

Mémoire de Master 1

Année universitaire 2025-2026

Université Toulouse Jean Jaurès

Master Mention Archéologie, sciences pour l'archéologie, Parcours Arts, Sociétés et Environnements de la Préhistoire et de la Protohistoire : Europe, Afrique (ASE2P)

Des chauves-souris et des pollens : reconstruire l'environnement fossile à partir des guanos de chiroptères

Par Dora Baradel

Réalisé sous la direction de

Emmanuel Chapron (Professeur des Universités, GEODE)

David Kaniewski (Maître de Conférences, CRBE)

Laurent Bruxelles (Directeur du Centre International de Recherche SHARE, CNRS)



Remerciements

Mes remerciements vont tout d'abord à Laurent Bruxelles, qui a été l'initiateur de ce projet et dont l'expertise et les encouragements ont été précieux tout au long de sa réalisation. Merci à Emmanuel Chapron d'avoir accepté de diriger ce travail, et de m'avoir suivi tout au long de ma recherche. Ma reconnaissance va également à l'équipe d'UT3. A David Kaniewski qui a co-dirigé ce travail : merci pour ta présence, tes conseils, ton accompagnement et tes nombreuses relectures et corrections. Merci pour toutes les notions de paléoécologie et de biostatistique que tu m'as transmises avec pédagogie. Ma profonde gratitude va également à Thierry Otto et Frédéric Luce, pour m'avoir offert la possibilité de mieux comprendre les procédés physico-chimiques à l'œuvre dans mon travail et m'avoir aidé à la lecture des lames. Merci à vous pour le temps que vous m'avez accordé, nos discussions, votre patience et vos enseignements. Votre suivi et vos approches complémentaires m'ont permis d'élargir considérablement ma réflexion. Je tenais également à remercier Régis Cereghino, directeur du CRBE, pour m'avoir permis d'accéder à ses locaux et d'y effectuer mon étude.

Merci à Thomas Perrin pour m'avoir donné l'accès à la Base de Données Archéologiques.

Un grand merci aux responsables d'opérations archéologiques que j'ai pu rencontrer lors de mes fouilles, en particulier Clément Venco pour nos discussions et ses précieux conseils. Merci aux membres de l'équipe du Bois de la Tigne 2024 pour les souvenirs mémorables, la bonne humeur et les fous rires.

Merci à tous les collègues du Master ASE2P, plus précisément à Anaïs, Juline et Julie, pour votre sympathie, votre amitié et nos discussions toujours très enrichissantes et stimulantes. Votre présence a été un véritable soutien. Une mention particulière à Juline que je remercie pour son aide à la réalisation des figures de ce mémoire.

Merci à Éva Bénard, qui a suivi toutes les étapes de ma recherche avec investissement et intérêt, et qui me suit depuis le début de mon parcours universitaire. Merci pour le temps que tu m'as accordé, malgré ton emploi du temps de doctorante surchargé, ainsi que pour ton amitié, tes encouragements et tes précieux conseils.

Toute ma gratitude va également à mes enseignants, notamment ceux de Science de la Vie et de la Terre, de Physique-Chimie, d'Histoire et de Latin. Vous m'avez donné le goût d'apprendre, la curiosité et la motivation pour entreprendre la suite de mes études.

Enfin, un immense merci aux personnes qui sont présents au quotidien : Léa, Mélisse, Elyamm et Julie. Une mention toute particulière à Geoffrey, qui m'a notamment aidé à la réalisation des différentes cartes qui apparaissent dans ce mémoire. Un grand merci à ma famille, sans qui je n'aurais jamais été aussi loin et qui m'ont soutenu face à l'originalité de ce projet.

Table des matières

Remerciements.....	3
Table des matières	5
Introduction	7
Chapitre I : Etat de la recherche et remise en contexte	10
1.1. Etat de la recherche.....	10
1.1.1.La palynologie en grotte : débats, enjeux et perspectives	10
1.1.2.Le guano de chiroptère comme nouveau proxy.....	11
1.2.Remise en contexte	15
1.2.1.Localisation, géologie et végétation	15
1.2.2.Contexte chrono-culturel	17
1.2.3.La grotte des Escalans.....	21
Chapitre 2 : Méthodologie.....	23
2.1. Choix et ouverture de la carotte	23
2.1.1. Pourquoi ce choix ?	23
2.1.2 Extraction de la carotte	23
2.1.3. Ouverture et protocole de prélèvements	24
2.1.4. Observations sédimentaires	24
2.2. Traitement des échantillons et lecture des lames.....	25
2.2.1. Traitement physico-chimique des échantillons.....	25
2.2.2. Protocole de lecture des lames.....	26
2.2.3. Analyses biostatistiques	26
Chapitre 3 : Résultats.....	28
3.1. Exposition des résultats	28
3.1.1 Clustering	28
3.1.2. ACP et LOESS Smoothing	29
3.1.3. CABFAC.....	30
Chapitre 4 : Discussion.....	31
4.1. Représentativité et principe d'actualisme	31
4.2. Sédimentation, hiatus et taphonomie	33
4.3. Perspectives	33
4.3.1. Datation radiocarbone et modèle d'âge	33
4.2.2. Comparaison avec une carotte sédimentaire lacustre.....	33
4.2.3. Ethologie de la chauve-souris et approche pluridisciplinaire	34

Conclusion	35
Bibliographie	36
Table des figures	47
Annexes	48
1. Tableau des données d'extraction de la carotte ESCA-001	48
2. Tableau de comptage pollinique	49
3. Tableau de fréquences relatives	53
4. Tableau de données du clustering	56
5. Tableau des scores de l'ACP et loadings	57
6. Tableau de données du LOESS.....	58
7. Tableau de données du CABFAC et du modèle polynomial	58
8. Planche de pollens observés dans les lames d'ESCA-001	59
9. Modèle d'âge hypothétique	60
Résumé	61

Introduction

Les grottes sont des milieux complexes, difficilement exploitables en termes d'analyses palynologiques (Batina et Reese, 2011). Malgré leur stabilité relative en tant que milieu d'enregistrement biologique (Lauritzen, 1996), on peut observer dans les reconstructions paléoenvironnementales issues de dépôts sédimentaires et de spéléothèmes des biais analytiques liés à la conservation différentielle (taphonomie pollinique), à la contamination d'échantillons ou encore, à la présence de trop faibles concentrations en grains de pollen, rendant les données difficilement exploitables (Yang et al., 2021). En effet, la grotte étant un milieu fermé, elle ne laisse passer que quelques courants d'air et infiltrations d'eau, ce qui est parfois insuffisant pour collecter suffisamment d'informations sur l'environnement. De plus, les grottes sont des lieux d'occupation à la fois animale et humaine depuis le Pléistocène. La faune y est présente depuis les périodes antérieures. Ainsi, les séquences peuvent être perturbées par ces activités biotiques récurrentes.

Cependant, le potentiel des cavités reste considérable. En effet, elles abritent très fréquemment des colonies de chauves-souris qui produisent une quantité importante de guano au quotidien. On reporte des taux de sédimentation pouvant aller de 0,015 à 0,02 mm/an à 0,2 à 0,25 mm/an (Bird et al., 2007), ou encore 0,7 à 2,5 cm par an (Johnston et al., 2010). Ce guano s'accumule en formant des couches fines qui se tassent au cours du temps, permettant d'obtenir des enregistrements sans interruptions potentielles sur un temps très long, étant donné que les chauves-souris reviennent généralement dans la même grotte pour se reproduire, pour donner naissance aux chauve-souriceaux, s'en occuper et ce annuellement (Leroy et Simms, 2006 ; Bruxelles et al., 2024). Or, les chauves-souris insectivores présentes sur le territoire ingèrent les pollens présents sur les insectes mais également ceux dans l'atmosphère avant de revenir dans la grotte et de les expulser *via* leurs déjections ou leur toilette. Ces pollens sont conservés dans des amas de guano, offrant ainsi une opportunité de reconstructions paléoenvironnementales de grande précision.

Ce mémoire intitulé « Des chauves-souris et des pollens : reconstruire l'environnement fossile à partir des guanos de chiroptères » vise à reconstruire les paléoenvironnements méditerranéens du sud de la France, ainsi que les processus d'anthropisation lors de l'Holocène, grâce à l'analyse paléoécologique de l'archive paléoenvironnementale qu'est le guano de chiroptères.

La problématique qui va guider cette recherche est donc la suivante : Dans quelle mesure l'étude paléoécologique du guano de chauve-souris peut-elle nous apporter des éléments sur l'évolution et l'anthropisation des écosystèmes ?

Bien que notre problématique majeure reste liée à l'anthropisation, c'est-à-dire au processus d'artificialisation par l'Homme de milieux dit « naturels », il est essentiel d'évoquer les différents axes de recherche de ce sujet.

Dans le domaine de l'archéologie, la viabilité des données liées au guano de chiroptère permettrait d'ouvrir de nouvelles perspectives d'analyses paléoécologiques en contexte de grotte, et d'ainsi mieux appréhender les conditions environnementales dans lesquelles les populations passées ont évolué. Quel était le type d'environnement ? Quelles ressources étaient à leur disposition ? Milieu ouvert ou milieu fermé ? Y avait-il de l'agriculture ? Quelles plantes étaient cultivées ? Comment l'Homme s'est-il adapté aux changements environnementaux ? Il est également possible de dater cette archive et d'effectuer d'autres types d'études paléoenvironnementales telles que des analyses isotopiques ou entomologiques (Bird et al., 2007, Suzanne A.G. et al., 2025). Le guano étant datable au radiocarbone (Carrión et al., 2006 ; Leroy et Simms, 2006 ; Maher, 2006 ; Batina et Reese, 2011 ; Geantă et al., 2012 ; Marais et al., 2015 ; Onac et al., 2015 ; Cleary et al., 2019 ; Bruxelles et al., 2024), il est donc possible de calibrer ces séquences dans le temps. La précision de ces enregistrements peut être annuelle. En effet, cela est clairement observable dans les amas de guano récents dans lesquels un laminage clair et sombre représente une année. Les chauves-souris se trouvant dans un nombre important de grottes, il serait possible d'appliquer cette méthode à de multiples sites préhistoriques ou grottes non occupées par l'Homme, en comblant ainsi les zones où les enregistreurs polliniques lacustres et tourbeux sont absents.

Dans le contexte du changement climatique actuel, il est crucial de chercher à comprendre la manière dont les écosystèmes évoluent, notamment sous l'action de l'Homme et comment celui-ci s'y adapte. Pour l'époque actuelle (données instrumentales), il nous suffit d'observer pour mesurer ces changements sur nos écosystèmes : migrations d'espèces, diminution voire disparition de plusieurs d'entre elles pour laisser place à d'autres. En ce qui concerne les époques anciennes, nous pouvons appliquer le principe d'actualisme, avec discernement, pour répondre à nos questionnements. Comment a évolué la végétation en relation avec la présence

humaine ? Comment l'Homme a-t-il artificialisé, anthropisé ces écosystèmes ? Notre objectif principal dans cette étude est donc de reconstruire pour mieux comprendre les premières phases d'artificialisation des écosystèmes, pour appliquer ces observations à notre présent et notre futur dans le cadre de modélisations.

Il convient tout d'abord de replacer l'étude dans son contexte, à la fois chronologique et géographique. La carotte de guano que j'ai étudiée a été prélevée dans la grotte des Dames, aussi appelée grotte des Escalans dans la commune de Saint-Bauzille-de-Montmel dans l'Hérault, à environ 22 km au nord de Montpellier. Sa base a été datée par radiocarbone (^{14}C) à 7130 $\pm$ 35 ^{14}C BP, calibrée à 1 σ : 7930-7980 BP et 2 σ : 8015-7870 BP (Calib Rev 8.10) pour 29 cm de prélèvement.

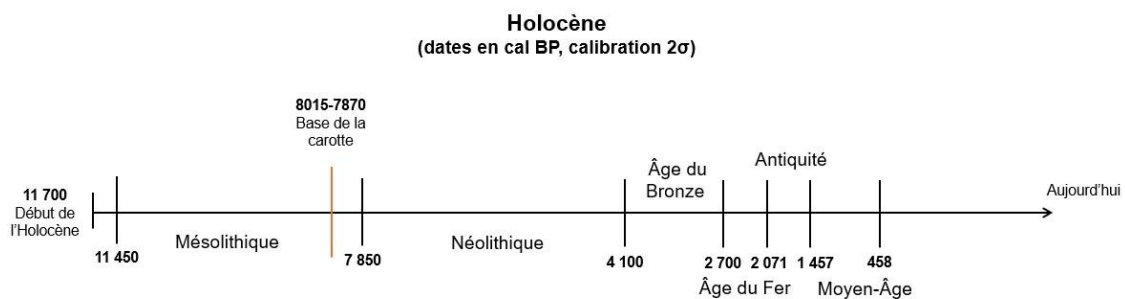


Figure 1 : Frise chronologique situant la base de la carotte ESCA-001

Afin de répondre aux questionnements qui guident cette étude, nous allons d'abord replacer plus en détail notre travail dans son contexte de recherche, à la fois géographique, géologique et chrono-culturel. Nous exposerons ensuite notre méthode, nos résultats ainsi que nos interprétations et nos conclusions.

Chapitre I : Etat de la recherche et remise en contexte

1.1. Etat de la recherche

1.1.1. La palynologie en grotte : débats, enjeux et perspectives

La volonté de reconstituer des environnements passés *via* l'identification et le comptage de pollens fossiles remonte au début du XXème siècle (Leroyer et al., 2018). Cependant, en contexte archéologique et notamment en grotte, la non-représentativité des échantillons est massivement pointée du doigt (Pons, 1984 ; Reille, 1990) ; ce qui induit une absence de données paléoenvironnementales pour une vaste partie des territoires (Yang et al., 2021). Et pourtant, les grottes, du fait de leur stabilité, présentent un atout majeur pour l'enregistrement des données paléoenvironnementales (Hunt et Fiacconi, 2018 ; Basumatary et Tripathi, 2021).

De plus, les autres milieux de prélèvements pour les analyses polliniques sont restreints géographiquement, les grottes l'étant aussi, les deux peuvent donc se compléter (Tsalickis et al., 2021 ; Bruxelles et al., 2024). L'analyse paléoenvironnementale devient donc essentielle dans de nombreux sites archéologiques majeurs en grotte afin de reconstituer les environnements dans lesquels l'Homme a évolué. Ainsi, de nombreux travaux pionniers ont posés les bases de l'analyse palynologique en grotte tout au long du XXème siècle, en soulignant les défis et problématiques taphonomiques de cette approche : lieux de prélèvements, quantité de grains de pollen, représentativité, continuité des enregistrements ou encore remaniements sédimentaires (Leroi-Gourhan, 1954 ; Van Campo et al., 1956 ; Sánchez Goñi, 1994 ; Diot, 1991 ; Farbos, 1985).

Au XXIème siècle, de nouvelles perspectives s'ouvrent pour la palynologie dans les milieux karstiques. C'est ainsi que l'on peut observer l'apparition d'études portants sur les spéléothèmes (Lebreton et al., 2007 ; Bastin et Gewalt, 2007) ou encore les coprolithes (Carrión et al., 2007 ; Lartigot Campin et Mone, 2017) dont l'analyse palynologique peut-être complétée par celle des isotopes. Des travaux sur la taphonomie pollinique (Fig. 3), déjà présents au siècle précédent (Coles et al., 1989), se poursuivent (Lebreton et al., 2009 ; Marais et al., 2015). Cela amène la communauté des chercheurs à s'interroger de nouveau sur la question de la morphologie de la grotte et du choix du lieu de prélèvement dans la cavité (Navarro et al., 2001 ; Camacho et

al., 2000 ; Carrión et al., 2022 ; Solak-Amet et Tosunoglu, 2025), notamment sur l'incidence de ce choix concernant la qualité des échantillons et les résultats de l'étude (Campbell et al., 2017 ; Hunt et Fiacconi, 2018 ; Solak-Amet et Tosunoglu, 2025). Ainsi, des travaux interdisciplinaires, notamment avec des karstologues, permettrait d'obtenir des échantillons davantage exploitables.

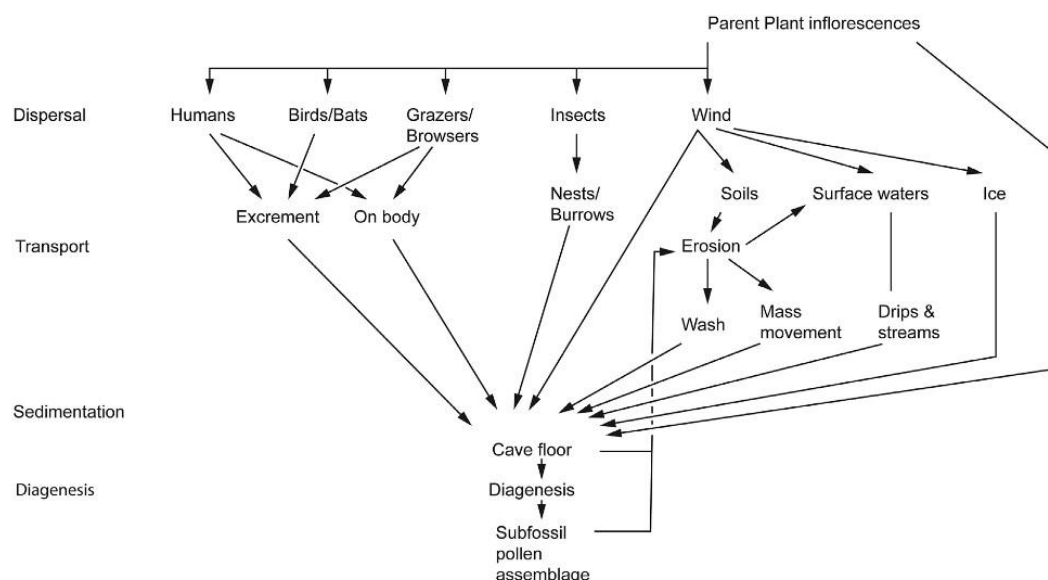


Figure 2 : Taphonomie pollinique en grotte (Hunt et Faccioni, 2018)

1.1.2. Le guano de chiroptère comme nouveau proxy

Le transport du pollen dans la grotte peut s'effectuer de différentes façons : par l'air, par l'eau et par les animaux (Coles et al., 1989 ; Navarro et al., 2001 ; Hunt et Fiacconi, 2018 ; Reis et al., 2023). Ces pollens sont ceux de la végétation qui se trouve proche de l'ouverture de la cavité (Cleary et al., 2019 ; Reis et al., 2023), mais également ceux qui en sont plus éloignés, permettant de reconstruire une végétation à l'échelle locale mais également régionale (Navarro et al., 2001 ; Maher, 2006 ; Geantă et al., 2012 ; Forray et al., 2015 ; Onac et al., 2015 ; Svitavská-Svobodová et al., 2015 ; Basumatary et Tripathi, 2021 ; Carrión et al., 2022 ; Reis et al., 2023 ; Solak-Amet et Tosunoglu, 2025).

Les chauves-souris sont présentes en colonies dans les grottes (Batina et Reese, 2011 ; Kunz et Fenton (dir.), 2005). Elles l'occupent et produisent du guano sur une grande partie de l'année (en dehors de la période d'hibernation) et ce sur un temps très long qui peut s'étendre sur des décennies ou sur des périodes beaucoup plus longues

(Leroy et Simms, 2006 ; Bruxelles et al., 2024). Elles produisent des dépôts importants qui peuvent, potentiellement, nous permettre de remonter loin dans le temps (Widga et Colburn, 2015 ; Campbell et al., 2017 ; Darabad et al., 2019 ; Bogdanowicz et al., 2020). Le guano étant protégé à l'intérieur de la grotte, il y a plus de chances que cette archive soit protégée des agents atmosphériques de surface (soleil, vent, pluie ou encore gel) et donc exploitable pour les reconstitutions paléoenvironnementales (Onac et al., 2015).

Plusieurs dizaines d'études menées sur du guano moderne (Navarro et al., 2001 ; Carrión et al., 2006 ; Marais et al., 2015 ; Basumatary et Tripathi, 2021 ; Reis et al., 2023 ; Solak-Amet et Tosunoglu, 2025) et ancien (Leroy et Simms, 2006 ; Maher, 2006 ; Batina et Reese, 2011 ; Geantă et al., 2012 ; Forray et al., 2015 ; Marais et al., 2015 ; Onac et al., 2015 ; Svitavská-Svobodová et al., 2015 ; Cleary et al., 2019), également dans des grottes avec des vestiges archéologiques (Forray et al., 2015 ; Widga et Colburn, 2015), ont été effectuées au niveau mondial : en Europe, aux Etats-Unis, en Asie, en Afrique et également en milieu insulaire. Elles montrent toutes que l'on retrouve des grains de pollen dans les amas de guano produits par les colonies de chauve-souris. Il a été démontré que l'exine du pollen, grâce à la sporopollénine, résiste aux sucs digestifs présents dans l'estomac de la chauve-souris et à l'attaque des différentes enzymes (Leroy et Simms, 2006).

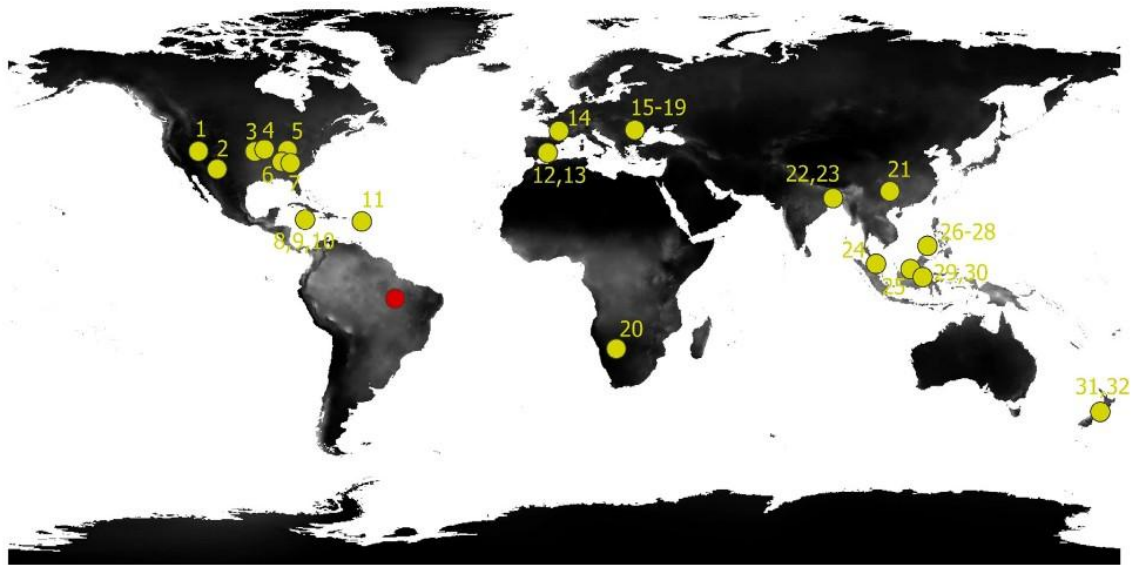


Fig. 1. Locations of caves around the world where guano deposits have been studied. Red circle: our study site in Carajás, Brazil; Yellow circles: 1- Grand Canyon, Arizona, USA [5,6]; 2- Eagle Creek Cave, Arizona, USA [7,8]; 3- Tumbling Creek Cave, Missouri, USA [4]; 4- Round Spring Cavern, Missouri, USA [9]; 5- Mammoth Cave, Kentucky, USA [10]; 6- Spring Cave, Alabama, USA [11]; 7- Fern Cave, Alabama, USA [3]; 8- Jackson Bay Cave Complex, Jamaica [12,13]; 9- Schwallenburgh Cave, Jamaica [14]; 10- Home Away from Home Cave, Jamaica [14-16]; 11- Blanchard Cave, Eastern Caribbean [17]; 12,13- Southeastern Spain [18,19]; 14- Grotte XVI, France [20]; 15- Măgurici Cave, Romania [21-23]; 16- Zidită Cave, Romania [24,25]; 17- Gaura cu Muscă Cave, Romania [26,27]; 18- Gura Ponicovei Cave, Romania [28]; 19- Topolnița Cave, Romania [29]; 20- Arnhem Cave, Namibia [30]; 21- China [31]; 22- Siju cave, India [32]; 23- Eraaning Cave, India [33]; 24- Batu Cave, Malaysia [34]; 25- Niah Cave, Borneo [34]; 26- Gangub Cave, Philippines [33]; 27- Makangit Cave, Philippines [34,35]; 28- Tabon Cave, Philippines [36]; 29- Gomantong Cave, Indonesia [37]; 30- Bau Cave, Indonesia [36]; 31- New Zealand [38]; 32- New Zealand [39].

Figure 3 : Répartition des études sur le guano de chiroptère dans le monde (Reis et al., 2023)

Les grains de pollen se concentrent dans le guano par différents moyens (Carrión et al., 2006 ; Leroy et Simms, 2006 ; Maher, 2006 ; Batina et Reese, 2011 ; Geantă et al., 2012 ; Forray et al., 2015 ; Marais et al., 2015 ; Bruxelles et al., 2024). Ils peuvent être ingéré via la chasse d'insectes, par la respiration lors du vol dans la végétation ou bien pris dans les poils et relargués dans la grotte lorsque la chauve-souris se lave une fois revenue dans la cavité. Les grains de pollens ayant été digérés par la chauve-souris, ou bien par l'insecte d'abord puis par la chauve-souris, se retrouvent également sur l'amas de guano suite à la digestion. Enfin, selon la localisation de l'amas et de la morphologie de la grotte, les courants d'air naturels apportent plus ou moins des grains de pollen. Cependant, il est important de noter que ce dernier apport peut être discuté. En effet, les chauves-souris s'installent généralement à l'écart des courants d'air afin de conserver la chaleur.

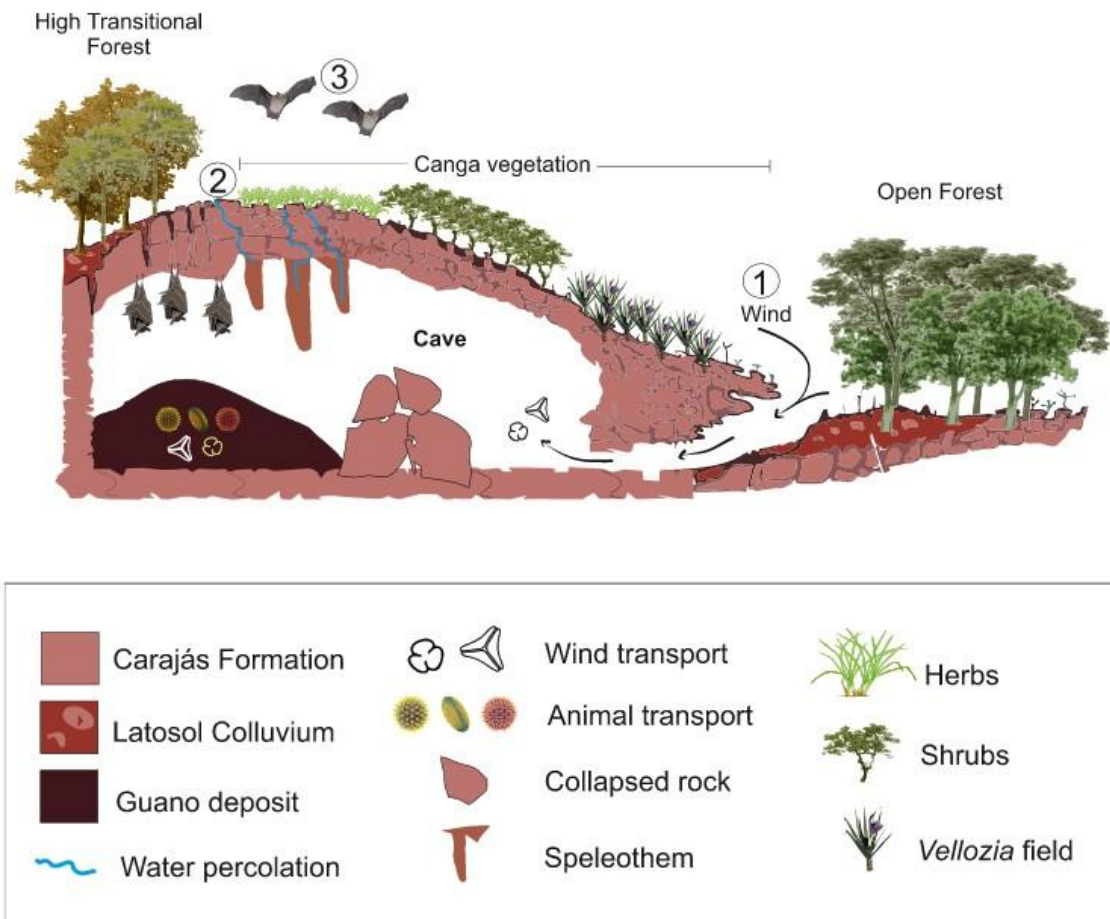


Figure 4 : Origine et transport du pollen théorique dans la cavité, jusque dans les tas de guano (Reis et al. 2023)

Il est essentiel de noter que ce matériau est datable au ^{14}C avec des dépôts sur le temps long (Carrión et al., 2006 ; Leroy et Simms, 2006 ; Maher, 2006 ; Batina et Reese, 2011 ; Geantă et al., 2012 ; Marais et al., 2015 ; Onac et al., 2015 ; Cleary et al., 2019 ; Bruxelles et al., 2024).

En parallèle, d'autres études sur le guano voient le jour, notamment sur le $\delta^{13}\text{C}$ (Bird et al., 2007 ; Royer et al., 2015 ; Widga et Colburn, 2015 ; Choa et al., 2016 ; Wirrmann et al. 2017 ; Cleary et al., 2019) et le $\delta^{15}\text{N}$ (Wurster et al., 2010 ; Royer et al., 2015 ; Widga et Colburn, 2015 ; Choa et al., 2016 ; Cleary et al., 2019). Des études de calcul de vitesse d'accumulation et de diagenèse (Bird et al., 2007 ; Johnston et al., 2010 ; McFarlane et Lundberg, 2024), mais également d'ADN (Bogdanowicz et al., 2020), de paléontologie (Widga et Colburn, 2015) et d'entomologie (Rollin, 2017) apportent davantage de précisions sur l'écologie des chiroptères. L'interdisciplinarité permet d'ouvrir davantage de perspective pour la détermination des paléoenvironnements, mais également des comportements de ces espèces protégées (Forray et al., 2015 ; Onac et al., 2015 ; Suzanne A.G. et al., 2025).

1.2. Remise en contexte.

1.2.1. Localisation, géologie et végétation

La grotte des Escalans, ou grotte des Dames, se situe dans la commune de Saint-Bauzille-de-Montmel dans le département de l'Hérault, à environ 40 km au nord de Montpellier, dans le Sud – Est de la France (Fig.7). Elle s'insère dans un palier intermédiaire entre les garrigues et la plaine viticole et littorale du département (Grégory et al., 2022), juste à la frontière avec le Gard. Ce territoire extrêmement anthropisé se situe dans un contexte climatique méso-méditerranéen, c'est-à-dire avec des précipitations légèrement plus importantes (Dolez, 2018).

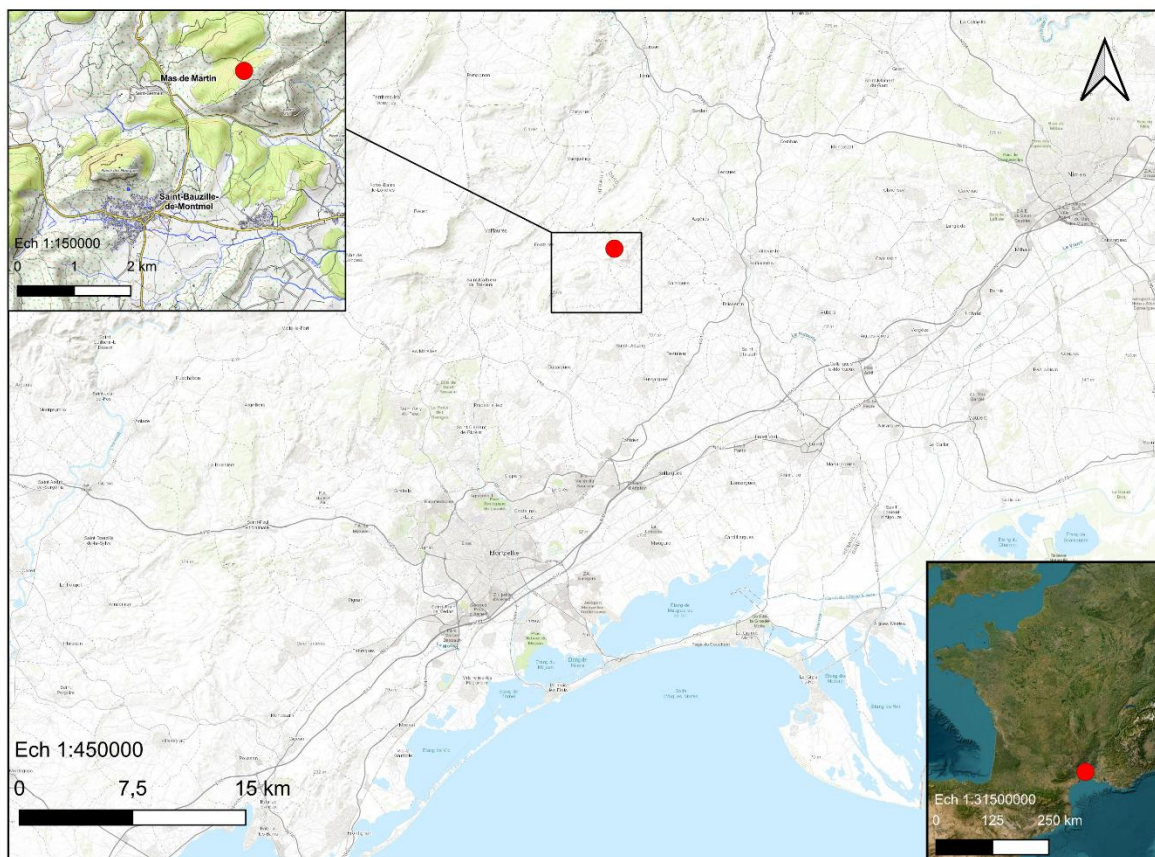


Figure 5 : Carte de localisation de la grotte des Escalans à l'échelle nationale, régionale et locale (fond de carte : ESRI ; projection : EPSG :3857)

En ce qui concerne le contexte géologique de la zone, la grotte s'insère dans un massif calcaire datant du Jurassique supérieur avec la présence d'alluvions récentes du Quaternaire (Fig. 7). Deux cours d'eau se trouvent à proximité, en contrebas du massif : La Bénovie et le Ruisseau de Conque. Plus généralement, la commune se trouve à la croisée de trois bassins versant : le bassin versant de la Bénovie, le bassin

versant du Lez et le bassin versant de l'étang de l'Or ou étang de Mauguio, alimenté entre autre par la Cadoule et le Salaison. La grotte se situe dans une zone de végétation forestière et herbacée, proche de zones d'agriculture hétérogènes (DDTM34, 2017).

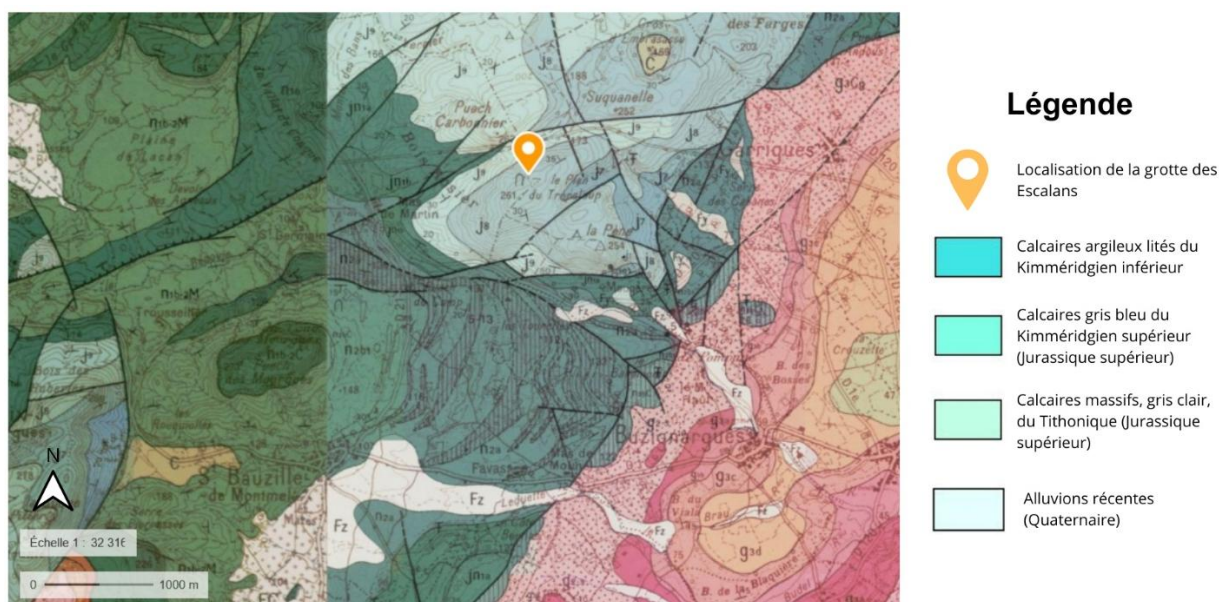


Figure 6 : Carte géologique localisant la grotte des Escalans © BRGM

Le département comprend plusieurs espèces arborées caractéristiques. Les feuillus sont principalement le chêne vert (*Quercus ilex*), le chêne pubescent (*Quercus pubescens*), le hêtre (*Fagus sylvatica*) et le frêne (*Fraxinus angustifolia*). Les conifères sont eux majoritairement représentés par le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), le pin noir (*Pinus nigra*) sur les zones plus dolomitiques, le sapin pectiné (*Abies alba*) et l'épicéa (*Picea abies*) (DDTM34, 2011 ; Grégory et al., 2022). L'activité agricole est actuellement en baisse, le pastoralisme et l'ensemble des processus d'anthropisation qui ont été responsables de la formation de garrigues sont également en forte diminution. (DDTM34, 2011).

1.2.2. Contexte chrono-culturel

Les sites archéologiques mentionnés dans cette partie forment une liste non-exhaustive. Il a été choisi de ne conserver que les principales occupations présentes dans un rayon de 50km à vol d'oiseau autour de la grotte des Escalans. En effet, cette distance est légèrement supérieure à celle que parcourt habituellement le Minioptère de Schreibers lors de la chasse (Bodin et al., 2009), si nous partons du postulat que la même espèce a occupé la grotte étudiée. Il est important de noter que le Minioptère de Schreibers fait partie des espèces qui ont un « territoire » de chasse le plus étendu. De plus, même si nous évoquons le département de l'Hérault, certains sites évoqués peuvent déborder sur les départements alentours, la grotte se trouvant à proximité du Gard. Enfin, dans une volonté de synthèse diachronique, l'ensemble des dynamiques d'occupation évoqués restent à un niveau général.

L'Holocène débute il y a environ 11 700 BP. C'est à ce moment que prend fin le Paléolithique récent. A la suite du Paléolithique débute le Mésolithique. La datation de la base de l'enregistrement de guano étudié correspond à la fin de cette période. On constate que le Languedoc et plus précisément l'Hérault est un territoire fortement occupé de tout temps, malgré des fluctuations visibles tout au long de son histoire. En effet, alors qu'il existe déjà des éléments démontrant la présence humaine durant le Paléolithique (Ambert et al., 2007 ; Bon et al., 2019 ; Brugal et al., 2020), on observe, notamment sur le littoral, une présence humaine dès le Néolithique ancien, à partir de 7 850 BP (Blanchemanche et al., 2003 ; Chabal, 1997). Lors de cette période, c'est l'occupation en grotte, dans les massifs karstiques, qui est majoritaire (Gutherz, 1990).

Cette présence s'amplifie au Néolithique moyen (à partir de 6 550 BP) avec l'apparition de la culture chasséenne, ainsi qu'au Néolithique récent (à partir de 5 450 BP) avec les groupes culturels de Ferrières puis de Fontbuisse (avec le village éponyme) qui occupent les vallées, les plaines, les garrigues et le littoral (Gutherz, 1990). Les territoires plus reculés ne deviennent véritablement occupés qu'au Néolithique final (4 450 BP) et au Chalcolithique, comme le montrent les différents inventaires archéologiques réalisés (Gutherz et al., 1990 ; Jallot, 2008). Les densités d'occupation sont déjà fortes (Colomer et al., 1990) et continuent d'augmenter, caractérisant la sédentarisation néolithique : on peut noter l'apparition du village de Cambous, du village de Boussargues, ou encore des premières occupations de l'oppidum d'Ambrussum ou de l'habitat de hauteur de Roquemengarde : (Gutherz, 1990 ;

Colomer et al., 1990 ; Chabal, 1997 ; Carozza et Georjon, 2006). Dans la zone comprenant le Pic Saint-Loup, à une dizaine de kilomètres de Saint-Bauzille-de-Montmel, on compte 150 sites archéologiques sur une surface de 750 km² (Gutherz, 1990).

À la transition avec l'âge du Bronze, à partir de 4 100 BP, une nouvelle augmentation du nombre de sites, notamment de plein air, est observable (Berger et al., 2019). Cette augmentation est chronologiquement synchrone d'une période de déforestation qui va durer jusqu'à la fin de l'âge du Fer (Azuara et al., 2015). La continuité d'occupation avec les sites du Néolithique est également importante (Lachenal et al., 2025), comme c'est le cas pour le site du Rocher du Causse (Gutherz, 1990), de la grotte du Hasard (Chabal, 1997), de Caissargues (Chabal, 1997) ou encore de l'oppidum de Nîmes (Nuninger, 2002). Vers la fin de l'âge du Bronze, on constate une augmentation des habitats de hauteur (Lachenal et al., 2025), avec l'apparition de sites majeurs comme l'oppidum de Roque de Viou, l'oppidum de Nages, l'oppidum de *Sextantio*, l'oppidum de Villevieille ou encore l'oppidum de Mouressipe (Nuninger, 2002 ; Ouriachi, 2009). Au Bronze final, la lagune de Mauguio, déjà occupée au Néolithique moyen enregistre le début d'une longue occupation avec le site de Tonnerre I (Chabal, 1997).

Dès l'âge du Fer (à partir de 2 700 BP), les agglomérations se multiplient et s'étendent sur le territoire (Maguer, 2023). L'apparition d'*oppida*, des établissements de hauteurs fortifiés, ou encore l'augmentation en superficie d'agglomérations déjà présentes montrent une hausse de la densité d'occupation, notamment vers la fin du premier et le début du second Âge du Fer avec les *oppida* de la Liquière, de la Font du Coucou ou encore de Puech des Mourgues (Dedet, 1995, 2004 ; Berger et al., 2019 ; Séjalon, 2021 ; Maguer, 2023). Les étangs du littoral sont en pleine activité avec un commerce méditerranéen grandissant (Azuara et al., 2015), stimulés par la proximité avec Marseille, comme c'est le cas du site commerçant majeur du Port de Lattes (*Lattara*), mais également du comptoir du Cailar et d'Espeyran (Chabal, 1997 ; Rey et Roure, 2021). Un maillage, ou réseau urbain, est déjà bien établi à cette période. La viticulture, l'agriculture et l'élevage sont des pratiques bien établies et florissantes (Maguer, 2023). C'est à la fin de la période protohistorique, plus exactement à la fin de l'Âge du Fer que ces établissements se rapprochent de la côte (Azuara et al., 2015). Cette mutation dans l'occupation du territoire amène à une reforestation importante pendant la période antique (Azuara et al., 2015).

La transition avec l'Antiquité (à partir de 2 071 BP) s'accompagne d'une nouvelle vague d'anthropisation de l'environnement avec l'intensification de l'exploitation viticole et fruitière (Berger et al., 2019). En effet, à la suite de la conquête de la Gaule par Jules César, la romanisation du territoire (Dolez, 2018) entraîne la mise en place des cités gallo-romaines, souvent à partir d'occupations d'origine gauloises (Blin, 2023) ou plus anciennes comme pour Nîmes qui devient capitale de cité. Un fort dynamisme caractérise la région (Nuninger et al., 2018 ; Fovet, 2010), avec la poursuite plus générale d'occupations des périodes précédentes : Tonnerre I, Ambrussum, *Sextantio* ou encore Sommières-Villevieille (Chabal, 1997 ; Nuninger, 2002 ; Nuninger et al., 2018). On note également l'apparition du site de Lunel-Viel, qui fait partie des agglomérations secondaires majeures pendant l'Antiquité (Blin, 2023). Les réseaux hydrographiques ainsi que les réseaux routiers, déjà présents pour une partie à l'Âge du Fer, font l'objet d'un développement majeur à l'arrivée des romains (Blin, 2023). Au-delà des agglomérations, le monde rural est aussi très fortement impacté par l'apparition des domaines agricoles ou *villae*, et de plusieurs petits établissements ruraux (Fovet, 2010). La fin de la période laisse place à un abandon d'une partie des sites (Fovet, 2010).

La transition avec le Moyen-Âge est caractérisée par l'apparition d'une nouvelle organisation territoriale avec l'avènement des *castra* médiévaux, de nouvelles agglomérations secondaires comme le Roc de Pampelune, le *castrum* de *Mormellicum* ou encore d'établissements agricoles ruraux comme Dassargues, mais également de grandes villes comme Montpellier (Schneider, 2004, 2007 ; Azuara et al., 2015 ; Schneider, 2020). Plus généralement, la période médiévale (1 457-458 BP) est un nouveau marqueur d'une forte augmentation de la population et des occupations avec une importante déforestation, en particulier au début Haut Moyen-Âge ou Premier Moyen-Âge (Berger et al., 2019). Le Second Moyen-Âge, ou Moyen-Âge central, est le reflet d'un regain démographique et d'une poursuite de l'aménagement du territoire, comme c'est le cas de la motte castrale et du port de Mauguio (Dolez, 2018 ; Hautcoeur et Virlovet, 2025). Enfin, le Moyen-Âge tardif, en phase avec les premiers épisodes de péjorations climatiques du Petit Âge Glaciaire, est le terrain de guerres et d'épidémies et enregistre donc une baisse du taux démographique (Dolez, 2018).

A la suite de plusieurs alternances entre reprises et déprises agricoles, la révolution industrielle au début du 19^{ème} siècle est le théâtre d'un abandon progressif des terres

agricoles et un déclin de l'agriculture (Azuara et al., 2015). Ainsi, la recolonisation forestière progressive se met en place depuis le début du 20^{ème} siècle, notamment avec des espèces comme le pin (*Pinus*) qui a connu un retour en force au 19^{ème} siècle et le chêne (*Quercus*).

Le territoire qui entoure la grotte des Escalans a fait l'objet de fluctuations d'occupations tout au long de son histoire, mais avec une forte présence humaine en continu qui a laissé et laisse encore un impact fort sur les paysages aujourd'hui majoritairement artificialisés.

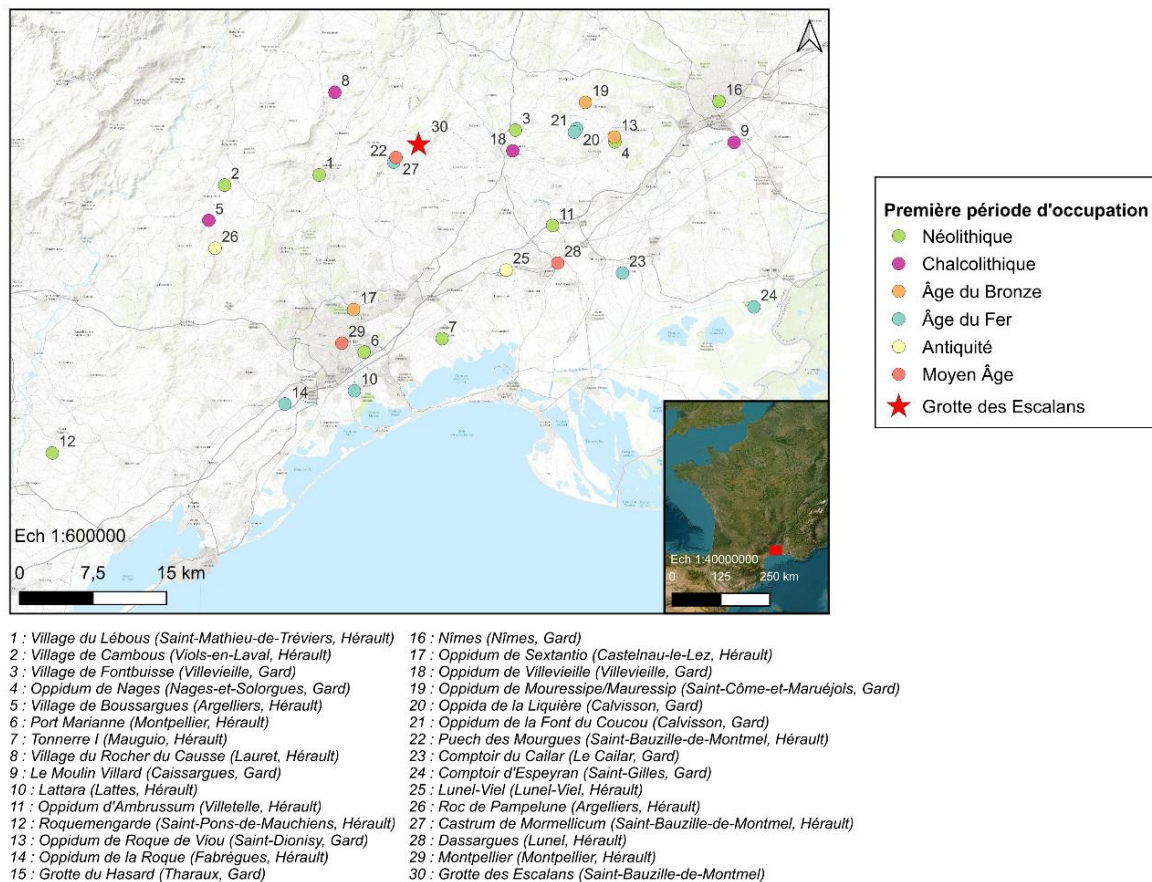


Figure 7 : Carte de localisation des sites archéologiques cités dans le texte (fond de carte : ESRI ; projection : EPSG :3857)

1.2.3. La grotte des Escalans

La grotte des Escalans est reliée à l'aven de Mounmaou, par lequel on accède à la cavité. L'entrée se trouve à 233 mètres d'altitude. Cette grotte n'a pas fait l'objet de fouilles, mais elle est régulièrement explorée par les spéléologues. Il y a donc relativement peu d'informations à son sujet. Au niveau de l'aven ont été retrouvés des restes montrant une présence humaine : tessons de poterie, ossements de canidé et de chauve-souris, fragments de montant d'échelle (Bruxelles et al., 2021). La présence de ce montant d'échelle pourrait indiquer une exploitation potentielle du guano (Bigot et al., 2024). Cependant, cette exploitation ne semble pas toucher l'intégrité de notre séquence. On note également la présence d'un lac

temporaire dans cette cavité en eau uniquement en période de fortes pluies (Bigot et al., 2024). La grotte est fortement marquée par la biocorrosion et est occupée par le

Minioptère de Schreibers (*Miniopterus schreibersii*), en grande partie présent dans la



Figure 8 : Fragment d'échelle © L. Bruxelles

(Dietz et Kiefer, 2021). Cette espèce cavernicole insectivore utilise la grotte comme refuge pour l'hibernation, mais également pour la mise-bas qui a lieu entre mi-juin et début juillet (Dietz et Kiefer, 2021 ; Roué et al., 2022 ; Médard et Aulagnier, 2026).

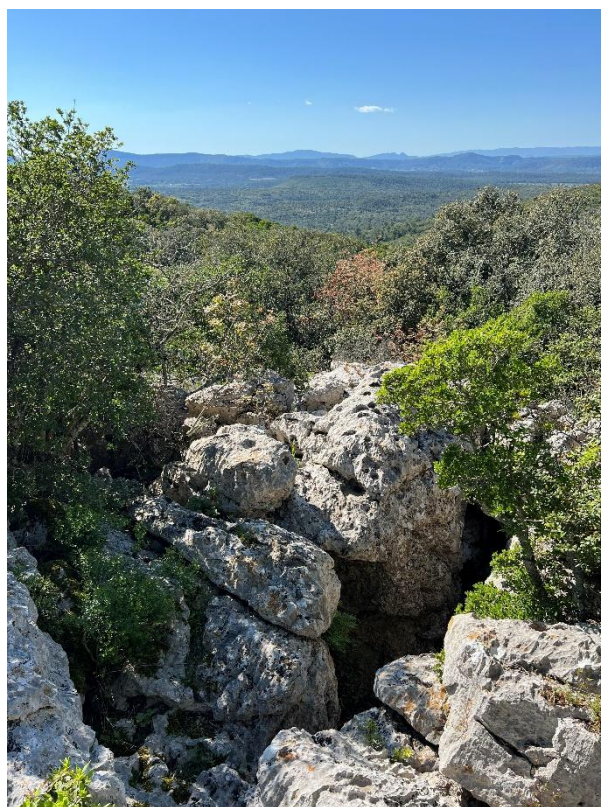


Figure 9 : Entrée de la grotte par l'aven de Mounmaou
© L. Bruxelles

salle du guano d'où provient notre carotte (Bruxelles et al., 2021). Le Minioptère de Schreibers, qui occupe la grotte, est une espèce endémique d'Europe méditerranéenne qui privilégie la fréquentation des milieux forestiers, mais également des agglomérations pour la chasse

Elles s'organisent en colonies dans les grottes qui leur offre un milieu généralement stable pour toute l'année (Kunz et Fenton (dir.), 2005 ; White et Culver, 2011).

Chapitre 2 : Méthodologie

2.1. Choix et ouverture de la carotte

2.1.1. Pourquoi ce choix ?

La carotte 001 de la grotte des Escalans a été sélectionnée parmi plusieurs autres carottages tous originaires du sud de la France et plus précisément du milieu méditerranéen. Le prélèvement a été daté par ^{14}C à sa base à 7130 $\pm$ 35 ^{14}C BP (calibrée à 7980-7930 BP - 1σ et 8015-7870 BP - 2σ). Elle couvre ainsi une large partie de l'Holocène, et plus spécifiquement la transition Mésolithique-Néolithique jusqu'au temps présent. Cette carotte assez ancienne nous permet donc d'observer les processus d'anthropisation ainsi que l'évolution des paléoenvironnements sur le temps long, alors même que le prélèvement ne mesure que 29 centimètres de long.

AVEN DE MOUNMAOU

COMMUNE DE SAINT-BAUZILLE-DE-MONTMEL

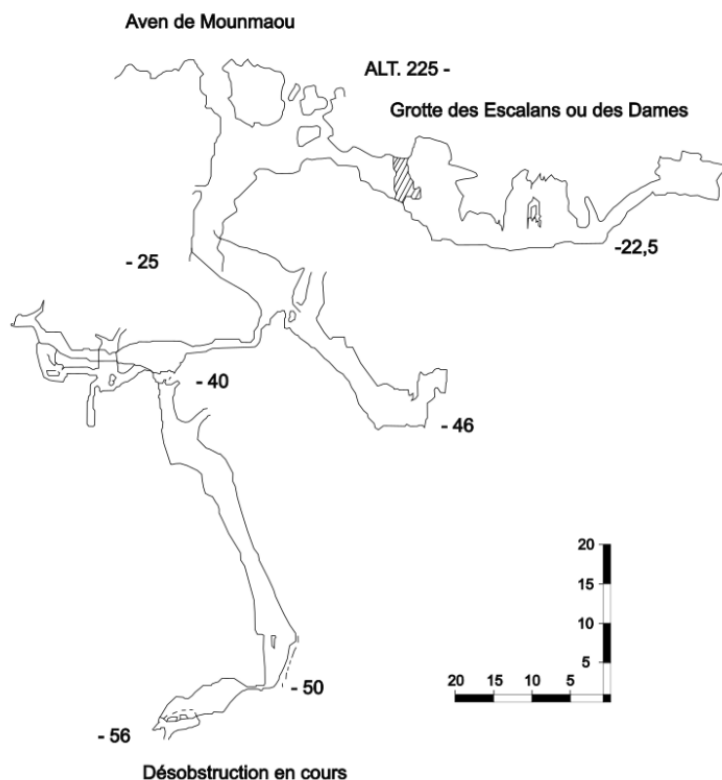


Figure 10 : Carte de la grotte des Escalans, d'après Bruxelles et al. 2021



Figure 11 : Carottage du tas de guano © L. Bruxelles

2.1.2. Extraction de la carotte

ESCA-001 a été prélevé en avril 2021 par Laurent Bruxelles, dans la salle du guano et plus précisément à l'entrée, juste à la suite de la galerie qui y donne l'accès.

2.1.3. Ouverture et protocole de prélèvements

L'intégralité des procédés physico-chimique qui vont suivre ont été réalisés par Thierry Otto (CRBE UMR 5300 CNRS). L'ouverture de la carotte s'est effectuée sous Poste de Sécurité Microbiologique (PMS), afin d'éviter tout contact et transmission de virus/maladie. Une des deux moitiés de la carotte a été conservée pour de possibles analyses ultérieures. Elle mesure 29 centimètres de long et est pleine. Un prélèvement



Figure 12 : Photographie de la carotte ESCA-001 à l'ouverture. Le haut de la carotte se trouve à gauche de l'image.

a été effectué tous les centimètres de façon continue sur l'entièreté de la carotte, à l'aide de carottiers de verre. Les prélèvements sont au nombre de 30. Suite à ces prélèvements, la totalité du matériel et des déchets est autoclavé, selon un cycle de produits solides à 131°C afin de garantir l'absence de tout risque biologique.

2.1.4. Observations sédimentaires

Du haut de la carotte jusqu'à 10,5 centimètres, le guano est granuleux/grumeleux. Il est cependant homogène. Sur 1 centimètre, on constate la présence d'une bande de transition vers un aspect plus compact. De 11,5 centimètres à 17,5 centimètres, le guano devient plus sombre et compact. On observe des traces de litage de couleur blanche. Ce segment montre une base oblique. A partir de 17,5 centimètres jusqu'au bas de la carotte, le guano s'assombrit et se compacte davantage. On note de nouveau la présence de litage avec quelques petits points.

2.2. Traitement des échantillons et lecture des lames

2.2.1. Traitement physico-chimique des échantillons

Le protocole présenté ci-dessous est tiré du protocole classique d'extraction pollinique (Fægri et al., 1989). L'objectif principal de l'ensemble de ces manipulations est d'éliminer la plus grande quantité de matière organique et minérale possible afin de faciliter les observations au microscope et d'isoler les pollens.

Tout d'abord, l'intégralité des tubes où se trouvent les échantillons sont remplis d'eau micro filtrée. Ils sont ensuite passés à la centrifugeuse, pour un cycle de 3500 tours/min pendant 5 minutes afin de former un culot. Le surnageant est versé dans un bécher sur lequel est déposé un tamis de maille 160 μm , le filtrage est effectué à l'aide d'une pissette d'eau micro filtrée. Le refus isolé, tandis le passant est transvasé de dans le tube en téflon (résistance thermique et chimique) que l'on remplit du KOH à 10% (Hydroxyde de potassium) pour effectuer une première attaque à chaud. Les tubes sont déposés dans un bain chauffant pendant 15 minutes à 85 °C après avoir été mélangés à l'aide d'une touillette. Le contenu est de nouveau filtré à 160 μm . Le contenu filtré est isolé dans une coupole et passe à la cuve à ultrasons. Cela va permettre de défaire les grumeaux et de séparer les éléments figurés (restes d'insectes, etc...) et de la matrice. On peut également utiliser de l'acide sulfurique pour aider à désagréger la matière. Cela nécessite cependant un nouveau rinçage afin de ne garder aucune trace du produit chimique, comme c'est le cas pour le rinçage à la suite de l'attaque au KOH. On effectue ensuite un second filtrage. Les éléments obtenus contiennent majoritairement des restes d'insectes qui sont mis à sécher et conservé pour des études ultérieures. Le liquide dans le fond du bécher va être transvasé dans un autre. C'est celui-ci qui contient les pollens fossiles. Les tubes vont de nouveau être passés à la centrifugeuse pour un cycle de 3500 tours/min pendant 5 minutes. Sous la sorbonne du laboratoire, on ajoute la solution Lüder, constituée de HNO₃ à 58% (acide nitrique) et de HCl technique à 35% (acide chlorhydrique, quelques gouttes). On laisse agir la solution pendant 3 minutes avant d'effectuer de nouveau un rinçage et de centrifuger selon les mêmes paramètres que précédemment. Le culot est versé dans une coupelle, qui est déposé dans la cuve à ultrasons pour homogénéiser le séparer encore si possible les grains de pollens des autres éléments figurés. On procède à une nouvelle filtration à l'aide d'un filtre de 10 μm . Le choix des mailles est lié à la taille des grains de pollens 10 μm , ceux-ci ne

passent pas. Par élutriation, on va chercher à séparer les éléments légers des éléments lourds que sont les minéraux restants. Le contenu du tamis est ensuite remis dans le tube. On procède à l'ajout d'eau glyco-phénolée, et suite à cela, le culot du tube est mis dans de la glycérine dans un autre tube. L'ensemble de ces tubes sont conservés au réfrigérateur afin de limiter le développement de champignons et de bactéries. On utilise du phénol dans le milieu final qui est un composé toxique fongicide. Il est utilisé à raison de quelques cristaux d'acide phénique pour 1 l de solution. Enfin, les lames sont montées.

2.2.2. Protocole de lecture des lames

La lecture des 30 lames s'est effectuée sous le tutorat de Frédéric Luce (CRBE UMR 5300 CNRS), à l'aide d'un microscope optique Zeiss avec un grossissement x400. L'ensemble de la lame est parcouru dans l'objectif de décompter l'intégralité des pollens, le but étant d'appréhender le potentiel de conservation de l'archive. Les pollens identifiables sont comptés et répertoriés dans un tableur (Annexe 2) afin d'être ensuite traités statistiquement.

2.2.3. Analyses biostatistiques

L'intégralité des données obtenues a été triée sur une base d'analyse statistiques. Les méthodes utilisées dérivent directement de la biologie et des mathématiques, donnant ainsi des résultats totalement objectifs. Les analyses suivantes ont été effectuées sous le tutorat de David Kaniewski (CRBE UMR 5300 CNRS). Une fois les comptages polliniques bruts insérés sous Excel, les signaux sont transformés en fréquence relatives (Annexe 3) afin de rendre homogènes et comparables les échantillons observés.

A l'aide du logiciel PAST 5.3, une classification ascendante hiérarchique (cluster analysis) a ensuite été réalisée sur les données afin de déterminer statistiquement des groupes écologiques viables. Cette étape est essentielle afin de réduire le signal initial de 52 taxons en 12 groupes écologiques. La détermination de ces groupes est basée sur la position des nœuds par rapport à l'indice de similarité. Seuls les nœuds supérieurs à 0 sont considérés pour former ces groupes. Sur la base de ces groupes formés, la somme des taxons inclus dans chaque groupe est réalisée pour chaque échantillon (somme des fréquences relatives).

Une analyse en composante principale (ACP) a ensuite été réalisée sur les groupes écologiques formés afin de synthétiser l'information sur un seul et unique axe. Cet axe, le premier axe de l'ACP (Axe 1), résume la variance dans l'ensemble des groupes. Il est défini par une contribution de chaque groupe (dénommée loadings) qui structure les scores obtenus. Ces valeurs sont la base de la courbe présentée en figure 15.

Un LOESS Smoothing a ensuite été appliqué sur l'Axe 1 de l'ACP afin de tester la variabilité du signal obtenu en utilisant un bootstrap simulant 1000 valeurs potentielles. Une bande de confiance, basée sur les percentiles, a ensuite été calculée et ajoutée.

Afin de tester le poids statistique de la variabilité anthropique sur la résultante végétation, une analyse factorielle CABFAC a été réalisée. Cette analyse est basée sur les groupes écologiques sur lesquels la variable anthropique va être testée comme étant un élément structurant. Les résultats sont élaborés sous forme de modèle linéaire (donné avec le coefficient de corrélation R^2 ainsi que le RMSE). Le R^2 doit obligatoirement être au-dessus de 0.5, sinon l'analyse n'est pas viable et la variable testée non structurante. Le modèle permet d'indiquer le pourcentage de corrélation entre la variable anthropisation et les variables observées dans les autres groupes. Même si d'autres variables expliquent le signal, cela permet de déterminer mathématiquement à quel point l'anthropisation est structurante sur celui-ci. Enfin, un modèle polynomial (ou régression polynomiale) est réalisé, basé sur les données de l'Axe 1 qui ne suit pas une régression linéaire. Le coefficient de corrélation ainsi que la P_{value} sont exportés. La P_{value} doit toujours être inférieure à 0,05 pour que le modèle soit valide.

Chapitre 3 : Résultats

3.1. Exposition des résultats

3.1.1. Clustering

Comme évoqué précédemment, le graphe obtenu résulte d'une classification ascendante hiérarchique. Il présente les différents groupes écologiques se démarquant dans les échantillons (Fig. 13). On observe deux ensembles distincts : la végétation d'influence anthropique, et la végétation « naturelle ».

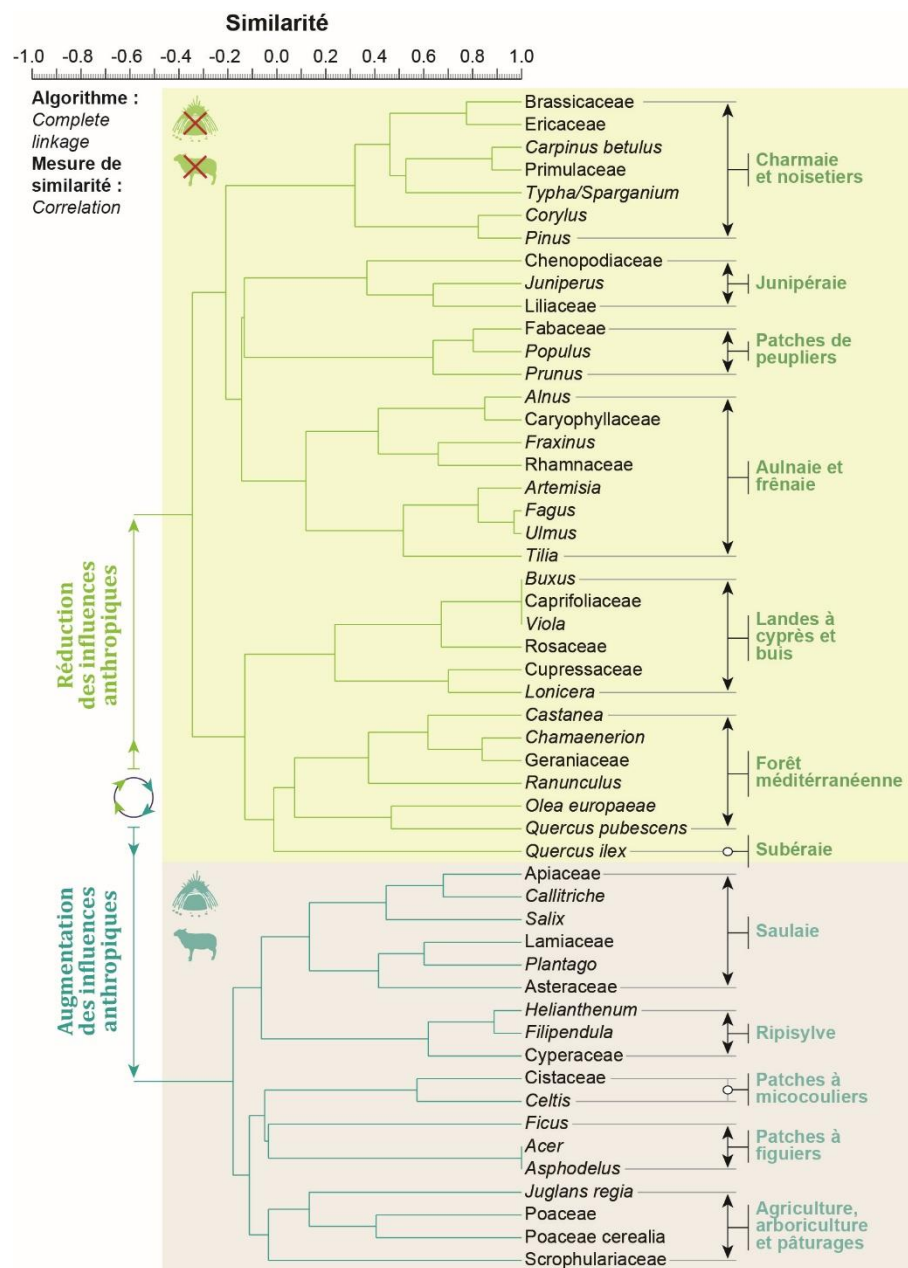
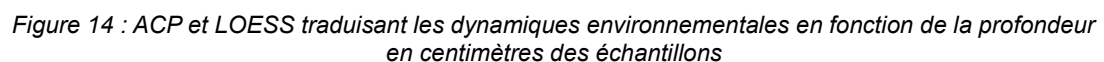


Figure 13 : Clustering mettant en évidence les groupes écologiques obtenus

L'ACP permet de résumer la variance de l'ensemble des échantillons sur un seul axe, ici, l'axe 1 (qui exprime 62% de la variance totale). On obtient une courbe permettant d'estimer les variations des groupes écologiques en fonction du temps. La dynamique à long terme est représentée sous forme d'un modèle polynomial ($R^2 = 0.8$, $P_{\text{value}} < 10^{-3}$). Les Loadings permettent de déterminer l'origine des valeurs négatives et positives qui influencent les tendances de la courbe. Les valeurs négatives sont



29

valeurs négatives entre 28 cm et 11 cm. Dans cet intervalle, on remarque plusieurs pics négatifs : un premier pic important à 25 cm, un second à 22 cm, un troisième à 16,5 cm et enfin un dernier à 13 cm. Ces pics montrent une forte présence d'espèces indiquant une artificialisation de l'environnement. L'intervalle présente également des pics positifs toujours en dessous de 0 : un premier à 24 cm, un second à 18 cm qui passe légèrement au-dessus de 0 et enfin, un dernier à 14 cm avant une remontée des valeurs au-dessus de zéro. On constate ainsi que l'influence anthropique connaît de fortes fluctuations lors de cet intervalle, avant de laisser place à un retour des valeurs positives influencées par une végétation naturelle. Cependant, l'absence de modèle d'âge ne nous permet pas d'être plus précis sur la chronologie associée à ces variations.

3.1.3. CABFAC

L'analyse factorielle CABFAC permet, à partir des groupes écologiques établis, de vérifier si les résultats obtenus, soit l'environnement reconstruit, sont liés à la variable anthropisation en termes de pourcentages. La courbe obtenue (Fig. 15) ainsi que la valeur R^2 sont suffisantes pour valider le test.

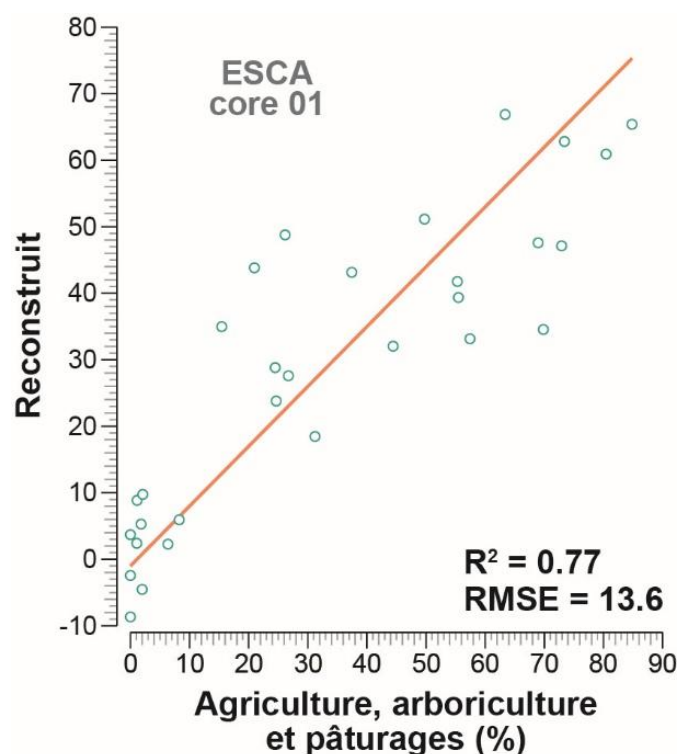


Figure 15 : CABFAC Factor analysis permettant de tester la variable anthropisation

Chapitre 4 : Discussion

4.1. Représentativité et principe d'actualisme

D'après les résultats obtenus et qui ont été détaillés dans la partie précédente, nous sommes en mesure de dire que l'anthropisation est significative sur nos analyses statistiques. En effet, la courbe obtenue, étendue de 7 130 ^{14}C BP à nos jours sur 30 cm d'épaisseur de guano, est exploitable et montre clairement une forte anthropisation de l'environnement. La longueur de la carotte est exceptionnellement réduite, en comparaison avec d'autres prélèvements connus dont la longueur varie de 35 cm (Maher, 2006) à 270 cm (Johnston et al., 2010). Il est intéressant de prendre en compte que l'épaisseur de l'amas de guano peut être dû non seulement à son étendue dans le temps, mais également au nombre de chauve-souris dans la colonie. De plus, ESCA-001 couvre, si on compte une accumulation ininterrompue, 7 000 ans de données pollinique. Les prélèvements déjà publiés possèdent parfois des datations plus anciennes (Batina et Reese, 2011) avec un enregistrement diachronique (Maher, 2006 ; Batina et Reese, 2011 ; Marais et al., 2015 ; Campbell et al., 2017 ; Bogdanowicz et al., 2020) mais sont parfois sujets à des hiatus identifiables grâce au ^{14}C . A ce stade, l'absence de modèle d'âge due à un manque de datations ^{14}C ne permet pas de confirmer catégoriquement l'absence d'interruptions dans la séquence, même si les observations stratigraphiques montrent une absence de perturbations. Cela proscrit également toute comparaison de nos résultats avec des données environnementales (températures, précipitations) et archéologiques. En annexe du mémoire est joint un modèle d'âge potentiel, celui-ci prend en compte le fait que le guano de la partie haute de la séquence est frais. Ce modèle d'âge demeure hypothétique.

Les échantillons sont très riches en grains de pollen sur la majorité des lames (de la lame 11 à la lame 30), comme c'est le cas dans d'autres études (Leroy et Simms, 2006 ; Maher, 2006 ; Batina et Reese, 2011 ; Forray et al., 2015). Seules les dix premières lames, les plus récentes, ont une quantité moindre, mais qui permet tout de même une analyse cohérente et l'obtention de résultats viables. Cette baisse de quantité de grains de pollens a également été observée dans d'autres études (Geantă et al., 2012 ; Marais et al., 2015 ; Svitavská-Svobodová et al., 2015 ; Cleary et al., 2019 ; Bogdanowicz et al., 2020). Dans notre cas, elle peut s'expliquer par le fait que le guano qui se trouve en haut de la carotte n'est pas encore totalement tassé, faisant

ainsi baisser le nombre de grains de pollens observés. Les recherches montrent également que les procédés de phosphatation, d'oxydation et de combustion à l'œuvre à certains endroits de la carotte empêchent une bonne conservation de l'intégralité du matériel pollinique (Geantă et al., 2012 ; Marais et al., 2015). Dans les études publiées, les lames les moins riches sont celles qui proviennent principalement de la base des carottes (Svitavská-Svobodová et al., 2015 ; Cleary et al., 2019 ; Bogdanowicz et al., 2020). Cependant, malgré une baisse des quantités, les données restent parfaitement exploitables et donnent des résultats viables. Les grains de pollen sont, pour la plus grande partie d'entre eux, identifiables malgré la présence importante de débris d'insectes (cf. annexe) et de quelques grains non identifiables ou endommagés.

Les espèces végétales observées et regroupées dans la classification ascendante hiérarchique semblent être cohérentes avec celles observées actuellement dans la région : le chêne (*Quercus*), notamment le chêne vert (*Quercus ilex*), le pin (*Pinus*), le frêne (*Fraxinus*) et l'olivier (*Olea*) entre autres. Les autres analyses consultées tendent vers cette même cohérence, et montrent une importante diversité des taxons présents dans le guano (Geantă et al., 2012 ; Forray et al., 2015 ; Bogdanowicz et al., 2020).

Ainsi, nous pouvons observer que nos résultats concordent avec ce qui a été testé au préalable sur d'autres carottes de guano (Carrión et al., 2006 ; Batina et Reese, 2011 ; Geantă et al., 2012 ; Forray et al., 2015 ; Onac et al., 2015 ; Svitavská-Svobodová et al., 2015 ; Cleary et al., 2019 ; Bogdanowicz et al., 2020 ; Basumatary et Tripathi, 2021) : l'anthropisation est nettement observable et les pollens sont présents en quantité suffisante pour une analyse viable. Il a également été observé que les apports polliniques pouvaient varier. En effet, des comparaisons avec des carottes lacustres ont été effectuées et montrent plusieurs tendances : un apport de pollens entomophiles plus important dans le guano (Leroy et Simms, 2006 ; Svitavská-Svobodová et al., 2015 ; Cleary et al., 2019 ; Bogdanowicz et al., 2020), ou à l'inverse, une proportion de pollens anémophiles tout aussi voir plus important que dans les carottes sédimentaires lacustres (Maher, 2006 ; Batina et Reese, 2011 ; Geantă et al., 2012). Du fait du rayon de collecte moins étendu des insectes, ce biais est moins important que celui du vent. Dans les deux cas, ces résultats nous montrent que le guano de chiroptères peut être considéré comme complémentaires des enregistrements polliniques plus classiques.

4.2. Sédimentation, hiatus et taphonomie

La carotte prélevée ne semble pas avoir été perturbée au niveau de la sédimentation. Il serait cependant intéressant de s'attarder sur la question des hiatus dans les prélèvements. En effet, les amas de guano peuvent être susceptibles de comporter des hiatus d'enregistrement, comme mentionné dans la partie précédente, étant donné que l'entrée de la grotte peut être rendue inaccessible et que le comportement des chauve-souris peut varier (Maher, 2006 ; Bird et al., 2007 ; Johnston et al., 2010 ; Batina et Reese, 2011). On note également que le guano de chauve-souris a fait l'objet d'une exploitation pour être utilisé en tant qu'engrais. Mais les perturbations des séquences sont généralement observables, par exemple si le litage est perturbé et qu'il y a un changement abrupt dans la sédimentation, ou également si le guano a subi une phosphatation (Geantă et al., 2012 ; Marais et al., 2015 ; Campbell et al., 2017 ; Bogdanowicz et al., 2020). C'est là qu'il devient essentiel d'observer la stratigraphie, et de réaliser plusieurs datations ^{14}C pour connaître l'étendue des interruptions de sédimentation. Enfin, les questions de taphonomie dans les grottes sont à prendre en compte. La localisation du prélèvement ainsi que la morphologie de la grotte doivent être pris en considération afin d'obtenir les meilleurs enregistrements polliniques possibles (Coles et al., 1989 ; Batina et Reese, 2011 ; Geantă et al., 2012 ; Yang et al., 2021 ; Carrión et al., 2022).

4.3. Perspectives

4.3.1. Datation radiocarbone et modèle d'âge

L'ajout d'autres datations ^{14}C sur la même séquence permettrait d'obtenir un modèle d'âge viable. Il serait ainsi possible d'effectuer des comparaisons avec d'autres courbes telles que celles des précipitations, des températures ou encore d'occupations archéologiques. Il serait également intéressant d'obtenir ces dates afin de repérer de potentiels hiatus et de combiner cela avec des observations stratigraphiques fines. De plus, nous pourrions déterminer une vitesse relative de sédimentation.

4.2.2. Comparaison avec une carotte sédimentaire lacustre

Afin de mieux visualiser la qualité d'enregistrement du guano, une comparaison entre le signal pollinique obtenu avec une carotte lacustre et une carotte de guano serait à envisager. En effet, comme cela a déjà été fait dans d'autres études (Carrión et al., 2006 ; Leroy et Simms, 2006 ; Maher, 2006 ; Batina et Reese, 2011 ; Svitavská-

Svobodová et al., 2015 ; Carrión et al., 2022 ; Reis et al., 2023), une complémentarité entre les deux types d'enregistrement est observable.

4.2.3. Ethologie de la chauve-souris et approche pluridisciplinaire

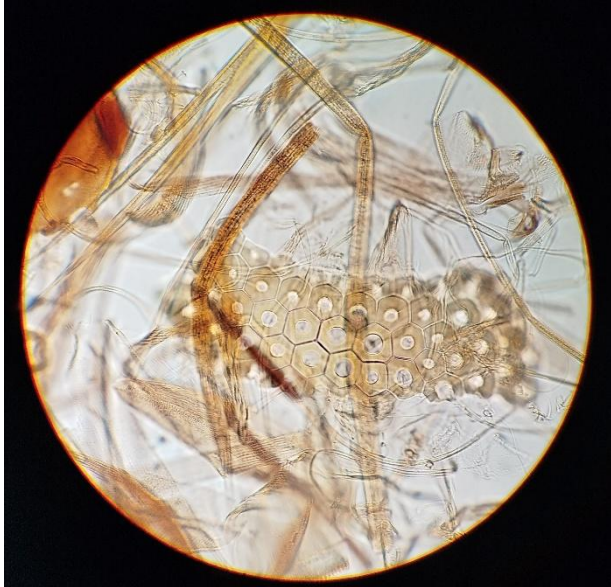


Figure 16 : Fragment d'insecte observé au microscope grossissement x400

La présence de fragments d'insectes attestée dans les échantillons nous permet d'envisager une étude entomologique, et potentiellement génétique, apportant ainsi des données paléoenvironnementales supplémentaires, mais également un aperçu du régime alimentaire et des habitudes de chasse des chauves-souris. Il serait également intéressant de réaliser des analyses isotopiques pour observer différents phénomènes climatiques en parallèle avec la palynologie et d'exploiter ainsi cette archive pour révéler son plein potentiel.

Conclusion

La carotte de guano ESCA-001, prélevée dans la grotte des Escalans à Saint-Bauzille-de-Montmel, dans le département de l'Hérault, a livré des pollens suffisamment nombreux et identifiables pour réaliser une étude paléoécologique. Les résultats obtenus nous ont démontré qu'il est possible d'obtenir des résultats viables concernant les paléoenvironnements méditerranéens du sud de la France à partir de ce type d'enregistrement. En effet, les dynamiques des écosystèmes et l'anthropisation sont clairement visibles dans les courbes générées. Ces résultats ouvrent de nouvelles perspectives pour l'étude paléoécologique en grotte, notamment pour des analyses interdisciplinaires comme l'entomologie, l'isotopie ou encore la génétique. Ainsi, la reconstitution des écosystèmes passés, combinés aux données de l'archéologie et aux datations ^{14}C , permettront de mieux comprendre l'environnement dans lequel l'Homme a évolué ainsi que son impact sur celui-ci. En effet, les questions d'anthropisation et d'artificialisation des écosystèmes sont des enjeux essentiels de nos sociétés. Enfin, les chauves-souris font partie des espèces protégées sur le territoire français. Le *Minioptère* de Schreibers, vivant actuellement dans la grotte des Escalans, fait partie des espèces menacées. En apprendre davantage sur son mode de vie, sur ses habitudes de chasse et de consommation, permettrait non seulement de mieux interpréter les changements dans la sédimentation de l'amas de guano mais également de mieux protéger cette espèce.

Bibliographie

AMBERT P., GALANT P., GUENDON J.-L., COLOMER A., DAINAT D., BEAUMES B., GRUNEISEN A., REQUIRAND C., QUINIF Y. (2007) - Les gravures et les empreintes humaines de la grotte d'Aldène (Cesseras, Hérault) dans leur contexte chronologique et culturel, *Bulletin du Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco*, 47, p. 3-36.

AZUARA J., COMBOURIEU-NEBOUT N., LEBRETON V., MAZIER F., MÜLLER S.D., DEZILEAU L. (2015) – Late Holocene vegetation changes in relation with climate fluctuations and human activity in Languedoc (southern France), *Climate of the Past*, 11, 5, p.1769 - 1784.

BASTIN B., GEWELT M. (2007) - Analyse pollinique et datation ^{14}C de concrétions stalagmitiques holocènes : apports complémentaires des deux méthodes, *Géographie physique et Quaternaire*, 40, 2, p. 185-196.

BASUMATARY S.K., TRIPATHI S. (2021) - Is bat guano a potential pollen trap ? A comparative assessment from conventional soil and moss substrates from Eraaning Cave of Meghalaya, India, *Review of palaeobotany and palynology*, 295, 104539 p.

BATINA M.C., REESE C.A. (2011) – A Holocene pollen record recovered from a guano deposit : Round Spring Cavern, Missouri, USA, *Boreas*, 40, p. 332–341.

BERGER J.-F., SHENNAN S., WOODBRIDGE J., PALMISANO A., MAZIER F., NUNINGER L., GUILLON S., DOYEN E., BEGEOT C., ANDRIEU-PONEL V., AZUARA J., BEVAN A., FYFE R., ROBERTS C.N. (2019) - Holocene land cover and population dynamics in Southern France, *Holocene (Sevenoaks)*, 29, 5, p. 776-798.

BIGOT J.-Y., ALFANO CARAFFINI G., GALLIANO Y., ROUSSEL S., GAILLET M., BRUXELLES L. (2024) - *Compte rendu de sortie du 7 janvier 2024 dans la grotte des Escalans (Saint-Bauzille-de-Montmel, Hérault)*, Compte-rendu de sortie spéléologique, 5 p.

BIRD M.I., BOOBYER E.M., BRYANT C., LEWIS H.A., PAZ V., STEPHENS W.E. (2007) - A long record of environmental change from bat guano deposits in Makangit Cave, Palawan, Philippines, *Earth and environmental science transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 98, 1, p. 59-69.

BLANCHEMANCHE P., BERGER J.-F., CHABAL L., JORDA C., JUNG C., RAYNAUD C. (2003) - Le littoral languedocien durant l'Holocène : milieu et peuplement entre Lez et Vidourle (Hérault, Gard). In T. Muxart, F-D. Vivien, B. Villalba, J. Burnouf (dir.), *Des milieux et des hommes : fragments d'histoires croisées*, Elsevier, (Environnement, 5), p. 79-92.

BLIN O. (2023) - La Gaule romaine (50 avant J.-C. - 400 après J.-C.), in D. Garcia et M. Bouiron (dir.), *Atlas archéologique de la France*, Editions Tallandier, p.153-187.

BODIN J., DUBOURG-SAVAGE M.-J., DÉJEAN S., RECH P.E. (2009) - *Elaboration de la cartographie de sensibilité des chiroptères vis-à-vis des éoliennes en Midi-Pyrénées*, Toulouse, Conservatoire Régional des Espaces Naturels de Midi-Pyrénées, 33 p.

BON F., MENSAN R., ANDERSON L., LEJAY M., ALEXIS M., BARSHAY-SZMIDT C., BRUGAL J.-P., COSTAMAGNO S., GABUCIO M.J., HECKEL C., IGREJA M., JEAN-VICTOR P., QUÉNÉA K., SALOMON H., SELLAMI F., THÉRY-PARISOT I. (2019) - “ Régismont-le-Haut ” (Poilhes, Hérault, France), fenêtre ouverte sur l’organisation d’un campement résidentiel aurignacien, in P. Bodu, C. Paris, et C. Montoya (dir.), *Préhistoire de l’Europe du Nord-Ouest : mobilités, climats et entités culturelles*. Actes du XXVIIIe Congrès préhistorique de France, Amiens, 30 mai - 4 juin 2016, Société Préhistorique Française (Paléolithique supérieur ancien, Paléolithique final – Mésolithique), p.43-64.

BOGDANOWICZ W., WOROBJEC E., GROOMS C., KIMPE L.E., SMOL J.P., STEWART R.S., SUCHECKA E., POMORSKI J.J., BLAIS J.M., CLARE E.L., FENTON M.B. (2020) - Pollen assemblage and environmental DNA changes : A 4300-year-old bat guano deposit from Jamaica, *Quaternary international*, 558, p. 47-58.

BRUGAL J.P., FOSSE P., FOURVEL J.-B., MAGNIEZ P., UZUNIDIS A., GIULIANI C., GUY A., OLLIVIER V., SIRDEYS N., PASCAL L., DERVILLE B., GUADELLI J.-L., LEROY S., BARBONI D., DAUPHIN Y., THERY I., BRUXELLES L., LAHAYE C., FREREBEAU N., FALGUÈRES C., BAHAIN J.-J., TOMBRET O., DE TORRES PÉREZ-HIDALGO T., BRAUCHER R., THOUVENY N., POIDEVIN J.-L., PAQUETTE J.-L., MATHIAS C., VIALLET C., IGREJA M. (2020) - *Rapport de fouille programmée annuelle 2020. Grotte du Mas des Caves n°1 (ou I), Lunel-Viel (Hérault). “ Hommes et Environnements au Pléistocène Moyen ”*, Rapport de recherche, Aix-en-Provence,

Laboratoire méditerranéen de préhistoire Europe Afrique (LAMPEA) – UMR 7269 (AMU – CNRS – MCC – IRD), 173 p.

BRUXELLES L., BEAUVILLIER M., BARRIQUAND L., CAILHOL D., DARDENNE É., DEVELLE A.-L., FROUIN M., GALANT P., GALERA J.-L., GENUITE K., LE GUILLOU Y., HOELLINGER S., JAILLET S., KANIEWSKI D., LARTIGES B., LE ROUX G., OTTO T., PALLIER C., PISAPIA C., PFENDLER S., PONS-BRANCHU E., TOURON S., VANARA N. (2024) - Biocorrosion et art pariétal : une exclusion mutuelle à l'origine de vides archéologiques. Hiatus, lacunes et absences : identifier et interpréter les vides archéologiques., *Session Les espaces vides : preuves d'absences ou absences de preuves ?*, Actes du 29e Congrès préhistorique de France, Toulouse, 31 mai-4 juin 2021, Société Préhistorique française, p. 85-104.

BRUXELLES L., DARDENNE É., GALERA J.-L., DISCA T., BIGOT J.-Y. (2021) - *Compte rendu de sorties des 31 mars et 1er avril 2021 dans l'aven de Mounmaou et la grotte des Escalans (Saint-Bauzille-de-Montmel, Hérault)*, Compte rendu de sortie spéléologique, 10 p.

CHABAL L. (1997) - *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final' Antiquité tardive) : L'anthracologie, méthode et paléoécologie*, Paris, Éditions de la Maison des sciences de l'homme (Documents d'archéologie française), 192 p.

CAMPBELL J.W., WATERS M.N., RICH F. (2017) - Guano core evidence of palaeoenvironmental change and Woodland Indian inhabitation in Fern Cave, Alabama, from the mid-Holocene to present, *Boreas*, 46, 3, p. 462-469.

CAROZZA L., GEORJON C. (2006) – La fin du Néolithique et les débuts de la métallurgie en Languedoc central : contrôle social du territoire et pratiques économiques entre 3200 et 2400 av. J.-C. dans la moyenne vallée de l'Hérault, *Revue archéologique de l'Est*, 25, p. 215-237.

CARRIÓN J.S., OCHANDO J., SNIDERMAN K., FESTI D. (2022) - Palaeobotanical records from cave environments, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 306, p. 104759.

CARRIÓN J.S., SCOTT L., ARRIBAS A., FUENTES N., GIL-ROMERA G., MONTOYA E. (2007) - Pleistocene landscapes in central Iberia inferred from pollen analysis of hyena coprolites, *Journal of Quaternary Science*, 22, 2, p. 191-202.

CARRIÓN J.S., SCOTT L., MARAIS E. (2006) - Environmental implications of pollen spectra in bat droppings from southeastern Spain and potential for palaeoenvironmental reconstructions, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 140, 3-4, p. 175-186.

CHOA O., LEBON M., GALLET X., DIZON E., RONQUILLO W., JAGO-ON S.C., DÉTROIT F., FALGUÈRES C., GHALEB B., SÉMAH F. (2016) - – Stable isotopes in guano : Potential contributions towards palaeoenvironmental reconstruction in Tabon Cave, Palawan, Philippines, *Quaternary international*, 416, p. 27-37.

CLEARY D.M., FEURDEAN A., TANTĂU I., FORRAY F.L. (2019) - Pollen, $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ guano-derived record of late Holocene vegetation and climate in the southern Carpathians, Romania, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 265, p. 62-75.

COLES G.M., GILBERTSON D.D., HUNT C.O., JENKINSON R.D.S. (1989) - Taphonomy and the Palynology of Cave Deposits, *Cave Science*, 16, 3, p. 83-90.

COLOMER A., COULAROU J., GUTHERZ X. (1990) - *Boussargues (Argelliers, Hérault) : Un habitat ceinturé chalcolithique : les fouilles du secteur ouest*, Paris, Éditions de la Maison des sciences de l'homme (Documents d'archéologie française), 224 p.

DARABAD F.E., MAGHSOUDI M., RAHIMI O. (2019) - Bat guano and historical evidence of climate changes in the west of Iran during the Late Holocene (Meghalayan Stage), *Acta carsologica*, 48, 2, p. 237-253.

DDTM34 (2011) - *Observatoire des Espaces Agricoles et Forestiers : Introduction*, Mission CEP Année 2011, Direction Départementale des Territoires et de la Mer de l'Hérault, 38 p.

DDTM34 (2017) - *Plan de prévention des risques naturels d'inondation - Commune de Saint-Bauzille-de-Montmel*, Rapport de présentation, enquête publique, Direction Départementale des Territoires et de la Mer Service Eau, Risques et Nature, 74 p.

DEDET B. (1993) - Saint-Bauzille-de-Montmel – Font de la Vie - Découverte fortuite et sauvetage urgent (1993), *ADLFI. Archéologie de la France – Informations*, 4 p.

DEDET B. (1995) - Une illustration de l'évolution des pratiques funéraires en Languedoc oriental à l'Âge du Fer : la tombe de Font de la Vie à Saint-Bauzille-de-

Montmel, Hérault, V^e s. avant J.-C., *Gallia - Archéologie de la France antique*, 52, p. 145-163.

DIETZ C., KIEFER A. (2021) - *Chauves-souris d'Europe : connaître, identifier, protéger*, Paris, Delachaux et Niestlé (Guide Delachaux), 398 p.

DIOT M.-F. (1991) - Apports et conservation sporo-pollinique dans les grottes : relation avec la fréquentation humaine et animale, in *Archéologie expérimentale : l'os et la pierre, la maison et les champs, Tome 2. La terre.*, Actes du colloque du colloque international « Expérimentation en archéologie : bilan et perspectives » (Aérodrome de Beaune, 6-9 avril 1988), Paris, Errance (Archéologie d'aujourd'hui), p. 236-244.

DOLEZ L. (2018) - *Évolution des paysages végétaux en Languedoc durant l'Holocène : apport de la palynologie à l'étude des milieux et des agrosystèmes*, thèse de doctorat, Montpellier 3, Montpellier, 238 p.

FARBOS S. (1985) - Réflexions sur les variations quantitatives et qualitatives de spectres polliniques fossiles en grotte, in J. Renault-Miskovsky, M. Bui-Thi et M. Girard (dir.), *Palynologie archéologique : actes des Journées du 25-26-27 janvier 1984*, actes du colloque Palynologie archéologique (25-27 janvier 1984), Paris (Notes et monographies techniques Centre de recherches archéologiques 17), p. 39-51.

FORRAY F.L., ONAC B.P., TANTĂU I., WYNN J.G., TĂMAS T., COROIU I., GIURGIU A.M. (2015) - A Late Holocene environmental history of a bat guano deposit from Romania : an isotopic, pollen and microcharcoal study, *Quaternary Science Reviews*, 127, p. 141-154.

FOVET É. (2010) - *Dynamiques socio-environnementales durant l'Antiquité : approche micro-régionale du peuplement en Languedoc oriental*, thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, Besançon, 339 p.

GEANTĂ A., TANTĂU I., TĂMAS T., JOHNSTON V.E. (2012) - Palaeoenvironmental information from the palynology of an 800year old bat guano deposit from Măgurici Cave, NW Transylvania (Romania), *Review of Palaeobotany and Palynology*, 174, p. 57-66.

GRÉGORY M., DULAC E., PERETTI M., WASSENAR C., DEMANGE V., FAU V. (2022) - *La Nature dans l'Hérault : un atout pour le territoire*, DDTM34 Direction départementale des territoires et de la mer de l'Hérault, 30 p.

GUTHERZ X. (1990) - 4. Le contexte culturel : la culture de Fontbouisse, *in* A. Colomer, J. Coularou, X. Gutherz (dir.), *Boussargues (Argelliers, Hérault) : Un habitat ceinturé chalcolithique : les fouilles du secteur ouest*, Paris, Éditions de la Maison des sciences de l'homme (Documents d'archéologie française), p. 39-42.

GUTHERZ X., JALLOT L., MILLS N., VALLON J. (1990) - 5. L'espace humanisé : inventaire des habitats et des tombes Chalcolithiques, *in* A. Colomer, J. Coularou, X. Gutherz (dir.), *Boussargues (Argelliers, Hérault) : Un habitat ceinturé chalcolithique : les fouilles du secteur ouest*, Paris, Éditions de la Maison des sciences de l'homme (Documents d'archéologie française), p. 43-53.

HAUTCOEUR P.-C., VIRLOUVET C. (2025) - *Une histoire économique et sociale : la France, de la Préhistoire à nos jours*, Paris, Passés composés, 1072 p.

HUNT C.O., FIACCONI M. (2018) - Pollen taphonomy of cave sediments: What does the pollen record in caves tell us about external environments and how do we assess its reliability?, *Quaternary International*, 485, p. 68-75.

JALLOT L. (2008) - Frontières, stabilités, emprunts et dynamique géoculturelle en Languedoc méditerranéen au Néolithique final (3400-2300 av. J.-C.), *in* I. Sénépart, T. Perrin, E. Thibault, S. Bonnardin (dir.), *Marges, frontières et transgressions, actualité de la recherche*, Actes des 8^è Rencontres Méridionales de Préhistoire Récente (Marseille, 7-8 novembre 2008), Toulouse (Archives d'Écologie Préhistorique), p. 87-119.

JALLOT L., GUTHERZ X. (2014) - Le Néolithique final en Languedoc oriental et ses marges : 20 ans après Ambérieu-en-Bugey, *in* I. Sénépart, F. Leandri, J. Cauliez, T. Perrin, É. Thirault (dir.), *Chronologie de la Préhistoire récente dans le Sud de la France, actualité de la recherche*, Actes des 10^è Rencontres Méridionales de Préhistoire Récente (Porticcio, 18-20 octobre 2012), Toulouse (Archives d'Écologie Préhistorique), p. 137-158.

JOHNSTON V.E., MCDERMOTT F., TĂMAS T. (2010) - A radiocarbon dated bat guano deposit from N.W. Romania : Implications for the timing of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291, 3, p. 217-227.

KUNZ T.H., FENTON M.B. (2005) - *Bat Ecology*, Chicago, University of Chicago Press, 798 p.

LACHENAL T., ADROIT S., BOUCHET M., LEMERCIER O., SÉJALON P., TOLEDO I MUR A. (2025) – L'âge du Bronze en Occitanie, *in* C. Marcigny et C. Mordant (dir.), *L'âge du Bronze en France (2500 à 800 avant notre ère), vol. 1. Synthèses régionales*, CNRS Éditions (Recherches archéologiques), p. 324-345.

LARTIGOT-CAMPIN A.S., MONE H. (2017) - Analyses polliniques et parasitologiques préliminaires de coprolithes de carnivores du site moustérien des Ramandils (Port-la-Nouvelle, Aude, France), *Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 28, 2, p. 217-224.

LAURITZEN S.-E. (1996) – Climate change : the karst record, Extended Abstracts of the symposium held in Bergen, Norway (Bergen, August 1-4th), Charles Town (Karst Waters Institute Special Publication 3), p. 1-2.

LEBRETON V., LARTIGOT A.-S., KARATSORI E., MESSEGER E., MARQUER L., RENAULT-MISKOVSKY J. (2007) - Potentiels et limites de l'analyse pollinique de spéléothèmes quaternaires : applications à la reconstitution de l'environnement végétal de l'Homme préhistorique sur le pourtour Nord-Méditerranéen, *Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 18, 2, p. 153-174.

LEBRETON V., MARQUER L., MESSEGER E., RENAULT-MISKOVSKY J. (2009) - Les processus taphonomiques en archéopalynologie : Quantification des effets de l'oxydation sur le pollen par une approche néotaphonomique, *Nouvelles de l'archéologie*, 118, p. 37-41.

LEROI-GOURHAN A. (1965) - Les analyses polliniques sur les sédiments des grottes, *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire*, 2, 2, p. 145-152.

LEROY S.A., SIMMS M.J. (2006) - Iron age to medieval entomogamous vegetation and *Rhinolophus hipposideros* roost in South-Eastern Wales (UK), *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 237, 1, p. 4-18.

LEROYER C., MARGUERIE D., ZECH-MATTERNE V. (2018) - 40 ans d'archéobotanique en France (1977-2017), *ArcheoSciences. Revue d'archéométrie*, 42, p. 113-134.

MAGUER P. (2023) – Celtes et Gaulois (800-50 avant J.-C.), *in* D. Garcia et M. Bouiron (dir.), *Atlas archéologique de la France*, Editions Tallandier, p. 121-151.

MAHER L.J. (2006) - Environmental information from guano palynology of insectivorous bats of the central part of the United States of America, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 237, 1, p. 19-31.

MARAIS E., SCOTT L., GIL-ROMERA G., CARRIÓN J.S. (2015) - The potential of palynology in fossil bat-dung from Arnhem Cave, Namibia, *Transactions of the Royal Society of South Africa*, 70, 2, p. 109-115.

MCFARLANE D.A., LUNDBERG J. (2024) - Rates of diagenesis of tropical insectivorous bat guano accumulations : implications for potential paleoenvironmental reconstruction, *International Journal of Speleology*, 53, 1, p. 39-49.

MÉDARD P., AULAGNIER S. (2026) - 40 ans de suivis chiroptérologiques dans la grotte de Cailhol (Hérault), 42, *Symbioses*, p. 13-20.

NAVARRO C., CARRIÓN J.S., MUNUERA M., PRIETO A.R. (2001) - Cave surface pollen and the palynological potential of karstic cave sediments in palaeoecology, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 117, 4, p. 245-265.

NUNINGER L. (2002) - *Peuplement et territoires protohistoriques du VIII^e au I^{er} s. av. J.-C. en Languedoc oriental (Gard-Hérault)*, Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, Besançon, 291 p.

NUNINGER L., FOVET É., OURIACHI M.-J., FAVORY F. (2018) - ARCHAEDYN. Présentation de la zone atelier Languedoc oriental (Gard, Hérault), *in* ARCHAEDYN. *Dynamique spatiale des territoires de la Préhistoire au Moyen Âge. Volume 2.* (À paraître), Presses universitaires de Franche-Comté, Les Cahiers de la MSHE (Série Dynamiques territoriales), 40 p.

ONAC B.P., HUTCHINSON S.M., GEANTĂ A., FORRAY F.L., WYNN J.G., GIURGIU A.M., COROIU I. (2015) - A 2500-Yr late Holocene multi-proxy record of vegetation and hydrologic changes from a cave guano-clay sequence in Sw Romania, *Quaternary Research*, 83, 3, p. 437-448.

OURIACHI M.-J. (2009) - *Habitat, terroirs et territoire en Languedoc oriental durant l'Antiquité. Approche spatio-temporelle d'un système de peuplement.*, Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, Besançon, 365 p.

PONS A. (1984) - A propos de l'apport de la palynologie quaternaire à la connaissance de la forêt bourguignonne, *Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques*, 131, 1, p. 49-53.

REIS L.S., DE OLIVEIRA P.E., YAO Q. (2023) - A comprehensive procedure for pollen extraction from bat guano deposits in organic and detrital matrices, *MethodsX*, 11, p. 102405.

REIS L.S., GUIMARÃES J.T.F., YAO Q., DE SÁ C.Y.G., DE OLIVEIRA P.E. (2023) - – Modern pollen spectra from bat guano deposits in southeastern Amazonia, *Review of palaeobotany and palynology*, 318, p. 104983.

RENAULT-MISKOVSKY J., BUI-THI-MAÏ, FARBOS S., GIRARD M. (1985) - La palynologie archéologique : méthodologie, intérêt et limites d'interprétation – Résultats, *Les Nouvelles de l'archéologie*, 18, p. 9-19.

REY T., ROURE R. (2021) - Les “ lacs ” des Celtes : synthèse de l'évolution paléogéographique et environnementale des littoraux du Languedoc oriental depuis la Protohistoire, in F. Olmer, R. Roure (dir.), *Les Gaulois au fil de l'eau*, actes du 37^e colloque de l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer (Montpellier, 7-11 mai 2013), Mémoires (39), Ausonius Éditions, pp.21-34.

ROLLIN J. (2017) - *Études paléoenvironnementale et paléoclimatique à partir de restes d'insectes retrouvés dans le guano de Nouvelle-Calédonie : caractérisation, taxonomie et recherches méthodologiques*, mémoire de master 2, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 109 p.

ROUÉ S., BAILLAT B., CUYPERS T., BOLÉAT C., NÉMOZ M., CHAUVIN H. (2022) - Et le Minioptère, il va comment ? Synthèse 2020, *Symbioses*, 39-40, p. 13-22.

ROYER A., QUEFFELEC A., CHARLIER K., PUECH E., MALAIZÉ B., LENOBLE A. (2015) - – Seasonal changes in stable carbon and nitrogen isotope compositions of bat guano (Guadeloupe), *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 440, p. 524-532.

SÁNCHEZ GOÑI M.F. (1994) - L'environnement de l'Homme préhistorique dans la région cantabrique d'après la taphonomie pollinique des grottes, *L'Anthropologie*, 98, 2-3, p. 374-417.

SCHNEIDER L. (2020) - Dynamique de peuplement et formes de l'habitat en Occitanie méditerranéenne, *Archéologie du Midi Médiéval*, 9, 1, p. 13-40.

SCHNEIDER L. (2004) - Entre Antiquité et haut Moyen Age : tradition et renouveau de l'habitat de hauteur dans la Gaule du sud-est, in M. Fixot (dir.), *Paul-Albert Février de l'Antiquité au Moyen Age*, Actes du colloque de Fréjus (Fréjus, 7-8 avril 2001), Publications de l'Université de Provence, p.173-200.

SCHNEIDER L. (2007) - Structures du peuplement et formes de l'habitat dans les campagnes du sud-est de la France de l'Antiquité au Moyen Âge (IV^e - VIII^e S.) : Essai de synthèse, *Gallia*, 64, p. 11-56.

SÉJALON P. (2021) - Organisation des territoires et dynamiques de peuplement en Languedoc oriental durant le dernier millénaire avant notre ère, in F. Delrieu, C. Féliu, P. Gruat, M.-C. Kurzaj, et É. Nectoux (dir.), *Les espaces fortifiés à l'âge du Fer en Europe*, Actes du 43^e colloque international de l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer (Le Puy-en-Velay, 30 mai-1^{er} juin 2019), AFEAF (3), p. 333-351.

SOLAK-AMET O., TOSUNOGLU A. (2025) - A palynological perspective on a cave : Does pollen content differ in guano deposits within?, *Review of palaeobotany and palynology*, 337, p. 105317.

SUZANNE A.G.L., PAUL F.W., BRUNO L. (2025) - The palynology and entomology of bat faeces at the Zerga Esker of the Mauritanian Adrar, *Barbastella*, 18, 1, p. 2-18.

SVITAVSKÁ H., ANDREAS M., KRIŠTŮFEK V., BENEŠ J., NOVÁK J. (2015) - The thousand-year history of the Slovak Karst inferred from pollen in bat guano inside the Domica Cave (Slovakia), *Folia geobotanica*, 50, 1, p. 49-61.

TSALICKIS A., WATERS M., CAMPBELL J. (2021) - Methods and analysis of bat guano cores from caves for paleoecology, *Journal of Cave and Karst Studies*, 83, 4, p. 141-150.

VAN CAMPO M., LEROI-GOURHAN A. (1956) - Note préliminaire à l'étude des pollens fossiles de différents niveaux des grottes d'Arcy-sur-Cure, *Bulletin du Muséum national d'histoire naturelle*, 28, 3, p. 326--330.

WHITE W.B., CULVER D.C. (2011) - *Encyclopedia of Caves Ed. 2*, Elsevier Science, 961 p.

WIDGA C., COLBURN M. (2015) - Paleontology and paleoecology of guano deposits in Mammoth Cave, Kentucky, USA, *Quaternary research*, 83, 3, p. 427-436.

WIRRMANN D., SÉMAH A.-M., MENDEZ-MILLAN M., SCHMIDT S., BOISSENIN M., BOUCHER H., BOULOUBASSI I., BRESCIA F., CETIN F., DJOUAREV I., KLEIN V. (2017) - Signification environnementale de guano de salanganes et de chiroptères de Nouvelle-Calédonie. Premiers résultats, *Quaternaire (Paris)*, 28/3, 2, p. 401-412.

WURSTER C., MCFARLANE D., BIRD M., ASCOUGH P., BEAVAN ATHFIELD N. (2010) - Stable Isotopes of Subfossil Bat Guano as a Long-Term Environmental Archive : Insights from a Grand Canyon Cave Deposit, *Journal of Cave and Karst Studies*, 72, 2, p. 111-121.

YANG Q., ZHAO K., ZHOU X., WANG J., CHEN G., LI D., ZHAO L., WANG W., LI X. (2021) - Evaluation of the potential of surface pollen spectra from caves in SW China for vegetation reconstruction, *Quaternary international*, 591, p. 119-128.

Table des figures

Figure 1 : Frise chronologique situant la base de la carotte ESCA-001	9
Figure 2 : Taphonomie pollinique en grotte (Hunt et Faccioni, 2018)	11
Figure 3 : Répartition des études sur le guano de chiroptère dans le monde (Reis et al., 2023).....	13
Figure 4 : Origine et transport du pollen théorique dans la cavité, jusque dans les tas de guano (Reis et al. 2023).....	14
Figure 5 : Carte de localisation de la grotte des Escalans à l'échelle nationale, régionale et locale (fond de carte : ESRI ; projection : EPSG :3857)	15
Figure 6 : Carte géologique localisant la grotte des Escalans © BRGM	16
Figure 7 : Carte de localisation des sites archéologiques cités dans le texte (fond de carte : ESRI ; projection : EPSG :3857).....	20
Figure 8 : Fragment d'échelle © L. Bruxelles	21
Figure 9 : Entrée de la grotte par l'aven de Mounmaou © L. Bruxelles	21
Figure 10 : Carte de la grotte des Escalans, d'après Bruxelles et al. 2021	23
Figure 11 : Carottage du tas de guano © L. Bruxelles.....	23
Figure 12 : Photographie de la carotte ESCA-001 à l'ouverture. Le haut de la carotte se trouve à gauche de l'image.	24
Figure 13 : Clustering mettant en évidence les groupes écologiques obtenus.....	28
Figure 14 : ACP et LOESS traduisant les dynamiques environnementales en fonction de la profondeur en centimètres des échantillons.....	29
Figure 15 : CABFAC Factor analysis permettant de tester la variable anthropisation.....	30
Figure 16 : Fragment d'insecte observé au microscope grossissement x400	34

Annexes

1. Tableau des données d'extraction de la carotte ESCA-001

N°	Ph en cm	Pb en cm	autoclavé	prélevé trace	prélevé isoto	macro	vol gly	vol T	Vc
1	0,0	1,0		non	non	X	800	960	160
2	1,0	1,9		non	non	X	800	980	180
3	1,9	2,9		non	non	X	800	1170	370
4	2,9	3,9		non	non	X	500	610	110
5	3,9	4,8		non	non	X	800	1020	220
6	4,8	5,8		non	non	X	800	1170	370
7	5,8	6,8		non	non	X	800	1210	410
8	6,8	7,7		non	non	X	800	1160	360
9	7,7	8,7		non	non	X	1000	1200	200
10	8,7	9,7		non	non	X	1000	1130	130
11	9,7	10,6		non	non	X	800	910	110
12	10,6	11,6		non	non	X	2000	2420	420
13	11,6	12,6		non	non	X	1000	1220	220
14	12,6	13,5		non	non	X	2000	2410	410
15	13,5	14,5		non	non	X	900	1100	200
16	14,5	15,5		non	non	X	800	890	90
17	15,5	16,4		non	non	X	2000	2300	300
18	16,4	17,4		non	non	X	2000	2300	300
19	17,4	18,4		non	non	X	1000	2460	1460
20	18,4	19,3		non	non	X	1000	1460	460
21	19,3	20,3		non	non	X	2000	1450	-550
22	20,3	21,3		non	non	X	3000	2680	-320
23	21,3	22,2		non	non	X	3000	3520	520
24	22,2	23,2		non	non	X	3000	2560	-440
25	23,2	24,2		non	non	X	3000	3690	690
26	24,2	25,1		non	non	X	3000	3630	630
27	25,1	26,1		non	non	X	3000	3780	780
28	26,1	27,1		non	non	X	3000	3630	630
29	27,1	28,0		non	non	X	3000	3800	800
30	28,0	29,0		non	non	X	2000	2680	680

2. Tableau de comptage pollinique

Numéro de lame	Nombre de pollens	Asteraceae	Artemisia	Acer	Alnus	Apiaceae	Brassicaceae	Buxus
1	56	1	1	0	0	0	3	0
2	161	0	0	0	0	0	2	0
3	101	1	0	0	0	0	1	0
4	42	2	0	0	0	0	0	0
5	94	1	0	0	1	0	1	0
6	104	0	4	0	1	0	1	0
7	89	1	0	0	0	0	4	0
8	96	4	0	0	0	1	3	0
9	79	4	0	0	0	0	1	0
10	182	10	0	0	0	0	8	5
11	314	19	0	0	0	1	4	0
12	340	19	0	0	0	0	1	0
13	363	26	0	0	0	1	7	0
14	367	64	0	0	0	0	1	0
15	360	81	0	0	0	1	2	0
16	366	104	2	0	1	0	2	0
17	353	141	0	0	0	0	3	0
18	306	87	1	0	0	0	2	0
19	334	39	1	0	0	0	1	0
20	338	13	0	1	0	0	0	0
21	310	9	0	0	0	0	0	0
22	322	6	0	0	0	0	1	0
23	358	20	0	0	0	1	0	0
24	310	28	3	0	0	2	0	0
25	349	8	0	0	0	0	0	0
26	342	17	0	0	0	0	1	0
27	335	114	1	0	1	2	0	0
28	322	93	0	0	0	0	1	0
29	363	68	3	0	0	5	0	0
30	358	63	1	0	0	0	0	0

Caryophyllaceae	Cupressaceae	Castanea	Carpinus	Corylus	Helianthemum	Cistaceae	Chenopodiaceae	Chamaenerion
2	4	1	2	1	0	0	0	0
3	20	0	2	4	1	1	1	0
2	9	1	0	1	0	0	2	0
1	8	0	0	0	0	1	3	0
16	1	0	0	0	0	0	2	0
9	4	0	0	2	0	0	6	0
0	15	3	0	0	0	0	2	1
1	11	0	0	1	0	0	22	0
1	24	0	0	0	0	0	0	0
5	47	0	0	0	0	0	7	0
10	0	2	0	0	0	12	57	0
1	0	0	0	0	0	42	2	0
1	0	3	0	0	0	5	3	0
0	0	2	1	0	0	13	1	0
0	0	2	0	0	5	0	1	0
0	0	3	0	0	0	7	0	0
0	0	3	0	1	0	1	0	0
7	0	2	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	0	9	3	0
0	0	0	0	0	0	23	1	0
0	0	0	0	0	0	4	1	0
0	0	1	0	0	0	4	1	0
1	0	0	0	0	0	13	3	0
3	0	5	0	0	0	5	1	0
0	0	1	0	0	0	3	0	0
2	0	1	0	0	0	6	2	0
0	0	5	0	1	0	3	8	0
7	0	0	0	0	0	0	25	0
5	0	2	0	0	0	6	20	0
3	0	0	0	0	0	2	6	0

Caprifoliaceae	Cyperaceae	Callitriche	Celtis australis	Ericaceae	Fabaceae	Fraxinus	Fagus	Geraniaceae
0	0	0	0	9	2	0	0	0
0	0	0	0	4	3	17	0	0
0	0	0	0	4	2	15	0	0
0	0	0	0	0	6	4	0	0
0	0	0	0	2	3	5	0	0
0	0	0	0	0	8	22	1	0
0	0	0	0	6	0	1	0	1
0	0	0	0	9	0	6	0	0
0	0	0	0	3	0	9	0	0
2	0	0	0	1	3	7	0	0
0	0	0	0	11	0	2	0	0
0	1	0	1	0	2	3	0	0
0	1	0	1	0	2	6	0	0
0	0	0	0	1	5	1	0	0
0	4	0	0	0	12	4	0	1
0	0	0	0	2	3	3	0	0
0	3	0	0	0	1	1	0	1
0	1	0	0	1	4	7	0	0
0	0	0	0	1	0	2	0	0
0	0	0	0	0	0	3	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	5	0	1
0	1	0	0	2	2	1	0	1
0	0	0	0	2	1	7	0	0
0	0	0	0	1	1	3	0	0
0	0	0	0	0	0	7	0	0
0	1	0	0	0	4	8	0	1
0	0	0	0	2	10	3	0	1
0	1	2	0	3	3	4	0	0
0	0	0	0	0	5	0	0	1

Juglandaceae	Juniperus	Lonicera	Lamiaceae	Asphodelus	Liliaceae	Olea	Pinus	Poaceae sauvage	Cereals
0	0	0	0	0	0	1	22	0	1
0	0	0	0	0	0	8	80	0	0
0	1	0	0	0	0	9	9	2	0
0	0	0	0	0	0	2	1	0	0
0	0	0	0	0	0	5	18	1	0
0	0	0	0	0	0	4	12	0	0
0	0	1	0	0	0	6	1	1	0
0	0	0	2	0	0	0	11	2	0
0	0	1	0	0	0	4	9	5	0
0	0	1	2	0	0	7	17	15	0
0	10	0	3	0	1	5	15	95	3
0	2	0	4	0	0	21	13	188	0
0	0	0	1	0	1	34	3	228	2
0	2	0	4	0	0	15	10	157	6
0	1	0	4	0	0	9	2	171	8
0	0	0	1	0	0	4	2	199	4
0	2	2	0	0	0	12	5	87	0
0	0	0	5	0	0	18	16	77	3
0	0	0	0	0	0	7	4	124	1
0	0	0	3	1	0	10	5	232	1
0	0	0	3	0	0	6	0	225	1
0	0	0	1	0	0	6	1	257	2
0	0	0	1	0	0	8	0	249	1
1	0	0	17	0	0	5	0	174	3
0	0	0	2	0	0	12	1	291	5
0	0	0	1	0	0	21	2	247	4
0	3	0	13	0	0	6	3	80	2
0	0	0	13	0	0	10	5	85	1
0	0	0	14	0	0	9	4	55	1
0	0	0	16	0	0	13	5	75	0

Primulaceae	Plantago	Populus	Prunus	Quercus evergreen	Quercus	Ranunculus	Rhamnaceae	Rosaceae	Ficus
2	0	0	0	0	2	1	0	0	0
0	0	0	0	5	0	3	5	0	0
0	0	0	0	20	12	0	7	3	0
0	0	1	1	8	3	0	1	0	0
0	0	1	0	17	11	0	7	1	0
0	0	0	0	17	2	0	4	0	0
0	3	0	0	23	14	3	1	1	0
0	1	0	0	19	0	0	2	1	0
0	2	0	0	11	5	0	0	0	0
0	0	0	3	15	8	4	2	6	0
0	3	0	2	34	15	0	0	1	0
3	4	0	0	27	0	2	2	0	0
0	13	0	0	21	3	0	1	0	0
2	27	0	0	44	5	0	2	2	0
0	26	0	3	13	0	0	0	0	0
2	8	0	1	14	0	1	2	0	0
0	6	0	0	79	2	3	0	0	0
1	13	0	0	39	9	10	1	0	0
0	8	0	0	131	1	0	1	0	0
0	1	0	0	34	7	1	1	0	0
0	3	0	0	52	5	0	0	0	0
2	12	0	0	18	0	0	2	0	0
0	19	0	1	28	5	0	0	0	1
0	27	0	0	24	1	1	0	0	0
1	8	0	1	8	0	0	2	0	0
0	15	0	1	10	2	0	1	0	0
1	18	0	0	44	10	2	1	0	0
0	26	0	0	34	3	0	3	0	0
0	25	0	1	118	6	5	0	0	0
0	9	0	0	140	17	0	2	0	0

Filipendula (Rosaceae)	Salix	Scrophulariaceae	Typha/Sparganium	Tilia	Ulmus	Viola
0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	2	5	0
0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	3	1	0	3
0	0	0	2	6	1	0
0	2	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	0
9	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
0	2	0	0	0	0	0
1	2	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	3	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Charbon	Spores milieu aquatique	Mycelium
1	2	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	1	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	1
0	1	0

3. Tableau de fréquences relatives

Numéro de lame	Nombre de pollens	Asteraceae	Artemisia	Acer	Alnus	Apiaceae	Brassicaceae	Buxus
1	56	1,7857143	1,785714286	0	0	0	5,35714286	0
2	161	0	0	0	0	0	1,24223602	0
3	101	0,990099	0	0	0	0	0,99009901	0
4	42	4,7619048	0	0	0	0	0	0
5	94	1,0638298	0	0	1,06383	0	1,06382979	0
6	104	0	3,846153846	0	0,961538	0	0,96153846	0
7	89	1,1235955	0	0	0	0	4,49438202	0
8	96	4,1666667	0	0	0	1,041667	3,125	0
9	79	5,0632911	0	0	0	0	1,26582278	0
10	182	5,4945055	0	0	0	0	4,3956044	2,747253
11	314	6,0509554	0	0	0	0,318471	1,27388535	0
12	340	5,5882353	0	0	0	0	0,29411765	0
13	363	7,1625344	0	0	0	0,275482	1,92837466	0
14	367	17,438692	0	0	0	0	0,27247956	0
15	360	22,5	0	0	0	0,277778	0,55555556	0
16	366	28,415301	0,546448087	0	0,273224	0	0,54644809	0
17	353	39,943343	0	0	0	0	0,84985836	0
18	306	28,431373	0,326797386	0	0	0	0,65359477	0
19	334	11,676647	0,299401198	0	0	0	0,2994012	0
20	338	3,8461538	0	0,295858	0	0	0	0
21	310	2,9032258	0	0	0	0	0	0
22	322	1,863354	0	0	0	0	0,31055901	0
23	358	5,5865922	0	0	0	0,27933	0	0
24	310	9,0322581	0,967741935	0	0	0,645161	0	0
25	349	2,2922636	0	0	0	0	0	0
26	342	4,9707602	0	0	0	0	0,29239766	0
27	335	34,029851	0,298507463	0	0,298507	0,597015	0	0
28	322	28,881988	0	0	0	0	0,31055901	0
29	363	18,732782	0,826446281	0	0	1,37741	0	0
30	358	17,597765	0,279329609	0	0	0	0	0

Caryophyllaceae	Cupressaceae	Castanea	Carpinus	Corylus	Helianthemum	Cistaceae	Chenopodiaceae	Chamaenerion
3,571428571	7,142857143	1,7857143	3,571429	1,78571429	0	0	0	0
1,863354037	12,42236025	0	1,242236	2,48447205	0,621118012	0,62111801	0,621118012	0
1,98019802	8,910891089	0,990099	0	0,99009901	0	0	1,98019802	0
2,380952381	19,04761905	0	0	0	0	2,38095238	7,142857143	0
17,0212766	1,063829787	0	0	0	0	0	2,127659574	0
8,653846154	3,846153846	0	0	1,92307692	0	0	5,769230769	0
0	16,85393258	3,3707865	0	0	0	0	2,247191011	1,123595506
1,041666667	11,45833333	0	0	1,04166667	0	0	22,91666667	0
1,265822785	30,37974684	0	0	0	0	0	0	0
2,747252747	25,82417582	0	0	0	0	0	3,846153846	0
3,184713376	0	0,6369427	0	0	0	3,82165605	18,15286624	0
0,294117647	0	0	0	0	0	12,3529412	0,588235294	0
0,275482094	0	0,8264463	0	0	0	1,37741047	0,826446281	0
0	0	0,5449591	0,27248	0	0	3,54223433	0,272479564	0
0	0	0,5555556	0	0	1,388888889	0	0,277777778	0
0	0	0,8196721	0	0	0	1,91256831	0	0
0	0	0,8498584	0	0,28328612	0	0,28328612	0	0
2,287581699	0	0,6535948	0	0	0	0,32679739	0	0
0,299401198	0	0	0	0	0	2,69461078	0,898203593	0
0	0	0	0	0	0	6,80473373	0,295857988	0
0	0	0	0	0	0	1,29032258	0,322580645	0
0	0	0,310559	0	0	0	1,24223602	0,310559006	0
0,279329609	0	0	0	0	0	3,63128492	0,837988827	0
0,967741935	0	1,6129032	0	0	0	1,61290323	0,322580645	0
0	0	0,286533	0	0	0	0,85959885	0	0
0,584795322	0	0,2923977	0	0	0	1,75438596	0,584795322	0
0	0	1,4925373	0	0,29850746	0	0,89552239	2,388059701	0
2,173913043	0	0	0	0	0	0	7,763975155	0
1,377410468	0	0,5509642	0	0	0	1,65289256	5,509641873	0
0,837988827	0	0	0	0	0	0,55865922	1,675977654	0

Caprifoliaceae	Cyperaceae	Callitriche	Celtis	Ericaceae	Fabaceae	Fraxinus	Fagus	Geraniaceae
0	0	0	0	16,07143	3,571429	0	0	0
0	0	0	0	2,484472	1,863354	10,55901	0	0
0	0	0	0	3,960396	1,980198	14,85149	0	0
0	0	0	0	0	14,28571	9,52381	0	0
0	0	0	0	2,12766	3,191489	5,319149	0	0
0	0	0	0	0	7,692308	21,15385	0,962	0
0	0	0	0	6,741573	0	1,123596	0	1,12359551
0	0	0	0	9,375	0	6,25	0	0
0	0	0	0	3,797468	0	11,39241	0	0
1,098901099	0	0	0	0,549451	1,648352	3,846154	0	0
0	0	0	0	3,503185	0	0,636943	0	0
0	0,29411765	0	0,294117647	0	0,588235	0,882353	0	0
0	0,27548209	0	0,275482094	0	0,550964	1,652893	0	0
0	0	0	0	0,27248	1,362398	0,27248	0	0
0	1,11111111	0	0	0	3,333333	1,111111	0	0,27777778
0	0	0	0	0,546448	0,819672	0,819672	0	0
0	0,84985836	0	0	0	0,283286	0,283286	0	0,28328612
0	0,32679739	0	0	0,326797	1,30719	2,287582	0	0
0	0	0	0	0,299401	0	0,598802	0	0
0	0	0	0	0	0	0,887574	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1,552795	0	0,31055901
0	0,27932961	0	0	0,558659	0,558659	0,27933	0	0,27932961
0	0	0	0	0,645161	0,322581	2,258065	0	0
0	0	0	0	0,286533	0,286533	0,859599	0	0
0	0	0	0	0	0	2,046784	0	0
0	0,29850746	0	0	0	1,19403	2,38806	0	0,29850746
0	0	0	0	0,621118	3,10559	0,931677	0	0,31055901
0	0,27548209	0,55096419	0	0,826446	0,826446	1,101928	0	0
0	0	0	0	0	1,396648	0	0	0,27932961

Juglandaceae	Juniperus	Lonicera	Lamiaceae	Asphodelus	Liliaceae	Olea	Pinus	Poaceae	Cereals
0	0	0	0	0	0	1,79	39,286	0	1,785714286
0	0	0	0	0	0	4,97	49,689	0	0
0	0,990099	0	0	0	0	8,91	8,9109	1,98019802	0
0	0	0	0	0	0	4,76	2,381	0	0
0	0	0	0	0	0	5,32	19,149	1,063829787	0
0	0	0	0	0	0	3,85	11,538	0	0
0	0	1,123596	0	0	0	6,74	1,1236	1,123595506	0
0	0	0	2,0833333	0	0	0	11,458	2,083333333	0
0	0	1,265823	0	0	0	5,06	11,392	6,329113924	0
0	0	0,549451	1,0989011	0	0	3,85	9,3407	8,241758242	0
0	3,184713	0	0,955414	0	0,3184713	1,59	4,7771	30,25477707	0,955414013
0	0,588235	0	1,1764706	0	0	6,18	3,8235	55,29411765	0
0	0	0	0,2754821	0	0,2754821	9,37	0,8264	62,80991736	0,550964187
0	0,544959	0	1,0899183	0	0	4,09	2,7248	42,77929155	1,634877384
0	0,277778	0	1,11111111	0	0	2,5	0,5556	47,5	2,222222222
0	0	0	0,273224	0	0	1,09	0,5464	54,3715847	1,092896175
0	0,566572	0,566572	0	0	0	3,4	1,4164	24,64589235	0
0	0	0	1,6339869	0	0	5,88	5,2288	25,16339869	0,980392157
0	0	0	0	0	0	2,1	1,1976	37,1257485	0,299401198
0	0	0	0,887574	0,295857988	0	2,96	1,4793	68,63905325	0,295857988
0	0	0	0,9677419	0	0	1,94	0	72,58064516	0,322580645
0	0	0	0,310559	0	0	1,86	0,3106	79,8136646	0,621118012
0	0	0	0,2793296	0	0	2,23	0	69,55307263	0,279329609
0,322580645	0	0	5,483871	0	0	1,61	0	56,12903226	0,967741935
0	0	0	0,5730659	0	0	3,44	0,2865	83,38108883	1,432664756
0	0	0	0,2923977	0	0	6,14	0,5848	72,22222222	1,169590643
0	0,895522	0	3,880597	0	0	1,79	0,8955	23,88059701	0,597014925
0	0	0	4,0372671	0	0	3,11	1,5528	26,39751553	0,310559006
0	0	0	3,8567493	0	0	2,48	1,1019	15,15151515	0,275482094
0	0	0	4,4692737	0	0	3,63	1,3966	20,94972067	0

Primulaceae	Plantago	Populus	Prunus	Quercus evergreen	Quercus	Ranunculus	Rhamnaceae	Rosaceae	Ficus
3,57142857	0	0	0	0	3,571429	1,78571429	0	0	0
0	0	0	0	3,105590062	0	1,86335404	3,105590062	0	0
0	0	0	0	19,8019802	11,88119	0	6,930693069	2,970297	0
0	0	2,38095	2,380952381	19,04761905	7,142857	0	2,380952381	0	0
0	0	1,06383	0	18,08510638	11,70213	0	7,446808511	1,06383	0
0	0	0	0	16,34615385	1,923077	0	3,846153846	0	0
0	3,370787	0	0	25,84269663	15,73034	3,37078652	1,123595506	1,123596	0
0	1,041667	0	0	19,79166667	0	0	2,083333333	1,041667	0
0	2,531646	0	0	13,92405063	6,329114	0	0	0	0
0	0	0	1,648351648	8,241758242	4,395604	2,1978022	1,098901099	3,296703	0
0	0,955414	0	0,636942675	10,82802548	4,77707	0	0	0,318471	0
0,88235294	1,176471	0	0	7,941176471	0	0,58823529	0,588235294	0	0
0	3,581267	0	0	5,785123967	0,826446	0	0,275482094	0	0
0,54495913	7,356948	0	0	11,98910082	1,362398	0	0,544959128	0,544959	0
0	7,222222	0	0,833333333	3,611111111	0	0	0	0	0
0,54644809	2,185792	0	0,273224044	3,825136612	0	0,27322404	0,546448087	0	0
0	1,699717	0	0	22,3796034	0,566572	0,84985836	0	0	0
0,32679739	4,248366	0	0	12,74509804	2,941176	3,26797386	0,326797386	0	0
0	2,39521	0	0	39,22155689	0,299401	0	0,299401198	0	0
0	0,295858	0	0	10,0591716	2,071006	0,29585799	0,295857988	0	0
0	0,967742	0	0	16,77419355	1,612903	0	0	0	0
0,62111801	3,726708	0	0	5,590062112	0	0	0,621118012	0	0
0	5,307263	0	0,279329609	7,82122905	1,396648	0	0	0	0,27933
0	8,709677	0	0	7,741935484	0,322581	0,32258065	0	0	0
0,28653295	2,292264	0	0,286532951	2,29226361	0	0	0,573065903	0	0
0	4,385965	0	0,292397661	2,923976608	0,584795	0	0,292397661	0	0
0,29850746	5,373134	0	0	13,13432836	2,985075	0,59701493	0,298507463	0	0
0	8,074534	0	0	10,55900621	0,931677	0	0,931677019	0	0
0	6,887052	0	0,275482094	32,50688705	1,652893	1,37741047	0	0	0
0	2,513966	0	0	39,10614525	4,748603	0	0,558659218	0	0

Filipendula (Rosaceae)	Salix	Scrophulariaceae	Typha/Sparganium	Tilia	Ulmus	Viola
0	0	0	1,785714286	0	0	0
0	0	0	0,621118012	0,6211	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1,063829787	0	0	0
0	0	0	0	1,9231	4,808	0
0	0	0	0	0	1,124	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1,648351648	0,5495	0	1,648
0	0	0	0,636942675	1,9108	0,318	0
0	0,588	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0,2725	0,272	0
2,5	0,278	0	0	0	0	0
0	0,273	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0,327	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0,296	0	0	0	0	0
0	0	0	0,322580645	0	0	0
0,310559006	0	0,310559006	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0,286532951	0	0	0	0	0	0
0	0,585	0	0	0	0	0
0,298507463	0,597	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0,826	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

4. Tableau de données du clustering

Número de lame	Nombre de pollens	Agriculture, arboriculture et pâturages	Parches à micocouliers	Ripisylve	Saulaie	Forêt méditerranéenne
1	56	1,785714286	0	0	1,785714286	8,928571429
2	161	0	0,621118012	0,62111801	0	6,832298137
3	101	1,98019802	0	0	0,99009901	21,78217822
4	42	0	2,380952381	0	4,761904762	11,9047619
5	94	1,063829787	0	0	1,063829787	17,0212766
6	104	0	0	0	0	5,769230769
7	89	1,123595506	0	0	4,494382022	31,46067416
8	96	2,083333333	0	0	8,333333333	0
9	79	6,329113924	0	0	7,594936709	11,39240506
10	182	8,241758242	0	0	6,593406593	10,43956044
11	314	31,21019108	3,821656051	0	8,280254777	7,006369427
12	340	55,29411765	12,64705882	0,29411765	8,529411765	6,764705882
13	363	63,36088154	1,652892562	0,27548209	11,29476584	11,01928375
14	367	44,41416894	3,542234332	0	25,88555858	5,994550409
15	360	49,72222222	0	5	31,38888889	3,333333333
16	366	55,46448087	1,912568306	0	31,14754098	2,18579235
17	353	24,64589235	0,283286119	0,84985836	41,64305949	5,949008499
18	306	26,14379085	0,326797386	0,32679739	34,31372549	12,74509804
19	334	37,4251497	2,694610778	0	14,07185629	2,395209581
20	338	68,93491124	6,804733728	0	5,325443787	5,325443787
21	310	72,90322581	1,290322581	0	4,838709677	3,548387097
22	322	80,43478261	1,242236025	0,31055901	5,900621118	2,48447205
23	358	69,83240223	3,631284916	0,27932961	11,45251397	3,910614525
24	310	57,41935484	1,612903226	0	23,87096774	3,870967742
25	349	84,81375358	0,859598854	0,28653295	5,157593123	3,724928367
26	342	73,39181287	1,754385965	0	10,23391813	7,01754386
27	335	24,47761194	0,895522388	0,59701493	44,47761194	7,164179104
28	322	26,70807453	0	0	40,99378882	4,347826087
29	363	15,42699725	1,652892562	0,27548209	32,23140496	6,060606061
30	358	20,94972067	0,558659218	0	24,58100559	8,659217877

Landes à cyprès et buis	Aulnaie et frênaie	Parches de peupliers	Junipéraie	Charmaie et noisetiers	Parches à figuiers	Subéraie
7,142857143	5,357142857	3,571428571	0	71,42857143	0	0
12,42236025	16,14906832	1,863354037	0,621118012	57,76397516	0	3,105590062
11,88118812	23,76237624	1,98019802	2,97029703	14,85148515	0	19,8019802
19,04761905	14,28571429	19,04761905	7,142857143	2,380952381	0	19,04761905
2,127659574	30,85106383	4,255319149	2,127659574	23,40425532	0	18,08510638
3,846153846	46,15384615	7,692307692	5,769230769	14,42307692	0	16,34615385
19,1011236	3,370786517	0	2,247191011	12,35955056	0	25,84269663
12,5	9,375	0	22,91666667	25	0	19,79166667
31,64556962	12,65822785	0	0	16,4556962	0	13,92405063
35,16483516	8,241758242	3,296703297	3,846153846	15,93406593	0	8,241758242
0,318471338	6,050955414	0,636942675	21,65605096	10,1910828	0	10,82802548
0	1,764705882	0,588235294	1,176470588	5	0	7,941176471
0	2,203856749	0,550964187	1,101928375	2,754820937	0	5,785123967
0,544959128	1,36239782	1,36239782	0,817438692	4,08719346	0	11,98910082
0	1,111111111	4,166666667	0,555555556	1,111111111	0	3,611111111
0	2,18579235	1,092896175	0	2,18579235	0	3,825136612
0,566572238	0,283286119	0,283286119	0,566572238	2,549575071	0	22,3796034
0	5,555555556	1,307189542	0	6,535947712	0	12,74509804
0	1,497005988	0	0,898203593	1,796407186	0	39,22155689
0	1,183431953	0	0,295857988	1,479289941	0,591715976	10,0591716
0	0	0	0,322580645	0,322580645	0	16,77419355
0	2,173913043	0	0,310559006	1,242236025	0	5,590062112
0	0,558659218	0,837988827	0,837988827	0,558659218	0,279329609	7,82122905
0	4,193548387	0,322580645	0,322580645	0,64516129	0	7,741935484
0	1,432664756	0,573065903	0	0,859598854	0	2,29226361
0	2,923976608	0,292397661	0,584795322	0,877192982	0	2,923976608
0	3,28358209	1,194029851	3,28358209	1,492537313	0	13,13432836
0	4,037267081	3,105590062	7,763975155	2,48447205	0	10,55900621
0	3,305785124	1,101928375	5,509641873	1,928374656	0	32,50688705
0	1,675977654	1,396648045	1,675977654	1,396648045	0	39,10614525

5. Tableau des scores de l'ACP et loadings

Scores	PC 1	PC 2
1	49.064	-38.9
2	49.291	-32.372
3	37.368	-2.4589
4	33.687	7.9001
5	40.153	-7.4801
6	40.57	-5.1929
7	35.539	5.3212
8	36.061	-1.2584
9	32.957	-3.4378
10	30.675	-6.189
11	2.1423	-3.5892
12	-23.448	-9.2789
13	-30.947	-9.2491
14	-15.417	7.527
15	-22.716	8.2435
16	-27.445	5.5945
17	0.55936	28.701
18	2.1009	17.091
19	-6.606	13.441
20	-36.226	-12.562
21	-39.631	-10.67
22	-46.8	-17.197
23	-38.3	-8.9937
24	-27.968	2.3888
25	-51.023	-19.931
26	-40.856	-13.099
27	-0.073833	27.561
28	-1.334	23.191
29	11.211	29.358
30	7.4118	25.542

Summary	PC	Eigenvalue	% variance
	1	1036,6	61,357
	2	291,865	17,276

Loadings		PC 1	PC 2
	Agriculture, arboriculture et pâturages	-0.87791	-0.29996
	Patches à micocouliers	-0.032788	-0.019188
	Ripisylve	-0.0044586	0.0067094
	Saulaie	-0.10707	0.65422
	Forêt méditerranéenne	0.098593	0.0061321
	Landes à cyprès et buis	0.18408	-0.096398
	Aulnaie et frênaie	0.20073	-0.1098
	Patches de peupliers	0.044268	0.0086794
	Junipéraie	0.054568	0.039092
	Charmaie et noisetiers	0.34406	-0.56342
	Patches à figuiers	-0.0010689	-0.001175
	Subéraie	0.097471	0.37573

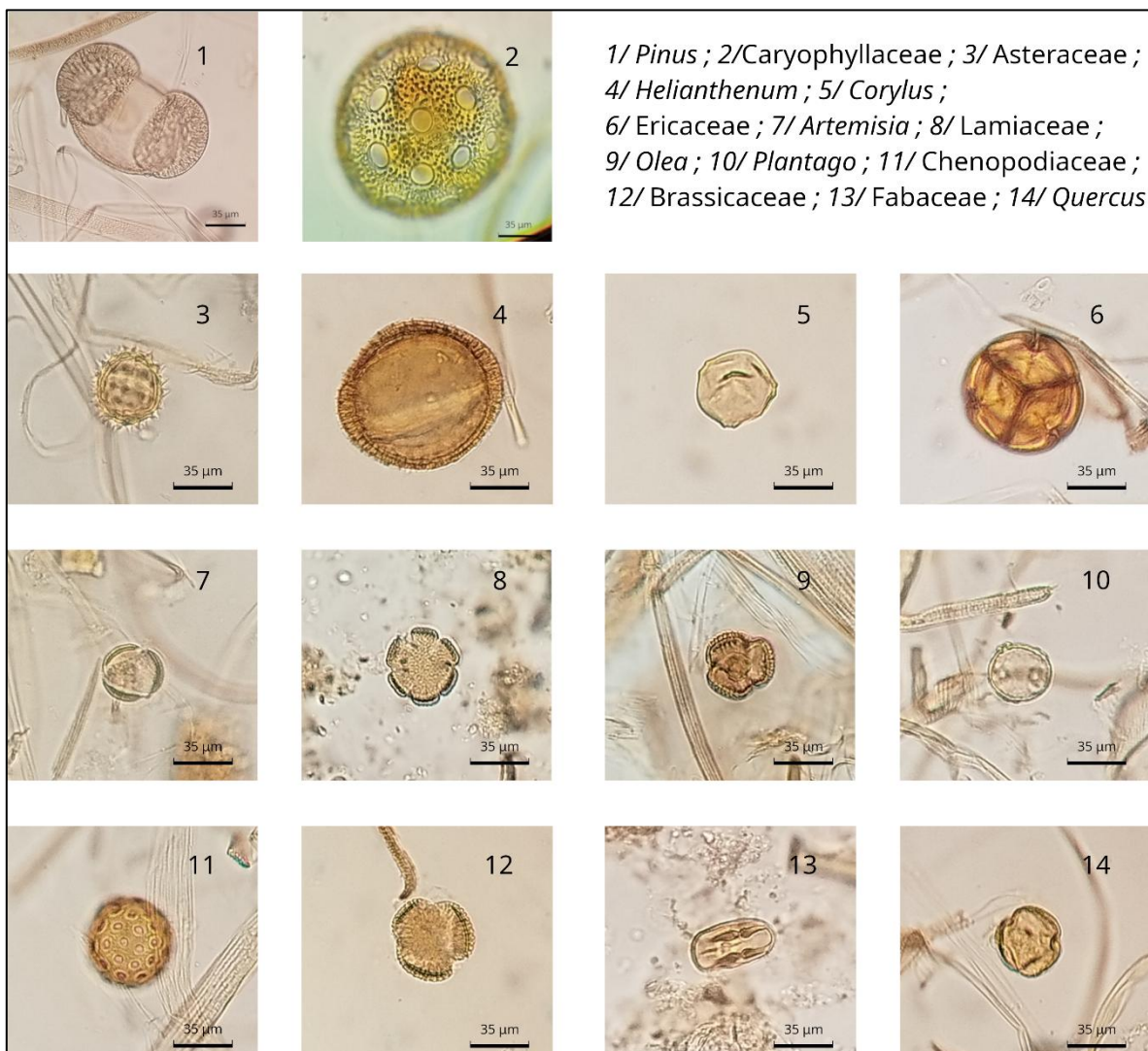
6. Tableau de données du LOESS

Numéro de lame	A	B	LOESS	2.5 percentile	97.5 percentile
1	1	49,064	47,4610484	34,11744881	61,35537756
2	2	49,291	44,920508	34,74019041	55,99648365
3	3	37,368	42,6334694	34,774219	51,18347201
4	4	33,687	40,4078685	33,56422166	48,1845532
5	5	40,153	38,0927601	30,83811981	46,20082324
6	6	40,57	37,3861116	29,61811562	45,71129249
7	7	35,539	36,7322905	28,87827402	45,46108809
8	8	36,061	33,7428262	25,9566311	43,1605076
9	9	32,957	26,5856509	18,32490305	36,73973208
10	10	30,675	15,5396285	7,011083756	25,30341584
11	11	2,1423	3,23478763	-4,882579637	12,29628576
12	12	-23,448	-7,44041361	-16,18822844	1,213492576
13	13	-30,947	-16,4427986	-25,28848035	-7,846653167
14	14	-15,417	-20,9909996	-29,57514017	-12,71850918
15	15	-22,716	-18,8172551	-27,20592327	-10,06887123
16	16	-27,445	-13,846896	-21,97193676	-4,942587918
17	17	0,55936	-11,7667596	-20,1896553	-1,972911164
18	18	2,1009	-13,121265	-21,78560605	-3,247849738
19	19	-6,606	-17,3906389	-25,84750057	-7,274400417
20	20	-36,226	-25,4126478	-33,93133305	-16,18330011
21	21	-39,631	-33,331207	-41,60204788	-24,78375555
22	22	-46,8	-37,7695642	-46,10387127	-29,12233563
23	23	-38,3	-39,2168201	-48,11530821	-30,41521613
24	24	-27,968	-37,2786742	-46,10532309	-28,51831629
25	25	-51,023	-30,2332628	-38,41045362	-20,96315916
26	26	-40,856	-22,2884934	-30,22995724	-12,62780206
27	27	-0,073833	-13,0558845	-20,66467818	-3,962521675
28	28	-1,334	-3,87461719	-12,12344761	6,132697603
29	29	11,211	5,58793154	-4,368519446	17,72588188
30	30	7,4118	15,0093184	1,935796121	29,62569188

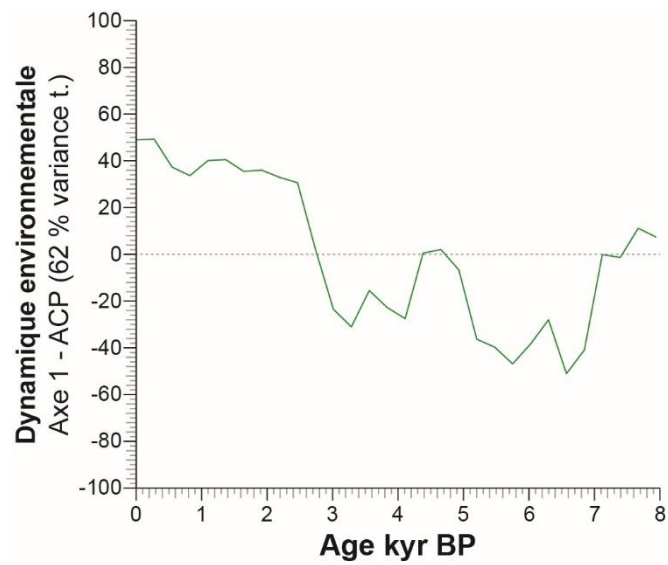
7. Tableau de données du CABFAC et du modèle polynomial

CABFAC	R2	0,76601
	RMSE	13,67
Polynomial	R^2	0,80185
	Pvalue	1,80E-08

8. Planche de pollens observés dans les lames d'ESCA-001



9. Modèle d'âge hypothétique



Echantillons	Date BP	ACP scores
1	0	49,06
2	274	49,29
3	548	37,37
4	821	33,69
5	1095	40,15
6	1369	40,57
7	1643	35,54
8	1917	36,06
9	2190	32,96
10	2464	30,68
11	2738	2,14
12	3012	-23,45
13	3286	-30,95
14	3559	-15,42
15	3833	-22,72
16	4107	-27,45
17	4381	0,56
18	4654	2,10
19	4928	-6,61
20	5202	-36,23
21	5476	-39,63
22	5750	-46,80
23	6023	-38,30
24	6297	-27,97
25	6571	-51,02
26	6845	-40,86
27	7119	-0,07
28	7392	-1,33
29	7666	11,21
30	7940	7,41

Résumé

Ce mémoire a pour objectif de déterminer les dynamiques végétales et l'anthropisation des écosystèmes méditerranéens à partir de l'étude paléoécologique d'une carotte de guano de chauve-souris prélevée dans la grotte des Escalans. La grotte des Escalans se situe dans le département de l'Hérault, sur la commune de Saint-Bauzille-de-Montmel, à une vingtaine de kilomètres au nord de Montpellier. La carotte ESCA-001, prélevée dans la salle du guano, mesure 29 cm. Sa base est datée à 7130 ± 35 ^{14}C BP, calibrée à 1σ : 7930-7980 BP et 2σ : 8015-7870 BP. La partie sommitale est supposée être actuelle. Notre enregistrement couvre ainsi un temps très long, de la fin du Mésolithique au subactuel. Les analyses statistiques effectuées à la suite des comptages polliniques ont permis d'identifier des groupes écologiques cohérents, dont les variations temporelles témoignent d'une forte anthropisation de l'environnement. Les résultats obtenus sont statistiquement viables, mais pourraient être davantage enrichis par la réalisation d'autres datations ^{14}C . Le guano ouvre donc de nouvelles perspectives pour la reconstruction des paléoenvironnements et la bio-archéologie en contexte de grotte. En effet, il pourrait se révéler être un parfait complément des études archéologiques menées partout en France.

Mots-clés : anthropisation, biostatistiques, chauve-souris, chiroptères, écosystèmes méditerranéens, guano, paléoécologie, paléoenvironnements, palynologie

Abstract

This report aims to determine plant dynamics and human impacts on Mediterranean ecosystems through the palaeoecological study of a bat guano core taken from the Escalans cave. The Escalans cave is located in the Hérault department, in the commune of Saint-Bauzille-de-Montmel, approximately twenty kilometers north of Montpellier. Core ESCA-001, taken from the guano chamber, measures 29 cm. Its base is dated to 7130 ± 35 ^{14}C BP, calibrated to 1σ : 7930–7980 BP and 2σ : 8015–7870 BP. The uppermost portion is assumed to be recent. Our record thus covers a very long period, from the end of the Mesolithic to the present day. Statistical analyses conducted following pollen counts have identified coherent ecological groups whose temporal variations indicate significant human impacts on the environment. The results obtained are statistically sound but could be further enhanced by additional carbon-14 dating. Guano thus opens new perspectives for the reconstruction of palaeoenvironments and for bioarchaeology in cave contexts. Indeed, it could prove to be a valuable complement to archaeological studies being carried out throughout France.

Keywords : *anthropization, bats, biostatistics, Chiroptera, guano, Mediterranean ecosystems, paleoecology, paleoenvironments, palynology*