du marais de Cannuta. D) Exemple de carottes sédimentaires récoltées en 2014, ici la section CAN-4 0-100 cm.....	138
Figure 17 : Diagramme pollinique de l'étang de Saleccia reproduit et simplifié à partir de Reille (1992). Les valeurs sont exprimées en pourcentages de la somme pollinique totale. L'axe des âges a été obtenu d'un modèle âge-profondeur généré à partir des datations radiocarbone disponibles dans Reille (1992) (voir Figure 18).	140
Figure 18 : Lithologie, modèle âge-profondeur de l'étang de Saleccia à partir des 5 âges ¹⁴ C disponible dans Reille (1992). Les enveloppes en bleu donnent la densité de probabilité à 95 %, l'âge ¹⁴ C rejeté est annoté en rouge.	141
Figure 19 : Photographies des 7 sections individuelles extraites du marais de Cannuta en 2014 et composant la séquence CAN-4.	143
Figure 20 : Synthèse des corrélations entre les 7 sections individuelles extraites du marais de Cannuta et composant le profil synthétique CAN-4.	144
Figure 21 : Lithologie, modèle âge-profondeur de la séquence CAN-4 réalisé à partir de 8 âges ¹⁴ C (les enveloppes en bleu donnent la densité de probabilité à 95 %, l'âge ¹⁴ C rejeté est annoté en rouge) et taux de sédimentation.....	146
Figure 22 : Courbes des variations relatives (en intensité) des éléments majeurs mesurés par XRF Core Scanner et du rapport incohérent/cohérent (inc/coh) face au profil composite CAN-4 (légende Figure 20). Une analyse d'agglomération a été réalisée pour regrouper les variables étudiées en fonction de leur similarité.....	147
Figure 23 : Exemple de formation de gypse à la surface des carottes sédimentaires du marais de Cannuta.	148
Figure 24 : ACP réalisée sur les mesures élémentaires semi-quantitatives de Si, S, K, Ca, Ti, Fe, Rb, et du rapport incohérent/cohérent (inc/coh) acquises par XRF core scanner sur la séquence CAN-4. Les flèches et leur couleur représentent les variables et leurs contributions sur l'axe 1 et 2.	149
Figure 25 : Diagrammes des co-variations entre les éléments majeurs mesurés par XRF Core Scanner le long du profil composite CAN-4 classés par unité lithologique. Les valeurs sont données en intensité.	150

Figure 26 : Dendrogramme contraint par la profondeur et lithologie de la carotte composite CAN-4 (légende Figure 20). Les cadres rouges représentent les limites des unités fauniques d'insectes et leurs bornes chronologiques (années cal. BP).....	152
Figure 27 : Diagramme entomologique simplifié de Cannuta avec les principaux groupes écologiques d'insectes. Les taxons inclus dans les différentes catégories écologiques sont indiqués en Annexe II . NMI : nombre minimum d'individus. Les étoiles marquent les occurrences de <i>Hypoborus ficus</i> . Les cadres rouges représentent les limites des unités fauniques d'insectes IFU-1 à -3 décrites dans le texte.	153
Figure 28 : Comparaison des données (A) paléontomologiques et (B) géochimiques du marais de Cannuta avec d'autres archives paléoenvironnementales : (C) courbes sélectionnées du diagramme pollinique du marais de Saleccia (Reille 1992) ; (D) courbe du niveau marin relatif au nord-ouest du bassin méditerranéen d'après les données du sud-est de la France (Laborel et al. 1994 ; Morhange et al. 2001; Vella et Provansal 2000) et du nord de la Corse (Laborel et al. 1994) corrigées d'après Vacchi et al. (2016). NMI : nombre minimum d'individus. UFI : unité faunique d'insectes.	161
Figure 29 : Diagramme de comparaison entre des taxons sélectionnés d'insectes/groupes écologiques d'insectes du marais de Cannuta et de plantes d'après les données polliniques de l'étang de Saleccia (Reille 1992). NMI : nombre minimum d'individu. ZP : zone pollinique. UFI : unité faunique d'insecte.	164
Figure 30 : Comparaison des données (A) paléontomologiques, (B) géochimiques et (C) sédimentaires du marais de Cannuta depuis 2000 ans avec d'autres archives paléoenvironnementales et paléoclimatiques : (D) évènements de crues à Figarella depuis 1500 AD (commune de Calvi, Haute-Corse ; Hewitt 2002) ; (E) comparaison des températures et précipitations estivales (moyenne sur 25 ans) reconstruites des isotopes du carbone et des largeurs de cernes de <i>Pinus nigra</i> subsp. <i>laricio</i> en Corse d'après Szymczak et al. (2014) ; (F) changement relatif du niveau lacustre au lac Accessa (Italie, Magny et al. 2007) ; (G) température des eaux de surface reconstruite des enregistrements d'alkénones de la carotte Gol-Ho1B_KSGC-31 (Golfe du Lion, Sicre et al. 2016). ACM : anomalie climatique médiévale. PAG : anomalie climatique médiévale. NMI : nombre minimum d'individu.....	167
Figure 31 : Évolution simplifiée de l'environnement côtier montrant une voie de remplissage d'un delta-type durant la remontée relative du niveau marin postglaciaire d'après Dubar et al. (2011).	174
Figure 32 : Sélection de bioindicateurs des conditions de salinité (Amaranthaceae, foraminifère), des abondances des insectes aquatiques et liés aux zones humides et indices de diversité de Shannon-Weaver calculés sur les assemblages d'insectes aquatiques et hygrophiles de l'étang du Greco et du marais de Cannuta au cours des 7000 dernières années. Niveau marin relatif d'après les données du sud-est de la France et du nord de la Corse (Laborel et al. 1994 ; Vella et Provansal 2000 ; Morhange et al. 2001) corrigées d'après Vacchi et al. (2016). NMI : nombre minimum d'individus.	176
Figure 33 : Sélection de bioindicateurs sporo-polliniques (<i>Cerealia</i> -type ; plantes rudéro-anthropiques : <i>Urtica</i> , <i>Rumex</i> , <i>Plantago lanceolata</i> ; spores coprophiles : <i>Delitschia</i> , <i>Podospora</i> , <i>Sordaria</i> , <i>Sporormiella</i>) et entomologiques (insectes coprophages/coprophiles, insectes d'environnements ouverts) d'anthropisation de l'étang du Greco, la tourbière de Bagliettu et des marais de Cannuta et Saleccia depuis 7000 cal. BP.....	180

Figure 34 : A) Datations radiocarbone calibrées à 2σ disponibles à basse altitude en Corse : étang del Sale (1 : Reille 1984 ; 2 : Currás et al. 2016), étang du Greco (cette étude), Saleccia, Crovani, Le Fango (Reille 1992), Sagone 7 (Ghilardi et al. 2016) ; et en Sardaigne : Stagno di Sa Curcurica (Beffa et al. 2015), Lagon Mistras MTR1 ; Di Rita et Melis 2013). B) Corrélations des taux polliniques d'*Erica* (arborea et scoparia) et de *Quercus ilex* dans 8 sites côtiers de Corse et de Sardaigne..... 185

Figure 35 : Vieux peuplements d'*Erica arborea* à Madère (à gauche) (crédit photo : Philippe Ponel) et petit spécimen en Corse (à droite). 189

Figure 36 : Spécimen actuel et fragment fossile daté de 1880-1540 cal. BP (apex de l'élytre gauche) de *Treptoplatypus oxyurus*. 190

Liste des tableaux (hors articles et annexes)

Tableau 1 : Caractéristiques des principales rivières de Corse (sources : www.hydro.eaufrance.fr et www.sandre.eaufrance.fr). 21

Tableau 2 : Compilation de carottes sédimentaires étudiées en Corse par : a) Reille (1997) ; b) Reille (1975) ; c) Reille (1988b) ; d) Reille (1992) ; e) Reille et al. (1997) ; f) Reille et al. (1999) ; g) Reille (1988a) ; h) Reille (1977) ; i) Reille (1988c) ; j) Reille (1984) ; k) Currás et al. (2016) ; l) Vella et al. (2014) ; m) Ghilardi et al. (2016). Les critères de sélection des sites sont basés sur la présence d'une description lithologique et d'une analyse pollinique. Le code attribué à chaque site fait référence à la Figure 5 de localisation géographique et à la Figure 6 de synthèse stratigraphique. Les astérisques indiquent les sites pour lesquels la chronologie est uniquement basée sur la palynostratigraphie. Les imprécisions dans la profondeur des échantillons datés sont codées « \approx ». 37

Tableau 3 : Liste des taxons d'insectes et de plantes déterminés à partir de la carotte sédimentaire BAG-D et sélectionnés pour le traitement numérique, avec les codes associés utilisés dans le texte. 129

Tableau 4 : Datations radiocarbone AMS obtenues sur le profil composite CAN-4. 145

Tableau 5 : Matrice des coefficients de corrélation de Si, S, K, Ca, Ti, Fe, Rb, et du rapport inc/coh mesurés sur 644 niveaux du profil composite CAN-4 par XRF Core Scanner. Les valeurs en gras suggèrent une forte corrélation entre les éléments ($r \geq 0,5$ ou $r \leq -0,5$). Les corrélations positives sont indiquées en rouge, celles négatives sont indiquées en bleu. 148

Liste des figures en annexes

Figure I- 1 : Schéma de fonctionnement du carottier russe.....	228
Figure I- 2 : Représentation synthétique des prélèvements sédimentaires extraits dans la tourbière de Bagliettu.	229
Figure I- 3 : Localisation des prélèvements réalisés sur le marais de Cannuta (étoiles rouges).	230
Figure I- 4 : Exemple d'un échantillon étudié pour l'analyse paléontomologique (échantillon de la séquence BAG-D provenant de la tourbière de Bagliettu allant de 165 à 170 cm de profondeur).	232

Liste des tableaux en annexes

Tableau I- 1 : Récapitulatif des prélèvements sédimentaires menés à la tourbière de Bagliettu.....	229
Tableau I- 2 : Récapitulatif des prélèvements sédimentaires menés au marais de Cannuta.....	230
Tableau II- 1 : Liste des arthropodes fossiles de la carotte sédimentaire CAVA-1 (étang du Greco, île Cavallo). La taxonomie des Coleoptera suit Tronquet 2014.	237
Tableau II- 2 : Liste des arthropodes fossiles de la carotte sédimentaire BAG-D (tourbière de Bagliettu). La taxonomie des Coleoptera suit Tronquet 2014.	241
Tableau II- 3 : Liste des arthropodes fossiles de la carotte sédimentaire CAN-4 (marais de Cannuta). La taxonomie des Coleoptera suit Tronquet 2014.	245
Tableau III- 1 : Jeu de données paléontomologiques final de 23 échantillons × 11 taxons d'insectes utilisé pour les analyses multivariées (DCA et ACC).	251
Tableau III- 2 : Jeu de données carpologiques final de 23 échantillons × 22 taxons de plantes utilisé pour les analyses multivariées (vecteurs d'ajustement et ACC).	252

Annexe I : Techniques et méthodes

1. Carottage et échantillonnage sédimentaire

Les reconstructions paléoenvironnementales réalisées durant cette thèse portent sur des archives sédimentaires extraites des zones d'étude à l'aide d'un carottier Russe (Jowsey 1966) dont le fonctionnement est schématisé sur la Figure I- 1.

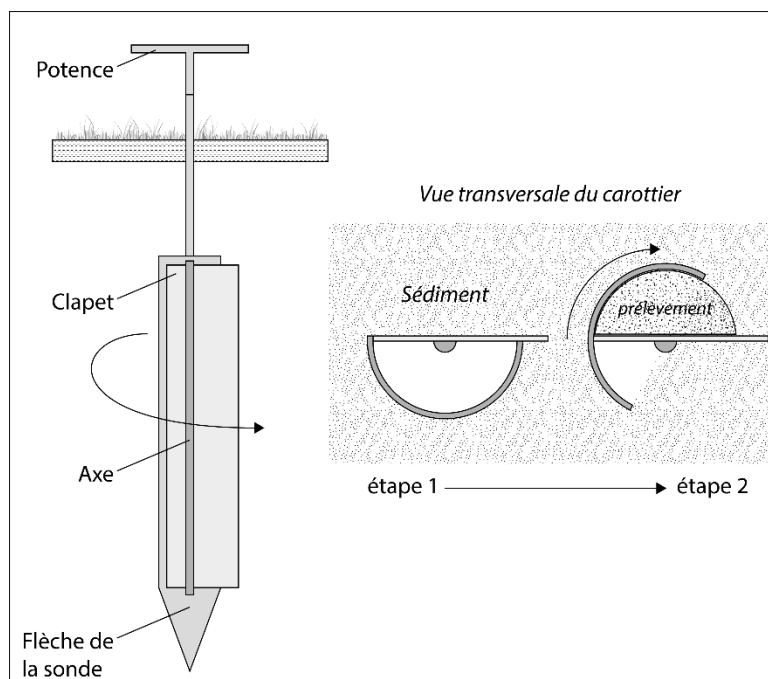


Figure I- 1 : Schéma de fonctionnement du carottier russe.

C'est de cette manière que l'**étang du Greco** a été échantillonné en novembre 2014 à l'aide d'un carottier Russe (\varnothing 5 cm et 50 cm de long). Au total, sept carottes de 50 cm composent le profil principal (CAVA-1) faisant 340 cm de long.

Sur la **tourbière de Bagliettu**, plusieurs sondages préliminaires à l'aide d'une gouge simple ont permis de localiser la zone d'accumulation sédimentaire optimale au sein des éminences tourbeuses à *Erica terminalis*. Les prélèvements sédimentaires au carottier Russe (\varnothing 8 cm et 1 m de long) ont été réalisés dans cette zone où la tourbe à cypéracées atteignait 240 cm d'épaisseur. Les sondages ont été sextuplés afin de fournir suffisamment de sédiment pour les analyses ultérieures (analyses paléontologique et carpologique) et codés **Bag A** à **Bag F** (Tableau I- 1). De plus, pour **Bag B**, **Bag D** et **Bag E**, le prélèvement a été doublé pour assurer une continuité stratigraphique dans la séquence (Figure I- 2). Seule la séquence **Bag D** a été étudiée dans cette thèse.

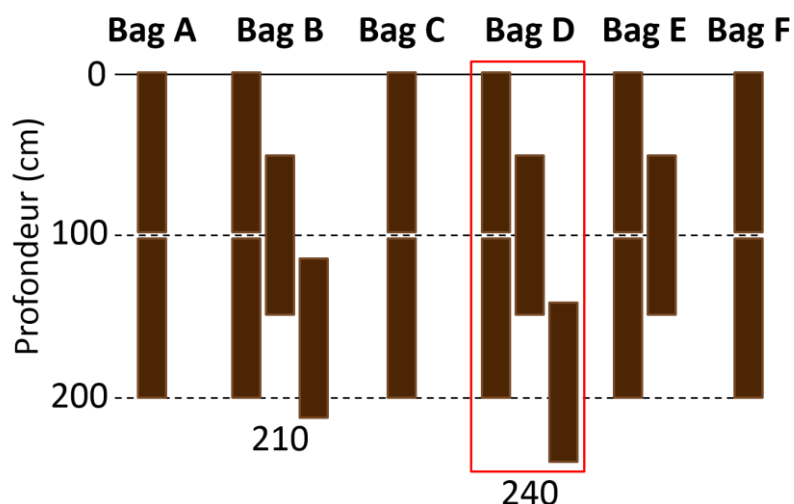


Figure I- 2 : Représentation synthétique des prélèvements sédimentaires extraits dans la tourbière de Bagliettu.

Tableau I- 1 : Récapitulatif des prélèvements sédimentaires menés à la tourbière de Bagliettu.

Code profil sédimentaire	Coordonnées GPS	Longueur du prélèvement	Expertises prévues
Bag A	42°28'54,0''N 9°11'17,8''E	200 cm	Archives
Bag B	42°28'54,0''N 9°11'17,7''E	210 cm	Archives
Bag C	42°28'54,0''N 9°11'17,9''E	200 cm	Archives
Bag D	42°28'54,1''N 9°11'17,9''E	240 cm	Carpologie, paléontologie et datations
Bag E	42°28'54,0''N 9°11'17,7''E	200 cm	Archives
Bag F	42°28'54,0''N 9°11'17,8''E	200 cm	Archives

Le **marais de Cannuta** a été échantillonné en octobre 2014 à l'aide d'un carottier Russe (Ø 8 cm et 1 m de long). Plusieurs sondages ont été réalisés depuis les bordures du marais jusqu'à son centre au sein même des formations flottantes d'aunaias (Figure I- 3). Les sondages ont été quadruplés afin de fournir suffisamment de sédiment pour les analyses ultérieures (analyses paléontologique et géochimique) et codés CAN-1 à CAN-4 (Tableau I- 2). De plus, pour CAN-2, CAN-3 et CAN-4, le prélèvement a été doublé pour assurer une continuité stratigraphique dans la séquence.

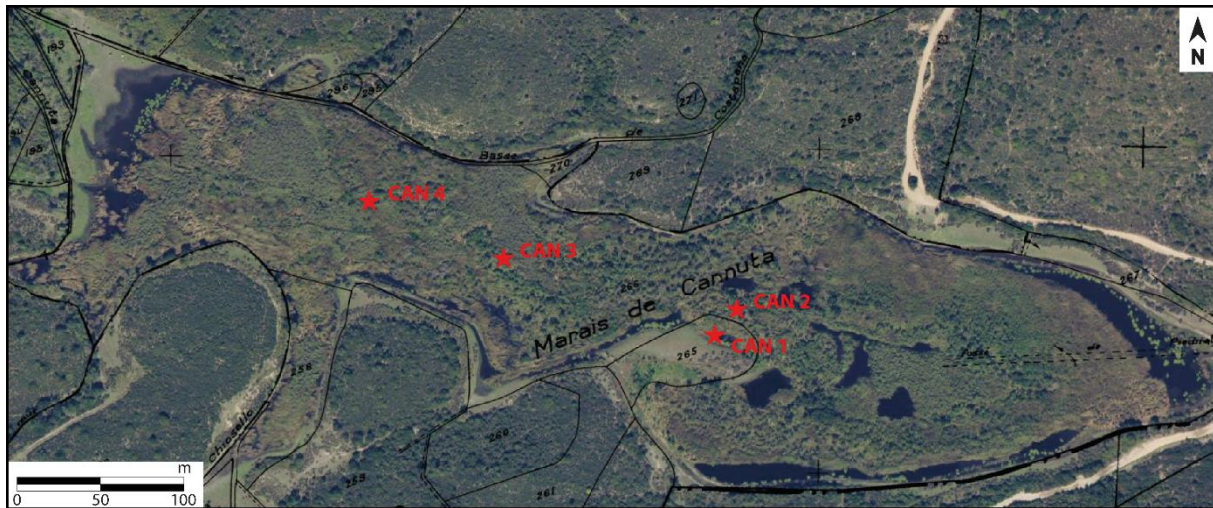


Figure I- 3 : Localisation des prélèvements réalisés sur le marais de Cannuta (étoiles rouges).

Tableau I- 2 : Récapitulatif des prélèvements sédimentaires menés au marais de Cannuta.

Code profil sédimentaire	Coordonnées GPS	Longueur du prélèvement	Expertises prévues
CAN-1	42°43'3,32"N 9°13'3,19"E	118 cm	Carotte test
CAN-2	42°43'3,70"N 9°13'3,85"E	340 cm	Archives
CAN-3	42°43'4,70"N 9°12'56,75"E	375 cm	Archives
CAN-4	42°43'6,32"N 9°13'53,25"E	400 cm	Paléontologie, géochimie et datations

Toutes les carottes sédimentaires échantillonnées ont été enveloppées d'un film plastique et placées dans des demi-cylindres en PVC sur le terrain afin d'en assurer l'herméticité et de prévenir la dessiccation du sédiment avant étude en laboratoire. À leur arrivée à l'IMBE, elles ont été placées dans une chambre froide. Dans le cas des sédiments de la tourbière de Bagliettu, une corrélation visuelle a été faite entre les différentes carottes d'un même sondage. Les carottes sédimentaires du marais de Cannuta, très homogènes, ont été corrélées à l'aide des mesures géochimiques réalisées par l'ITRAX core scanner (voir **Chapitre V**) au CEREGE (Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement, France).

Le sous-échantillonnage a été réalisé sur les carottes après leur corrélation et les différents sous-échantillons destinés aux analyses paléontologiques, polliniques, carpologiques et/ou géochimiques ont été prélevés sur les mêmes carottes.

2. Datations radiocarbone et chronologie

L'interprétation, la comparaison et la corrélation des données paléoenvironnementales ne sont possibles que si l'on dispose d'un cadre chronologique solide. Pour cette raison, des datations radiocarbone sont réalisées sur divers matériels suivant les archives sédimentaires étudiées : tourbe (au Greco), graines et autres macrorestes de plante (à Bagliettu), bois et charbons (à Cannuta). L'extraction et la sélection du

matériel organique à dater se fait par tamisage d'échantillons de 1 à 5 cm d'épaisseur sur un tamis de 300 µm à l'eau distillée. Le matériel sélectionné (tourbe, graine, charbon, etc.) est ensuite daté par la méthode de spectrométrie de masse par accélérateur (AMS) au laboratoire de radiocarbone de Poznań (Pologne).

Les datations ¹⁴C AMS sont exprimées en années calendaires Before Present (BP) non calibrées (présent fixé à 1950). Leur calibration est réalisée à l'aide du module « clam » (Blaauw 2010), du logiciel R (R Development Core Team 2011). Les courbes de calibration IntCal 13 (hémisphère Nord) ont été utilisées. Ce module permet également de créer un modèle âge-profondeur. Ce modèle fournit des dates calibrées estimées pour chaque niveau de profondeur le long de la séquence, en imposant une relation entre la profondeur et l'âge et en modélisant un taux de sédimentation au cours du temps.

La construction des modèles âge-profondeur utilisés dans cette thèse tient compte des changements lithologiques. De cette manière, les dépôts de sable fin rencontrés le long de la carotte sédimentaire CAVA-1 étudiée sur l'île Cavallo ont été exclus du modèle âge-profondeur (voir l'**article 1**). De même, un hiatus a été mis en évidence et intégré au modèle âge-profondeur dans la séquence sédimentaire BAG-D étudiée à Bagliettu. Ce hiatus correspond là encore à un changement lithologique (voir l'**article 3**).

3. Analyse paléontomologique

Les études paléontomologiques portant plus précisément sur les coléoptères (Insecta, Coleoptera) sont particulièrement adaptées pour réaliser des reconstructions paléoenvironnementales car beaucoup d'espèces présentent une niche écologique précise et une grande stabilité morphologique dans le temps (Coope 1978, 1986 ; Elias 2007). Les coléoptères constituent donc des bioindicateurs très fiables des conditions environnementales locales, grâce à la possibilité d'opérer sur des fragments fossiles des déterminations taxonomiques précises, de niveau spécifique.

L'extraction est effectuée selon la méthode préconisée par Coope (1986) : défloculation du sédiment dans l'eau, criblage des particules en suspension sur un tamis à maille de 300 µm, puis flottation sur pétrole²⁶. La fraction flottante contenant les fragments d'arthropodes est récupérée sur le même tamis de 300 µm. Après rinçages (détergent, alcool), un dernier tri est effectué sous une loupe binoculaire (grossissement 8 à 50 fois). Les restes d'arthropodes sont conservés en alcool à 90°.

Régulièrement, la fraction qui ne flotte pas est observée sous une loupe binoculaire afin de s'assurer de l'efficacité de cette méthode et vérifier si la (quasi-)totalité du matériel entomologique fossile a bien été récupérée. C'est de cette manière que nous avons constaté que la méthode classique d'extraction entomologique ne donnait pas d'excellents résultats sur les sédiments tourbeux de Bagliettu (voir

²⁶ Le pétrole se fixe à l'exosquelette chitinisé des arthropodes

l'article 3) : les fibres de Cyperaceae, constitutives de la tourbe, ont formé un épais et dense maillage. Cela a eu pour conséquence de fortement diminuer la capacité des restes fossiles d'insectes à décanter vers la fraction flottante. Afin d'éviter ce biais méthodologique, l'intégralité du matériel sédimentaire retenu sur le tamis à 300 µm a été trié sous la loupe binoculaire. Cet effort méthodologique a permis de maximiser l'analyse paléontologique des sédiments de Bagliettu, notamment en récupérant des fragments d'insectes n'étant pas collectés habituellement avec la méthode classique : tel que les fourreaux de Trichoptera ou les restes carbonisés d'insectes qui peuvent parfois être identifiés (**article 3**).

L'identification des restes d'arthropodes est réalisée par comparaison directe avec des spécimens provenant d'une collection de référence moderne (Y. Poher et P. Ponei, IMBE). Le nombre minimal d'individu (NMI) de chaque taxon par échantillon est estimé par comptage des éléments diagnostiques de l'exosquelette (débris de têtes, thorax, élytres, sternites, pleurites, pattes, etc.). Ainsi, dans l'exemple donné par la Figure I- 4, la détermination des pièces diagnostiques permet de comptabiliser un minimum de 13 individus d'*Hydraena testacea*.

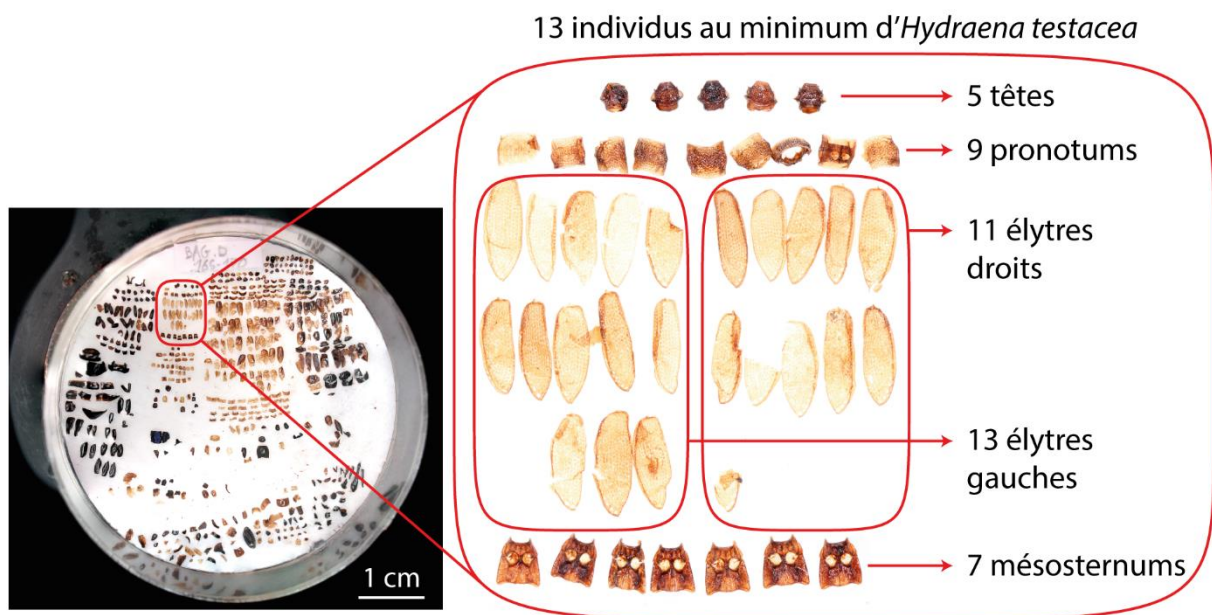


Figure I- 4 : Exemple d'un échantillon étudié pour l'analyse paléontologique (échantillon de la séquence BAG-D provenant de la tourbière de Bagliettu allant de 165 à 170 cm de profondeur).

Nous utilisons le terme de « taxon » pour nommer tous les fossiles identifiés à différents rangs taxonomiques (e.g. espèce, genre, famille, etc.). Le terme « cf. » dans les listes faunistiques réfère aux taxons pour lesquels l'identification peut être incertaine, notamment en raison de l'absence de critères diagnostiques sur le fragment fossile pour différencier plusieurs taxons proches. La nomenclature adoptée suit celle du catalogue des coléoptères de France (Tronquet 2014). L'écologie des taxons est établie à l'aide de la littérature valide pour la région ou traitant spécifiquement des taxons identifiés (voir références fournies dans les articles et dans le texte principal) et comparée avec la base de données européenne BugsCEP (Buckland et Buckland 2006) disponible en ligne (<http://www.bugscep.com/>).

Les Coleoptera sont ainsi réunis dans les catégories écologiques en fonction de leurs affinités écologiques ou des biotopes qu'ils occupent actuellement.

4. Analyse sporo-pollinique

L'analyse sporo-pollinique des sédiments a pour but de reconstruire l'histoire des écosystèmes végétaux. Elle repose sur la connaissance des relations entre la pluie pollinique et la végétation émettrice. Le contenu sporo-pollinique des échantillons dont le volume varie entre 1 et 3 cm³ est extrait par concentrations successives par centrifugations et attaques physico-chimiques répétées, en respectant le protocole établi par Faegri and Iversen (1989). L'identification et le comptage des grains de pollen et des spores sont réalisés au microscope optique à grossissement 500 (immersion d'huile). Un minimum de 300 grains par échantillon est compté pour atteindre une représentativité statistique solide. Au-delà, les taxons rares (non rencontrés auparavant) sont comptés et identifiés à leur tour. Les déterminations sont réalisées par consultation de la palynothèque de référence de l'IMBE et d'atlas photographiques (Reille 1999) référençant chaque espèce végétale d'Europe et d'Afrique du Nord.

Les résultats ainsi obtenus après identification et comptabilisation des grains de pollen sont convertis en pourcentages en fonction de la somme pollinique totale pour chaque échantillon (constituant un spectre pollinique). L'ensemble de ces spectres est représenté graphiquement en respectant l'ordre stratigraphique de profondeur (et donc de temps) dans un diagramme pollinique.

Ce diagramme représente des espèces ou des groupes d'espèces créés en fonction de leur écologie ou des informations communes qu'elles apportent. Ainsi, le rapport entre le total des grains de pollen arboréens (PA) et non arboréens (PNA) permet de faciliter l'interprétation paléoécologique pour ce qui est de l'évolution de la couverture forestière (phase d'ouverture ou de fermeture du milieu) au cours du temps. Ou encore, le groupe des grains de pollen rudéraux-anthropiques regroupant des espèces synanthropes, cultivées, rudérales ou nitrophiles favorisées par le pâturage peut mettre en évidence les pratiques agro-pastorales et l'évolution de l'action de l'homme dans le paysage.

5. Analyse des macrorestes végétaux

L'analyse des macrorestes végétaux (fruits, graines, bourgeons, etc.) a été réalisée sur les sédiments tourbeux de Bagliettu (voir l'**article 3**). Le matériel est trié sous loupe binoculaire à partir du refus de tamis à 300 µm. La détermination des éléments fossiles a reposé sur l'utilisation d'ouvrages de référence (Cappers et al. 2012 ; Schoch et al. 1988) et sur la consultation de la collection de référence de l'Institut des Sciences de l'Évolution de Montpellier (ISEM) en collaboration avec L. Bouby et J.-F. Terral. Les résultats sont exprimés en nombre absolu de macro-reste par 100 cm³.

6. Analyse géochimique : fluorescence aux rayons-X (XRF par ITRAX core scanner)

Des U-channel ont été utilisés afin de prélever au centre des carottes provenant du marais de Cannuta un sous-échantillon continu du profil sédimentaire en prévision de l'analyse géochimique par fluorescence aux rayons-X (XRF) par Itrax Core Scanner au CEREGE (**Chapitre V**). Cette technique, puissante par sa rapidité et la précision des analyses, ne requiert pas de préparation des échantillons et permet de détecter les variations relatives de la plupart des éléments chimiques de la table périodique le long de la séquence sédimentaire. Son principe de fonctionnement repose sur l'excitation des atomes du sédiment par une intense source de micro rayon-X (voir Croudace et al. 2006 pour plus d'informations techniques). Cette excitation génère une réémission de radiations de moindre énergie (fluorescence), caractéristiques des atomes présents dans le sédiment. Les résultats de chaque élément sont exprimés en intensité. L'intensité des éléments mesurés dépend de la concentration des éléments mais aussi de la nature du sédiment (propriété physique, teneur en eau, porosité, taille des grains, etc.) et des réglages du scanner (source des rayons-X, voltage, courant et temps de comptage par secondes). Ce type d'analyse offre de nombreuses applications comme la détection de pollutions métalliques (d'origine anthropique ou non), l'estimation des intempéries passées, du lessivage, de l'intensité de l'érosion ou encore de la productivité primaire (Francus et al. 2009).

À Cannuta, les variations relatives des principaux éléments présents dans les sédiments ont été mesurées tous les 5 mm le long des U-channels (source des rayons-X : molybdène avec un voltage de 30 kV, un courant de 45 mA et un temps de comptage de 15 secondes).

7. Analyses statistiques multivariées des données

Les analyses statistiques nous ont été utiles pour classer les échantillons paléontologiques et spore-polliniques en fonction de leurs assemblages taxonomiques tout en tenant compte de leur position stratigraphique (et donc temporelle). Ces groupes d'échantillons ont été réalisés grâce à des classifications ascendantes hiérarchiques contraintes par la profondeur à l'aide du module « rioja » (Juggins 2012) du logiciel R (R Development Core Team 2011). Une matrice des dissimilarités basée sur l'indice de dissimilarité de Bray-Curtis a été calculée avant l'analyse.

Plus spécifiquement, des analyses factorielles des correspondances « détendancées » (DCA) ont été utilisées pour résumer l'information contenue dans les données paléontologiques et carpologiques de la tourbière de Bagliettu (**Chapitre IV.III**). Enfin, des analyses en composante principale (ACP) et des analyses de groupements ont été utilisées pour résumer et pour classer les données géochimiques des sédiments du marais de Cannuta (**Chapitre V**). Les analyses multivariées DCA et ACP ont toutes deux été réalisées à partir des modules « ade4 » et « vegan » (Thioulouse et al. 1997 ; Dixon 2003) sous R.

Annexe II : Liste des arthropodes fossiles identifiés à l'étang du Greco, à la tourbière de Bagliettu et au marais de Cannuta

Les abréviations apparaissant dans les tableaux de l'**Annexe II** pour définir les groupes écologiques des arthropodes sont définies ci-dessous :

- Aq : insectes vivant sur ou dans les plans d'eau lenticles ou lotiques.
- Aq_l : insectes aquatiques vivant principalement dans milieux d'eaux calmes : lacs, mares, étangs, cours d'eau lents (temporaires ou permanents).
- Aq_c : insectes aquatiques vivant principalement dans milieux d'eaux courantes : rivières, ruisseaux.
- ZH : groupe d'insectes vivant dans les zones humides mais pas spécifiquement dans l'eau. Ce groupe inclut les taxons peuplant les marges boueuses des plans d'eau et ceux vivant dans ou sur la végétation hygrophile.
- Sal : groupe d'insectes halotolérants vivant dans les eaux saumâtres et sur les terrains salés.
- For : insectes liés au bois ou aux environnements forestiers.
- For_d : insectes liés spécifiquement au bois ou aux forêts de décidus et n'étant pas trouvés (excepté par accident) sur des conifères.
- For_c : insectes liés spécifiquement au bois ou aux forêts de conifères et n'étant pas trouvés (excepté par accident) sur des décidus.
- Arb : insectes liés aux arbustes ou à la végétation de maquis.
- BF : insectes liés aux bois flottés.
- Copro : groupe d'insectes coprophages ou coprophiles.
- Déc : large groupe d'insectes vivant dans la matière animale ou végétale en décomposition.
- EO : insectes vivant dans les environnements ouverts (prairies, friches, bordures de chemin, etc.).
- DS : insectes psammophiles liés ou non aux plantes qui peuplent les dunes de sable.
- NC : insectes ubiquistes ou dont l'écologie n'est pas suffisamment connue. Inclus aussi les taxons identifiés à des rangs taxonomiques élevés (genre ou famille) et qui ne fournissent pas d'informations écologiques précises.

Tableau II- 1 : Suite.

Profondeur (cm)	150-155	155-160	160-165	165-170	170-175	175-180	180-185	185-190	190-195	195-200	200-205	205-210	210-215	215-220	220-225	225-230	230-235	235-237	237-240	240-245	245-250	250-255	255-260	260-262	262-269	269-275	275-280	280-285	285-290	290-296	296-300	300-305	305-310	310-315	315-320	320-325	325-330	330-335	335-340	340-345	345-350	350-355	355-360	360-365	365-370	370-375	375-380	380-385	385-390	390-395	395-400	400-405	405-410	410-415	415-420	420-425	425-428	428-429	429-435	435-440	440-445	445-450	450-455	455-460	460-465	465-470	470-475	475-480	480-485	485-490	Habitat	Signalé dans Coquepot et Rungs (2009)	Signalé dans Médaïl et al. (2014, 2015)
Assemblages	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32	S33	S34	S35	S36	S37	S38	S39	S40	S41	S42	S43	S44	S45	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S54	S55	S56	S57	S58	S59	S60	S61	S62	S63	S64	S65	S66	S67	S68	S69	S70			
Poids de l'échantillon (g)	63,7	65,4	67,1	58,2	49,2	76,2	48,1	39,7	29,8	32,5	44,1	45	38,7	54,1	46,7	31,4	29,4	16,9	15,8	29,7	36,5	40,7	42,9	20,9	65,3	44,7	32,8	44,6	45,6	45,8	30,7	33,6	38,7	43,7	45,8	39,1	45	38	38	40,5	33,8	21,3	32,3	29,3	36,9	35,4	37,2	36,1	34,6	32	40,4	31,7	35,4	34,8	33,4	36,9	12,9	22,5	45,9	37,5	23,8	30,9	31,1	32,1	35,1	32,6	36,7	39,3	34	31			
Nombre de fragments d'insecte identifié	1	4	0	4	7	7	6	13	15	3	5	4	16	10	20	9	3	2	9	16	8	8	14	5	4	13	33	18	32	70	22	29	42	51	72	75	53	45	27	17	21	13	26	28	34	24	30	15	39	29	35	14	20	34	38	23	11	17	38	37	55	113	69	92	135	61	49	71	50	26			
Nombre d'individus	1	3	0	4	6	7	6	9	10	3	4	4	12	8	13	7	3	2	7	10	5	6	10	5	4	9	13	9	18	33	14	13	28	29	41	35	34	22	13	9	10	8	17	17	19	15	16	12	19	22	25	7	13	23	25	16	7	13	26	19	33	49	40	48	66	37	29	40	32	18			
ELATERIDAE																																																																									
Elateridae indet.																																																																							NC	X	
ELMIDAE																																																																									
Esolus sp.																																																																							Aq		
GEORISSIDAE																																																																									
Georissus sp.																																																																							ZH		
GYRINIDAE																																																																									
Gyrinus sp.																																																																							Aq	X	
HARPALIDAE																																																																									
Acupalpus sp.																																																																							ZH	X	
Acupalpus cf. elegans (Dejean 1829)																																																																							Sal, ZH		
Harpalidae indet.																																																																							NC	X	
Harpalus sp.																																																																							NC	X	
Microlestes sp.																																																																							EO	X	
Oodes gracilis Villa & Villa 1833																																																																							ZH		
Percus sp.																																																																							NC	X	
Percus grandicollis (Audinet-Serville 1821)																																																																							NC		
Percus stricus (Dejean 1828)																																																																							NC	X	
Pterostichus cursor (Dejean 1828)																																																																							Sal, ZH		
HELOPHORIDAE																																																																									
Helophorus sp.																																																																							Aq	X	
HYDRAENIDAE																																																																									
Limnebius sp.																																																																							Aq		
Limnebius cf. doderoi Gridelli 1926																																																																							Aq		
Ochthebius sp.																																																																							Aq, Sal	X	
HYDROCHIDAE																																																																									
Hydrochus sp.																																																																							Aq	X	
HYDROPHILIDAE																																																																									
Anacaena sp.																																																																							Aq		
Berosus sp.																																																																							Aq	X	
Enochrus sp.																																																																							Aq	X	
Enochrus cf. coarctatus (Gredler 1863)																																																																							Aq		
Helochaers sp.																																																																							Aq		
Hydrobius fuscipes (Linnaeus 1758)																																																																							Aq, Sal		
Hydrophilidae indet.																																																																							Aq	X	
Limnoxenus niger (Gmelin 1790)																																																																							Aq, Sal		
LAEMOPHLOEIDAE																																																																									
Cryptolestes sp.																																																																							NC		
LATRIDIIDAE																																																																									
Corticarinae indet.																																																																							NC		
MALACHIIDAE																																																																									
Protaplochrus flavolimbatus (Mulsant & Rey 1853)																																																																							ZH		
MYCETOPHAGIDAE																																																																									
Berginus tamarisci Wollaston 1854																																																																							For/Arb		X
NOTERIDAE																																																																									
Noterus sp. (2 taxa)																																																																							Aq		X (1 taxa)
Canthyrus diophthalmus (Reiche & Saulcy 1855)																																																																							Aq		
PHALACRIDAE																																																																									
Phalacrus sp.																																																																							ZH	X	
PTINIDAE																																																																									
Dignomus brevicrinus (Desbrochers des Loges 1871)																																																																							Déc		
Dryophilus cf. anobioides Chevrolat 1832																																																																							For/Arb		
Pünus sp.																																																																							Déc	X	
SCARABAEIDAE																																																																									
Caccobius schreberi (Linnaeus 1767)																																																																							Copr, EO	X	
Euoniticellus sp.																																																																							Copr	X	
Onthophagus sp.																																																																							Copr		
Onthophagus verticicornis (Laicharting 1781)																																																																							Copr, For/Arb		
Onthophagus gr. ovatus (Linnaeus 1767)																																																																							Copr		
Onthophagus taurus (Schreber 1759)																																																																							Copr, EO	X	
Onthophagus vacca (Linnaeus 1758)																																																																							Copr, EO	X	
Triodontella cf. cribellata Fairmaire 1859																																																																							For/Arb	X	
SCARITIDAE																																																																									
Dyschirius sp.																																																																							Sal, ZH		
SCIRTIDAE																																																																									
Contacophon sp.																																																																							Aq		X

Tableau II- 3 : Suite.

Profondeur (cm)	0-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	130-140	140-150	150-160	160-170	170-180	180-190	190-200	200-210	210-220	220-230	230-240	240-250	250-260	260-270	270-280	280-290	290-300	300-310	310-320	320-330	330-340	340-350	350-360	360-370	370-380	380-390	390-400	Habitat		
Assemblages	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32	S33	S34	S35			
Poids de l'échantillon (g)	178,1	290,5	358,7	350,0	346,4	313,9	394,0	390,8	409,9	488,7	374,4	436,1	466,7	516,1	769,8	538,1	519,0	568,3	548,8	606,2	545,2	564,6	466,6	564,0	266,0	513,7	510,5	518,0	524,6	434,0	286,0	262,8	272,1	264,8	225,2			
Nombre de fragments d'insecte identifié	147	218	443	338	311	190	129	463	731	810	380	90	43	36	71	12	2	14	12	56	79	110	104	96	34	86	72	67	82	76	61	32	52	56	58			
Nombre d'individus	81	114	141	123	109	72	41	134	243	288	117	39	24	20	37	10	1	9	10	35	52	53	68	84	32	69	54	51	66	54	43	25	38	42	41			
HISTERIDAE																																						
<i>Acritus (Acritus) nigricornis</i> (Hoffmann, 1803)																																						
<i>Hister</i> sp.																																						
Histeridae indet.																																						
HYDRAENIDAE																																						
<i>Aulacochthebius exaratus</i> (Mulsant, 1844)																																						
<i>Limnebius</i> sp. (2 taxa)																																						
<i>Hydraena</i> sp.																																						
<i>Ochthebius (Asiobates)</i> cf. <i>minimus</i> (Fabricius, 1792)																																						
<i>Ochthebius (Ochthebius)</i> gr. <i>meridionalis</i> Rey, 1885																																						
<i>Ochthebius</i> sp.																																						
HYDROCHIDAE																																						
<i>Hydrochus</i> sp.																																						
HYDROPHILIDAE																																						
<i>Anacaena</i> sp.																																						
<i>Berosus (Berosus) hispanicus</i> Kuster, 1847																																						
<i>Berosus (Berosus) signaticollis</i> Charpentier, 1825																																						
<i>Berosus</i> sp.																																						
<i>Cercyon (Cercyon) rhomboidalis</i> Perris, 1874																																						
<i>Cercyon</i> sp.																																						
<i>Coelostoma (Coelostoma) orbiculare</i> (Fabricius, 1775)																																						
<i>Enochrus</i> cf. <i>(Methydrius) coarctatus</i> (Gredler, 1863)																																						
<i>Enochrus</i> sp. (2 taxa)																																						
<i>Enochrus / Helochaes</i> sp.																																						
<i>Helochaes</i> sp.																																						
<i>Hydrophilus</i> sp.																																						
<i>Laccobius (Hydroxenus) femoralis femoralis</i> (Rey, 1885)																																						
<i>Limnoxenus niger</i> (Gmelin, 1790)																																						
<i>Paracymus aeneus</i> (Germar, 1824)																																						
LAEMOPHLOEIDAE																																						
<i>Cryptolestes / Laemophloeus</i> sp.																																						
<i>Lathropus sepicola</i> (Muller, 1821)																																						
LATRIDIIDAE																																						
Corticariinae indet.																																						
<i>Enicmus</i> sp.																																						
Latridiidae indet. (3 taxa)																																						
<i>Melanophthalma</i> sp.																																						
LIMNICHIDAE																																						
<i>Limnichus</i> sp. (2 taxa)																																						
MALACHIIDAE																																						
Malachiidae indet.																																						
<i>Malachius</i> sl.																																						
MORDELLIDAE																																						
Mordellidae indet.																																						
MYCETOPHAGIDAE																																						
<i>Berginus tamarisci</i> Wollaston 1854																																						
NITIDULIDAE																																						
<i>Cybocephalus</i> sp.																																						
<i>Meligethes</i> sl.																																						
NOTERIDAE																																						
<i>Noterus clavicornis</i> (De Geer 1774)																																						
PHALACRIDAE																																						
Phalacridae indet.																																						
PTILIIDAE																																						
<i>Acrotrichis</i> sp.																																						
PTINIDAE																																						
Anobiidae indet.																																						
<i>Gastrallus</i> cf. <i>corsicus</i> Schilsky, 1898																																						
<i>Ptinus</i> sp.																																						
<i>Ptinus (Ptinus) perrini</i> (Reitter, 1884)																																						
SCARABAEIDAE																																						
<i>Caccobius schreberi</i> (Linnaeus 1758)																																						
<i>Onthophagus (Onthophagus) taurus</i> (Schreber 1759)																																						
<i>Onthophagus (Palaeonthophagus) vacca</i> (Linnaeus, 1767)																																						
<i>Onthophagus</i> sp.																																						

Tableau II- 3 : Suite.

Profondeur (cm)	0-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	130-140	140-150	150-160	160-170	170-180	180-190	190-200	200-210	210-220	220-230	230-240	240-250	250-260	260-270	270-280	280-290	290-300	300-310	310-320	320-330	330-340	340-350	350-360	360-370	370-380	380-390	390-400	Habitat		
Assemblages	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32	S33	S34	S35			
Poids de l'échantillon (g)	178,1	290,5	358,7	350,0	346,4	313,9	394,0	390,8	409,9	488,7	374,4	436,1	466,7	516,1	769,8	538,1	519,0	568,3	548,8	606,2	545,2	564,6	466,6	564,0	266,0	513,7	510,5	518,0	524,6	434,0	286,0	262,8	272,1	264,8	225,2			
Nombre de fragments d'insecte identifié	147	218	443	338	311	190	129	463	731	810	380	90	43	36	71	12	2	14	12	56	79	110	104	96	34	86	72	67	82	76	61	32	52	56	58			
Nombre d'individus	81	114	141	123	109	72	41	134	243	288	117	39	24	20	37	10	1	9	10	35	52	53	68	84	32	69	54	51	66	54	43	25	38	42	41			
DERMAPTERA																																						
ANISOLABIDIDAE																																						
<i>Euborellia moesta</i> (Géné, 1837)	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NC	
DIPTERA																																						
Diptera indet.																																						
	-	2	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NC	
LIMONIIDAE																																						
Limoniidae indet.	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NC	
HEMIPTERA																																						
Heteroptera indet. (2 taxa)																																						
	2#	1	1	1	1	1	-	-	2	2#	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	-	1	-	3(2#)	NC		
CORIXIDAE																																						
Corixidae indet.	1	1	2	2	1	1	-	-	1	4	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	NC	
CYDNIDAE																																						
<i>Cydus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	ZH
GERRIDAE																																						
<i>Gerris</i> sp.	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ZH
PLEIDAE																																						
<i>Plea minutissima</i> Leach, 1817	1	1	2	1	3	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Aq
RHYPAROCHROMIDAE																																						
<i>Plinthisus longicollis</i> s.l. Fieber 1861	-	2	1	2	-	1	-	1	1	3	-	-	-	-	-	-	-	5	4	6	26	12	24	40	13	27	16	16	15	13	4	8	3	9	12	-	EO	
SALDIDAE																																						
<i>Salda</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NC
HOMOPTERA																																						
CICADELLIDAE																																						
Cicadellidae indet.	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NC
HYMENOPTERA																																						
Hymenoptera indet. (3 taxa)																																						
	2#	-	1	6(2#)	1	1	1	-	6(3#)	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	2#	1	1	-	-	-	4	1	3	1	1	-	-	-	NC	
Symphyla indet.	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NC
FORMICIDAE																																						
Formicidae indet.	1	1	1	2	1	-	-	-	-	1	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	1	1	-	-	-	-	1	-	1	-	-	NC
<i>Camponotus (Myrmentoma) lateralis</i> (Olivier 1791)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	For
<i>Camponotus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	For
<i>Plagiolepis pygmaea</i> (Latreille 1798)	-	6	1	4	-	-	-	1	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	1	-	3	1	2	2	-	-	4	4	-	-	NC	
Ponerinae indet.	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NC
<i>Ponera cf. coarctata</i>	2	6	-	3	1	-	-	-	8	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ZH
<i>Tetramorium gr. caespitum</i> (Linnaeus 1758)	2	5	-	5	1	-	-	1	6	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	1	2	2	2	2	3	2	1	-	-	-	-	5	NC	
ORTHOPTERA																																						
GRILLOTALPIDAE																																						
Grillotalpa sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	EO, ZH	
TRICHOPTERA																																						
LIMNOPHILIDAE																																						
Limnophilidae indet.	-	-	2	2	1	1	-	1	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Aq	
ARACHNIDA																																						
PSEUDOSCORPIONIDA																																						
Pseudoscorpionida indet.	1	1	1	1	-	-	-	1	2	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NC	
ARANEAE																																						
Araneomorphae indet.	1	2	4	1	3	3	1	1	7	11	3	1	1	1	-	1	-	-	-	1	-	1	-	1	1	-	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	NC	
LINYPHIIDAE																																						
Linyphiidae indet.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	NC	
SALTICIDAE																																						
Salticidae indet.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	NC
ORIBATIDA																																						
Oribatida indet. (2 taxa)	16	32	32	13	18	5	2	15	50	58	19	7	-	-	3	-	-	1	1	1	7(2#)	14	9	12	2	14	6	6	12	6	6	3	6	6(2#)	7	-	NC	

Annexe III : Données paléoentomologiques et carpologiques utilisées pour les analyses multivariées à Bagliettu

Tableau III- 1 : Jeu de données paléoentomologiques final de 23 échantillons \times 11 taxons d'insectes utilisé pour les analyses multivariées (DCA et ACC).

Échantillons	<i>Diplapion confluens</i>	<i>Protapion</i>	<i>Gymnetron</i>	<i>Stenoscelis submuricata</i>	<i>Xyleborinus saxeseni</i>	<i>Percus corsicus</i>	<i>Acrotrichis</i>	Pininae	<i>Onthophagus</i>	<i>Sisysphus schaefferi</i>	Aleocharinae	<i>Anotylus</i>	<i>Carpelimus</i>	<i>Oxytelus</i>	Pselaphini	<i>Philonthus / Quedius</i>	<i>Scopaeus</i>	<i>Stenus</i>	<i>Tachys</i>	<i>Dolichoderus quadrimaculatus</i>	<i>Myrmecina graminicola</i>	<i>Ponera</i>
S7	2,13	1,71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,43	0	2,04	0	0	0	0	0	2,29
S8	0	1,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,78	0	1,71	0	2,04	0	3,16	0	5,77	2,72	0
S9	0	1,53	0	0	0	4,08	0	0	0	4,47	2,67	3,78	2,77	0	3,78	2,04	0	0	3,54	4,08	0	0
S10	1,51	2,54	4,47	3,33	0	4,08	0	4,47	3,78	4,47	1,54	0	2,77	0	2,67	2,89	3,16	3,16	3,54	4,08	0	2,29
S11	3,02	1,71	0	3,33	0	0	4,08	0	3,78	0	1,54	5,35	0	2,97	2,67	2,04	3,16	4,47	3,54	4,08	0	3,24
S12	2,13	2,43	4,47	3,33	5	4,08	0	4,47	3,78	4,47	0	3,78	0	2,43	2,67	3,54	0	3,16	3,54	4,08	2,72	2,29
S13	0	1,33	4,47	0	0	0	0	0	3,78	4,47	0	0	0	0	0	2,04	0	0	0	0	0	0
S15	1,51	0	4,47	0	3,54	0	0	0	0	4,47	0	0	4,8	1,71	0	2,04	0	0	0	0	0	2,29
S19	0	0	4,47	0	0	0	0	0	0	0	1,54	0	0	2,97	0	0	0	0	0	0	0	0
S22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S25	0	1,08	0	0	0	0	4,08	0	0	0	1,54	0	0	0	2,67	2,89	0	3,16	0	0	0	0
S26	0	1,08	0	0	0	0	5,77	0	3,78	0	3,78	0	0	2,97	0	3,54	0	0	0	0	2,72	3,97
S28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,18	3,78	0	0	0	0	0	0	0	0	2,72	2,29
S29	0	1,33	0	4,71	0	0	4,08	4,47	0	0	4,08	3,78	2,77	0	0	2,89	0	4,47	3,54	0	3,85	5,62
S30	0	0	0	0	0	4,08	0	4,47	0	0	1,54	0	0	0	0	3,16	0	3,54	0	1,92	0	0
S33	0	0,77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,43	0	0	0	0	0	0	5,44	2,29
S34	3,02	2,87	0	0	0	0	0	0	0	0	5,12	0	2,77	0	0	3,16	3,16	0	0	0	0	2,29
S35	0	2,43	0	3,33	3,54	0	0	0	0	0	1,54	0	3,92	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S37	7,39	5,94	0	4,71	3,54	4,08	4,08	0	0	0	1,54	0	0	6,18	2,67	2,04	4,47	0	0	0	2,72	0
S38	3,37	4,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,92	3,43	0	2,89	3,16	0	0	0	3,85	2,29
S39	1,51	1,88	0	0	0	4,08	0	0	0	0	2,67	0	2,77	0	5,35	2,04	3,16	3,16	5	0	0	0
S40	0	0	0	3,33	5	0	0	0	3,78	0	2,18	0	0	0	3,78	2,89	4,47	0	0	0	0	0
S41	0	0,77	0	0	3,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,67	0	0	0	0	0	0	0

Tableau III- 2 : Jeu de données carpologiques final de 23 échantillons × 22 taxons de plantes utilisé pour les analyses multivariées (vecteurs d'ajustement et ACC).

Échantillons	<i>Alnus</i>	<i>Erica</i>	<i>Eupatorium</i>	<i>Mentha</i>	<i>Moehringia</i>	<i>Potentilla</i>	<i>Prunella</i>	<i>Rubus</i>	<i>Sambucus</i>	<i>Viola</i>	<i>Vitis</i>
S7	0	0	0	0	0	0	0	0,67	0	0	0
S8	0,73	7,89	0	0,62	0	3,33	5,11	0,47	0	0	0
S9	0,52	3,14	0	1,63	0	1,67	4,17	1,84	0	1,94	2,36
S10	0,82	2,22	0	1,38	0	3,73	3,61	1,25	0	1,94	0
S11	0,90	0	0	1,38	1,54	1,67	0	4,19	0	5,14	2,36
S12	0,52	2,22	0	3,15	6,07	7,07	2,95	2,84	0	4,12	4,08
S13	0,52	0	0	1,24	6,99	3,73	0	3,82	4,20	2,75	5,27
S15	2,00	0	0	1,38	2,89	0	0	1,77	3,43	3,89	2,36
S19	1,67	0	0	0,62	0	0	0	0	0	0	0
S22	0	0	0	0	0	0	0	1,16	0	1,94	3,33
S25	2,00	0	0	0	0	0	0	0,67	0	0	0
S26	3,41	0	0	0	0	0	0	0,47	0	0	0
S28	0,63	1,28	1,75	0,62	0	1,67	0	0	0	0	0
S29	1,97	1,28	0	5,21	1,09	0	0	0,95	4,20	1,37	0
S30	0,52	0	0	1,95	0	0	0	1,16	2,43	1,94	2,36
S33	0,63	1,28	0	0,87	0	0	0	2,01	2,43	0	0
S34	4,50	0	1,42	0,62	0	0	2,09	0	4,20	0	0
S35	5,26	0	0	1,24	0	0	0	5,45	3,43	0	2,36
S37	3,81	1,28	8,06	3,55	0	0	0	2,60	0	2,38	0
S38	2,03	0	0	0,62	0	0	0	0,47	2,43	0	0
S39	1,42	0	2,47	2,05	1,09	1,67	0	0,47	0	0	0
S40	0,73	1,28	4,88	4,10	0	0	0	1,50	0	1,94	2,36
S41	0,37	0	0	1,75	0	0	0	0,67	0	0	2,36

Abstract

The history of the Corsican vegetation is well known, especially in mountain areas. However, some grey areas remains about the part played by climate or anthropic activities in past vegetation changes or regarding the response of coastal ecosystems to the Holocene marine transgression.

This thesis aims to define the multi-millennial trajectories of Corsican ecosystems under the climatic, eustatic and anthropic factors *via* the study of fossil insect assemblages (mainly beetles) and previous or new palaeobotanical data (pollen, plant macrofossils). This multidisciplinary approach was carried out at low and middle elevation on three sedimentary archives from the Greco pond (1 m on Cavallo Island), the Cannuta marsh (2 m) and the Bagliettu peat-bog (212 m).

The results reveal major changes in the structure of the vegetation cover over the last 7000 years. Signs of more open landscapes occurred on Cavallo and in Cannuta from 5500-5000 cal. BP. They coincide with bio-markers of insular societies activities, which increased from 3000 cal. BP onward and more particularly during the last 1000 years at Bagliettu.

In addition, this study suggests that the sensitivity and the response of coastal wetlands to the relative sea-level rise depend on the geomorphological context. On the low-lying Cavallo Island, marine transgression induced an increase of salt conditions in the Greco pond from 3700 cal. BP, which in turn, caused an irreversible loss of aquatic and hygrophilous beetle diversity. In Cannuta marsh, erosion on catchment slopes favoured the progradation of the coastal floodplain and the results reveal a progressive decrease of the marine influence from 5000 cal. BP as well as a diversification of this entomofauna over the last 1200 years. In Bagliettu, the results show how hydro-morphological changes of the rivers impact the dynamics of adjacent peaty ecosystems and beetle diversity.

Thereby, this retrospective approach provides novel information about the settlement and the long-term evolution of the biodiversity of the study sites, which is of paramount importance for their management.

Keywords: fossil insects – pollen analysis – insular ecosystem dynamic – environmental changes – anthropic impact – relative sea-level rise – Corsica – Holocene

Résumé

L'histoire de la végétation en Corse est bien connue, particulièrement dans les espaces montagnards. Cependant, des zones d'ombre persistent concernant par exemple le rôle du climat ou des activités anthropiques dans certaines modifications du couvert végétal ou encore la réponse des écosystèmes littoraux à la transgression marine holocène.

L'objectif de cette thèse est d'identifier les trajectoires plurimillénaires des écosystèmes de Corse à basse et moyenne altitude sous la triple influence des forçages climatique, eustatique et anthropique à travers l'étude des assemblages d'insectes fossiles (coléoptères en particulier) et des données paléobotaniques (pollen, macrorestes végétaux) disponibles ou nouvellement acquises. Cette approche multidisciplinaire a été appliquée sur trois séquences sédimentaires prélevées à l'étang du Greco (1 m) sur l'île Cavallo, au marais de Cannuta (2 m) et à la tourbière de Bagliettu (212 m).

Les résultats obtenus révèlent des changements majeurs dans la structuration du couvert végétal. Des signes d'ouverture du paysage apparaissent sur Cavallo et à Cannuta dès 5500-5000 cal. BP. Ils coïncident avec des indices d'activités des sociétés insulaires, lesquelles s'intensifient après 3000 cal. BP et plus particulièrement depuis 1000 ans à Bagliettu. De surcroît, notre étude suggère que la sensibilité et la réponse des zones humides littorales face à la remontée relative du niveau marin dépend du contexte géomorphologique. Sur l'île Cavallo où le relief est faible, la transgression marine induit une augmentation de la salinité dans l'étang du Greco vers 3700 cal. BP, qui à son tour provoque une chute irréversible de la diversité des coléoptères aquatiques et hygrophiles. Au marais de Cannuta, où l'érosion des versants a favorisé la progradation de la plaine alluviale, notre étude montre une diminution de l'influence marine après 5000 cal. BP et une diversification de cette même entomofaune à partir de 1200 cal. BP. À Bagliettu, c'est l'importance des changements hydro-morphologiques des rivières dans la dynamique des écosystèmes tourbeux attenants et de leur entomofaune que nous avons pu démontrer.

Ainsi, cette approche rétrospective fournit des informations originales concernant la mise en place et l'évolution sur le long terme de la biodiversité des sites étudiés, utiles pour leur conservation.

Mots-clés : insectes fossiles – analyse pollinique – dynamique des écosystèmes insulaires – changements environnementaux – impacts anthropiques – montée relative du niveau marin – Corse – Holocène