

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Badji Mokhtar Annaba University
Université Badji Mokhtar – Annaba
Faculté des Sciences



جامعة باجي مختار – عنابة

كلية العلوم

Département de Biologie

قسم البيولوجيا

Thèse

Présentée pour obtenir le diplôme de

Doctorat Troisième Cycle

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Gestion, Protection et valorisation des ressources naturelles

Par :

BOUGHEDIRI Soumaia

Thème :

PLUIE POLLINIQUE ET ETAGEMENT DE LA VEGETATION DANS L'EXTREME EST ALGERIEN (Cas d'un transect Nord-Sud),

Thèse soutenue le, date de soutenance, devant le jury composé de :

| N° | Nom et prénom | Grade | Etablissement | Qualité |
|-----|------------------|-------|----------------------------------|--------------|
| 01) | Hamel Tarek | Prof, | Université Badji Mokhtar -Annaba | Président |
| 02) | Benslama Mohamed | Prof, | Université Badji Mokhtar -Annaba | Rapporteur |
| 03) | Necib Asma | MCA | Université M.C.M. Souk Ahras | Examinatrice |
| 04) | Ksentini Hana | MCA | Université Badji Mokhtar -Annaba | Examinatrice |

Année universitaire : 2025/2026

ديناميكية المطر اللقاحي وتدرج الغطاء النباتي (حالة مقطع طولي شمال-جنوب)

الملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى توصيف التنوع النباتي وديناميكية المطر اللقاحي في ثلاث محطات تمثل مختلف المناطق البيوكليمانية في الشمال الشرقي الجزائري، وذلك من خلال تحليل حبوب اللقاح المحمولة جواً، تغطي المواقع المدروسة تدرجاً مناخياً واضحاً يشمل كتلة الإيدوغ بعنابة (المنطقة الرطبة)، وغابة في شمال سوق أهراس (المنطقة شبه الرطبة)، ومنطقة شبه جافة في جنوب سوق أهراس، وتُعتبر هذه النظم البيئية شديدة الحساسية للضغوط المناخية والبشرية، مما يجعلها مؤشرات مناسبة لتقييم التغيرات البيئية، جُمعت بيانات المطر اللقاحي على مدار سنة 2016 باستخدام مصائد حبوب لقاح موزعة عبر ثماني محطات أخذ عينات، كان الهدف الأساسي تحليل التغيرات الموسمية في الطيف اللقاحي، ودراسة علاقته بالظروف المناخية المحلية، مع إبراز التدرج النباتي، أظهرت النتائج تبايناً كبيراً في الطيف اللقاحي بين المواقع، بما يعكس تنوع المجتمعات النباتية المحلية، وقد تميزت كل منطقة بخصائص محددة: سيادة الأصناف الغابية في المناطق الرطبة، وهيمنة الأنواع العشبية وتحت الغابية في المناطق شبه الرطبة، وظهور مؤشرات نباتات زيروفيتية في المناطق شبه الجافة، كما أُشير إلى وجود حبوب لقاح وافدة، ما يعكس عمليات انتشار بعيدة المدى، أظهرت نتائج التحليل الإحصائي (PCA) ثراءً نباتياً مميزاً لكل محطة، وحددت الأنواع المؤشرة للمناطق البيوكليمانية ومناطق الانتقال، إضافة إلى العلامات اللقاحية المرتبطة بالتأثيرات البشرية، في الختام، تبرز هذه الدراسة أهمية التدرج البيوكليبي في تنظيم المطر اللقاحي، كما تسلط الضوء على الآثار المحتملة للتغير المناخي على توزيع وديناميكية المجتمعات النباتية، وتوفر النتائج معطيات أساسية لفهم مرونة النظم البيئية المتوسطة وهشاشتها أمام الاضطرابات المناخية.

الكلمات المفتاحية: التدرج البيوكليبي، تدرج الغطاء النباتي، المطر اللقاحي، التنوع النباتي، كتلة الإيدوغ

(عنابة)، سوق أهراس، التحليل في المكونات الرئيسية، (PCA)

« PLUIE POLLINIQUE ET ETAGEMENT DE LA VEGETATION DANS L'EXTREME EST ALGERIEN (Cas d'un transect Nord-Sud)»

Résumé :

Cette étude vise à caractériser la diversité floristique et la dynamique pollinique de trois stations représentatives des étages bioclimatiques du Nord-Est algérien, à travers l'analyse de la pluie pollinique. Les sites retenus couvrent un gradient climatique marqué : le massif de l'Edough à Annaba (étage humide), une forêt du Nord de Souk Ahras (étage subhumide) et une zone semi-aride située au Sud de Souk Ahras.

Ces écosystèmes, fortement sensibles aux pressions climatiques et anthropiques, constituent des témoins pertinents pour l'évaluation des changements environnementaux. La collecte de la pluie pollinique a été effectuée tout au long de l'année 2016 à l'aide de pièges à pollen installés sur huit stations de prélèvement. L'objectif principal est d'analyser les variations saisonnières du spectre pollinique, d'étudier leur corrélation avec les conditions climatiques locales et de mettre en évidence l'étagement de la végétation.

Les résultats révèlent une forte hétérogénéité des spectres polliniques selon les sites, traduisant la diversité des formations végétales locales. Des profils spécifiques apparaissent : taxons forestiers dominants dans les étages humides, espèces herbacées et de sous-bois significatifs dans les zones subhumides, et marqueurs de végétation xérique dans la zone semi-aride. Certains pollens allochtones indiquent également une dispersion à longue distance. L'analyse en composantes principales (ACP) a mis en évidence la richesse floristique propre à chaque station, tout en révélant l'existence de taxons indicateurs des étages bioclimatiques et des zones de transition, ainsi que la présence de signaux polliniques associés aux influences anthropiques.

En conclusion, cette recherche met en évidence l'importance du gradient bioclimatique dans la structuration de la pluie pollinique et souligne les effets potentiels du changement climatique sur la distribution et la dynamique des communautés végétales. Les résultats apportent des éléments clés pour la compréhension de la résilience et de la vulnérabilité des écosystèmes méditerranéens face aux perturbations climatiques.

Mots clés : Gradient bioclimatique, Étagement de la végétation, Pluie pollinique, Diversité floristique, Massif de l'Edough (Annaba), Souk Ahras, Analyse en composantes principales (ACP).

« Pollen Rain and Vegetation Stratification in Northeastern Algeria (Case of a North–South Transect)»

Abstract:

This study aims to characterize the floristic diversity and pollen rain dynamics of three stations representative of the bioclimatic zones of Northeastern Algeria, through the analysis of airborne pollen. The selected sites cover a pronounced climatic gradient: the Edough massif in Annaba (humid zone), a forest in the northern part of Souk Ahras (sub-humid zone), and a semi-arid area in the southern part of Souk Ahras.

These ecosystems, highly sensitive to climatic and anthropogenic pressures, provide relevant indicators for assessing environmental changes. Pollen rain was collected throughout 2016 using pollen traps installed at eight sampling sites. The main objective was to analyze the seasonal variations in the pollen spectrum, to assess their correlation with local climatic conditions, and to highlight the vegetation stratification.

The results reveal strong heterogeneity in pollen spectra among the sites, reflecting the diversity of local plant communities. Specific profiles were identified : dominant forest taxa in humid zones, significant understorey and herbaceous species in sub-humid areas, and xerophytic vegetation markers in the semi-arid zone. In addition, the presence of allochthonous pollen suggests long-distance dispersal. Principal Component Analysis (PCA) highlighted the floristic richness specific to each station, revealed taxa that act as indicators of bioclimatic zones and transition areas, and identified pollen signals associated with anthropogenic influences.

In conclusion, this research underscores the importance of the bioclimatic gradient in structuring pollen rain and highlights the potential effects of climate change on the distribution and dynamics of plant communities. The findings provide key insights into the resilience and vulnerability of Mediterranean ecosystems in the face of climatic disturbances.

Key words : Bioclimatic gradient, Vegetation stratification, Pollen rain, Floristic diversity, Edough massif (Annaba), Souk Ahras, Principal Component Analysis (PCA).

Remerciements

*Tout d'abord, je souhaite exprimer ma gratitude à **ALLAH**, qui m'a accordé la force et la détermination nécessaires pour entreprendre ce voyage académique,*

*Je tiens également à remercier mon directeur de thèse, le Professeur **BENSLAMA Mohamed**, de l'Université Badji Mokhtar-Annaba, pour sa guidance éclairée, son encouragement constant et sa patience infinie,*

*Mes remerciements s'étendent également au **Monsieur le Professeur Hamel Tarek** de l'Université Badji Mokhtar-Annaba, pour avoir accepté de présider le jury de ma thèse, ainsi qu'aux **Professeurs, Ksentini Hana**, de l'Université Badji Mokhtar-Annaba et **Necib Asma** professeur à l'Université Mohamed-Chérif Messaadia Souk Ahras d'avoir accepté d'être les examinatrices de ma thèse,*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon père, le **Professeur BOUGHEDIRI Larbi**, pour son soutien indéfectible tout au long de mon parcours académique, ainsi que pour sa contribution précieuse à la rédaction de cette thèse, qui a été d'une importance majeure,*

DÉDICACES

*À MES CHERS PARENTS, **LARBI ET FAIZA BENHACHICHE**, POUR LEUR SOUTIEN INCONDITIONNEL, LEUR CONFIANCE ET LEURS SACRIFICES, QUI ONT ÉTÉ DES PILIERS ESSENTIELS TOUT AU LONG DE MON PARCOURS ACADÉMIQUE.*

*À MON CHER ÉPOUX **SAOUDI HICHEM** POUR TA PATIENCE, TA COMPRÉHENSION ET TON AMOUR INÉBRANLABLE, TU AS ÉTÉ MA SOURCE CONSTANTE DE RÉCONFORT ET DE MOTIVATION, CETTE THÈSE EST LE FRUIT DE NOS RÊVES PARTAGÉS ET DE NOTRE PERSÉVÉRANCE COLLECTIVE.*

*ET À MON PETIT ENFANT **SHAHINE** QUI APPORTE UNE JOIE IMMENSE DANS MA VIE ET ME DONNE LA FORCE DE PERSÉVÉRER, PUISSES-TU GRANDIR EN SACHANT QUE CETTE RÉALISATION EST AUSSI POUR TOI.*

*À MES CHÈRES SŒURS, **KHAOULA ET LINA**, AINSI QU'À MES FRÈRES, **ABDELRAOUF ET SLIMANE**, POUR VOTRE AMOUR, VOTRE AIDE PRÉCIEUSE ET VOTRE SOUTIEN CONSTANT TOUT AU LONG DE CE PARCOURS.*

À TOUS CEUX QUI ONT CONTRIBUÉ, DE PRÈS OU DE LOIN, À LA RÉALISATION DE CETTE THÈSE, JE VOUS EXPRIME MA GRATITUDE SINCÈRE, CETTE DÉDICACE EST UN TÉMOIGNAGE DE L'IMPORTANCE QUE CHACUN D'ENTRE VOUS A EU DANS CETTE RÉUSSITE.

Table des matières

المخلص

Résumé

Abstract

Remerciements 5

Dédicaces..... 6

Table des matières 8

Introduction 1

Chapitre I : Pollen, palynologie et pluie pollinique..... 3

1. Le pollen..... 3

1.1. Généralités. 3

1.2. Définition du pollen. 4

1.3. Formation du pollen. 4

1.4. Dispersion. 5

1.4.1. Anémophilie (dispersion par le vent). 6

1.4.2. Entomophilie (dispersion par les insectes). 6

1.4.3. Hydrophilie (dispersion par l'eau). 6

1.4.4. Zoophilie (dispersion par les animaux). 6

1.4.5. Pollinisation anthropique (par l'homme). 7

1.5. Longévité des grains de pollen. 7

1.6. Caractères des grains de pollen. 7

1.6.1. Forme et orientation. 8

1.6.2. Taille. 8

1.6.3. Couleur. 9

1.6.4. Nombre de grains produits. 9

1.6.5. Caractères structuraux des grains de pollen. 10

1.6.6. La paroi pollinique (sporoderme). 10

1.6.7. Les apertures polliniques. 10

1.6.8. Clé de détermination des grains de pollen. 11

1.7. (*Polypleurummunnaense*, Podostemaceae) 14

2. La palynologie..... 14

2.1. Définition. 14

2.2. Palynologie fondamentale. 15

| | | |
|---|--|-----------|
| 2.3. | Palynologie appliquée..... | 15 |
| 2.3.1. | Paléopalynologie..... | 15 |
| 2.3.2. | Mélistopalynologie..... | 16 |
| 2.3.3. | Pharmacopalynologie..... | 16 |
| 2.3.4. | Aéropalynologie..... | 16 |
| 2.3.5. | Palynologie médico-légale et criminologie..... | 16 |
| 2.3.6. | Indicateurs climatiques et météorologiques..... | 17 |
| 3. | La pluie pollinique..... | 17 |
| 3.1. | Définition..... | 17 |
| 3.2. | Relation entre pluie pollinique et végétation..... | 17 |
| 3.3. | Facteurs influençant la pluie pollinique..... | 18 |
| 3.4. | Les méthodes employées pour récolte pollinique..... | 18 |
| 3.4.1. | Méthodes gravimétriques..... | 19 |
| 3.4.2. | Méthodes volumétriques..... | 19 |
| 3.4.3. | La méthode PMP (Pollen Monitoring Programme)..... | 20 |
| 3.5. | Avantages de l'étude de la pluie pollinique..... | 21 |
| Chapitre II : Dynamique de la végétation au Nord-Est Algérien, | | 25 |
| 1. | Définition..... | 25 |
| 2. | Principe..... | 26 |
| 3. | Caractérisation de la dynamique de végétation..... | 27 |
| 3.1. | Dynamique à évolution progressive..... | 27 |
| 3.2. | Dynamique à évolution régressive..... | 27 |
| 3.3. | Dynamique à stabilité..... | 27 |
| 4. | Influence des activités humaines sur la dynamique de la végétation..... | 28 |
| 5. | Dynamique de la végétation dans la région méditerranéenne..... | 28 |
| 6. | Dynamique de la végétation dans le Nord-est algérien..... | 29 |
| 7. | Etagement de la végétation..... | 29 |
| 7.1. | Des étagements variables dans le temps et l'espace..... | 30 |
| 7.2. | Les principaux types de paysages végétaux montagnards..... | 32 |
| 7.3. | Les étages de végétation dans l'extrême Nord-Est algérien..... | 33 |
| 7.3.1. | Importance écologique et enjeux de conservation..... | 33 |
| 8. | Les étages bioclimatiques..... | 34 |
| 8.1. | Le quotient pluviothermique d'Emberger..... | 35 |

| | |
|--|-----------|
| 9. Les étages bioclimatiques dans le Nord-Est algérien. | 35 |
| Chapitre III : Matériel et méthodes | 42 |
| 1. Présentation des régions étudiées | 42 |
| 1.1. Caractéristiques des stations. | 42 |
| 1.2. La région de l'Edough. | 43 |
| 1.2.1. Situation géographique. | 43 |
| 1.2.2. Le couvert végétal. | 44 |
| 1.2.3. Conditions climatiques. | 45 |
| 1.3. La région de Mechrouha (Souk Ahras). | 46 |
| 1.3.1. Situation géographique. | 46 |
| 1.3.2. Couvert végétal. | 47 |
| 1.3.3. Conditions climatiques. | 48 |
| 1.4. La région de Zaarouria (Souk Ahras). | 49 |
| 1.4.1. Situation géographique. | 49 |
| 1.4.2. Le couvert végétal. | 50 |
| 1.4.3. Conditions climatiques. | 51 |
| 2. Caractéristiques des sites étudiés. | 51 |
| 3. Techniques d'échantillonnages. | 52 |
| 3.1. Méthodes d'inventaire floristique. | 52 |
| 3.2. Méthodes de récolte de pollen. | 52 |
| 4. Méthodes d'étude du pollen. | 53 |
| 4.1. Traitement des échantillons de pollen récolté d'après Erdtman (1960). | 53 |
| 4.2. Elaboration des diagrammes polliniques. | 54 |
| 5. La détermination de l'étagement de la végétation. | 56 |
| 6. Analyses statistiques des données polliniques. | 56 |
| Chapitre IV : Résultats | 56 |
| 1. Relevés floristiques. | 56 |
| 1.1. La station de l'Edough. | 56 |
| 1.2. La station de Mechrouha (Souk Ahras). | 57 |
| 1.3. La station de Zaarouria (Souk Ahras). | 58 |
| 2. Résultat de l'étude palynologique. | 59 |
| 2.1. Station 1. | 62 |
| 2.2. Station 2. | 64 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.3. | Station 3. | 68 |
| 2.4. | Les groupes d'assemblages polliniques..... | 71 |
| 3. | Les diagrammes polliniques. | 71 |
| 3.1. | Site 1. | 71 |
| 3.2. | Site 2. | 72 |
| 3.3. | Site 3. | 73 |
| 3.4. | Site 4. | 75 |
| 3.5. | Site 5. | 76 |
| 3.6. | Site 6. | 76 |
| 3.7. | Site 7. | 77 |
| 3.8. | Site 8. | 78 |
| 4. | Détermination de l'étagement de la végétation. | 79 |
| 5. | Résultats de l'analyse statistique. | 80 |
| 6. | Planche photomicrographique des principaux types polliniques identifiés..... | 81 |
| | Chapitre V : Discussion | 84 |
| | Conclusions et perspectives | 88 |
| | Références bibliographiques | 91 |

LISTE DES FIGURES

| | | |
|--------------------|---|-----------|
| Figure 01 : | Le pollen dans le cycle d'une fleur hermaphrodite. | 05 |
| Figure 02 : | Les trois formes des grains de pollen. | 08 |
| Figure 03 : | A- Grain de pollen de <i>Myosotis Sylvatica</i> (<i>Boraginaceae</i>) B- Grain de pollen de <i>Cucurbita pepo</i> (<i>Cucurbitaceae</i>). | 09 |
| Figure 04 : | Appareil gravimétrique de Durham. | 19 |
| Figure 05 : | Capteur de Hirst. | 20 |
| Figure 06 : | Comparaison entre (a) le dispositif original du piège de Tauber et (b) une modification couramment utilisée PMP. | 21 |
| Figure 07 : | Apparition d'une forêt. | 26 |
| Figure 08 : | Transect altitudinal Nord-Sud du massif de l'Edough montrant la distribution des types de végétation selon l'altitude. | 34 |
| Figure 09 : | Étages bioclimatiques du Nord-Est algérien selon la classification d'Emberger. | 37 |
| Figure 10 : | La station d'étude au lieu-dit Oued Bagrat de l'Edough. | 43 |
| Figure 11 : | La station d'étude au lieu-dit Ain Talhi de Mechrouha. | 44 |
| Figure 12 : | La station d'étude au lieu-dit El-Gharra de Zaarouria. | 47 |
| Figure 13 : | Présentation de la zone d'étude avec les huit sites étudiés, Carte bioclimatique du Nord-est algérien. | 50 |
| Figure 14 : | Dispositifs installés dans les stations d'étude. | 53 |
| Figure 15 : | Dispositifs installés dans les stations d'étude. | 53 |
| Figure 16 : | Diagramme pollinique du site 1 (Station Edough). | 72 |
| Figure 17 : | Diagramme pollinique du site 2 (Station Edough). | 73 |
| Figure 18 : | Diagramme pollinique du site 3 (Station Mechrouha). | 74 |
| Figure 19 : | Diagramme pollinique du site 4 (Station Mechroha). | 75 |
| Figure 20 : | Diagramme pollinique du site 5 (Station Mechrouha). | 76 |
| Figure 21 : | Diagramme pollinique du site 6 (Station Zaarouria). | 77 |
| Figure 22 : | Diagramme pollinique du site 7 (Station Zaarouria). | 78 |
| Figure 23 : | Diagramme pollinique du site 8 (Station Zaarouria). | 79 |
| Figure 24 : | Résultats de l'analyse statistique, ACP : analyse en composantes principales. | 81 |

LISTE DES TABLEAUX

| | | |
|---------------------|--|-----------|
| Tableau 01 : | Production de pollen chez quelques espèces végétales. | 09 |
| Tableau 02 : | Différents types polliniques d'Angiospermes d'après le nombre et la disposition des apertures. | 11 |
| Tableau 03 : | Clé de détermination des grains de pollen. | 12 |
| Tableau 04 : | Classification de l'étagement des végétaux en région méditerranéenne. | 31 |
| Tableau 05 : | Données climatiques de la région de Séraïdi (2016). | 45 |
| Tableau 06 : | Données climatiques de la région Mechrouha (2016). | 48 |
| Tableau 07 : | Données climatiques de la région Zaarouria (2016). | 51 |
| Tableau 08 : | Les caractéristiques de sites de prélèvement. | 51 |
| Tableau 09 : | Résultats de l'inventaire floristique du site d'étude Oued Bagrat (Edough-Annaba). | 56 |
| Tableau 10 : | Résultats de l'inventaire floristique du site d'étude Ain Talhi (MechrohaSouk Ahras). | 57 |
| Tableau 11 : | Résultats de l'inventaire floristique du site d'étude El-Gharra (ZaarouriaSouk Ahras). | 58 |
| Tableau 12 : | Les taxons polliniques remarquables récoltés au niveau des trois stations. | 59 |
| Tableau 13 : | Concentration pollinique annuelle de taxons remarquables et pourcentage du Site 1. | 63 |
| Tableau 14 : | Concentration pollinique annuelle de taxons remarquables et pourcentage du Site 2. | 64 |
| Tableau 15 : | Concentration pollinique annuelle de taxons remarquables et pourcentage du Site 3. | 65 |
| Tableau 16 : | Concentration pollinique annuelle de taxons remarquables et pourcentage du Site 4. | 66 |
| Tableau 17 : | Concentration pollinique annuelle de taxons remarquables et pourcentage du Site 5. | 67 |
| Tableau 18 : | Concentration pollinique annuelle de taxons remarquables et pourcentage du Site 6. | 68 |
| Tableau 19 : | Concentration pollinique annuelle de taxons remarquables et pourcentage du Site 7. | 69 |
| Tableau 20 : | Concentration pollinique annuelle de taxons remarquables et pourcentage du Site 8. | 70 |
| Tableau 21 : | Étagement altitudinal de la végétation dans les régions étudiées. | 80 |
| Tableau 22 : | Planche illustrant les grains de pollen des principales espèces identifiées au microscope $\times 400$. | 82 |

| Introduction

Introduction

Les écosystèmes forestiers méditerranéens, réputés pour leur grande diversité floristique et leur vulnérabilité aux variations climatiques, représentent une composante essentielle du patrimoine naturel de l'Algérie. Dans le Nord-est algérien, notamment dans les régions d'Annaba et de Souk-Ahras, la végétation présente une remarquable hétérogénéité, liée à des gradients bioclimatiques bien marqués, s'étendant de l'étage humide jusqu'au semi-aride. Ces contrastes écologiques, déterminés par les conditions climatiques, topographiques et édaphiques, influencent directement la composition et la distribution des communautés végétales locales (**Quézel et Médail, 2003**),

Dans ce contexte, l'étude de la pluie pollinique actuelle constitue un indicateur privilégié pour comprendre la dynamique de la végétation et les interactions entre flore, climat et environnement. L'analyse des spectres polliniques permet d'établir des correspondances entre la composition du couvert végétal et les paramètres écologiques locaux, tout en servant de référence pour la reconstitution des paysages et des climats anciens (**Reille, 1992 ; Benslama et al., 2010**),

Les régions du massif de l'Edough et de Souk-Ahras se prêtent particulièrement bien à ce type d'étude. Elles sont soumises à une variabilité pluvio-thermique marquée et à une pression anthropique croissante, qui se traduisent par la dégradation progressive des forêts, la recrudescence des incendies, le surpâturage et la transformation des terres agricoles. Ces facteurs entraînent une fragmentation écologique et modifient la composition pollinique de l'atmosphère (**Oularbi et Zeghiche, 2009 ; Hamel et al., 2019**),

Le présent travail s'inscrit dans une approche d'analyse comparative visant à relier la composition floristique et les caractéristiques polliniques selon les différents étages bioclimatiques du Nord-est algérien. Il a pour ambition de caractériser les assemblages végétaux et polliniques, d'identifier les taxons indicateurs de chaque étage climatique, et d'évaluer l'influence des facteurs écologiques et anthropiques sur la structure et la dynamique de la végétation,

Les objectifs spécifiques de cette étude sont les suivants :

Introduction

1. Déterminer la composition floristique et l'étagement de la végétation des trois stations représentatives des étages humide, subhumide et semi-aride,
2. Comparer la distribution pollinique actuelle à la végétation observée sur le terrain,
3. Identifier les espèces indicatrices des gradients bioclimatiques.

Les résultats obtenus permettront d'améliorer la compréhension des processus écologiques qui régissent la dynamique actuelle des écosystèmes forestiers du Nord-Est algérien. Ils fourniront également une base de référence essentielle pour les études paléoécologiques et pour la mise en œuvre de stratégies de conservation et de gestion durable de la biodiversité dans un contexte de changement climatique.

Plan de la thèse

Ce travail s'articule en cinq chapitres principaux :

- Chapitre 1 : généralités sur le pollen, la palynologie et la pluie pollinique ;
- Chapitre 2 : dynamique et étagement de la végétation ;
- Chapitre 3 : matériel et méthodes ;
- Chapitre 4 : résultats obtenus ;
- Chapitre 5 : discussion, conclusion et perspectives.

Première partie

*Revue bibliographiq
ues*

CHAPITRE I

Pollen, palynologie et
pluie pollinique

Chapitre I : Pollen, palynologie et pluie pollinique.

1. Le pollen.

1.1. Généralités.

Chez les végétaux, seules les Phanérogames, ou plantes à graines, assurent leur reproduction sexuée par la formation de graines issues de la fécondation entre gamètes mâles et femelles. Le gamète mâle est contenu dans le grain de pollen, tandis que le gamète femelle est porté par le sac embryonnaire situé dans l'ovule (**Linskens et Heslop-Harrison, 1977**). Le pollen joue donc un rôle central dans la reproduction sexuée des Spermatophytes.

La production pollinique varie considérablement selon les espèces, mais elle atteint souvent des valeurs très élevées chez les plantes à pollinisation anémophile, afin d'augmenter les probabilités de fécondation. Ainsi, chez le palmier dattier (*Phoenix dactylifera*), une seule inflorescence mâle peut libérer entre 30 et 60 millions de grains de pollen sous forme d'une fine poussière (**Renault-Miskovsky et Petzold, 1992**). De même, un chaton de noisetier (*Corylus avellana*) peut renfermer jusqu'à environ 4 millions de grains (**Pesson et Louveaux, 1984**).

L'importance du pollen dans la reproduction des plantes est reconnue depuis l'Antiquité. Des représentations sculptées datant du règne d'Assurbanipal (668–627 av. J.-C.), roi d'Assyrie, illustrent déjà des pratiques de pollinisation artificielle chez le palmier dattier, témoignant d'une connaissance empirique du rôle reproducteur des inflorescences mâles (**Bonnemain et Dumas, 1998**).

L'invention du microscope au XVII^e siècle a marqué une étape décisive dans l'étude des grains de pollen et de leur structure. En 1682, Nehemiah Grew fut l'un des premiers à en décrire les caractéristiques morphologiques (*in* : **Renault-Miskovsky et Petzold, 1992**). Plus tard, au XIX^e siècle, **Mohl (1835)** proposa une classification fondée sur le type d'ouvertures, tandis que Fischer (1890) analysa en détail l'exine, la couche externe finement sculptée et spécifique à chaque espèce (*in* : **Saxena, 1993**).

Le pollen constitue également un marqueur biologique précieux en palynologie pour l'étude des climats passés et de la dynamique végétale, en raison de sa résistance à la dégradation et de sa spécificité taxonomique. Toutefois, certains pollens, notamment ceux de graminées,

d'ambroisie ou de bouleau, peuvent être à l'origine de pathologies allergiques importantes chez l'humain, telles que la rhinite saisonnière ou l'asthme allergique (**D'Amato *et al.*, 2007**).

1.2. Définition du pollen.

Le pollen représente le gamétophyte mâle des plantes à fleurs (Angiospermes) et des Gymnospermes. Il joue un rôle fondamental dans la reproduction sexuée, assurant le transfert du matériel génétique mâle vers le gamétophyte femelle lors de la fécondation (**Pacini, 2010**). Chaque grain de pollen contient les cellules nécessaires à la formation du tube pollinique et à la migration des noyaux spermatiques vers l'ovule.

Au-delà de sa fonction reproductive, le pollen possède une morphologie extrêmement diversifiée et spécifique à chaque taxon, ce qui en fait un outil précieux pour l'identification botanique. Sa morpho-structure, comprenant la taille, la forme, les ornements de l'exine et le nombre d'ouvertures, constitue une véritable empreinte biologique, permettant de différencier les espèces, de retracer les relations phylogénétiques et de reconstituer la composition floristique passée (**Punt *et al.*, 2007**).

1.3. Formation du pollen.

La formation du pollen, ou microsporogénèse, débute dans les anthères, plus précisément au sein des sacs polliniques, où se développent les cellules mères du pollen (CMP), également appelées microsporocytes.

Ces cellules sont diploïdes ($2n$) et possèdent un noyau volumineux, chaque microsporocyte subit successivement une méiose, soit deux divisions cellulaires, pour produire une tétrade de quatre microspores haploïdes (n) (**Scott *et al.*, 2004**) (**Fig. 1**).

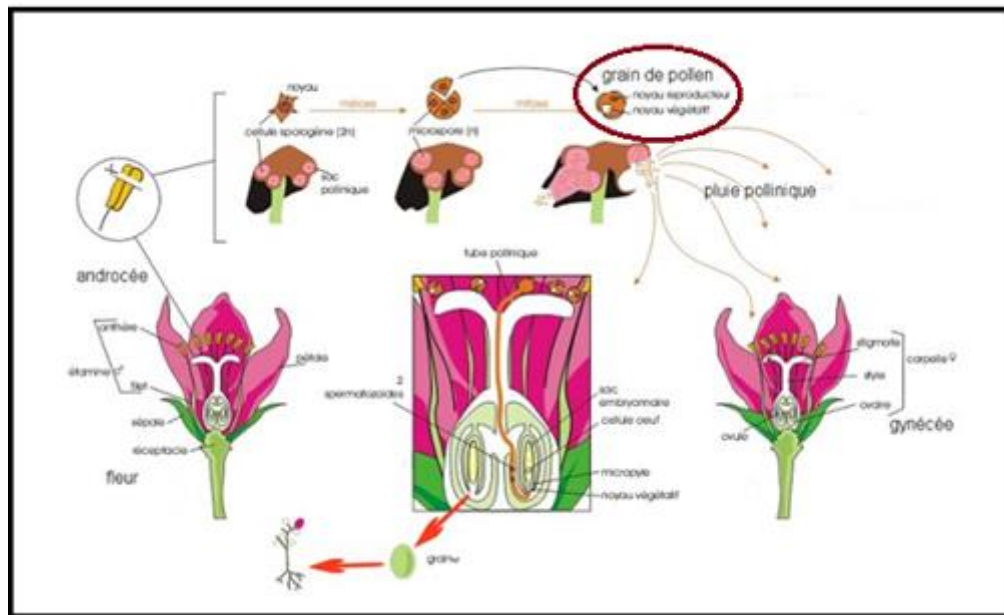


Figure 01 : Le pollen dans le cycle d'une fleur hermaphrodite (Sharman, 2021).

Ces microspores peuvent ensuite se séparer complètement pour former des grains de pollen monadiques, comme c'est le cas dans la majorité des espèces végétales.

Après la méiose, les microspores haploïdes subissent une mitose asymétrique au cours de la microgamétogénèse, qui aboutit à la formation d'un grain de pollen bicellulaire : une cellule végétative, volumineuse, et une cellule générative plus petite. Cette dernière pourra ensuite, dans de nombreuses espèces, se diviser à son tour pour donner deux gamètes mâles, formant ainsi un pollen tricellulaire au moment de la libération (Twell, 2011).

La morphologie, la cohésion et le degré de maturation cellulaire du pollen au moment de l'anthèse (libération) varient grandement selon les espèces et sont souvent liés au type de pollinisation, ce qui en fait également un critère important en palynologie et en systématique végétale.

1.4. Dispersion.

La dispersion des grains de pollen, étape essentielle de la reproduction sexuée des plantes à graines, repose sur divers agents biologiques ou physiques. Elle permet le transfert du pollen depuis les anthères mâles vers les structures femelles (généralement les stigmates), où s'amorce la pollinisation. Les modalités de dispersion varient selon les espèces et ont une grande influence sur la morphologie des grains de pollen et des fleurs.

1.4.1. Anémophilie (dispersion par le vent).

L'anémogamie est un mode de dispersion reposant sur le transport aérien du pollen. Les plantes anémophiles produisent généralement une grande quantité de pollen, de petite taille, légers, secs et lisses, ce qui favorise leur transport sur de longues distances. Leurs fleurs sont souvent discrètes, sans nectar ni couleur vive, et les étamines sont saillantes pour faciliter la dissémination,

Ce mode de dispersion est typique de nombreuses familles, tel-que les Gymnospermes (presque toutes anémophiles) et plusieurs familles d'Angiospermes telles que : *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Juncaceae*, *Betulaceae*, *Fagaceae*, *Chenopodiaceae*, *Polygonaceae*, et *Urticaceae* (Friedman et Barrett, 2009).

1.4.2. Entomophilie (dispersion par les insectes).

L'entomogamie repose sur l'intervention des insectes (abeilles, papillons, coléoptères, etc.) qui transportent le pollen d'une fleur à une autre. Les plantes entomophiles développent des stratégies attractives : fleurs colorées, nectar sucré, odeurs spécifiques, et parfois même des signaux ultraviolets perceptibles uniquement par certains pollinisateurs (Proctor *et al.*, 1996). Le pollen de ces plantes est souvent ornementé, visqueux, parfois collant ou munidecrochets, facilitant son adhésion au corps des insectes (Ollerton *et al.*, 2011).

1.4.3. Hydrophilie (dispersion par l'eau).

L'hydrogamie est un mode plus rare, propre à certaines plantes aquatiques. Le pollen est transporté à la surface ou dans la colonne d'eau. Ce type de dispersion est observé, par exemple, chez *Ceratophyllum* et *Utricularia*, qui produisent un pollen souvent filiforme ou nonornementé, adapté à la flottation ou à la circulation dans l'eau (Shivanna et Ram, 1993).

1.4.4. Zoophilie (dispersion par les animaux).

Outre les insectes, d'autres animaux peuvent jouer un rôle dans la dispersion pollinique : les oiseaux nectarivores, certains chauves-souris (pollinisation nocturne) et plus rarement, certains petits mammifères.

Les fleurs de ces plantes présentent des adaptations spécifiques, telles que de grandes corolles, un nectar abondant ou une forte émission olfactive nocturne (Fleming *et al.*, 2009).

1.4.5. Pollinisation anthropique (par l'homme).

Chez certaines espèces cultivées, la pollinisation peut être assurée artificiellement par l'homme. C'est le cas du palmier dattier (*Phoenix dactylifera*), chez lequel la fécondation croisée est facilitée manuellement en milieu agricole, en secouant les inflorescences mâles sur les femelles, une pratique déjà attestée depuis l'Antiquité (**Bonnemain et Dumas, 1998**).

1.5. Longévité des grains de pollen.

La longévité du pollen désigne la période pendant laquelle un grain de pollen reste viable, c'est-à-dire capable de germer et de produire un tube pollinique fonctionnel. Cette durée est extrêmement variable selon les espèces et dépend de plusieurs facteurs physiologiques et environnementaux.

La durée de vie d'un pollen est inversement proportionnelle à sa teneur en eau. Par exemple, le pollen du peuplier noir (*Populus nigra*), contenant environ 8 % d'eau, peut conserver sa viabilité plusieurs semaines, tandis que celui du maïs (*Zeamays*), contenant près de 57 % d'eau, ne dépasse pas 2 heures de viabilité après libération (**Bonnemain et Dumas, 1998**). De même, chez les *Poaceae*, la longévité ne dépasse généralement pas 24 heures, alors qu'elle peut atteindre plusieurs dizaines de jours chez certaines *Rosaceae* (**Gorenflot, 1997**).

La viabilité pollinique est également influencée par des conditions extérieures comme :

- La température (les températures élevées accélèrent la perte de viabilité).
- L'humidité ambiante.
- L'exposition à la lumière UV.
- Et les méthodes de conservation, notamment la cryoconservation pour les banques de gènes (**Ganeshan et Bhowmik, 2021**).

1.6. Caractères des grains de pollen.

Les grains de pollen présentent une grande diversité morphologique selon les espèces végétales, ce qui en fait un outil précieux pour la taxonomie, la palynologie et la systématique végétale. Ces caractères morphologiques incluent la forme, la taille, la couleur, le nombre d'apertures, ainsi que le mode d'agrégation cellulaire.

1.6.1. Forme et orientation.

La forme du grain de pollen est définie par le rapport entre la longueur de l'axe polaire (P) et celle de l'axe équatorial (E) (**Fig. 2**).

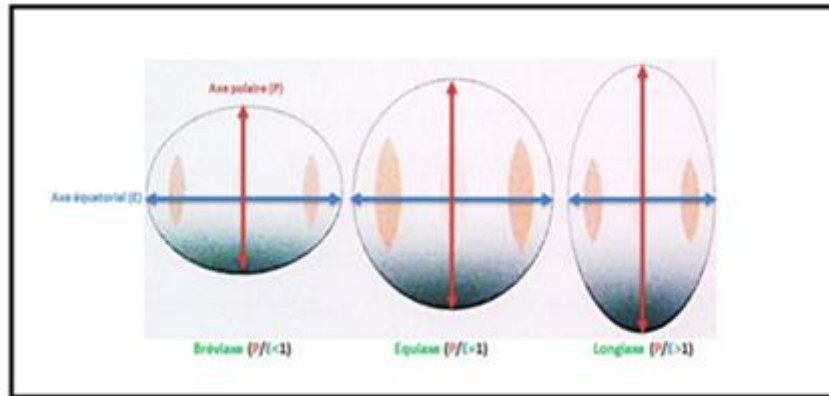


Figure 02 : Les trois formes des grains de pollen (**Hesse *et al.*, 2009, modifié**).

- Pollen équiate (ou sphérique) : $P = E$;
- Pollen longiate (ou prolé) : $P > E$;
- Pollen bréviate (ou oblé) : $P < E$,

Ce rapport (P/E) est stable et caractéristique d'une espèce donnée, indépendamment des conditions de croissance.

1.6.2. Taille.

La taille du grain de pollen varie considérablement d'une espèce à l'autre. Elle peut être influencée par des facteurs physiologiques et environnementaux, mais le rapport P/E reste constant pour une espèce donnée.

Le plus petit pollen connu est celui de *Myosotis* (*Boraginaceae*), mesurant à peine 2,5µm de diamètre, parcontre, les plus grands pollens se trouvent chez certaines Gymnospermes (ex, *Pinus*, *Abies*, *Picea*) et chez des Angiospermes comme les *Nyctaginaceae* et *Cucurbitaceae*, avec des tailles allant de 200 à 250 µm (**Saxena, 1993 ; Halbritter *et al.*, 2018**) (**Fig. 3**).

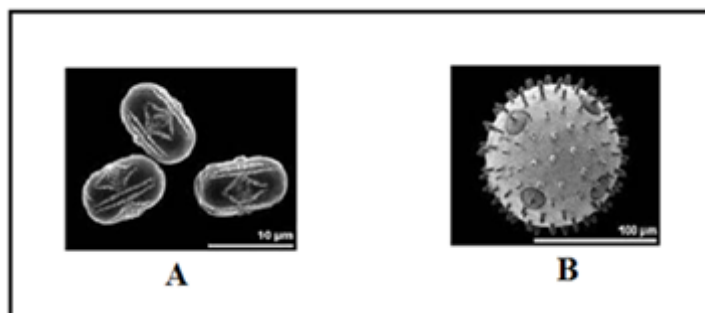


Figure 03 : A- Grain de pollen de *Myosotis Sylvatica* (*Boraginaceae*)
 B- Grain de pollen de *Cucurbita pepo* (*Cucurbitaceae*).

1.6.3. Couleur.

La couleur du pollen dépend de sa composition chimique, notamment des pigments, flavonoïdes, et des substances lipidiques. Si la couleur la plus commune est le jaune, on trouve aussi des grains de couleur blanche, rougeâtre, violette, brune ou même bleue, comme observé chez certaines *Orchidaceae* ou *Compositae* (Pacini et Hesse, 2005).

1.6.4. Nombre de grains produits.

La quantité de pollen produit varie fortement selon le type de pollinisation :

- Les plantes anémophiles produisent des quantités massives de pollen pour compenser les pertes dues à la dispersion aléatoire par le vent.
- En revanche, les plantes entomophiles, produisent des quantités moindres mais souvent plus riches en nutriments (lipides, protéines) et plus collants pour favoriser l'adhérence (Ollerton *et al.*, 2011) (Tab. 1).

Tableau 1 : Production de pollen chez quelques espèces végétales (Heim, 1963).

| Espèces | Familles | Type de pollinisation | Etamines | Fleurs isolées | Inflorescence |
|------------------------|-------------------|-----------------------|----------|----------------|---------------|
| <i>Tiliacordata</i> | <i>Malvaceae</i> | E | - | 43500 | 200100 |
| <i>Callunavulgaris</i> | <i>Ericaceae</i> | E | 2200 | 17700 | - |
| <i>Alnusglutinosa</i> | <i>Betulaceae</i> | A | - | - | 4445600 |
| <i>Pinussylvestris</i> | <i>Pinaceae</i> | A | - | 150600 | 5773500 |
| <i>Betulaverrucos</i> | <i>Betulaceae</i> | A | 10100 | 20100 | 5452500 |
| <i>a</i> | | | | | |

E : entomophile, A : anémophile,

1.6.5. Caractères structuraux des grains de pollen.

Les grains de pollen sont entourés d'une enveloppe protectrice appelée sporoderme, une structure complexe jouant un rôle crucial dans la préservation, la reconnaissance interspécifique, et la germination du pollen. Cette enveloppe est constituée de plusieurs couches aux propriétés chimiques et mécaniques distinctes (**Furness et Rudall, 2014**).

1.6.6. La paroi pollinique (sporoderme).

Le sporoderme est formé de deux principales couches :

- L'intine, située en position interne, est une paroi fine, souple et de nature cellulosique. Elle est constituée principalement de polysaccharides (pectines, cellulose, hémicelluloses) et de protéines enzymatiques impliquées dans la croissance du tube pollinique. Elle est peu résistante et se dégrade rapidement, ce qui la rend non fossilisable (**Ariizumi et Toriyama, 2011**).
- L'exine, couche externe du sporoderme, est constituée de sporopollénine, un polymère extrêmement résistant chimiquement et mécaniquement, qui assure la fossilisation du grain de pollen. Sa composition reste encore partiellement élucidée, mais elle est considérée comme l'une des substances organiques les plus inaltérables connues (**Domínguez et al., 1999**). La sporopollénine est comparable, par sa résistance, à la chitine des arthropodes.

L'exine se subdivise en deux sous-couches, l'endexine (interne) : homogène, continue et peu ornementée et l'ectexine (externe) : de structure complexe, formée de columelles (petites colonnes verticales) surmontées d'un tectum, souvent ornementé selon l'espèce. Cette ornementation est un caractère discriminant en palynologie.

1.6.7. Les apertures polliniques.

L'exine n'est pas continue : elle présente des zones amincies appelées apertures, essentielles à la germination du pollen, car elles constituent les points de sortie du tube pollinique. Ces ouvertures se présentent sous deux formes principales :

- Les pores : de forme circulaire.
- Les sillons (colpus) : de forme allongée.

Selon leur nombre et leur arrangement, les grains sont classés de manière systématique :

- Monoporé : un seul pore (ex, *Poaceae*).
- Triporé : trois pores (ex, *Fagaceae*).
- Tricolpé : trois sillons (ex, *Brassicaceae*).
- Tricolporé : trois sillons associés à trois pores (ex, *Asteraceae*).

Il existe également des formes plus complexes (pantoporés, tétracolporés, inaperturés, etc.)
Ce nombre, type et disposition des ouvertures constitue un critère palynologique majeur dans la taxonomie et la classification des Angiospermes et Gymnospermes (**Halbritter et al., 2018**).

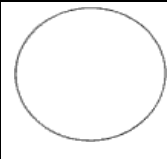
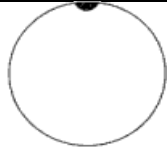
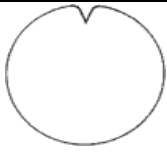
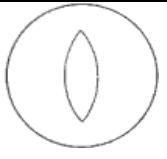
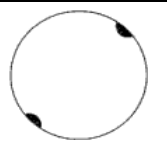
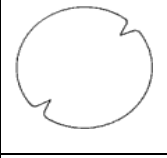
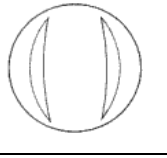

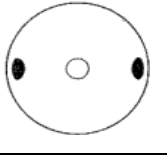
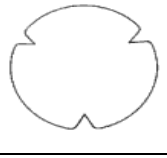
1.6.8. Clé de détermination des grains de pollen.

L'identification des grains de pollen repose sur l'analyse de plusieurs caractères morphologiques, structuraux et dimensionnels observés au microscope optique ou électronique. Ces caractères permettent d'établir une clé de détermination qui facilite l'attribution taxonomique des grains au niveau du genre, de la famille, voire de l'espèce dans certains cas (**Punt et al., 2007**) (**Tab. 2 et 3**).

Parmi les outils numériques modernes facilitant cette identification, la base de données palynologique de référence internationale :

- Palynological Database (PALDAT).
- European Pollen Database (EPD).


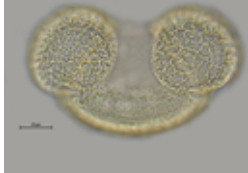
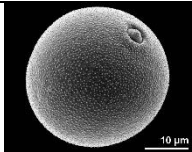
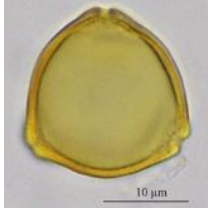
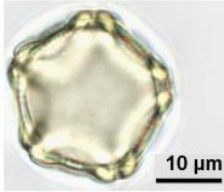

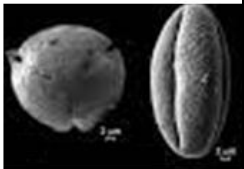
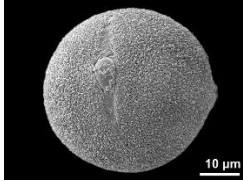
Tableau 2 : Différents types polliniques d'Angiospermes d'après le nombre et la disposition des ouvertures (**Ricciardelli, 1998**).

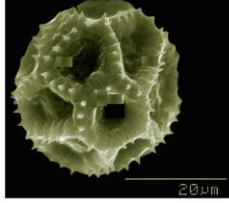
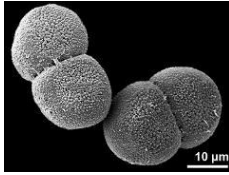
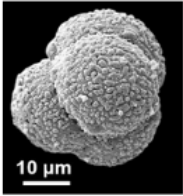

| | | | | |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
| Inaperturé | Monoporé | Monocolpé | Monocolpé | Diporé |
|  |  |  |  |  |
| Dicolpé | Dicolpé | Triporé | Triporé | Tricolpé |

| | | | | |
|-------------------|---------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| | | | | |
| Tricolpé | Tricolporé | Tricolporé | Stephanopore | Stephanopore |
| | | | | |
| Stephanocolpé | Stephanocolpé | Stephanocolporé | Stephanocolporé | Periporé |
| | | | | |
| Pericolpé | Pericolpé | Pericolporé | Pericolporé | Diorate |
| | | | | |
| Heterocolpé | Heterocolpé | Polyplicate | Polyplicate | Trichotomosulcaté |
| | | | | |
| Trichotomosulcaté | Polyrugate | Fenestré | Fenestré | Syncolpé |
| | | | | |
| Syncolpé | Syncolpé | Syncolpé | Syncolpé | |

Tableau 3 : Clé de détermination des grains de pollen (Pardé, 2007).

| Type de grain | Pore/Sillon | Nombre | Exemples d'espèces | Photos |
|---------------|-------------|--------|--------------------|--------|
|---------------|-------------|--------|--------------------|--------|

| | | | | |
|-------------------|---------------------------|---------------------------------------|---|---|
| Grains simples | Sans Pore niSillon | Sans ballonnet | Peuplier (<i>Populus</i> , <i>Salicaceae</i>) |  |
| | | Avec ballonnets | Pin (<i>Pinus</i> , <i>Pinaceae</i>) |  |
| | Avec pore | Un pore | Graminées (<i>Poaceae</i>) |  |
| | | Trois pores | Noisetier (<i>Corylusavellana</i> , <i>Betulaceae</i>) |  |
| | | Plus de trois pores | Aulne (<i>Alnusglutinosa</i> , <i>Betulaceae</i>) |  |
| | Avec sillon | Un sillon | Palmier dattier (<i>Phoenix dactylefera</i> , <i>Arecaceae</i>) |  |
| | | Troissillon s | Chênevert (<i>Quercus ilex</i> , <i>Fagaceae</i>) |  |
| | Avec pore et sillon | Trois pores et trois sillons | Hêtre (<i>Fagussylvatica</i> , <i>Fagaceae</i>) |  |

| | | | | |
|------------------|--|--------------------------------------|--|---|
| | | Plus de trois pores et trois sillons | Pissenlit (<i>Taraxacum officinale</i> , Asteraceae) |  |
| Grains multiples | | Deux grains | 1.7. (<i>Polypleurum munnarensis</i> , Podostemaceae) |  |
| | | Quatre grains | Bruyère (<i>Calluna vulgaris</i> , Ericaceae) |  |
| | | Plus de quatre grains | Mimosa (<i>Acacia dealbata</i> , Fabaceae) |  |

2. La palynologie

2.1. Définition.

La palynologie est une branche de la botanique qui s'intéresse à l'étude des grains de pollen et des spores, qu'ils soient actuels ou fossiles. Le terme "palynologie" a été introduit en 1944 par les botanistes britanniques Hyde et Williams, à partir du grec "*palynein*" signifiant "saupoudrer", et "*logos*" désignant "discours" ou "étude". Il évoque ainsi littéralement «l'étude de la poussière», en référence à la fine poudre que constitue le pollen (Faegri et Iversen, 1989).

Initialement centrée sur les aspects morphologiques et taxonomiques des grains de pollen, la palynologie a connu un essor considérable au cours du 20^{ème} siècle, notamment grâce aux progrès technologiques comme l'introduction du microscope électronique à balayage (MEB),

qui a permis une observation fine des structures du sporoderme (exine, ornements, ouvertures, etc.) (**Halbritter *et al.*, 2018**).

L'un des principaux intérêts de cette discipline réside dans la forte spécificité morphologique des grains de pollen, permettant dans la plupart des cas une identification précise de la plante d'origine, parfois jusqu'au niveau spécifique. Les critères utilisés incluent la forme, la taille, le nombre et le type d'ouvertures, ainsi que la structure et l'ornementation de l'exine.

En résumé, la palynologie est aujourd'hui une science interdisciplinaire aux multiples applications scientifiques et pratiques, en constante évolution grâce aux outils d'analyse d'image, à l'intelligence artificielle et aux bases de données numériques.

2.2. Palynologie fondamentale.

L'une des principales applications de la palynologie fondamentale est la délimitation des unités taxonomiques. Les caractères morphologiques des grains de pollen (forme, taille, ornementation de l'exine, type d'ouverture) constituent des critères diagnostiques fiables dans la classification botanique (**Halbritter *et al.*, 2018**).

2.3. Palynologie appliquée.

La palynologie appliquée désigne l'étude des grains de pollen et des spores à des fins pratiques dans divers domaines scientifiques, techniques ou environnementaux. Si la palynologie classique s'intéresse principalement aux aspects taxonomiques, biostratigraphiques ou paléocologiques, la palynologie appliquée vise, quant à elle, l'exploitation des données polliniques dans des contextes contemporains ou opérationnels (**Moore *et al.*, 1991**).

Parmi les principaux champs d'application, on peut citer :

2.3.1. Paléopalynologie.

La paléopalynologie s'intéresse aux pollens fossiles préservés dans les sédiments. Grâce à la résistance exceptionnelle de l'exine aux processus de dégradation, les grains de pollen peuvent se conserver sur des millions d'années, offrant une archive fiable pour reconstruire les paléoenvironnements et les paléoclimats (**Traverse, 2007 ; Mander et Punyasena, 2014**).

Ces données permettent de reconstituer les changements climatiques, l'évolution de la végétation ou encore la présence de conditions favorables à la formation de gisements pétroliers, certains pollens fossiles étant des marqueurs stratigraphiques dans la prospection géologique (**Grimm et al., 2021**).

2.3.2. Mélissopalynologie.

La mélissopalynologie analyse les grains de pollen contenus dans le miel pour identifier les sources florales butinées par les abeilles. Elle permet de déterminer l'origine botanique et géographique du miel, de détecter les fraudes commerciales (miels dilués ou d'origine mélangée) et d'évaluer la biodiversité florale autour des ruchers (**Sickel et al., 2015**).

2.3.3. Pharmacopalynologie.

La pharmacopalynologie s'intéresse aux usages médicaux et nutritionnels du pollen. Certaines espèces, comme *Typha laxmannii* (*Typhaceae*), ont été traditionnellement utilisées pour leurs propriétés astringentes, antiseptiques et nutritives (**Saxena, 1993**). Le pollen est également considéré comme un complément alimentaire naturel, riche en protéines, acides aminés essentiels, vitamines (B-complexe, C, D, E), enzymes et antioxydants (**Donadieu, 1983**).

2.3.4. Aéropalynologie.

L'aéropalynologie étudie la composition pollinique de l'atmosphère sur une période et un lieu donné. Des études ont montré que l'analyse des pollens atmosphériques permet d'anticiper les rendements agricoles en corrélant les pics polliniques à la fructification d'espèces telles que la vigne, l'olivier ou les céréales. De plus, des altérations de la morphologie pollinique (exine dégradée, dépôts de métaux lourds) sont utilisées comme indicateurs de la qualité de l'air (**Boral et al., 2020**).

2.3.5. Palynologie médico-légale et criminologie.

Depuis les années 2000, la palynologie médico-légale s'est développée comme outil d'enquête. Grâce à la grande diversité pollinique selon les régions et les saisons, les pollens retrouvés sur un vêtement, un véhicule ou une scène de crime permettent parfois de localiser une origine géographique ou de reconstituer les déplacements d'un suspect (**Wiltshire, 2006**).

2.3.6. Indicateurs climatiques et météorologiques.

Enfin, la dispersion à longue distance de certains grains de pollen (ex. : *Pinus*, *Betula*) permet de les utiliser comme traceurs des mouvements atmosphériques à grande échelle. Les pluies polliniques observées loin de leurs zones d'émission constituent ainsi des marqueurs de la circulation atmosphérique générale (**Cour et Van Campo, 1980**).

3. La pluie pollinique

3.1. Définition.

La pluie pollinique désigne l'ensemble des grains de pollen et spores qui se déposent sur une surface donnée au cours d'une période déterminée. Ces dépôts proviennent principalement de la dispersion des éléments reproducteurs des plantes supérieures, en particulier celles à pollinisation anémophile ou, dans une moindre mesure, entomophile. Cette pluie constitue une composante essentielle des études palynologiques, car elle reflète directement l'activité reproductive des végétaux et la dynamique des écosystèmes environnants (**Broström et al., 2004**).

3.2. Relation entre pluie pollinique et végétation.

Il existe une forte corrélation entre la composition de la pluie pollinique et la végétation locale ou régionale. Lors de la floraison, les plantes anémophiles libèrent une quantité importante de pollen, dont une fraction parvient aux organes femelles pour assurer la fécondation, tandis qu'une grande partie est transportée dans l'atmosphère avant de se déposer au sol ou sur d'autres surfaces. L'analyse de ces dépôts permet donc d'inférer la composition floristique d'un site.

Les données palynologiques actuelles montrent que la représentation pollinique d'un site dépend à la fois de :

- La densité et proximité des espèces végétales émettrices.
- Le mode de pollinisation (anémophile ou entomophile).
- Les conditions climatiques (vents, précipitations, température).
- La phénologie des espèces (calendrier de floraison) (**González-Sampériz et al., 2010**).

Certaines espèces sont sur-représentées, comme les *Poaceae*, *Cupressaceae* ou *Pinaceae*, en raison de leur production massive de pollen. À l'inverse, d'autres espèces, bien que localement abondantes, peuvent être sous-représentées (comme de nombreuses entomophiles), car elles émettent peu de pollen dispersé dans l'air (**Mazier *et al.*, 2012**).

L'analyse comparative entre la végétation réelle et les spectres polliniques captés constitue une méthode puissante pour reconstituer les paysages végétaux, actuels ou anciens.

3.3. Facteurs influençant la pluie pollinique.

La pluie pollinique ne reflète pas toujours fidèlement la composition végétale d'un site. Plusieurs facteurs peuvent introduire des biais :

- La capacité de dispersion des grains de pollen varie selon leur taille, forme et densité.
- Les conditions météorologiques (vents dominants, orages, humidité) influencent fortement les trajectoires.
- Le type de substrat et la topographie du site de dépôt conditionne la conservation des grains.
- La production pollinique inégale entre les espèces entraîne des distorsions quantitatives (**Sugita, 2007**).

Reille (1990) et plus récemment **Fontana *et al.*, (2018)**, ont proposé une estimation de la provenance des grains de pollen dans une pluie pollinique-type :

- ~60 % proviennent de la végétation immédiate (rayon de 0 à 20 m).
- ~30 % d'un apport proche (20 à 500 m).
- ~9 % d'un apport régional (500 m, à 10 km).
- ≤1 % d'un apport éloigné, souvent transporté par les vents sur des distances >10 km.

Ces proportions peuvent toutefois varier selon la couverture végétale, les conditions climatiques et la géographie locale.

3.4. Les méthodes employées pour récolte pollinique.

L'étude de la pluie pollinique actuelle repose sur plusieurs techniques de captage des grains de pollen et spores présents dans l'air. Les méthodes les plus couramment utilisées sont les pièges gravimétriques, comme les coussinets de mousses (**Heim, 1970 ; Mazier *et al.*, 2009 ;**

Boughediri et Benslama, 2020), et les pièges volumétriques conçus spécifiquement à cet effet (**Tauber, 1974 ; Hicks, 1985**).

3.4.1. Méthodes gravimétriques.

La méthode gravimétrique exploite la chute naturelle des grains de pollen par sédimentation. Le dispositif le plus emblématique de cette méthode est le collecteur de **Durham (1946)**, simple, peu coûteux et largement utilisé. Il se compose d'une lame de verre recouverte d'une substance adhésive (gélatine glycinée, glycérine pure ou un mélange paraffine-glycérine) exposée à l'air libre.

La lame est remplacée régulièrement, souvent quotidiennement, afin de suivre les variations temporelles du dépôt pollinique. Ce type de captage est utilisé dans des études palynologiques classiques, mais reste limité pour une quantification fine du pollen dans l'air (**Guery et Barthélémy, 1988 ; Mazier et al., 2009**).

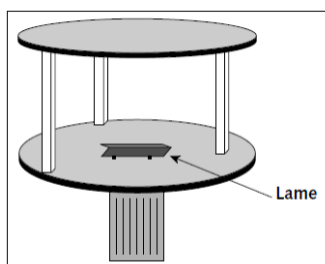


Figure 04 : Appareil gravimétrique de **Durham (1946)**.

3.4.2. Méthodes volumétriques.

La méthode volumétrique consiste à aspirer un volume d'air défini à travers une surface adhésive qui capte les particules polliniques. Elle permet une estimation précise de la concentration pollinique dans l'atmosphère. Le piège de **Hirst (1952)** est l'un des plus utilisés à ce jour.

Ce dispositif comporte une bande adhésive (vaseline, gelvatol ou silicone fluide) fixée sur un tambour mobile ou une lame exposée à un flux d'air continu contrôlé par une pompe. L'analyse ultérieure permet de retracer la variation horaire et journalière du contenu pollinique (**Galán et al., 2014**).

Une variante, le piège de Burkard, utilise une bande plastique (type Melinex) enroulée autour d'un tambour rotatif enduit d'adhésif. Ce type de capteur est très répandu dans les études aéropalynologiques et allergologiques pour son efficacité et sa résolution temporelle.

Les pièges volumétriques sont aujourd'hui largement adoptés pour leur fiabilité dans les programmes de surveillance pollinique en Europe et ailleurs (Sofiev *et al.*, 2013 ; Galán *et al.*, 2017).



Figure 05 : Capteur de **Hirst(1952).**

3.4.3. La méthode PMP (Pollen Monitoring Programme).

Le **Pollen Monitoring Programme (PMP)** est une méthode standardisée à l'échelle internationale, basée sur l'utilisation de trappes de Tauber identiques, installées selon un protocole précis afin d'assurer la comparabilité des données entre sites (Hicks *et al.*, 1996).

Le PMP permet :

- l'estimation quantitative de la pluie pollinique annuelle.
- l'analyse des relations pollen-végétation.
- la calibration des modèles de reconstruction de la végétation (Sugita, 1994 ; Mazier *et al.*, 2012).

Cette méthode est aujourd'hui une référence dans les études de végétation actuelle et de modélisation pollinique (**Fig. 06**).

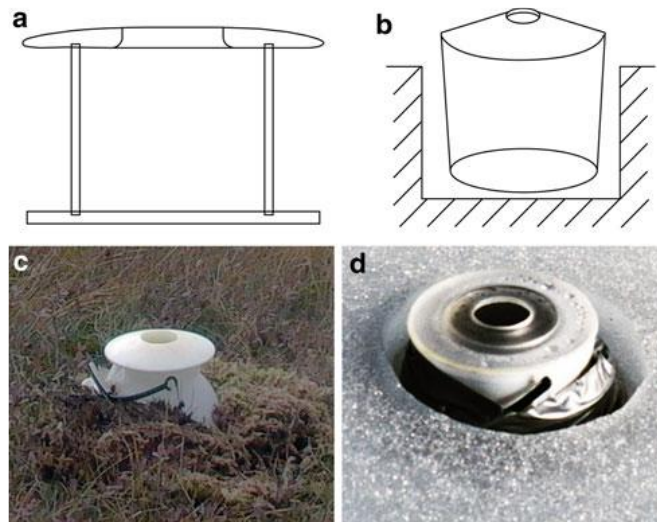


Figure 06 : Comparaison entre (a) le dispositif original du piège de Tauber (Tauber, 1974) et (b) une modification couramment utilisée PMP (Hicks *et al.*, 2001), (c) piège muni d'un collier de Tauber et (d) piège à couvercle plat incliné.

3.5. Avantages de l'étude de la pluie pollinique.

L'analyse de la pluie pollinique présente un intérêt majeur dans plusieurs domaines scientifiques, notamment l'écologie, la palynologie appliquée, la climatologie et la santé publique. Elle constitue un outil fiable pour l'évaluation de la dynamique végétale et la surveillance environnementale.

Tout d'abord, la pluie pollinique permet de suivre la dynamique des populations végétales en fournissant des informations sur la composition floristique environnante, les cycles phénologiques et les fluctuations interannuelles des taxons dominants. En mesurant les concentrations polliniques, il devient possible d'identifier les périodes de floraison, la vigueur reproductive des espèces, ainsi que les tendances de régression ou d'expansion végétale (Broström *et al.*, 2004 ; Galán *et al.*, 2014).

Elle représente également un indicateur de la qualité de l'air. Certains pollens, notamment ceux des espèces anémophiles, peuvent capter des particules polluantes (métaux lourds, hydrocarbures aromatiques, etc.), ce qui en fait des bio-indicateurs efficaces de la pollution atmosphérique (Cerceau-Larrival *et al.*, 1994). L'état de dégradation de l'exine pollinique peut également signaler l'exposition à des agents chimiques ou photo-oxydants présents dans l'atmosphère (Boral *et al.*, 2020).

Du point de vue sanitaire, les relevés de pluie pollinique permettent de mettre en place des systèmes de prévision aéro-biologique destinés aux personnes souffrant d'allergies respiratoires. L'identification des pics de concentration pollinique favorise la prévention, l'adaptation des traitements et la réduction des expositions, notamment dans les contextes urbains ou à forte densité végétale (**D'Amato *et al.*, 2023**).

Enfin, la pluie pollinique constitue un vecteur d'analyse des impacts du changement climatique. Les modifications observées dans les calendriers polliniques, les aires de répartition des espèces et l'intensité des saisons de pollinisation peuvent être corrélées à l'augmentation des températures, à l'élévation du CO₂ atmosphérique ou encore à la modification de l'usage des sols (**Rojo *et al.*, 2024 ; Sofiev *et al.*, 2013**). Cette approche s'inscrit dans une perspective de bio-surveillance intégrée.

CHAPITRE II

*Dynamique de la
végétation au Nord-
Est Algérien*

Chapitre II : Dynamique de la végétation au Nord-Est Algérien,

1. Définition.

La dynamique de la végétation désigne l'ensemble des processus écologiques par lesquels différentes communautés végétales se succèdent au même endroit au fil du temps. Cette succession est déterminée par les conditions environnementales locales, en particulier le climat, le type de sol, la topographie, ainsi que l'influence des perturbations naturelles ou anthropiques (**Chapin *et al.*, 2011 ; Walker et Wardle, 2014**).

L'un des facteurs clés dans ce processus est la profondeur et la composition du sol. En général, plus un sol est profond et riche en nutriments, plus il permet le développement de plantes de grande taille, notamment des espèces ligneuses. Inversement, les stades initiaux de la succession sur sols pauvres sont dominés par des espèces pionnières à croissance rapide, tolérant des conditions édaphiques difficiles (**Pickett *et al.*, 2011**).

La végétation, en retour, modifie activement le sol par l'apport à la litière organique issue de la chute des feuilles, racines et débris végétaux. Cette litière, en se décomposant, contribue à la formation de l'humus, enrichissant progressivement le sol et modifiant ses propriétés physico-chimiques (**Wardle *et al.*, 2004**). Ce mécanisme crée une rétroaction sol-végétation, essentielle dans l'évolution de l'écosystème.

La vitesse de la succession végétale est très variable d'un site à l'autre. Elle peut être lente et s'étendre sur plusieurs décennies, voire des siècles, dans des milieux forestiers stables, ou au contraire rapide dans des habitats perturbés tels que les friches agricoles, les zones incendiées ou déboisées (**Walker et Moral, 2003**).

Le dynamisme végétal se traduit donc par une succession temporelle de groupements végétaux sur un même site, qui reflète l'histoire écologique locale, les conditions du milieu et le degré de perturbation. Cette évolution est illustrée à la **Figure 07** qui présente un schéma typique de succession végétale.

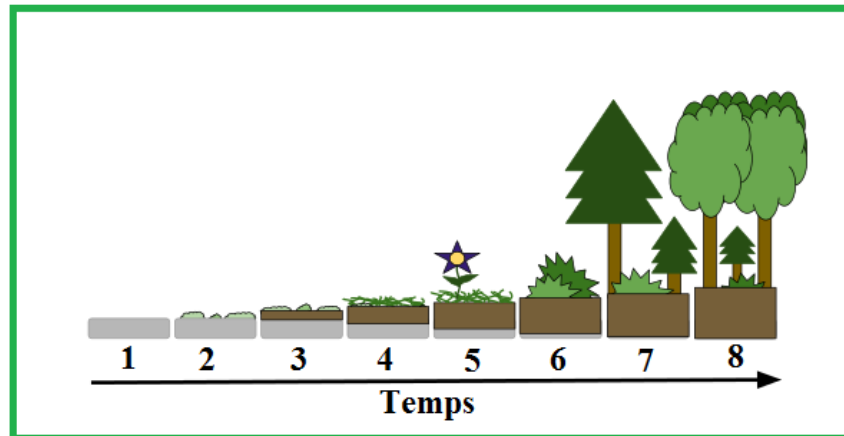


Figure 07 : Apparition d'une forêt :

1 : Roche nue. 2 : Premiers lichens. 3 : Début de formation du sol. 4 : Premières herbes. 5 : Stade pelouse. 6 : Broussailles. 7 : Forêt claire. 8 : Forêt épaisse (grands arbres).

2. Principe.

Lorsqu'une plante colonise un sol, elle modifie progressivement ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. En croissant, elle contribue à l'enrichissement du sol en matière organique et à l'augmentation de son épaisseur, rendant le milieu plus favorable à l'installation de végétaux plus exigeants. Ce processus, appelé facilitation écologique, est à la base de la succession végétale : les espèces pionnières préparent le terrain à des communautés végétales plus complexes (**Walker et Moral, 2003**). Il en résulte que, sur un même site, la composition floristique change au fil du temps, en fonction de l'évolution des conditions édaphiques.

La formation du sol, ou pédogenèse, est largement influencée par la végétation. Par l'action mécanique de leurs racines, les plantes fissurent la roche-mère, favorisant sa fragmentation. Cette action est complétée par des processus biochimiques, notamment les exsudats racinaires qui accélèrent la dissolution des minéraux (**Jones, 2014**). En parallèle, la matière organique issue des parties végétales mortes, s'accumule sous forme de litière à la surface du sol.

Sous l'effet de la décomposition microbienne et de l'activité de la faune du sol (vers, champignons, bactéries). Cette litière se transforme progressivement en humus, une composante essentielle de l'horizon supérieur du sol, riche en éléments nutritifs et jouant un rôle clé dans la rétention d'eau, la structure du sol et le stockage du carbone (**Lehmann et Kleber, 2015**). Ce couplage étroit entre la végétation et le sol est au cœur des dynamiques écosystémiques : les plantes transforment leur environnement, qui en retour influence la nature des végétaux capables de s'y implanter.

3. Caractérisation de la dynamique de végétation.

Les paramètres traduisant la dynamique de végétation sont :

3.1. Dynamique à évolution progressive.

Ce type de dynamique traduit un développement végétatif orienté vers une complexification croissante de la structure de la végétation. Elle est marquée par une augmentation de la diversité spécifique, un recouvrement végétal plus dense, et une transition des espèces pionnières (thérophytes, herbacées annuelles) vers des espèces pérennes, ligneuses (arbustes puis arbres), typiques des stades matures ou climaciques (Walker et Moral, 2003).

La productivité primaire nette tend à croître dans les premières phases avant de se stabiliser dans les stades avancés. La strate herbacée initiale régresse au profit d'une strate ligneuse plus structurée et durable. Cette dynamique est caractéristique des processus de succession naturelle ou de restauration écologique.

3.2. Dynamique à évolution régressive.

À l'inverse, une dynamique régressive indique une dégradation progressive de la végétation, souvent due à des perturbations répétées ou excessives (surpâturage, incendies, exploitation forestière, érosion, sécheresse). Elle se traduit par une diminution du taux de recouvrement végétal, une régression de la biomasse verte, et un appauvrissement floristique, notamment par la disparition d'espèces sensibles ou compétitives au profit d'espèces rudérales ou opportunistes (Debussche *et al.*, 2001).

L'espace végétalisé est remplacé par du sol nu, rendant les écosystèmes plus vulnérables à l'érosion et à la désertification. Ce type de dynamique met en évidence une rupture dans l'équilibre écosystémique.

3.3. Dynamique à stabilité.

Une dynamique stable reflète un équilibre relatif entre les composantes de l'écosystème. La composition floristique se maintient dans le temps avec une faible variation de la biomasse produite et du taux de recouvrement, aussi bien pour les strates herbacées que ligneuses (Lavorel *et al.*, 1997). Ce type de dynamique suggère un système résilient et bien adapté aux conditions environnementales locales, où les pressions externes restent limitées. La cohabitation équilibrée entre les différentes strates (herbacée, arbustive et arborée) témoigne d'une bonne fonctionnalité écologique, souvent observée dans les systèmes semi-naturels peu perturbés.

4. Influence des activités humaines sur la dynamique de la végétation.

Les activités humaines ont un impact significatif sur la dynamique de la végétation, pouvant soit accélérer les processus naturels de succession végétale, soit les perturber, voire les inverser. Ces interventions se manifestent principalement à travers deux formes opposées : la déforestation et le reboisement (**Hobbs et Cramer, 2008**).

D'une part, la conversion des écosystèmes forestiers en milieux ouverts, par abattage des arbres, engendre l'apparition de formations herbacées appelées prairies anthropiques. On distingue notamment :

- Les prairies de pâture, destinées à l'alimentation directe du bétail.
- Les prairies de fauche, dont l'herbe est récoltée pour produire du fourrage.

D'autre part, les politiques de reboisement visent à restaurer plus rapidement le couvert forestier, en contrecarrant le processus naturel de recolonisation végétale. Ces opérations ont pour objectif de stabiliser les sols, favoriser la séquestration du carbone, ou restaurer la biodiversité locale.

Une autre pratique humaine influençant la dynamique végétale est celle de la jachère : il s'agit de laisser temporairement une terre cultivée au repos pour permettre à la végétation spontanée de recoloniser le sol. Cette technique favorise la régénération naturelle de la fertilité des sols, améliore leur structure, et contribue au maintien de la biodiversité locale. Bien qu'ancienne, cette méthode a connu un déclin avec l'usage croissant d'engrais chimiques, car elle est perçue comme peu rentable en raison de la perte temporaire de productivité (**Altieri, 1999**).

5. Dynamique de la végétation dans la région méditerranéenne.

La région méditerranéenne se caractérise par une grande hétérogénéité bioclimatique alternance d'étés chauds et secs et d'hivers doux et humides, qui conditionne une dynamique végétale particulièrement riche et diversifiée (**Quézel et Médail, 2003**). Cette variabilité permet l'existence de multiples stades de succession écologique, allant des pelouses pionnières aux forêts climaciques, avec des stades intermédiaires comme le maquis, la garrigue, ou les cistaies.

La succession végétale y suit généralement une trajectoire progressive conduisant, en l'absence de perturbation, à des forêts dites climaciques, formant un écosystème mature et stable. Toutefois, du fait des pressions anthropiques (incendies, pastoralisme, urbanisation), de nombreuses zones se trouvent dans un état subclimacique ou régressif, marqué par une domination d'espèces pyrophytes ou xérophytes (**Blondel, 2006**).

6. Dynamique de la végétation dans le Nord-est algérien.

Le Nord-est algérien, notamment la région de l'extrême Nord-est, se situe dans un domaine climatique humide à subhumide de type méditerranéen. Cette zone se distingue par la présence de massifs montagneux (Djebel Edough, Djebel Rokba, Djebel Rourra) où l'on observe une importante diversité floristique et une couverture végétale relativement dense, notamment constituée de forêts de chêne-liège (subéraies) (**Bouzahar, 2022**).

Cependant, cette végétation subit de fortes pressions, principalement d'origine anthropozoïque (activités humaines et pastorales). La coupe abusive du liège, les incendies récurrents, le débroussaillage intensif, ainsi que le surpâturage, compromettent le renouvellement naturel de la strate arborescente. Cela engendre une régression progressive de la forêt vers des stades de végétation dégradés, successivement représentés par le maquis haut, le maquis bas, puis les cistaies et enfin des formations steppiques dénudées.

La dynamique végétale de cette région est donc largement déterminée par l'équilibre entre les conditions naturelles (climat, topographie) et les usages anthropiques. Sans gestion durable, les écosystèmes forestiers risquent de basculer vers des états irréversibles de désertification ou de perte de résilience écologique.

7. Etagement de la végétation.

L'étagement de la végétation désigne la distribution verticale des formations végétales en fonction de l'altitude, influencée par les facteurs climatiques, notamment la température, l'humidité, la pression atmosphérique et l'ensoleillement (**Quézel et Médail, 2003**). Cette variation altitudinale provoque une série de zones écologiques superposées, où chaque étage est caractérisé par une composition floristique, une structure et une physiognomie propres.

Sur les versants montagneux méditerranéens, les écarts thermiques et hydriques accentués entre la base et les sommets induisent des successions végétales distinctes. Typiquement, on observe :

- À basse altitude, des forêts de feuillus méditerranéens (ex. : chêne vert, olivier sauvage).
- À moyenne altitude, l'apparition de conifères (pin d'Alep, cèdre de l'Atlas).
- Puis, au-delà de certaines limites thermiques, des prairies d'altitude (alpages).
- Enfin, aux altitudes les plus élevées, la végétation devient discontinue, remplacée par des formations nues ou nivaliennes (roches, éboulis, neige persistante).

La faune, de même, suit cette zonation altitudinale, évoluant en parallèle aux changements floristiques, en fonction de la disponibilité des ressources et des niches écologiques (**Médail et Diadema, 2009**).

Historiquement, la notion d'étagement végétal en Afrique du Nord a été introduite par **Maire (1924)**, en s'inspirant des modèles européens. Par la suite, **Ozenda (1975)** ont proposé des adaptations spécifiques au contexte bioclimatique maghrébin, fondées notamment sur des critères thermiques, comme la température moyenne du mois le plus froid, ce qui permet une meilleure lecture des limites altitudinales entre étages. Ces classifications distinguent ainsi plusieurs étages bioclimatiques, notamment dans les montagnes subhumides à perhumides.

Un étage de végétation ne correspond pas nécessairement à un seul climax. Plusieurs climax alternatifs peuvent coexister selon les dynamiques écologiques locales, les perturbations ou les successions végétales divergentes. Une lecture dynamique et fonctionnelle des étages permet donc d'intégrer à la fois les facteurs abiotiques et les processus de succession végétale (**Dahmani-Megrerouche, 1996**).

7.1. Des étagements variables dans le temps et l'espace.

L'étagement de la végétation est un phénomène non figé, soumis aux variations climatiques (saisonnalité, sécheresse, changement climatique global) ainsi qu'aux perturbations humaines (déforestation, surpâturage, incendies). Par conséquent, la position altitudinale de chaque étage peut se décaler, et sa composition floristique se modifier dans le temps (**Rivas-Martínez et al., 2004**).

Les espèces forestières, notamment, peuvent chevaucher plusieurs étages selon les conditions locales. Ce chevauchement crée des zones de transition (écotones), particulièrement riches en biodiversité, mais aussi sensibles aux perturbations.

Des classifications spécifiques à la région méditerranéenne ont été proposées, notamment par Quézel, Ozenda et Rivas-Martínez, qui considèrent le bassin méditerranéen comme une entité biogéographique unique, avec ses propres nomenclatures et étages caractéristiques (Tableau 4). Ces classifications prennent en compte à la fois les facteurs thermiques, pluviométriques, édaphiques et dynamiques pour définir les étages : thermo-méditerranéen, méso-méditerranéen, supra-méditerranéen, montagnard, subalpin, etc, (**Rivas-Martínez, 2007**).

Une approche intégrative, combinant la végétation potentielle, les données climatiques, et les usages anthropiques, est aujourd'hui essentielle pour analyser les limites, l'évolution et la vulnérabilité des étages de végétation, notamment dans le contexte des changements globaux.

Tableau 04 : Classification de l'étagement des végétaux en région méditerranéenne (Tassin, 2017).

| Température moyenne annuelle (°C) | T° moyenne des min, du mois le + froid (°C) | Hiver selon Daget (1977) | Ozenda (1975) | Quézel (1979) | Rivas-Martínez et al.(1981) |
|-----------------------------------|---|--------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|
| < 5 | -11 à -10 | Extrêmement froid | Alti-méditerranéen | Alti-méditerranéen | Cryoro-méditerranéen |
| -9 à -7 | | | | | Oro-méditerranéen |
| -6 | | Très froid | Oro-méditerranéen | Montagnard-méditerranéen | |
| 5 – 8 | -5 à -3 | | | | Oro-méditerranéen |
| 9 – 12 | -2 à 0 | Froid | Supra-méditerranéen | Supra-méditerranéen | Supra-méditerranéen |
| 13 – 16 | 1 à 3 | Frais | Méso-méditerranéen | Méso-méditerranéen | Méso-méditerranéen |
| > 16 | 4 à 6 | Tempéré | Thermo-méditerranéen | Thermo-méditerranéen | Thermo-méditerranéen |
| | 7 à 9 | Chaud | — | — | — |

Dans leur analyse biogéographique du bassin méditerranéen, **Quézel et Médail, (2003)** proposent une classification détaillée en cinq grands étages de végétation, fondée principalement sur la température moyenne minimale du mois le plus froid (m), ainsi que sur des critères floristiques et altitudinaux spécifiques au contexte Nord-africain et méditerranéen. Ces étages traduisent une succession écologique verticale, structurée comme suit :

- Les étages thermo- et méso-méditerranéens, caractérisés par des valeurs de m supérieures à 0 °C, occupent les basses altitudes et abritent une végétation dominée par des feuillus sclérophylles et des conifères thermophiles, adaptés aux étés secs et aux hivers doux.
- L'étage supra-méditerranéen, correspondant à des valeurs de m comprises entre 0 et -3 °C, constitue une zone de transition altitudinale. Il se distingue par la coexistence de

formations caducifoliées et sclérophylles, traduisant un gradient écologique intermédiaire entre les milieux thermophiles et montagnards.

- L'étage montagnard-méditerranéen, défini par des valeurs de m comprises entre - 3 et - 7°C, se développe aux altitudes élevées et est dominé par des forêts montagnardes à conifères, parfois associées à des feuillus caducifoliés selon les conditions climatiques et édaphiques.
- Aux plus hautes altitudes, l'étage oro-méditerranéen (m entre -7 et -10 °C) présente une végétation clairsemée, principalement composée de genévriers adaptés à des conditions climatiques extrêmes.
- Enfin, l'étage alti-méditerranéen ($m < -10$ °C) correspond aux sommets les plus élevés, où les conditions climatiques très rigoureuses limitent la végétation à des formations asylvatiques telles que les pelouses alpines, les plantes naines vivaces et les tapis lichéno-moussus.

7.2. Les principaux types de paysages végétaux montagnards.

La diversité des paysages végétaux en milieu montagnard méditerranéen résulte d'une combinaison complexe de facteurs bioclimatiques (température, précipitations), édaphiques (nature du sol, humidité), et altitudinaux. Ces paramètres déterminent la distribution verticale des espèces et la composition des formations végétales selon des plages thermiques précises (Quézel et Médail, 2003).

Les paysages végétaux méditerranéens sont structurés selon des gradients bioclimatiques et altitudinaux qui conditionnent la répartition des formations forestières et asylvatiques (Quézel et Médail, 2003 ; Lionello, 2012). Aux étages supra- et montagnard-méditerranéens, les forêts de feuillus dominent, avec des chênaies caducifoliées et des hêtraies, parfois associées à des espèces sclérophylles aux marges inférieures ou à des conifères montagnards selon les conditions édaphiques et climatiques (Médail et Diadema, 2009).

À des altitudes plus élevées, les forêts de conifères deviennent prépondérantes, notamment le cèdre de l'Atlas, le pin noir et le sapin d'Algérie, espèces adaptées aux hivers rigoureux et à l'enneigement fréquent, occupant souvent des substrats pauvres et contraignants (Benabderrahmane *et al.*, 2019). La limite supérieure de la forêt est marquée par des formations pré-steppiques à genévriers, qui peuvent représenter soit des stades climaciques de haute altitude, soit des états de dégradation liés au surpâturage et aux incendies (Blondel et Aronson, 1999).

Aux altitudes extrêmes, l'étage alti-méditerranéen est caractérisé par des formations asylvatiques telles que les pelouses écorchées, dominées par des plantes naines, des mousses et des lichens, souvent riches en endémismes mais très sensibles aux perturbations climatiques (**Rivas-Martínez, 2007**).

Par ailleurs, le pourtour méditerranéen présente une zonation bioclimatique spécifique liée à l'alternance d'étés chauds et secs et d'hivers plus humides (Quézel et Médail, 2003). L'étage thermo-méditerranéen est dominé par des formations sclérophylles et des conifères thermophiles, fortement exposés aux pressions anthropiques telles que les incendies et l'urbanisation (**Blondel et al., 2010**). L'étage méso-méditerranéen correspond à un climat plus tempéré et humide, favorisant une grande diversité floristique et des formations forestières mixtes. Enfin, l'étage supra-méditerranéen constitue une zone de transition majeure vers les climats montagnards, jouant un rôle clé de refuge pour de nombreuses espèces relictuelles face aux changements climatiques (**Thompson, 2005 ; Médail et Diadema, 2009**).

7.3. Les étages de végétation dans l'extrême Nord-Est algérien.

La région de l'extrême Nord-est algérien, notamment le massif de l'Edough et ses prolongements vers la chaîne numidique, appartient au domaine biogéographique méditerranéen nord-africain, plus précisément au secteur numidien défini par **Maire (1926)**. Cette zone, caractérisée par une vocation agro-sylvo-pastorale, présente une grande diversité floristique et paysagère, liée à la variabilité climatique, édaphique et altitudinale.

Le climat y est méditerranéen humide à subhumide, avec des précipitations annuelles variant entre 600 et 1500 mm, selon l'exposition et l'altitude. Les sols dominants sont siliceux, souvent engéogènes, profonds et frais, notamment sur les substrats gréseux de Numidie, favorables au développement de formations forestières denses, principalement de type *Quercetum suberis*.

7.3.1. Importance écologique et enjeux de conservation.

La stratification végétale de cette région illustre la richesse des séries de végétations climaciques et secondaires caractéristiques du secteur numidien, Cependant, ces formations subissent des pressions croissantes liées à :

- L'exploitation abusive du chêne-liège pour le liège (souvent sans plan de gestion).
- La prolifération des incendies de forêt (accidentels ou intentionnels).
- Le pâturage intensif, empêchant la régénération naturelle.

▪ L'urbanisation informelle et l'agriculture extensive sur les pentes forestières (**Djebaili et al., 2021**).

Ces menaces exigent la mise en œuvre de mesures de gestion durable, de suivi écologique et de restauration des milieux dégradés afin de préserver l'exceptionnelle biodiversité de cette région classée parmi les hotspots de la Méditerranée (**Médail et Quézel, 1999**).

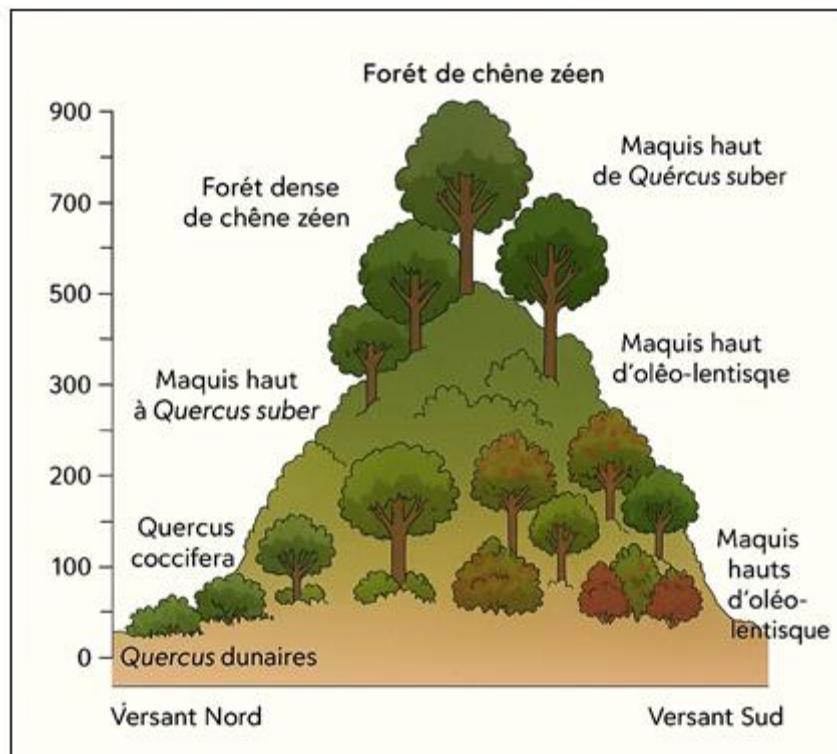


Figure 08 : Transect altitudinal Nord-Sud du massif de l'Edough montrant la distribution des types de végétation selon l'altitude (**Illustration originale basée sur Quézel et Médail, 2003**).

8. Les étages bioclimatiques.

Le concept d'étage bioclimatique repose sur la relation entre les paramètres climatiques (notamment la température et les précipitations) et la distribution spatiale de la végétation naturelle. Ce concept, fondé principalement sur des observations empiriques, permet de regrouper des associations végétales similaires au sein d'unités biogéographiques caractérisées par des conditions climatiques homogènes. À chaque étage correspond un type de végétation climacique, parfois accompagné d'une faune spécifique, reflétant l'adaptation à des contraintes thermiques et hydriques définies (**Emberger, 1930 ; Quézel, 1979 ; Rivas-Martínez, 1996**).

La variation altitudinale des températures entraîne ainsi une zonation écologique verticale, où la végétation se répartit en étages successifs selon l'altitude, marquant des transitions biologiques nettes entre les communautés végétales.

8.1. Le quotient pluviothermique d'Emberger.

Emberger (1930 et 1971) a introduit un indice bioclimatique fondamental, le quotient pluviothermique (Q2), permettant de classer les régions méditerranéennes selon leurs caractéristiques thermiques et pluviométriques. Il s'exprime par la formule :

$$Q2 = 1000 P / (M + m) (M - m)$$

Où : -- **P** = précipitations annuelles moyennes (mm).

-- **M** = moyenne des températures maximales du mois le plus chaud.

-- **m** = moyenne des températures minimales du mois le plus froid.

Ce quotient permet de délimiter des étages bioclimatiques tels que : humide, subhumide, semi-aride, aride et saharien. Chaque étage correspond à des types de végétation caractéristiques et des conditions écologiques distinctes (**Emberger, 1971**).

En 1939, Emberger rapporte que la répartition naturelle des groupements végétaux, en région méditerranéenne est en liaison avec les éléments climatiques. Il existe donc une unicité entre le climat défini par ses paramètres et la nature de la végétation naturelle, D'où le nom d'étage bioclimatique.

Pour l'Algérie, **Emberger (1971)** distingue les étages bioclimatiques suivants : Humide, Subhumide, Semi-Aride, Aride, Saharien (**Fig. 09**).

Selon Sauvage (1963) chacun de ces climats méditerranéens correspond un ensemble de groupements végétaux qui ont les mêmes aptitudes générales. Cet ensemble est l'étage de végétation.

9. Les étages bioclimatiques dans le Nord-Est algérien.

Le Nord-est algérien, situé dans le domaine méditerranéen septentrional, présente une grande hétérogénéité climatique, liée aux contrastes topographiques, à l'influence marine, et à la continentalité progressive vers l'intérieur des terres. Cette diversité se traduit par la coexistence de plusieurs étages bioclimatiques, définis selon le modèle **d'Emberger (1930, 1971)**, fondé sur le quotient pluviothermique combinant précipitations annuelles et températures extrêmes.

Selon ce modèle, trois principaux étages bioclimatiques se distinguent dans la région (Emberger, 1939 ; Quézel, 1978 ; Benabid, 2000) :

--L'étage **humide**, qui occupe les zones montagneuses élevées du Tell oriental, telles que les sommets du massif de l'Edough, du Djebel R'houma et du Djebel Rourra. Cet étage, recevant plus de 1000 mm de précipitations annuelles, se caractérise par une forte humidité atmosphérique et une végétation forestière dense dominée par le chêne zéen (*Quercus canariensis*) et le châtaignier (*Castaneasativa*), accompagnés de fougères, mousses et espèces hygrophiles.

--L'étage **subhumide**, plus étendu, s'observe dans les piémonts et les moyennes altitudes. Il se subdivise en plusieurs sous-étages selon la température minimale moyenne du mois le plus froid et la quantité de précipitations reçues (700 à 900 mm/an). Cet étage est dominé par des formations de chêne-liège (*Quercus suber*), d'oléo-lentisque (*Olea europaea var. sylvestris*, *Pistacialentiscus*) et, dans certaines stations, de chêne kermès (*Quercus coccifera*). Il correspond souvent aux anciennes subéraies aujourd'hui fragmentées par les activités humaines.

-- L'étage **semi-aride**, localisé plus au Sud de la région, notamment dans les hautes plaines et les zones intérieures du Constantinois. Il se caractérise par un climat plus sec (400 à 600 mm/an) et des températures minimales plus élevées, favorisant l'installation d'une végétation plus xérophile : formations de genévriers (*Juniperus phoenicea*), alfa (*Stipa tenacissima*), ou steppes à *Artemisia herba-alba*. Cet étage marque la transition vers les zones arides du Sud algérien.

La carte bioclimatique de l'extrême Nord-Est algérien, élaborée par **Benderadji et al., (1999)** à partir des données climatiques de la période 1969–1994, confirme cette structuration en étages superposés du Nord vers le Sud, influencée par l'altitude et la continentalité. Cette zonation est illustrée par la Figure 7, synthétisant les différents étages selon le modèle d'Emberger.



Figure 09 : Étages bioclimatiques du Nord-Est algérien selon la classification d'Emberger (1939).

Deuxième partie

Partie

expérimentale

CHAPITRE III

Matériel et méthodes

Chapitre III : Matériel et méthodes

1. Présentation des régions étudiées.

1.1. Caractéristiques des stations.

Trois stations sélectionnées ont été retenus dans le cadre de cette étude, en fonction de leur répartition au sein de trois étages bioclimatiques représentatifs du Nord-est algérien. Cette sélection repose sur la classification bioclimatique d'**Emberger (1939)**, qui établit une corrélation entre les conditions climatiques et la distribution de la végétation.

Les sites choisis couvrent une large graduation altitudinale et climatique : des zones littorales humides du Massif de l'Edough (Wilaya d'Annaba) jusqu'aux zones continentales à caractère subhumide ou semi-aride situées plus à l'intérieur des terres (Région de Souk Ahras). Cette diversité spatiale offre un cadre pertinent pour appréhender l'influence du gradient bioclimatique sur la composition floristique et la dynamique pollinique.

La localisation géographique des stations étudiées est illustrée à la **figure 10**, issue de l'Atlas National de l'Aménagement du Territoire (**ANAT, 2004**). Cette carte bioclimatique met en évidence la répartition spatiale des étages selon le quotient pluvio-thermique d'Emberger, indicateur clé distinguant les zones humides, subhumides et semi-arides en fonction des précipitations annuelles et des températures moyennes.

Ainsi, les stations retenues constituent un échantillon représentatif des principales formations écologiques de la région, permettant une analyse comparative de la pluie pollinique et de la diversité floristique en lien avec les conditions climatiques locales.

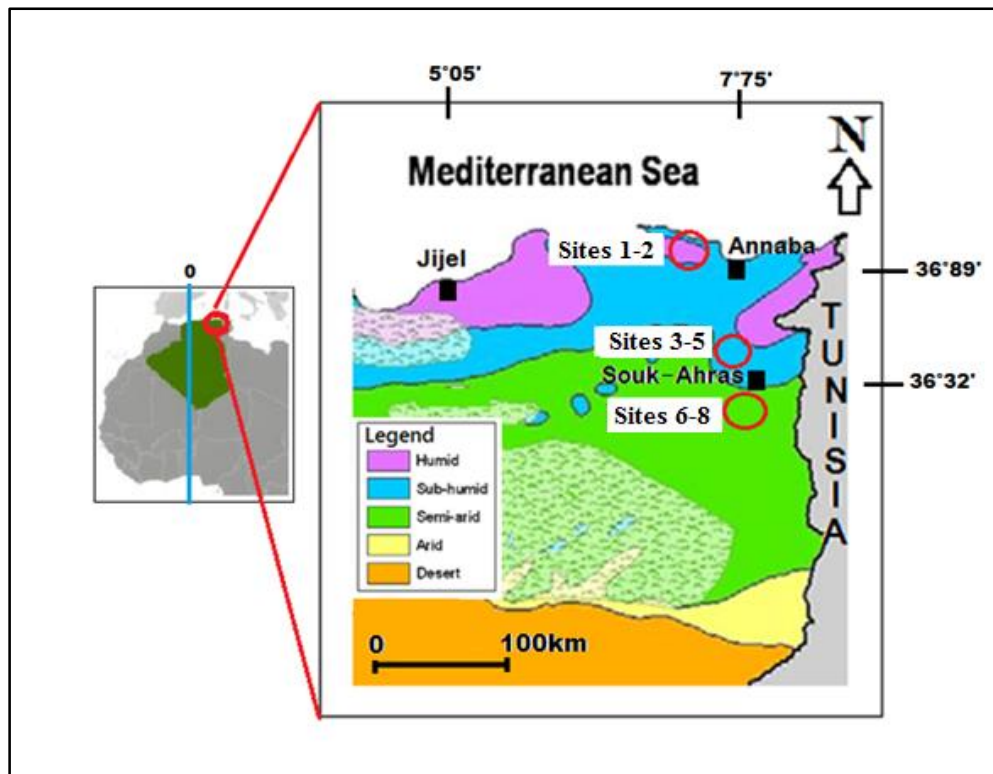


Figure 10 : Présentation de la zone d'étude avec les huit sites étudiés, Carte bioclimatique du Nord-est algérien selon (ANAT, 2004).

1.2. La région de l'Edough.

1.2.1. Situation géographique.

Le Massif de l'Edough, est situé dans la Wilaya d'Annaba au Nord-est de l'Algérie, constitue une entité naturelle remarquable du Tell oriental. Il s'étend entre 36°48' et 36°58' de latitude Nord et 7°31' à 7°46' de longitude Est, couvrant une superficie estimée à environ 12 000 hectares. Le relief est montagneux, avec un point culminant atteignant 1008 m au Djebel Edough. Le Massif domine la baie d'Annaba et s'avance vers la Méditerranée, délimité par la mer au Nord, la plaine d'Annaba au Sud, la commune de Chetaïbi à l'Ouest et la vallée de la Seybouse à l'Est (Toubal-Boumaza, 2007).

L'influence maritime y est très marquée : elle modère les températures et maintient une humidité atmosphérique élevée, avoisinant 80 % en moyenne annuelle. Le climat est de type méditerranéen humide à hiver tempéré, caractérisé par une pluviométrie importante dépassant 1100 mm/an et des températures douces, avec des valeurs moyennes oscillant entre 4,6°C en hiver et 29°C en été (Toubal-Boumaza, 2007).

Sur le plan géologique, l'Edough appartient au chaînon tellien oriental et se compose d'un socle ancien de formations métamorphiques et magmatiques, principalement de gneiss, de micaschistes et de quartzites. Ces roches engendrent des sols acides, bien drainés et riches en matière organique, favorisant un couvert végétal dense et diversifié (Toubal-Boumaza, 2007).

D'après la classification bioclimatique d'Emberger (1971), le Massif se situe dans l'étage humide à hiver tempéré. Cette combinaison de conditions climatiques, pédologiques et topographiques crée un environnement favorable à une grande diversité floristique et à une production pollinique abondante, ce qui confère au Massif de l'Edough un intérêt particulier pour les études écologiques et palynologiques menées dans le Nord-est algérien (Fig. 11).



Figure 11 : La station d'étude au lieu-dit Oued Bagrat de l'Edough (Photo personnelle, 2016).

1.2.2. Le couvert végétal.

Le couvert végétal du massif de l'Edough est dense et nettement stratifié, comme l'indique l'inventaire forestier réalisé par le Bureau National d'Études pour le Développement Rural (BNEDER, 1980). Il se caractérise par une strate arborée bien développée, associée à un sous-bois riche et diversifié, traduisant une dynamique forestière typique des milieux méditerranéens humides. Cette organisation structurale et la richesse floristique associée ont également été mises en évidence par des études botaniques récentes, soulignant l'intérêt écologique et biogéographique du massif (Hamel *et al.*, 2013).

La formation végétale dominante est représentée par la chênaie à chêne-liège (*Quercus suber* L., 1753), formation emblématique des forêts méditerranéennes acidophiles. Elle est accompagnée d'un cortège floristique caractéristique des maquis denses, comprenant notamment la bruyère arborescente (*Erica arborea* L., 1753), le lentisque (*Pistacia lentiscus* L., 1753), le myrte commun (*Myrtus communis* L., 1753), des espèces du genre *Cistus*, l'arbousier (*Arbutus unedo* L., 1753) et le châtaignier (*Castanea sativa* Mill., 1768), confirmant le caractère humide et acidophile de ces formations (**Toubal-Boumaza, 1989**).

Le chêne-zeen (*Quercus canariensis* Willd., 1809), espèce mésophile, se développe préférentiellement dans les fonds de vallées humides et sur les sommets du massif, traduisant un gradient écologique altitudinal marqué. À des altitudes supérieures à 800 m, la présence de peuplements de pin maritime (*Pinus pinaster* Aiton, 1789) est également observée, souvent en lien avec des reboisements ou des formations pionnières post-incendie (**Hamel et al., 2013**).

Sur le plan édaphique, le massif de l'Edough est caractérisé par des sols calcifuges d'origine siliceuse, favorisant le développement d'une végétation acidophile, conformément aux observations de **Toubal-Boumaza (1989)**. L'étage humide supérieur, situé au-delà de 800 m d'altitude, correspond au sub-étage supra-méditerranéen tel que défini par **Toubal-Boumaza (2007)**.

1.2.3. Conditions climatiques.

Les conditions climatiques de la zone d'étude ont été caractérisées à partir des données météorologiques locales de Séraïdi pour l'année 2016. Ces données incluent la température moyenne, les extrêmes thermiques, les précipitations annuelles, l'humidité relative ainsi que la vitesse moyenne et maximale du vent. Les principaux paramètres climatiques sont présentés dans le **tableau 05**.

Tableau 05 : Données climatiques de la région de l'Edough **WRC (2016)**.

| Paramètres | Valeurs |
|---------------------------------------|---|
| Température moyenne annuelle | 20,37 °C |
| Température maximale moyenne annuelle | 22,73 °C |
| Température minimale moyenne annuelle | 16,29 °C |
| Extrêmes de température | Max : 34,23 °C (31/07/2016) Min : 7,49 °C (17/01/2016) |

| | |
|----------------------------------|-------------------------|
| Précipitations totales annuelles | 1375,88 mm |
| Humidité moyenne annuelle | 67,96 % |
| Vitesse moyenne annuelle du vent | 13,40 km/h |
| Vitesse maximale enregistrée | 38,51 km/h (15/01/2017) |

1.3. La région de Mechrouha (Souk Ahras).

1.3.1. Situation géographique.

La région de Mechrouha est située dans le Nord-est de l'Algérie. Elle appartient au Haut Tell oriental, une zone de transition entre les reliefs montagneux de l'Atlas tellien et les plateaux semi-arides du Constantinois. Le territoire communal couvre une superficie d'environ 266 km² et culmine à une altitude moyenne de 800 à 950 mètres, avec certains points atteignant plus de 1000 mètres (DSA, 2020).

Sur le plan géographique, Mechrouha se localise entre 36°21'N de latitude et 7°50' E de longitude. Elle se situe au Nord du chef-lieu de la Wilaya de Souk Ahras, à environ 7 km, et est limitrophe de Souk Ahras au Sud, de Mjaz Sfa à l'Ouest, de la wilaya de Tarf à l'Est, et de la frontière tunisienne au Nord-est (MICLAT, 2024).

Le relief est accidenté et formé principalement de collines et de crêtes appartenant au massif de l'Atlas tellien oriental. Le substratum géologique est constitué de formations marneuses, gréseuses et calcaires du Miocène et du Crétacé, recouvertes localement de sols argilo-limoneux à forte teneur en matière organique, favorables aux cultures forestières et aux parcours pastoraux (Lahouhou, 2024).

La région bénéficie d'un climat de type méditerranéen subhumide à hiver froid, marqué par une pluviométrie annuelle moyenne variant entre 700 et 900 mm, et des températures oscillant entre 5 °C en hiver et 32 °C en été (ONM, 2021). L'exposition du relief et la proximité des influences maritimes de l'Est algérien favorisent une humidité relative importante, contribuant au développement d'une végétation naturelle dense dominée par des essences telles que *Quercus faginea*, *Quercus suber*, *Pistacia lentiscus* et *Olea europaea* var. *sylvestris* (Benabid, 2000).

De par sa position géographique stratégique, à la jonction entre la plaine de Souk Ahras et les premiers reliefs montagneux de la frontière Algéro-tunisienne, Mechrouha constitue une zone d'intérêt écologique et agroforestier notable dans le Nord-est algérien (Fig. 12).



Figure 12 : La station d'étude au lieu-dit Ain Talhi de Mechrouha (**Photo personnelle, 2016**).

1.3.2. Couvert végétal.

La région de Mechrouha s'inscrit dans un contexte bioclimatique sub-humide marqué par une forte diversité écologique. Le couvert végétal de la région de Mechrouha présente une mosaïque d'associations floristiques étroitement liée à la diversité du relief, de la nature du sol et aux variations du climat local.

La zone s'inscrit dans un gradient bioclimatique sub-humide, ce qui favorise une succession d'écosystèmes distincts. Les versants et plateaux relativement fertiles, à substrat calcaire ou marneux, sont occupés par des formations forestières à chêne-liège (*Quercus suber*), des peuplements de chêne zeen (*Quercus canariensis*). Ces forêts constituent des refuges écologiques majeurs, riches en espèces rares et endémiques de la flore Nord-orientale algérienne (**Touati, et al, 2021**).

Les pentes sèches et les terrains dégradés par le pâturage intensif et les activités agricoles sont dominés par des matorrals et maquis méditerranéens, où prédominent *Pistacia lentiscus*, *Olea europaea* var, *sylvestris*, *Phillyrea angustifolia* et différentes espèces de *Cistus*.

Plus au Sud, sur sols peu profonds et soumis à une sécheresse plus marquée, apparaissent des formations présteppiques à *Macrochloa tenacissima* et *Artemisia herba-alba*, caractéristiques d'un gradient de transition vers le semi-aride (**Touati et al., 2021**).

Les inventaires floristiques réalisés dans la Wilaya confirment la grande diversité du patrimoine végétal local : plusieurs centaines de taxons ont été recensés, dont un nombre significatif d'espèces rares ou endémiques concentrées dans les forêts de chênes, les matorrals denses et les zones rocheuses (Touati, *et al.*, 2021).

Cependant, la superficie forestière de Mechrouha demeure réduite et fragmentée : les observations de terrain estiment qu'elle n'excède pas 200 à 300 hectares, sous l'effet des feux de forêts récurrents, du surpâturage, de l'exploitation illégale du bois et de l'extension agricole (Boucif, 2022). Ces perturbations accentuent les phénomènes d'érosion et compromettent la régénération naturelle des espèces ligneuses.

Des études écologiques et faunistiques récentes ont également mis en évidence une corrélation étroite entre la structure du couvert végétal et la richesse biologique locale, notamment en ce qui concerne les lépidoptères et autres invertébrés pollinisateurs. Ces recherches démontrent que la fragmentation du couvert forestier influe directement sur la diversité spécifique et la distribution des espèces, soulignant ainsi la valeur écologique majeure des forêts et maquis de Mechrouha (Saouli *et al.*, 2022).

1.3.3. Conditions climatiques.

Les conditions climatiques de la région de Mechrouha (Souk Ahras) ont été établies à partir des données météorologiques de l'année 2016. Les principaux paramètres pris en compte sont la température moyenne annuelle, les températures extrêmes, les précipitations, l'humidité relative ainsi que la vitesse moyenne et maximale du vent. Les principaux paramètres climatiques sont présentés dans le **tableau 06**.

Tableau 06 : Données climatiques de la région Mechrouha WRC (2016).

| Paramètres | Valeurs |
|---------------------------------------|---|
| Température moyenne annuelle | 17,94 °C |
| Température maximale moyenne annuelle | 21,81 °C |
| Température minimale moyenne annuelle | 11,08 °C |
| Extrêmes de température | Max : 34,21 °C (31/07/2016) Min : 1,96 °C (17/01/2017) |
| Précipitations totales annuelles | 179,86 mm |
| Humidité moyenne annuelle | 68,72 % |

| | |
|----------------------------------|-------------------------|
| Vitesse moyenne annuelle du vent | 9,19 km/h |
| Vitesse maximale enregistrée | 31,28 km/h (23/03/2016) |

1.4. La région de Zaarouria (Souk Ahras).

1.4.1. Situation géographique.

La région de Zaarouria se situe dans la partie centre-est de la wilaya de Souk Ahras, au Nord-est de l'Algérie. Elle relève administrativement de la Daïra de Taoura et s'étend sur une superficie d'environ 162 km². Localisée au cœur du Haut Tell oriental, elle occupe une position charnière entre les reliefs telliens internes et les zones de piémont qui descendent vers le bassin de l'Oued Medjerda. Ses coordonnées géographiques moyennes sont de 36,22° N et 7,95° E, avec une altitude comprise entre 600 et 900 mètres (**Bourouga, 2022**).

Le relief est constitué d'une succession de collines, de versants faiblement disséqués et de plateaux entaillés par des Oueds temporaires. Cette topographie irrégulière, combinée à la nature du substrat géologique dominé par des formations sédimentaires tertiaires composées de marnes, de calcaires et de grès, confère à la région une structure géomorphologique contrastée. Les sols sont majoritairement calci-magnésiques, peu profonds et parfois caillouteux, ce qui limite leur aptitude agricole. Toutefois, certaines zones de dépression et de colmatage favorisent la formation de sols plus fertiles, propices à la céréaliculture et aux cultures fourragères (**Bouhafes, 2021**).

Sur le plan bioclimatique, la classification d'**Emberger (1930)** place Zaarouria dans l'étage semi-aride à hiver tempéré, traduisant une alternance saisonnière marquée entre des hivers doux et des étés chauds. Cette configuration influe directement sur la végétation, composée principalement de formations steppiques et de maquis clairs dominés par le chêne vert (*Quercus ilex*), le lentisque (*Pistacia lentiscus*), l'alfa (*Stipa tenacissima*) et diverses espèces herbacées xérophiiles adaptées à la sécheresse.

Cependant, la dégradation des sols, la surexploitation des ressources naturelles et la faible couverture végétale entraînent une dynamique régressive du paysage, accentuant les risques d'érosion et de désertification locale (**Touati et al., 2021**). D'où la nécessité d'une gestion raisonnée des terres et d'une politique de reboisement ciblée pour préserver le potentiel écologique et agricole de ce territoire du Haut Tell (**Fig. 13**).



Figure 13 : la station d'étude au lieu-dit El-Gharra de Zaarouria (**Photo personnelle, 2016**).

1.4.2. Le couvert végétal.

Le couvert végétal de la région de **Zaarouria** se distingue par une mosaïque de formations naturelles et secondaires, reflet d'un milieu méditerranéen soumis à des conditions semi-arides. Les versants les mieux conservés abritent encore quelques fragments de forêts relictuelles dominées par le chêne vert (*Quercus ilex*) et le chêne-liège (*Quercus suber*), accompagnés de l'olivier sauvage (*Olea europaea var. sylvestris*), du lentisque (*Pistacia lentiscus*) et de la filaire à feuilles étroites (*Phillyrea angustifolia*), caractéristiques des substrats calci-magnésiques et des sols bien drainés (**Touati et al., 2021**). Dans les zones plus ouvertes et dégradées, la végétation se transforme en matorral et maquis méditerranéens à dominante arbustive, composés notamment de *Cistus monspeliensis*, *Rosmarinus officinalis*, *Erica arborea* et *Arbutus unedo*, témoignant d'une dynamique de dégradation progressive du couvert forestier initial (**Touati et al., 2021**).

Les prairies xérophiiles et steppiques occupent les espaces les plus secs et surexploités, où prédominent des *Poaceae* comme *Stipa tenacissima* et *Brachypodium retusum*, ainsi que des espèces résistantes à la sécheresse telles que *Artemisia herba-alba* et *Thymus ciliatus*.

Enfin, les zones humides temporaires et dépressions d'Oued conservent une végétation hygrophile composée de *Juncus effusus*, *Scirpus holoschoenus* et *Phragmites australis*, qui jouent un rôle important dans la régulation hydrologique et la conservation de la biodiversité régionale (**Hammana et al., 2024**). Cette diversité floristique illustre la position de Zaarouria à la transition entre les milieux subhumides du Nord de la Wilaya et les paysages plus arides du

Haut Tell oriental, tout en soulignant la fragilité des écosystèmes locaux face aux pressions anthropiques croissantes.

1.4.3. Conditions climatiques.

Les conditions climatiques de la zone d'étude ont été établies à partir des données météorologiques locales de Zaarouria (Souk Ahras) pour l'année 2016. Ces données comprennent la température moyenne annuelle, les extrêmes thermiques, les précipitations totales, l'humidité relative moyenne, ainsi que la vitesse moyenne et maximale du vent. Les principaux paramètres climatiques sont présentés dans le **tableau 07**.

Tableau 07 : Données climatiques de la région **Zaarouria WRC (2016)**.

| Paramètres | Valeurs |
|---------------------------------------|---|
| Température moyenne annuelle | 19,31 °C |
| Température maximale moyenne annuelle | 23,51 °C |
| Température minimale moyenne annuelle | 11,91 °C |
| Extrêmes de température | Max : 35,26 °C (07/05/2016) Min : 2,14 °C (17/01/2017) |
| Précipitations totales annuelles | 196,56 mm |
| Humidité moyenne annuelle | 62,54 % |
| Vitesse moyenne annuelle du vent | 9,95 km/h |
| Vitesse maximale enregistrée | 27,78 km/h (01/03/2016) |

2. Caractéristiques des sites étudiés.

Huit sites de prélèvement ont été sélectionnés en fonction de leur répartition au sein de trois étages bioclimatiques (Humide, sub-humide et semi-aride) (**Tab. 08**).

Tableau 08 : Les caractéristiques de sites de prélèvement.

| Etages bioclimatiques | Sites | Situations Géographiques | Coordonnées géographiques | Altitudes | Couvert végétal |
|-----------------------|-------|---------------------------------|-----------------------------|-----------|----------------------|
| Etage Humide | 1 | Edough, Oued Bagrat (Annaba) | 36°55,44 N ; 7°42,33 E ; | 708 m | Forêt chêne liège |
| | 2 | Edough, Oued Bagrat (Annaba) | 36°55,44 N ; 7°42,34 E ; | 728 m | |

| | | | | | |
|------------------|---|--------------------------------------|-----------------------------------|-------|---------------------|
| Etage Subhumide | 3 | Machrouha, Ain Talhi (Souk-Ahras) | 36°20,73 N ; 7°51,58 E ; | 864 m | Forêt de chêne zéen |
| | 4 | Machrouha, Ain Talhi (Souk-Ahras) | 36°20,70 N ; 7°51,58 E ; | 879 m | |
| | 5 | Machrouha, Ain Talhi (Souk-Ahras) | 36°19,52843 N ; 7°52,79351 E ; | 800 m | |
| Etage Semi-aride | 6 | Zaarouria, El Gharra (Souk-Ahras) | 36°11,84944 N ; 07°56,357 E ; | 955 m | Forêt de Pin D'Alep |
| | 7 | Zaarouria, El Gharra (Souk-Ahras) | 36°11,89751 N ; 7°56,36873 E ; | 962 m | |
| | 8 | Zaarouria, El Gharra (Souk-Ahras) | 36°11,80183 N ; 7°56,67521 E ; | 940 m | |

3. Techniques d'échantillonnages.

3.1. Méthodes d'inventaire floristique.

Nous avons opté pour un échantillonnage systématique des stations étudiées. Les relevés de végétation ont été effectués en 2016 pendant la période optimale de la végétation.

L'étude des formations végétales a été faite en appliquant la méthode phyto-sociologique classique qui consiste à faire des relevés de végétation sur le terrain sur une surface de référence de 16 m² pour les pelouses.

3.2. Méthodes de récolte de pollen.

Les prélèvements de pluie pollinique ont été réalisés, du mars 2016 jusqu'à février 2017, sur huit sites représentatifs de trois étages bioclimatiques du Nord-est algérien. Les caractéristiques géographiques, physiques et phyto-sociologiques des sites sont présentées par le **tableau 08**.

La collecte a été effectuée à l'aide de trappes à pollen de surface (**Fig. 14**). Chaque dispositif consiste en un bidon en plastique de 5 L, enterré jusqu'à l'ouverture pour assurer sa stabilité et limiter la contamination latérale (**Fig. 15**). Les trappes étaient placées dans des zones dégagées,

à distance d'arbres ou d'arbustes, afin d'éviter la surreprésentation de la végétation proche (Räsänen *et al.*, 2004). Chaque trappe contenait une solution d'eau distillée. La surface collectrice active était d'environ 10 cm², conformément aux normes utilisées dans les travaux de Karhglu *et al.*, (2015).

Les échantillons ont été relevés tous les 30 jours puis remplacés pour poursuivre la collecte annuelle. Chaque prélèvement a été stocké dans des flacons étiquetés, conservés à température ambiante et à l'abri de la lumière, jusqu'à leur traitement en laboratoire.



Figure 14 : Dispositifs installés dans les stations d'étude (Photos personnelle, 2016).



Figure 15 : Dispositifs installés dans les stations d'étude (Photos personnelle, 2016).

4. Méthodes d'étude du pollen.

4.1. Traitement des échantillons de pollen récolté d'après Erdtman (1960).

Après l'ouverture du piège à pollen, le contenu liquide ainsi que les matières en suspension sont soigneusement transférés dans un tube centrifuge de 15 ml. Lorsque le volume d'échantillon est important, il est filtré à travers un tamis de 300 µm afin d'éliminer les débris grossiers et ne conserver que la fraction fine contenant les grains de pollen.

Le traitement débute par une digestion alcaline consistant à ajouter environ 5 ml de KOH 10 %, chauffé au bain-marie à 80°C pendant 10 minutes, afin de dissoudre les matières organiques, les fibres végétales et les substances humiques. Après centrifugation (5 min à 2500 t/m), le surnageant est éliminé, et le résidu est rincé deux fois à l'eau distillée pour neutraliser la solution.

Un traitement à l'acide fluorhydrique (HF 40 %) a été effectué avec précaution, pour éliminer les particules minérales ou siliceuses, exclusivement sous hotte ventilée, suivi de plusieurs rinçages à l'eau distillée.

Le traitement principal, appelé acétolyse, est un mélange acétolytique préparé juste avant l'utilisation en combinant 9 volumes d'anhydride acétique avec 1 volume d'acide sulfurique concentré, en ajoutant toujours l'acide à l'anhydride pour éviter les réactions violentes. Un volume de 5 ml de ce mélange est versé sur le résidu, puis le tube est chauffé au bain-marie bouillant pendant 2 minutes afin de détruire la cellulose et les débris organiques non polliniques, tout en clarifiant la paroi des grains de pollen.

Après cette étape, le mélange est centrifugé et éliminé avec précaution, puis le culot est rincé successivement à l'acide acétique glacial et trois fois à l'eau distillée jusqu'à neutralisation complète.

Le résidu propre est ensuite déshydraté par une série de lavages à l'éthanol 70 %, avant d'être remis en suspension dans une petite quantité de glycérine. Une goutte de la suspension est déposée sur une lame, recouverte d'une lamelle et scellée avec du vernis à ongles pour une conservation durable.

En cas d'échantillon hétérogène, plusieurs lames sont préparées pour garantir une meilleure représentativité du spectre pollinique. L'observation se fait au microscope optique grossissement×400, et le comptage porte sur 500 grains de pollen par lame, ce qui assure une représentativité statistique suffisante.

Les grains sont identifiés à l'aide d'atlas et de clés morphologiques de référence (**Reille, 1992**) puis classés par taxons selon leur origine écologique (arbustive, arborée, herbacée).

4.2. Elaboration des diagrammes polliniques.

Après le comptage microscopique, le nombre de grains de pollen a été noté pour chaque lame, les fréquences relatives de chaque taxon sont calculées par rapport au total des grains identifiés, pour la représentation graphique.

- Les pourcentages relatifs de chaque taxon sont calculés selon la formule :

$$Pi = \frac{ni}{N} \times 100$$

Où *ni* correspond au nombre de grains de pollen du taxon *i*, *N* le nombre total des grains identifiés (hors spores et indéterminés).

- La concentration pollinique a ensuite été calculée à partir de la formule :

$$\text{La formule} = \frac{TGP \times ST \times VTC}{SA \times SC \times VG}$$

TGP : Total de grain de pollen (Echantillon).

ST : Surface total de la lamelle (24×24).

VTC : Volume total du culot (ml).

SA : Surface de la lamelle analysée = (la surface d'une ligne : 24×0,15) × (nombre de lignes comptées).

SC : Surface du couvercle (13,84m²).

VG : Volume glycérine.

Ce traitement permet d'éliminer l'effet des différences de concentration entre échantillons et de comparer directement la composition pollinique entre sites ou périodes (**Faegri et Iversen, 1989 ; Moore et al., 1991**).

Les données ainsi obtenues ont été saisies dans une base structurée, puis importées dans le logiciel Psimpoll (**Bennett, 1992**) pour la construction du diagramme pollinique stratigraphique. Ce type de représentation graphique permet de visualiser la distribution verticale des principaux taxons et de mettre en évidence les variations de la végétation au cours du temps ou entre les différents étages bioclimatiques. Les taxons ont été regroupés en grands ensembles écologiques, arboréens (AP), non arboréens (NAP), afin de faciliter l'interprétation des tendances majeures.

L'analyse du diagramme pollinique repose sur la distinction des groupes biogéographiques et écologiques dominants (forêts tempérées, méditerranéennes, steppiques, rudérales, etc.), ce qui permet de relier les fluctuations polliniques à la dynamique de la végétation actuelle et aux conditions climatiques régionales (**Reille, 1992 ; Räsänen et al., Odgaard, 2004**). Ce type

d'approche est essentiel pour établir la correspondance entre la végétation observée et la pluie pollinique actuelle, et sert de référence pour les études paléoécologiques.

5. La détermination de l'étagement de la végétation.

La détermination de l'étagement est une étape essentielle dans l'analyse phytogéographique et écologique. Cette détermination consiste à relier la composition floristique observée à des conditions climatiques et altitudinales caractéristiques (température, pluviométrie, altitude, etc.) **(Delnatte 2010)**.

6. Analyses statistiques des données polliniques.

Pour l'interprétation des résultats obtenus, nous avons fait appel à une méthode statistique pour objectiver les relations liant les taxons et les étages bioclimatiques. Nous avons effectué une analyse en composantes principales (ACP) en utilisant le logiciel R **(RDCT, 2016)**.

L'ACP est une méthode d'analyse de données multivariées qui permet de résumer et de visualiser l'information contenue dans un grand tableau de données comprenant essentiellement des variables quantitatives.

CHAPITRE IV

Résultats

Chapitre IV : Résultats

1. Relevés floristiques.

1.1. La station de l'Edough.

L'inventaire floristique du site d'étude de l'Edough au niveau d'un lieu-dit « Oued Bagrat » révèle une végétation dense et diversifiée, dominée par *Quercus suber*, *Arbutus unedo* et *Erica arborea*. Ces espèces témoignent d'un milieu humide et acide, typique du maquis à chêne-liège. La présence de ptéridophytes comme *Polypodium vulgare* traduit une forte humidité atmosphérique et une bonne conservation du couvert forestier. Ce site illustre un écosystème équilibré et peu dégradé, représentatif du bioclimat humide méditerranéen (**Tab. 09**).

Tableau 09 : Résultats de l'inventaire floristique du site d'étude Oued Bagrat (Edough-Annaba).

| N° | Espèce | Famille | Type biologique | Affinité écologique |
|----|--|----------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1 | <i>Quercus suber</i> L. | <i>Fagaceae</i> | Phanérophyte arboré | Mésophile, acidophile |
| 2 | <i>Quercus faginea</i> Lam. | <i>Fagaceae</i> | Phanérophyte arboré | Mésophile |
| 3 | <i>Pinus pinaster</i> Aiton | <i>Pinaceae</i> | Phanérophyte arboré | Xérophile, pionnière |
| 4 | <i>Erica arborea</i> L. | <i>Ericaceae</i> | Chaméphyte | Acidophile |
| 5 | <i>Arbutus unedo</i> L. | <i>Ericaceae</i> | Phanérophyte arbustif | Mésophile |
| 6 | <i>Myrtus communis</i> L. | <i>Myrtaceae</i> | Phanérophyte arbustif | Mésophile |
| 7 | <i>Calicotome villosa</i> (Poir.) Link | <i>Fabaceae</i> | Chaméphyte | Xérophile |
| 8 | <i>Cistus salvifolius</i> L. | <i>Cistaceae</i> | Chaméphyte | Xérophile |
| 9 | <i>Lavandula stoechas</i> L. | <i>Lamiaceae</i> | Chaméphyte | Xérophile |
| 10 | <i>Daphne gnidium</i> L. | <i>Thymelaeaceae</i> | Chaméphyte | Mésophile |
| 11 | <i>Rosa canina</i> L. | <i>Rosaceae</i> | Phanérophyte lianescent | Mésophile |
| 12 | <i>Smilax aspera</i> L. | <i>Smilacaceae</i> | Liane | Mésophile |
| 13 | <i>Rubus ulmifolius</i> Schott | <i>Rosaceae</i> | Liane | Nitrophile |
| 14 | <i>Ceratonia siliqua</i> L. | <i>Fabaceae</i> | Phanérophyte arboré | Thermophile |

| | | | | |
|----|---------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------|
| 15 | <i>Ritama retam</i> (Forssk.) Webb | <i>Fabaceae</i> | Chaméphyte | Xérophile |
| 16 | <i>Urginea maritima</i> (L.) Baker | <i>Asparagaceae</i> | Géophyte | Xérophile |
| 17 | <i>Asphodelus</i> spp. | <i>Asphodelaceae</i> | Géophyte | Xérophile |
| 18 | <i>Allium triquetrum</i> L. | <i>Amaryllidaceae</i> | Géophyte | Mésophile |
| 19 | <i>Polypodium vulgare</i> L. | <i>Polypodiaceae</i> | Cryptophyte (ptéridophyte) | Hygrophile |
| 20 | <i>Asplenium</i> spp. | <i>Aspleniaceae</i> | Cryptophyte (ptéridophyte) | Hygrophile |

1.2. La station de Mechrouha (Souk Ahras).

La flore de la station de Mechrouha au lieu-dit « Ain Talhi » se caractérise par une végétation de transition entre les zones humides et les zones sèches. Les espèces dominantes sont *Quercus suber*, *Quercus faginea*, *Fraxinus angustifolia*. Elles traduisent un milieu forestier encore dense, tandis que la présence de *Calicotome villosa* et *Daphne gnidium* indique une ouverture du couvert liée aux perturbations. Cette composition reflète un climat sub-humide tempéré, où coexistent des espèces mésophiles et xérophiles (Tab.10).

Tableau 10 : Résultats de l'inventaire floristique du site d'étude Ain Talhi (Mechrouha-Souk Ahras).

| N° | Espèce | Famille | Type biologique | Affinité écologique |
|----|--------------------------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| 1 | <i>Quercus suber</i> L. | <i>Fagaceae</i> | Phanérophyte arboré | Mésophile, acidophile |
| 2 | <i>Quercus faginea</i> Lam. | <i>Fagaceae</i> | Phanérophyte arboré | Mésophile |
| 3 | <i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl | <i>Oleaceae</i> | Phanérophyte arboré | Mésophile à hygrophile |
| 4 | <i>Crataegus monogyna</i> Jacq. | <i>Rosaceae</i> | Phanérophyte arbustif | Mésophile |
| 5 | <i>Rubus ulmifolius</i> Schott | <i>Rosaceae</i> | Liane | Nitrophile, mésophile |
| 6 | <i>Smilax aspera</i> L. | <i>Smilacaceae</i> | Liane | Mésophile |

| | | | | |
|----|--|------------------------|----------------------------|-----------------------|
| 7 | <i>Calicotome villosa</i> (Poir.) Link | <i>Fabaceae</i> | Chaméphyte épineux | Xérophile à mésophile |
| 8 | <i>Daphne gnidium</i> L. | <i>Thymelaeaceae</i> | Chaméphyte | Mésophile |
| 9 | <i>Asphodelus microcarpus</i> | <i>Asphodelaceae</i> | Géophyte | Xérophile à mésophile |
| 10 | <i>Asteraceae</i> | <i>Asteraceae</i> | Hémicryptophyte | Variable |
| 11 | <i>Selaginella denticulata</i> (L.) | <i>Selaginellaceae</i> | Cryptophyte (ptéridophyte) | Hygrophile |

1.3. La station de Zaarouria (Souk Ahras).

L'inventaire de la station de Zaarouria au lieu-dit El-Gharra montre une végétation xérophile bien adaptée à la sécheresse, dominée par *Quercus ilex*, *Rosmarinus officinalis* et *Calicotome spinosa*. Ces espèces témoignent d'un milieu sec, ensoleillé et à faible disponibilité hydrique. La présence de *Tetraclinis articulata* et *Ritama retam* traduit une résilience écologique face à la dégradation. Cette flore représente un matorral clair typique du bioclimat semi-aride méditerranéen (Tab. 11).

Tableau 11 : Résultats de l'inventaire floristique du site d'étude El-Gharra (Zaarouria-Souk Ahras).

| N° | Espèce | Famille | Type biologique | Affinité écologique |
|----|--|---------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1 | <i>Quercus ilex</i> L. | <i>Fagaceae</i> | Phanérophyte arboré | Xérophile, sclérophylle |
| 2 | <i>Rosmarinus officinalis</i> L. | <i>Lamiaceae</i> | Chaméphyte | Xérophile |
| 3 | <i>Myrtus communis</i> L. | <i>Myrtaceae</i> | Phanérophyte arbustif | Mésophile à xérophile |
| 4 | <i>Cistus monspeliensis</i> L. | <i>Cistaceae</i> | Chaméphyte | Xérophile |
| 5 | <i>Phillyrea latifolia</i> L. | <i>Oleaceae</i> | Phanérophyte arbustif | Xérophile |
| 6 | <i>Calicotome spinosa</i> (L.) Link | <i>Fabaceae</i> | Chaméphyte épineux | Xérophile |
| 7 | <i>Tetraclinis articulata</i> (Vahl) Mast. | <i>Cupressaceae</i> | Phanérophyte arboré | Thermoxérophile |

| | | | | |
|---|---------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| 8 | <i>Ritama retam</i> (Forssk.) Webb | <i>Fabaceae</i> | Chaméphyte | Xérophile, steppique |
| 9 | <i>Ampelodesmos mauritanicus</i> | <i>Poaceae</i> | Hémicryptophyte | Méso-xérophile |

2. Résultat de l'étude palynologique.

Le **Tableau 12** présente la production pollinique de 60 taxons remarquables au niveau de trois stations d'études.

Ces résultats montrent une grande diversité des formations forestières en fonction de l'étage bioclimatique. Les formations à *Quercus suber* dominent dans la station 1 (Etage humide) et la station 2 (Etage subhumide). La 3^{ème} station (Etage semi-aride) est dominée par des forêts mixtes de *Pinus halepensis* et *Quercus ilex*.

Au sein de cette diversité émergent d'autres espèces forestières de sous-bois importantes et des herbacées qui décorent le couvert végétal forestier. Il ne faut pas oublier d'innombrables espèces dont le pollen provient de loin.

L'analyse pollinique a permis de recenser, au niveau des 3 stations étudiées, un total de 136 taxons polliniques. Parmi ces taxons, on compte 45 taxons arborescents appartenant à 24 familles et 91 herbacés appartenant à 35 familles.

Tableau 12 : Les taxons polliniques remarquables récoltés au niveau des trois stations (grain de pollen/cm²).

| Stations | | | Station 1 | | Station 2 | | | Station 3 | | |
|----------|---------------------------------|----------------------|-----------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| N° | Taxons | Familles | Site 1 | Site 2 | Site 3 | Site 4 | Site 5 | Site 6 | Site 7 | Site 8 |
| 1 | <i>Alnus-type Mill. 1753</i> | <i>Betulaceae</i> | 14.5 | 15.3 | 8.1 | 27.6 | 5.1 | 13.4 | 8.5 | 14.2 |
| 2 | <i>Amaranthaceae Juss. 1789</i> | <i>Amaranthaceae</i> | 16.3 | 22 | 63.4 | 55.2 | 21.2 | 39.8 | 47.6 | 38.1 |
| 3 | <i>Apiaceae Lindley 1836</i> | <i>Apiaceae</i> | 11.6 | 3.1 | 3.2 | 20.4 | 4.6 | 9.4 | 89.9 | 13.6 |
| 4 | <i>Arbutusunedo L. 1753</i> | <i>Ericaceae</i> | 61.4 | 137.4 | 15.1 | 5 | 4.2 | 0 | 0 | 3.8 |
| 5 | <i>Artemisia-type L. 1753</i> | <i>Asteraceae</i> | 8.8 | 2 | 4.2 | 9.9 | 5.8 | 16 | 16.7 | 3.4 |
| 6 | <i>Asteraceae</i> | <i>Asteraceae</i> | 66.3 | 31.8 | 55.3 | 49 | 229.5 | 148 | 453 | 13.2 |

| | | | | | | | | | | |
|----|---|----------------------|--------|--------|-------|-------|----------------|--------|------------|-------|
| | <i>Berchtold & Presl. 1820</i> | | | | | | | | | |
| 7 | <i>Betulaceae Gray. 1821</i> | <i>Betulaceae</i> | 8.2 | 8.6 | 7.9 | 15.4 | 4.6 | 31.3 | 1.2 | 5.4 |
| 8 | <i>Biscutelladidyma L. 1753</i> | <i>Brassicaceae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.4 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | <i>Brassicaceae Burnett. 1835</i> | <i>Brassicaceae</i> | 3.9 | 3.1 | 2.6 | 32.6 | 221.6 5.92% | 20.2 | 78.4 | 30.5 |
| 10 | <i>Cardaminehirsut L. 1753</i> | <i>Brassicaceae</i> | 0 | 59.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | <i>Cistus -type L. 1753</i> | <i>Cistaceae</i> | 19.6 | 110.3 | 2.1 | 8.8 | 0.1 | 1440.9 | 1561. 8 | 172.4 |
| 12 | <i>Clematis flammula L. 1753</i> | <i>Ranunculaceae</i> | 1.7 | 0 | | 57.4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | <i>Corylus-type L. 1753</i> | <i>Betulaceae</i> | 9.6 | 11.8 | 16.5 | 21.3 | 24.1 | 4.1 | 6.3 | 6.2 |
| 14 | <i>Crataegusazarolus L. 1753</i> | <i>Rosaceae</i> | 15.4 | 3 | 58.1 | 0 | 68.4 | 0.5 | 2.2 | 0 |
| 15 | <i>Crataegus monogyna Jacq. 1775</i> | <i>Rosaceae</i> | 0 | 0 | 57.3 | 218.2 | 77.7 | 280.5 | 467.2 | 914.0 |
| 16 | <i>Cupressaceae Gry.1822</i> | <i>Cupressaceae</i> | 2.2 | 1.3 | 1.7 | 29 | 35.2 | 66.1 | 21.9 | 93.2 |
| 17 | <i>Cynara cardunculus L. 1753</i> | <i>Asteraceae</i> | 0 | 0 | 1.2 | 0 | 50.4 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | <i>Cyperaceae Jussieu 1789</i> | <i>Cyperaceae</i> | 59.3 | 29.1 | 22.2 | 27.8 | 19.6 | 16.2 | 16 | 18.5 |
| 19 | <i>Cytisus-type Desf. 1798</i> | <i>Fabaceae</i> | 130.7 | 176.6 | 90.5 | 10.3 | 1.4 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | <i>Daucus-type L. 1753</i> | <i>Apiaceae</i> | 0.9 | 2 | 111.1 | 57.8 | 0 | 0.4 | 0 | 1.8 |
| 21 | <i>Ephedra fragilis Desf. 1799</i> | <i>Ephedraceae</i> | 138.7 | 0 | 0 | 2.1 | 0 | 0 | 0 | 0.7 |
| 22 | <i>Erica arborea L. 1753</i> | <i>Ericaceae</i> | 1978.3 | 1313.9 | 21.4 | 143.8 | 103 | 15.8 | 19.6 | 142.9 |
| 23 | <i>Eucalyptus Camaldulensis Dehnh. 1832</i> | <i>Myrtaceae</i> | 6.8 | 9 | 86.7 | 588.8 | 6.3 | 1.9 | 5.2 | 2.7 |
| 24 | <i>Euphorbia-type L. 1753</i> | <i>Euphorbiaceae</i> | 5.2 | 129.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9 | 0.5 |
| 25 | <i>Fraxinus angustifolia Vahl. 1804</i> | <i>Oleaceae</i> | 44.4 | 1.9 | 28.1 | 61.8 | 1054.8 | 0.3 | 2.9 | 4.7 |
| 26 | <i>Galactites tomentosus Moench.1794</i> | <i>Asteraceae</i> | 0 | 0 | 121.9 | 0 | 100.7 | 0 | 0 | 1.4 |
| 27 | <i>Genista numidica Spach. 1844</i> | <i>Fabaceae</i> | 20 | 157.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | |
|----|---|------------------------|--------|--------|-------|------------|-------|-------|-------|-------|
| 28 | <i>Globularia alypum</i> L. 1753 | <i>Plantaginaceae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 58.8 | 55.1 | 129.5 |
| 29 | <i>Hypochaeris</i> <i>Radicata</i> L.1753 | <i>Asteraceae</i> | 0 | 0 | 2.9 | 0 | 127.8 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | <i>Juncus</i> -type L. 1753 | <i>Juncaceae</i> | 9.6 | 81.1 | 6.4 | 2.3 | 0 | 1.8 | 4.9 | 0.2 |
| 31 | <i>Juneperusoxycedrus</i> L. 1753 | <i>Cupressaceae</i> | 33.5 | 19.7 | 15.5 | 173.3 | 121.4 | 60.1 | 45.3 | 34.1 |
| 32 | <i>Lotus corniculatus</i> L. 1753 | <i>Fabaceae</i> | 30.5 | 118 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33 | <i>Marubium</i> -type L. 1753 | <i>Lamiaceae</i> | 0 | 0 | 85.1 | 4.5 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 34 | <i>Medicagolittoralis</i> Rohde ex. Loisel. 1810 | <i>Fabaceae</i> | 12.1 | 41.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | <i>Myriophyllum</i> -type L. 1753 | <i>Haloragaceae</i> | 3.7 | 0 | 10.3 | 201.8 | 11.9 | 8.7 | 0.4 | 13.5 |
| 36 | <i>Myrtus comminus</i> L. 1753 | <i>Myrtaceae</i> | 103 | 1067.6 | 8 | 14.3 | 4.7 | 4.5 | 46.6 | 2.4 |
| 37 | <i>Olea europaea</i> L. 1753 | <i>Oleaceae</i> | 91.5 | 108.7 | 44.2 | 297 | 70.2 | 170.1 | 164.1 | 66.2 |
| 38 | <i>Paronychiaargentea</i> Lam. 1779 | <i>Caryophyllaceae</i> | 6.1 | 16.3 | 15.3 | 11.2 | 50.2 | 3.4 | 10.7 | 4.8 |
| 39 | <i>Phillyrea latifolia</i> L. 1753 | <i>Oleaceae</i> | 13.8 | 10.6 | 5.6 | 9.6 | 6.4 | 34.3 | 308.3 | 60.1 |
| 40 | <i>Pinus halepensis</i> Mill.1768 | <i>Pinaceae</i> | 0 | 0 | 57.3 | 218.2 | 77.7 | 280.5 | 467.2 | 964.0 |
| 41 | <i>Pinuspinaster</i> (<i>P. maritima</i>) Aiton. 1789 | <i>Pinaceae</i> | 160.2 | 334.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 42 | <i>Pistacia lentiscus</i> L. 1753 | <i>Anacardiaceae</i> | 29.6 | 18.8 | 22.8 | 156.5 | 14.8 | 209 | 42.3 | 76.1 |
| 43 | <i>Plantago</i> -type L. 1753 | <i>Plantaginaceae</i> | 12.6 | 47.1 | 37.1 | 61.1 | 118.1 | 55.7 | 61.8 | 32.4 |
| 44 | <i>Poaceae</i> Barnhart 1895 | <i>Poaceae</i> | 94.6 | 71.6 | 23.5 | 201.3 | 146.2 | 196.7 | 166.4 | 133.6 |
| 45 | <i>Quercus canariensis</i> Willd. 1809 | <i>Fagaceae</i> | 118.2 | 404.4 | 276.1 | 132.6 | 32.8 | 0 | 0 | 0 |
| 46 | <i>Quercuscoccifera</i> L.1753 | <i>Fagaceae</i> | 909.2 | 600.3 | 93.4 | 1983. 2 | 277.4 | 0 | 0 | 0 |
| 47 | <i>Quercus ilex</i> L. 1753 | <i>Fagaceae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 343.6 | 436.9 | 486.2 |
| 48 | <i>Quercus suber</i> L. 1753 | <i>Fagaceae</i> | 1232.1 | 1190.3 | 363.9 | 1124. 3 | 344.8 | 0 | 0 | 0 |
| 49 | <i>Ranunculus</i> -type L. 1753 | <i>Ranunculaceae</i> | 17.3 | 326.8 | 15.7 | 2.7 | 37 | 41.3 | 76.2 | 6.5 |
| 50 | <i>Rosa sempervirens</i> | <i>Rosaceae</i> | 0 | 119 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | |
|----|---|-----------------------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|------|--------|
| | <i>L. 1753</i> | | | | | | | | | |
| 51 | <i>Rosmarinus Officinalis L.1753</i> | <i>Lamiaceae</i> | 0 | 0 | 4.1 | 1.6 | 0 | 26.3 | 90.8 | 18.7 |
| 52 | <i>Rubus ulmifolius Schott. 1818</i> | <i>Rosaceae</i> | 3.4 | 2.5 | 21.5 | 33 | 12.3 | 27.1 | 20.5 | 10.5 |
| 53 | <i>Rumex conglomeratus Murray. 1770</i> | <i>Polygonaceae</i> | 13.6 | 135 | 4.5 | 26.6 | 98.9 | 0.4 | 12.6 | 7.3 |
| 54 | <i>Salix-type L. 1753</i> | <i>Salicaceae</i> | 28.4 | 17 | 7.8 | 103.3 | 31.5 | 19.3 | 9.7 | 10.3 |
| 55 | <i>Smilaxaspera L. 1753</i> | <i>Smilacaceae</i> | 44.3 | 2.5 | 6.9 | 38.8 | 13.6 | 1.7 | 3 | 34.3 |
| 56 | <i>Senecio leucanthemifolius Poir. 1789</i> | <i>Asteraceae</i> | 2.3 | 0 | 17.1 | 0.6 | 153.6 | 3.1 | 24.4 | 0.8 |
| 57 | <i>Sinapisarvensis L. 1753</i> | <i>Brassicaceae</i> | 0 | 0 | 24.4 | 0 | 4.4 | 1.2 | 0.3 | 35.8 |
| 58 | <i>Spartium junceum L. 1753</i> | <i>Fabaceae</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50.2 | 47.7 | 104.1 |
| 59 | <i>Urtica-type L.1753</i> | <i>Urticaceae</i> | 3.5 | 0 | 6.4 | 40.3 | 18.7 | 54 | 12.6 | 15.5 |
| 60 | <i>Veronica arvensis L. 1753</i> | <i>Plantaginaceae</i> | 1.7 | 123.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Taxons indéterminés | -- | 90.2 | 189.3 | 200.5 | 190.2 | 196.5 | 108.9 | 78.1 | 81.6 |
| | Totaux | | 5663.4 | 7233.1 | 2240 | 6372 | 3789.1 | 3736.2 | 4888 | 3524.2 |

2.1. Station 1.

La station 1 compte 48 taxons productifs appartenant à 28 familles dont 9 espèces spécifiques, il s'agit de *Arbutus unedo*, *Ephedra fragilis*, *Cardamine hirsut*, *Genista numidica*, *Lotus corniculatus*, *Medicago littoralis*, *Pinus pinaster*, *Rosa sempervirens* et *Veronica arvensis*.

La station 1, représentée par les sites 1 et 2, est dominée par une subéraie qui abrite des essences forestières de moindre importance pollinique telles que *Quercus canariensis*, *Pinus pinaster* et *Junepirus oxycedrus*. Il abrite, aussi, un sous-bois très dense formé d'*Erica arborea*, *Myrtus comminus*, *Cytisus*, *Cistus*, *Calicotome* et *Pistacia lentiscus*.

Les pollens herbacés, représentés par 2 familles avec des fréquences très limités, les *Asteraceae* et les *Poaceae*. En effet, la dispersion de la plupart des herbacées se fait par les insectes, elles produisent, alors, beaucoup moins de pollen.

Les espèces qui manifestent une bonne dispersion pollinique au niveau du site 1 sont *Erica arborea* (4615,3 GP/cm²), *Quercus suber* (1232,1 GP/cm²) et *Quercus coccefera* (909,2 GP/cm²). Pour le site 2, on note aussi, *Erica arborea* (1313,9 GP/cm²), *Quercus suber* (1190,3 GP/cm²) et *Myrtus comminus* (1067,6 GP/cm²).

Les espèces de pollen, de faibles profils polliniques sont *Olea europaea* (91,5 GP/cm²), *Junepirus oxycedrus* (33,5 GP/cm²) et *Pistacia lentiscus* (29,6 GP/cm²). Le nombre total annuel de grains de pollens captés dans cette station est évaluée à 6448,3 grains/cm².

Les **tableaux 13 et 14** présentent, au niveau des sites 1 et 2, dans un ordre décroissant les taxons les plus productifs de pollen durant l'année 2016.

Tableau 13 : Concentration pollinique annuelle des taxons remarquables et pourcentage au Site 1.

| N° | Espèces | Totaux | % |
|----|----------------------------|---------------|--------------|
| 1 | <i>Erica arborea</i> | 1978.3 | 34.93 |
| 2 | <i>Quercus suber</i> | 1232.1 | 21.75 |
| 3 | <i>Quercus coccefera</i> | 909.2 | 16.05 |
| 4 | <i>Pinus pinaster</i> | 160.2 | 2.82 |
| 5 | <i>Cytisus_type</i> | 130.7 | 2.30 |
| 6 | <i>Quercus canariensis</i> | 118.2 | 2.08 |
| 7 | <i>Myrtus comminus</i> | 103 | 1.81 |
| 8 | <i>Poaceae</i> | 94.6 | 1.67 |
| 9 | <i>Olea europaea</i> | 91.5 | 1.61 |
| 10 | <i>Asteraceae</i> | 66.3 | 1.17 |
| 11 | <i>Arbutus unedo</i> | 61.4 | 1.08 |
| 12 | <i>Cyperaceae</i> | 59.3 | 1.04 |
| 13 | <i>Smilax aspera</i> | 44.3 | 0.78 |
| 14 | <i>Junepirus oxycedrus</i> | 33.5 | 0.59 |
| 15 | <i>Pistacia lentiscus</i> | 29.6 | 0.52 |
| 16 | Autre | 413.3 | 7.29 |

Tableau 14 : Concentration pollinique annuelle des taxons remarquables et pourcentage au Site 2.

| N° | Espèces | Totaux | % |
|----|----------------------------|--------|-------|
| 1 | <i>Erica arborea</i> | 1313.9 | 18.16 |
| 2 | <i>Quercus suber</i> | 1190.3 | 16.45 |
| 3 | <i>Myrtus comminus</i> | 1067.6 | 14.76 |
| 4 | <i>Quercus coccifera</i> | 600.3 | 8.30 |
| 5 | <i>Quercus canariensis</i> | 404.4 | 5.59 |
| 6 | <i>Pinus pinaster</i> | 334.9 | 4.63 |
| 7 | <i>Ranunculus-type</i> | 326.8 | 4.52 |
| 8 | <i>Crataegus monogyna</i> | 214.2 | 2.96 |
| 9 | <i>Cytisus-type</i> | 176.6 | 2.44 |
| 10 | <i>Genista numidica</i> | 157.3 | 2.14 |
| 11 | <i>Rumex conglomeratus</i> | 135 | 1.86 |
| 12 | <i>Euphorbia-type</i> | 129.1 | 1.78 |
| 13 | <i>Veronica arvensis</i> | 124.1 | 1.71 |
| 14 | <i>Rosa sempervirens</i> | 119 | 1.64 |
| 15 | <i>Lotus corniculatus</i> | 118 | 1.63 |
| 16 | <i>Cistus-type</i> | 110.3 | 1.52 |
| 17 | <i>Olea europaea</i> | 108.7 | 1.50 |
| 18 | <i>Poaceae</i> | 71.5 | 0.99 |
| 19 | <i>Cardamine hirsute</i> | 59.1 | 0.81 |
| 20 | <i>Plantago-type</i> | 47.1 | 0.65 |
| 21 | <i>Calicotome-type</i> | 43.6 | 0.60 |
| 22 | <i>Medicago littoralis</i> | 41.2 | 0.57 |
| 23 | <i>Asteraceae</i> | 31.5 | 0.44 |
| 24 | <i>Cyperaceae</i> | 29.1 | 0.40 |

2.2. Station 2.

La station 2 compte 49 taxons appartenant à 27 familles dont un seul spécifique, c'est *Biscutella didyma*.

La station 2 est dominée aussi par une subéraie qui abrite les essences forestières suivantes : *Quercus coccefera*, *Quercus canariensis*, *Junepirus oxycedrus*, *Olea europaea* et *Pinus halepensis*. Ce dernier présente un faible profil pollinique, l'*Eucalyptus camaldulensis* forme une forêt à part, récemment implantée.

La subéraie recouvre un sous-bois très dense formé d'*Erica arborea*, *Cytisus*, *Calicotome*, *Pistacia lentiscus* et *Salix*-type.

Les herbacées dominantes sont représentées par les *Asteraceae*, les *Brassicaceae*, les *Poaceae*, *Daucus*-type et *Senecio leucanthemifolius*.

La station 2 est représentée par 3 sites (3,4 et 5). Elle compte 50 taxons dont trois spécifiques : *Clematis flammula*, *Paronychia argentea* et *Biscutella didyma*.

Parmi les espèces qui révèlent une faible dispersion pollinique, on note *Prunus avium*, *Olea europaea*, *Junepirus oxycedrus*, *Salix*-type, *Pinus halepensis* et *Pistacia lentiscus*.

Les espèces qui manifestent une bonne dispersion pollinique au niveau du site 3 sont *Quercus suber* (363,9 GP/cm²), *Quercus canariensis* (276,1 GP/cm²) et *Galactites tomentosa* (121,9 GP/cm²). Pour le site 4, on constate *Quercus coccefera* (1983,2 GP/cm²), *Quercus suber* (1124,3 GP/cm²) et *Eucalyptus camaldulensis* (588,8 GP/cm²). Les espèces du site 5 qui manifestent une bonne dispersion sont *Fraxinus angustifolia* (1054,8 GP/cm²), *Quercus suber* (344,8 GP/cm²) et *Quercus coccifera* (277,4 GP/cm²).

Un total annuel de 4133,7 GP/cm² est l'estimation de la pluie pollinique de cette station.

Les **tableaux 15, 16 et 17** présentent, au niveau des sites 3, 4 et 5, dans un ordre décroissant les taxons les plus productifs de pollen durant l'année 2016.

Tableau 15 : Concentration pollinique annuelle des taxons remarquables et pourcentage au **Site 3**.

| N° | Espèces | Totaux | % |
|----|-----------------------------|--------|-------|
| 1 | <i>Quercus suber</i> | 363.9 | 16.25 |
| 2 | <i>Quercus canariensis</i> | 276.1 | 12.33 |
| 3 | <i>Galactites tomentosa</i> | 121.9 | 5.44 |
| 4 | <i>Daucus</i> -type | 111.1 | 4.96 |
| 5 | <i>Clematis flammula</i> | 104.4 | 4.66 |
| 6 | <i>Quercus coccifera</i> | 93.4 | 4.17 |

| | | | |
|----|---------------------------------|------|------|
| 7 | <i>Cytisus</i> -type | 90.5 | 4.04 |
| 8 | <i>Eucalyptus camaldulensis</i> | 86.7 | 3.87 |
| 9 | <i>Marrubium</i> -type | 85.1 | 3.80 |
| 10 | <i>Calicotome</i> -type | 76 | 3.39 |
| 11 | <i>Crataegus azarolus</i> | 58.1 | 2.59 |
| 12 | <i>Prunus avium</i> | 58 | 2.58 |
| 13 | <i>Pinus halepensis</i> | 57.3 | 2.56 |
| 14 | <i>Asteraceae</i> | 55.3 | 2.47 |
| 15 | <i>Olea europaea</i> | 44.2 | 1.86 |
| 16 | <i>Plantago</i> -type | 37.1 | 1.66 |
| 17 | <i>Stellaria media</i> | 33.6 | 1.50 |
| 18 | <i>Sinapis arvensis</i> | 24.4 | 1.09 |
| 19 | <i>Pistacia lentiscus</i> | 22.8 | 1.02 |
| 20 | <i>Rubus ulmoflius</i> | 21.5 | 0.96 |
| 21 | <i>Erica arborea</i> | 17.4 | 0.78 |
| 22 | <i>Ranunculus</i> -type | 15.7 | 0.70 |

Tableau 16 : Concentration pollinique annuelle des taxons remarquables et pourcentage au Site 4.

| N° | Espèces | Totaux | % |
|----|---------------------------------|--------|-------|
| 1 | <i>Quercus coccefera</i> | 1983.2 | 31.12 |
| 2 | <i>Quercus suber</i> | 1124.3 | 14.64 |
| 3 | <i>Eucalyptus camaldulensis</i> | 588.8 | 9.24 |
| 4 | <i>Olea europaea</i> | 297 | 4.66 |
| 5 | <i>Myriophyllum</i> -type | 201.8 | 3.17 |
| 6 | <i>Poaceae</i> | 201.3 | 3.16 |
| 7 | <i>Junepirus oxycedrus</i> | 173.3 | 2.72 |
| 8 | <i>Pistacia lentiscus</i> | 156.5 | 2.46 |
| 9 | <i>Erica arborea</i> | 143.8 | 2.26 |
| 10 | <i>Quercus canariensis</i> | 132.6 | 2.08 |
| 11 | <i>Salix</i> -type | 103.3 | 1.62 |
| 12 | <i>Fraxinus angustifolia</i> | 62 | 0.97 |
| 13 | <i>Plantago</i> -type | 61.1 | 0.96 |

| | | | |
|----|-----------------------------------|-------------|-------------|
| 14 | <i>Amaranthaceae</i> | 55.2 | 0.87 |
| 15 | <i>Asteraceae</i> | 49.0 | 0.77 |
| 16 | <i>Potamegeton polygonifolius</i> | 41.7 | 0.65 |
| 17 | <i>Urtica</i> -type | 40.3 | 0.63 |
| 18 | <i>Smilax aspera</i> | 38.8 | 0.61 |
| 19 | <i>Brassicaceae</i> | 32.6 | 0.51 |
| 20 | <i>Prunus avium</i> | 23.7 | 0.37 |
| 21 | <i>Apiaceae</i> | 20.4 | 0.32 |

Tableau 17 : Concentration pollinique annuelle des taxons remarquables et pourcentage au Site 5.

| N° | Espèces | Totaux | % |
|----|----------------------------------|---------------|--------------|
| 1 | <i>Fraxinus angustifolia</i> | 1054.8 | 27.83 |
| 2 | <i>Quercus suber</i> | 344.8 | 9.10 |
| 3 | <i>Quercus coccifera</i> | 277.4 | 7.32 |
| 4 | <i>Asteraceae</i> | 229.7 | 6.06 |
| 5 | <i>Brassicaceae</i> | 221.6 | 5.85 |
| 6 | <i>Senecio leucanthemifolius</i> | 153.6 | 4.05 |
| 7 | <i>Poaceae</i> | 146.2 | 3.86 |
| 8 | <i>Hypochaeris radicata</i> | 127.8 | 3.37 |
| 9 | <i>Junepirus oxycedrus</i> | 121.4 | 3.20 |
| 10 | <i>Plantago</i> -type | 118.1 | 3.12 |
| 11 | <i>Erica arborea</i> | 103 | 2.72 |
| 12 | <i>Galactites tomentosa</i> | 100.7 | 2.66 |
| 13 | <i>Rumex conglomeratus</i> | 98.9 | 2.61 |
| 14 | <i>Biscutella didyma</i> | 92.4 | 2.44 |
| 15 | <i>Paronychia argentea</i> | 80.2 | 2.12 |
| 16 | <i>Pinus halepensis</i> | 77.7 | 2.05 |
| 17 | <i>Olea europaea</i> | 70.2 | 1.85 |
| 18 | <i>Daucus</i> -type | 57.8 | 1.53 |
| 19 | <i>Cynara cardunculus</i> | 50.4 | 1.33 |
| 20 | <i>Ranunculus</i> -type | 37 | 0.98 |
| 21 | <i>Quercus canariensis</i> | 32.8 | 0.87 |

| | | | |
|----|----------------------|-------------|-------------|
| 22 | <i>Salix</i> -type | 31.5 | 0.83 |
| 23 | <i>Alnus</i> -type | 30.2 | 0.80 |
| 24 | <i>Amaranthaceae</i> | 21.2 | 0.56 |

2.3. Station 3.

La station 3 compte 44 taxons appartenant à 26 familles dont 3 espèces spécifiques ; *Globularia alypum*, *Quercus ilex* et *Spartium junceum*.

Au niveau de cette station, *Pinus halepensis* et *Quercus ilex* ont enregistré les fréquences maximales. *Quercus ilex* est le chêne qui existe uniquement dans la station 3. Il caractérise donc l'étage semi-aride étant donné qu'il est très bien adapté à la sécheresse et aux sols pauvres et calcaires des régions nord-africaines.

Le sous-bois associé à ces forêts mixtes est clairsemé et formé de *Cistus*-types, *Phillyrea latifolia*, *Erica arborea* et *Pistacia lentiscus*. Le couvert végétal herbacé présente une grande diversité. On note plusieurs familles telles que les *Poaceae*, les *Apiaceae*, les *Asteraceae*, les *Amaranthaceae* et les *Brassicaceae*. On note, aussi, la présence d'espèces herbacées typiques à l'étage telles que : *Rosmarinus officinalis*, *Globularia alypum*, *Plantago*-type et *Artemisia*-type.

Les espèces qui manifestent une bonne dispersion pollinique sont *Cistus*-type (1561,8 GP/cm²) et *Pinus halepensis* (964,0 GP/cm²).

Nous avons récolté de l'atmosphère de cette station un total annuel de 4049,5 GP/cm².

Les **tableaux 18, 19 et 20** présentent, au niveau des sites 6, 7 et 8, dans un ordre décroissant les taxons les plus productifs de pollen durant l'année 2016.

Tableau 18 : Concentration pollinique annuelle des taxons remarquables et pourcentage au **Site 6**.

| N° | Espèces | Totaux | % |
|----|---------------------------|---------------|--------------|
| 1 | <i>Cistus</i> -type | 1440.9 | 38.57 |
| 2 | <i>Quercus ilex</i> | 343.6 | 9.20 |
| 3 | <i>Pinus halepensis</i> | 230.5 | 6.17 |
| 4 | <i>Pistacia lentiscus</i> | 209.0 | 5.59 |
| 5 | <i>Poaceae</i> | 196.7 | 5.26 |
| 6 | <i>Asteraceae</i> | 148.0 | 3.96 |
| 7 | <i>Cupressaceae</i> | 66.1 | 1.77 |

| | | | |
|----|-------------------------------|-------------|-------------|
| 8 | <i>Juniperus oxycedrus</i> | 60.1 | 1.61 |
| 9 | <i>Globularia alypum</i> | 58.8 | 1.53 |
| 10 | <i>Plantago</i> -type | 55.7 | 1.49 |
| 11 | <i>Urtica</i> -type | 54.0 | 1.45 |
| 12 | <i>Spartium junceum</i> | 50.2 | 1.34 |
| 13 | <i>Reseda alba</i> | 47.8 | 1.28 |
| 14 | <i>Amaranthaceae</i> | 42.5 | 1.14 |
| 15 | <i>Ranunculus</i> -type | 41.3 | 1.11 |
| 16 | <i>Phillyrea latifolia</i> | 34.3 | 0.92 |
| 17 | <i>Betulaceae</i> | 31.3 | 0.84 |
| 18 | <i>Rubus ulmoflius</i> | 27.1 | 0.73 |
| 19 | <i>Rosmarinus officinalis</i> | 26.3 | 0.70 |
| 20 | <i>Potamegeton</i> -type | 22.6 | 0.60 |
| 21 | <i>Brassicaceae</i> | 20.2 | 0.54 |
| 22 | <i>Artemisia</i> -type | 16.0 | 0.43 |

Tableau 19 : Concentration pollinique annuelle des taxons remarquables et pourcentage au Site 7.

| N° | Espèces | Totaux | % |
|----|-------------------------------|---------------|--------------|
| 1 | <i>Cistus</i> -type | 1561.8 | 31.95 |
| 2 | <i>Pinus halepensis</i> | 467.2 | 9.56 |
| 3 | <i>Asteraceae</i> | 453.0 | 9.27 |
| 4 | <i>Quercus ilex</i> | 436.9 | 8.94 |
| 5 | <i>Phillyrea latifolia</i> | 308.3 | 6.31 |
| 6 | <i>Poaceae</i> | 166.4 | 3.40 |
| 7 | <i>Olea europaea</i> | 164.1 | 3.56 |
| 8 | <i>Rosmarinus officinalis</i> | 90.8 | 1.86 |
| 9 | <i>Apiaceae</i> | 89.9 | 1.84 |
| 10 | <i>Brassicaceae</i> | 78.4 | 1.60 |
| 11 | <i>Ranunculus</i> -type | 76.2 | 1.56 |
| 12 | <i>Plantago</i> -type | 61.8 | 1.26 |
| 13 | <i>Globularia alypum</i> | 55.1 | 1.13 |
| 14 | <i>Spartium junceum</i> | 47.7 | 0.98 |

| | | | |
|----|----------------------------------|------|------|
| 15 | <i>Amaranthaceae</i> | 47.6 | 0.97 |
| 16 | <i>Myrtus comminus</i> | 46.6 | 0.95 |
| 17 | <i>Junepirus oxycedrus</i> | 45.3 | 0.93 |
| 18 | <i>Pistacia lentiscus</i> | 42.3 | 0.87 |
| 19 | <i>Centaurea napifolia</i> | 30.3 | 0.62 |
| 20 | <i>Senecio leucanthemifolius</i> | 24.4 | 0.50 |
| 21 | <i>Rubus ulmoflius</i> | 20.5 | 0.42 |
| 22 | <i>Erica arborea</i> | 19.6 | 0.40 |
| 23 | <i>Artemisia-type</i> | 16.7 | 0.34 |

Tableau 20 : Concentration pollinique annuelle des taxons remarquables et pourcentage au Site 8.

| N° | Espèces | Totaux | % |
|----|-------------------------------|--------|-------|
| 1 | <i>Pinus halepensis</i> | 964.0 | 27.35 |
| 2 | <i>Quercus ilex</i> | 486.2 | 13.80 |
| 3 | <i>Cistus-type</i> | 172.4 | 4.89 |
| 4 | <i>Erica arborea</i> | 142.9 | 4.05 |
| 5 | <i>Poaceae</i> | 133.6 | 3.79 |
| 6 | <i>Globularia alypum</i> | 129.5 | 3.67 |
| 7 | <i>Spartium junceum</i> | 104.1 | 2.95 |
| 8 | <i>Cupressaceae</i> | 93.2 | 2.64 |
| 9 | <i>Pistacia lentiscus</i> | 76.1 | 2.16 |
| 10 | <i>Olea europaea</i> | 66.2 | 1.88 |
| 11 | <i>Phillyrea latifolia</i> | 60.1 | 1.70 |
| 12 | <i>Amaranthaceae</i> | 38.1 | 1.08 |
| 13 | <i>Smilax aspera</i> | 34.3 | 0.97 |
| 14 | <i>Junepirus oxycedrus</i> | 34.1 | 0.96 |
| 15 | <i>Plantago-type</i> | 32.4 | 0.92 |
| 16 | <i>Brassicaceae</i> | 30.5 | 0.86 |
| 17 | <i>Astragalus lusitanicus</i> | 22.4 | 0.64 |
| 18 | <i>Apiaceae</i> | 13.6 | 0.39 |
| 19 | <i>Asteraceae</i> | 13.2 | 0.37 |

2.4. Les groupes d'assemblages polliniques.

Les groupements végétaux s'organisent, à l'intérieur de chaque étage bioclimatique, en différents écosystèmes en fonction de facteurs secondaires tels que la température, la pluviométrie, le type de sol etc. On distingue des groupements de taxons dominants qui forment la forêt. Les groupements de transition entre les stations sont représentés par les taxons communs de moindre importance pollinique.

On note, aussi, les groupements à proximité de la forêt qui sont formés, principalement de taxons herbacés. Enfin, des taxons de faibles représentations polliniques indiquent les taxons qui proviennent de loin.

Les **tableaux 13-20** montrent au niveau de chaque station les différents groupements d'assemblage.

La station 1 est caractérisée par des assemblages polliniques formés par 7 taxons, dominés par *Erica arborea* suivi par *Quercus suber*.

La station 2 se distingue par un fort assemblage pollinique formé de 10 taxons dominés par *Quercus coccofera*, *Quercus suber* et *Eucalyptus camaldulensis*.

La station 3 est déterminée par un faible assemblage pollinique formé de 4 taxons seulement. Il s'agit de *Cistus-type*, *Pinus halepensis*, *Quercus ilex* et *Pistacia lentiscus*.

Les groupements de transition à proximité immédiate de la forêt se distinguent par une importante représentation du pollen de *Poaceae*.

3. Les diagrammes polliniques.

En utilisant le logiciel Psimpoll sur les données palynologiques acquit, nous avons obtenu les diagrammes suivants :

3.1. Site 1.

Le diagramme pollinique présenté sur la **figure 16** met en évidence une dominance marquée des pollens arboréens (**AP**) tout au long de l'année, avec un maximum entre mars et juillet, période correspondant à la floraison des principales espèces forestières.

Les taxons les plus représentatifs sont *Erica arborea*, très abondante au printemps (pic en mars), ainsi que *Quercus suber* et *Quercus coccifera*, dont la floraison s'étend de mai à juillet. La présence ponctuelle de *Myrtus communis* et *Olea europaea* confirme l'existence d'un maquis méditerranéen dense et diversifié.

Les pollens non arboréens (NAP), tels que les *Poaceae*, *Asteraceae* et *Plantago*-type, restent faiblement représentés, indiquant une végétation herbacée peu développée. La présence de pollens tels que *Rumex conglomeratus* et *Ranunculus*-type souligne l'importance des zones humides et des sols rudéraux. La baisse de la production pollinique entre septembre et février traduit la période de repos végétatif caractéristique de la saison froide.

L'absence de données observée durant les mois de mars et février s'explique par la détérioration des bidons par les animaux, ayant entraîné l'impossibilité de collecter et d'enregistrer les échantillons polliniques pour ces périodes.

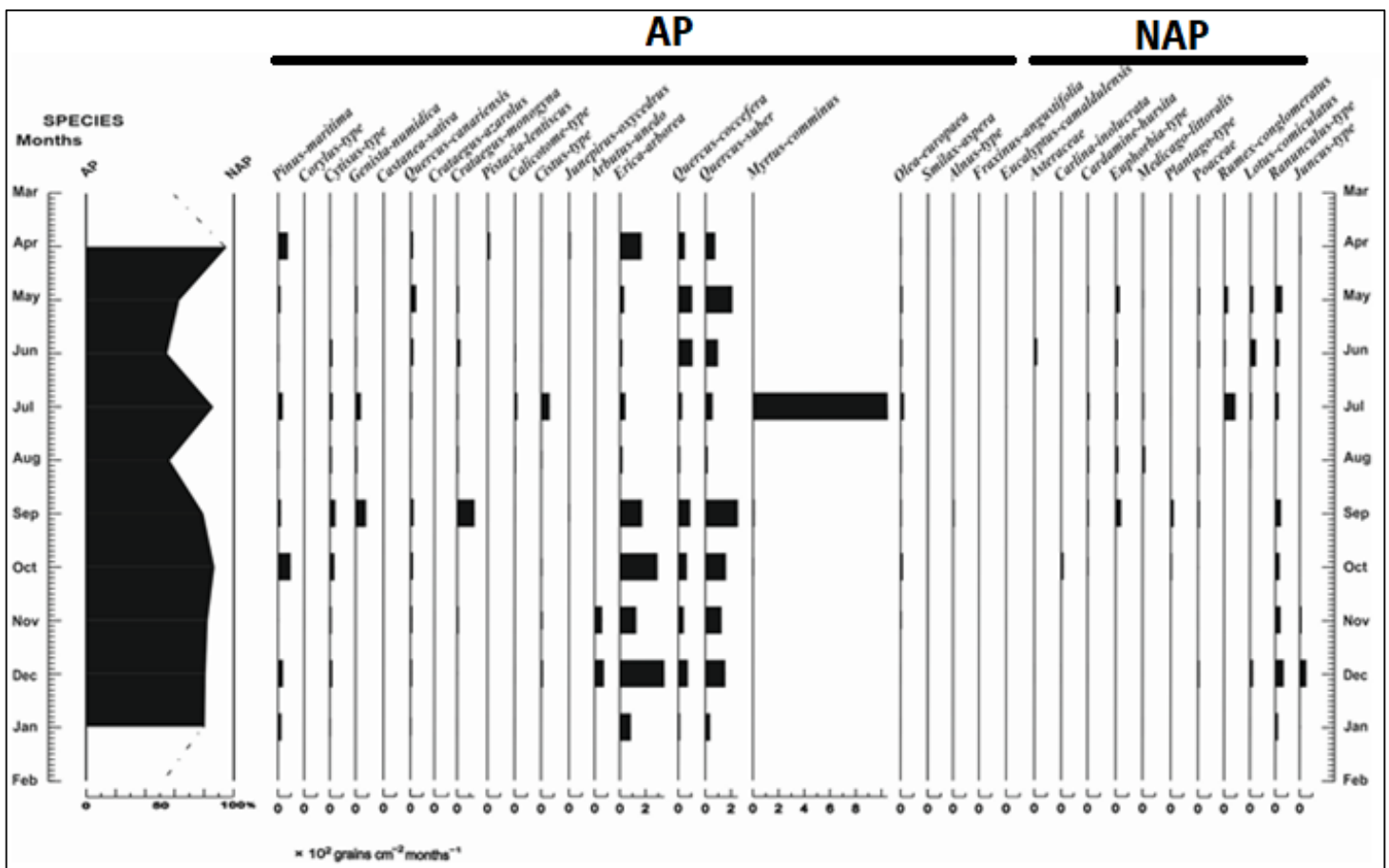


Figure 17 : Diagramme pollinique du site 2 (Station Edough).

3.3. Site 3.

Le diagramme pollinique (Fig. 18) montre une dominance nette des pollens arboréens (AP) par rapport aux pollens non arboréens (NAP), traduisant un paysage à forte couverture forestière. Les pics d'abondance pollinique se concentrent entre avril, juillet et août, période correspondant à la floraison printanière et estivale des principales espèces ligneuses.

Les taxons les plus représentatifs sont *Quercus suber*, *Quercus coccifera*, *Erica arborea*, *Quercus canariensis* et *Juniperus oxycedrus*, témoignant de la présence d'une chênaie mixte à chêne liège et kermès.

Les *Poaceae*, *Asteraceae* et *Plantago*-type apparaissent faiblement, indiquant une faible ouverture du milieu et une végétation herbacée limitée. Le faible signal pollinique entre novembre et février correspond à la phase de repos végétatif hivernal, où l'activité florale est minimale.

Le vide présenté dans le diagramme durant les mois mai et septembre est dû à la destruction des bidons par les animaux, ce qui a empêché la collecte et l'enregistrement des données polliniques pour ces périodes.

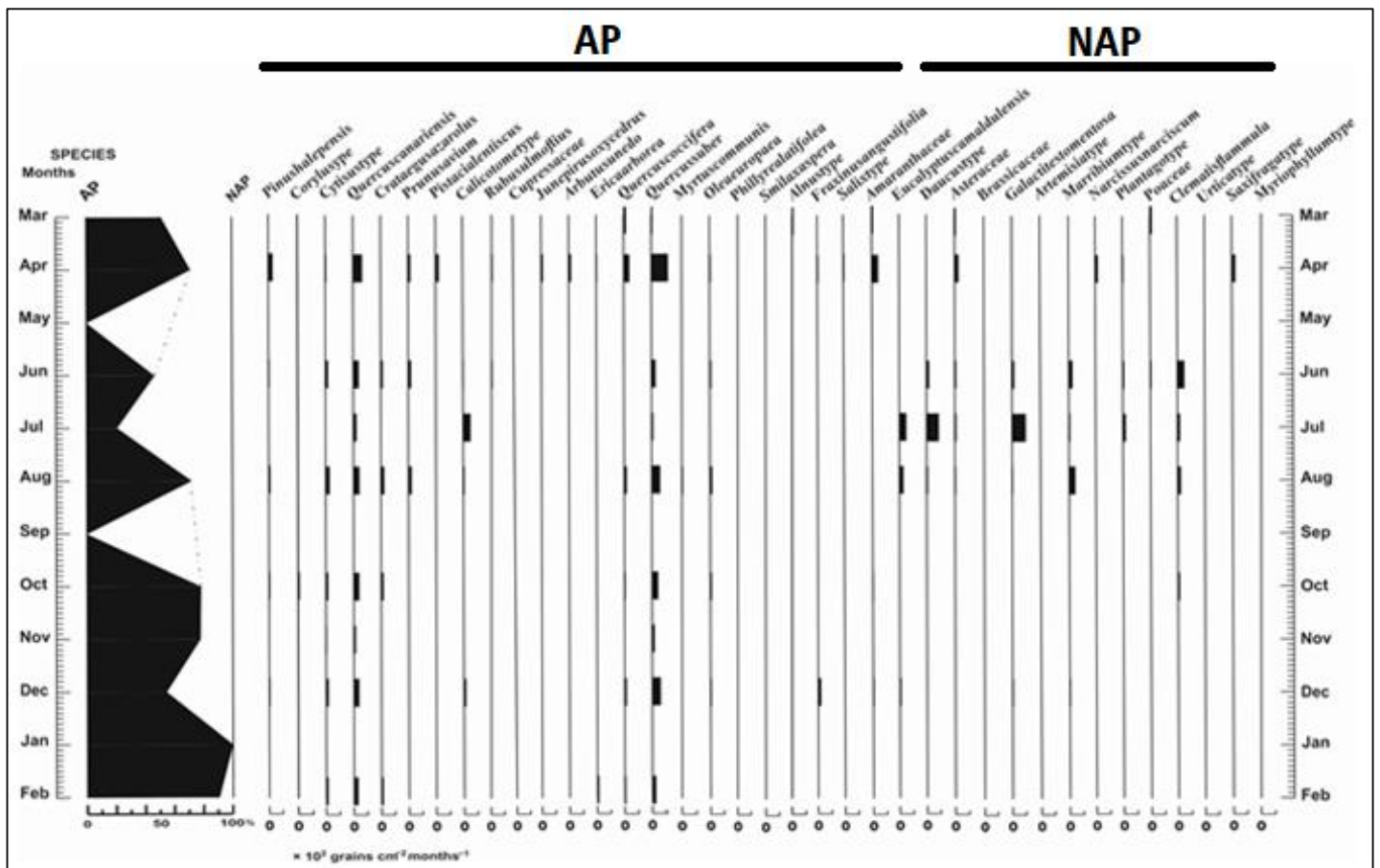


Figure 18 : diagramme pollinique du site 3 (Station Mechrouha).

3.4. Site 4.

Le diagramme pollinique (**Fig. 19**) révèle une dynamique saisonnière marquée avec une forte activité pollinique de mars à octobre, culminant en avril.

Les pollens arborés (**AP**) dominent au printemps, principalement représentés par *Quercus suber* (pic en avril à juin), *Pinus halepensis* (avril), *Cupressus sempervirens* et *Juniperus* (mars), traduisant la présence de formations forestières et de maquis méditerranéens.

D'autres (**AP**) comme *Olea europaea*, *Myrtus communis* et *Eucalyptus camaldulensis* témoignent d'une végétation mixte naturelle et anthropique.

Les pollens non arborés (**NAP**), très présents entre mars et juin, incluent *Poaceae* (mars-mai) et *Plantago* (mai).

Le manque de données constaté pour les mois de juillet résulte de la dégradation des bidons par les animaux, ce qui a empêché la récupération et l'analyse des échantillons polliniques correspondants.

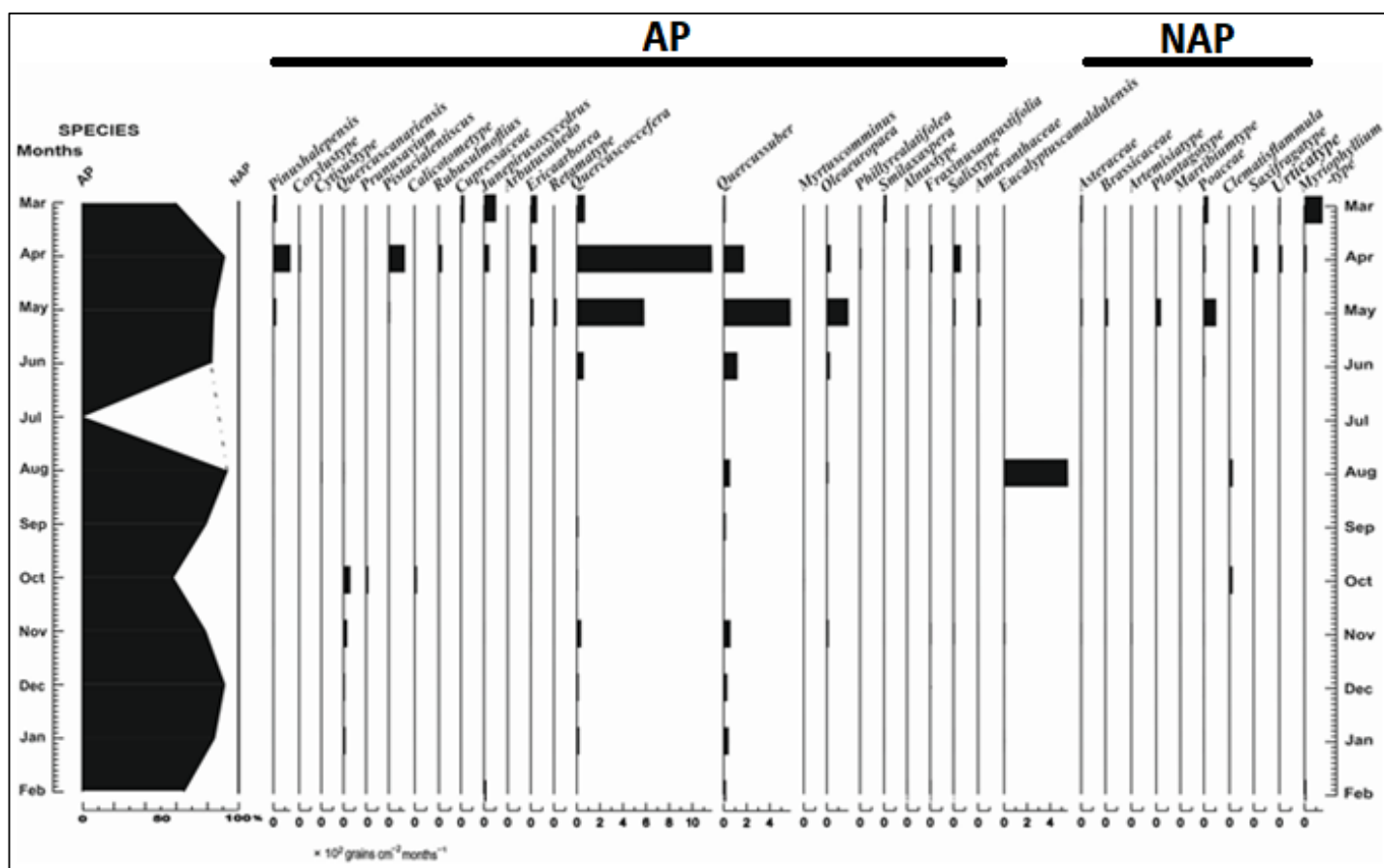


Figure 19 : Diagramme pollinique du site 4 (Station Mechroha).

3.5. Site 5.

Le diagramme pollinique (**Fig. 20**) montre une dominance marquée du pollen arboré (**AP**), principalement représenté par *Fraxinus angustifolia*, qui atteint un pic exceptionnel en septembre. Cette espèce domine largement le spectre pollinique du site, notamment en automne. Les autres **AP** comme *Olea europaea* et *Quercus suber* sont présents de façon ponctuelle.

Les pollens non arborés (**NAP**) sont faiblement représentés, avec des contributions dispersées d'*Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Poaceae*, et *Plantago*, entre mai et juillet. La période estivale (juillet-août) est quasiment stérile à cause de l'absence du bidon. L'activité pollinique reprend en automne, portée principalement par le frêne.

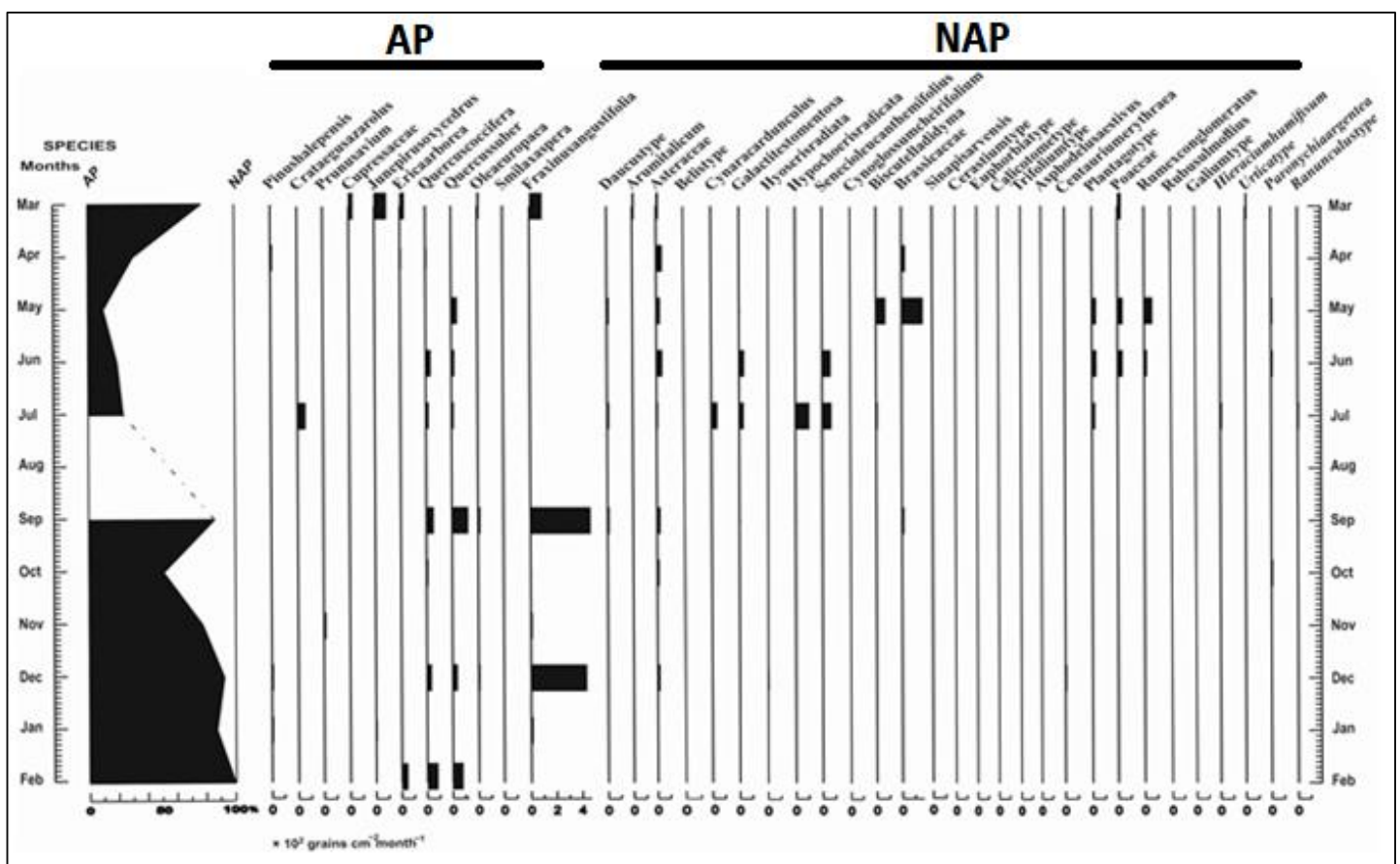


Figure 20 : Diagramme pollinique du site 5 (Station Mechrouha).

3.6. Site 6.

Le diagramme pollinique (**Fig. 21**) montre une prédominance des pollens arborés (**AP**) avec une activité florale concentrée principalement au printemps, de mars à juin, et une remontée en hiver, de novembre à février. Les taxons dominants sont *Cistus-type*, *Cupressaceae*, *Juniperus*, *Quercus ilex*, *Rosmarinus officinalis* et *Olea europaea*.

Les pollens non arborés (NAP) sont moins abondants et comprennent *Artemisia*, *Asteraceae*, *Poaceae*, *Brassicaceae*, *Centaurea napifolia*, *Plantago*, *Urtica*-type et *Amaranthaceae*. Le pic printanier correspond à une période de floraison intense avant la sécheresse estivale, tandis que la reprise hivernale reflète la capacité d'adaptation des espèces locales.

L'absence de données pour les mois d'avril, juillet, septembre et octobre est due à la détérioration des bidons par les animaux, rendant impossible la collecte et l'analyse des échantillons polliniques de ces périodes,

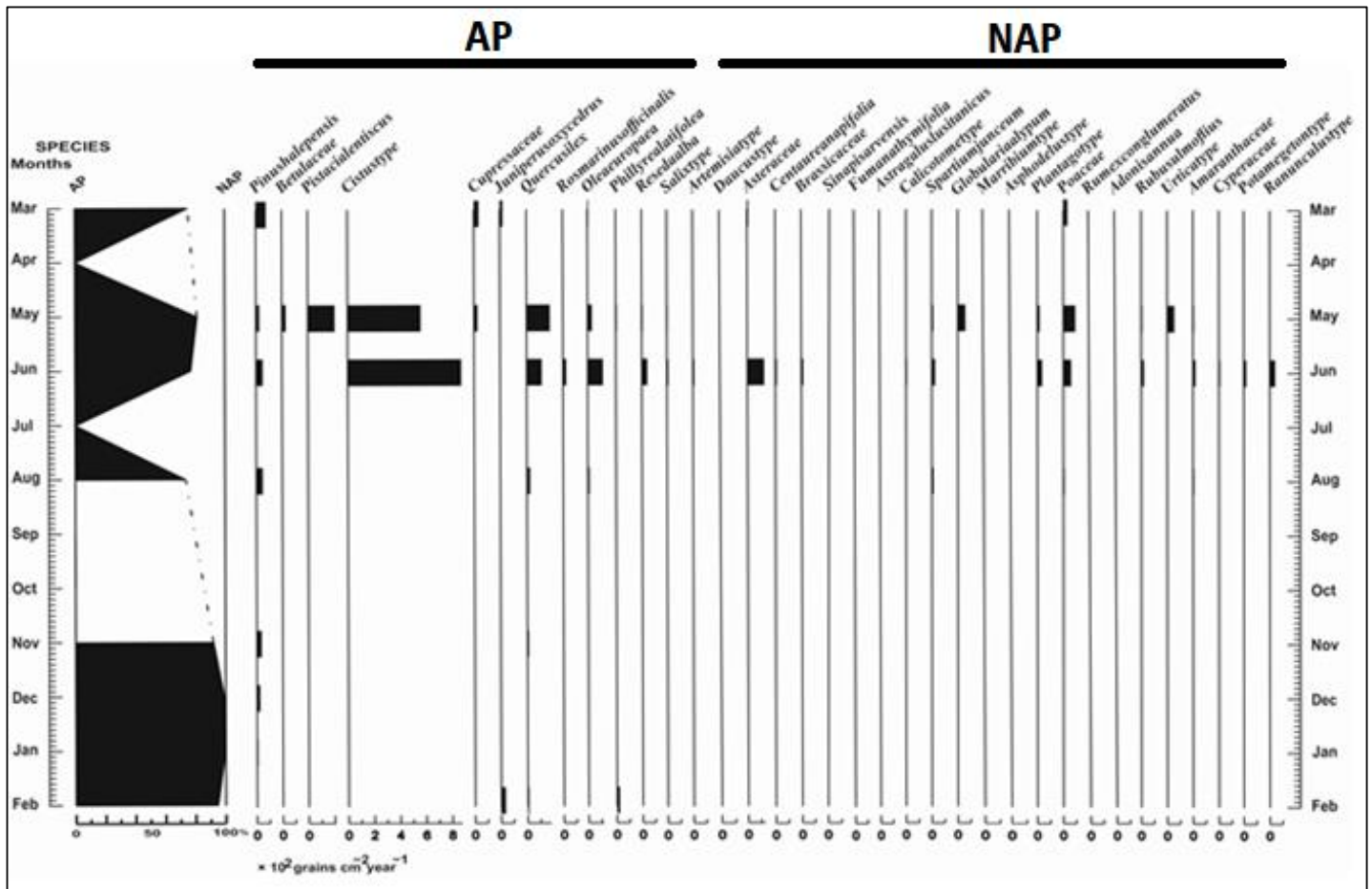


Figure 21 : Diagramme pollinique du site 6 (Station Zaarouria).

3.7. Site 7.

Le diagramme pollinique (Fig. 22) montre une forte activité pollinique entre mars et juillet. Les pollens arborés (AP) dominent avec des espèces comme *Cistus type*, *Phyllirea latifolia*, *Quercus ilex*, ainsi que *Pinus halepensis* et les *Cupressaceae* qui fleurissent majoritairement entre mars et juin.

La production de pollen arboré culmine au printemps. En parallèle, les pollens non-arborés (NAP), notamment les *Asteraceae* et les *Poaceae*, apparaissent un peu plus tard, principalement de mai à juillet, avec un pic durant les mois chauds.

De septembre à février, la production de pollen, qu'elle soit arborée ou non-arborée, est très faible.

Le manque de données constaté pour les mois août et septembre résulte de la dégradation des bidons par les animaux, ce qui a empêché la récupération et l'analyse des échantillons polliniques correspondants.

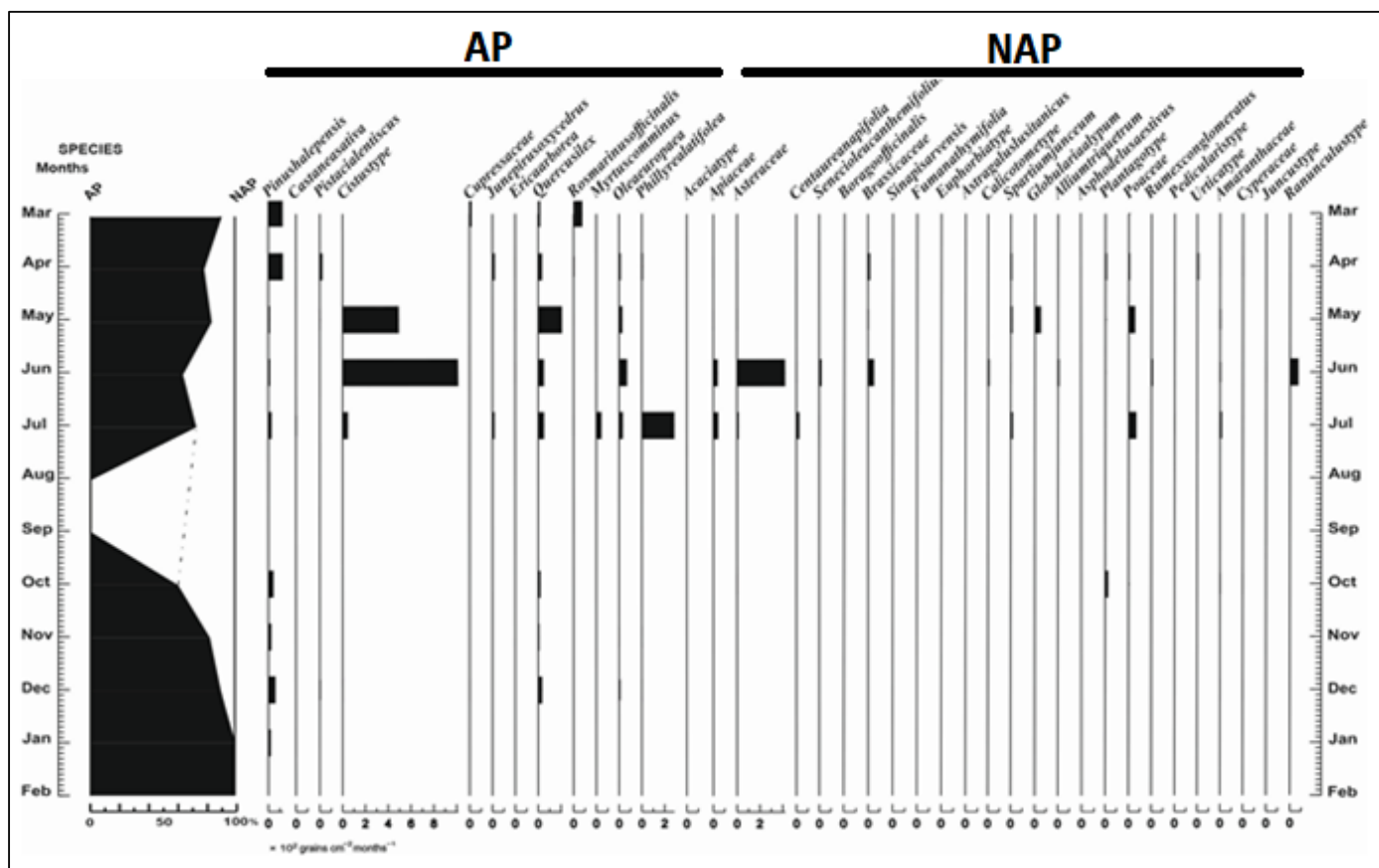


Figure 22 : Diagramme pollinique du site 7 (Station Zaarouria).

3.8. Site 8.

Le diagramme pollinique (Fig. 23) montre une production pollinique annuelle caractéristique d'un climat semi-aride, avec une activité concentrée sur plusieurs périodes distinctes.

La proportion de pollens arborés (AP) est élevée tout au long de l'année, représentant la majorité du pollen total, avec un léger pic au printemps (mars-avril). Parmi les espèces dominantes, on note la présence marquée de *Pinus halepensis*, qui apparaît de mars à mai et en

décembre, ainsi que de *Pistacia lentiscus* et *Cistus*-type, actives surtout au printemps. *Quercus ilex* et *Rosmarinus officinalis* sont également bien représentés, avec une floraison étalée entre le printemps et l'automne.

Les pollens non-arborés (NAP), comme ceux des *Poaceae*, *plontago*-type et *Globularia alypum*, montrent des présences ponctuelles, notamment en période printanière, indiquant une floraison éparse des herbacées. L'absence presque totale des résultats en période estivale reflète destruction des bidons par les animaux.

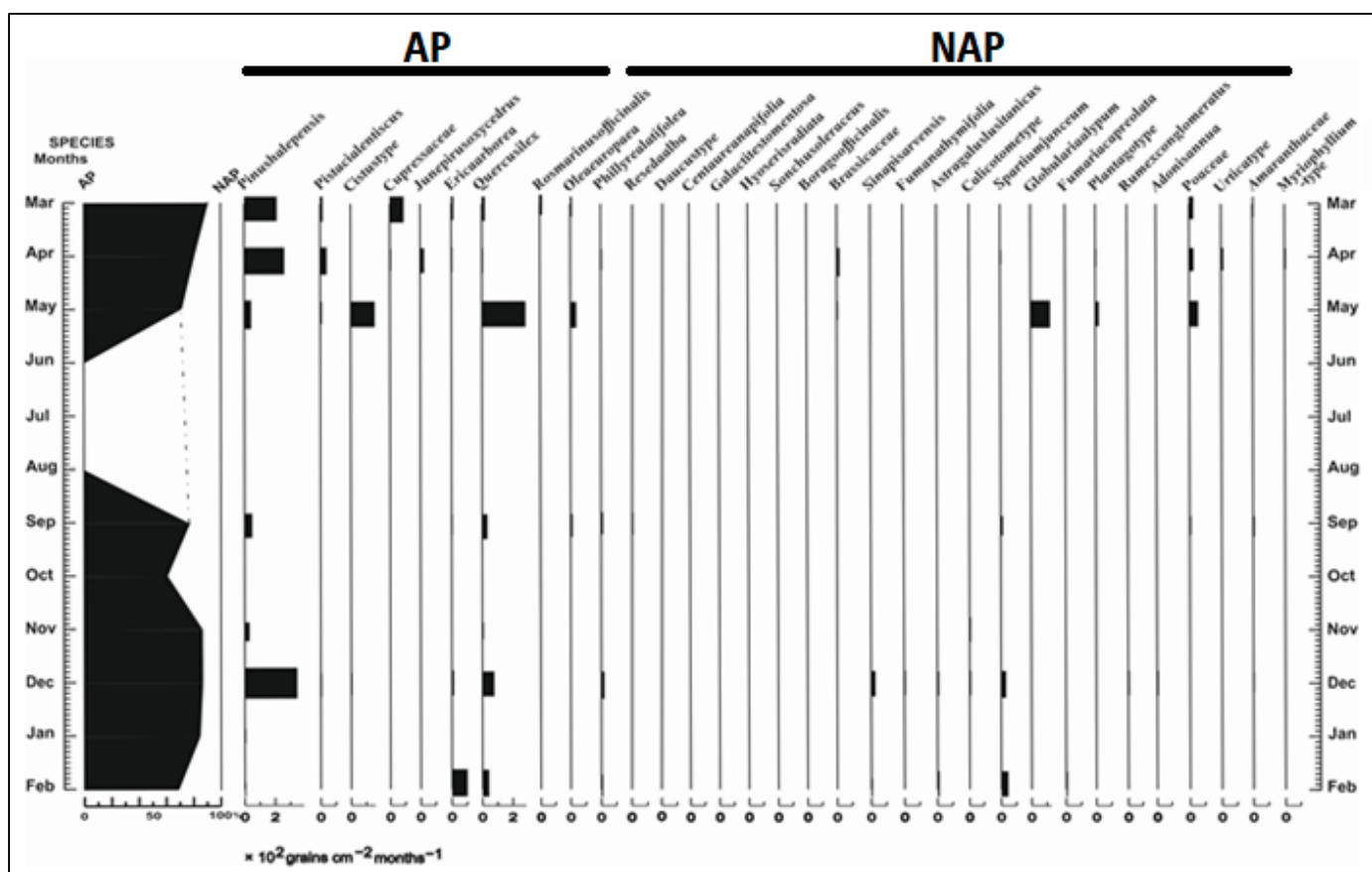


Figure 23 : Diagramme pollinique du site 8 (Station Zaarouria).

4. Détermination de l'étagement de la végétation.

Le **tableau 21**, synthétise l'étagement altitudinal de la végétation dans les régions étudiées. Il met en relation l'intervalle d'altitude, les caractéristiques climatiques associées et la végétation typique observée à chaque étage. Cette présentation permet de visualiser comment l'altitude et le climat influencent la distribution des formations végétales, depuis les forêts humides montagnardes jusqu'aux maquis semi-arides exposés.

Tableau 21 : Étagement altitudinal de la végétation dans les régions étudiées.

| Étage / Intervalle d'altitude | Caractéristiques climatiques | Végétation typique |
|--|---|---|
| Humide / Montagnard supérieur (> 700–800 m selon microclimat) | Précipitations élevées, températures modérées, forte humidité. | Forêts denses de <i>Quercus suber</i> , <i>Quercus faginea</i> , <i>Pinus pinaster</i> , strates arbustives et herbacées riches, fougères. |
| Subhumide / Montagnard moyen (≈ 600–900 m) | Précipitations modérées, températures plus fraîches qu'en plaine. | Chênaies moins denses, présence de <i>Fraxinus</i> , <i>Crataegus</i> , maquis arbustif clairsemé, herbacées et geophytes. |
| Semi-aride / Montagnard inférieur ou moyenne montagne sèche (> 900 m mais exposé) | Précipitations faibles à modérées, températures variables. | Maquis xérophile à <i>Quercus ilex</i> , <i>Rosmarinus</i> , <i>Cistus</i> , graminées résistantes à la sécheresse (<i>Ampelodesmos</i>). |

5. Résultats de l'analyse statistique.

La **figure 24** présente les résultats de l'Analyse en Composantes Principales (ACP), qui sépare clairement les taxons selon leurs stades bioclimatiques. Les taxons typiques des étages humides et subhumides sont présentés à droite, tandis que ceux typiques du stade semi-aride sont à gauche.

L'axe 1 explique 34,4% de la variance et représente un gradient bioclimatique. Les sites 1 et 2, représentant l'étage bioclimatique humide, se situent du côté positif, tandis que les sites 3, 4 et 5, représentant l'étage bioclimatique subhumide, se trouvent également du côté positif. Les sites 6, 7 et 8 représentent l'étage bioclimatique semi-aride et se situent du côté négatif.

Les angles fermés formés par les flèches des différents sites indiquent que ces variables sont assez bien corrélées entre elles. En revanche, l'angle droit formé par les deux groupes de sites indique que ces variables sont indépendantes les unes des autres.

Les taxons qui sont proches de l'axe 1 (*Eucalyptus*, *Fraxinus*, *Myrtus* et *Quercus canariensis*) sont fortement corrélés avec cet axe et sont donc considérés comme les points les plus intéressants.

L'axe 2 explique 26,6% de la variance, et les trois sites représentant le climat semi-aride sont concentrés du côté négatif. Les sites 6 et 7 sont regroupés, tandis que le site 8 est dispersé.

Les taxons de buissons incluent *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea latifolia*, *Olea europaea*, *Cytisus*-type, *Eucalyptus*, *Fraxinus*, *Myrtus* et *Quercus canariensis*. Les taxons herbacés incluent *Spartium junceum*, *Globularia alypum*, *Asteraceae* et *Poaceae*.

L'interprétation des taxons dont le pollen est peu dispersé ne peut être faite avec confiance. Plusieurs taxons regroupés près du centre correspondent à des communautés de transition. Ceux du côté positif de l'axe 1, tels que *Erica arborea*, *Quercus coccifera* et *Quercus suber*, ont des fréquences significatives, ce qui indique qu'ils sont bien transportés par le vent et que leurs environnements sont ouverts.

Les taxons bien transportés par le vent dans l'espace semi-aride comprennent *Pinus halepensis*, *Cistus*-type, et *Quercus ilex*.

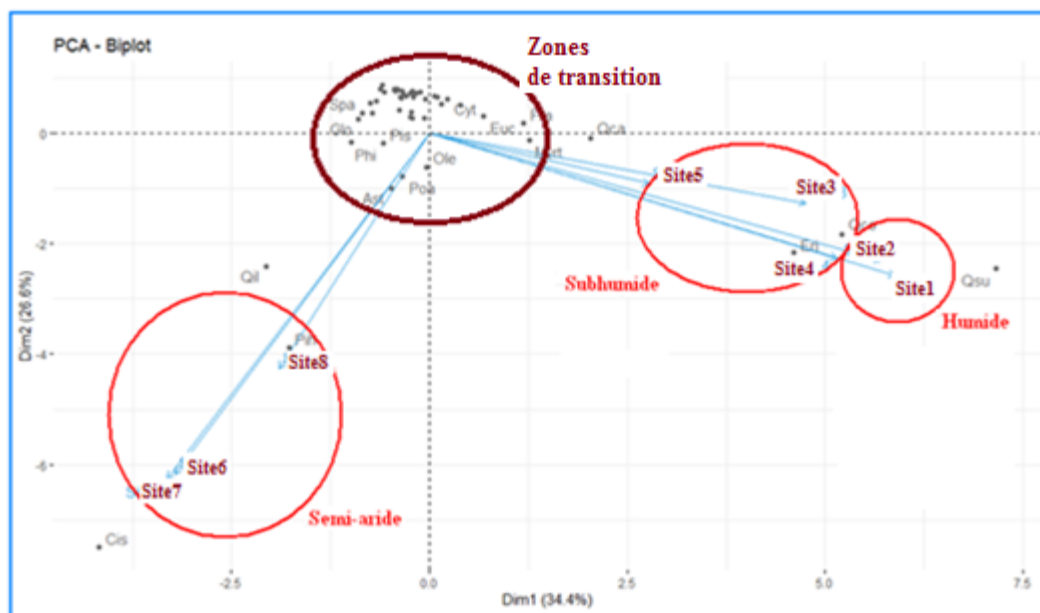


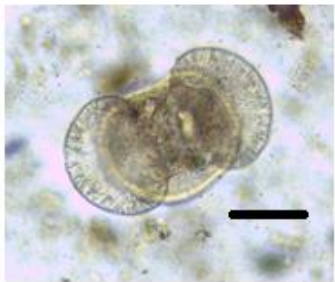
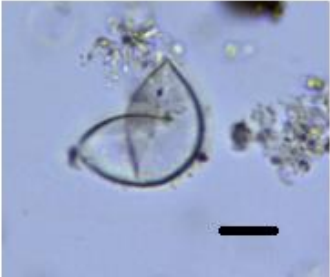

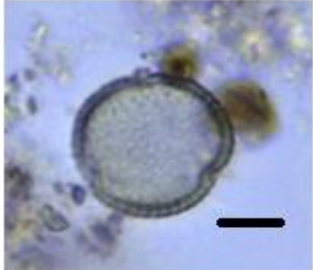
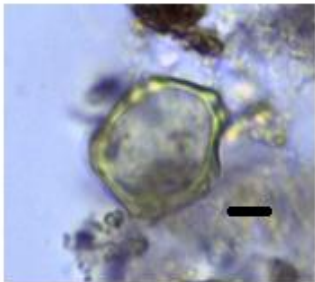
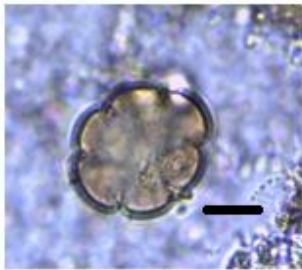

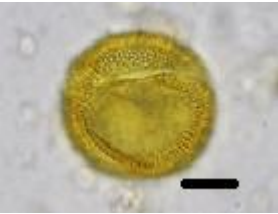
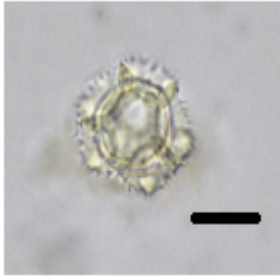



Figure 24 : Résultats de l'analyse statistique, ACP : analyse en composantes principales, Dim1 : axe 1, Dim2 : axe 2, Spa: *Spartum*, Glo: *Globularia*, Phi: *Phillyrea*, Pis: *Pistacia*, Cyt: *Cytisus*, Euc: *Eucalyptus*, Fra: *Fraxinus*, Ole: *Olea*, Myrt: *Myrtus*, Qca: *Quercus canariensis*, Ast: *Asteraceae*, Poa: *Poaceae*, Qil: *Quercus ilex*, Pih: *Pinus halepensis*, Cis: *Cistus*, Eri: *Erica*, Qco: *Quercus coccifera*, Qsu: *Quercus suber*,

6. Planche photomicrographique des principaux types polliniques identifiés.

Au cours de l'observation microscopique des échantillons polliniques recueillis dans les différentes stations d'étude, plusieurs types de grains de pollen ont été identifiés.

La planche ci-dessous illustre quelques exemplaires représentatifs des principales espèces identifiées au microscope optique (Tab. 22).

Tableau 22 : Planche illustrant les grains de pollen des principales espèces identifiées au microscope $\times 400$.

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Pollen de <i>Pinus halepensis</i> | Pollen de <i>Juniperus oxcedrus</i> | Pollen d' <i>Erica arborea</i> |
|  |  |  |
| Pollen d' <i>Olea europaea</i> | Pollen d' <i>Alnus</i> -type | Pollen de <i>Rosmarinus officinalis</i> |
|  |  |  |
| Pollen de <i>Quercus ilex</i> | Pollen de <i>Quercus suber</i> | Pollen d' <i>Asterceae</i> |
|  |  |  |
| Pollen de <i>Plontago</i> -type | Pollen d' <i>Eucalyptus</i> -type | Pollen d' <i>Alnus</i> -type |

CHAPITRE V

Discussion, conclusion et perspectives

Discussion.

Globalement, les trois étages bioclimatiques étudiés, présentent des caractéristiques différentes. En effet, la végétation de chaque région est le résultat d'un processus de sélection sous l'action du climat, des conditions édaphiques, topographiques et anthropiques (**Parmentier et al., 2005**).

La composition floristique recensée met clairement en évidence un gradient écologique marquant les étages bioclimatiques humide, subhumide et semi-aride du Nord-est algérien.

Dans les zones humides, la dominance d'espèces mésophiles et acidophiles telles que *Quercus suber*, *Quercus coccefera*, *Arbutus unedo*, *Erica arborea* et *Myrtus communis* traduit des conditions climatiques fraîches et une forte disponibilité hydrique, caractéristiques des maquis à chêne-liège développés sur sols lessivés et acides.

Ces formations, bien documentées dans les travaux récents menés sur le massif de l'Edough, témoignent d'un écosystème forestier équilibré et faiblement perturbé (**Lakehal et al., 2023**).

L'étage subhumide, quant à lui, présente une flore de transition dominée par *Quercus suber*, *Quercus coccefera*, *Fraxinus angustifolia*, *Daphne gnidium*, *Calicotome villosa* et *Rubus ulmifolius*, traduisant un couvert végétal encore dense mais plus ouvert sous l'effet de perturbations naturelles ou anthropiques modérées.

Ce type de végétation, typique des zones de contact entre forêts humides et matorrals, illustre la coexistence d'espèces mésophiles et xérophiles adaptée à des sols relativement profonds et à une pluviométrie intermédiaire.

Enfin, l'étage semi-aride est dominé par des taxons xérophiles et thermophiles tels que *Quercus ilex*, *Rosmarinus officinalis*, *Cistus monspeliensis*, *Calicotome spinosa*, *Ritama retam* et *Tetraclinis articulata*, bien adaptés à la sécheresse, aux sols pierreux et à l'ensoleillement intense.

Ces groupements végétaux, qui traduisent la résilience des écosystèmes méditerranéens face aux stress hydriques, sont comparables aux matorrals du Maghreb oriental décrits par **Khatibet et al., (2022)**.

Les observations récentes montrent également que *Quercus suber*, espèce emblématique des étages humides et subhumides, est particulièrement sensible à la diminution des précipitations et aux hausses de température, ce qui pourrait entraîner une régression progressive de ses peuplements sous l'effet du changement climatique (**Laala et al., 2021**).

Par ailleurs, l'amplification des feux de forêt et des pressions anthropiques favorise la prolifération d'espèces pionnières et pyrophiles telles que *Ampelodesmos mauritanicus* et diverses *Poaceae*, contribuant à l'installation de maquis ouverts et à la dégradation du couvert forestier (Vilà *et al.*, 2001 ; Lioret *et al.*, 2003).

Enfin, la présence d'espèces hygrophiles comme *Polypodium vulgare* et *Selaginella denticulata* souligne l'existence de microhabitats localement humides au sein même de ces étages, confirmant la complexité et la mosaïque écologique qui caractérisent les paysages végétaux méditerranéens du Nord-Est algérien (Räsänen *et al.*, 2004).

Les résultats palynologiques montrent que dans la station 1 (étage humide), *Erica arborea* domine largement le spectre pollinique (4615,3 GP/cm² au site 1, 1313,9 GP/cm² au site 2) aux côtés de *Quercus suber* et *Quercus coccifera*, tandis que les pollens de *Olea europaea*, *Juniperus oxycedrus* ou *Pistacia lentiscus* restent à des valeurs relativement faibles.

Cette configuration rejoint les observations faites en Corse par Reille (1992), où *Erica arborea* est parfois le seul taxon régional efficace en pollen jusqu'à des altitudes modérées, et où les forêts de *Quercus ilex* semblent largement postérieures ou liées à des perturbations humaines.

De même, dans les analogues modernes méditerranéens des îles Baléares, ont montré que les assemblages polliniques peuvent distinguer trois grands types de végétation ; bois de chêne-vert, maquis/garrigues et milieux ouverts ; et que *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Olea europaea*, *Cistus*-type ou *Erica arborea* sont des indicateurs clés de ces formations dans un paysage mosaïque Servera-Vives *et al.*, (2022).

Le passage à la station 3, où *Pinus halepensis* et *Quercus ilex* deviennent dominants avec un sous-bois plus clairsemé et une forte diversité herbacée, est bien en accord avec ces analogues méditerranéens.

En outre, la richesse pollinique (136 taxons) est bien supérieure aux relevés aéropalynologiques classiques dans le Nord de l'Algérie, ce qui témoigne de la haute résolution de la méthode et de la capacité à détecter des apports lointains ou rares Chafai-Ketfi et Boughediri (2006).

Enfin, dans l'étude syntaxonomique récente sur les forêts de liège en Kabylie (Algérie), les auteurs soulignent l'importance floristique du *Quercus suber* dans les groupements forestiers méditerranéens et sa coexistence avec des essences associées comme *Erica*, *Cistus*, *Pistacia* et *Juniperus* dans les sous-étages (Gharzouli, (2018)).

Ces convergences illustrent que le secteur suit des tendances méditerranéennes classiques, tout en offrant une finesse de données utile pour la reconstruction environnementale locale.

L'organisation des groupements végétaux selon les étages bioclimatiques, comme observée dans les stations étudiées, reflète une structuration écologique bien décrite dans les zones méditerranéennes. En effet, la dominance d'un petit nombre de taxons forestiers à haute production pollinique (notamment *Erica arborea*, *Quercus suber* et *Quercus coccifera*) dans les stations 1 et 2 traduit des formations forestières denses et bien établies, caractéristiques des étages humide et subhumide.

Cette structuration a été clairement identifiée dans les travaux de **Benslama et al., (2010)** à El Kala (Nord-est algérien), où les assemblages polliniques dominés par *Quercus suber*, *Erica arborea* et *Myrtus communis* représentaient des forêts stables, tandis que les zones de transition montraient une augmentation des pollens herbacés tels que les *Poaceae*.

Cette transition est également bien illustrée dans la station 3, où l'assemblage pollinique plus réduit (4 taxons principaux : *Cistus*-type, *Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, *Pistacia lentiscus*) reflète un milieu plus ouvert, typique des écosystèmes semi-arides, où les conditions climatiques imposent une sélection naturelle plus rigoureuse.

Cette observation est en cohérence avec les résultats de **Chafai-Ketfi et Boughediri (2006)**, qui notent que la rareté de certains taxons ligneux et la dominance d'espèces xérophiles comme *Quercus ilex* et *Pistacia lentiscus* sont des indicateurs fiables d'un climat sec.

Par ailleurs, la présence marquée des *Poaceae* et autres herbacées dans les groupements périphériques ou de transition, observée dans les trois stations, correspond à des observations similaires faites dans les îles Baléares par **Servera-Vives et al., (2022)**, où ces taxons sont dominants dans les mosaïques écologiques de garrigues et zones anthropisées.

Ces herbacées, bien que moins productrices de pollen, témoignent d'une perturbation écologique ou d'une ouverture du milieu, et leur abondance pollinique peut signaler soit une végétation secondaire, soit des apports allochtones influencés par les vents.

Enfin, les taxons faiblement représentés mais détectés régulièrement indiquent des sources de pollen plus éloignées, ce qui est un phénomène largement reconnu en palynologie (**Necib et Boughediri, 2018**), où les espèces anémophiles ou transportées par le vent peuvent traverser de longues distances avant dépôt.

Les huit diagrammes polliniques issus des stations d'Edough, Mechrouha et Zaarouria révèlent une dominance claire des pollens arborés (AP), notamment *Quercus suber*, *Quercus coccifera*, *Erica arborea*, *Juniperus oxycedrus* et *Pinus halepensis*, caractérisant des formations méditerranéennes typiques comme la chênaie-liège et le maquis dense.

Cette dominance est conforme aux études palynologiques de **Reille (1992)** et **Benslama et al., (2010)**, qui soulignent la prééminence de ces taxons dans les régions méditerranéennes humides à semi-arides.

Les diagrammes polliniques mettent en évidence une dynamique saisonnière commune, avec des pics de production pollinique concentrés entre mars et juillet, correspondant aux périodes de floraison majeures des espèces ligneuses, ce qui rejoint les observations de **Thompson, (2005)**.

Certaines variations locales apparaissent cependant, comme la forte présence de *Fraxinus angustifolia* en automne à Mechrouha ou l'influence d'espèces anthropiques telles qu'*Eucalyptus camaldulensis*, traduisant des effets microclimatiques ou d'occupation humaine, comme souligné par **Blondel et Aronson (1999)**.

Les pollens non arborés (NAP), tels que *Poaceae*, *Asteraceae* et *Plantago*, restent faiblement représentés dans tous les diagrammes polliniques, indiquant une faible ouverture du milieu et une couverture herbacée limitée, en accord avec les observations de **Medail et Quézel (1997)** sur les maquis méditerranéens bien conservés.

La réduction significative du signal pollinique en hiver et en été reflète les phases de repos végétatif et de sécheresse estivale caractéristiques du climat méditerranéen. Par ailleurs, certains diagrammes polliniques montrent des pics secondaires hors-saison, notamment pour *Rosmarinus officinalis* et *Pistacia lentiscus*, témoignant de stratégies adaptatives des espèces face à la variabilité climatique locale (**Thompson, 2005**).

Les interruptions fréquentes dans les diagrammes polliniques, dues à la destruction des bidons par les animaux, illustrent les contraintes méthodologiques communes en palynologie de terrain (**Birks, 1980**), et nécessitent une interprétation prudente des absences ponctuelles.

En résumé, la comparaison des diagrammes polliniques des trois stations révèle des dynamiques écologiques méditerranéennes riches et complexes, marquées par une dominance persistante des formations forestières ligneuses, une faible représentation herbacée, ainsi que des variations locales influencées par des facteurs environnementaux et anthropiques.

Ces résultats enrichissent la compréhension de la dynamique végétale et pollinique méditerranéenne et contribuent à la conservation des écosystèmes fragiles.

Conclusions et perspectives.

L'étude menée sur la pluie pollinique et l'étagement de la végétation dans le Nord-est algérien a permis de mettre en évidence la relation étroite entre les conditions climatiques, la composition floristique et la dynamique des dépôts polliniques. Les trois régions étudiées : Séraïdi (humide), Mechrouha (sub-humide) et Zaarouria (semi-aride), représentent un gradient bioclimatique typique du domaine méditerranéen algérien, offrant un cadre idéal pour l'analyse comparative des structures végétales et des spectres polliniques associés.

Les résultats montrent que la pluie pollinique reflète fidèlement la composition de la végétation locale et son adaptation aux conditions écologiques propres à chaque étage.

Dans la zone humide de Séraïdi, la dominance du pollen d'*Erica arborea*, *Quercus suber*, et *Myrtus communis* traduit la présence d'un couvert forestier dense, diversifié et bien conservé. Cette richesse pollinique témoigne d'un milieu à forte humidité atmosphérique.

À Mechrouha, la composition pollinique révèle une transition écologique entre formations humides et sub-humides, caractérisée par la cohabitation d'espèces forestières mésophiles (*Quercus coccefera*, *Fraxinus angustifolia*) et de taxons plus résistants à la sécheresse (*Calicotome villosa*, *Daphne gnidium*).

Enfin, à Zaarouria, la dominance des pollens d'espèces xérophiles (*Quercus ilex*, *Rosmarinus officinalis*, *Phillyrea latifolia*) correspond à une végétation clairsemée, adaptée à un climat chaud et sec, typique de l'étage semi-aride.

Sur le plan climatique, l'analyse du gradient pluviométrique et thermique confirme une diminution progressive des précipitations et une augmentation des températures moyennes de Séraïdi vers Zaarouria. Ce contraste bioclimatique se traduit par une différenciation nette des formations végétales : forêts humides à chêne-liège dans les étages montagnards, chênaies mixtes dans les zones sub-humides, et matorrals xérophiles dans les étages inférieurs semi-arides.

Ces résultats s'accordent avec les modèles classiques **d'Emberger** sur la distribution altitudinale de la végétation méditerranéenne en fonction du quotient pluviothermique.

Conclusions et perspectives

L'approche palynologique a confirmé la valeur bioindicateur du pollen dans la reconstitution des paysages végétaux. La concordance entre les spectres polliniques et les relevés floristiques montre que la méthode de la pluie pollinique constitue un outil fiable pour interpréter la dynamique de la végétation actuelle et ses réponses aux variations climatiques.

L'absence de certaines périodes de collecte, notamment durant les mois de mai et septembre, a toutefois limité la représentation complète du cycle annuel pollinique. Néanmoins, les données obtenues suffisent à établir une typologie pollinique cohérente avec les étages bioclimatiques identifiés.

Dans l'ensemble, cette étude met en évidence la forte corrélation entre le climat, la végétation et la pluie pollinique dans le Nord-est algérien. Elle souligne le rôle essentiel du gradient bioclimatique dans la structuration des formations végétales méditerranéennes et la composition des dépôts polliniques.

Les résultats obtenus contribuent ainsi à une meilleure compréhension de la dynamique écologique régionale et constituent une base de référence pour les travaux de paléoécologie et de suivi de la biodiversité végétale.

Enfin, cette étude démontre que la palynologie appliquée à l'étude actuelle de la végétation offre une approche pertinente pour anticiper les effets du changement climatique sur la distribution des formations forestières et la régénération des écosystèmes méditerranéens.

Cette étude ouvre de larges perspectives pour la recherche future. Il serait d'abord pertinent de prolonger les suivis palynologiques sur plusieurs années afin d'évaluer la variabilité interannuelle de la pluie pollinique et son lien avec les changements climatiques récents.

Parallèlement, l'intégration d'analyses physico-chimiques des sols et de modèles climatiques régionaux permettrait de mieux comprendre les mécanismes d'adaptation de la flore face aux contraintes environnementales croissantes.

Des approches combinant la palynologie à des indicateurs écophysiologiques (tels que la teneur en chlorophylle, l'activité enzymatique ou la présence de métaux lourds) offriraient une compréhension plus fine des réponses biologiques des végétaux aux stress abiotiques.

Conclusions et perspectives

Il serait également souhaitable d'étendre les investigations à d'autres zones du Nord-Est algérien (El Kala, Guelma, Souk-Ahras, Skikda), afin de distinguer les effets des gradients bioclimatiques et des facteurs microclimatiques sur la structuration de la végétation.

En outre, l'utilisation d'outils modernes tels que la télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG) faciliterait la cartographie détaillée des formations végétales et de la diversité floristique selon les étages altitudinaux.

Enfin, la combinaison des données polliniques actuelles avec des archives sédimentaires anciennes permettrait de reconstituer l'évolution spatio-temporelle de la végétation et d'évaluer l'impact des changements climatiques et anthropiques à long terme sur les écosystèmes forestiers méditerranéens.

Références bibliographiques

- ANAT. (Agence nationale de l'aménagement du territoire) (2004). Carte bioclimatique de l'Algérie [Bioclimatic map of Algeria]. Alger : ANAT.
- Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems et Environment*, 74(1-3), 19-31.
- Ariizumi, T., et Toriyama, K. (2011). Genetic regulation of sporopollenin synthesis and pollen exine development. *Annual review of plant biology*, 62(1), 437-460.
- Benabderrahmane, M., Khelifi, L., et Belhadj, H. (2019) dans la revue *Revue des Régions Arides*, volume 46, pages 45-56. Il est possible que la référence soit incomplète ou que l'article soit publié dans une revue différente.
- Benabid, A. (2000). *Flore et écosystèmes du Maroc : évaluation et préservation de la biodiversité*. Paris : Ibis Press.
- Benderradji, M. E. H. (1999). Quelques indices d'appréciation de la pollution mercurifère dans le milieu éco-géographique de la dépression de Azzaba-Nord Est Algérien.
- Bennett, K. D. (1992). PSIMPOLL — A QuickBASIC program that generates PostScript page description of pollen diagrams. INQUA Commission for the Study of the Holocene, Working Group on Data-Handling Methods, Newsletter 8, 11-12.
- Benslama, M., Andrieu-Ponel, V., Guiter, F., Reille, M., de Beaulieu, J.-L., Migliore, J. et Djamali, M. (2010). Nouvelles contributions à l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation en Algérie : analyses polliniques de deux profils sédimentaires du complexe humide d'El-Kala. *Comptes Rendus Biologies*, 333 (10), 744-754.
- Birks, H. J. (1980). The Present Flora and Vegetation of the Moraines of the Klutlan Glacier, Yukon Territory, Canada: A Study in Plant Succession☆. *Quaternary Research*, 14(1), 60-86.
- Birks, H. J. B., Felde, V. A., Bjune, A. E., Grytnes, J.-A., Seppä, H., et Giesecke, T. (2016). Does pollen-assembly richness reflect floristic richness ? A review of recent developments and future challenges. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 228, 1-25.
- Blondel, J. (2006). The "Design" of Mediterranean Landscapes: A Millennial Story of Humans and Ecological Systems during the Historic Period. *Human Ecology*, 34(5), 713-729.
- Blondel, J. et Aronson, J. (1999). *Biology and Wildlife of the Mediterranean Region*. Oxford : Oxford University Press.
- Blondel, J., Aronson, J., Bodiou, J.-Y., et Boeuf, G. (2010). *The Mediterranean Region : Biological Diversity in Space and Time* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Blondel, J., et Aronson, J. (1999). *Biogeography and ecology of the Mediterranean region*. Oxford University Press.
- Bonnemain, J.-L., et Dumas, C. (1998). *La biologie végétale*. Paris : Presses Universitaires de France (PUF), Collection « Que sais-je ? », n° 492. 128 p. ISBN 978-2-13-048103-4.
- Boral, D., Roy, I., et Bhattacharya, K. (2020). *Atmospheric Pollution Research*, 11(5), 845-854.
- Boucif, A., Bara, M., et Houhamdi, M. (2022). Ecological Diagnosis and Diversity Structure of the Forest Birds Community in Machroha Forest (Souk Ahras – Northeastern Algeria). *Journal of Bioresource Management*, 9(4), 102-109.
- Boughediri, S., et Benslama, M. (2020). Pluie pollinique et inventaire floristique dans la ville d'Annaba (Nord-Est algérien). *Revue Nature et Technologie*, 12(02), 63-74.
- Bouzahar, Chafika. (2022). *Phytosociologie paysagère et gestion conservatoire de la biodiversité dans le Dahra oriental*. Thèse de doctorat en écologie végétale, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf.

Conclusions et perspectives

- Broström, A., Strömberg, A., Dahlström, U., et Fridlund, B. (2004). "Sleep difficulties, daytime sleepiness, and health-related quality of life in patients with chronic heart failure." *Journal of Cardiovascular Nursing*, 19(4), 234–242.
- Bouhafes F., (2021). Caractéristiques hydrochimiques et évaluation des indicateurs de pollution dans la région de souk ahras : étude de cas des sources de Taoura (Nord-est Algérien) (*Doctoral dissertation*, Université Badji Mokhtar – Annaba).
- BNEDER (Bureau National d'Études pour le Développement Rural) (1980). Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises.
- Cerceau-Lamval, M. T., Cauneau-Pigot. A., Bocquel, C., Carbonnier-Jarreau, M.C., Derouet, L. et Verhille, A. M. (1994). Elemental analysis of pollen grain surface: relation to allergenic character, and use as a pollution marker. - *J. Trace Micropr.Tech.* 12: 37-50.
- Chaabane, A. (2010). Flore et Végétations Méditerranéennes. Inst Sylvo-Pastoral. Tabarka. Tunis : 74p.
- Chafai-Ketfi, L., et Boughediri, L. (2006). Le contenu pollinique de l'atmosphère de la ville d'El Hadjar (Annaba, Algérie). *Environmental Science*.
- Chapin, F. S., Matson, P. A., et Vitousek, P. M. (2011). *Principles of Terrestrial*.
- Cour, P., et Van Campo, M. (1980). Agronomie : Prévisions de récoltes à partir de l'analyse du contenu pollinique de l'atmosphère. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 290 (D), 1043–1046.
- D'Amato, G., Cecchi, L., Bonini, S., Nunes, C., Annesi-Maesano, I., Behrendt, H., Liccardi, G., Popov, T., et Van Cauwenberge, P. (2007). Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. *Allergy*, 62(9), 976–990.
- D'Amato, G., Vitale, C., et Cecchi, L. (2023). Climate change and allergies : review of recent trends. *International Archives of Allergy and Immunology*, 42(3), 123–134.
- Daget, P. (1977). Le bioclimat méditerranéen : caractères généraux, modes de caractérisation. *Vegetatio*, 34(1), 1-20.
- Dahmani-Megrerouche, R. (1996). Études phytoécologiques et biogéographiques sur la végétation forestière du Nord-Est algérien [Thèse de doctorat, Université de Montpellier II].
- Debussche, M., Lepart, J., et Dervieux, A. (2001). Mediterranean landscape changes: evidence from old postcards. *Global Ecology and Biogeography*, 10(1), 3–15.
- Delnatte, C. (2010). Le gradient altitudinal sur les sommets tabulaires de Guyane, basé sur l'étude des *Arecaceae*, des *Melastomataceae* et des *Ptéridophytes* (Doctoral dissertation, Université des Antilles-Guyane).
- DSA (Direction des Services Agricoles de Souk Ahras), (2020). Rapport annuel sur l'état des terres agricoles et forestières de la wilaya de Souk Ahras. Ministère de l'Agriculture, Alger
- Djebaili, I. A., Rouag-Saffidine, D., et Sotehi, O. (2021). Assessment of an office building glazed façade impact upon energetic consumption and environment under semi-arid climate in Algeria. *Algerian Journal of Environmental Science and Technology*, 7(3), 2045–2058.
- Domínguez, E., Mercado, J. A., Quesada, M. A., et Heredia, A. (1999). Pollen sporopollenin: degradation and structural characterization. *Sexual Plant Reproduction*, 12, 171–178.
- Donadieu, Y. (1983). *Le pollen* (6e éd.). Paris : Librairie Maloine S.A.
- Durham, O. C. (1946). The volumetric incidence of atmospheric allergens. IV. A proposed standard method of gravity sampling, counting and volumetric interpolation of results. *J. Allergy*, 17(2), 79–86.
- Emberger, L. (1930). La végétation de la région méditerranéenne : essai d'une classification des groupements végétaux. *Revue Générale de Botanique*, 42, 641–662, 705–721.
- Emberger, L. (1971). *Travaux de botanique et d'écologie*. Masson, Paris.
- EPD. (European Pollen Database).

- Erdtman, G. (1960). The acetolysis method: A revised description. *Svensk Botanisk Tidskrift*, 54, 561–564.
- Fægri, K., et Iversen, J. (1989). Textbook of pollen analysis (4th ed., rev. by K. Fægri, P. E. Kaland et K. Krzywinski). New York : John Wiley et Sons.
- Fleming, T. H., Geiselman, C., et Kress, W. J. (2009). The evolution of bat pollination: a phylogenetic perspective. *Annals of Botany*, 104(6), 1017–1043.
- Fontana, S. L., Burry, L. S., et Oggero, A. J. (2018). Modern pollen rain in a vegetation gradient of NW Patagonia and its potential for paleoenvironmental reconstructions. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 255, 47–58.
- Friedman, J., et Barrett, S. C. H. (2009). Wind of change: new insights on the ecology and evolution of pollination and mating in wind-pollinated plants. *Annals of Botany*, 103(9), 1515–1527.
- Furness, C. A., et Rudall, P. J. (2004). Pollen aperture evolution—a crucial factor for eudicot success? *Trends in Plant Science*, 9(3), 154–160.
- Galán, C., Ariatti, A., Bonini, M., Clot, B., Crouzy, B., Dahl, A., Fernandez-González, G. Frenguelli, R., Gehrig, S. Isard, E. Levetin, D. W. Li, P. Mandrioli, C. A. Rogers, M. Thibaudon, I. Sauliene, C. Skjoth, M. Smith et Sofiev, M. (2017). Recommended terminology for aerobiological studies. *Aerobiologia*, 33(3), 293-295.
- Galán, C., Smith, M., Thibaudon, M., Frenguelli, G., Oteros, J., Gehrig, R., Berger, U., Clot, B., Brandão, R., et European Aerobiology Society Quality Control Working Group. (2014). Pollen monitoring: Minimum requirements and reproducibility of analysis. *Aerobiologia*, 30(4).
- Ganeshan, S., et Bhowmik, P. (2021). Pollen viability and cryopreservation: methods and applications. *In Vitro Cellular et Developmental Biology – Plant*, 57(1), 1–14.
- Gharzouli, R. (2018). Flore et végétation de la kabylie des babor: étude floristique et phytosociologique des groupements forestiers et post-forestiers des djebels Takoucht, Adrar ou-Mellal, Tababort et Babor (Doctoral dissertation).
- Gorenflot, R. (1997). Morphologie et biologie pollinique. Paris : Masson.
- González-Sampériz, P., Leroy, S. A., Carrión, J. S., Fernández, S., García-Antón, M., Gil-García, M. J., ... et Figueiral, I. (2010). Steppes, savannahs, forests and phytodiversity reservoirs during the Pleistocene in the Iberian Peninsula. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 162(3), 427-457.
- Grimm, M., Grube, M., Schiefelbein, U., Zühlke, D., Bernhardt, J., et Riedel, K. (2021). The lichens' microbiota, still a mystery?. *Frontiers in microbiology*, 12, 623839.
- Guery, E., et Barthelemy, L. (1988). Les Graminées de l'atmosphère du bassin Parisien en 1986 et en 1987. *Annales des sciences naturelles. Botanique et biologie végétale*, 9(2), 57–62.
- Halbritter, H., Ulrich, S., Grímsson, F., Weber, M., Zetter, R., Hesse, M., Frosch-Radivo, A., et Buchner, R. (2018). Pollen morphology and plant taxonomy: An introduction to palynology. Cham : Springer International Publishing.
- Hall, S. A. (2020). Modern pollen rain and the interpretation of pollen diagrams. In *Quaternary Palynology* (pp. 63–78). Springer.
- Hamel, T., Seridi, R., De Bélair, G., Slimani, A., et Babali, B. (2013). Flore vasculaire rare et endémique de la péninsule de l'Edough (Nord-Est algérien). *Synthèse : Revue des Sciences et de la Technologie*, 26, 65-74.
- Hamel, T., Boulemtafes, A., et Bellili, A. (2019). L'impact de surpâturage sur les subéraies de la péninsule de l'Edough (Nord-est algérien). *Geo-Eco-Trop*, 43(1), 119-128.
- Hammana, C., Pereña-Ortiz, J. F., Meddad-Hamza, A., Hamel, T., et Salvo-Tierra, Á. E. (2024). The wetlands of northeastern Algeria (Guelma and Souk Ahras): Stakes for the conservation of regional biodiversity. *Land*, 13(2), 210.
- Heim, J. (1963). Recherches sur les relations entre la végétation actuelle et le spectre pollinique récent dans les Ardennes belges. *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique*, 96(1), 5–92.

- Heim, J. (1970). Les relations entre les spectres polliniques récents et la végétation actuelle en Europe occidentale. Thèse, Université de Louvain (Belgique).
- Hesse, M., Halbritter, H., Zetter, R., Weber, M., Buchner, R., Frosch-Radivo, A., et Ulrich, S. (2009). Pollen terminology: an illustrated handbook. Springer Wien New York. 261 p.
- Hirst, J. M. (1952). An automatic volumetric spore trap. *Annals of Applied Biology*, 39, 257–265.
- Hobbs, R. J., et Cramer, V. A. (2008). Restoration ecology: Interventionist approaches for restoring and maintaining ecosystem function in the face of rapid environmental change. *Annual Review of Environment and Resources*, 33, 39–61.
- Hugo F. Beiträge zur vergleichenden Morphologie der Pollenkörner. Breslau: R. Nischkowsky, (1890). Thèse de doctorat, pp. 1-69, avec 3 planches.
- Jones, G. D. (2014). Pollen analyses for pollination research, acetolysis. *Journal of Pollination Ecology*, 13, 203-217.
- Karlıoğlu, N., Caner, H., Akkemik, Ü., Köse, N., et Kindap, T. (2015). Modern pollen monitoring of native trees in Belgrad forest, Istanbul (Northwestern Turkey). *Comptes rendus de l'Académie bulgare de Sciences*, 68(1), 39-48.
- Khatib, S., Sobeh, M., et Bouissane, L. (2022). *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters : An insight into its ethnobotany, phytochemistry, toxicity, biocide and therapeutic merits. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 977726.
- Lahoulou, A. (2024). Dimensionnement des ouvrages annexes du barrage de Tichy-Haf (w. Béjaia) (Doctoral dissertation).
- Lakehal Ayat, S., Samai, I., Aounallah, O., et Benslama, M. (2023). Study of Soil–Vegetation Relations in the Edough Peninsula (North East of Algeria). *Ecological Engineering et Environmental Technology*, 24(4), 50–61.
- Lavorel, S., McIntyre, S., Landsberg, J., et Forbes, T. D. (1997). Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance. *Trends in Ecology et Evolution*, 12(12), 474–478.
- Lehmann, J., et Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528, 60–68.
- Linskens, H. F., et Heslop-Harrison, J. (1977). Pollen: Structure and Development. In *International Review of Cytology*. Academic Press.
- Lloret, F., Pausas, J. G., et Vilà, M. (2003). Responses of Mediterranean plant species to different fire frequencies. *Oecologia*, 134(4), 627–635. <https://doi.org/10.1007/s00442-002-1150-8>
- Maire, R. (1924). Flore de l'Afrique du Nord. Alger : Minerva.
- Maire, R. (1926). Les Étages de végétation en Afrique du Nord. *Mémoires de la Société des Sciences Naturelles du Maroc*.
- Mander, L., et Punyasena, S. W. (2014). On the taxonomic resolution of pollen and spore records of terrestrial biodiversity. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 201, 57–71.
- Mazier, F., Gaillard, M. J., Kuneš, P., Sugita, S., et Trondman, A. K. (2012). Testing the effect of site selection and reference datasets on pollen-based quantitative reconstructions of regional vegetation. *Journal of Quaternary Science*, 27(6), 602–613.
- Mazier, F., Gaillard, M.-J., Sugita, S., et Broström, A., (2009). Pollen–vegetation relationships in modern environments. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 153(1–2), 1–17.
- Médail, F., et Diadema, K. (2009). Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. *Journal of Biogeography*, 36(7), 1333–1345.
- Medail, F., et Quézel, P. (1997). Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean Basin. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 84(1), 112-127.
- Medail, F., et Quézel, P. (1999). Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: setting global conservation priorities. *Conservation biology*, 13(6), 1510-1513.

- MICLAT (Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire), (2024). Monographie de la wilaya de Souk Ahras.
- Mohl, H. von. (1835). Sur la structure et les formes des graines de pollen. *Annales des Sciences Naturelles, Botanique*, 2^e série, tome 3, pages 148-180, 220-236, 304-346.
- Moore, P. D., Webb, J. A., et Collinson, M. E. (1991). *Pollen analysis* (2nd ed.). Oxford : Blackwell Scientific Publications.
- Necib, A., et Boughediri, L. (2018). The allergenic pollen in the atmosphere of el-hadjar city (annaba, algeria). *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series C Biology*, 27(2), 126-131.
- Ollerton, J., Winfree, R., et Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321–326.
- Office National de la Météorologie (ONM). (2021). Bilan climatique de l'année 2020.
- Oularbi, A., et Zeghiche, A. (2009). Sensibilité à l'érosion du massif cristallophyllien de l'Edough (Nord-Est Algérien). *Synthèse : Revue des Sciences et de la Technologie*, 20, 58-72.
- Ozenda, P. (1975). *Flore du Sahara septentrional et central*. Paris : Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique.
- PALDAT., (Palynological Database).
- Pacini, E. (2010). Relationships between pollen production and pollen dispersal: a review. *Grana*, 49(1), 1–10.
- Pacini, E., et Hesse, M. (2005). Pollenkitt – its composition, forms and functions. *Flora*, 200(5), 399–415.
- Pardé, J. (2007). Marcel Jacamon (1918–2007) et quelques autres : botanique forestière et phytosociologie. *Revue forestière française*, 59(6), 641–647.
- Parmentier, F. B., Elford, G., et Maybery, M. (2005). Transitional information in spatial serial memory: path characteristics affect recall performance. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 31(3), 412.
- Pesson, P., et Louveaux, J. (1984). *Pollinisation et productions végétales*. Paris : INRA.
- Pickett, S. T. A., Meiners, S. J., et Cadenasso, M. L. (2011). Domain and propositions of succession theory. In *Fifty Years of Invasion Ecology* (pp. 185–205). Blackwell Publishing.
- Proctor, M., Yeo, P., et Lack, A. (1996). *The natural history of pollination*. HarperCollins Publishers.
- Punt, W., Hoen, P. P., Blackmore, S., Nilsson, S., et Le Thomas, A. (2007). Glossary of pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 143(1–2), 1–81.
- Quézel, P. (1979). *Flore de la région méditerranéenne*. CNRS Éditions.
- Quézel, P., et Médail, F. (2003). *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier (Collection Environnement), Paris, 573 p.
- R Core Team. (2016). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna : R Foundation for Statistical Computing.
- Räsänen, S., Hicks, S., et Odgaard, B. V. (2004). Pollen deposition in mosses and in a modified 'Tauber trap' from Hailuoto, Finland: What exactly do the mosses record? *Review of Palaeobotany and Palynology*, 129(1–2), 103–116.
- Reille M., (1992). New pollen analytical researches in Corsica: the problem of *Quercus ilex* L. and *Erica arborea* L., the origin of *Pinus halepensis* Miller forests. *New Phytologist*, 122(2):359 378.
- Reille, M. (1990). *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Marseille : Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie.
- Renault-Miskovsky, J., et Petzold, D. (1992). *Palynologie archéologique : méthodes et interprétation*. Paris : CNRS Éditions.

- Ricciardelli D'Albore, G. (1998). Mediterranean Melissopalynology [CD-ROM]. Università degli studi di Perugia, Facoltà di Agraria, Istituto di Entomologia agraria.
- Rivas-Martínez, S. (1996). Bioclimatology of the Iberian Peninsula. *Itinera Geobotanica*, 10, 5–41.
- Rivas-Martínez, S. (2007). Bioclimatic Map of Europe. University of León.
- Rivas-Martínez, S., Penas, A., et Díaz, T. E. (2004). Bioclimatic and biogeographic classification of Europe. *Itinera Geobotanica*, 17, 5–32.
- Rojo, J., Schmidt, T., et D'Amato, G. (2024). Impact of climate change on allergenic pollen production: meta-analysis. *International Journal of Biometeorology*.
- Sugita, S. (1994). Pollen representation of vegetation in Quaternary sediments : theory and method in patchy vegetation. *Journal of ecology*, 881-897.
- Saouli, H., Boucif, A., Djabourabi, R., et Soualah Alila, H. (2022). Butterflies' biodiversity of Souk Ahras Forest (Mechroha and Ouled Driss, Northeast of Algeria). *African Journal of Ecology*, 60(4), 1081–1093.
- Saxena, R. K. (1993). Morphology and classification of pollen grains. In *Palynology : Principles and Applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation.
- Scott, R. J., Spielman, M., et Dickinson, H. G. (2004). Stamen structure and function. *The Plant Cell*, 16(Suppl 1), S46–S60.
- Servera Vives, G., Mus Amezquita, M., Snitker, G., Florenzano, A., Torri, P., Estrany Bertos, J. et Mercuri, A. M. (2022). Modern analogs for understanding pollen vegetation dynamics in a Mediterranean mosaic landscape (Balearic Islands, Western Mediterranean). *The Holocene / Quaternary Research / Vegetation Studies*.
- Shivanna, K. R., et Ram, H. Y. M. (1993). Pollen biology: advances and future directions. *Current Science*, 65(7), 429–435.
- Sickel, W., Ankenbrand, M. J., Grimmer, G., Holzschuh, A., Härtel, S., Lanzen, J., Steffan-Dewenter, I., et Keller, A. (2015). Increased efficiency in identifying mixed pollen samples by meta-barcoding with a dual-indexing approach. *BMC Ecology*, 15, Article 20.
- Sofiev, M., Siljamo, P., Ranta, H., et Rantio-Lehtimäki, A. (2013). Towards numerical forecasting of long-range air transport of birch pollen: The Finnish model. *Aerobiologia*, 29(1), 45–57.
- Tassin, J. (2017). Determining whether the impacts of introduced species are negative cannot be based solely on science: A response to Russell and Blackburn. *Trends in Ecology & Evolution*, 32(4), 230–231.
- Thompson, J. D. (2005). *Plant Evolution in the Mediterranean*. Oxford University Press.
- Touati, L., Hamel, T., et Meddad-Hamza, A., (2021). Analysis of rare and endemic flora in northeastern Algeria: the case of the wilaya of Souk Ahras. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 90, 213–240.
- Toubal, B. (1989). Les ressources phytogénétiques du massif de l'Edough (Algérie Nord-orientale). *Algerian Annals of Agronomy*, 13(1), 106-125.
- Toubal-Boumaza, S. (2007). *Phytosociologie, biogéographie et dynamique des principaux groupements végétaux du massif de l'Edough (Algérie nord-orientale) : cartographie au 1/25 000*. Thèse de doctorat en écologie appliquée, Université de Grenoble, France.
- Traverse, A. (2007). *Paleopalynology (2^e éd.)*. Dordrecht : Springer. 813 p. ISBN 978-1-4020-5610-9.
- Twell, D. (2011). Male gametogenesis and germline specification in flowering plants. *Sexual Plant Reproduction*, 24, 149–160.
- Vilà, M., Lloret, F., Ogheri, E., et Terradas, J. (2001). Positive fire–grass feedback in Mediterranean Basin woodlands. *Forest Ecology and Management*, 147(1), 3–14.
- WAC., 2016, weatherandclimate.com.
- Walker, L. R., et del Moral, R. (2003). *Primary Succession and Ecosystem Rehabilitation*. Cambridge University Press.

Conclusions et perspectives

- Walker, L. R., et Wardle, D. A. (2014). Plant succession as an integrator of contrasting ecological time scales. *Trends in Ecology & Evolution*, 29(9), 504–510.
- Wardle, D. A., Bardgett, R. D., Klironomos, J. N., Setälä, H., van der Putten, W. H., et Wall, D. H. (2004). Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 304(5677), 1629–1633.
- Wiltshire, P. E. (2006). Hair as a source of forensic evidence in murder investigations. *Forensic Science International*, 163(3), 241–248.

| Annexes

