



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques



Ref :

Thèse

En vue de l'Obtention du Diplôme De :

Doctorat LMD en : Sciences Agronomiques

Option : Protection des végétaux

Intitulé :

Bioécologie, Cartographie et Identification de foreur rhinocéros
l'*Oryctes* spp. du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) dans la région
d'El Oued, Algérie.

Présentée par :

Rais Sana

Soutenue publiquement le : 20/02/2025

Devant le jury composé de :

Président	Achoura Ammar	MCA	Université de Biskra
Rapporteur	Saadi Inesse	MCA	Université de Biskra
Co- Rapporteur	Kontschán Jenő	Professeur	Centre de Recherche Agricole HUN-REN Université de István Széchenyi
Examineur	Bertella Nabil	Professeur	Université de Batna2
Examineur	Mehaoua Mohamed Seghir	Professeur	Université de Biskra
Examineur	Beghami Yassine	Professeur	Université de Batna1

Année Universitaire : 2024/2025

Remerciements

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers Dieu, qui m'a guidée vers le succès tout au long de mon parcours.

Je tiens à remercier ma directrice de thèse, Mme Saadi Inesse, pour son accompagnement constant et ses conseils précieux durant cette aventure de recherche. Sa passion pour la recherche a été une véritable source de motivation.

Je souhaite également exprimer ma sincère reconnaissance à mon co-directeur de thèse, M. Kontschán Jenő, dont l'engagement envers la recherche et l'excellence constitue une inspiration continue. Son implication et ses perspectives enrichissantes ont été cruciales pour la réalisation de ce travail.

Je remercie M. Achoura Ammar, maître de conférences à l'Université de Biskra, pour avoir accepté de présider ce jury. Je remercie également M. Bertella Nabil, professeur à l'Université de Batna 2, ainsi que M. Beghami Yassine, professeur à l'Université de Batna 1, et enfin M. Mehaoua Mohamed Seghir, professeur à l'Université de Biskra, pour avoir accepté d'être rapporteurs de ce travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude au Professeur Kiss József, chef du Département de Protection Intégrée des Plantes à l'Université Hongroise des Sciences Agricoles et de la Vie, pour son précieux encouragement, ses conseils éclairés et son expertise remarquable, qui m'ont offert une orientation essentielle dans mon parcours de recherche.

Je remercie également le Docteur Bouazzi Habib, directeur du laboratoire MacroGen France, pour son aide précieuse et ses encouragements constants, qui ont grandement contribué au succès de cette recherche.

Enfin, je remercie l'ensemble des enseignants du département des sciences agronomiques de l'Université de Biskra. Leur expertise, leur disponibilité et leur accompagnement ont été essentiels à ma formation durant mes études de licence, de master et de doctorat. Je les remercie pour le savoir précieux qu'ils ont partagé et qui m'a accompagnée tout au long de mon parcours académique.

Dédicace

À mon cher père, que Dieu ait son âme,

À ma chère mère,

À mes frères et sœurs,

Votre encouragement, votre amour et votre soutien ont été des sources de force, de motivation et d'inspiration, m'accompagnant et me guidant à chaque étape de mon parcours.

À mon frère Youcef,

Votre accompagnement inestimable tout au long de ce parcours est grandement apprécié. Vous avez été mon véritable binôme.

Merci pour tout.

Sana

RÉSUMÉ

Cette étude porte sur le foreur rhinocéros *Oryctes* spp. des palmiers dattiers, réalisée sur les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma dans la région d'El Oued, en Algérie, sur une période de deux ans (2022-2024), elle vise à comprendre les aspects biologiques et écologiques de ce ravageur. Les observations en milieu naturel révèlent que l'espèce *Oryctes agamemnon* suit un cycle de vie univoltin, avec une période de vol débutant en avril et se prolongeant jusqu'en décembre, la population d'adultes atteignant son maximum en août. Les adultes entrent en hibernation durant la période de janvier à mars, tandis que les larves, présentes à tous les stades de développement tout au long de l'année, continuent leur développement. L'étude en laboratoire, réalisée à une température de 26 ± 1 °C, une humidité de 55 ± 5 % et une photopériode de 13/11 heures, révèle que le cycle de vie complet d'*Oryctes agamemnon* dure environ $314,87 \pm 7,79$ jours, avec les stades larvaires représentant 66 % du cycle total. Parmi ces stades, le troisième stade larvaire est le plus long, durant en moyenne 124,58 jours. Les résultats montrent également un taux de mortalité maximal au stade embryonnaire, atteignant 20,45 %. Les adultes et les larves d'*Oryctes* causent d'importants dégâts aux palmiers dattiers. Les larves attaquent principalement les racines et le tronc, creusant des galeries, ce qui endommage la structure et la croissance du palmier. Les adultes, quant à eux, s'attaquent également au tronc et peuvent atteindre la couronne, perforant et broyant les tissus végétaux, affaiblissant ainsi l'arbre. Ces activités compromettent la santé du palmier, favorisant des infestations graves et menaçant sa survie. Les résultats de l'identification des acariens associés à *Oryctes agamemnon* subsp. *arabicus* ont permis de découvrir une nouvelle espèce de mite de la famille des Laelapidae, *Hypoaspis arabicus* Rais et Kontschán, sp. nov. (Acari: Laelapidae). La présence de cette espèce de mite a été observée tout au long des différents stades de développement de l'insecte. L'analyse de l'indice NDVI dans les sites d'étude entre 1990 et 2024 montre une tendance générale à l'augmentation. Cependant, une stabilisation des valeurs est observée depuis 2012. Cette stabilisation pourrait être liée à l'apparition du ravageur *Oryctes agamemnon*, dont l'impact négatif limite la croissance de la végétation et ralentit l'évolution de l'indice NDVI. L'identification des spécimens d'*Oryctes* a été réalisée via des méthodes morphologiques et moléculaires utilisant le marqueur COI, validant que tous les individus appartiennent à la sous-espèce *Oryctes agamemnon* subsp. *arabicus*, avec une légère diversité génétique observée parmi les populations grâce à l'analyse MASH. Ces résultats offrent des pistes pour développer des stratégies de lutte intégrée et adapter les interventions au cycle biologique de l'espèce. Cela permettra de protéger efficacement les palmeraies locales contre les dommages causés par ce ravageur, contribuant ainsi à la durabilité des cultures de palmiers dattiers dans la région.

Mots clés : *Oryctes agamemnon* subsp. *arabicus*, Bioécologie, Cycle de vie, Nouvelle espèce de mite, *Hypoaspis arabicus* Rais et Kontschán, sp. nov., L'indice NDVI, Identification morphologique et moléculaire, Diversité génétique, Palmiers dattiers, Protection des cultures.

ABSTRACT

This study focuses on the rhinoceros beetle *Oryctes* spp. of date palms, conducted at Taleb Larbi and Douar El Ma sites in El Oued, Algeria, over a two-year period (2022-2024), it aims to understand the biological and ecological aspects of this pest. Observations in the natural environment reveal that *Oryctes agamemnon* follows a univoltine life cycle, with the flight period starting in April and extending until December, with the adult population peaking in August. Adults hibernate from January to March, while the larvae, present at all developmental stages throughout the year, continue to develop. Laboratory studies, conducted at a temperature of $26 \pm 1^\circ\text{C}$, humidity of $55 \pm 5\%$, and a photoperiod of 13/11 hours, show that the complete life cycle of *Oryctes agamemnon* lasts approximately 314.87 ± 7.79 days, with the larval stages accounting for 66% of the total cycle. Among these stages, the third larval stage is the longest, lasting on average 124.58 days. The results also indicate a maximum mortality rate at the embryonic stage, reaching 20.45%. Both adults and larvae of *Oryctes* cause significant damage to date palms. The larvae primarily attack the roots and trunk, tunneling through and damaging the structure and growth of the palm. Adults also target the trunk and can reach the crown, perforating and damaging the plant tissues, weakening the tree. These activities compromise the health of the palm, promoting severe infestations and threatening its survival. The identification of mites associated with *Oryctes agamemnon* subsp. *arabicus* led to the discovery of a new species of mite from the Laelapidae family, *Hypoaspis arabicus* Rais and Kontschán, sp. nov. (Acari: Laelapidae). This mite species was observed throughout the various developmental stages of the insect. Analysis of the NDVI index at the study sites from 1990 to 2024 shows a general upward trend. However, a stabilization of values has been observed since 2012. This stabilization could be linked to the emergence of the pest *Oryctes agamemnon*, whose negative impact limits vegetation growth and slows the evolution of the NDVI index. The identification of *Oryctes* specimens was carried out using morphological and molecular methods with the COI marker, confirming that all individuals belong to the subspecies *Oryctes agamemnon* subsp. *arabicus*, with slight genetic diversity observed among populations through MASH analysis. These results offer insights for developing integrated pest management strategies and tailoring interventions to the biological cycle of the species. This will help protect local date palm plantations from damage caused by this pest, thus contributing to the sustainability of date palm cultivation in the region.

Keywords: *Oryctes agamemnon* subsp. *arabicus*, Bioecology, Life cycle, New mite species, *Hypoaspis arabicus* Rais and Kontschán, sp. nov., NDVI index, Morphological and molecular identification, Genetic diversity, Date palms, Crop protection.

ملخص

تركز هذه الدراسة على خنفساء وحيدة القرن *Oryctes spp.* في نخيل التمر، التي أجريت في مواقع طالب العربي ودوار الماء في منطقة الوادي، الجزائر، على مدى عامين (2022-2024). تهدف الدراسة إلى فهم الجوانب البيولوجية والبيئية لهذه الآفة. تكشف الملاحظات في البيئة الطبيعية أن نوع *Oryctes agamemnon* يتبع دورة حياة أحادية الجيل، مع فترة طيران تبدأ في أبريل وتمتد حتى ديسمبر، حيث يصل عدد البالغين إلى ذروته في أغسطس. يدخل البالغون في سبات خلال الفترة من يناير إلى مارس، بينما تستمر اليرقات في جميع مراحل نموها في التطور طوال العام. تكشف الدراسة في المختبر، التي أجريت في درجة حرارة 26 ± 1 درجة مئوية، ورطوبة $55 \pm 5\%$ وفترة ضوء/ظلام 11/13 ساعة، أن دورة حياة *Oryctes agamemnon* الكاملة تستغرق حوالي 314.87 ± 7.79 يومًا، مع تمثيل المراحل اليرقية بنسبة 66% من الدورة الإجمالية. من بين هذه المراحل، تعتبر المرحلة اليرقية الثالثة الأطول، حيث تستغرق في المتوسط 124.58 يومًا. كما أظهرت النتائج معدل وفيات أقصى في المرحلة الجنينية، حيث وصل إلى 20.45%. يتسبب البالغون واليرقات من *Oryctes* في أضرار كبيرة لنخيل التمر، حيث تهاجم اليرقات الجذور والجذع، وتقوم بحفر الأنفاق، مما يؤدي إلى تدمير هيكل ونمو النخيل. من جهة أخرى، يهاجم البالغون الجذع ويمكنهم الوصول إلى التاج، حيث يثقبون ويمزقون الأنسجة النباتية، مما يضعف الشجرة. تؤدي هذه الأنشطة إلى تدهور صحة النخيل، مما يعزز التفشي الشديد ويهدد بقاءه. كما أدت نتائج تحديد العث المرتبط بـ *Oryctes agamemnon* إلى اكتشاف نوع جديد من العث، *Hypoaspis arabicus* (Acari: Laelapidae). تم ملاحظة وجود هذا النوع من العث طوال المراحل المختلفة لتطور الحشرة. تُظهر تحليل مؤشر NDVI في مواقع الدراسة بين عامي 1990 و2024 اتجاهًا عامًا للزيادة، إلا أنه تم ملاحظة استقرار القيم منذ عام 2012. قد يرتبط هذا الاستقرار بظهور الآفة *Oryctes agamemnon*، التي قد تؤثر سلبيًا على نمو الغطاء النباتي وتبطئ تطور مؤشر NDVI. تم التعرف على عينات *Oryctes* باستخدام الأساليب المورفولوجية والجزيئية باستخدام العلامة COI، مما يثبت أن جميع الأفراد ينتمون إلى النوع *Oryctes agamemnon arabicus*، مع ملاحظة تنوع جيني طفيف بين الأفراد من خلال تحليل MASH. تقدم هذه النتائج أفكارًا لتطوير استراتيجيات مكافحة متكاملة وتكييف التدخلات مع الدورة البيولوجية، مما سيساهم في حماية نخيل التمر المحلي من الأضرار التي تسببها هذه الآفة، ويعزز استدامة زراعة نخيل التمر في المنطقة.

الكلمات المفتاحية: *Oryctes agamemnon subsp. arabicus*، خنفساء وحيدة القرن العربية، البيئة الحيوية، دورة الحياة، نوع جديد من العث، *Hypoaspis arabicus* Rais and Kontschán sp. nov.، مؤشر NDVI، التعرف المورفولوجي والجيني، التنوع الجيني، أشجار النخيل، حماية المحاصيل.

Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
1. Introduction	6
2. Historique et Origine du palmier dattier	6
3. Taxonomie du palmier dattier.....	6
4. Répartition géographique du palmier dattier et production de dattes.....	7
4.1. À l'Échelle Mondiale	7
4.2. En Afrique.....	9
4.3. En Algérie.....	10
5. Biologie du palmier dattier	11
6. Cycle de développement du palmier dattier.....	12
7. Morphologie du palmier dattier	12
7.1. Système Racinaire	13
7.2. Tronc ou Stipe.....	14
7.3. Palmes.....	14
7.4. Couronne ou Frondaison	14
7.5. Organes Floraux.....	15
7.6. Fruits.....	15
8. Maladies et Ennemis naturels du palmier dattier	17
8.1. Maladies cryptogamiques	17
8.1.1. Bayoud (Fusarium).....	17
8.1.2. Pourriture des inflorescences (Khamedj).....	17
8.1.3. La maladie des feuilles cassantes.....	17
8.1.4. Autres maladies	17
8.2. Les ravageurs.....	18
8.2.1. Acariens	18
8.2.3. Les insectes	18
CHAPITRE II : Le foreur rhinocéros, l'<i>Oryctes</i> sp. Du palmier dattier.....	20
1. Introduction	21
2. Historique et Origine de l' <i>Oryctes</i> du palmier dattier.....	21
3. Distribution de l' <i>Oryctes</i>	21
4. Classification systématique de l' <i>Oryctes</i>	22
5. Description de l' <i>Oryctes</i>	22
6. Biologie et Cycle de vie de l' <i>Oryctes</i>	24

6.1.	Périodes de pré-oviposition et la période de post-oviposition.....	25
6.2.	Ceuf	25
6.3.	Stades larvaires.....	25
6.4.	Stades pré-nymphal et nymphal.....	26
6.5.	Adultes.....	26
7.	Symptômes et Dégâts de l' <i>Oryctes</i>	26
7.1.	Symptômes	26
7.2.	Dégâts	27
8.	Moyens de lutte.....	28
8.1.	Mesures agronomiques	28
8.2.	Piégeage et surveillance.....	29
8.3.	Lutte chimique.....	30
8.4.	Lutte physique	31
8.5.	Lutte biologique	32
8.6.	Outils de gestion intégrée pour les foreurs du palmier dattier.....	34
PARTIE 2 : PARTIE PRATIQUE		35
CHAPITRE I : Matériel et méthodes		36
1.	Introduction	37
2.	Méthodologie.....	37
2.1.	Site d'Étude.....	37
2.2.	Période de l'Étude.....	38
2.3.	Bioécologie de l' <i>Oryctes</i>	38
2.1.1	Bioécologie de l' <i>Oryctes</i> sous conditions naturelles	38
2.3.1.1	Piégeage et surveillance.....	38
2.3.1.2	Paramètres Biologiques étudiés dans l'environnement naturel	38
2.1.2	Bioécologie de l' <i>Oryctes</i> sous conditions de laboratoire	39
2.3.2.1	Élevage d' <i>Oryctes agamemnon</i> en Conditions de Laboratoire	39
2.3.2.2	Surveillance des Stades de Développement	39
2.3.2.3	Conditions de l'Expérimentation	39
2.3.2.4	Paramètres Biologiques Étudiés.....	39
2.4.	Acariens associés à l' <i>Oryctes agamemnon arabicus</i>	39
2.4.1	Collecte d'échantillons.....	39
2.4.2	Identification des acariens	39
2.5.	Analyse de la Variation Temporelle du NDVI (1990-2024) dans les Régions de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie	40

2.5.1 Méthodologie pour l'Analyse de la Variation Temporelle du NDVI à partir d'Images Satellitaires Landsat (1990-2024) via Google Earth Engine	40
2.5.1.1 Collecte des Données	40
2.5.1.2 Prétraitement des Images	40
2.5.1.3 Calcul du NDVI	40
2.5.1.4 Analyse Temporelle	41
2.5.2 Méthodologie pour l'Analyse des Tendances du NDVI à partir de Données Annuelles (1990-2024)	41
2.5.2.1 Collecte des Données	41
2.5.2.2 Prétraitement des Données	41
2.5.2.3 Analyse des Tendances	41
2.5.2.4 Moyenne Mobile	41
2.5.2.5 Analyse de la Variabilité Interannuelle	42
2.5.2.6 Analyse de la Corrélation entre les Sites	42
2.6. Identification des espèces d'<i>Oryctes sp.</i>	42
2.5.1 Identification Morphologique	42
2.5.2 Identification Moléculaire	43
2.5.2.1 Extraction, amplification et séquençage de l'ADN	43
2.5.2.2 Analyse des données moléculaires	43
2.5.2.3 Logiciels d'analyse (données et taxonomie)	44
CHAPITRE II : Résultats et discussion	45
1. Résultats	46
2.1. Bioécologie de l'<i>Oryctes agamemnon</i>	46
2.1.1. Bioécologie de l'<i>Oryctes</i> sous conditions naturelles	46
2.1.1.1 Analyse des Dynamiques Saisonnières des Adultes d' <i>Oryctes</i> Capturés par Pièges Lumineux au Site 1 de Douar El Ma (2022-2024)	46
2.1.1.2 Analyse des Dynamiques Saisonnières des Adultes d' <i>Oryctes</i> Capturés par Pièges Lumineux au Site 2 de Douar El Ma (2022-2024)	48
2.1.1.3 Analyse des Dynamiques Saisonnières des Adultes d' <i>Oryctes</i> Capturés par Pièges Lumineux au Site 1 de Taleb larbi (2022-2024)	50
2.1.1.4 Analyse des Dynamiques Saisonnières des Adultes d' <i>Oryctes</i> Capturés par Pièges Lumineux au Site 2 de Taleb larbi (2022-2024)	52
2.1.1.5 Analyse Totale des Dynamiques Saisonnières des Adultes d' <i>Oryctes</i> Capturés par Pièges Lumineux aux Sites de Douar El Ma et Taleb Larbi (2022-2024)	53
2.1.1.6 Analyse Totale des Dynamiques Saisonnières des adultes et des larves d' <i>Oryctes</i> aux Sites de Douar El Ma et Taleb Larbi (2022-2024)	55
2.1.2. Bioécologie de l'<i>Oryctes</i> sous conditions de laboratoire	56
2.1.2.1 Cycle de vie	56

2.1.2.2	Description des Stades de Développement de l' <i>Oryctes agamemnon arabicus</i> .	57
2.1.2.3	Taux de mortalité aux différents stades du développement	61
2.1.3	Symptômes et Dégâts de l' <i>Oryctes agamemnon arabicus</i> sur le palmier dattier	62
2.1.3.1	Symptômes	62
2.1.3.2	Dégâts	62
2.1.4	Acariens associés à l' <i>Oryctes agamemnon arabicus</i>	65
2.1.3.1	Résultats de l'identification des acariens.....	65
2.1.3.2	Étymologie.....	65
2.1.3.3	Observations des acariens sur l'hôte.....	65
2.2.	Analyse de la Variation Temporelle du NDVI (1990-2024) dans les Régions de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie	66
2.2.1	Tendances du NDVI	66
2.2.2	Matrice de Corrélation.....	68
2.2.3	Moyenne Mobile	69
2.2.4	Variabilité Interannuelle.....	70
2.2.5	Test de Mann-Kendall.....	71
2.2.6	Analyse de Saisonnalité.....	71
2.2.7	Analyse en Composantes Principales (ACP).....	72
2.3.	Identification des espèces d' <i>Oryctes sp.</i>	77
2.2.1.	Identification morphologique	77
2.2.1.1	Caractérisation morphologique et identification taxonomique.....	77
2.2.1.2	Variations morphologiques chez <i>Oryctes agamemnon arabicus</i>	77
2.2.2.	Identification moléculaire	79
2.2.2.1	Fragments d'insert enrichis (Amplicons)	79
2.2.2.2	Fiabilité et Qualité des Données de Séquençage	80
2.2.2.3	Analyse comparative des résultats de séquençage.....	81
2.2.2.4	Analyse des Résultats	82
2.2.2.5	Données brutes.....	82
2.2.2.6	Classification taxonomique et quantification.....	83
2.2.2.7	Calcul des indices de diversité.....	83
2.2.2.8	Calcul de la distance MASH	86
2.	Discussion générale.....	87
2.1.	Bioécologie de l' <i>Oryctes</i>	87
2.1.1	Observations des aspects biologiques dans les conditions naturelles.....	87
2.1.2	Observations des aspects biologiques en laboratoire	88
2.1.2.1	Cycle de Vie et Durée de Développement de l' <i>Oryctes agamemnon arabicus</i> ...	88

2.1.2.2	Description des Stades de Développement de l' <i>Oryctes agamemnon arabicus</i> .	88
2.1.2.3	Analyse des Taux de Mortalités aux Différents Stades de Développement.....	90
2.1.4	Acariens associés à l' <i>Oryctes agamemnon arabicus</i>	91
2.3.	Identification de l' <i>Oryctes</i>	92
2.2.1	Identification morphologique	92
2.2.2	Identification moléculaire	93
CONCLUSION GÉNÉRALE.....		90
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		93
ANNEXES		1
Annexe1 : Localisation géographique des oasis incluses dans l'étude, dans les communes de Taleb Larbi et Douar El Ma au sein de la wilaya d'El Oued, en Algérie.....		2
Annexe2 : Moyenne et pourcentage de chaque stade de développement d' <i>Oryctes agamemnon arabicus</i>		3
Annexe3 : Valeurs de qualité pour toutes les bases de l'échantillon 1 : A Lecture 1 ; B Lecture 2.....		3
Annexe 4 : Valeurs de qualité pour toutes les bases de l'échantillon 2 : A Lecture 1 ; B Lecture 2.....		3
Annexe 5 : Valeurs de qualité pour toutes les bases de l'échantillon 3 : A Lecture 1 ; B Lecture 2.....		3
Annexe 6 : Valeurs de qualité pour toutes les bases de l'échantillon 4 : A Lecture 1 ; B Lecture 2.....		4

Liste des figures

Figure 1 : Quantités de production de Dattes par pays entre 1980 – 2022 (FAOSTAT, 2024).	8
Figure 2 : Production et rendement des dattes dans le monde (1980-2022) (FAOSTAT, 2024).	8
Figure 3: Production de Dattes : 10 principaux producteurs dans le monde (1980-2022) (FAOSTAT, 2024).	9
Figure 4 : Carte de répartition du genre Phoenix (Muriel et al., 2013).	9
Figure 5 : Production et rendement de dattes en Afrique (1980-2022) (FAOSTAT, 2024).	10
Figure 6 : Les Oasis algériennes (Boulanouar, 2015).	10
Figure 7 : Production et rendement de dattes en Algérie (1980-2022) (FAOSTAT, 2024).	11
Figure 8 : Présentation schématique du palmier dattier (Boulanouar, 2015).	13
Figure 9 : Les types de racines rencontrées chez le palmier dattier (Mohammad, 2015).	14
Figure 10 : Schéma d'une palme (Benlarbi, 2019).	14
Figure 11 : Diagramme florale des fleurs du palmier dattier (Daher Meraneh, 2010).	15
Figure 12 : Coupe longitudinale d'une datte et du noyau (Boulanouar, 2015).	16
Figure 13 : Œufs d'Oryctes agamemnon arabicus (Khalaf et al., 2014).	23
Figure 14: Larve d'Oryctes agamemnon arabicus (Khalaf et al., 2013).	23
Figure 15: Pupa d'Oryctes agamemnon arabicus (Khalaf et al., 2013).	23
Figure 16: Adulte d'Oryctes agamemnon arabicus ; A : Adulte mâle, B : Adulte femelle (Khalaf et al., 2013).	24
Figure 17: Cycle de vie holométabole de Oryctes agamemnon arabicus et exemple de dommages sur les parties respiratoires des racines du palmier dattier (Soltani, 2004).	25
Figure 18: Dégâts d'Oryctes agamemnon arabicus sur les palmiers dattiers en Irak ; A : Palmiers morts avec partie de la couronne tombée, B : Tunnel creux longitudinal à l'intérieur du tronc d'arbre, C : Coupe transversale sur le tronc d'arbre montrant un grand trou et des tunnels (Khalaf et al., 2013).	28
Figure 19: Piège lumineux solaire (Magna Trap avec lampe d'une longueur d'onde de 320 à 420 nm, Russell IPM Limited, Royaume-Uni) utilisé pour la surveillance et le contrôle des espèces d'Oryctes dans les vergers de palmiers dattiers en Irak (Khalaf et al, 2012).	29
Figure 20: Piège à phéromones en seau en plastique pour la capture d'Oryctes (Bedford et al, 2015).	30
Figure 21: Méthodes de contrôle des palmiers dattiers ; A : Injection dans le tronc, B : Pulvérisation directe ; C : Collecte des larves vivantes et mortes de l'Oryctes agamemnon arabicus dans les vergers de palmiers dattiers (Khalaf et Alrubeai, 2016).	31
Figure 22: A : tronc élagué montrant les bases des palmes coupées à l'angle recommandé de 45° ; B : Larves d'Oryctes agamemnon détectées dans leurs tunnels dans les bases des palmes lors de l'important entretien annuel en Irak. La photo en haut à droite montre des tunnels noirs (Bedford et al, 2015).	32
Figure 23 : Croissance mycélienne sur les cadavres larvaires mycosés d'Oryctes agamemnon morts suite à une infection par des isolats d'EPF ; A : Contrôle ; B : Beauveria bassiana ; C : Lecanicillium lecanii ; D : Metarhizium anisopliae (Saleem et Ibrahim, 2019).	33
Figure 24 : Acariens sur un adulte d'Oryctes agamemnon aux Émirats Arabes Unis ; A : Hypoaspis sp. adulte, B : Deutonymphes de Sancassania sp. sur les tergites abdominaux (Bedford et al, 2015).	34
Figure 25 : Localisation géographique des oasis incluses dans l'étude, dans les communes de Taleb Larbi et Douar El Ma dans la wilaya d'El Oued, Algérie (Source : Auteur).	37
Figure 26 : Pièges lumineux avec lampes à LED extérieures alimentées par énergie solaire ; A : Pendant le jour, B : Pendant la nuit. (Source : Auteur).	38
Figure 27 : Évolution du nombre d'adultes capturés par pièges lumineux au site 1 de Douar El Ma (2022-2024).	46

Figure 28 : Évolution du nombre d'adultes femelles et males capturés par pièges lumineux au site 1 de Douar El Ma (2022-2024).	47
Figure 29 : Évolution du nombre d'adultes et de larves au site 1 de Douar El Ma (2022-2024).	48
Figure 30 : Évolution du nombre d'adultes capturés par pièges lumineux au site 2 de Douar El Ma (2022-2024).	48
Figure 31 : Évolution du nombre d'adultes femelles et males capturés par pièges lumineux au site 2 de Douar El Ma (2022-2024).	49
Figure 32 : Évolution du nombre d'adultes et de larves au site 2 de Douar El Ma (2022-2024).	50
Figure 33 : Évolution du nombre d'adultes capturés par pièges lumineux au site 1 de Taleb Larbi (2022-2024).	50
Figure 34 : Évolution du nombre d'adultes femelles et males capturés par pièges lumineux au site 1 de Taleb Larbi (2022-2024).	51
Figure 35 : Évolution du nombre d'adultes et de larves au site 1 de Taleb Larbi (2022-2024).	51
Figure 36 : Évolution du nombre d'adultes capturés par pièges lumineux au site 2 de Taleb Larbi (2022-2024).	52
Figure 37 : Évolution du nombre d'adultes femelles et males capturés par pièges lumineux au site 2 de Taleb Larbi (2022-2024).	52
Figure 38 : Évolution du nombre d'adultes et de larves au site 2 de Taleb Larbi (2022-2024).	53
Figure 39 : Évolution du nombre total d'adultes capturés par pièges lumineux (2022-2024).	54
Figure 40 : Évolution du nombre total d'adultes femelles et mâles capturés par pièges lumineux (2022-2024).	54
Figure 41 : Évolution du nombre d'adultes et de larves d'Oryctes (2022-2024).	56
Figure 42 : Cycle de vie d'Oryctes agamemnon arabicus en conditions de laboratoire (température de 26 ± 1 °C, humidité de 55 ± 5 % et photopériode de 13/11 heures) (Source : Auteur).	57
Figure 43 : Œuf d'Oryctes agamemnon arabicus ; A : Début du développement ; B : Fin du développement (Source : Auteur).	58
Figure 44 : Larve de premier stade d'Oryctes agamemnon arabicus ; A : Début du développement, B : Fin du développement (Source : Auteur).	59
Figure 45 : Larve de deuxième stade d'Oryctes agamemnon arabicus (Source : Auteur).	59
Figure 46 : Larve de troisième stade d'Oryctes agamemnon arabicus (Source : Auteur).	60
Figure 47 : Stade pré-nymphé d'Oryctes agamemnon arabicus (Source : Auteur).	60
Figure 48 : Stade nymphé d'Oryctes agamemnon arabicus ; A : Femelle, B : Male (Source : Auteur).	61
Figure 49 : Adultes d'Oryctes agamemnon arabicus (Source : Auteur).	61
Figure 50 : Dégâts causés par Oryctes agamemnon arabicus sur les racines du palmier dattier ; A : Palmier dattier infesté présentant des dommages visibles au niveau des racines. ; B : Trous et galeries creusés par les larves dans les racines ; C : Larve trouvée dans la partie racinaire endommagée (Source : Auteur).	63
Figure 51 : Dégâts causés par Oryctes agamemnon arabicus sur le tronc du palmier dattier ; A : Palmier dattier infesté montrant des signes d'infestation sur le tronc ; B : Tronc endommagé, présentant des perforations et des galeries creusées par les larves ; C : Larve trouvée dans la partie endommagée du tronc (Source : Auteur).	63
Figure 52 : Dégâts causés par les adultes et les larves d'Oryctes agamemnon arabicus sur les rejets de palmier dattier en conditions de laboratoire ; A : Adultes perforant les rejets, créant des trous et broyant le matériel végétal ; B : Larves creusant des galeries dans les rejets (Source : Auteur).	64
Figure 53 : Hypoaspis arabicus Rais et Kontschán, sp. nov. sur l'adulte d'Oryctes agamemnon arabicus ; A : vue de la face ventrale, B : vue de l'articulation thorax-abdomen.	65
Figure 54 : Hypoaspis arabicus Rais et Kontschán, sp. nov. sur la larve d'Oryctes agamemnon arabicus ; A : sur diverses parties de l'exosquelette larvaire, B : sur les replis de la structure larvaire.	65

Figure 55 : Évolution de l'indice NDVI sur les sites de Taleb Larbi, El Oued, Algérie (1990-2024) (Source : Auteur).	66
Figure 56 : Évolution de l'indice NDVI sur les sites de Douar El Ma, El Oued, Algérie (1990-2024) (Source : Auteur).	67
Figure 57 : Évolution temporelle de l'indice NDVI et tendances linéaires sur les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie (1992-2024).	68
Figure 58 : Matrice de corrélation entre les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie. .	69
Figure 59 : Moyennes mobiles du NDVI pour les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie (1992-2024).	70
Figure 60 : Variabilité interannuelle de l'indice NDVI pour les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie (1992-2024).	70
Figure 61 : Décomposition des séries temporelles du NDVI pour les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie (1992-2024).	72
Figure 62 : Analyse en Composantes Principales (ACP) des sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie.	73
Figure 63 : Clustering hiérarchique des sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie.	73
Figure 64 : Transformée de Fourier des séries temporelles du NDVI des sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie.	74
Figure 65 : Analyse de l'autocorrélation du NDVI pour les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie.	76
Figure 66 : <i>Oryctes agamemnon</i> subsp. <i>arabicus</i> adulte ; A : mâle, vue dorsale, B : mâle, vue ventrale, C : femelle, vue dorsale, D : femelle, vue ventrale (Source : Auteur).	78
Figure 67 : Structures de la tête et des cornes d' <i>Oryctes agamemnon</i> subsp. <i>arabicus</i> ; A : tête mâle, B : tête femelle, C : corne mâle, D : corne femelle (Source : Auteur).	78
Figure 68 : Rapport d'électrophorèse de la TapeStation utilisant le test de bande D1000 ; A : échantillon 1, B : échantillon 2, C : échantillon 3, D : échantillon 4.	80
Figure 69 : Valeurs de qualité pour toutes les bases à travers les plateformes de séquençage Illumina ; A : Lecture 1, B : Lecture 2.	81
Figure 70 : Genre le plus abondant par échantillon. L'abondance relative (%) est indiquée sur l'axe Y.	84
Figure 71 : Espèce la plus abondante par échantillon. L'abondance relative (%) est indiquée sur l'axe Y.	84
Figure 72 : Indices de diversité alpha (Richesse) pour chaque échantillon (Niveau Genre).	85
Figure 73 : Indices de diversité alpha (Richesse) pour chaque échantillon (Niveau Espèce).	85

Liste des tableaux

Tableau 1 : Positionnement taxonomique du palmier dattier (Feldman, 1976).	7
Tableau 2 : Cycle végétatif du palmier dattier (Belguedj, 2002).	12
Tableau 3 : Position systématique de l'Oryctes sp. (Endrödi, 1985).	22
Tableau 4 : Durée de développement des stades de vie d'Oryctes agamemnon arabicus.	57
Tableau 5 : Mesures de longueur et de largeur (mm) des stades de développement de l'Oryctes agamemnon arabicus.	58
Tableau 6 : Largeur de la capsule céphalique (mm) d'Oryctes agamemnon arabicus.	60
Tableau 7 : Mortalité par stade d'Oryctes agamemnon arabicus.	62
Tableau 8 : Matrice de corrélation entre les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie.	69
Tableau 9 : Résultats du test de Mann-Kendall.	71
Tableau 10 : Caractéristiques morphologiques des adultes d'Oryctes agamemnon subsp. arabicus... ..	79
Tableau 11 : Le nombre total de bases, lectures, GC (%), AT (%), Q20 (%) et Q30 (%) dans les 4 échantillons.	81
Tableau 12 : Nombre de lectures dans les Données Brutes et les Données Traitées. Pour chaque échantillon, les statistiques des lectures avant (avant) et après (après) le traitement sont indiquées. ...	82
Tableau 13 : Nombre de lectures assignées à Oryctes agamemnon.	83
Tableau 14 : Indices de diversité alpha calculés pour chaque échantillon (Niveau Genre).	85
Tableau 15 : Indices de diversité alpha calculés pour chaque échantillon (Niveau Espèce).	85
Tableau 16 : Matrice de distance MASH.	86

Liste des abréviations

ACP	Analyse en Composantes Principales
AT	Rapport de contenu AT
COI	Cytochrome oxydase de type I
DNA	Deoxyribonucleic Acid
EPF	Entomopathogenic fungi
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database
GC	Rapport de contenu GC
IPM	Integrated Pest Management
JSI	l'indice de similarité de Jaccard
K-mers	Short DNA sequences that are used for genome sequence analysis
L1	Larve de 1er stade
L2	Larve de 2ème stade
L3	Larve de 3ème stade
LED	Light-Emitting Diode
MASH	Fast genome distance estimation software using the MinHash algorithm
mm	millimètre
NCBI	National Center for Biotechnology Information
NDVI	L'indice de végétation par différence normalisée
pb	Paire de bases
PCR	Polymerase Chain Reaction
SD	Standard deviation

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est l'espèce végétale essentielle dans les régions sahariennes, offrant une adaptation remarquable aux conditions environnementales arides et constituant la principale ressource des oasis. Il joue un rôle crucial en tant que source alimentaire pour les populations du sud (Gilles, 2000; Espiard, 2002).

La culture du palmier dattier s'étend du Maroc à l'Ouest jusqu'à la frontière tuniso-libyenne à l'Est, et de l'Atlas Saharien au nord jusqu'à Reggan au Sud-Ouest, avec Tamanrasset au centre et Djanet au Sud-Est. Elle est pratiquée dans 17 wilayas, les principales zones de production étant Biskra, Ouargla, El Oued et Adrar (Bouguedoura et al., 2010).

Les palmiers dattiers et leurs fruits sont exposés à plusieurs insectes nuisibles majeurs, tels que le Boufaroua (*Oligonychus afrasiaticus* M.c), la Pyrale de la datte (*Ectomyelois ceratoniae* Zeler), la Cochenille blanche (*Parlatoria blanchardi* Targion-Tozzeti) et le Bostryche (*Apate monachus* Fab.) (Delassus et Pasquier, 1931 ; Wertheimer, 1958 ; Idder, 2008 ; Idder-Ighiili et al., 2013).

Parmi ces insectes, le genre *Oryctes* (Coleoptera: Scarabaeidae), qui comprend plusieurs espèces, infeste les vergers de dattiers dans de nombreux pays arabes, notamment *O. elegans*, *O. agamemnon* et *O. rhinoceros* (Al-Sayed et Al-Tamiemi, 1999).

Les scarabées rhinocéros forment un groupe de scarabées de taille moyenne à grande appartenant à la sous-famille des Dynastinae, dont les mâles se distinguent par un large corne céphalique (Rochat et al., 2004).

Le genre *Oryctes* comprend 39 espèces (Bedford, 1976), mais seules certaines d'entre elles influencent le développement des palmiers, en particulier des cocotiers (Ohler, 1999).

Le scarabée rhinocéros *Oryctes agamemnon arabicus* (Coleoptera, Scarabaeidae) est identifié comme un ravageur secondaire dans les vergers de palmiers dattiers dans de nombreux pays du Golfe, notamment le Royaume d'Arabie Saoudite (Talhouk, 1982), l'Irak, les Émirats Arabes Unis (Med Saeed, 2004), le Sultanat d'Oman (Al-Sayed et Al-Tamiemi, 1999), en Tunisie (Khoualdia et Rhouma, 1997) et en Algérie (Anonyme, 2014).

Ce ravageur a été identifié pour la première fois en Tunisie en 1995, après l'effondrement inattendu de plusieurs palmiers productifs dans l'oasis de Mrah Lahouar, située dans le gouvernorat de Tozeur (Khoualdia et Rhouma, 1997 ; Soltani, 2004 ; Soltani, 2009). Il a depuis été reconnu comme causant des pertes économiques significatives aux palmiers dans le pays (Soltani, 2010).

Dans des conditions naturelles, les femelles accouplées de l'espèce *O. agamemnon* déposent leurs œufs dans diverses parties du palmier : entre les racines poilues, le long du tronc au niveau des aisselles des feuilles et à la base des frondes coupées. Les larves s'enfoncent dans des zones spécifiques de la plante, telles que les racines, le tronc, l'écorce, ainsi que la partie inférieure de la couronne, où elles et les adultes se nourrissent de la sève produite par le palmier. Les dommages les plus importants surviennent généralement au niveau des racines basales qui soutiennent l'arbre et dans la couronne (Soltani, 2008).

Récemment, en Algérie, les observations et le piégeage de l'*Oryctes* du palmier dattier ont montré que les wilayas d'El Oued, notamment les communes de Douar El Ma et Taleb El Arbi, ainsi qu'Ouargla, en particulier la commune d'El Borma, sont touchées par cette infestation. En revanche, aucune présence de ce ravageur n'a été constatée dans d'autres zones jusqu'à présent (Anonyme, 2023).

La végétation est le composant principal des écosystèmes terrestres sur Terre et joue un rôle essentiel dans les échanges d'eau, d'énergie, ainsi que dans les cycles biogéochimiques des surfaces terrestres (Pan et Feng, 2018; Peng et al., 2012; Foley et al., 2000). Elle a un impact considérable sur les cycles du carbone terrestre, la valeur des services écosystémiques, les échanges d'énergie à la surface et l'équilibre hydrique, à l'échelle régionale comme mondiale (Chu et al., 2019; Cao et Woodward, 1998; Chen et al., 2019). L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) est sensible à la phénologie (Ning et al., 2015) et est souvent

utilisé comme le meilleur indicateur de la croissance de la végétation et des changements dans sa couverture (Zhao, 2003).

Les palmiers dattiers représentent une ressource économique et culturelle essentielle en Algérie, notamment dans les régions de Taleb El Arbi et Douar El Ma, situées dans la wilaya d'El Oued, près de la frontière avec le gouvernorat de Tozeur en Tunisie. Cependant, ces palmeraies sont sérieusement menacées par les attaques de l'*Oryctes*, qui affectent la production de dattes et compromettent la durabilité des palmiers. Bien que des méthodes traditionnelles de lutte contre ce nuisible existent, leur efficacité reste limitée en raison d'un manque de connaissances approfondies sur cette espèce dans les conditions spécifiques de la région.

Cette situation soulève des questions importantes sur la gestion des palmeraies. La problématique centrale de cette étude réside donc dans la nécessité d'acquérir des connaissances précises sur la bioécologie et l'identification de ce ravageur dans les oasis d'El Oued. Ces informations sont cruciales pour proposer des solutions de gestion intégrée visant à mieux protéger les palmeraies.

L'étude a pour objectif de répondre à la problématique en approfondissant la compréhension de la bioécologie de l'*Oryctes agamemnon arabicus* dans les conditions naturelles des oasis de Taleb El Arbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie, ainsi qu'en laboratoire. Elle vise également à observer et documenter les symptômes et les dégâts causés par les adultes et les larves d'*Oryctes* sur les palmiers. L'étude analysera l'interaction entre cet insecte et les acariens, ainsi que l'évolution des tendances de l'indice NDVI entre 1990 et 2024 dans les zones ciblées. Par ailleurs, l'impact des infestations d'*Oryctes* sur la végétation et la croissance des palmiers dattiers sera évalué. Enfin, l'identification des différentes espèces d'*Oryctes* présentes dans la région sera réalisée, en combinant des méthodes morphologiques et des analyses moléculaires basées sur le marqueur COI pour une identification précise des spécimens collectés.

Ces objectifs permettent de poser une base solide pour l'élaboration de programmes de lutte contre l'*Oryctes* et de proposer des solutions mieux adaptées à la gestion des palmeraies, tout en préservant les écosystèmes locaux.

PARTIE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : Aperçu de la plante hôte : le palmier dattier, *Phoenix dactylifera* L.

1. Introduction

Le genre *Phoenix* comprend douze espèces, la plupart étant des espèces ornementales. Seul *P. dactylifera* L. a été cultivé comme plante fruitière. Son développement est étroitement lié à l'émergence et à l'essor des premières civilisations urbaines et agricoles (Al-Turki, 2008).

Le palmier-dattier, se distingue comme l'espèce fruitière la plus ancienne cultivée dans les zones chaudes arides et semi-arides, jouant un rôle vital dans la pérennité des oasis. Sa culture symbolise la richesse des régions sahariennes, s'adaptant aux sols variés issus de formations désertiques et subdésertiques, qui constituent les terres arables de ces régions (Munier, 1973).

Dans ce chapitre, nous avons dressé un aperçu général sur le palmier dattier, mettant en lumière son importance historique, sa distribution géographique, sa biologie et les défis auxquels il est confronté, notamment les maladies et les ravageurs.

2. Historique et Origine du palmier dattier

D'après Munier (1973), le palmier dattier cultivé est le produit de l'hybridation de divers *Phoenix*, et l'origine des variétés domestiquées est probablement située dans la région marginale septentrionale ou orientale du Sahara.

L'ancêtre sauvage de cette espèce est réparti le long de la bordure méridionale chaude et aride du Proche-Orient, du nord-est du Sahara et du nord du désert d'Arabie. Ses caractéristiques morphologiques et ses besoins en termes de climat sont similaires à ceux du palmier dattier cultivé ; la seule divergence réside dans la taille des fruits, qui sont plus petits avec une pulpe considérablement réduite et indigeste (Bouguedoura, 1991).

Le palmier dattier représente l'une des cultures végétales les plus anciennes. Étant ainsi désigné par son appellation, il s'inscrit dans une vaste famille d'arbres à feuilles palmées et produit des dattes. Le palmier dattier est également connu sous le nom anglais de "date palm", ainsi que sous les appellations "nakhil" ou "tamr" en arabe. Cependant, dans toutes les régions du monde, il est désigné par son nom latin commun, "*Phoenix dactylifera* L." (Guettouchi, 2017; Gilles, 2000).

Des recherches récentes ont indiqué que le palmier-dattier serait issu de la domestication d'une population sauvage de la même espèce (Pintaud et al., 2010). Cette domestication serait liée à l'émergence des premières civilisations agricoles du Croissant fertile, entre la Mésopotamie et l'Égypte, vers 4000 ans avant J.C. Depuis ce berceau initial, la culture du palmier-dattier s'est étendue vers l'Est et l'Afrique orientale (XVe siècle), ainsi que vers le nord (XIe siècle). À partir du XXe siècle, le palmier-dattier a été introduit en Amérique et en Australie. Sa diffusion s'est opérée selon plusieurs axes : par les navigateurs arabes, par la colonisation et les anciens échanges commerciaux où les dattes étaient utilisées comme monnaie d'échange (Ouennoughi et al., 2005).

3. Taxonomie du palmier dattier

Le terme spécifique "*dactylifera*" est dérivé de deux mots grecs, "dactylos" signifiant "doigts" et "feros" signifiant "porteur". Ainsi, il désigne l'arbre phénicien portant des fruits semblables à des doigts (Tirichine, 2010 ; Max, 1997). Une autre théorie propose que les Grecs ont désigné l'oiseau mythique renaissant de ses cendres par le terme "*phoenix*", et que ce nom

a été donné au palmier dattier en raison de sa résilience après avoir subi un incendie partiel (Gourchala, 2015).

Le genre *Phoenix* englobe au moins douze espèces, dont la plus reconnue est *dactylifera*, dont les fruits, connus sous le nom de "dattes", font l'objet d'un commerce international important (Espiard, 2002).

Phoenix dactylifera L. est une espèce de plante dioïque monocotylédone, faisant partie de la famille des Palmaceae et de la sous-famille des Coryphineae. La famille des Palmaceae englobe environ 235 genres et 4000 espèces (Munier, 1973).

Le positionnement taxonomique du palmier dattier dans le règne végétal est présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1: Positionnement taxonomique du palmier dattier (Feldman, 1976).

Groupe	Spadiciflores
Ordre	Arecales
Famille	Arecaceae
Sous-famille	Coryphoïdées
Tribu	Phoenicées
Genre	<i>Phoenix</i>
Espèce	<i>Phoenix dactylifera</i> L.

4. Répartition géographique du palmier dattier et production de dattes

4.1. À l'Échelle Mondiale

Le dattier est une espèce xérophile, ne poussant normalement en fleurs et produisant des fruits que dans les déserts chauds (Amorsi, 1975). L'Espagne se distingue en tant que seul producteur européen de dattes, principalement dans la célèbre palmeraie d'Elche. Aux États-Unis d'Amérique, l'introduction du palmier dattier remonte au XVIII^e siècle, mais sa culture n'a réellement débuté qu'au cours du XX^e siècle avec l'importation de variétés irakiennes (Matallah, 2004 ; Bouguedoura, 1991).

D'après Daher Meraneh (2010), Le palmier-dattier est cultivé dans une vaste étendue géographique, s'étendant du 44^{ème} parallèle Nord jusqu'au 33° parallèle Sud. Son aire de distribution principale se situe principalement entre le 24° et le 35° parallèle Nord. Parmi une superficie totale de 1 264 611 hectares consacrée à la culture des palmiers, environ 98 % (soit 1 257 649 hectares) se trouvent dans les régions arides et semi-arides d'Asie et d'Afrique. Cette espèce est également présente sur d'autres continents, notamment en Amérique, principalement aux États-Unis (Californie, Arizona, Texas), ainsi qu'au Mexique, au Chili et au Pérou. En Australie, on la trouve principalement dans les États du Queensland et du Territoire du Nord. En Europe, sa présence est notable en Espagne (Elche) et en Italie (Bordighera, San Remo) (Figure 1).

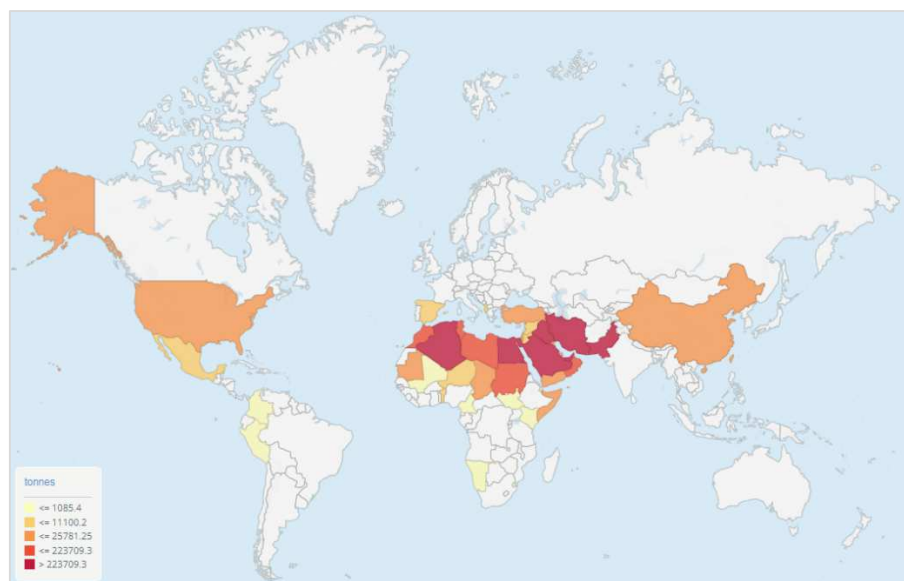


Figure 1 : Quantités de production de Dattes par pays entre 1980 – 2022 (FAOSTAT, 2024).

La production mondiale de dattes atteint près de 7 millions de tonnes chaque année, ayant plus que doublé depuis les années 1980. En 2022, la production mondiale de dattes a été estimée à 9 747 570,04 tonnes, cultivées sur une superficie totale de 1 270 286 hectares (FAOSTAT, 2024), (Figure 2).

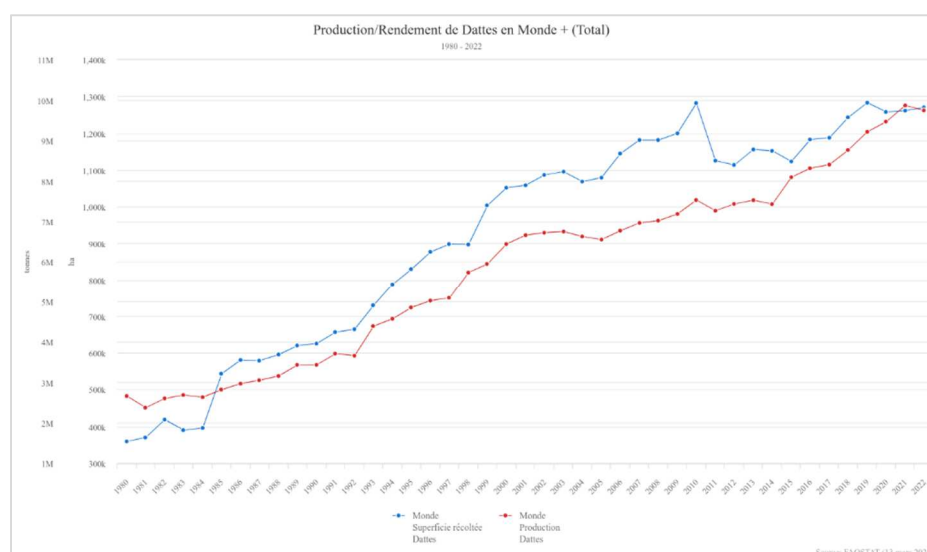


Figure 2 : Production et rendement des dattes dans le monde (1980-2022) (FAOSTAT, 2024).

Entre 1980 et 2022, les dattes ont été produites en quantités significatives par les principaux producteurs suivants : l'Égypte se positionne en tête avec une moyenne de 1,016,656.73 tonnes, suivie de l'Iran avec 836,134.27 tonnes, et de l'Arabie saoudite avec 819,889.97 tonnes. Ensuite, on retrouve l'Iraq avec 596,712.68 tonnes, l'Algérie avec 527,604.29 tonnes, le Pakistan avec 466,370.21 tonnes, le Soudan avec 440,994.18 tonnes, les Émirats arabes unis avec 367,266.08 tonnes, Oman avec 223,709.3 tonnes, et enfin, le Soudan (ex) avec 222,803.09 tonnes (FAOSTAT, 2024), (Figure 3).

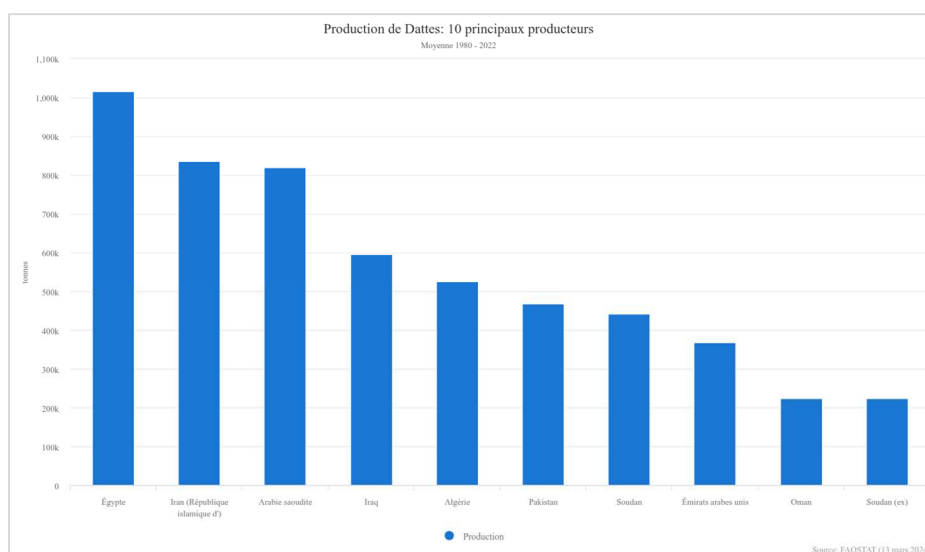


Figure 3 : Production de Dattes : 10 principaux producteurs dans le monde (1980-2022) (FAOSTAT, 2024).

4.2. En Afrique

Le patrimoine de palmiers dattiers de l'Afrique du Nord représente environ 26 % du total mondial (Idder, 2008). Les régions les plus favorables à la culture du *Phoenix dactylifera* en Afrique sont situées entre 24 et 34 degrés de latitude Nord (Maroc, Algérie, Tunisie, Égypte, etc.) (Retima, 2015) (Figure 4).

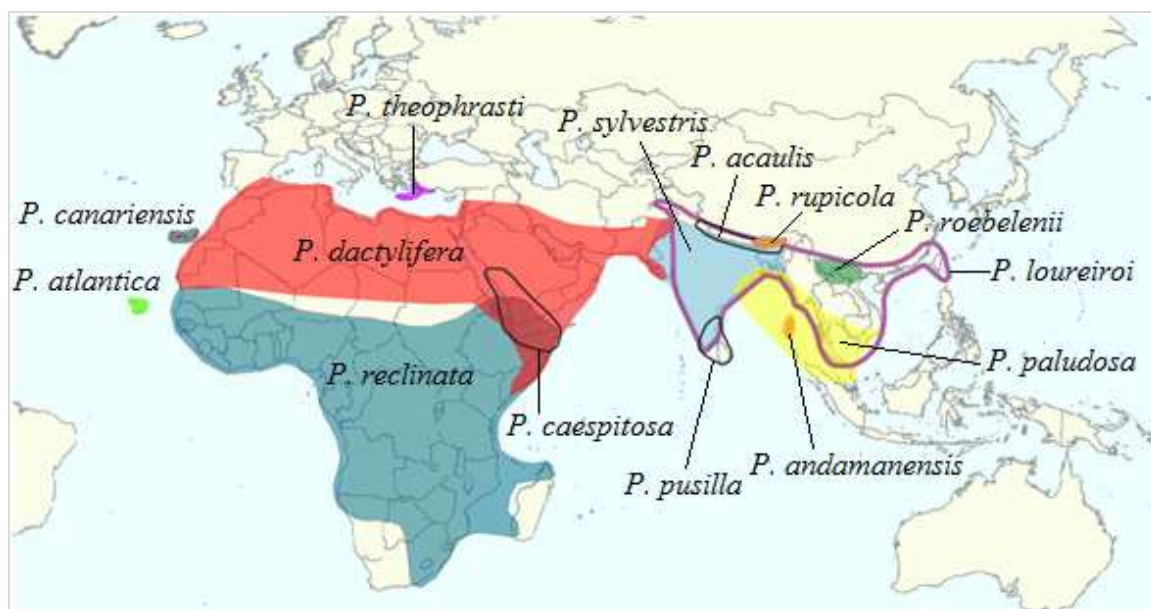


Figure 4 : Carte de répartition du genre Phoenix (Muriel et al., 2013).

Au cours de la période 1980-2022, la production de dattes en Afrique a connu une augmentation significative. En 2022, la production de dattes en Afrique a été estimée à 4 198 111,06 tonnes, couvrant une superficie totale de 479 691 hectares (FAOSTAT, 2024), (Figure 5).

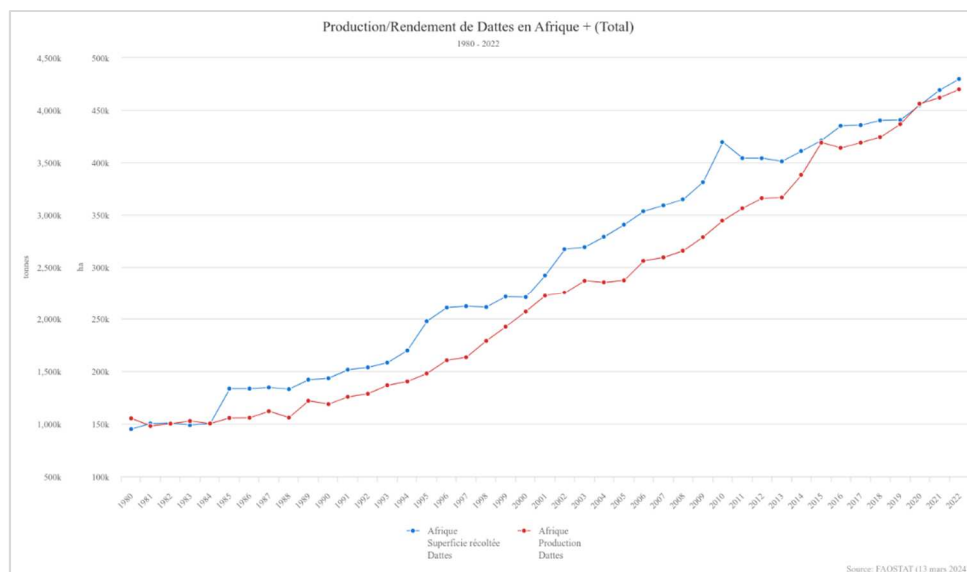


Figure 5 : Production et rendement de dattes en Afrique (1980-2022) (FAOSTAT, 2024).

4.3. En Algérie

La culture du palmier dattier s'étend de la frontière marocaine à l'Ouest jusqu'à la frontière tuniso-libyenne à l'Est, et de l'Atlas Saharien au nord jusqu'à Reggan au Sud-Ouest, avec Tamanrasset au centre et Djanet au Sud-Est. La culture est répandue dans 17 wilayas, les zones de production les plus importantes étant Biskra, Ouargla, El Oued et Adrar (Bouguedoura et al., 2010). Les palmeraies algériennes sont principalement localisées dans les régions du sud-est du pays, couvrant une superficie de 128 800 hectares avec environ 14 605 030 palmiers (Houda et al., 2012), (Figure 6).

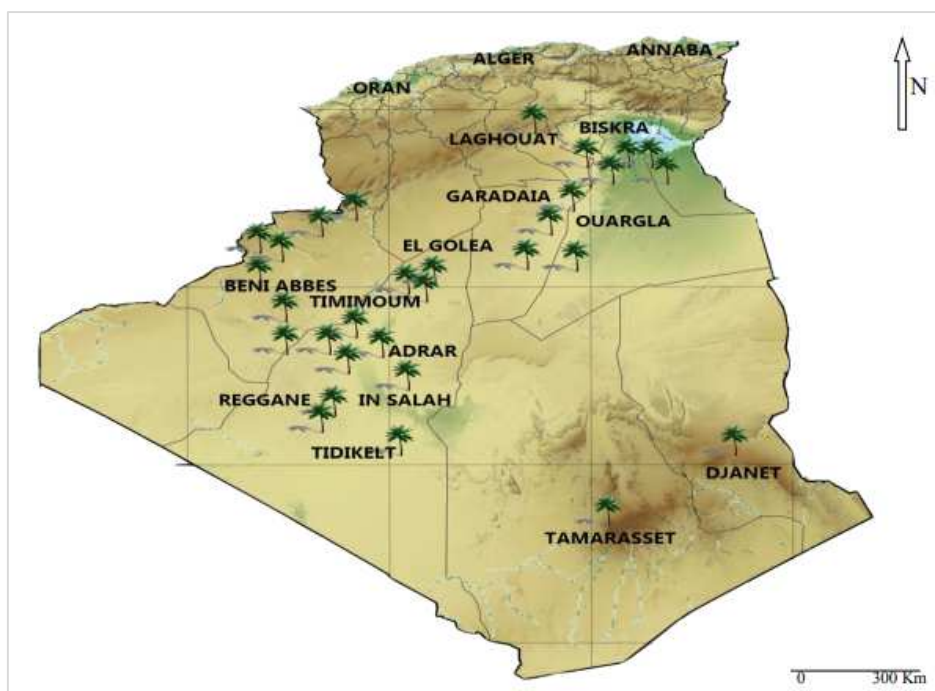


Figure 6 : Les Oasis algériennes (Boulanouar, 2015).

Les wilayas de Biskra et d'El-Oued présentent la plus grande superficie cultivée, totalisant tous deux 53 533 hectares, soit plus de la moitié de la superficie totale consacrée au palmier dattier (Makhloufi, 2010).

La production de dattes en Algérie a connu une augmentation exponentielle entre 1980 et 2022. En 2022, les palmeraies algériennes s'étendaient sur une superficie de 176 044 hectares, générant une production de dattes atteignant 1 247 403,75 tonnes (FAOSTAT, 2024), (Figure7).

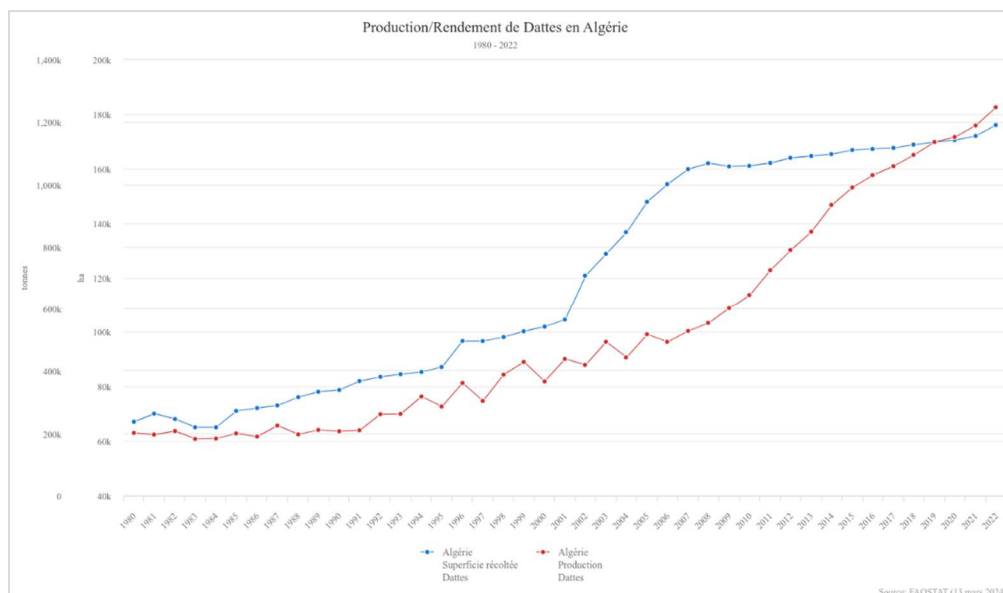


Figure 7 : Production et rendement de dattes en Algérie (1980-2022) (FAOSTAT, 2024).

5. Biologie du palmier dattier

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera*) est une plante pérenne à longue durée de vie, atteignant généralement l'âge de 100 ans, avec une phase juvénile d'environ 8 ans (Saaidi et al, 1981).

Sur le plan cytologique, toutes les espèces du genre *Phoenix* possèdent 36 chromosomes somatiques et peuvent être hybridées entre elles (Munier, 1974 et Munier, 1981). En tant qu'hybride non fixé, le dattier présente une grande hétérozygotie, ce qui nécessite sa propagation asexuée par rejets (djebbars) afin d'assurer les qualités agronomiques et fruitières de l'arbre à venir (Calcat, 1961).

Phoenix dactylifera est une espèce très hétérozygote et diploïde ($n=18$ et $2n=36$), étant une espèce arboricole à la morphologie très particulière, caractérisée notamment par sa dioécie (Ben abdallah, 1990; Henry, 1955). Il est souvent qualifié d'herbe géante (Tahri, 2017) et appartient à la catégorie des plantes monocotylédones (Sani et al., 2016; Belguedj, 2014; Max, 1997; Bennasseur, 2015).

La multiplication par noyaux ne garantit pas la fidélité de la "variété" d'origine, avec en moyenne 50 % de sujets mâles et 50 % de sujets femelles. L'hétérozygotie des plants originaux induit une grande diversité dans la descendance. À l'origine, cette méthode permettait aux phœniculteurs de sélectionner les meilleurs plants issus de noyaux et de les multiplier par voie végétative. Ainsi, les palmiers actuels ne sont que le résultat de cette sélection et sont en réalité des cultivars (Belguedj, 2007).

6. Cycle de développement du palmier dattier

D'après l'Institut International des Ressources Phytogénétiques IPGRI (2005), la phénologie (Stades de croissance) du palmier dattier se décompose en quatre phases distinctes:

- Phase I : stade non encore productif (0 à 2 ans).
- Phase II : stade juvénile (3 à 10 ans).
- Phase III : stade adulte (11 à 60 ans).
- Phase IV : stade vieux (> 60 ans).

Le cycle végétatif annuel du palmier-dattier est étroitement lié aux pratiques culturales appliquées dans les régions sahariennes, comme illustré dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2 : Cycle végétatif du palmier dattier (Belguedj, 2002).

Stade et période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Apparition des spathes (floraison)												
Croissance des spathes												
Ouverture des spathes (fécondation)												
Nouaison												
Grossissement des fruits												
Prématuration (Bser)												
Maturation (Tmar)												
Récolte												
Repos végétatif												

7. Morphologie du palmier dattier

La structure du palmier dattier se divise en trois parties distinctes : un système racinaire, un organe végétatif comprenant le tronc et les feuilles (palmes), et un organe reproductif constitué de spathes portant des inflorescences mâles ou femelles (Tahri, 2017; Sedra, 2003), (Figure 8).

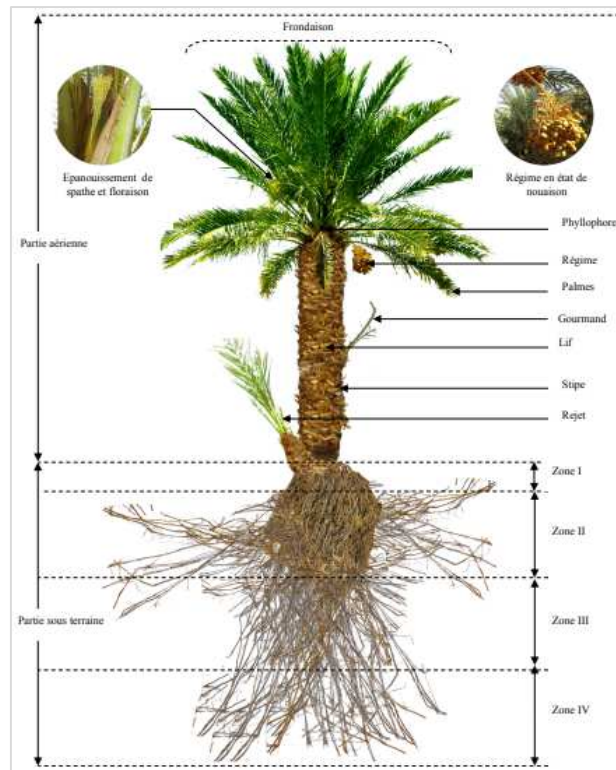


Figure 8 : Présentation schématique du palmier dattier (Boulanouar, 2015).

7.1. Système Racinaire

Le système racinaire du palmier dattier adopte une structure fasciculée. Les racines ne se lignifient pas et sont principalement composées de radicules. Le bulbe ou plateau racinaire se distingue par sa volumétrie et émerge partiellement au-dessus du niveau du sol (Munier, 1973).

Le système racinaire présente quatre zones distinctes (Figure 9) :

- Zone I :

Composée de racines respiratoires, la zone I est située à la base du palmier dattier et comprend de nombreuses racines adventives aériennes qui peuvent se développer à partir de la région basale du tronc. Les racines souterraines demeurent principalement dans la couche superficielle du sol et n'atteignent pas une profondeur supérieure à 0,20 à 0,25 mètre.

- Zone II :

Cette zone est dédiée aux racines de nutrition et est très étendue, en particulier dans les cultures en monoculture où elle concentre la plus grande proportion des racines du système.

- Zone III :

Les racines d'absorption prédominent dans cette zone, dont l'importance varie selon les pratiques culturales et la profondeur du niveau phréatique.

- Zone IV :

Lorsque le niveau phréatique est peu profond, cette zone peut être considérablement réduite et se confondre avec la précédente (Bouguedoura, 1991).

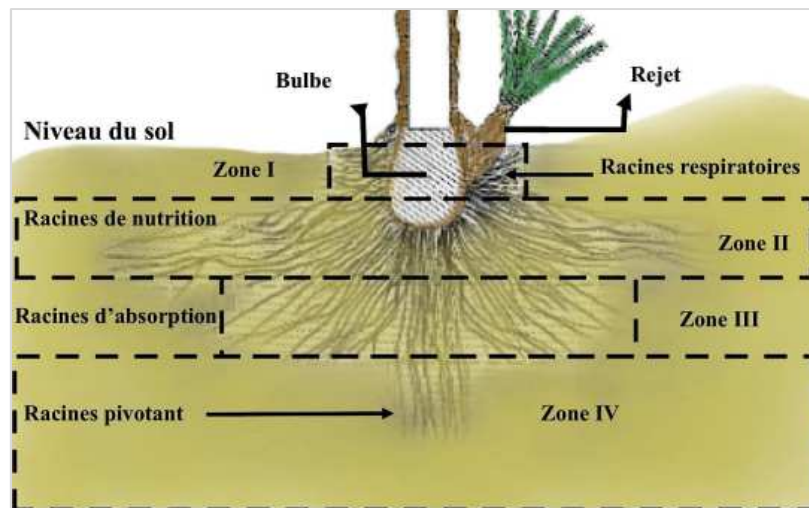


Figure 9 : Les types de racines rencontrées chez le palmier dattier (Mohammad, 2015).

7.2. Tronc ou Stipe

Le diamètre du stipe varie selon les différentes variétés et peut fluctuer en fonction des conditions environnementales, même au sein d'une même variété. Sa structure présente une caractéristique particulière, composée de vaisseaux disposés de manière désordonnée et enchevêtrés dans un parenchyme fibreux (Chelli, 1996). Selon Wertheimer (1956), le stipe est recouvert par les bases des palmes, appelées "cornaf". Au cours de sa vie, un palmier peut produire environ 17 rejets.

7.3. Palmes

Les feuilles du palmier dattier, connues sous le nom de palmes ou Djerids, adoptent une forme pennée et sont disposées en spirale, étroitement rapprochées le long du stipe grâce à une gaine pétioleaire bien développée, le "cornaf", enfoncée dans le "life" (Belhabib, 1995). Un palmier bien développé peut contenir entre 50 et 200 palmes (Benchenouf, 1971), formant ainsi une couronne (Munier, 1973) (Figure 10).

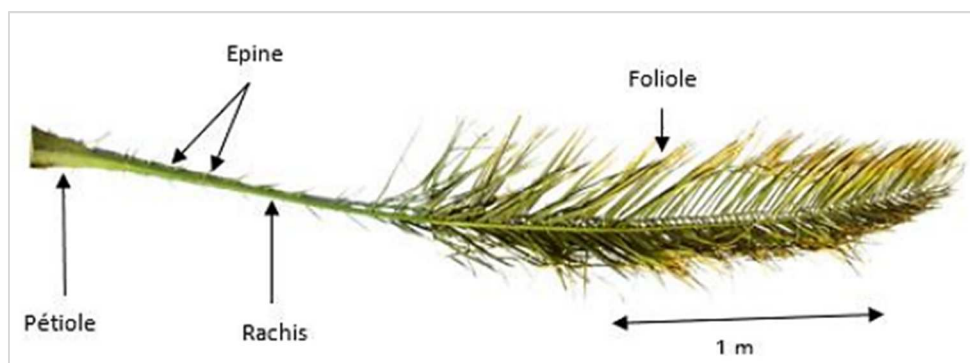


Figure 10 : Schéma d'une palme (Benlarbi, 2019).

7.4. Couronne ou Frondaison

La couronne du palmier se subdivise en plusieurs sections : la couronne basale, caractérisée par les palmiers les plus anciens ; la couronne centrale, où résident les palmes adultes ; les palmes du cœur, désignant les frondes non encore ouvertes, communément appelées « en pinceau », ainsi que les palmes dont la taille définitive n'a pas encore été atteinte. Les palmes sont générées par le bourgeon terminal, également désigné sous le terme de

«phyllophore». Les premières palmes, celles du cœur encore en phase de développement et nommées « en pinceau », peuvent être comptabilisées à l'œil nu (Munier, 1973).

7.5. Organes Floraux

Selon Peyron (2000) tous les Phoenix, y compris le palmier dattier, présentent une caractéristique dioïque. Les sexes sont séparés, avec des pieds mâles produisant du pollen et des pieds femelles donnant des fruits, à savoir les dattes. Les fleurs sont portées par des pédicelles ou des épillets, eux-mêmes soutenus par un axe charnu, la hampe ou spadice, l'ensemble est enveloppé dans une grande bractée membraneuse fermée, appelée la spathe.

La structure florale femelle se présente sous forme globulaire, avec un diamètre variant entre 3 et 4 mm, comme rapporté par plusieurs auteurs (Sedra, 2003 ; Guettouchi, 2017 ; Tabib, 2016). Elle se distingue par ses teintes blanc ivoire et vert clair, comme mentionné dans une étude antérieure (Retima, 2015). Quant à la fleur mâle, elle adopte une forme légèrement allongée et se compose d'un calice court, de trois sépales fusionnés, ainsi que d'une corolle constituée de trois pétales et de six étamines. Les fleurs mâles affichent généralement une coloration blanc crème, accompagnée d'une fragrance caractéristique évoquant la pâte à pain (Sedra, 2003) (Figure 11).

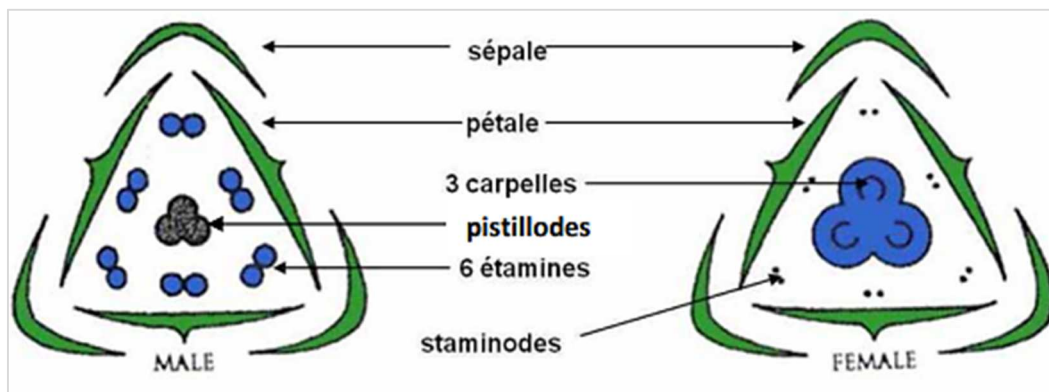


Figure 11 : Diagramme florale des fleurs du palmier dattier (Daher Meraneh, 2010).

7.6. Fruits

Le fruit du palmier dattier, connu sous le nom de datte, se présente comme une baie renfermant une unique graine désignée sous le terme de noyau. La datte se compose d'un mésocarpe charnu, enveloppé par un péricarpe fin. Le noyau est entouré d'un endocarpe parcheminé, adoptant une forme allongée et variant en taille, présentant une surface lisse avec des protubérances latérales en arêtes ou en ailettes, accompagnées d'un sillon ventral. L'embryon, situé dorsalement, possède une texture dure et cornée (Munier 1973), (Figure 12).

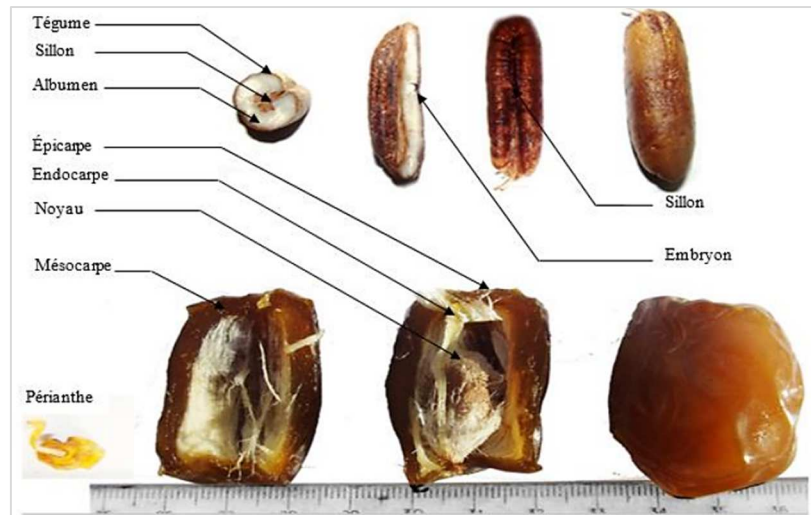


Figure 12 : Coupe longitudinale d'une datte et du noyau (Boulanouar, 2015).

Le développement des dattes chez le palmier-dattier jusqu'à leur maturité s'articule autour de cinq phases distinctes :

- **Phase I (Loulou) :** Initiant juste après la fécondation, cette phase dure environ cinq semaines et se caractérise par une croissance lente. Les dattes sont alors vertes, globuleuses et pointues à l'extrémité (Gourchala, 2015).
- **Phase II (Khalal) :** S'étendant de juin à juillet, le fruit conserve une teinte verte. Pendant cette période, une croissance rapide est observée en raison de l'accumulation des hydrates de carbone et de l'humidité. Cette phase dure généralement de neuf à quatorze semaines (Ben Mbarek et Deboub, 2015).
- **Phase III (Bser) :** Cette étape s'étend sur une durée de six semaines (Nagoudi, 2014). La couleur des dattes vire au jaune ou au brun. Par rapport à la phase khalal, cette phase se caractérise par une augmentation rapide de la teneur en sucres totaux, une diminution de la teneur en eau et en acidité. Le poids maximal de la datte est atteint au début de cette phase, qui dure en moyenne quatre semaines (Ben Mbarek et Deboub, 2015).
- **Phase IV (Martouba) :** D'une durée de deux à quatre semaines (Djerbi, 1994), cette phase voit la couleur jaune ou rouge de la phase khalal évoluer vers des teintes plus foncées voire noires. Elle se caractérise par :
 - La perte de la turgescence du fruit due à la diminution de la teneur en eau.
 - L'insolubilisation des tanins sous l'épicarpe du fruit.
 - L'augmentation de la teneur en monosaccharides (Ben Abbes, 2011).
- **Phase V (Tmar) :** La dernière phase de maturation, durant laquelle le fruit perd une quantité significative d'eau, entraînant un rapport sucre/eau élevé (Djerbi, 1994). Dans la plupart des variétés, la peau adhère à la pulpe qui se rétracte à mesure que son volume diminue. L'épiderme et la pulpe acquièrent progressivement des teintes plus sombres (Retima, 2015).

8. Maladies et Ennemis naturels du palmier dattier

8.1. Maladies cryptogamiques

8.1.1. Bayoud (*Fusarium*)

Le Bayoud représente la maladie cryptogamique la plus dévastatrice affectant le palmier dattier, causée par le champignon *Fusarium oxysporum* forme spéciale *albidinis* (Bouguedoura, 1991). L'épidémie a débuté en Algérie en 1898 à Beni Ounif, suite à l'introduction de rejets ou d'autres matériaux contaminés provenant des oasis frontalières marocaines, comme le souligne Dubost (1972).

En Algérie, les palmeraies du Sud-Ouest sont principalement touchées. Actuellement, la maladie s'est propagée jusqu'à la région du M'Zab et menace les zones du Sud-Est, où se trouvent les plus vastes palmeraies algériennes, en particulier la variété Deglet Nour (Idder, 1992). Il s'agit d'un Ascomycète imparfait présent dans le sol des palmeraies, devenant virulent au contact des racines du palmier dattier, pénétrant dans celles-ci et envahissant les tissus vasculaires des palmes. Cette invasion entraîne un blanchissement progressif puis un dessèchement des palmes, d'où le nom de la maladie. Lorsque le bourgeon terminal est affecté, l'arbre meurt en quelques mois ou quelques années après l'apparition de la maladie (Bouguedoura, 1991). Les mesures prophylactiques et l'utilisation de variétés résistantes restent les seuls moyens efficaces de lutter contre le Bayoud (Maatallah, 1972).

8.1.2. Pourriture des inflorescences (Khamedj)

Cette pathologie est causée par le champignon *Asperginiella scaetiae*, qui est systématiquement présent dans les tissus affectés. Le premier indicateur de la maladie se manifeste par l'apparition d'une ou deux taches rouillées ou brunes sur la surface externe des spathes qui sont encore fermées. La spathe ne s'ouvre pas en raison de la pourriture totale de son contenu, car le champignon a déjà envahi les inflorescences (Djerbi, 1986).

8.1.3. La maladie des feuilles cassantes

Un défi croissant pour le palmier dattier, émerge avec une prévalence alarmante. Cette pathologie, dont l'origine reste encore inexpiquée, a été identifiée pour la première fois en Tunisie (Takrouni et al., 1988; Triki et al., 2003). Par la suite, sa propagation a été observée en Algérie, notamment dans les régions d'Adrar et du M'zab (Djerbi, 1983). Sa présence a été formellement confirmée dans la région de Biskra (Saadi et al., 2006).

8.1.4. Autres maladies

- **Pourriture des fruits**

Causée par diverses espèces cryptogamiques, notamment *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp. et *Stemphylium botrysum*.

- **Pourriture du cœur**

Attribuable à *Phytophthora* sp.

- **Pourriture des racines**

Due à *Omphalia tralucida* et *Omphalia pigmenta* Bliss (Djerbi, 1986).

8.2. Les ravageurs

8.2.1. Acariens

- **Le Boufaroua :**

Scientifiquement nommé "*Oligonychus afrasiaticus* MAC. G", appartenant à la famille des Tetranychidae, ce ravageur est répandu dans toutes les palmeraies d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient. Il a été identifié pour la première fois en Algérie par Marc-André en 1932. L'adulte mesure de 2,28 à 0,44 mm, ayant un corps ovale de couleur jaune pâle et présente un petit nombre de longs poils espacés sur le corps. Le mâle est plus petit et plus allongé que la femelle (Munier, 1973 ; Guessoum, 1986).

Les dommages sont principalement observés sur la variété Deglet Nour. Les fruits infestés sont reliés entre eux par des fils soyeux et lâches, formant une toile blanche ou grisâtre, qui prend rapidement la teinte du sable ou de la poussière qui y reste attachée. L'épiderme du fruit vert est détruit, devenant rugueux et prenant une teinte légèrement rougeâtre. Ces fruits sont inaptes à la consommation humaine (Munier, 1973).

8.2.3. Les insectes

- **Les lépidoptères :**

- **La Pyrale de datte**

Les lépidoptères, représentés principalement par les espèces du genre *Cadra*, *Plodia interpunctella* et *Ectomyelois ceratoniae* Zeller., sont des ravageurs de la famille des Pyralidae. Dans les oasis algériennes, les espèces de *Cadra* les plus fréquentes sont *Cadra cautella* Walk., *Cadra calidella* Gn. et *Cadra figulilella* Gre. Elles sont largement présentes dans les lieux de stockage et, secondairement, dans les dattes demeurées par terre (Doumandji-Mitiche, 1983).

La chenille est de couleur rose ou blanc jaunâtre, avec une tête brune (Doumandji, 1981), mesurant environ 18 mm de long et 0,1 à 3 mm de large (Leberre, 1978). Les dégâts sur les dattes sont provoqués par la chenille qui se trouve entre le noyau et la pulpe, se nourrissant de cette dernière (Vilardebo, 1975).

Au stade adulte, cet insecte est de couleur pâle, avec des ailes antérieures plus ou moins crémeuses légèrement ocracées, ornées de plages gris clair. Les ailes postérieures sont uniformément blanches, avec une frange blanche et des écailles largement spatulées et de longueur régulière. Son envergure est de 24 à 26 mm (Real, 1948 cité dans Zenkhri, 1988).

Pour conserver les dattes jusqu'à leur commercialisation, la désinsectisation au phosphore d'hydrogène, moins toxique pour l'homme, ou le chauffage des dattes aux micro-ondes à 65 °C sont des méthodes de lutte efficaces (Brun et al., 1998). Parmi les parasites de la Pyrale de datte, on trouve l'espèce *Trichogramma embryophagum*, qui cible l'embryon, détruisant ainsi le ravageur à la base et mettant fin immédiatement aux pullulations de leurs hôtes phytophages (Doumandji-Mitiche et Doumandji S., 1988).

- **Homoptères :**

- **La cochenille blanche**

Parmi les ravageurs les plus redoutables du palmier, *Parlatoria blanchardi* est bien connue depuis longtemps dans les oasis algériennes. *P. blanchardi* est un insecte piqueur suceur qui se nourrit en insérant son rostre dans la plante pour aspirer la sève, tout en injectant

simultanément une toxine qui altère la chlorophylle. Lors d'attaques sévères, cela entraîne un encroûtement brun, vert sale ou même grisâtre sur les feuilles, perturbant ainsi le processus de respiration et de photosynthèse (Munier, 1973).

En effet, la présence intensive de la cochenille blanche entrave non seulement le développement normal de la plante, mais provoque également le dessèchement prématuré des djerids et peut entraîner la perte totale d'un végétal aussi robuste et résistant que le palmier dattier (Balachowsky, 1937 ; Balachowsky, 1953 ; Smirnoff, 1954). La lutte efficace contre *P.blanchardi* peut être réalisée en combinant différentes méthodes, qu'elles soient physiques, chimiques ou biologiques, de manière séparée ou conjointe (Brun, 1990).

- **Les coléoptères**

Parmi les coléoptères qui s'attaquent aux dattes et aux dattiers, on peut citer :

- *Apate monachus* Fab. 1775, appartenant à la famille des Bostrychidae. C'est un xylophage de grande taille (15 à 20 mm), brun foncé. Son corps est allongé et cylindrique, plus court et plus robuste chez le mâle. L'adulte est nocturne et vole le soir dès le crépuscule (Lepesme, 1947). Il creuse des galeries d'une dizaine de centimètres de long dans la nervure principale des palmes, ce qui entraîne leur cassure ou leur perte de vitalité, voire leur dessèchement prématuré (Balachowsky, 1962 ; Bouktir, 1999 ; Achour, 2003). Bien que sa présence se manifeste dans plusieurs Wilayas en Algérie, sa biologie et sa dynamique des populations restent peu connues.
- *Carpophilus hemipterus*, un coléoptère Nitidulidae, s'attaque toujours à des éléments ayant été blessés ou meurtris auparavant, ou trop mûrs (Munier, 1973).
- *Cocotrypes dactyliperda* ou la **vrillette des noyaux de dattes**, Ce coléoptère mesure de 1,5 à 2 mm, est brun, velu et de forme très bombée. Il vit dans les noyaux de dattes, qu'il perfore de multiples trous (Lepigre, 1951).
- *Orcytes agamemnon*, Cet insecte se développe sur le palmier-dattier et est originaire du Moyen-Orient. On le retrouve dans tous les pays du golfe, en Égypte, en Iran, en Irak et en Algérie (Baraud, 1985; Al-Habshi et al., 2006; Bedford, 1980; Fasihi, 2011; Khalaf et al., 2013; Anonyme, 2014). *Orcytes agamemnon* cause d'importants dégâts principalement au niveau du collet et du système racinaire du palmier-dattier (Ehsine, 2008; Soltani, 2008).

CHAPITRE II : Le foreur rhinocéros, l'*Oryctes* sp. Du palmier dattier.

1. Introduction

Les palmiers dattiers, *Phoenix dactylifera* L., sont les arbres fruitiers les plus importants sur le plan économique dans les zones tropicales et subtropicales et sont cultivés sur une vaste zone couvrant de nombreux pays (Abdullah et al., 2010; Abul-Soad et al., 2011).

Un des ravageurs les plus importants qui infeste les palmiers dattiers dans de nombreux pays tels que l'Irak, l'Iran, l'Arabie Saoudite, Oman, l'Égypte, la Tunisie, la Libye et le Qatar est le foreur du palmier, appartenant à différentes espèces du genre *Oryctes* telles que *O. agamemnon* et *O. elegans* (Hussain, 1974 ; Dhiab et al., 1979 ; Bedford, 1980 ; F.A.O., 1982 ; Elwan & Al-Tameimi, 1999 ; Soltani, 2010).

Les larves des espèces d'*Oryctes* peuvent causer des pertes de rendement élevées, détruisant les arbres et les semis dans les palmiers à huile, les palmiers dattiers et les cocotiers (Ragoussis et al., 2007; Al-Deeb et al., 2012).

Ce chapitre fournit un aperçu du foreur rhinocéros, *Oryctes* sp., qui infeste les palmiers dattiers. Il couvre son historique, son origine, sa répartition géographique, ainsi que sa classification taxonomique. La biologie, le cycle de vie, les dégâts causés et les méthodes de lutte contre ce ravageur y sont également décrits. Ce chapitre vise à offrir une compréhension approfondie de l'*Oryctes* et à proposer des stratégies efficaces pour contrôler ses populations, afin de protéger les palmiers dattiers.

2. Historique et Origine de l'*Oryctes* du palmier dattier

Le genre *Oryctes* (Coleoptera: Scarabaeidae) était présenté par diverses espèces dans les plantations de palmiers-dattiers de plusieurs nations arabes, telles que *O. elegans*, *O. agamemnon* et *O. rhinoceros*; tous désignés sous le terme de scarabées rhinocéros. Dans la région de la péninsule arabique, *O. agamemnon* est abondamment réparti dans les nations du Golfe telles que le Royaume d'Arabie saoudite, les Émirats arabes unis et le Sultanat d'Oman (Al-Sayed et Al-Tameimi, 1999). Plus spécifiquement, trois espèces appartenant au genre *Oryctes* (*Oryctes agamemnon*, *O. elegans* et *O. richteri*) affectent les palmiers dattiers en Afrique du Nord et au Moyen-Orient (Rochat et al., 2004).

Oryctes agamemnon, un coléoptère se développant sur le palmier dattier, est indigène au Moyen-Orient et est observé dans toutes les nations du Golfe (Baraud, 1985; Al-Habshi et al., 2006), ainsi qu'en Égypte (Bedford, 1980), en Iran (Fasihi, 2011), en Irak (Khalaf et al., 2013) et en Algérie (Anonyme, 2014).

Historiquement, *O. agamemnon arabicus* a été introduit accidentellement en Tunisie pour la première fois à la fin des années 70, provenant des oasis des Émirats arabes unis jusqu'aux oasis de Mrah Lahouar relevant du gouvernorat de Tozeur. (Soltani, 2004 ; Khoualdia et Rhouma, 1997).

En Algérie, la présence de l'*Oryctes* du palmier dattier a été observée dans les wilayas d'El Oued ainsi que d'Ouargla (Anonyme, 2023).

3. Distribution de l'*Oryctes*

Peu importe l'oasis infestée dans le sud-ouest de la Tunisie, il a été constaté que les sites de reproduction de *O. agamemnon arabicus* sont identiques à la fois dans les zones de Djerid et de Rjim Maatoug. Tous les stades se développent dans les palmiers debout vivants. Un grand nombre de coléoptères, d'œufs et de larves ont été collectés à partir des racines respiratoires à

la fois sur le sol et dans la partie aérienne, sur le bois mort externe à travers le tronc en tant que matrices de fibrilles, l'écorce du tronc et la partie basale des pétioles secs (Soltani, 2004 ; Soltani, 2009 ; Soltani et al., 2008).

À Oman, *O. agamemnon arabicus* est considéré comme un foreur de tiges de fruits dont les larves sont généralement trouvées à l'intérieur des rejets morts et affaiblis. En Arabie saoudite, les larves d'*O. elegans* ont été trouvées entre les bases des frondes et les troncs (Al-Sayed, A.E. et Al-Tamiemi, 1999).

Les adultes du ravageur bien connu des cocotiers et des palmiers à huile, *Oryctes rhinoceros* L., ont été observés en train d'attaquer les palmiers dattiers en Inde (Butani, 1974 ; 1975) et aux Émirats arabes unis (EAU) (Gassouma, 1991) et ont également été signalés au Yémen (Al-Habshi et al., 2006). Les sites de reproduction les plus favorables pour *O. rhinoceros* dans la région du Pacifique sont les palmiers debout morts qui meurent de vieillesse, les troncs et souches de cocotiers morts, et l'humus de cosse de cacao en décomposition (Bedford, 1976 ; Waterhouse et Norris, 1987).

Récemment en Algérie, les résultats du piégeage et du contrôle visuel de l'*Oryctes* du palmier dattier ont révélé que les wilayas d'El Oued (notamment les communes de Douar El Ma et Taleb El Arbi) ainsi que Ouargla (plus précisément la commune d'El Borma) sont infestées, tandis qu'aucune activité de ce ravageur n'a été signalée jusqu'à présent dans d'autres régions (Anonyme, 2023).

4. Classification systématique de l'*Oryctes*

Des études taxonomiques, accompagnées d'illustrations et d'une clé de détermination des adultes des espèces *Oryctes Illiger* (tribu Oryctini), ont été fournies par Endrödi (1985) et Dechambre et Lachaume (2001). Dans l'ordre des Coléoptères, les espèces d'*Oryctes* sont membres de la super-famille Scarabaeoidea, de la famille Scarabaeidae, de la sous-famille Dynastinae et de la tribu Oryctini.

La classification systématique de l'*Oryctes* est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3: Position systématique de l'*Oryctes* sp. (Endrödi, 1985).

Embranchement	Arthropoda
Classe	Insecta
Ordre	Coleoptera
Famille	Scarabaeidae
Genre	<i>Oryctes</i>

5. Description de l'*Oryctes*

Les œufs étaient de forme ovoïde, de couleur blanc nacré et mesuraient en moyenne $3,11 \pm 0,13$ mm de longueur et $2,25 \pm 0,18$ mm de largeur. À la fin de l'embryogenèse, cette forme ovoïde est devenue presque sphérique et son volume a augmenté de 3 à 4 fois, permettant d'apercevoir certaines zones des capsules céphaliques à travers la membrane transparente de l'œuf (Soltani et al., 2008), (Figure 13).



Figure 13 : Oeufs d'*Oryctes agamemnon arabicus* (Khalaf et al., 2014).

Les stades larvaires d'*Oryctes*, tout comme celles de tous les Scarabaeidae, se distinguent par leur morphologie caractéristique, présentant un corps cylindrique et courbé en forme de C, avec une coloration variant du transparent au blanc crème et jaune, selon leur stade de développement (Figure 14). Elles possèdent trois paires de pattes thoraciques et un appareil buccal de type broyeur. Leur taille est notable, pouvant atteindre jusqu'à 90 mm de longueur et peser jusqu'à 17g à leur troisième stade de développement complet (Soltani, 2004).



Figure 14: Larve d'*Oryctes agamemnon arabicus* (Khalaf et al., 2013).

La nymphe se distingue par la différenciation de la plupart des structures externes telles que les pattes, les ailes adhérant au corps, les organes sensoriels et les pièces buccales ; une augmentation de la taille de la capsule céphalique ; également, la différenciation des sternites abdominaux ; une teinte blanche évoluant graduellement vers le jaune, puis vers l'orangé, et finalement vers un brun clair, représentant le début de la pigmentation de l'adulte à venir (Figure 15). Les dimensions de la nymphe peuvent atteindre jusqu'à 40,8 mm de longueur et 16,8 mm de largeur (Soltani, 2009).



Figure 15: Pupe d'*Oryctes agamemnon arabicus* (Khalaf et al., 2013).

D'une manière générale, les adultes présentent un dimorphisme sexuel. Cette distinction est observable chez les mâles par la présence d'une corne céphalique dorsale recourbée vers l'arrière et une concavité antérieure étendue en forme de dépression localisée sur le pronotum

(Balachowsky, 1962 ; L'ever, 1979 ; Howard et al., 2001). En revanche, les femelles se caractérisent par une corne réduite à un petit tubercule conique, parfois absent, ainsi qu'une légère concavité au niveau du pronotum (Endrödi, 1985).

Les adultes d'*O. agamemnon arabicus* sont trapus, robustes, de couleur noire ou noir rougeâtre avec un aspect brillant. Ils mesurent de 30 à 57 mm de longueur et de 14 à 21 mm de largeur. Le mâle se caractérise par une corne céphalique incurvée et une grande dépression sur le pronotum, ces deux caractéristiques sont rudimentaires et parfois absentes chez la femelle. Le pygidium est recouvert de poils brun rougeâtre, plus denses chez la femelle que chez le mâle (Soltani, 2004) (Figure 16).



Figure 16: Adulte d'*Oryctes agamemnon arabicus* ; A : Adulte mâle, B : Adulte femelle (Khalaf et al., 2013).

Les adultes d'*Oryctes rhinoceros* ont une apparence trapue, de couleur brun foncé à noir, brillants, mesurant de 35 à 50 mm de long et de 20 à 23 mm de large, avec une corne proéminente sur la tête (Wood, 1968; Bedford, 1974). Les mâles ont une corne relativement plus longue que les femelles. Les mâles peuvent être différenciés de manière plus précise en ayant un segment abdominal terminal arrondi et brillant, tandis que la femelle a une "queue" relativement plus poilue (Wood, 1968).

6. Biologie et Cycle de vie de l'*Oryctes*

L'étude des paramètres biologiques révèle que l'*O. agamemnon* est un insecte holométabole dont le cycle biologique comprend les stades d'œuf, de trois stades larvaires (L1, L2, L3), de prénympe et de nymphe (Figure 17). La durée totale de son cycle biologique est de 249 jours, ce qui correspond à une période s'étalant sur 8 à 10 mois (Ehsine et al., 2019).

Les résultats d'Ehsine et al. (2019) démontrent que l'*Oryctes* ne peut engendrer qu'une seule génération par an, en opposition avec les affirmations de Soltani (2012) qui suggèrent la possibilité de trois générations tous les deux ans pour cette espèce, tout en corroborant les travaux d'Ehsine et al. (2014) concernant cette même espèce dans les oasis du sud tunisien. Les recherches menées par Al-Sayed et Al-Tamiemi (1999) dans les oasis du sultanat d'Oman, ainsi que les résultats obtenus par Al-Deeb et al. (2012) dans les oasis des Émirats arabes unis, confirment également que l'*Oryctes agamemnon* connaît une seule génération par an.

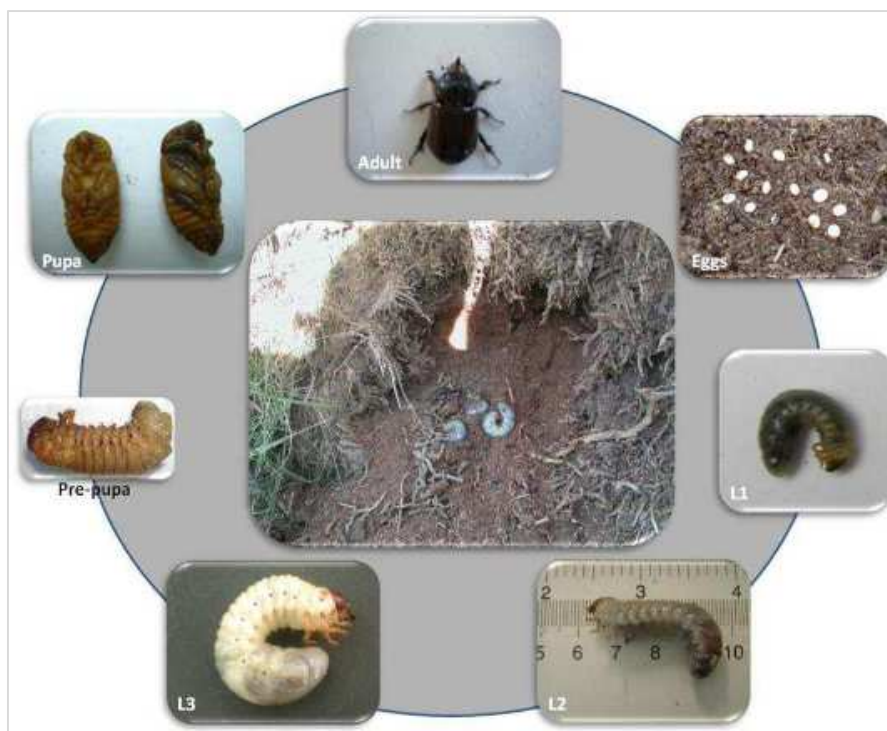


Figure 17: Cycle de vie holométabole de *Oryctes agamemnon arabicus* et exemple de dommages sur les parties respiratoires des racines du palmier dattier (Soltani, 2004).

6.1. Périodes de pré-oviposition et la période de post-oviposition

Les périodes moyennes de pré-oviposition et de post-oviposition observés chez l'*Oryctes agamemnon* sont respectivement $25,3 \pm 9,85$ et $7,3 \pm 5,39$ jours (Ehsine et al., 2019).

Pour l'espèce *Oryctes elegans*, la durée de la période de pré-oviposition des adultes, définie comme la période entre l'émergence de l'adulte et la première ponte d'œufs, s'élevait à $9,2 \pm 0,05$ jours, tandis que la durée totale de la pré-oviposition était de $269,5 \pm 16,71$ jours (moyenne $\pm$ SE) (Payandeh et Dehghan, 2010).

6.2. Œuf

L'espèce d'*Oryctes agamemnon* présente une fécondité moyenne d'environ 22,57 œufs (Soltani et al., 2008). Selon ((Ehsine et al., 2019), une femelle d'*O. agamemnon* a enregistré une moyenne de 28,7 œufs pondus sur une période moyenne de 37 jours, avec une moyenne quotidienne de ponte d'environ 0,795 et un taux de fertilité moyen de 81,18 %.

Concernant l'*O. elegans*, Payandeh et Dehghan (2010) rapportent une fécondité moyenne de 26,5 œufs par femelle.

Pour l'*O. rhinocéros*, Bedford (1976) ainsi que de Waterhouse et Norris (1987) mentionnent une fécondité moyenne variant respectivement de 24 à 65 œufs par femelle et de 30 à 40 œufs par femelle, avec une moyenne de ponte de 51 œufs par femelle.

6.3. Stades larvaires

L'*Oryctes* traverse trois stades larvaires (L1, L2 et L3). Le premier stade larvaire présente la durée de développement la plus courte, avec une moyenne de $26,59 \pm 3,14$ jours. Pour le deuxième stade larvaire, la durée de développement est de $43,361 \pm 3,237$ jours. Quant au troisième stade larvaire (L3), sa durée de développement est la plus longue, avec une moyenne

de 137 jours, représentant ainsi plus de la moitié (54%) de la durée totale du cycle vital de l'insecte (Ehsine et al., 2019).

Selon les résultats de Soltani (2008), Le temps nécessaire pour tous les stades larvaires d'*O. agamemnon* était de 215,3 jours avec une prédominance notable du troisième stade qui occupait près de la moitié de cette durée.

D'après Lepesme (1947), la durée des premier, deuxième et troisième stades larvaires pour la même espèce *O. agamemnon* était respectivement de 30 à 35, 30 à 45 et 55 à 95 jours.

Concernant l'espèce *O. elegans*, le temps de développement moyen des stades larvaires obtenus était de 216,8 jours (Payandeh et Dehghan, 2010).

Pour l'espèce *O. rhinoceros*, les durées larvaires étaient de 10 à 12, 12 à 21 et 60 à 165 jours, respectivement pour les premier, deuxième et troisième stades (Waterhouse et al., 1987).

6.4. Stades pré-nymphal et nymphal

Le stade pré-nymphal précède une période qui s'étend de l'arrêt de l'alimentation de la larve du troisième stade à la mue nymphale. Pour l'espèce *O. agamemnon*, Ce stade représente environ 2% de la totalité du cycle biologique, avec une période moyenne de $7,487 \pm 0,909$ jours. La durée de développement du stade nymphal est en moyenne de $21,390 \pm 2,655$ jours (Ehsine et al., 2019), Soltani (2012) ainsi que les travaux de Khoualdia et al. (1997) rapportent respectivement une durée de 22 jours et un intervalle allant de 20 à 28 jours.

D'après Payandeh et Dehghan (2010), la durée du stade nymphal pour l'espèce *O. elegans* était de 26,2 jours.

6.5. Adultes

La sex-ratio chez les descendants de l'espèce *O. agamemnon*, à partir de l'étude du potentiel biotique, est de 1,3 en faveur des femelles (Ehsine et al., 2019). De même, Ehsine et al. (2014) rapportent qu'après six années de suivi de la dynamique des populations d'*O. agamemnon*, la sex-ratio des adultes piégés est de 1,2 ; cette proportion varie entre 1,042 et 2,097 durant les années de suivi, toujours en faveur des femelles. En outre, Payandeh et Dehghan (2010) indiquent que la sex-ratio pour *O. elegans* est de 1,333 en faveur des femelles.

Selon Ehsine et al. (2019), la durée de vie moyenne des adultes d'*O. agamemnon* est de 55,18 jours pour les mâles et de 60 jours pour les femelles. Cela diffère des résultats de Lepesme (1947) et de Soltani (2009), qui rapportent respectivement des durées de vie de 120 et 49 jours pour cette espèce.

Pour l'espèce *O. elegans*, les adultes mâles ont une durée de vie moyenne de $254,3 \pm 16,17$ jours, tandis que celle des femelles est de $77,5 \pm 6,61$ jours, selon les résultats de (Payandeh et Dehghan, 2010).

7. Symptômes et Dégâts de l'*Oryctes*

7.1. Symptômes

Tous les stades de développement se déroulent dans des palmiers vivants et debout. Un grand nombre de coléoptères, d'œufs et de larves ont été collectés à partir des racines respiratoires à la fois au sol et dans la partie aérienne, sur le bois mort externe à travers la tige comme les matrices de fibrilles, l'écorce de la tige et la partie basale des pétioles secs (Soltani, 2004 ; 2009 ; Soltani et Ben Hamouda, 2008).

La zone la plus vulnérable à l'attaque était les racines respiratoires, responsables du soutien de toute la masse du palmier et de sa fixation au sol. Les larves se nourrissant réduisent les parties touchées en une substance poudreuse, semblable à du compost bien mûr (Soltani, 2004).

À Oman, *O. agamemnon arabicus* est considéré comme un foreur de la tige des fruits dont les larves sont généralement trouvées à l'intérieur des rejets morts et affaiblis. En Arabie Saoudite, les larves d'*O. elegans* ont été trouvées entre les bases des palmes et les troncs. Cependant, les sites de reproduction les plus favorisés pour *O. rhinoceros* dans la région du Pacifique sont les palmiers debout morts à cause de la vieillesse, les troncs et souches de cocotiers morts, et l'humus en décomposition des cabosses de cacao (Bedford, 1976 ; Waterhouse et Norris, 1987).

7.2. Dégâts

Les espèces de genre *Oryctes sp.* ont une large gamme d'hôtes, attaquant et causant des dommages sérieux et des pertes de récoltes sur de nombreux hôtes, notamment le palmier-dattier, le cocotier, la noix de bétel, le sagoutier et le palmier à huile (Gassouma, 2004).

Récemment, les *Oryctes sp.* sont devenus des ravageurs majeurs de différentes variétés de palmiers dattiers. En Arabie Saoudite, tant les larves que les adultes d'*Oryctes* posent particulièrement problème, surtout lors de l'établissement de jeunes vergers de palmiers dattiers. Le temps de développement du stade larvaire est long et peut s'étendre sur plusieurs années chez certaines espèces. Les larves se nourrissent de racines et de bois pourri, tandis que les adultes se nourrissent de nectar, de sève végétale et de fruits (Bedford, 1980 ; Soltani, 2010).

Sous des conditions naturelles, les femelles accouplées de l'espèce *O. agamemnon* pondent des œufs dans différentes parties du palmier : entre les racines poilues, le long de la tige aux aisselles des feuilles et à la base des frondes coupées. Les larves se creusent dans des endroits ciblés de la plante, les racines, le tronc et l'écorce, ainsi que la partie inférieure de la couronne où les larves et les adultes se nourrissent de la sève produite par le palmier. Les dommages les plus graves sont généralement au niveau des racines basales soutenant l'arbre et dans la couronne (Soltani, 2008).

Les adultes coléoptères volent activement, généralement la nuit, et peuvent se disperser sur une vaste zone ; ils sont également attirés par la lumière artificielle pendant la nuit, comme d'autres espèces d'*Oryctes* (Al-Deeb, 2011 ; Khoualdia et Rhouma, 1997).

Oryctes agamemnon arabicus a été enregistré comme étant responsable de causer des dommages économiques importants aux palmiers en Tunisie (Soltani, 2010). Les adultes ne sont pas considérés aussi nuisibles que les larves, mais ils peuvent quand même endommager la couronne du palmier s'ils sont présents en nombre suffisant (Soltani, 2011).

D'après Khalaf et al. (2013), les observations sur le terrain de l'infestation des palmiers dattiers par l'*Oryctes agamemnon arabicus* en Irak ont révélé la distribution de l'infestation par le foreur le long du tronc de l'arbre, qui infeste différentes parties des palmiers : la rhizosphère, le tronc et la zone de la couronne (Figure 18).

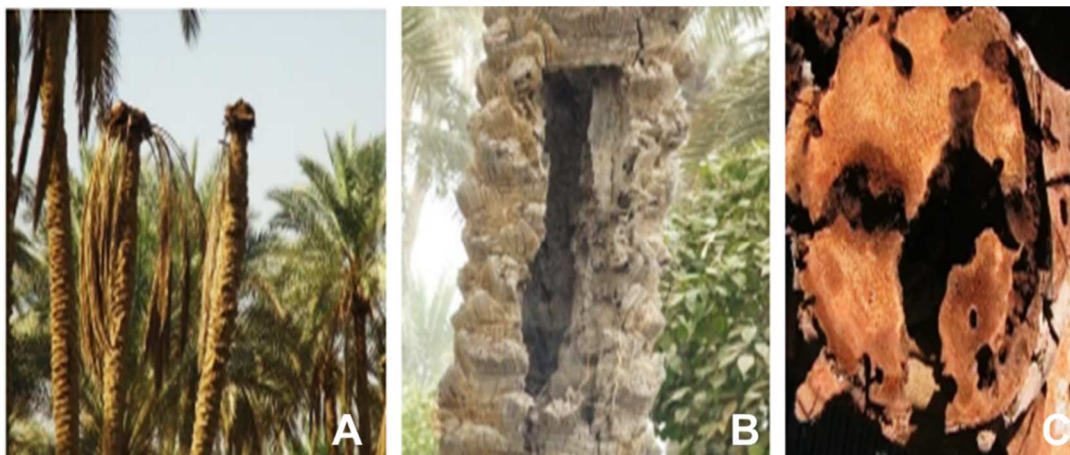


Figure 18: Dégâts d'*Oryctes agamemnon arabicus* sur les palmiers dattiers en Irak ; A : Palmiers morts avec partie de la couronne tombée, B : Tunnel creux longitudinal à l'intérieur du tronc d'arbre, C : Coupe transversale sur le tronc d'arbre montrant un grand trou et des tunnels (Khalaf et al., 2013).

8. Moyens de lutte

8.1. Mesures agronomiques

Les méthodes agronomiques pour contrôler *O. agamemnon arabicus* dans les oasis du sud-ouest de la Tunisie sont simples et peu coûteuses mais méticuleuses. Universellement, les principales recommandations ont été faites pour des mesures phytosanitaires prudentes à l'intérieur et autour des plantations afin de détruire tous les stades du cycle de vie trouvés dans tous les sites de reproduction. Pour les agriculteurs, l'assainissement constitue le moyen le plus simple et le plus efficace de contrôler l'espèce. Son principe, basé sur plusieurs méthodes et techniques, consiste à déséquilibrer le milieu de vie du ravageur en maintenant la zone de culture dans un état propre. Il vise principalement les sites de reproduction (Soltani, 2004).

Dans la première partie, le contrôle vise l'oviposition et les sites de reproduction à différents niveaux des palmiers. Il est important de mentionner que cette méthode de contrôle doit être appliquée en dehors de la saison de reproduction, entre novembre et fin avril. Les principales opérations sont les suivantes (Soltani, 2009) :

- Éradication des sites de ponte et de reproduction appropriés du ravageur en éliminant les matériaux végétaux détruits précédemment transformés par les larves en petits granules (matériau ferme) où les femelles pondent leurs œufs et les jeunes larves vivent et se développent jusqu'à l'émergence de nouveaux adultes. De plus, cette opération permet d'exposer ces parties à l'air ambiant et aux rayons du soleil, les rendant ainsi secs, durs et peu attractifs pour les coléoptères, et d'autre part, l'extraction manuelle à l'aide d'un fil métallique de tous les stades du cycle de vie rencontrés du ravageur dans les galeries alimentaires et leur destruction.
- Tout au long du tronc, les agriculteurs doivent utiliser une scie pour élaguer à l'échelle les niveaux de pétioles secs. Cette action détruit les sites de ponte des coléoptères en éliminant les matrices de fibrilles avec les larves et les adultes. Cependant, il est préférable de conserver les 4 à 6 derniers niveaux de pétioles secs situés juste sous la couronne comme piège à coléoptères dans le but d'éviter le passage de l'invasion aux niveaux bas de la couronne.

La deuxième partie concerne les palmiers non entretenus qui affichent trop de rejets à leur base. Ces palmiers offrent aux coléoptères des sites de reproduction et d'oviposition appropriés. Par conséquent, pour briser le cycle du ravageur à cet endroit, il est nécessaire de le nettoyer, de l'exposer à la lumière du soleil et à l'air. En conséquence, les agriculteurs sont encouragés à éliminer le nombre excessif de rejets, qui peuvent soit être utilisés pour remplacer les lacunes à l'intérieur de la même plantation après avoir été traités avec des insecticides pour tuer les larves se développant dans leur partie basale, soit doivent être automatiquement éradiqués.

8.2. Piégeage et surveillance

• Pièges lumineux :

Cette technique a été utilisée pour surveiller les populations d'*O. elegans* et d'*O. agamemnon* en Iran (Fasihi 2011), d'*O. agamemnon arabicus* en Irak (Khalaf et al. 2010, 2011, 2012), aux Émirats arabes unis (Al-Deeb et al. 2012a) et à Oman (Al-Sayed et Al-Tamiemi 1999), d'*O. elegans* en Arabie saoudite (Al Deghairi 2007) et d'*O. rhinoceros* au Yémen (Al-Habshi et al. 2006). Lorsque l'alimentation électrique n'est pas disponible, des pièges lumineux avec panneaux solaires peuvent être utilisés (Figure 19).



Figure 19: Piège lumineux solaire (Magna Trap avec lampe d'une longueur d'onde de 320 à 420 nm, Russell IPM Limited, Royaume-Uni) utilisé pour la surveillance et le contrôle des espèces d'*Oryctes* dans les vergers de palmiers dattiers en Irak (Khalaf et al, 2012).

En Irak, les pièges lumineux, combinés à l'élimination manuelle des larves, se sont avérés très efficaces en tant que méthode de lutte contre les attaques d'*Oryctes*, réduisant le nombre de coléoptères de 90 % (Khalaf et al., 2011).

La lumière de la lune a eu un impact sur les captures de coléoptères adultes par les pièges lumineux. Lors des nuits de pleine lune, les captures d'adultes (considérées comme étant des *O. agamemnon arabicus*) ont diminué par rapport aux nuits avec moins de lumière lunaire (Khalaf et al., 2011). Une tendance similaire a également été suggérée par les données collectées à l'aide de pièges en bois de coco (c'est-à-dire des pièges non lumineux) pour surveiller *O. rhinoceros* à Nouvelle-Bretagne (Bedford, 1975).

• Pièges à phéromones

Des études en laboratoire et sur le terrain ont permis de caractériser le système de communication chimique d'*Oryctes elegans* et de développer des pièges à phéromones dans l'Est de l'Iran (Figure 20). Les adultes, surtout les mâles, se nourrissant de morceaux de palmier dattier, attiraient des congénères, avec une capture plus élevée au niveau de la couronne du palmier. L'analyse des émissions des mâles a identifié l'acide 4-méthyloctanoïque comme composant majeur de la phéromone d'agrégation, synergique avec l'odeur de palmier dattier frais pour attirer les coléoptères. Pendant deux ans, 4000 coléoptères ont été capturés, avec une moyenne hebdomadaire de 6,3 coléoptères/piège, permettant de suivre le vol saisonnier d'*O. elegans*. Ces résultats ouvrent la voie au développement de stratégies de piégeage de masse pour contrôler ce ravageur (Rochat et al., 2004).



Figure 20: Piège à phéromones en seau en plastique pour la capture d'*Oryctes* (Bedford et al, 2015).

8.3. Lutte chimique

Les études sur le contrôle chimique des foreurs du palmier dattier, *Oryctes sp.* (Coleoptera: Scarabidae: Dynastinae), ont évalué l'efficacité des insecticides systémiques Confidor 200SL (Imidaclopride) et Actara 240SC (Thiaméthoxame) (Figure 21). Des essais sur le terrain utilisant la pulvérisation directe, l'injection dans le tronc et l'arrosage pendant la saison morte ont été menés. Les traitements par pulvérisation directe de 5 litres par arbre (avec 1 ml de Confidor ou Actara par litre d'eau) sur l'arbre couronné n'ont montré aucun effet significatif sur les larves du scarabée rhinocéros arabe (*Oryctes agamemnon arabicus*). Cependant, l'injection dans le tronc de 40 ml par palmier avec une concentration de 10 ml de Confidor par litre d'eau a entraîné une mortalité larvaire d'environ 85,8 %, comparée à une mortalité de 100 % avec une concentration de 5 ml d'Actara par 5 ml d'eau. De plus, les traitements d'arrosage de 25 litres par arbre avec une concentration de 25 ml de Confidor ou 5 ml d'Actara ont entraîné une mortalité larvaire de 80 % et 75 %, respectivement. Ces résultats suggèrent l'utilisation potentielle du Confidor 200SL ou de l'Actara 240SC comme agents de contrôle chimique contre les foreurs du palmier dans les programmes de lutte intégrée contre les ravageurs après la récolte (Khalaf et Alrubeai, 2016).



Figure 21: Méthodes de contrôle des palmiers dattiers ; A : Injection dans le tronc, B : Pulvérisation directe ; C : Collecte des larves vivantes et mortes de l'*Oryctes agamemnon arabicus* dans les vergers de palmiers dattiers (Khalaf et Alrubeai, 2016).

En Tunisie, l'application de contrôles chimiques s'est avérée ardue en raison des caractéristiques comportementales du ravageur, des coûts associés et de la quantité importante de pesticides nécessaire, ainsi que du risque de pollution. Cependant, il est recommandé de recourir au traitement par trempage des rejets dans une solution insecticide pendant une durée de 5 minutes afin d'éliminer les larves avant leur transfert vers de nouvelles zones (Soltani, 2010). En Irak, une étude comparative portant sur trois insecticides ainsi qu'un groupe témoin a révélé l'inefficacité de la pulvérisation contre les larves d'*Oryctes* dans leur habitat dissimulé (ICARDA, 2011).

8.4. Lutte physique

Cette méthode revêt une grande importance dans l'ensemble des zones de production de dattes. Les bases des palmes anciennes et presque desséchées sont élaguées et retirées du tronc du palmier lors d'un entretien annuel en les coupant à un angle descendant de 45°, les extrémités coupées permettant au fermier de grimper à l'arbre. Les couches de fibres entre les palmes, les épines des palmes et les anciens pédoncules desséchés sont également enlevés (Figure 22, A). Cela élimine les sites où les coléoptères peuvent se cacher et pondre leurs œufs, et où les larves peuvent se développer, permettant ainsi la cueillette manuelle des larves trouvées (Figure 22,B). Le nombre de larves trouvées ultérieurement sur les palmiers entretenus, c'est-à-dire élagués, était significativement inférieur au nombre présent sur les palmiers témoins non élagués (Khalaf et Al-Abid 2013).

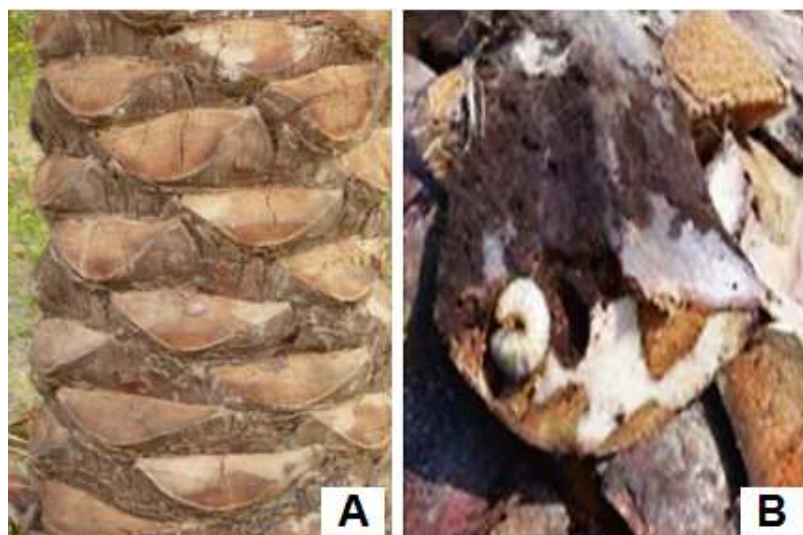


Figure 22: A : tronc élagué montrant les bases des palmes coupées à l'angle recommandé de 45° ; B : Larves d'*Oryctes agamemnon* détectées dans leurs tunnels dans les bases des palmes lors de l'important entretien annuel en Irak. La photo en haut à droite montre des tunnels noirs (Bedford et al, 2015).

L'élagage réduit également l'humidité autour du tronc et des bases des palmes, décourageant ainsi la ponte. Désinfecter les blessures sur les arbres avec des pesticides approuvés peut dissuader les adultes (Mohammadpour, 2002).

L'assainissement des plantations est recommandé pour éliminer les sites de reproduction potentiels tels que les palmiers morts ou les troncs en décomposition, ainsi que les coupes et les palmes après l'élagage, et pour essayer de réduire l'excès d'humidité dû à l'irrigation dans les palmeraies (Gharib, 1970).

8.5. Lutte biologique

- **Champignons entomopathogènes**

En Iran, des études en laboratoire utilisant *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin ont montré qu'il tuait les adultes d'*O. elegans* 6 à 11 jours après l'infection (valeurs LT50). De plus, les adultes ont consommé moins de nourriture et les femelles ont pondu moins d'œufs par rapport aux insectes non traités (Latifian et Rad 2012).

Il s'agit du deuxième champignon entomopathogène le plus fréquemment trouvé en Irak, se retrouvant dans 18 % des échantillons de sol prélevés dans des vergers de dattes et de dattes/citrons (Khudhair et al. 2014).

La sensibilité du troisième stade larvaire du scarabée rhinocéros, *Oryctes agamemnon*, à l'infection par trois champignons entomopathogènes (EPF) natifs, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* et *Lecanicillium lecanii*, a été déterminée en conditions de laboratoire. Trois concentrations (10^4 , 10^6 et 10^8 conidies/ml) de chaque isolat d'EPF ont été testées. Les taux de mortalité respectifs des larves ont atteint 34,2 %, 48,1 % et 55,5 % pour *B. bassiana*, 39,5 %, 57,4 % et 60,8 % pour *M. anisopliae*, et 17,4 %, 26,4 % et 29,2 % pour *L. lecanii*. Ce test de mycose a été réalisé pour confirmer l'infection fongique des larves mortes (Figure 23) (Abdel-Rahman et Reda, 2019).



Figure 23 : Croissance mycélienne sur les cadavres larvaires mycosés d'*Oryctes agamemnon* morts suite à une infection par des isolats d'EPF ; A : Contrôle ; B : *Beauveria bassiana* ; C : *Lecanicillium lecanii* ; D : *Metarhizium anisopliae* (Saleem et Ibrahim, 2019).

- **Nématodes**

Aux Émirats arabes unis, les juvéniles infectieux du nématode entomopathogène *Steinernema riobrave* (Cabanillas, Poinar et Raulston) à diverses concentrations ont provoqué un taux de mortalité allant de 44 à 100 % chez les larves de troisième stade d'*O. agamemnon* en laboratoire, et de 33 à 78 % lorsqu'ils ont été appliqués au sol dans un verger de figuiers (Abbas et Mahmoud 2009).

- ***Oryctes* Nudivirus**

Ce virus non endémique a été introduit à Oman et a significativement réduit les dommages causés par *O. rhinoceros* aux frondes des cocotiers (Kinawy 2004 ; Bedford 2013).

- **Acariens**

Aux Émirats arabes unis, les adultes d'*O. elegans* portent souvent une grande quantité d'acariens phorétiques, *Sancassania sp.* et *Hypoaspis rhinocerotis* Oudemans, sur leur corps et sous les élytres (Figure 24) (Al-Deeb et Enan 2010 ; Al-Deeb et al. 2012). Cependant, il n'a pas encore été établi si les acariens ont un effet nocif sur le ravageur ou s'ils sont seulement phorétiques.

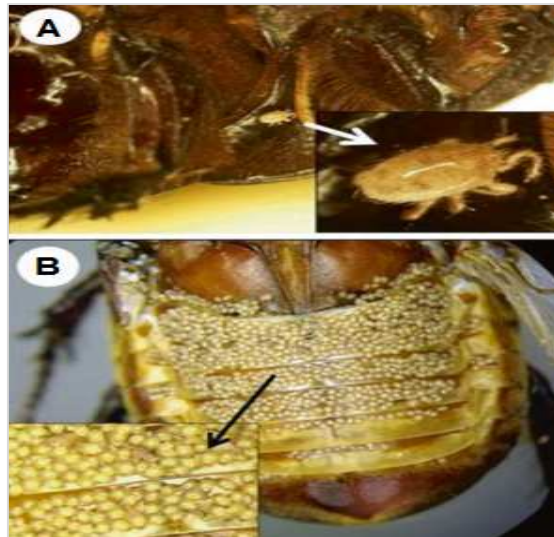


Figure 24 : Acariens sur un adulte d'*Oryctes agamemnon* aux Émirats Arabes Unis ; A : *Hypoaspis* sp. adulte, B : Deutonymphes de *Sancassania* sp. sur les tergites abdominaux (Bedford et al, 2015).

- **Vertébrés**

En Iran, une espèce d'écureuil, *Funambulus palmarum* L., habite les palmeraies de la région du Baloutchistan (son nom local est Herdak) et se nourrit des larves d'*O. elegans*. Sa longueur corporelle moyenne est de 142 mm, sa couleur générale est grise avec trois bandes de couleur jaune vif sur le dos, tandis que l'abdomen est jaunâtre à blanc (Gharib 1970). Cependant, son effet sur la population de ravageurs est inconnu.

8.6. Outils de gestion intégrée pour les foreurs du palmier dattier

Ceci est l'un des composants les plus efficaces du programme de lutte intégrée contre les foreurs, en particulier le scarabée rhinocéros arabe qui se trouvent à la base des palmes dans les palmiers d'âge moyen et peuvent être trouvés dans toutes les parties du tronc chez les arbres plus âgés. La durée de vie des larves est longue et peut dépasser six mois. La collecte et la destruction des larves se font manuellement lors de l'entretien annuel des vergers de palmiers (élagage et coupe des vieilles palmes), qui commence en décembre et se poursuit jusqu'en mars. Cette méthode s'est révélée efficace pour contrôler les foreurs et réduire significativement la densité de population (Ali et Hama 2014; Khalaf et al., 2010, 2013).

PARTIE 2 : PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE I : Matériel et méthodes

1. Introduction

Cette étude se concentre sur l'Oryctes du palmier dattier, réalisée sur quatre sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, dans la wilaya d'El Oued, en Algérie. La recherche s'étend sur une période de deux ans, de mai 2022 à mai 2024. Elle vise à approfondir notre compréhension de la bioécologie des Oryctes, tant dans leur environnement naturel qu'en laboratoire. Elle inclut également l'analyse de l'évolution de l'indice NDVI entre 1990 et 2024 dans les sites étudiés, et évalue l'influence des infestations d'Oryctes sur la végétation des palmiers dattiers. De plus, elle permet d'identifier les différentes espèces présentes grâce à une combinaison d'approches morphologiques et moléculaires. En fournissant des informations précieuses pour la préservation des cultures de palmiers dattiers et la protection de l'environnement, cette recherche joue un rôle crucial dans la conservation des ressources agricoles et la sauvegarde des écosystèmes locaux.

2. Méthodologie

2.1. Site d'Étude

L'étude a été menée dans quatre oasis situées dans les communes de Taleb Larbi et Douar El Ma, dans la wilaya d'El Oued, Algérie. Les coordonnées géographiques des sites étudiées sont les suivantes : (33°42'30.8"N 7°31'12.0"E), (33°42'27.6"N 7°31'17.5"E), (33°22'06.8"N 7°41'20.6"E), (33°21'45.5"N 7°41'09.6"E) (Figure 25), (Annexe 1).

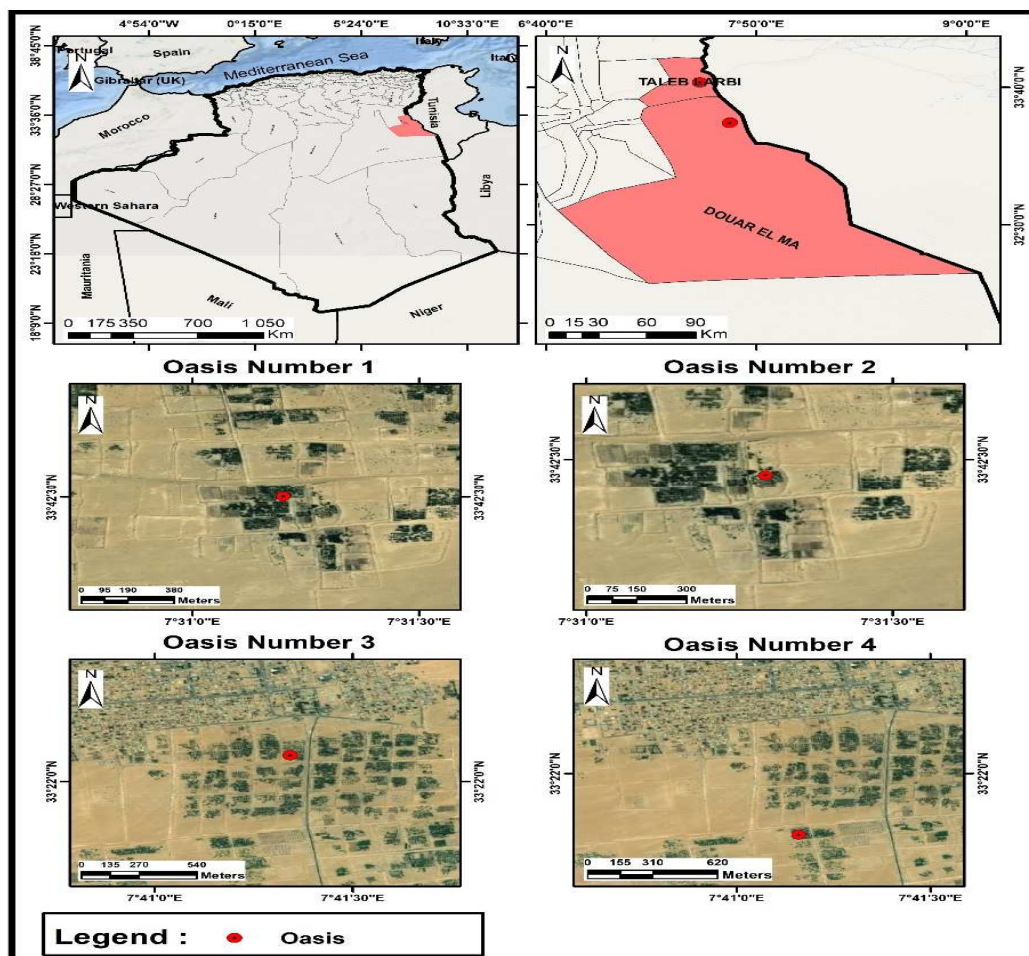


Figure 25 : Localisation géographique des oasis incluses dans l'étude, dans les communes de Taleb Larbi et Douar El Ma dans la wilaya d'El Oued, Algérie (Source : Auteur).

2.2. Période de l'Étude

La recherche a été réalisée sur une période de deux ans, de mai 2022 à mai 2024. Un suivi régulier a été effectué dans les régions d'étude chaque semaine pendant toute la durée de l'étude.

2.3. Bioécologie de l'*Oryctes*

2.3.1 Bioécologie de l'*Oryctes* sous conditions naturelles

Pour étudier la bioécologie des orcytes dans leur environnement naturel, une étude a été menée dans les régions d'étude sélectionnées. Cette étude a impliqué un suivi régulier des régions spécifiques, effectué chaque semaine pendant une période de deux ans. Ce suivi comprenait une inspection détaillée des différentes parties des palmiers afin d'observer les différents stades de développement de l'insecte. De plus, la population de l'*orcytes* a été analysée pour déterminer leur période de vol et l'émergence des adultes. Ces données ont permis d'obtenir une meilleure compréhension du cycle de vie de cet insecte et de son impact sur les palmeraies dattières.

2.3.1.1 Piégeage et surveillance

Des pièges lumineux ont été installés dans les quatre sites d'étude, avec quatre pièges par site, fabriqués manuellement et équipés de lampes à LED extérieures alimentées par énergie solaire (Figure 26). Ces pièges ont été positionnés de manière stratégique pour capturer efficacement les rayons solaires et maximiser la capture des adultes d'*Oryctes*. L'installation de ces pièges avait pour objectif de capturer les adultes d'*Oryctes* afin d'étudier leur biologie, notamment leur cycle de vie et leur période de vol, ainsi que d'identifier les espèces présentes dans les régions d'étude. Les données recueillies ont permis de mieux comprendre la distribution et le comportement des *Oryctes*, fournissant des informations essentielles pour le développement de stratégies de gestion adaptées.



Figure 26 : Pièges lumineux avec lampes à LED extérieures alimentées par énergie solaire ; A : Pendant le jour, B : Pendant la nuit. (Source : Auteur).

2.3.1.2 Paramètres Biologiques étudiés dans l'environnement naturel

L'étude de la bioécologie des *Oryctes* dans leur environnement naturel a été réalisée à travers une observation minutieuse de leur développement et de leur comportement. En inspectant régulièrement les palmiers dans les régions d'étude, les différents stades de développement de l'insecte ont été documentés, tandis qu'une analyse de la population a permis de déterminer leur

période d'activité. Ces données ont fourni un aperçu précieux de la dynamique des *Oryctes*, essentiel pour développer des stratégies de gestion adaptées.

2.1.2 Bioécologie de l'*Oryctes* sous conditions de laboratoire

2.3.2.1 Élevage d'*Oryctes agamemnon* en Conditions de Laboratoire

Pour réaliser l'élevage d'*Oryctes* en conditions de laboratoire, des couples d'adultes (une femelle et un mâle par boîte) sont placés dans des boîtes en plastique de 24 x 16 x 11 cm. Chaque boîte est identifiée avec le stade de développement, le nombre d'individus et les dates correspondantes.

Après l'accouplement et la ponte des œufs, ces derniers sont isolés séparément dans des boîtes en plastique de 10 x 10 x 11 cm, avec un couvercle, contenant $\frac{3}{4}$ du volume de tourbe commerciale comme substrat d'incubation. Chaque œuf est contrôlé quotidiennement afin de détecter l'éclosion des larves L1 et ainsi calculer la durée d'incubation.

Les larves L1 sont élevées dans les mêmes boîtes utilisées pour les œufs. Les larves des autres stades de développement (L2, L3), ainsi que les prénymphe, les nymphes et les adultes, sont élevées dans des boîtes en plastique (10,5 x 10,5 x 9,5 cm) perforées pour l'aération. Sur chaque boîte, le stade de développement, le numéro des individus et les dates sont notés.

Un contrôle quotidien des boîtes et des individus est effectué. Les *Oryctes* sont nourris avec des rejets de palmier dattier. La tourbe est pulvérisée quotidiennement avec de l'eau pour maintenir l'humidité.

2.3.2.2 Surveillance des Stades de Développement

Chaque stade de développement d'*Oryctes agamemnon arabicus* est surveillé quotidiennement pour détecter le passage d'un stade à un autre. Tous les changements dans les dimensions, la couleur et la forme des individus sont notés, permettant ainsi de calculer la durée de chaque stade.

2.3.2.3 Conditions de l'Expérimentation

L'expérimentation a été réalisée dans une chambre dont les paramètres sont fixés comme suit : une humidité relative de 55 ± 5 %, une température de 26 ± 1 °C et une photopériode de 13 heures de lumière et 11 heures d'obscurité.

2.3.2.4 Paramètres Biologiques Étudiés

Les paramètres biologiques étudiés incluent le cycle de vie, la description des stades de développement, le taux de mortalité aux différents stades du développement, ainsi que les symptômes et les dégâts de l'*Oryctes agamemnon arabicus*.

2.4. Acariens associés à l'*Oryctes agamemnon arabicus*

2.4.1 Collecte d'échantillons

Les spécimens d'acariens associés aux adultes et larves d'*Oryctes agamemnon arabicus* ont été collectés dans quatre sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, dans la wilaya d'El Oued, Algérie. Les adultes d'*Oryctes* ont été capturés à l'aide de pièges lumineux, tandis que les larves ont été prélevées des palmiers dattiers infectés.

2.4.2 Identification des acariens

Les acariens ont ensuite été isolés des adultes et des larves, puis préservés dans des flacons individuels contenant 70 % d'éthanol. Ils ont ensuite été placés dans de l'acide lactique pendant

une semaine pour une analyse approfondie, suivie d'un examen à l'aide d'un microscope scientifique Leica 1000 équipé d'un tube de dessin. Des images ont été capturées à l'aide des microscopes numériques : Keyence VHX 5000 et Emspira 3. L'identification des acariens a été réalisée au laboratoire de l'Institut de protection des plantes, Centre de recherche agricole HUN-REN, à Martonvásár, en Hongrie.

2.5. Analyse de la Variation Temporelle du NDVI (1990-2024) dans les Régions de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie

2.5.1 Méthodologie pour l'Analyse de la Variation Temporelle du NDVI à partir d'Images Satellitaires Landsat (1990-2024) via Google Earth Engine

L'objectif de cette étude est d'analyser la variation temporelle de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) dans quatre sites de Taleb Larbi et Douar El Ma sur une période de 34 ans (1990-2024). Pour ce faire, nous utilisons les images satellitaires Landsat 5, 7, 8 et 9, accessibles via la plateforme Google Earth Engine (GEE). Cette méthodologie décrit les étapes suivies pour le prétraitement des images, le calcul du NDVI et l'analyse de la variabilité temporelle. Les résultats obtenus fourniront des informations précieuses sur l'évolution de la végétation dans ces écosystèmes fragiles, en réponse aux changements climatiques et aux activités humaines.

2.5.1.1 Collecte des Données

- **Sources des Données :** Les images satellitaires Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+), Landsat 8 (OLI) et Landsat 9 (OLI-2) sont utilisées pour couvrir la période de 1990 à 2024.
- **Période d'Analyse :** Les images sont sélectionnées pour chaque année entre 1990 et 2024, en privilégiant les périodes de croissance végétale maximale (généralement les mois d'été) afin de minimiser l'impact des variations saisonnières.
- **Zone d'Étude :** Les quatre sites ciblés sont identifiés et délimités à l'aide de polygones dans GEE.

2.5.1.2 Prétraitement des Images

- **Correction Atmosphérique :** Les images Landsat sont corrigées des effets atmosphériques en utilisant les collections prétraitées disponibles dans GEE (par exemple, LANDSAT/LT05/C02/T1_L2 pour Landsat 5).
- **Masquage des Nuages :** Un masque de nuages est appliqué pour éliminer les pixels affectés par les nuages et les ombres, en utilisant les bandes de qualité (QA bands) fournies avec les images Landsat.
- **Harmonisation des Données :** Pour assurer la cohérence entre les différents capteurs Landsat, les valeurs de réflectance sont harmonisées en utilisant des coefficients de calibration spécifiques.

2.5.1.3 Calcul du NDVI

Le NDVI est calculé pour chaque image à l'aide de la formule suivante :

$$NDVI = \frac{(NIR - Rouge)}{(NIR + Rouge)}$$

- **Bandes Spectrales :**
 - Landsat 5 et 7 : Rouge (bande 3) et Proche Infrarouge (NIR, bande 4).
 - Landsat 8 et 9 : Rouge (bande 4) et Proche Infrarouge (NIR, bande 5).

- **Application dans GEE :** Le NDVI est calculé pour chaque pixel et agrégé à l'échelle des oasis.

2.5.1.4 Analyse Temporelle

- **Séries Temporelles :** Des séries temporelles du NDVI sont générées pour chaque oasis en calculant la moyenne annuelle du NDVI.
- **Tendances Temporelles :** Une analyse de tendance est réalisée en utilisant des méthodes statistiques (par exemple, régression linéaire) pour identifier les variations significatives du NDVI sur la période 1990-2024.
- **Cartographie des Changements :** Des cartes de variation du NDVI sont produites pour visualiser les zones où la végétation a augmenté ou diminué.

2.5.2 Méthodologie pour l'Analyse des Tendances du NDVI à partir de Données Annuelles (1990-2024)

L'objectif de cette étude est d'analyser la variation temporelle de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) dans les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma sur une période de 34 ans (1990-2024). Pour ce faire, nous utilisons des données de NDVI dérivées des images satellitaires Landsat. Cette méthodologie décrit les étapes suivies pour le prétraitement des données, l'analyse des tendances et l'évaluation de la variabilité interannuelle.

2.5.2.1 Collecte des Données

- **Source des Données :** Les données de NDVI sont extraites d'un fichier Excel contenant les valeurs annuelles de NDVI pour quatre sites sur la période 1990-2024.
- **Période d'Analyse :** Les données couvrent une période de 34 ans, avec des valeurs annuelles pour chaque site.
- **Zone d'Étude :** Les quatre sites sont identifiés par les colonnes 1 à 4 dans le fichier Excel.

2.5.2.2 Prétraitement des Données

- **Vérification des Données :** Les données sont vérifiées pour s'assurer qu'elles sont au format numérique. Les valeurs non numériques (erreurs de saisie, valeurs manquantes) sont identifiées et corrigées.
- **Nettoyage des Données :** Les colonnes sont converties en type float à l'aide de la fonction `pd.to_numeric()`. Les valeurs manquantes (NaN) sont supprimées pour éviter les erreurs dans les calculs.
- **Formatage de l'Index :** La colonne des dates est convertie en format datetime pour faciliter l'analyse temporelle.

2.5.2.3 Analyse des Tendances

- **Calcul des Tendances Linéaires :** Une régression linéaire est appliquée à chaque série temporelle de NDVI pour calculer la pente et la p-value. La pente indique la direction et l'amplitude de la tendance, tandis que la p-value évalue la significativité statistique.
- **Visualisation des Tendances :** Les séries temporelles de NDVI sont tracées avec leurs tendances linéaires pour chaque site. Cela permet de visualiser l'évolution du NDVI au fil du temps.

2.5.2.4 Moyenne Mobile

- **Lissage des Données :** Une moyenne mobile sur une fenêtre de 3 ans est appliquée pour lisser les données et réduire les variations interannuelles. Cela permet de mieux identifier les tendances à long terme.

- **Visualisation des Moyennes Mobiles** : Les séries temporelles lissées sont tracées pour chaque site, mettant en évidence les tendances générales.

2.5.2.5 Analyse de la Variabilité Interannuelle

- **Calcul des Différences Absolues** : La variabilité interannuelle est calculée en prenant la différence absolue entre les valeurs de NDVI d'une année à l'autre. Cela permet de quantifier les changements annuels.
- **Visualisation de la Variabilité** : Les différences annuelles sont tracées pour chaque site, montrant les années où les changements de NDVI ont été les plus importants.

2.5.2.6 Analyse de la Corrélation entre les Sites

- **Calcul de la Matrice de Corrélation** : La corrélation entre les séries temporelles de NDVI des quatre sites est calculée. Cela permet d'évaluer si les variations de NDVI sont synchrones ou indépendantes entre les sites.
- **Visualisation de la Matrice de Corrélation** : Une heatmap est utilisée pour représenter visuellement les coefficients de corrélation entre les sites.

2.5.2.7 Méthodes Statistiques

- **Test de Mann-Kendall** : Détecter la présence d'une tendance monotone (à la hausse ou à la baisse) dans les séries temporelles du NDVI.
- **Analyse de Saisonnalité** : Identifier les motifs saisonniers dans les données de NDVI.
- **Analyse en Composantes Principales (ACP)** : Identifier les principales composantes expliquant la variabilité des données de NDVI entre les sites.
- **Clustering Hiérarchique** : Identifier des groupes de sites ayant des dynamiques de NDVI similaires.
- **Analyse de Fourier (transformée de Fourier)** : Détecter les cycles périodiques dans les données de NDVI.
- **Modélisation ARIMA** : Identifier les modèles ARIMA les plus adaptés pour prédire les valeurs futures du NDVI pour chaque site.
- **Test de Causalité de Granger** : Déterminer si les variations de NDVI dans un site influencent les variations dans un autre site.
- **Test de Stationnarité (ADF)** : Vérifier si les séries temporelles du NDVI sont stationnaires.
- **Analyse de Persistance (autocorrélation)** : Identifier si les valeurs de NDVI sont influencées par leurs valeurs précédentes.

2.6. Identification des espèces d'*Oryctes* sp.

2.5.1 Identification Morphologique

L'identification morphologique des spécimens adultes d'*Oryctes* a été réalisée au laboratoire de l'Institut de protection des plantes, Centre de recherche agricole à Budapest, Hongrie. Le processus d'identification a impliqué l'examen et l'analyse des caractéristiques morphologiques spécifiques à la sous-famille des Dynastinae des coléoptères. Les critères morphologiques utilisés pour la classification étaient conformes aux directives fournies par Endrödi (1985), une référence renommée et autoritaire pour les études taxonomiques de ces coléoptères. Les paramères, en tant que caractères importants pour la classification des différentes espèces, ont été placés dans de l'acide lactique pendant une journée pour une analyse plus approfondie, suivie d'un examen. Des images ont été capturées à l'aide des microscopes numériques : Keyence VHX 5000 et Emspira 3.

2.5.2 Identification Moléculaire

2.5.2.1 Extraction, amplification et séquençage de l'ADN

Les échantillons pour l'identification moléculaire ont été analysés au centre de génomique MacroGen situé à Séoul, République de Corée. L'ADN total a été extrait des pattes de chaque échantillon d'insecte. Un segment de 680 pb du gène COI a été amplifié en utilisant les paires d'amorces universelles de codage en barre LCO1490 (5' GGT CAACAA ATC ATA AAG ATA TTG G 3') et HCO2198 (5' TAA ACT TCA GGG TGA CCA AAA AAT CA 3') (Folmer et al. 1994).

L'analyse de l'ADN a été effectuée pour évaluer la quantité, l'intégrité et la taille des fragments pour le séquençage à courte lecture.

- **Quantité d'ADN** : Mesurée par la méthode Picogreen* utilisant la fluorométrie Victor 3. MacroGen quantifie le matériel génomique de départ par quantification basée sur la fluorescence, plutôt que par une méthode basée sur le spectromètre UV. Les méthodes basées sur la fluorescence, qui utilisent un colorant spécifique à l'ADN double brin, quantifient spécifiquement et précisément l'ADN double brin même en présence de nombreux contaminants courants.
- **Évaluation de l'état de l'ADN** : Réalisée par électrophorèse sur gel. L'électrophorèse sur gel est un moyen puissant de révéler l'état (y compris la présence ou l'absence) de l'ADN dans un échantillon. Une échelle ou une traînée en dessous d'une bande d'intérêt peut indiquer des coupures ou d'autres dommages à l'ADN.
- **Vérification de la taille des fragments d'ADN** : Le Bioanalyseur 2100* est utilisé pour vérifier la distribution de la taille.

La méthode de contrôle qualité des bibliothèques a été employée pour garantir la qualité des bibliothèques utilisées pour le séquençage. La vérification de la taille des bibliothèques impliquait l'évaluation de la distribution de la taille des fragments enrichis par PCR à l'aide d'un bioanalyseur Agilent Technologies 2100 avec une puce DNA 1000. Pour les bibliothèques Illumina, la quantification par qPCR a été effectuée selon le Guide de protocole de quantification par qPCR d'Illumina pour atteindre des densités de clusters optimales sur les plateformes de séquençage. Pour les bibliothèques PacBio, la solution de quantification standard Qubit et le calculateur ont été utilisés pour créer une courbe standard de lectures de fluorescence et déterminer la concentration de l'échantillon de bibliothèque.

2.5.2.2 Analyse des données moléculaires

Le séquençage des amplicons a été réalisé sur quatre échantillons en utilisant le marqueur COI. L'analyse comprenait le contrôle qualité et la coupe des données, suivis de la classification taxonomique et de la quantification à partir des lectures en utilisant une base de données de séquences COI. Les résultats obtenus ont été utilisés pour calculer les indices de diversité alpha et bêta au niveau du genre et de l'espèce, et pour calculer la distance MASH entre les échantillons.

L'évaluation de la distance MASH (MinHash) est une technique utilisée en génomique pour mesurer la similarité entre deux ou plusieurs génomes. Cette approche est basée sur l'exploration de données et la récupération d'informations pour estimer la similarité entre des ensembles. En génomique, la distance MASH utilise MinHashing pour créer un ensemble de k-mers (courtes séquences d'ADN) de chaque génome, puis estime la similarité entre les

ensembles de k-mers en utilisant l'indice de similarité de Jaccard (JSI). Le JSI est une mesure du chevauchement entre deux ensembles, calculé comme la taille de l'intersection des ensembles divisée par la taille de l'union des ensembles. La distance MASH est ensuite calculée comme (1-JSI), allant de 0 (génomés identiques) à 1 (génomés complètement différents). La distance MASH peut être utilisée pour regrouper des génomes en fonction de leur similarité, ou pour identifier des sources potentielles de contamination dans des ensembles de données métagénomiques. Elle peut également être utilisée pour mesurer la similarité entre des échantillons basés sur des gènes marqueurs tels que 16S, 18S ou COI. Dans ce cas, la technique est souvent appelée "analyse de gène marqueur basée sur MASH" ou "dépiage MASH".

2.5.2.3 Logiciels d'analyse (données et taxonomie)

- **FASTQC v0.11.5** : Un outil de contrôle qualité pour les données de séquençage à haut débit.
- **BBDUK v35.85** : Un outil combinant les opérations de coupe, filtrage et masquage des données les plus courantes en une seule opération haute performance.
- **Kraken2 v2.1.1** : Système de classification taxonomique des séquences
- **Phyloseq (R package) v1.42.0** : Un outil fournissant un ensemble de classes et d'outils pour faciliter l'importation, le stockage, l'analyse et l'affichage graphique des données de recensement du microbiome.

CHAPITRE II : Résultats et discussion

1. Résultats

2.1. Bioécologie de l’*Oryctes agamemnon*

2.1.1. Bioécologie de l’*Oryctes* sous conditions naturelles

2.1.1.1 Analyse des Dynamiques Saisonnières des Adultes d’*Oryctes* Capturés par Pièges Lumineux au Site 1 de Douar El Ma (2022-2024)

Les résultats de cette étude sur les populations d’*Oryctes agamemnon* capturées par des pièges lumineux au site de Douar El Ma de 2022 à 2024 révèlent plusieurs tendances importantes. La période de vol des adultes s'étend d'avril à novembre, avec une absence totale d'activités de décembre à mars, suggérant une inactivité ou une absence des adultes pendant les mois les plus froids. Les captures atteignent un pic en juillet et en août, ce qui peut être lié à des conditions environnementales optimales durant cette période, telles que des températures favorables et une disponibilité accrue des ressources.

Le nombre total de captures sur la période d'étude est de 180 individus, avec une distribution sex-ratio montrant une prépondérance des femelles (106 captures) par rapport aux mâles (74 captures). Cette dominance des femelles pourrait s'expliquer par une plus grande attraction des femelles aux pièges lumineux ou une distribution sex-ratio naturellement biaisée au sein de la population.

L'analyse de la courbe représentant le nombre d'adultes d’*Oryctes agamemnon* capturés par des pièges lumineux au Site 1 de Douar El Ma de 2022 à 2024 révèle des tendances saisonnières significatives. Les captures débutent en mai, augmentent progressivement jusqu'à atteindre un pic en août de la même année, avec un nombre élevé d'individus capturés. Ensuite, les captures diminuent régulièrement jusqu'à décembre, période où aucun adulte n'a été capturé. Ce schéma saisonnier se répète chaque année, avec des pics d'activité observés en juillet-août. Les années suivantes, les captures restent cohérentes avec cette tendance saisonnière, bien que le nombre d'adultes capturés puisse varier d'une année à l'autre. Cette analyse suggère une saisonnalité marquée dans l'activité des adultes d’*Oryctes agamemnon*, avec une période d'activité maximale pendant les mois les plus chauds de l'année et une diminution pendant les mois plus frais (Figure27).

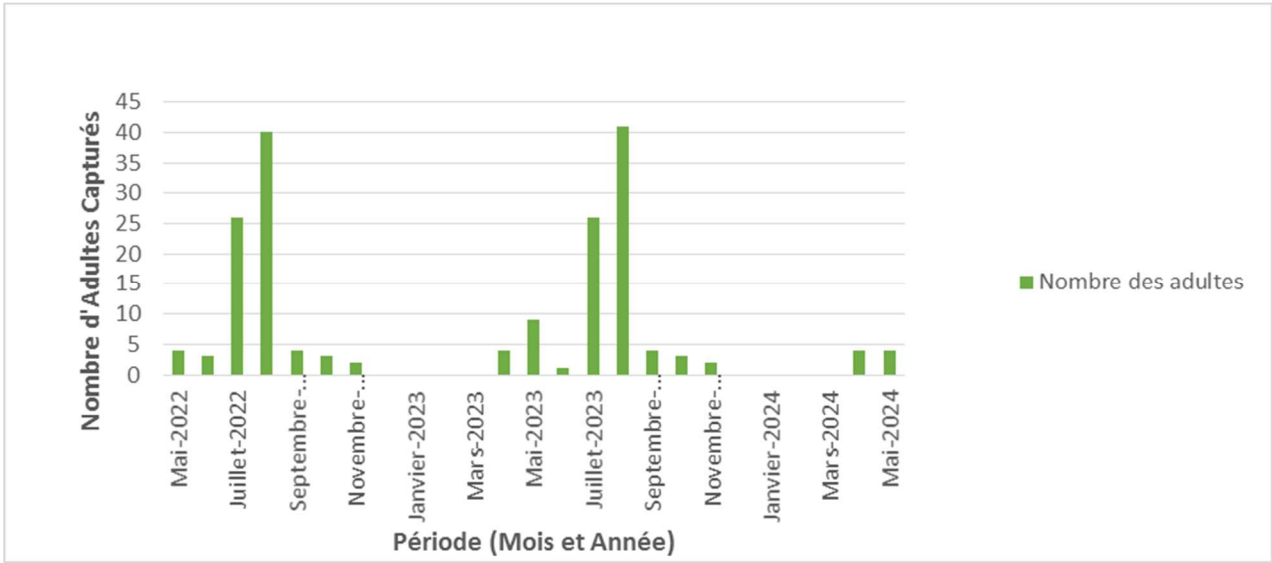


Figure 27 : Évolution du nombre d’adultes capturés par pièges lumineux au site 1 de Douar El Ma (2022-2024).

Le nombre total de femelles et de mâles d'*Oryctes agamemnon* capturés par des pièges lumineux au cours de la période 2022-2024 au Site 1 de Douar El Ma révèle des différences significatives dans la distribution entre les deux sexes. Les femelles montrent généralement des niveaux de captures plus élevés que les mâles tout au long de la période étudiée. En particulier, les mois de juillet et d'août présentent les captures les plus élevées pour les deux sexes, avec une nette prédominance des femelles. Cette tendance se maintient tout au long des années suivantes, bien que le nombre de captures puisse varier. Ces résultats suggèrent une dynamique de population où les femelles sont plus actives ou plus attractives pour les pièges lumineux que les mâles, ce qui peut avoir des implications importantes pour la reproduction et la gestion de cette espèce (Figure 28).

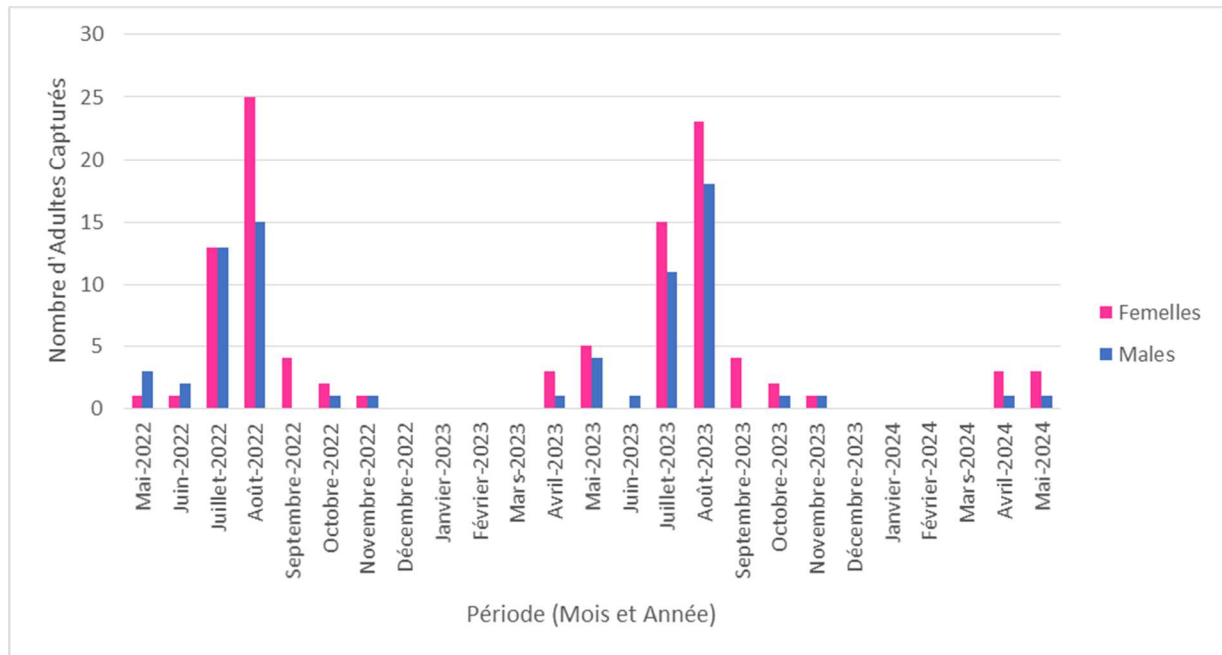


Figure 28 : Évolution du nombre d'adultes femelles et males capturés par pièges lumineux au site 1 de Douar El Ma (2022-2024).

L'analyse des données met en évidence des variations dans la présence des différents stades larvaires (L1, L2, L3) de l'*Oryctes agamemnon* tout au long de l'année au Site 1 de Douar El Ma. Pendant les périodes de faible activité ou d'absence totale d'adultes en décembre à mars, on observe une augmentation significative du nombre de larves L2 et L3, tandis que le nombre de larves L1 reste relativement faible. Ces mois correspondent également à des pics d'observation des stades larvaires L1, L2 et L3, ce qui suggère une continuité dans le développement des larves indépendamment de l'activité des adultes. Cette observation met en lumière la persistance du cycle de vie de l'espèce tout au long de l'année, avec des stades larvaires toujours présents même en l'absence d'adultes, ce qui souligne l'importance de prendre en compte l'ensemble du cycle de vie dans la gestion de cette espèce (Figure 29).

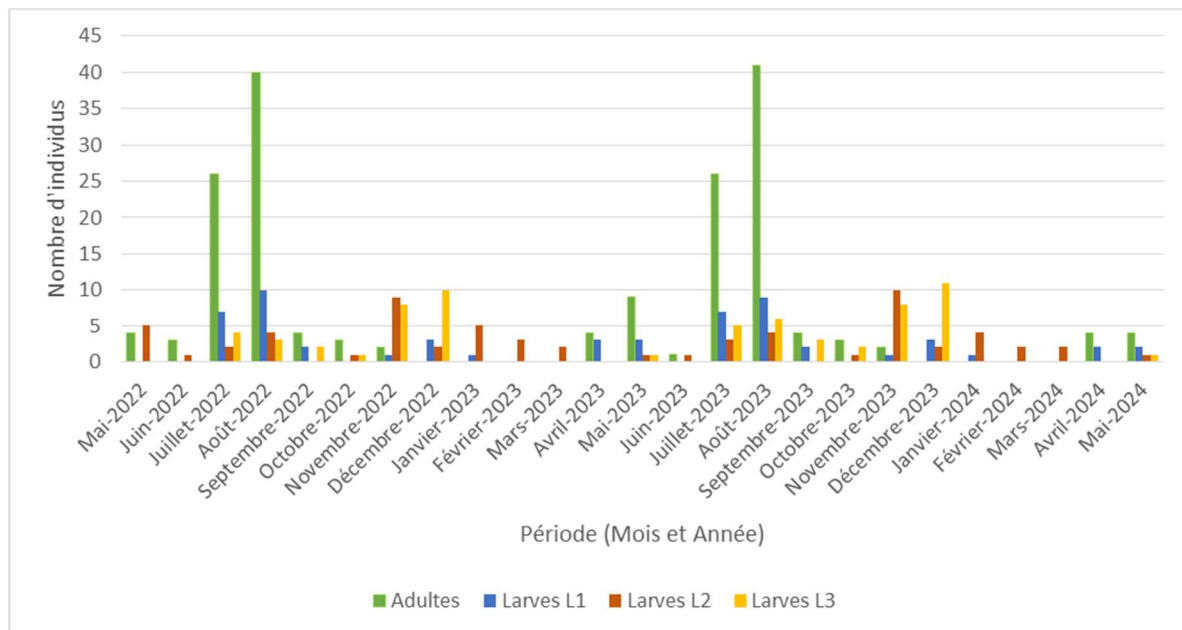


Figure 29 : Évolution du nombre d'adultes et de larves au site 1 de Douar El Ma (2022-2024).

2.1.1.2 Analyse des Dynamiques Saisonnières des Adultes d'*Oryctes* Capturés par Pièges Lumineux au Site 2 de Douar El Ma (2022-2024)

Les résultats de l'étude sur l'évolution des populations d'*Oryctes agamemnon* capturées au site 2 de Douar El Ma de 2022 à 2024 révèlent plusieurs tendances significatives. La période de vol des adultes s'étend d'avril à décembre, avec un pic d'activité prononcé en août chaque année, indiquant une abondance maximale des adultes durant ce mois. Les fluctuations annuelles et mensuelles des captures illustrent des cycles saisonniers typiques, avec des hausses marquées en été et des diminutions en fin d'année. Il est également important de noter une absence totale d'activités de janvier à mars, indiquant que les adultes ne sont pas présents ou actifs durant les mois les plus froids (Figure 30).

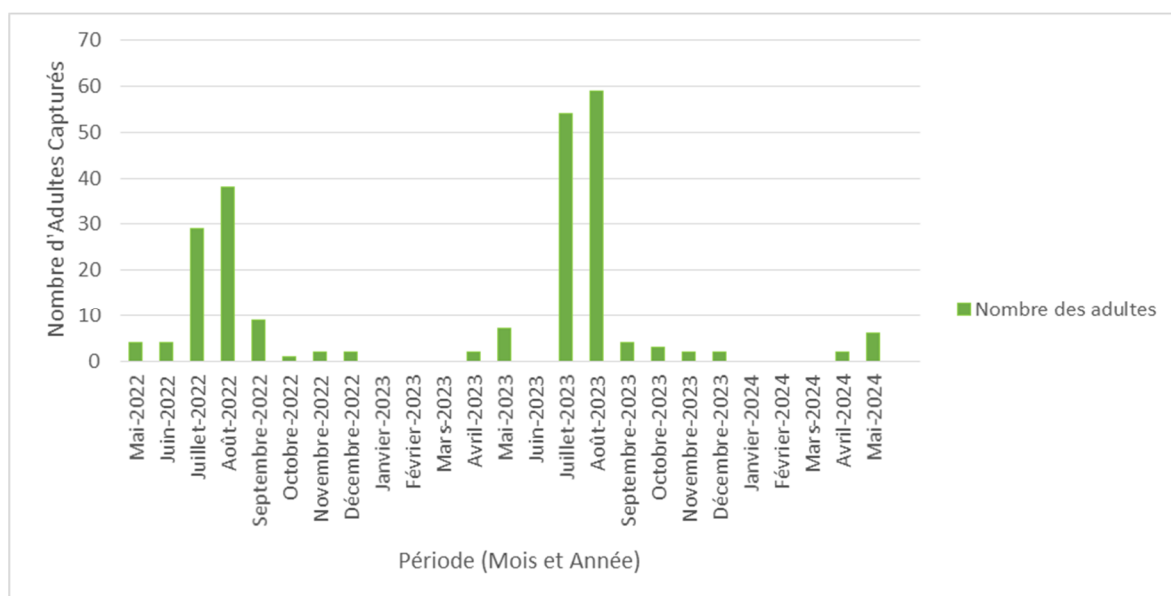


Figure 30 : Évolution du nombre d'adultes capturés par pièges lumineux au site 2 de Douar El Ma (2022-2024).

Les captures montrent une nette prédominance des femelles par rapport aux mâles, suggérant des comportements de vol ou des ratios sexuels biaisés dans la population adulte (Figure 31).

Ces observations fournissent des informations essentielles pour comprendre la dynamique écologique de l'espèce et peuvent être utilisées pour élaborer des stratégies de gestion appropriées

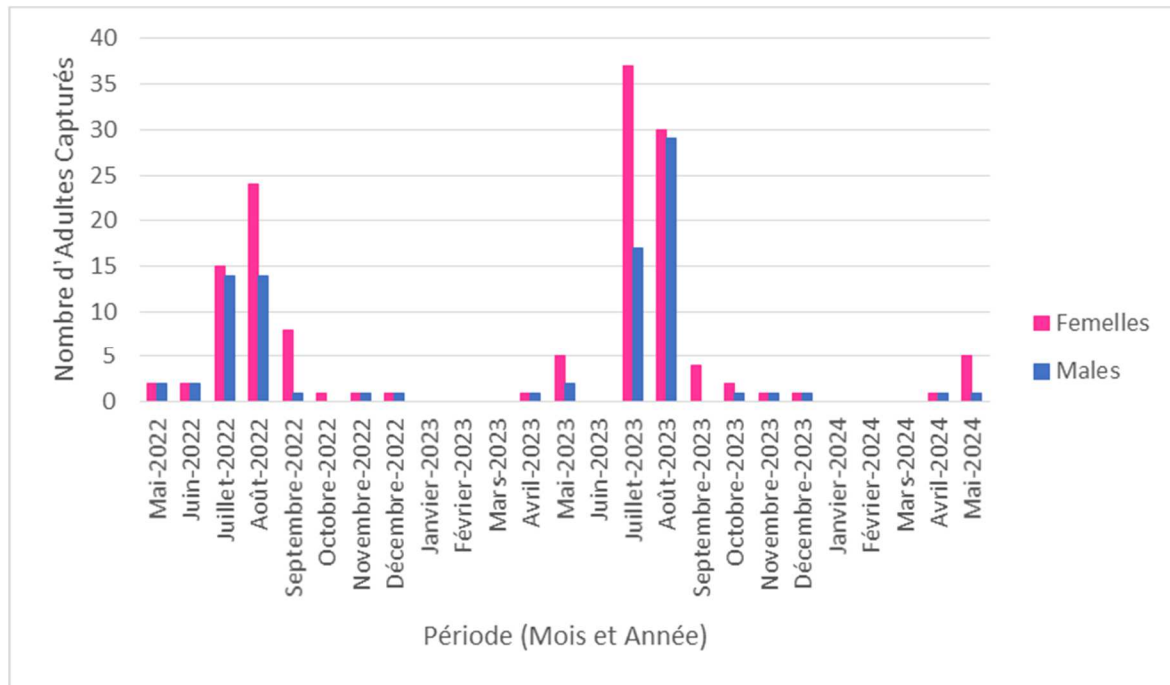


Figure 31 : Évolution du nombre d'adultes femelles et males capturés par pièges lumineux au site 2 de Douar El Ma (2022-2024).

Pour le site 2 de Douar El Ma, les données montrent une corrélation entre les niveaux d'adultes et la présence des stades larvaires L1, L2 et L3. Les pics d'activité des adultes, observés notamment en juillet et en août, correspondent à des pics similaires dans la présence des stades larvaires. Cependant, même en période de faible activité adulte, des larves sont toujours présentes, indiquant une persistance de la population larvaire indépendamment de la présence des adultes. Ces observations soulignent l'importance de considérer le cycle de vie complet de l'insecte dans les stratégies de gestion des populations (Figure 32).

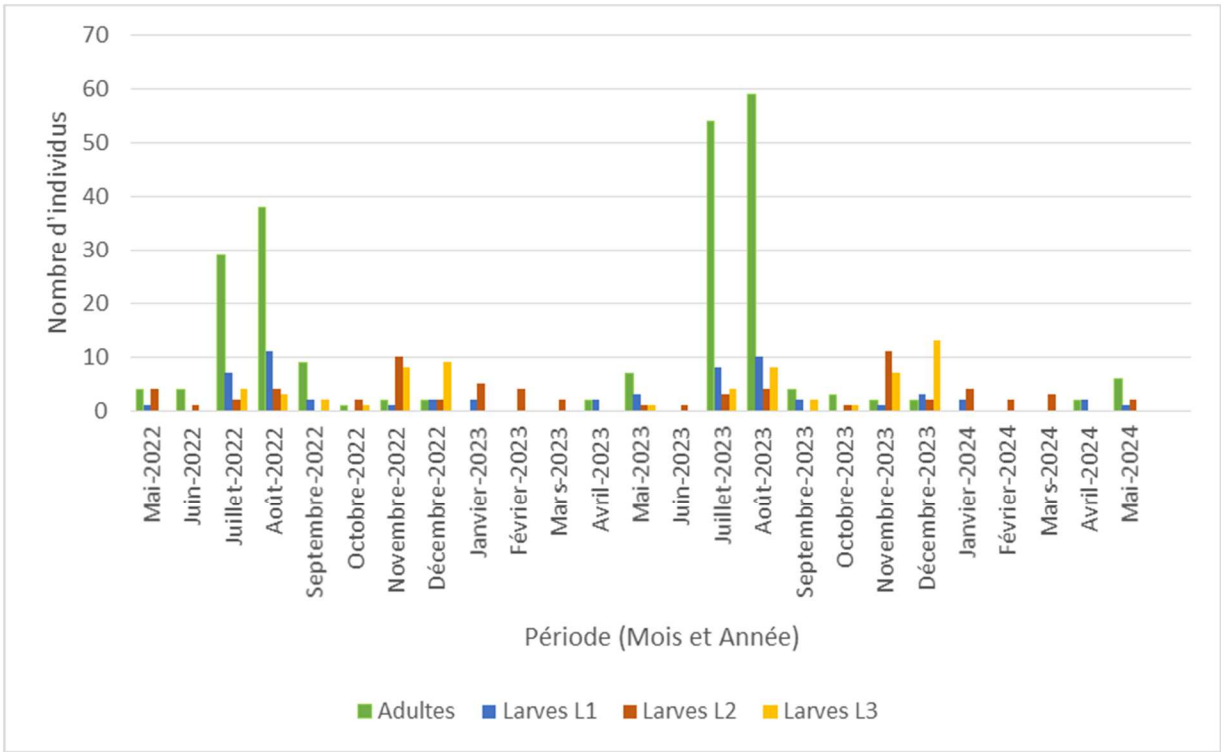


Figure 32 : Évolution du nombre d’adultes et de larves au site 2 de Douar El Ma (2022-2024).

2.1.1.3 Analyse des Dynamiques Saisonnières des Adultes d'*Oryctes* Capturés par Pièges Lumineux au Site 1 de Taleb larbi (2022-2024)

Les résultats concernant l'évolution des populations d'*Oryctes agamemnon* au site 1 de Taleb Larbi, capturées par des pièges lumineux de 2022 à 2024, montrent une période de vol des adultes d’avril à novembre avec un pic en août. La période hivernale de décembre à mars est marquée par une absence totale d'activité des adultes. Ces résultats, qui montrent des fluctuations saisonnières et un biais sexuel, sont cruciaux pour comprendre la dynamique temporelle de cette espèce et informer les stratégies de gestion et de conservation (Figure 33).

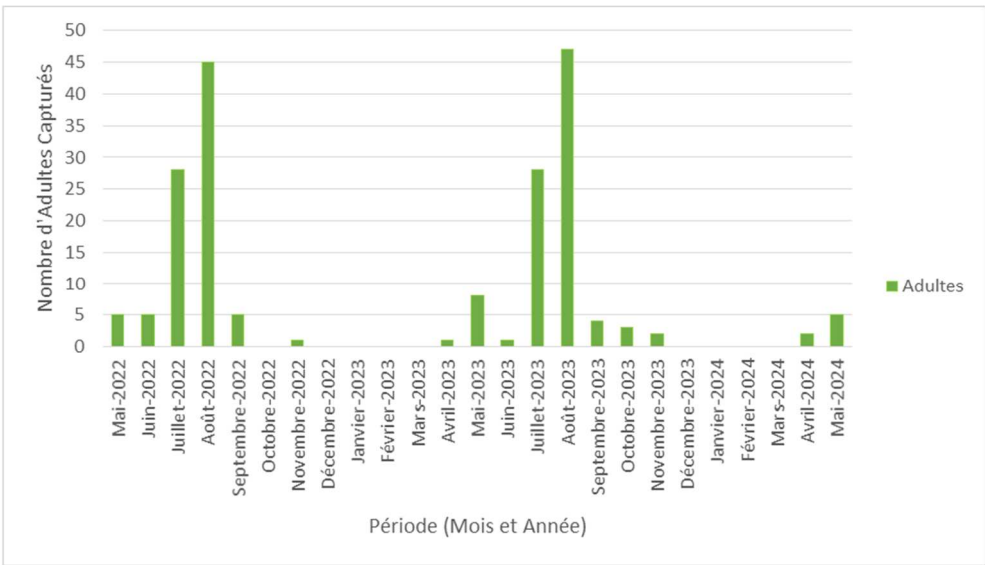


Figure 33 : Évolution du nombre d’adultes capturés par pièges lumineux au site 1 de Taleb Larbi (2022-2024).

Les femelles affichent généralement des taux de capture supérieurs à ceux des mâles pendant toute la période d'étude. Plus particulièrement, les mois de juillet et d'août enregistrent les taux de capture les plus élevés pour les deux sexes, avec une prédominance marquée des femelles (Figure 34).

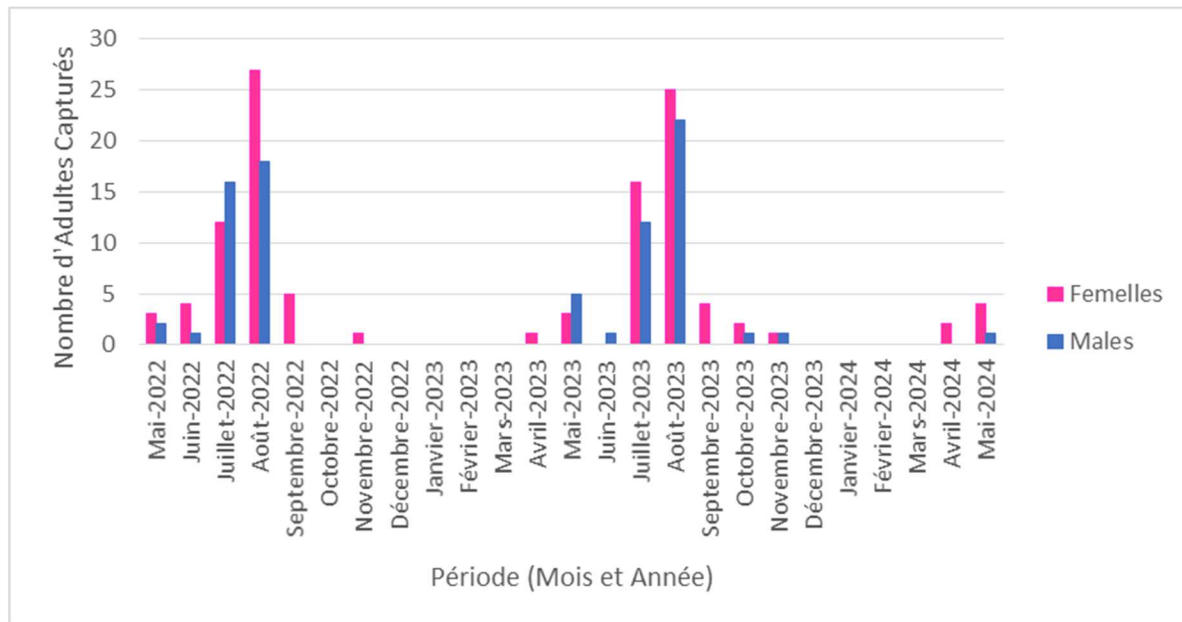


Figure 34 : Évolution du nombre d'adultes femelles et males capturés par pièges lumineux au site 1 de Taleb Larbi (2022-2024).

Pour le site 1 de Taleb Larbi, une tendance similaire est observée, avec des niveaux élevés d'adultes coïncidant avec une abondance de larves. Les pics d'activité des adultes en juillet et en août sont également associés à des niveaux élevés de stades larvaires. Cette corrélation suggère une synchronisation dans le développement des différentes étapes du cycle de vie de *Oryctes agamemnon*. De plus, malgré l'absence d'adultes à certaines périodes, la présence continue de larves souligne leur capacité à survivre et à se développer dans des conditions variables (Figure 35).

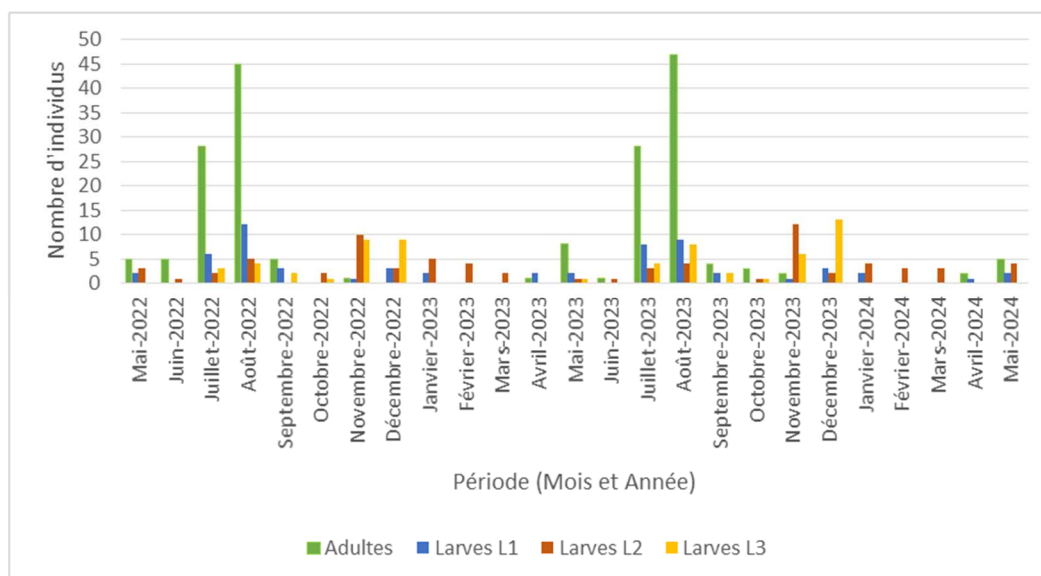


Figure 35 : Évolution du nombre d'adultes et de larves au site 1 de Taleb Larbi (2022-2024).

2.1.1.4 Analyse des Dynamiques Saisonnières des Adultes d'*Oryctes* Capturés par Pièges Lumineux au Site 2 de Taleb larbi (2022-2024)

Les résultats de l'évolution des populations d'*Oryctes agamemnon* au site 2 de Taleb Larbi, capturées par des pièges lumineux de 2022 à 2024, indiquent une période d'activité des adultes s'étendant d'avril à septembre, avec un pic d'activité généralement observé en août. Durant les mois d'octobre à mars, correspondant à la période hivernale, aucune activité adulte n'a été enregistrée, ce qui suggère une dormance ou une diminution significative de l'activité de cette espèce pendant cette période (Figure 36).

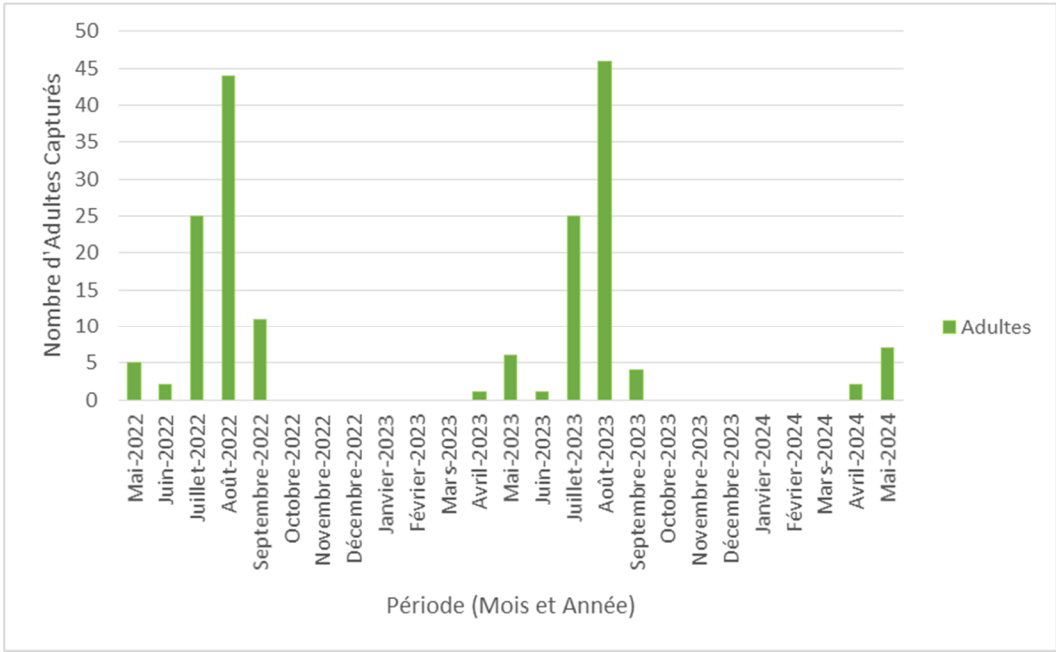


Figure 36 : Évolution du nombre d'adultes capturés par pièges lumineux au site 2 de Taleb Larbi (2022-2024).

Les captures totales révèlent une prédominance des femelles sur les mâles chaque année (Figure 36).

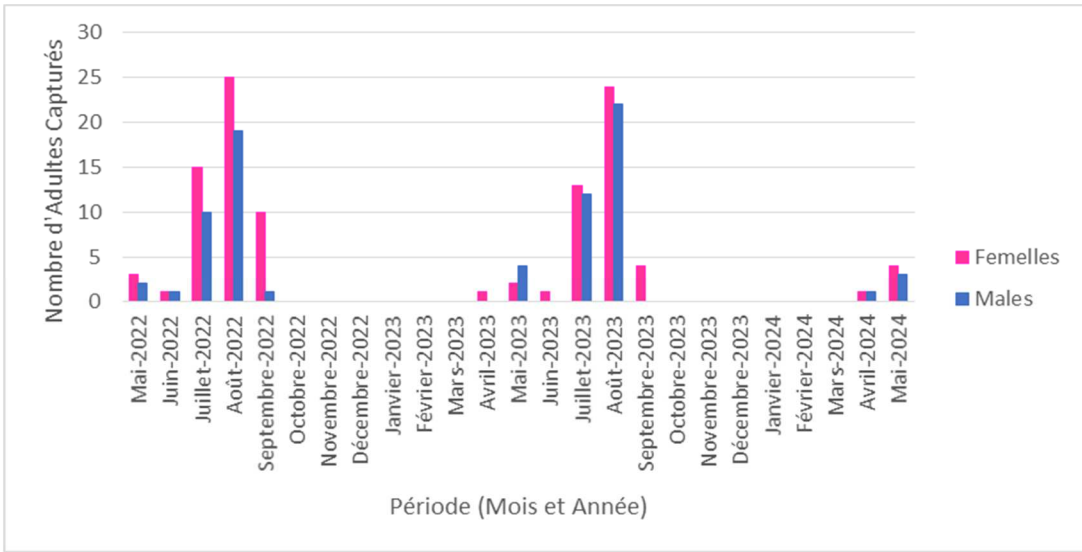


Figure 37 : Évolution du nombre d'adultes femelles et males capturés par pièges lumineux au site 2 de Taleb Larbi (2022-2024).

Pour le site 2 de Taleb Larbi, des résultats similaires sont observés, avec des pics d'activité des adultes correspondant à des pics dans la présence des stades larvaires. Ces observations suggèrent une corrélation entre l'apparition des adultes et le développement des stades larvaires. De plus, il est intéressant de noter que même lors des périodes de faible activité ou d'absence totale d'adultes, tous les stades larvaires sont présents, ce qui souligne la persistance de leur cycle de vie tout au long de l'année (Figure 38).

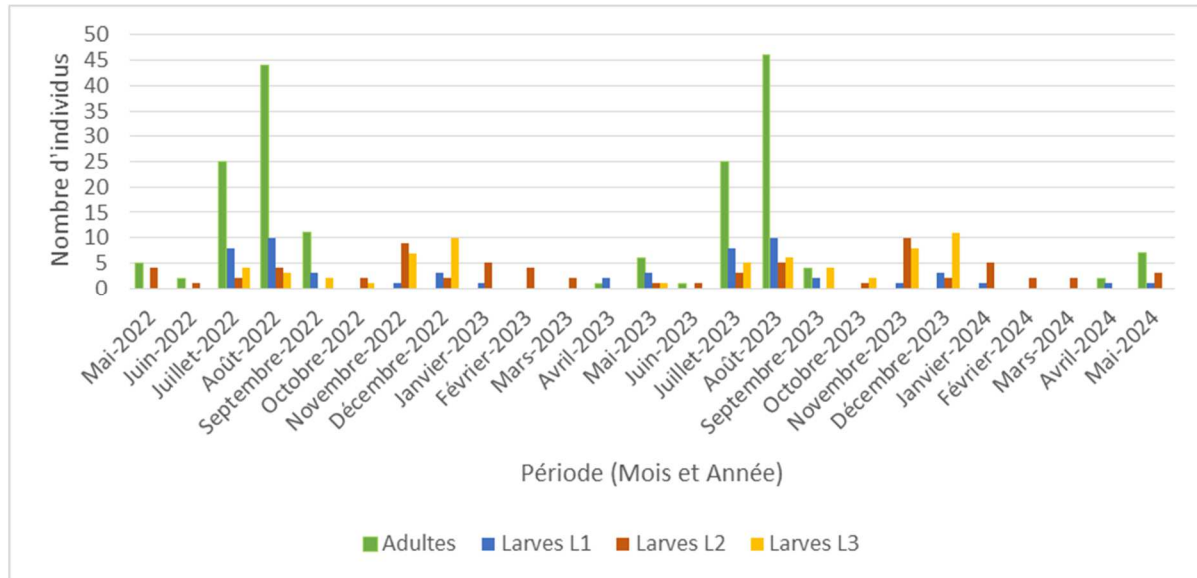


Figure 38 : Évolution du nombre d'adultes et de larves au site 2 de Taleb Larbi (2022-2024).

2.1.1.5 Analyse Totale des Dynamiques Saisonnières des Adultes d'*Oryctes* Capturés par Pièges Lumineux aux Sites de Douar El Ma et Taleb Larbi (2022-2024)

L'analyse des données de capture des adultes d'*Oryctes agamemnon arabicus* au cours des années 2022 à 2024 révèle une période de vol qui s'étend principalement d'avril à décembre, avec une absence totale d'activités observées de janvier à mars. Cette absence d'activité durant les mois les plus froids suggère que les adultes sont soit inactifs, soit absents des sites étudiés pendant cette période, probablement en raison de conditions environnementales défavorables telles que des températures basses et une disponibilité réduite des ressources alimentaires.

Les données montrent également que les captures atteignent un pic notable en juillet et en août. Ce pic pourrait être lié à des conditions environnementales particulièrement favorables pendant ces mois, telles que des températures optimales pour l'activité des insectes et une disponibilité accrue de ressources alimentaires. Ces conditions favorables peuvent entraîner une augmentation de l'activité des adultes et, par conséquent, une augmentation des captures dans les pièges lumineux (Figure 39).

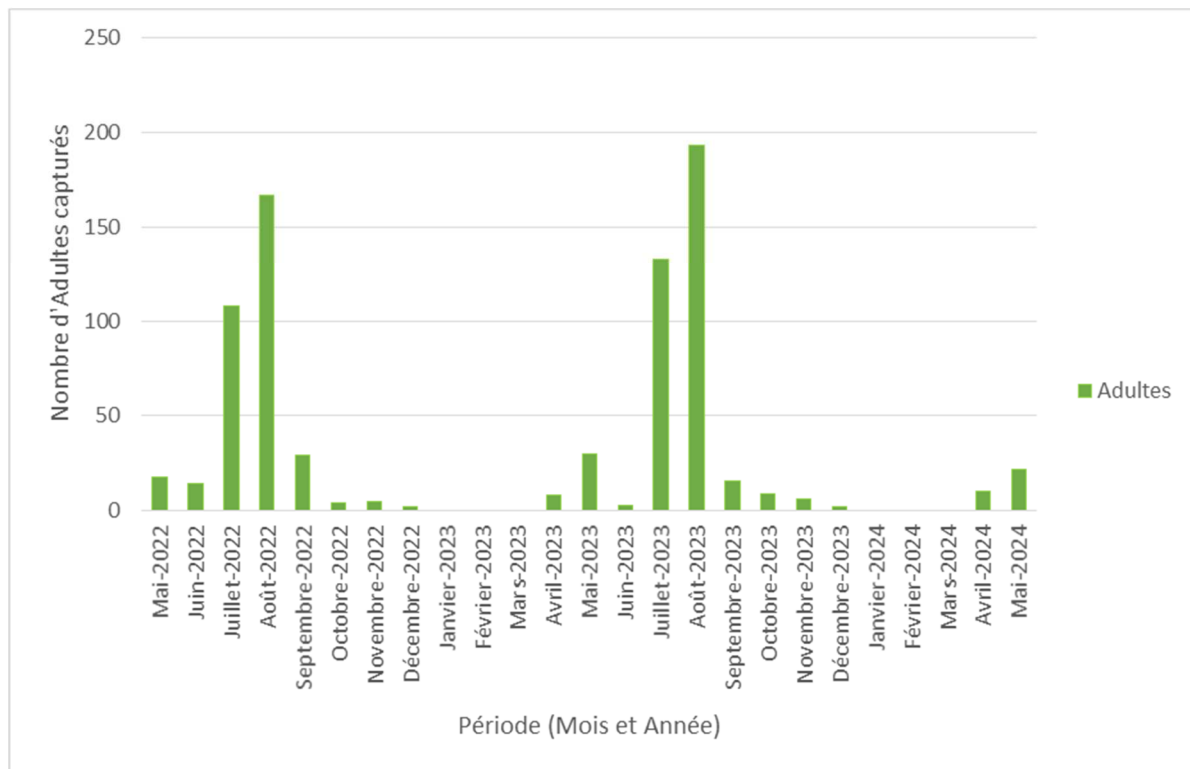


Figure 39 : Évolution du nombre total d'adultes capturés par pièges lumineux (2022-2024).

En termes de distribution des captures, le nombre total d'individus capturés sur la période 2022-2024 est de 779, avec une répartition sex-ratio indiquant une prépondérance significative des femelles (461 captures) par rapport aux mâles (318 captures) (Figure 40). Cette dominance des femelles pourrait être attribuée à une attraction plus marquée des femelles vers les pièges lumineux. Alternativement, il est possible que la répartition sex-ratio de la population naturelle soit biaisée, avec un plus grand nombre de femelles disponibles pour la capture par les pièges.

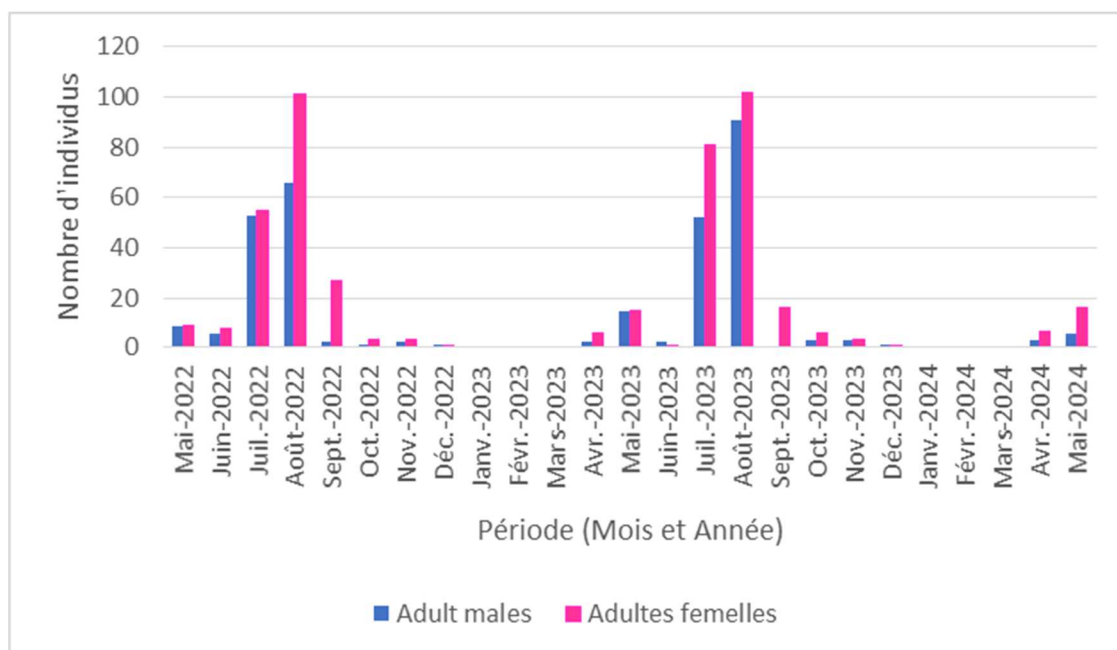


Figure 40 : Évolution du nombre total d'adultes femelles et mâles capturés par pièges lumineux (2022-2024).

2.1.1.6 Analyse Totale des Dynamiques Saisonnières des adultes et des larves d'*Oryctes* aux Sites de Douar El Ma et Taleb Larbi (2022-2024)

L'analyse des dynamiques saisonnières des adultes et des stades larvaires d'*Oryctes agamemnon arabicus* révèle que l'espèce est univoltine, avec un cycle de développement saisonnier distinct et les données montrent le cycle de développement de cette espèce qui se répète chaque année comme suit (Figure 41) :

Janvier - Mars : Durant cette période hivernale, il y a une absence d'adultes, ce qui indique une période d'hibernation. Les larves (L1, L2, L3) sont également présentes en faibles quantités, suggérant une diminution de l'activité de reproduction et de développement.

Avril : L'apparition des adultes marque le début d'une nouvelle phase active. La présence de L1 et L2 indique le début de la reproduction et le renouvellement des populations larvaires. Avril est donc le moment où l'insecte sort de l'hibernation et commence à se reproduire de nouveau.

Mai - Août : Ces mois correspondent à une période de forte activité. En mai, il y a une augmentation notable du nombre d'adultes et la présence de tous les stades larvaires. En Août, le nombre d'adultes à son maximum, avec une reproduction intense et une grande quantité de larves à différents stades de développement. Juillet et août continuent cette tendance avec un nombre maximal d'adultes et des larves abondantes. Cette période est cruciale pour la reproduction et le développement rapide des jeunes.

Septembre - Décembre : Avec le début de l'automne, la population d'adultes commence à diminuer. En septembre, il y a encore des larves présentes à tous les stades, mais le nombre d'adultes baisse. En octobre et novembre, la diminution continue des adultes se traduit par une forte présence de L2 et L3, suggérant que les larves se développent davantage malgré la baisse des adultes. Décembre montre une très faible présence d'adultes, mais un pic de L3, indiquant que les larves continuent leur développement même lorsque les adultes sont rares.

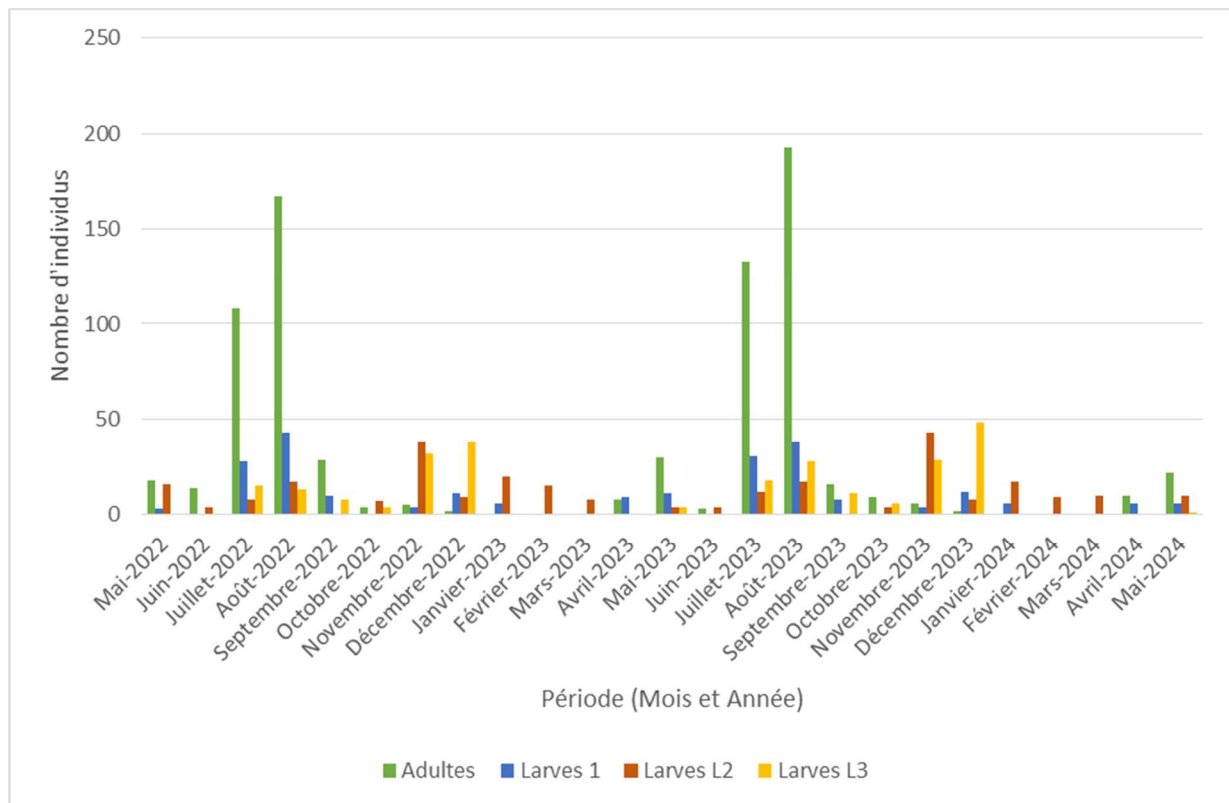


Figure 41 : Évolution du nombre d'adultes et de larves d'*Oryctes* (2022-2024).

2.1.2. Bioécologie de l'*Oryctes* sous conditions de laboratoire

2.1.2.1 Cycle de vie

Les résultats de l'étude du cycle de vie de l'*Oryctes agamemnon arabicus*, réalisée en laboratoire avec des conditions de température de $26 \pm 1^\circ\text{C}$, d'humidité de $55 \pm 5\%$ et une photopériode de 13/11 heures, confirment que cette espèce est univoltine, présentant une seule génération annuelle. Elle passe par les stades suivants : œuf, trois stades larvaires, prénymphe, nymphe et adulte.

La durée totale de développement d'*Oryctes agamemnon arabicus* de l'œuf à l'adulte est de $314,87 \pm 7,79$ jours (10 mois et 8 jours), avec une dominance marquée des stades larvaires qui représentent $208,61 \pm 1,98$ jour (66,25 % de la durée totale).

Les stades larvaires, notamment le troisième stade (124,58 jours, 39,57%), sont significativement plus longs que les autres phases du cycle de vie, soulignant leur rôle prépondérant dans le développement de l'insecte. En contraste, les autres stades, tels que l'œuf (10,14 jours, 3,22 %), la prénymphe (10,4 jours, 3,30 %) et l'adulte (29,12 jours, 9,25 %), sont relativement courts, ce qui souligne la dominance et l'importance des stades larvaires dans le cycle de vie de l'espèce (Figure 42, Tableau 4, Annexe 2).



Figure 42 : Cycle de vie d'*Oryctes agamemnon arabicus* en conditions de laboratoire (température de 26 ± 1 °C, humidité de 55 ± 5 % et photopériode de 13/11 heures) (Source : Auteur).

Tableau 4 : Durée de développement des stades de vie d'*Oryctes agamemnon arabicus*.

Stade	Œuf	Larve 1	Larve 2	Larve 3	Prénymph	Nymph	Adulte	Durée totale
Moyenne ± SD	10,14±3,99	25,80±2,60	58,23±1,65	124,58±1,52	10,40±0,90	56,60±4,15	29,12±19,48	314,87±7,79
N (Effectif total)	35	30	26	24	22	20	16	

2.1.2.2 Description des Stades de Développement de l'*Oryctes agamemnon arabicus*

• Embryogenèse

Les œufs avaient une forme ovoïde, de couleur blanc nacré, avec une longueur moyenne de $2,98 \pm 0,38$ mm et une largeur de $1,97 \pm 0,37$ mm. À la fin du développement, le volume de l'œuf augmentait considérablement, et la forme ovoïde devenait presque ronde, tandis que certaines parties des capsules céphaliques devenaient visibles à travers la membrane transparente de l'œuf (Figure 43), (Tableau 5). Le nombre moyen d'œufs pondus par chaque femelle est de $4,4 \pm 3,71$ œuf.



Figure 43 : Œuf d'*Oryctes agamemnon arabicus* ; A : Début du développement ; B : Fin du développement (Source : Auteur).

Tableau 5 : Mesures de longueur et de largeur (mm) des stades de développement de l'*Oryctes agamemnon arabicus*.

Stade	Longueur	Largeur	N (Effectif total)
Œuf	2,98±0,38	1,97±0,37	44
Larve 1	5,67±0,96	2,34±0,17	35
Larve 2	53,92±1,90	10,41±0,27	30
Larve 3	77,67±4,84	14,71±0,66	26
Prénympe	60,16±0,23	16,63±0,16	24
Nymphe	43,45±5,95	15,49±0,37	22
Adulte	30,05±0,69	14,15±0,29	20

- **Stades larvaires**

Les larves de l'*Oryctes* passent par trois stades larvaires. Elles présentent un corps cylindrique, de couleur blanchâtre, souvent courbé en forme de C. Elles possèdent trois paires de pattes situées à l'avant du corps. La capsule céphalique est de couleur orange-brun.

- **Larve de premier stade :**

Après l'éclosion, la larve de premier stade est de couleur blanche, presque transparente. La capsule céphalique, initialement presque aussi grande que le corps (Figure 44, A), devient orange au fur et à mesure du développement (Figure 44, B). À ce stade, la larve mesure 5,67±0,96 mm de longueur et 2,34±0,17 mm de largeur (Tableau 5), avec une capsule céphalique ayant une largeur de 2,54±0,18 mm (Tableau 6). Les larves de premier stade sont très actives et se déplacent rapidement.



Figure 44 : Larve de premier stade d'*Oryctes agamemnon arabicus* ; A : Début du développement, B : Fin du développement (Source : Auteur).

- **Larve de deuxième stade :**

À ce stade, la larve est blanche et mesure $53,92 \pm 1,90$ mm de longueur et $10,41 \pm 0,27$ mm de largeur (Tableau 5). La capsule céphalique, de couleur orange, a une largeur de $5,37 \pm 0,14$ mm, (Tableau 6). (Figure 45).



Figure 45 : Larve de deuxième stade d'*Oryctes agamemnon arabicus* (Source : Auteur).

- **Larve de troisième stade :**

La larve de troisième stade est de couleur blanche, mesurant $77,67 \pm 4,84$ mm de longueur et $14,71 \pm 0,66$ mm de largeur (Tableau 5). La capsule céphalique, d'une teinte plus foncée allant vers le marron, mesure $9,61 \pm 0,41$ mm de large (Tableau 6). Ce stade est le plus dommageable, car la larve est particulièrement vorace (Figure 46).



Figure 46 : Larve de troisième stade d'*Oryctes agamemnon arabicus* (Source : Auteur).

Tableau 6 : Largeur de la capsule céphalique (mm) d'*Oryctes agamemnon arabicus*.

Stade	Larve 1	Larve 2	Larve 3	Prénympe
Moyenne $\pm$ SD	2,54 $\pm$ 0,18	5,37 $\pm$ 0,14	9,61 $\pm$ 0,41	9,73 $\pm$ 0,25
N (Effectif total)	35	30	26	24

- **Stade pré-nympe :**

Au stade pré-nympe, la larve de troisième stade cesse de se nourrir et réduit considérablement son activité. Elle se contracte et diminue de volume, prenant une couleur jaunâtre. À ce stade, la larve mesure 60,16 $\pm$ 0,23 mm de longueur et 16,63 $\pm$ 0,16 mm de largeur (Tableau 5), tandis que la capsule céphalique a une largeur de 9,73 $\pm$ 0,25 mm (Tableau 6). À la fin de ce stade, la cuticule de la larve se détache à travers la capsule céphalique, marquant le début du stade nympe (Figure 47).



Figure 47 : Stade pré-nympe d'*Oryctes agamemnon arabicus* (Source : Auteur).

- **Stade nympe :**

Au stade nympe, la pupa adopte une forme plus compactée et moins mobile. Sa couleur évolue progressivement du jaunâtre au orange, puis au brun foncé. Mesurant 43,45 $\pm$ 5,95 mm de longueur et 15,49 $\pm$ 0,37 mm de largeur (Tableau 5), la pupa présente des mouvements limités,

principalement par contractions et expansions du corps. À ce stade, toutes les structures de l'adulte sont visibles, et le sexe peut être déterminé par la présence ou l'absence de la corne : les mâles possèdent une corne distinctive, tandis que les femelles en sont dépourvues (Figure 48).



Figure 48 : Stade nymphe d'*Oryctes agamemnon arabicus* ; A :Femelle, B : Male (Source : Auteur).

- **Stade adulte :**

L'adulte émerge en se libérant par déchirure de la cuticule de la pupe. Il mesure $30,05 \pm 0,69$ mm de longueur et $14,15 \pm 0,29$ mm de largeur (Tableau 5), avec un corps robuste généralement noir à brun foncé. Les mâles se distinguent par une grande corne frontale courbée, absente chez les femelles (Figure 49).



Figure 49 : Adultes d'*Oryctes agamemnon arabicus* (Source : Auteur).

2.1.2.3 Taux de mortalité aux différents stades du développement

Les résultats montrent que la mortalité est la plus élevée au stade œuf, avec un taux de 20,45%. La mortalité durant l'embryogenèse, mesurée à 20,45%. Les taux de mortalité diminuent considérablement aux stades larvaires ultérieurs, prénympe et nymphe, avant d'augmenter de nouveau au stade adulte, avec une mortalité de 20% pour les adultes (Tableau 7).

Tableau 7 : Mortalité par stade d'*Oryctes agamemnon arabicus*.

Stade	Œuf	Larve 1	Larve 2	Larve 3	Prénympe	Nympe	Adulte
Mortalité par stade	9	5	4	2	2	2	4
N (Effectif total)	44	35	30	26	24	22	20
% de mortalité par stade	20,45	14,29	13,33	7,69	8,33	9,09	20

2.1.3 Symptômes et Dégâts de l'*Oryctes agamemnon arabicus* sur le palmier dattier

2.1.3.1 Symptômes

Les symptômes d'une infestation par *Oryctes agamemnon arabicus* sont visibles par la présence de trous et de galeries sur le tronc et les pétioles du palmier dattier. Ces galeries, creusées par les larves et les adultes, sont souvent accompagnées de traces ressemblant à du compost mûr, caractéristiques des zones attaquées. Les larves peuvent également être trouvées au niveau des racines, à une profondeur de 20 à 30 cm. Ces signes indiquent des dégâts internes au niveau des tissus végétaux, affaiblissant progressivement l'arbre.

2.1.3.2 Dégâts

Les adultes et les larves d'*Oryctes* peuvent infester les différentes parties du palmier dattier, quelle que soit leur tranche d'âge, et causer des dommages considérables. Les larves attaquent principalement les racines, notamment les racines aériennes, ainsi que le tronc, creusant des galeries à travers les tissus. Elles se nourrissent des tissus végétaux, réduisant les zones affectées en une texture poudreuse, semblable à du compost mûr. Cela affaiblit l'arbre et peut éventuellement entraîner son effondrement. Les adultes, quant à eux, s'attaquent également au tronc et peuvent atteindre la couronne, endommageant davantage la structure et la croissance de l'arbre. L'activité alimentaire des larves et des adultes compromet la santé globale du palmier, réduisant sa vitalité et pouvant conduire à des infestations graves menaçant sa survie (Figure 50 et 51).



Figure 50 : Dégâts causés par *Oryctes agamemnon arabicus* sur les racines du palmier dattier ; A : Palmier dattier infesté présentant des dommages visibles au niveau des racines. ; B : Trous et galeries creusés par les larves dans les racines ; C : Larve trouvée dans la partie racinaire endommagée (Source : Auteur).



Figure 51 : Dégâts causés par *Oryctes agamemnon arabicus* sur le tronc du palmier dattier ; A : Palmier dattier infesté montrant des signes d'infestation sur le tronc ; B : Tronc endommagé, présentant des perforations et des galeries creusées par les larves ; C : Larve trouvée dans la partie endommagée du tronc (Source : Auteur).

En laboratoire, les adultes et les larves d'*Oryctes agamemnon arabicus*. ont été observés se nourrissant des rejets de palmier dattier, ciblant en particulier les parties racinaires. Les rejets servent de source alimentaire pour les deux stades du ravageur. Les larves creusent des galeries dans les tissus mous, en tirant les nutriments nécessaires à leur croissance et à leur développement. De même, les adultes perforent les rejets, créant des trous et broient le matériel végétal (Figure52).

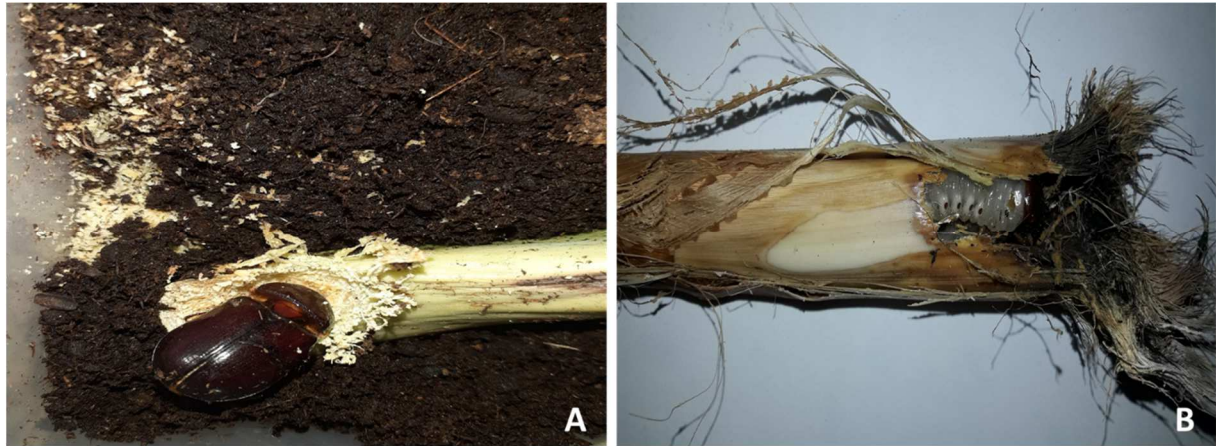


Figure 52 : Dégâts causés par les adultes et les larves d'*Oryctes agamemnon arabicus* sur les rejets de palmier dattier en conditions de laboratoire ; A : Adultes perforant les rejets, créant des trous et broyant le matériel végétal ; B : Larves creusant des galeries dans les rejets (Source : Auteur).

2.1.4 Acariens associés à l'*Oryctes agamemnon arabicus*

2.1.3.1 Résultats de l'identification des acariens

Les résultats de l'identification des acariens associés à l'*Oryctes agamemnon arabicus* ont révélé la découverte d'une nouvelle espèce de mite de la famille des Laelapidae, *Hypoaspis arabicus* Rais et Kontschán, sp. nov. (Acari: Laelapidae).

2.1.3.2 Étymologie

La nouvelle espèce a été nommée en référence à son hôte, *Oryctes agamemnon arabicus*.

2.1.3.3 Observations des acariens sur l'hôte

Cette espèce a été observée de manière constante à différents stades de développement de l'insecte : stades larvaires, prénymphe, nymphe et adulte.

Au stade adulte, elle se trouvait principalement sur la face ventrale, en particulier au niveau de l'articulation thorax-abdomen (Figure 53).

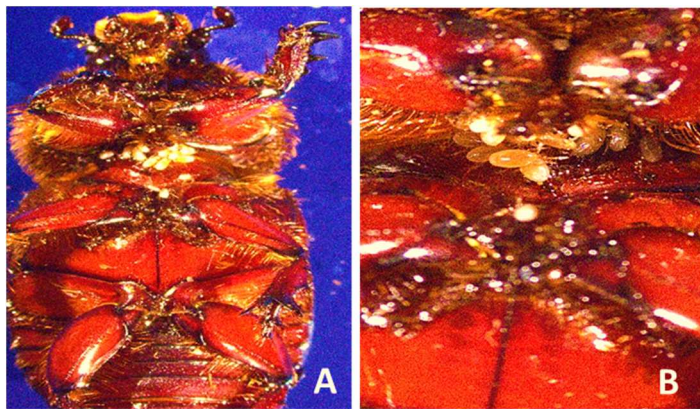


Figure 53 : *Hypoaspis arabicus* Rais et Kontschán, sp. nov. sur l'adulte d'*Oryctes agamemnon arabicus* ; A : vue de la face ventrale, B : vue de l'articulation thorax-abdomen.

Les acariens étaient également associés aux larves, où ils ont été observés dans diverses parties de l'exosquelette larvaire, y compris les articulations intersegmentaires et dans les replis de la structure larvaire (Figure 54).

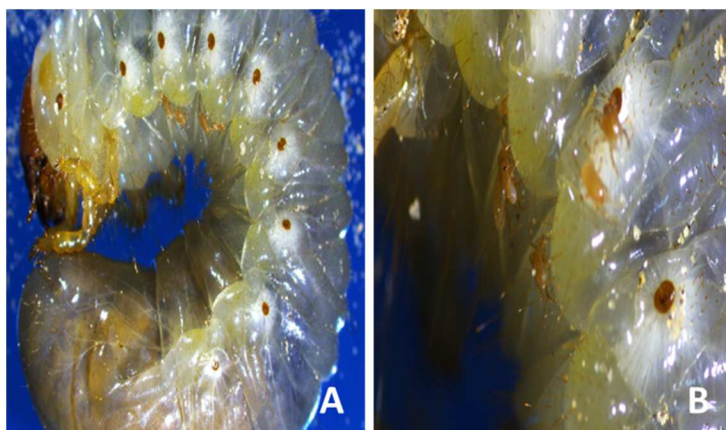


Figure 54 : *Hypoaspis arabicus* Rais et Kontschán, sp. nov. sur la larve d'*Oryctes agamemnon arabicus* ; A : sur diverses parties de l'exosquelette larvaire, B : sur les replis de la structure larvaire.

2.2. Analyse de la Variation Temporelle du NDVI (1990-2024) dans les Régions de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie

2.2.1 Tendances du NDVI

- **Site 1** : La pente est de 0,00063, indiquant une tendance à la hausse du NDVI au fil du temps. La p-value est de 0,00000, ce qui signifie que cette tendance est statistiquement significative.
- **Site 2** : La pente est de 0,00034, montrant également une tendance à la hausse, mais moins prononcée que pour le Site 1. La p-value est de 0,00000, confirmant la significativité statistique.
- **Site 3** : La pente est de 0,00019, la plus faible parmi les quatre sites, mais toujours positive. La p-value est de 0,00000, indiquant une tendance significative.
- **Site 4** : La pente est de 0,00068, la plus élevée, montrant une augmentation marquée du NDVI. La p-value est de 0,00000, confirmant la significativité.

Tous les sites montrent une tendance à la hausse du NDVI, ce qui suggère une amélioration de la végétation ou une augmentation de la biomasse au fil du temps. Le Site 4 présente la tendance la plus forte, tandis que le Site 3 a la tendance la plus faible (Figure 55 et 56).

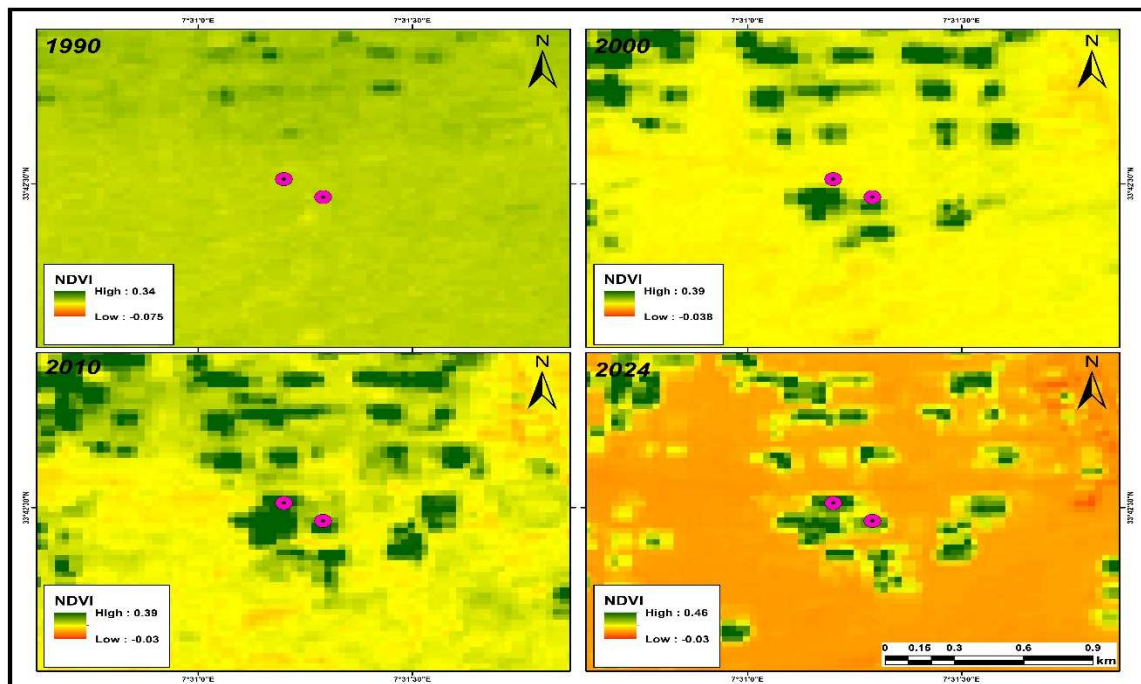


Figure 55 : Évolution de l'indice NDVI sur les sites de Taleb Larbi, El Oued, Algérie (1990-2024) (Source : Auteur).

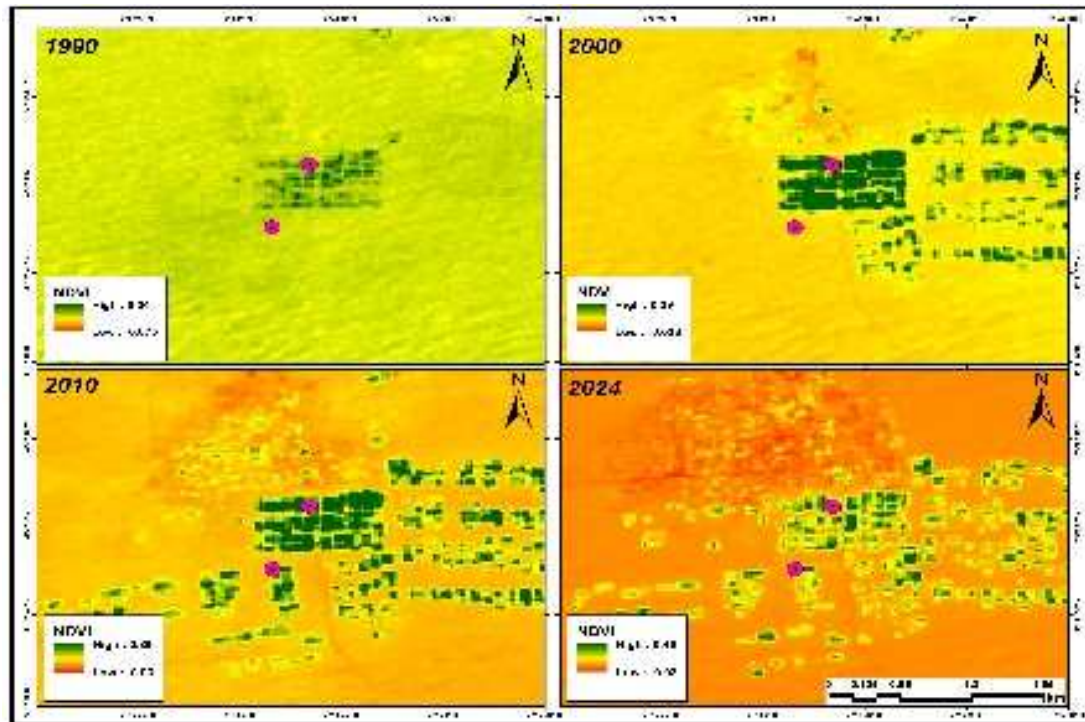


Figure 56 : Évolution de l'indice NDVI sur les sites de Douar El Ma, El Oued, Algérie (1990-2024) (Source : Auteur).

L'évolution du NDVI sur 32 ans pour quatre zones révèle une variabilité marquée et des tendances linéaires distinctes. Les zones 1 et 4 montrent une augmentation de la vigueur de la végétation, tandis que les zones 2 et 3 présentent des fluctuations plus importantes et des tendances moins nettes. Cela souligne l'importance de la surveillance à long terme pour comprendre la dynamique de la végétation et orienter les efforts de gestion durable. Il convient de noter que, depuis l'année 2012, les valeurs de NDVI ne montrent pas d'évolution significative, ce qui pourrait être dû à des facteurs externes limitant son développement (Figure 57).

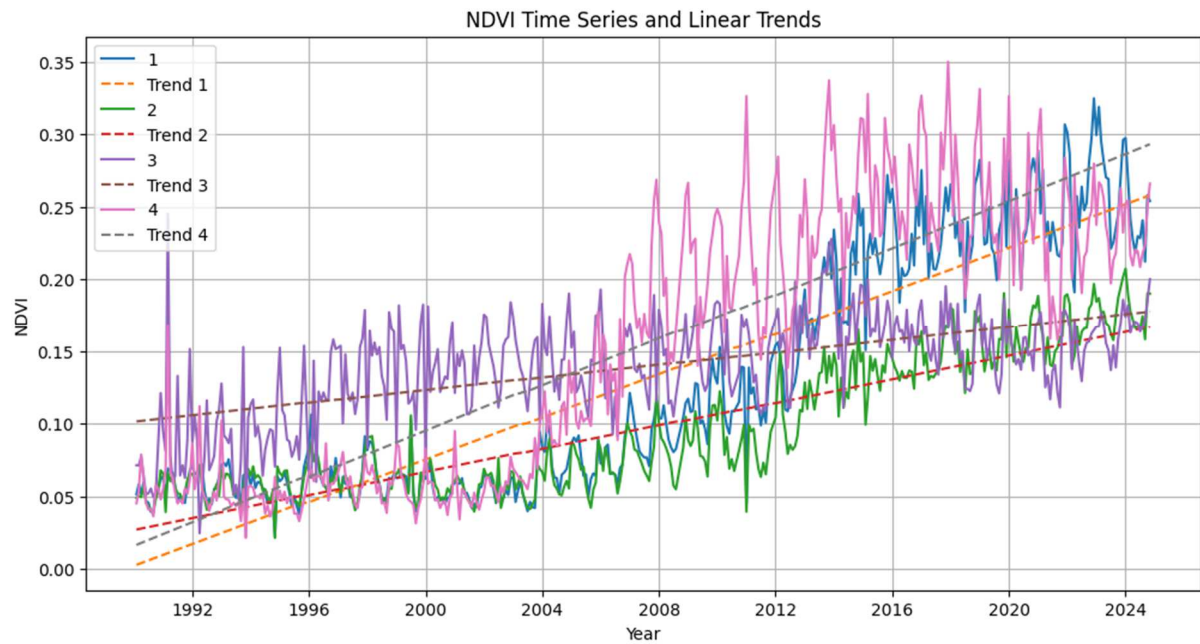


Figure 57 : Évolution temporelle de l'indice NDVI et tendances linéaires sur les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie (1992-2024).

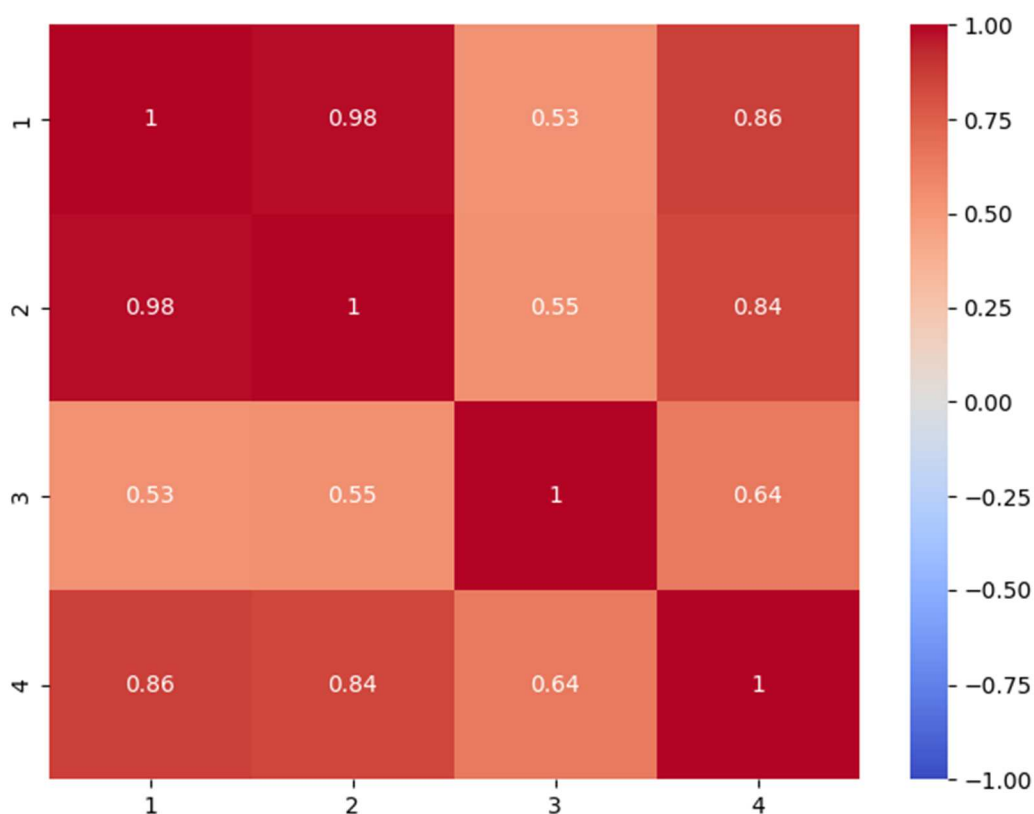
2.2.2 Matrice de Corrélation

La matrice de corrélation montre les relations entre les séries temporelles de NDVI des quatre sites suivants (Tableau 8 et Figure 58) :

- **Sites 1 et 2 :** La corrélation est très forte (0.979), ce qui signifie que les variations de NDVI dans ces deux sites sont très similaires. Cela pourrait indiquer qu'ils sont soumis aux mêmes conditions climatiques ou de gestion.
- **Sites 1 et 4 :** La corrélation est également forte (0.862), suggérant une relation étroite entre ces sites.
- **Sites 3 et 4 :** La corrélation est modérée (0.641), indiquant que les variations de NDVI dans ces sites sont partiellement liées.
- **Site 3 :** Ce site présente les corrélations les plus faibles avec les autres sites (0.533 avec le site 1, 0.546 avec le site 2). Cela pourrait indiquer que ce site est influencé par des facteurs différents ou qu'il réagit différemment aux conditions environnementales.

Tableau 8 : Matrice de corrélation entre les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie.

SITES	SITE 1	SITE 2	SITE 3	SITE 4
1	1.000000	0.979453	0.532513	0.862311
2	0.979453	1.000000	0.545860	0.837602
3	0.532513	0.545860	1.000000	0.640827
4	0.862311	0.837602	0.640827	1.000000

**Figure 58 :** Matrice de corrélation entre les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie.

2.2.3 Moyenne Mobile

Les moyennes mobiles permettent de lisser les données et de mettre en évidence les tendances à long terme. Elles montrent une augmentation progressive du NDVI pour tous les sites, malgré les fluctuations annuelles (Figure 59).

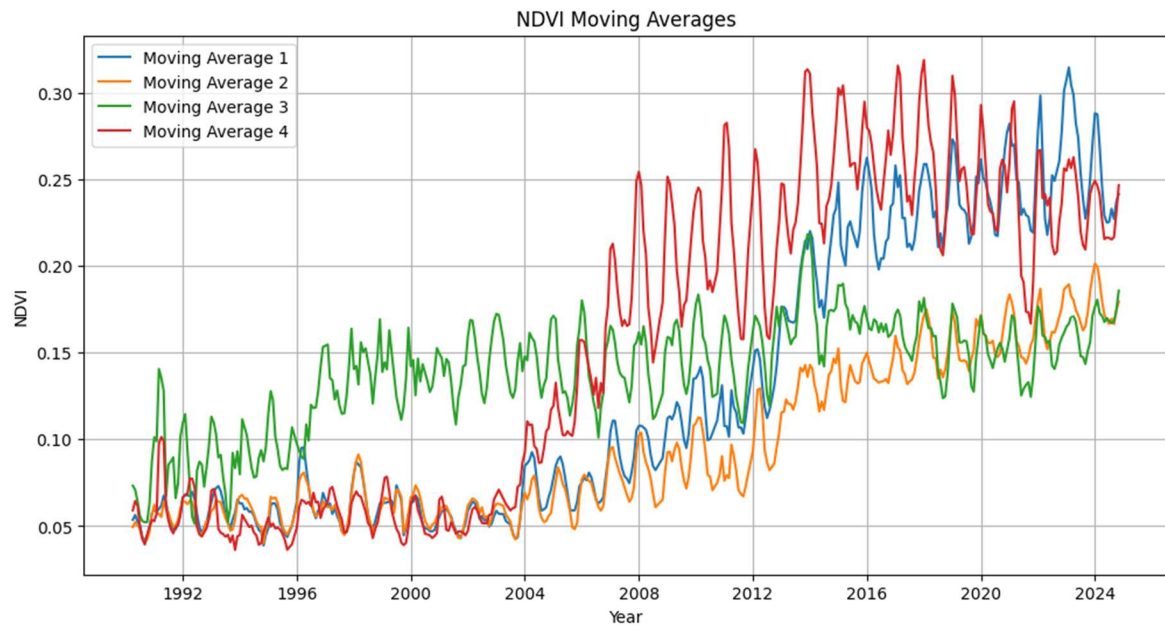


Figure 59 : Moyennes mobiles du NDVI pour les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie (1992-2024).

2.2.4 Variabilité Interannuelle

Les graphiques de variabilité interannuelle montrent les années où les changements de NDVI ont été les plus importants. On remarque que, ces dernières années, les valeurs de NDVI n'ont pas montré de changement significatif, ce qui pourrait suggérer une stabilisation de la végétation (Figure 60).

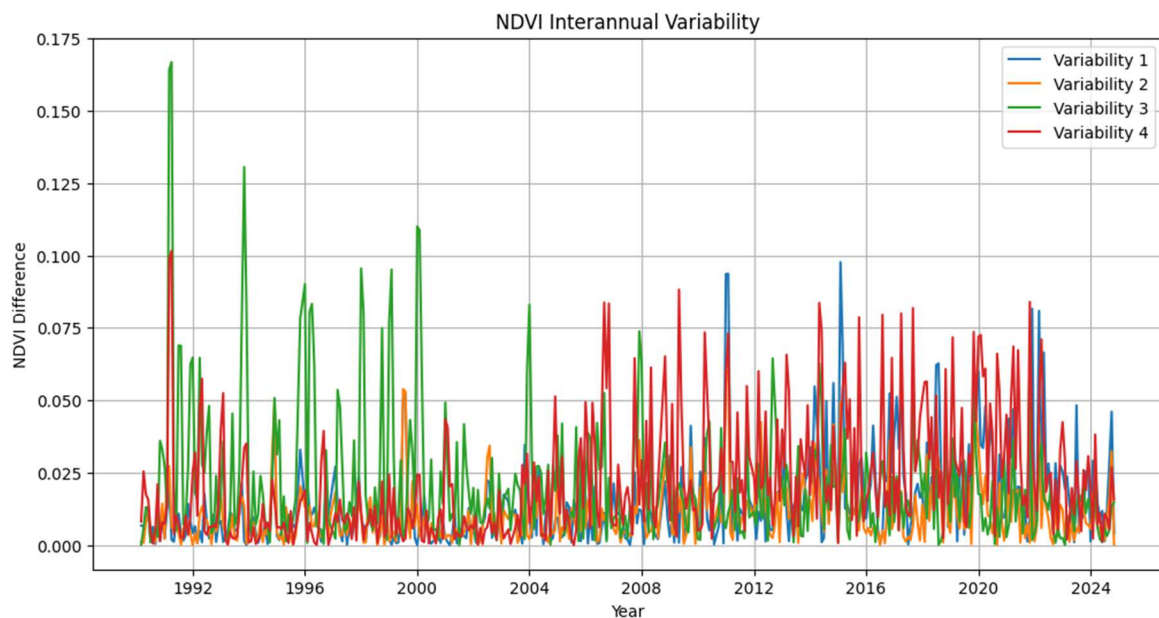


Figure 60 : Variabilité interannuelle de l'indice NDVI pour les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie (1992-2024).

2.2.5 Test de Mann-Kendall

Les résultats du test de Mann-Kendall montrent des tendances monotones significatives dans les séries temporelles de NDVI pour les quatre zones. Les valeurs de Tau, allant de 0,409 à 0,700, avec des p-values de 0,00000, indiquent des tendances positives marquées, suggérant une augmentation de la vigueur de la végétation. Ces résultats soulignent l'importance d'une surveillance à long terme pour comprendre la dynamique de la végétation et orienter les efforts de gestion durable (Tableau 9).

Tableau 9 : Résultats du test de Mann-Kendall.

Sites	Tau	P-value
1	0.700	0.00000
2	0.683	0.00000
3	0.409	0.00000
5	0.625	0.00000

2.2.6 Analyse de Saisonnalité

La décomposition des séries temporelles du NDVI pour les sites de Douar El Ma et El Oued, en Algérie (1990-2024), révèle une tendance générale à la hausse de la vigueur de la végétation, particulièrement marquée après 2008. Elle met également en évidence une saisonnalité bien définie, reflétant les cycles climatiques, ainsi que des résidus aléatoires indiquant des fluctuations locales ou des événements imprévus. Les sites 1 et 4 montrent une augmentation plus nette de la végétation, tandis que tous les sites présentent une influence saisonnière claire. Les résidus suggèrent une variabilité non expliquée par les tendances ou la saisonnalité, ce qui souligne l'importance de prendre en compte ces composantes pour mieux comprendre la dynamique de la végétation dans la région (Figure 61).

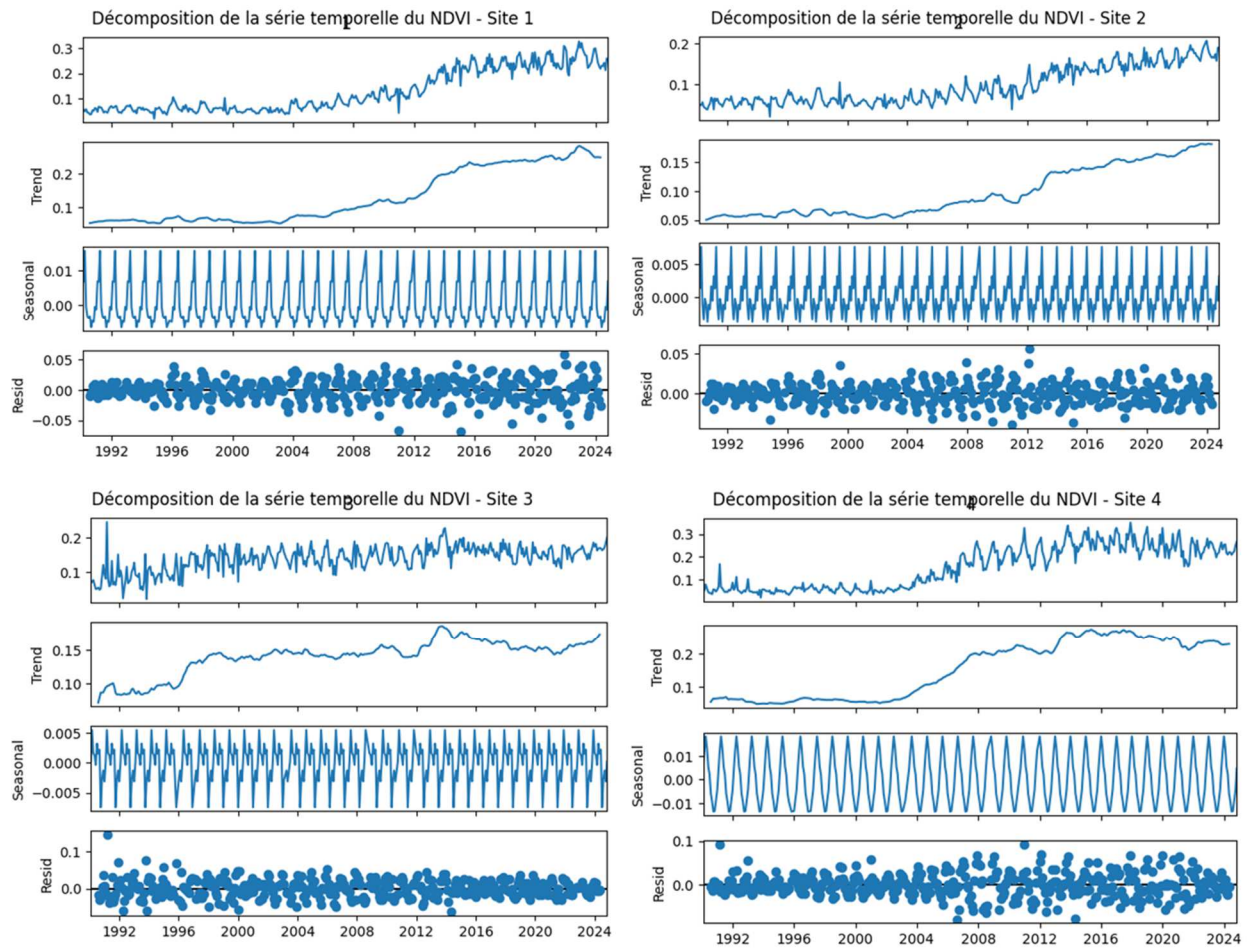


Figure 61 : Décomposition des séries temporelles du NDVI pour les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie (1992-2024).

2.2.7 Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) des données de NDVI des sites révèle les similarités et les différences entre les sites. Les sites 1 et 2 de Taleb Larbi montrent une dynamique de végétation similaire, tandis que les sites 3 et 4 de Douar El Ma présentent des comportements distincts, suggérant des variations locales dans la végétation (Figure 62).

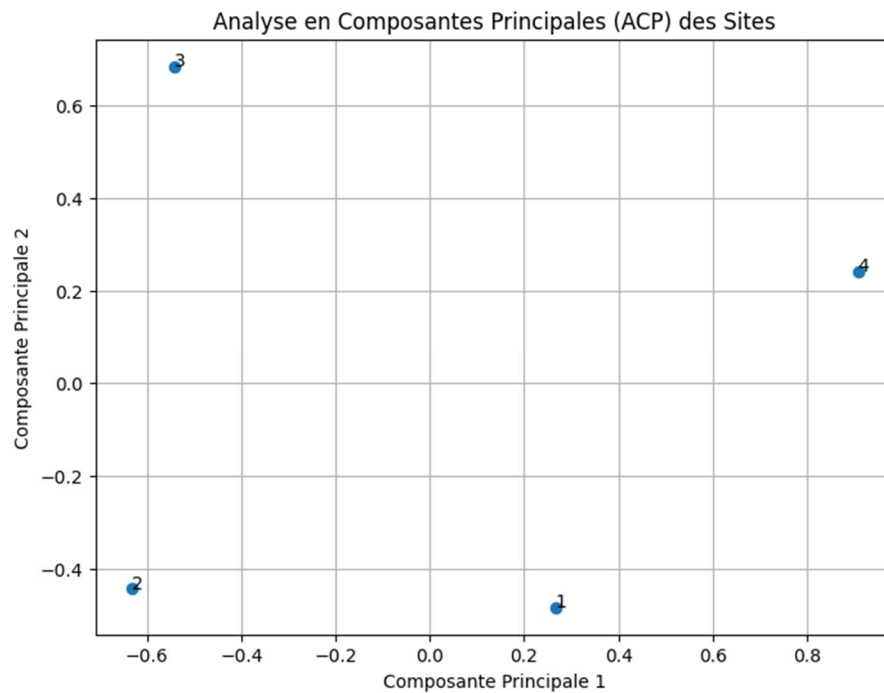


Figure 62 : Analyse en Composantes Principales (ACP) des sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie.

2.2.8 Clustering Hiérarchique

Un clustering hiérarchique appliqué aux données de quatre sites révèle des groupements fondés sur leurs similarités. Les sites 1 et 2 forment un cluster rapproché, suggérant des dynamiques de végétation similaires. En revanche, le site 3 présente une certaine divergence, tandis que le site 4 se distingue nettement des autres, ce qui pourrait indiquer des dynamiques écologiques ou des caractéristiques environnementales particulières (Figure 63).

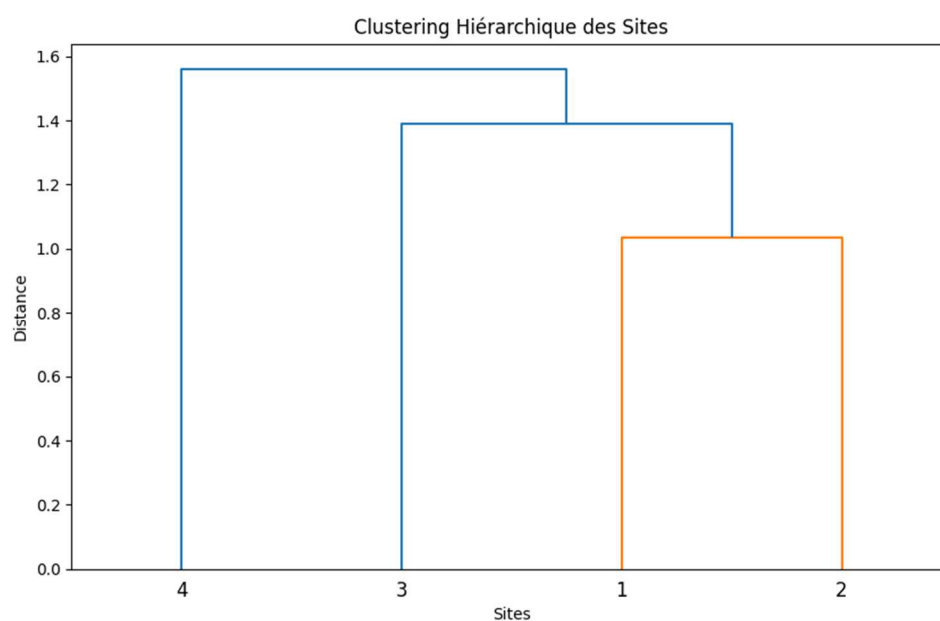


Figure 63 : Clustering hiérarchique des sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie.

2.2.9 Analyse de Fourier (Transformée de Fourier)

La transformée de Fourier des séries temporelles du NDVI pour les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, en Algérie, révèle les fréquences dominantes dans les variations de la végétation. Les pics d'amplitude, particulièrement marqués à basse fréquence (proche de zéro) et à fréquence élevée, indiquent la présence de cycles réguliers et de composantes périodiques fortes dans les données de NDVI, suggérant des influences saisonnières ou d'autres facteurs rythmiques sur la dynamique de la végétation. Les similarités entre les spectres des sites de Taleb Larbi et Douar El Ma suggèrent des tendances périodiques communes, bien que de légères variations puissent refléter des différences locales dans la réponse de la végétation aux facteurs environnementaux (Figure 64).

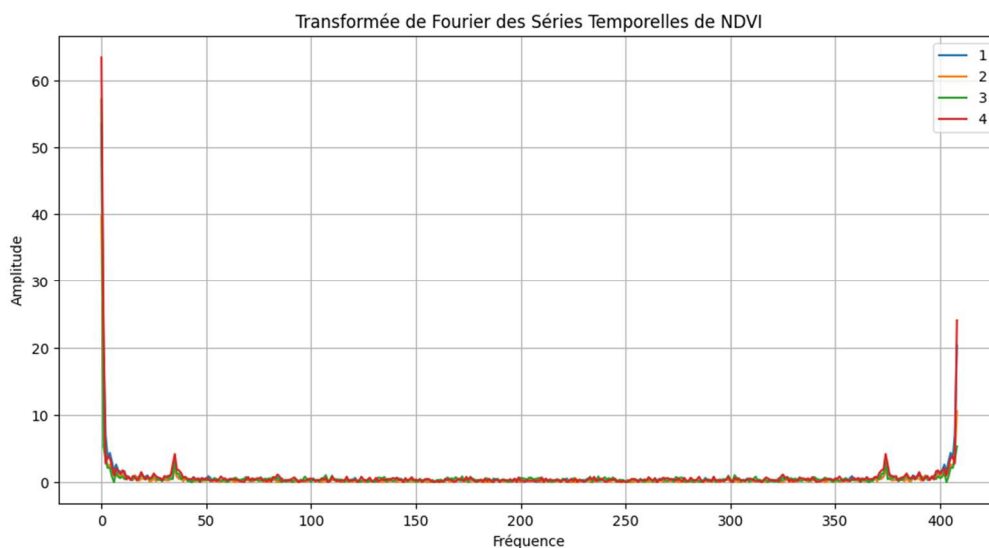


Figure 64 : Transformée de Fourier des séries temporelles du NDVI des sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie.

2.2.10 Modélisation ARIMA

L'objectif de cette analyse est d'identifier les modèles ARIMA les plus adaptés pour prédire les valeurs futures de NDVI pour chaque site. Un modèle ARIMA (1, 1, 1) a été ajusté à chaque série temporelle de NDVI, et les résultats incluent les coefficients, les p-values, ainsi que les statistiques de diagnostic, telles que celles du test de Ljung-Box et du test de Jarque-Bera.

Les modèles ARIMA indiquent que les séries temporelles de NDVI pour les Sites 3 et 4 sont bien expliquées par les termes AR et MA, tandis que les résultats pour les Sites 1 et 2 sont moins concluants. Les résidus des modèles ARIMA ne montrent pas d'autocorrélation significative (test de Ljung-Box, p-value > 0.05), à l'exception du Site 3.

Résultats ARIMA :

- **Site 1 :** Le modèle ARIMA montre un coefficient AR(1) significatif (-0.3186, p-value = 0.006) et un coefficient MA(1) non significatif (-0.0149, p-value = 0.901). La variance des résidus est de 0.0004.
- **Site 2 :** Le coefficient AR(1) est marginalement significatif (-0.2500, p-value = 0.089), tandis que le coefficient MA(1) est non significatif (-0.0507, p-value = 0.745). La variance des résidus est de 0.0002.

- **Site 3** : Le coefficient AR(1) est significatif (0.2537, p-value = 0.000), et le coefficient MA(1) est très significatif (-0.9240, p-value = 0.000). La variance des résidus est de 0.0007.
- **Site 4** : Le coefficient AR(1) est significatif (0.5485, p-value = 0.000), et le coefficient MA(1) est très significatif (-0.9120, p-value = 0.000). La variance des résidus est de 0.0008.

2.2.11 Test de Causalité de Granger

Le test de Granger est appliqué entre toutes les paires de sites avec un décalage maximal de 4 mois. L'objectif est de déterminer si les variations du NDVI sur un site influencent celles d'un autre site. Les résultats montrent que les Sites 1 et 4 exercent une forte influence sur les autres sites, en particulier sur le Site 3. De plus, le Site 3 influence également les Sites 1, 2 et 4, ce qui suggère une interaction complexe entre les sites.

Résultats du Test de Granger :

- **1 -> 2** : Aucune causalité significative (p-values > 0.05).
- **1 -> 3** : Causalité significative à partir du 3ème décalage (p-value = 0.023).
- **1 -> 4** : Causalité très significative à tous les décalages (p-values < 0.001).
- **2 -> 1** : Causalité très significative à tous les décalages (p-values < 0.001).
- **2 -> 3** : Causalité significative à partir du 3ème décalage (p-value = 0.003).
- **2 -> 4** : Causalité très significative à tous les décalages (p-values < 0.001).
- **3 -> 1** : Causalité très significative à tous les décalages (p-values < 0.001).
- **3 -> 2** : Causalité très significative à tous les décalages (p-values < 0.001).
- **3 -> 4** : Causalité très significative à tous les décalages (p-values < 0.001).
- **4 -> 1** : Causalité significative au 1er décalage (p-value = 0.001).
- **4 -> 2** : Causalité significative au 1er décalage (p-value = 0.015).
- **4 -> 3** : Causalité significative à partir du 3ème décalage (p-value = 0.045).

2.2.12 Test de Stationnarité (ADF)

Le test ADF est appliqué à chaque série temporelle dans le but de vérifier si les séries temporelles de NDVI sont stationnaires. Les résultats montrent que toutes les séries temporelles sont non stationnaires, ce qui justifie l'utilisation de modèles ARIMA avec une différenciation (ordre d'intégration = 1).

Résultats du Test ADF :

- **Site 1** : P-value = 0.94844 (non stationnaire).
- **Site 2** : P-value = 0.99089 (non stationnaire).
- **Site 3** : P-value = 0.20061 (non stationnaire).

- **Site 4** : P-value = 0.83563 (non stationnaire).

2.2.13 Analyse de Persistance (Autocorrélation)

Les autocorrélogrammes révèlent la dépendance temporelle du NDVI pour les quatre sites, avec une forte persistance aux faibles décalages pour les sites 1, 2 et 4, indiquant que les valeurs actuelles sont fortement influencées par les valeurs passées, et une diminution progressive de cette influence avec le temps. En revanche, le site 3 présente des fluctuations plus complexes, suggérant des cycles ou des tendances plus variés, ce qui souligne des différences potentielles dans la dynamique de la végétation et les facteurs environnementaux entre les sites (Figure 65).

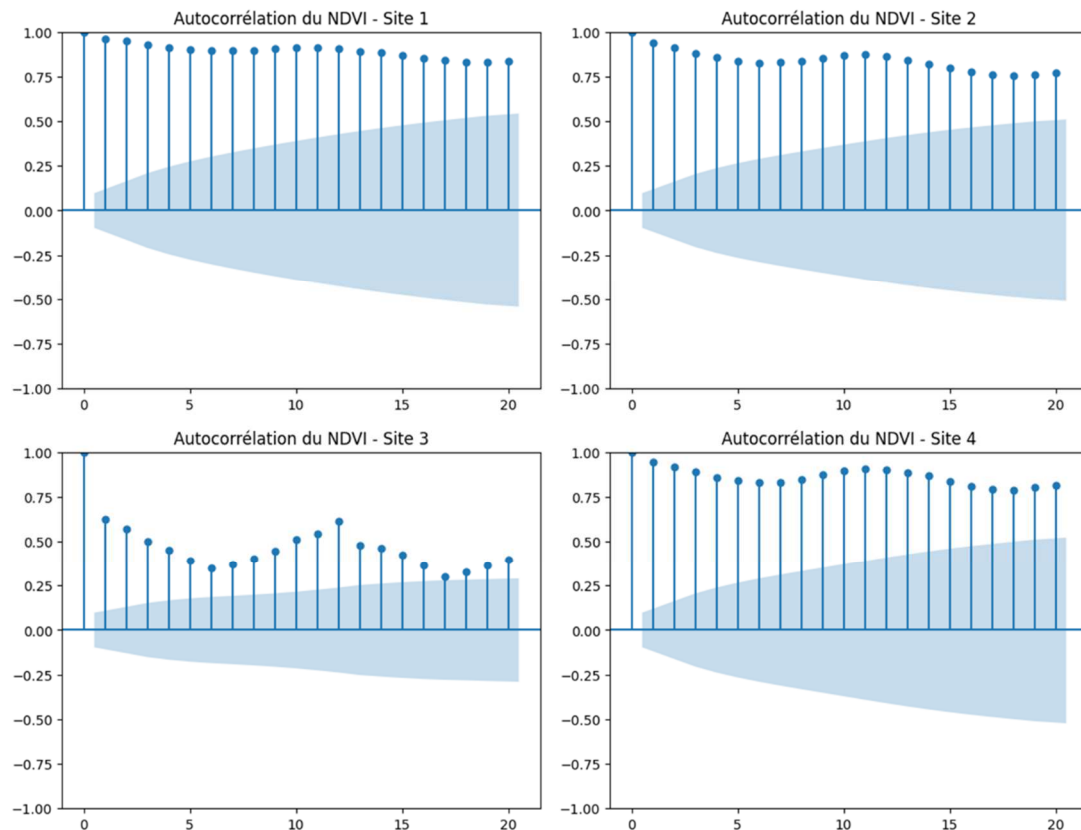


Figure 65 : Analyse de l'autocorrélation du NDVI pour les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie.

2.3. Identification des espèces d'*Oryctes* sp.

2.2.1. Identification morphologique

2.2.1.1 Caractérisation morphologique et identification taxonomique

Les résultats de l'analyse morphologique ont indiqué que tous les spécimens adultes d'*Oryctes* sp. appartenaient à la sous-espèce *Oryctes agamemnon* subsp. *arabicus* Fairmaire, 1896. La sous-espèce identifiée présentait les caractéristiques distinctives suivantes, conformes aux critères taxonomiques définis par Endrödi (1985) :

O. agamemnon (Burmeister, 1847)

Le clypeus est profondément et largement émarginé, avec des angles antérieurs acérés. Le bouton du pronotum est bidenté chez les mâles et unidenté chez les femelles, avec une surface lisse ou finement ponctuée à l'arrière. Chez les mâles, la cavité pronotale est grande, tandis que chez les femelles, elle est plus petite. L'areola apposita est relativement fortement imprimée et reste non divisée de la zone antérieure ridée. Les élytres sont lisses ou très finement et irrégulièrement ponctués, avec uniquement la strie suturale distincte. Le processus prosternal est élevé et son apex est densément setose. Les crêtes stridulatoires à la base sont plus prononcées, bien que fines vers l'arrière. Les paramères sont élancées, avec des apex étroits et non dilatés. La taille des spécimens varie entre 24 et 40 mm.

O. agamemnon subsp. *arabicus* (Fairmaire, 1896)

Les individus de cette sous-espèce sont généralement plus petits, mesurant principalement moins de 35 mm. De plus, les élytres présentent une ponctuation plus fine et plus distincte comparée à celle de la sous-espèce précédente trouvée dans la région arabique.

Ces caractéristiques morphologiques permettent une identification précise et distincte des sous-espèces d'*Oryctes agamemnon*, contribuant ainsi à une meilleure compréhension de leur classification taxonomique.

2.2.1.2 Variations morphologiques chez *Oryctes agamemnon arabicus*

Les mesures morphologiques des spécimens d'*Oryctes agamemnon arabicus* révèlent des variations au sein et entre les mâles et les femelles. Pour les comparaisons intraspécifiques (au sein de la même espèce), la longueur du corps variait d'environ 28,22 mm à 33,18 mm chez les mâles et de 24,54 mm à 34,65 mm chez les femelles (Figures 66).



Figure 66 : *Oryctes agamemnon* subsp. *arabicus* adulte ; A : mâle, vue dorsale, B : mâle, vue ventrale, C : femelle, vue dorsale, D : femelle, vue ventrale (Source : Auteur).

Chez les mâles, la largeur de la tête s'étendait d'environ 5,02 mm à 6,7 mm, celle du thorax de 11,85 mm à 14,35 mm, et celle des élytres de 13,89 mm à 16,46 mm.

En revanche, chez les femelles, les spécimens présentaient des largeurs de tête allant d'environ 4,46 mm à 6,89 mm, des largeurs de thorax variant de près de 10 mm à 14,64 mm, et des largeurs d'élytres allant d'environ 11,97 mm à 16,65 mm. De plus, la longueur de la corne a été mesurée pour les deux sexes

Chez les mâles, la longueur de la corne s'étendait d'environ 4,27 mm à 6,9 mm, tandis que chez les femelles, elle était comprise entre environ 2,32 mm et 5 mm. La largeur de la tête, la largeur du thorax et la largeur des élytres présentaient également des variations au sein de chaque sexe (Figure 67), (Tableau 10).

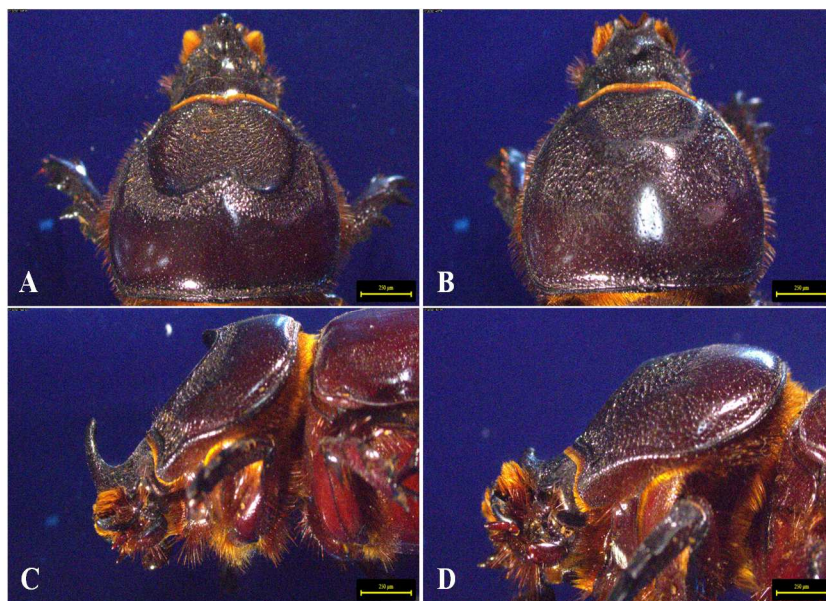


Figure 67 : Structures de la tête et des cornes d'*Oryctes agamemnon* subsp. *arabicus* ; A : tête mâle, B : tête femelle, C : corne mâle, D : corne femelle (Source : Auteur).

Tableau 10 : Caractéristiques morphologiques des adultes d'*Oryctes agamemnon* subsp. *arabicus*.

Caractéristique	Adultes Mâles (Moyenne $\pm$ SD)	Adultes Femelles (Moyenne $\pm$ SD)
Longueur du corps (mm)	30.53 $\pm$ 1.24	29.16 $\pm$ 2.42
Longueur de la corne (mm)	5.61 $\pm$ 0.58	3.15 $\pm$ 0.41
Largeur de la tête (mm)	5.82 $\pm$ 0.36	5.80 $\pm$ 0.48
Largeur du thorax (mm)	12.81 $\pm$ 0.51	12.18 $\pm$ 1.07
Largeur des élytres (mm)	14.72 $\pm$ 0.53	14.12 $\pm$ 1.23
N (Effectif total)	41	64

Lors de la comparaison des mesures entre les sexes (comparaisons interspécifiques), les mâles présentaient généralement une longueur, une largeur et une longueur de corne plus importantes que les femelles. Cependant, il y avait des exceptions, comme dans le cas de la largeur des élytres, où les femelles avaient parfois des mesures légèrement plus grandes que les mâles.

2.2.2. Identification moléculaire

2.2.2.1 Fragments d'insert enrichis (Amplicons)

L'identification moléculaire a été effectuée au centre de génomique Macrogen, situé à Séoul, en République de Corée.

Le rapport d'électrophorèse TapeStation obtenu à partir du test de la bande D1000 a révélé des profils de taille distincts pour les quatre échantillons analysés. L'échantillon 1 a présenté une taille de fragment prédominante de 910 paires de bases (pb), tandis que l'échantillon 2 a montré une taille de 897 pb. En revanche, l'échantillon 3 a présenté un pic à 892 pb, et l'échantillon 4 a exhibé une taille de 895 pb (Figure 68).

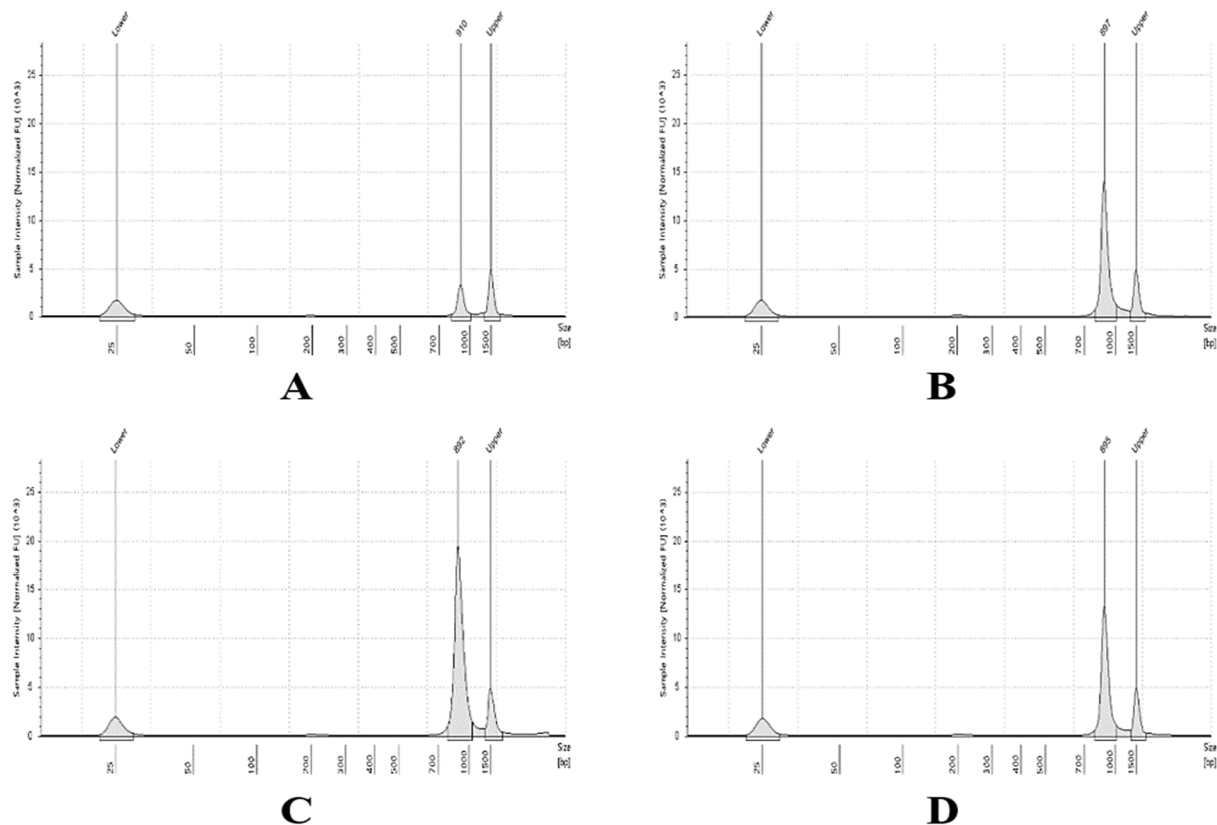


Figure 68 : Rapport d'électrophorèse de la Tapestation utilisant le test de bande D1000 ; A : échantillon 1, B : échantillon 2, C : échantillon 3, D : échantillon 4.

Ces variations observées dans les tailles de fragments indiquent des différences potentielles dans la composition et la structure des molécules d'ADN présentes dans chaque échantillon, pouvant ainsi révéler une diversité génétique au sein de l'espèce.

2.2.2.2 Fiabilité et Qualité des Données de Séquençage

L'observation de la conformité des tendances de qualité à la fois pour la lecture 1 et la lecture 2 dans les données de séquençage Illumina renforce la confiance dans la fiabilité des appels de bases pour les échantillons d'insectes étudiés. Lors de l'examen des profils de lecture 1 et de lecture 2, une tendance constante se dégage : la lecture 1 commence avec une confiance plus élevée dans les appels de bases, diminuant progressivement vers la fin de la séquence. La lecture 2 présente un déclin similaire en qualité.

Les tendances parallèles observées dans les deux lectures servent de solide indicateur de la fiabilité de la performance de séquençage, confirmant la cohérence des appels de bases tout au long des séquences. Cette constance dans les profils de qualité confirme la nature robuste et reproductible du processus de séquençage pour les échantillons appartenant à la même espèce.

La fiabilité des appels de bases devient particulièrement critique lors de l'étude d'une seule espèce, car elle constitue la base fondamentale pour les analyses ultérieures, y compris l'appel de variants, l'assemblage du génome et le profilage de l'expression. L'engagement envers les mesures de contrôle qualité et la garantie d'une performance de séquençage constante s'alignent parfaitement avec l'objectif global de caractériser précisément les caractéristiques génomiques ou transcriptomiques spécifiques à *Oryctes agamemnon* (Figure. 69, Annexe 3, 4, 5, 6).



Figure 69 : Valeurs de qualité pour toutes les bases à travers les plateformes de séquençage Illumina ; A : Lecture 1, B : Lecture 2.

2.2.2.3 Analyse comparative des résultats de séquençage

Les résultats comprennent le nombre total de lectures générées, les pourcentages de contenu GC et AT, ainsi que les pourcentages de Q20 et Q30. L'échantillon03 présente le plus grand nombre de bases séquencées (72,5 millions), tandis que l'échantillon01 a le moins (50,9 millions). De plus, l'échantillon03 présente également le plus grand nombre de lectures (240 762), tandis que l'échantillon01 en a le moins (169 302). Le contenu GC varie de 38,9 % à 39,5 %, avec l'échantillon01 ayant le pourcentage de GC le plus élevé. Le contenu AT se situe entre 60,5 % et 61,1 %. Tous les échantillons présentent une bonne qualité de séquençage, avec des pourcentages de Q20 variant de 79,7 % à 80,8 %, et des pourcentages de Q30 entre 70,0 % et 70,1 %. Ces statistiques de séquençage mettent en évidence la haute qualité et la nature informative des données, posant ainsi des bases solides pour des analyses approfondies et des résultats fiables dans l'étude (Tableau 11).

Tableau 11 : Le nombre total de bases, lectures, GC (%), AT (%), Q20 (%) et Q30 (%) dans les 4 échantillons.

Identifiant de l'échantillon ID	Total de bases (pb)	Total de lectures	GC(%)	AT(%)	Q20(%)	Q30(%)
Sample01	50,959,902	169,302	39.5	60.5	80.8	70.1
Sample02	63,344,246	210,446	38.9	61.1	79.7	70.1
Sample03	72,469,362	240,762	39.1	60.9	80.3	70.1
Sample04	60,358,326	200,526	39.0	61.0	80.8	70.0

- Identifiant de l'échantillon : Nom de l'échantillon.
- Total de bases (pb) : Nombre total de bases séquencées.
- Total de lectures : Nombre total de lectures. Pour le séquençage par paire Illumina, cette valeur correspond à la somme de la lecture 1 et de la lecture 2.
- GC (%) : Rapport de contenu GC.
- AT (%) : Rapport de contenu AT.
- Q20 (%) : Rapport de bases ayant un score de qualité phred supérieur à 20.
- Q30 (%) : Rapport de bases ayant un score de qualité phred supérieur à 30.

2.2.2.4 Analyse des Résultats

L'objectif de cette expérience était la caractérisation de 4 échantillons basée sur l'étude de la taxonomie en utilisant le marqueur COI. Les résultats montrent la présence de l'espèce unique *Oryctes agamemnon* dans tous les échantillons. De plus, l'analyse MASH a montré que les échantillons présentent différents degrés de similarité.

2.2.2.5 Données brutes

Les données de séquençage brutes ont été analysées avec FASTQC et traitées avec BBDOUK afin de supprimer les parties de faible qualité des lectures. Une qualité minimale de base de 25 a été établie par Illumina. Le Tableau 12 montre le nombre de lectures avant et après le traitement.

Tableau 12 : Nombre de lectures dans les Données Brutes et les Données Traitées. Pour chaque échantillon, les statistiques des lectures avant (avant) et après (après) le traitement sont indiquées.

Échantillon	Données Brutes	Données Traitées
Échantillon 01_1	84651	57845
Échantillon 01_2	84651	57845
Échantillon 02_1	105223	72841
Échantillon 02_2	105223	72841
Échantillon 03_1	120381	82584
Échantillon 03_2	120381	82584
Échantillon 04_1	100263	70628
Échantillon 04_2	100263	70628

Les résultats indiquent des variations significatives dans le nombre de lectures attribuées à *Oryctes agamemnon* parmi les différents échantillons. L'échantillon03 présente le plus grand nombre de lectures attribuées avec 79 684 séquences, suggérant que cet échantillon particulier est abondant en séquences d'*Oryctes agamemnon*. En revanche, les échantillons01 et 04 ont des nombres de lectures attribuées relativement plus faibles, avec 55 684 et 67 388 séquences, respectivement.

En comparant les échantillons 02 et 03, on observe que l'échantillon02 a 70 090 lectures attribuées, légèrement moins que le compte de l'échantillon03. Bien que la différence ne soit pas substantielle, elle pourrait indiquer des variations potentielles dans l'abondance d'*Oryctes agamemnon* entre ces échantillons.

Pour l'échantillon 01, les données brutes se composent de 84 651 lectures avant (_1) et après (_2) le traitement de 84 651 lectures. Après le rognage et le contrôle qualité, le nombre de lectures est réduit à 57 845 pour les lectures avant (_1) et après (_2). De même, pour l'échantillon 02, les données brutes comprennent 105 223 lectures avant (_1) et après (_2) le traitement de 105 223 lectures, qui sont ensuite transformées pour obtenir 72 841 lectures rognées pour les lectures avant (_1) et après (_2). Dans le cas de l'échantillon 03, les données brutes contiennent 120 381 lectures avant (_1) et après (_2) le traitement de 120 381 lectures, et les données rognées donnent 82 584 lectures pour les lectures avant (_1) et après (_2). Enfin, pour l'échantillon 04, les données brutes incluent 100 263 lectures avant (_1) et après (_2) le traitement de 100 263 lectures, et après le rognage, le nombre de lectures est réduit à 70 628 pour les lectures avant (_1) et après (_2).

Les données fournies dans le tableau 12 sont essentielles pour comprendre les différentes étapes de traitement des données et évaluer l'impact du contrôle qualité sur les résultats du séquençage. En particulier, le processus de rognage joue un rôle crucial dans l'amélioration de la fiabilité et de la précision des analyses bioinformatiques ultérieures.

2.2.2.6 Classification taxonomique et quantification

Le logiciel Kraken2 a été utilisé en conjonction avec une base de données de séquences COI (téléchargée sur NCBI en juin 2021) pour effectuer la classification des lectures rognées et quantifier les organismes dans les échantillons. Un score de confiance minimum de 0,1 a été défini pour l'analyse. Le taux de classification était d'environ 99 % des lectures pour tous les échantillons. Tous les échantillons ont montré la présence d'*Oryctes agamemnon* et un nombre très faible de lectures provenant de contaminants tels qu'*Homo sapiens*, qui ont été éliminés. Le nombre de lectures par échantillon est présenté dans le Tableau 13.

Tableau 13 : Nombre de lectures assignées à *Oryctes agamemnon*.

Échantillon	Lectures Assignées
1	55684
2	70090
3	79684
4	67388

Les résultats indiquent des variations significatives dans le nombre de lectures attribuées à *Oryctes agamemnon* parmi les différents échantillons. L'échantillon03 présente le plus grand nombre de lectures attribuées avec 79 684 séquences, suggérant que cet échantillon particulier est abondant en séquences d'*Oryctes agamemnon*. En revanche, les échantillons01 et 04 ont des nombres de lectures attribuées relativement plus faibles, avec 55 684 et 67 388 séquences, respectivement.

En comparant les échantillons02 et 03, on observe que l'échantillon02 a 70 090 lectures attribuées, légèrement moins que le compte de l'échantillon03. Bien que la différence ne soit pas substantielle, elle pourrait indiquer des variations potentielles dans l'abondance d'*Oryctes agamemnon* entre ces échantillons.

2.2.2.7 Calcul des indices de diversité

La matrice des comptages de lectures a été importée dans le logiciel R et analysée avec le package phyloseq. L'analyse a été effectuée au niveau du genre et de l'espèce. Il est important de souligner qu'avec une seule espèce présente dans chaque échantillon, le calcul des indices peut être faussé. Les Figures 70 et 71 montrent les genres et espèces les plus abondants par échantillon. Les Tableaux 14 et 15 montrent les indices de diversité alpha calculés pour chaque échantillon pour le genre et l'espèce, respectivement. La distance de Bray-Curtis était de 0 pour tous les échantillons.

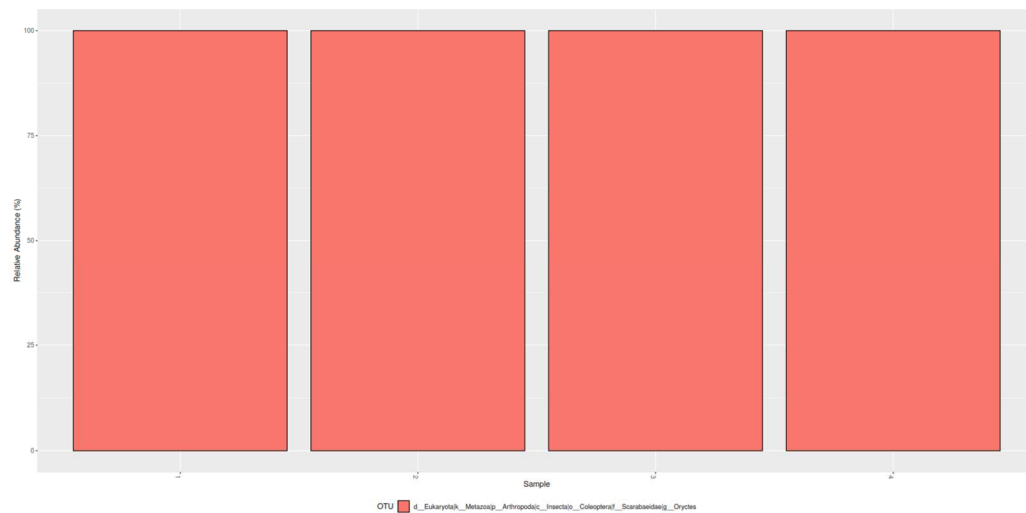


Figure 70 : Genre le plus abondant par échantillon. L'abondance relative (%) est indiquée sur l'axe Y.



Figure 71 : Espèce la plus abondante par échantillon. L'abondance relative (%) est indiquée sur l'axe Y.

Les indices de diversité alpha révèlent des résultats cohérents à travers tous les échantillons, tant au niveau du genre (Tableau 14 et Figure 72) qu'au niveau de l'espèce (Tableau 15 et Figure 73). Les indices Observés et Chao1 sont identiques pour tous les échantillons, ce qui indique que chaque échantillon contient un seul genre et une seule espèce observés. L'indice Chao1, qui estime le nombre total de genres et d'espèces dans la communauté, confirme également que la diversité est relativement faible, avec une richesse estimée d'un genre et d'une espèce.

Les valeurs $se.chao1$ sont systématiquement nulles pour tous les échantillons, suggérant que l'estimation de l'erreur standard pour l'indice Chao1 est négligeable. Cela renforce davantage la confiance dans la faible diversité observée au sein des échantillons étudiés.

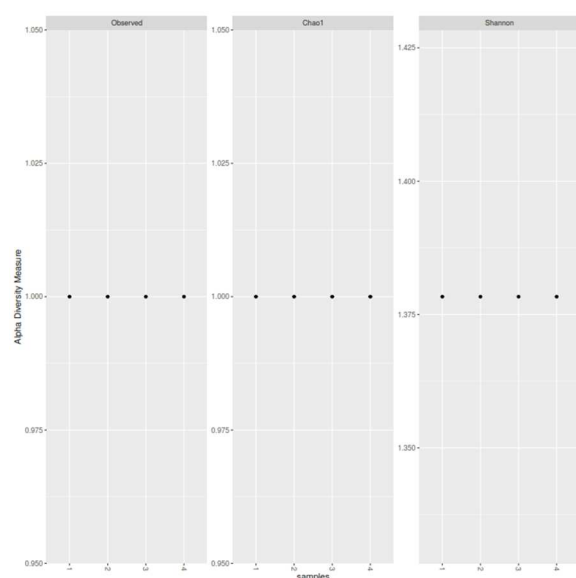
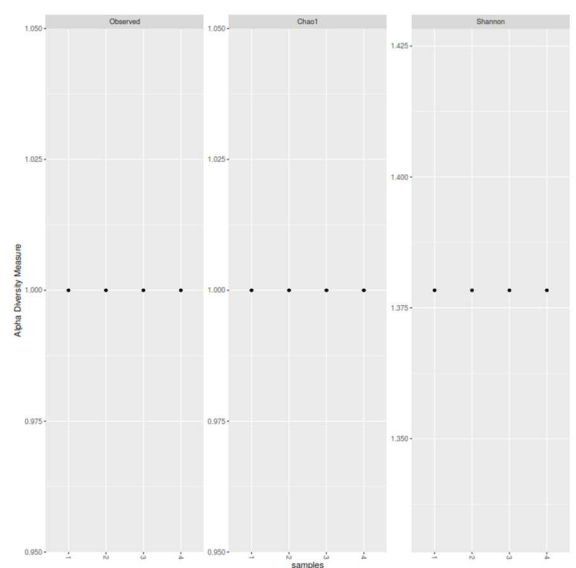
L'indice de Shannon, qui prend en compte à la fois la richesse et l'équité des espèces, est également constant à 1,37 pour tous les échantillons. Cette valeur indique une diversité relativement faible et une répartition relativement uniforme de la seule espèce présente dans chaque échantillon.

Tableau 14 : Indices de diversité alpha calculés pour chaque échantillon (Niveau Genre).

Échantillon	Observed	Chao1	se.chao1	Shannon
1	1	1	0	1.37
2	1	1	0	1.37
3	1	1	0	1.37
4	1	1	0	1.37

Tableau 15 : Indices de diversité alpha calculés pour chaque échantillon (Niveau Espèce).

Échantillon	Observed	Chao1	se.chao1	Shannon
1	1	1	0	1.37
2	1	1	0	1.37
3	1	1	0	1.37
4	1	1	0	1.37

**Figure 72 :** Indices de diversité alpha (Richesse) pour chaque échantillon (Niveau Genre).**Figure 73 :** Indices de diversité alpha (Richesse) pour chaque échantillon (Niveau Espèce).

2.2.2.8 Calculation de la distance MASH

Cette étude a révélé que les 4 échantillons étaient composés d'une seule espèce, la distance MASH a été calculée pour évaluer la relation entre les échantillons en fonction de leur similarité de séquence. Le Tableau 16 montre la distance entre tous les échantillons. Comme on peut l'observer, la distance la plus faible a été observée entre les échantillons 4 et 2, tandis que la distance la plus élevée a été observée entre l'échantillon 3 et 1.

Le Tableau 16 présente la matrice de distance MASH, où chaque ligne représente une comparaison par paires entre deux échantillons (Échantillon A et Échantillon B). Les valeurs de distance MASH calculées sont présentées, ainsi que leurs p-valeurs correspondantes et le nombre de k-mers partagés entre les échantillons.

Tableau 16 : Matrice de distance MASH.

Échantillon A	Échantillon B	Distance	p-value	K-mers partagés
2	1	0.00859207	0	3062/5000
3	1	0.014339	0	2310/5000
3	2	0.0112925	0	2673/5000
4	1	0.00887982	0	3017/5000
4	2	0.00599405	0	3514/5000
4	3	0.0113995	0	2659/5000

Les valeurs de distance MASH varient de 0.00599405 à 0.014339, ce qui indique que la divergence génétique entre les échantillons est relativement faible. Une distance MASH plus petite suggère une plus grande similitude dans la composition des séquences entre les échantillons comparés.

À la lumière de ces résultats, il est évident que l'Échantillon 4 présente la relation génétique la plus proche avec l'Échantillon 2, comme l'indique la plus faible distance MASH de 0.00599405. Ce résultat suggère un degré élevé de similitude de séquence entre ces deux échantillons, indiquant qu'ils partagent une partie significative de leur matériel génétique.

En revanche, la plus grande distance MASH de 0.014339 est observée entre l'Échantillon 3 et l'Échantillon 1. Cela indique une plus grande distance génétique entre ces deux échantillons par rapport aux autres comparaisons par paires. La plus grande distance MASH implique que les Échantillons 3 et 1 possèdent plus de différences de séquence et ont une similarité génétique relativement plus faible.

Les p-valeurs pour toutes les comparaisons sont enregistrées comme 0, indiquant une forte signification statistique dans les distances MASH observées. Cela suggère que la similarité ou la divergence de séquence observée entre les échantillons est peu probable due au hasard.

De plus, le nombre de k-mers partagés est présenté comme la fraction de sous-chaînes communes de longueur k entre les échantillons. Ces valeurs mettent en évidence l'étendue du chevauchement dans le contenu génétique entre les échantillons comparés. Par exemple, l'Échantillon 4 et l'Échantillon 2 partagent 3514 sur 5000 k-mers, ce qui signifie un chevauchement considérable dans les séquences génétiques entre ces deux échantillons.

2. Discussion générale

Cette étude constitue la première analyse de la bioécologie et de l'identification de *L'Oryctes* du palmier dattier en Algérie, comblant une lacune dans la recherche entomologique locale. En examinant les aspects biologiques de cet insecte dans les conditions naturelles des régions de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, ainsi qu'en laboratoire, nous avons recueilli des données essentielles sur sa période de vol et son cycle de vie. L'identification morphologique a été confirmée par des analyses moléculaires, offrant une validation précise de l'espèce et permettant une meilleure compréhension de sa taxonomie. Ces résultats établissent une base solide pour des recherches futures et des stratégies de gestion intégrée des nuisibles en Algérie.

2.1. Bioécologie de *L'Oryctes*

2.1.1 Observations des aspects biologiques dans les conditions naturelles

L'Oryctes agamemnon arabicus suit un cycle de vie univoltin dans les conditions naturelles des régions de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie. En avril, les adultes émergent et commencent leur période de vol, marquant le début de la reproduction. De mai à août, on observe une période de forte activité : en mai, la population d'adultes commence à augmenter, atteignant son maximum en août, accompagnée d'une abondance de larves à tous les stades. Cette période est cruciale pour la reproduction intense et le développement rapide des larves de premier stade. À partir de septembre, la population d'adultes diminue, mais les larves continuent de se développer. En octobre et novembre, la présence d'adultes reste faible, tandis que les larves, principalement aux deuxièmes et troisièmes stades, poursuivent leur croissance. En décembre, les adultes sont très rares, mais les larves, notamment au troisième stade, continuent de croître. De janvier à mars, les adultes sont en hibernation et les larves poursuivent leur développement, permettant ainsi le renouvellement du cycle de vie de l'espèce.

D'après Khalaf et al. (2013), les résultats de l'enquête sur les foreurs de palmiers en Irak ont montré que les larves étaient présentes d'octobre à avril. Par ailleurs, l'activité de vol des adultes débutait au début d'avril et se poursuivait jusqu'en octobre, atteignant son maximum en juillet et août. La pupation, quant à elle, ne se produisait qu'en avril.

Selon Ritcher (1957), dans des conditions naturelles, le cycle de vie des Scarabaeidae varie en fonction du climat. Il est généralement plus long dans les régions tempérées et plus court dans les zones tropicales où il n'y a pas de saisons climatiques distinctes.

Les adultes de ces scarabées volent vigoureusement, généralement la nuit, et peuvent se disperser sur de vastes zones ; ils sont également attirés par la lumière artificielle après la tombée de la nuit, comme d'autres espèces du genre *Oryctes* (Al-Deeb, 2011 ; Khoualdi et Rhouma 1997).

Les résultats de l'étude de Soltani et Ben Hamouda (2015) montrent que l'espèce *Oryctes agamemnon arabicus* est univoltin. La ponte des œufs sur le terrain débute vers la mi-mai, réalisée par les femelles ayant hiverné, et se poursuit jusqu'à la mi-juin, sans activité adulte observée en dehors des palmiers dans les oasis. L'activité de vol des adultes commence dans la seconde moitié de juin, avec un pic de ponte entre la deuxième décade de juillet et la troisième semaine d'août, suivi d'une diminution progressive jusqu'à la mi-octobre. Le développement larvaire se déroule tout au long de l'année sans interruption, avec un stade larvaire particulier étant le plus abondant à des périodes spécifiques de l'année.

2.1.2 Observations des aspects biologiques en laboratoire

2.1.2.1 Cycle de Vie et Durée de Développement de l'*Oryctes agamemnon arabicus*

L'étude du cycle de vie de l'*Oryctes agamemnon arabicus*, réalisée en conditions de laboratoire à une température de $26 \pm 1^\circ\text{C}$, une humidité de $55 \pm 5\%$ et une photopériode de 13/11 heures, révèle que cette espèce est univoltine, passant par les stades suivants : œuf, trois stades larvaires, prénymphe, nymphe et adulte.

Dans la présente étude, la durée totale du développement de cette espèce, depuis l'œuf jusqu'à l'adulte, est de $314,87 \pm 7,79$ jours (soit environ 10 mois et 8 jours). Les stades larvaires, représentant $208,61 \pm 1,98$ jours (66,25 % de la durée totale), dominent largement ce cycle. Parmi les stades larvaires, le troisième stade est particulièrement prépondérant, avec une durée moyenne de 124,58 jours (39,57 %). En revanche, les autres stades sont relativement brefs : l'œuf dure 10,14 jours (3,22 %), la prénymphe 10,4 jours (3,30 %), et l'adulte 29,12 jours (9,25 %). Cette répartition met en évidence l'importance prépondérante des stades larvaires dans le cycle de vie de l'espèce.

Par rapport aux données bibliographiques disponibles, le cycle de vie total de ce ravageur est complété en moins de 8 mois à 27°C et en moins de 9 mois à la fois à 23°C et à 30°C . Ainsi, *O. agamemnon arabicus* pourrait produire trois générations en deux ans (Soltani, 2012). En revanche, certaines espèces ont un cycle de vie inférieur à un an, comme l'*O. rhinoceros* (Lokma, 2000 ; Talhouk, 1982), tandis que d'autres ont un cycle de vie d'un an, comme *O. elegans* (Lokma, 2000) et *O. agamemnon* (Lepesme, 1947). Pour *O. nasicornis*, le développement se fait en un an en Côte d'Ivoire ou en deux à trois ans en Ukraine (Balachowsky, 1962).

Les résultats de l'étude confirment que le troisième stade larvaire prédomine à la fois dans le développement larvaire et dans la durée totale des stades immatures. Cela est en accord avec les observations de Soltani (2012), où ce stade représentait respectivement 61,88 %, 59,35 % et 63,78 % du développement larvaire, ainsi que 52,92 %, 51,42 % et 56,06 % de la durée des stades immatures à 23°C , 27°C et 30°C .

2.1.2.2 Description des Stades de Développement de l'*Oryctes agamemnon arabicus*

- **Embryogenèse**

Les œufs sont ovoïdes, blancs nacrés, mesurant $2,98 \pm 0,38$ mm en longueur et $1,97 \pm 0,37$ mm en largeur. Leur volume augmente significativement pendant le développement, et leur forme devient presque ronde. Le nombre moyen d'œufs pondus par femelle est de $4,4 \pm 3,71$.

Ce résultat est similaire à celui de Soltani (2008), qui indique que les œufs mesuraient en moyenne $3,11 \pm 0,13$ mm de longueur et $2,25 \pm 0,18$ mm de largeur. À la fin de l'embryogenèse, le volume augmentait de trois à quatre fois. Chez *Oryctes elegans*, la durée moyenne de développement de l'œuf était de 16,4 jours (Payandeh et Dehghan, 2010). Pour *Oryctes rhinoceros*, la période d'incubation était de 13,32 jours, avec un taux d'éclosion de 90 %. De plus, la surface occupée par les œufs fraîchement pondus était de $7,043 \mu\text{m}^2$, et elle augmentait à $34,26 \mu\text{m}^2$ avant l'éclosion (EL-Zouhairi et al., 2009).

- **Stades Larvaires**

Les larves présentent trois stades distincts de développement. À leur éclosion, les larves de premier stade sont blanches, presque transparentes, avec une capsule céphalique orange, mesurant environ $5,67 \pm 0,96$ mm en longueur et $2,34 \pm 0,17$ mm en largeur, et une capsule céphalique de $2,54 \pm 0,18$ mm. Elles sont très actives. Les larves de deuxième stade sont nettement plus grandes, avec une longueur de $53,92 \pm 1,90$ mm, une largeur de $10,41 \pm 0,27$ mm, et une capsule céphalique orange de $5,37 \pm 0,14$ mm. Les larves de troisième stade, les plus développées, atteignent une longueur de $77,67 \pm 4,84$ mm et une largeur de $14,71 \pm 0,66$ mm, avec une capsule céphalique marron de $9,61 \pm 0,41$ mm. Ce dernier stade est le plus vorace et le plus endommageant.

Pour la même espèce, *Oryctes gamamenon*, (Soltani et al., 2008) a mesuré les dimensions de la capsule céphalique des larves aux différents stades de développement sont les suivantes : 1er stade larvaire : $2,9 \pm 0,006$ mm ; 2e stade : $5,5 \pm 0,013$ mm ; 3e stade : $9,5 \pm 0,035$ mm. En ce qui concerne la longueur corporelle des larves aux stades 1, 2 et 3, elle atteint respectivement un maximum de $29 \pm 0,005$ mm, $55 \pm 0,014$ mm et $90 \pm 0,035$ mm. Le stade le plus destructeur est le troisième, qui peut atteindre un poids de 17 g à maturité complète. D'après les recherches sur l'espèce *O. elegans*, la durée moyenne de développement des stades larvaires obtenus a été estimée à 216,8 jours (Payandeh et Dehghan, 2010). Pour l'espèce *Oryctes rhinoceros*, la durée totale de la phase larvaire était de 176 jours (EL-Zouhairi et al, 2009).

- **Stade Pré-Nymphe**

La larve cesse de se nourrir, se contracte et devient jaunâtre. Mesure $60,16 \pm 0,23$ mm de longueur et $16,63 \pm 0,16$ mm de largeur, avec une capsule céphalique de $9,73 \pm 0,25$ mm. La cuticule se détache, signalant le début du stade nymphe.

Le stade pré-nymphe représente une phase intermédiaire entre la vie larvaire et le stade de nymphe. En effet, les larves qui adoptent une position dorsale deviennent léthargiques et ridées, avec une alimentation et des mouvements suspendus (les pattes étant en l'air) (Soltani, 2012). Ce stade a duré en moyenne $17,14 \pm 3,29$ jours pour l'espèce *Oryctes agamemnon arabicus* (Soltani et al., 2008). Selon (EL-Zouhairi et al., 2009), la durée du stade pré-nymphe d'*Oryctes rhinoceros* était de $15 \pm 0,537$ jours.

- **Stade Nymphe**

La pupa est compacte, avec une couleur allant du jaunâtre au brun foncé. Mesure $43,45 \pm 5,95$ mm de longueur et $15,49 \pm 0,37$ mm de largeur. Les structures de l'adulte sont visibles et le sexe peut être déterminé par la présence d'une corne chez les mâles.

Ce stade a duré en moyenne $24,1 \pm 3,02$ jours pour l'espèce *Oryctes agamemnon arabicus* (Soltani et al., 2008). Pour *Oryctes elegans*, la durée moyenne de développement de la pupa était de 26,2 jours (Payandeh et Dehghan, 2010). Dans l'étude de (EL-Zouhairi et al., 2009), la durée de la phase nymphe pour *Oryctes rhinoceros* était de 21,4 jours.

- **Stade Adulte**

L'adulte émerge en déchirant la cuticule de la pupa. Mesure $30,05 \pm 0,69$ mm de longueur et $14,15 \pm 0,29$ mm de largeur, avec un corps noir à brun foncé. Les mâles possèdent une corne

frontale courbée, alors que chez les femelles, cette corne est moins développée par rapport à celle des mâles.

Pour *Oryctes agamemnon*, l'étude de Soltani et al. (2008) a décrit les caractéristiques de l'adulte comme suit : longueur de $29,75 \pm 0,71$ mm, largeur de $14,65 \pm 0,09$ mm, poids de $3,34 \pm 0,51$ g, et une durée de développement de l'adulte de $65,27 \pm 9,48$ jours. Chez *Oryctes rhinoceros*, la longévité des adultes était de 13 jours pour les mâles et de 34,4 jours pour les femelles, avec une seule génération par an (EL-Zouhairi et al., 2009).

2.1.2.3 Analyse des Taux de Mortalités aux Différents Stades de Développement

Les données révèlent que le taux de mortalité est maximal durant le stade embryonnaire, atteignant 20,45%. Cette mortalité élevée au stade œuf est suivie d'une réduction significative des taux de mortalité pendant les stades larvaires, prénymphe et nymphe. Cependant, une recrudescence de la mortalité est observée au stade adulte, où le taux de mortalité s'élève à 20%.

La mortalité durant le stade œuf et chez les larves nouvellement écloses est influencée par une humidité extrême, qui favorise la croissance fongique, ou par une humidité trop basse, qui entraîne une dessiccation et bloque le développement. La mortalité des stades larvaires est principalement causée par le cannibalisme. En ce qui concerne les stades prénymphe et nymphe, la mortalité est due à l'incapacité de la cuticule larvaire à se détacher ou à l'enfouissement de la pupa dans le substrat. Au stade adulte, des interactions agonistiques entre mâles ont été observées. Ces confrontations directes pour accéder aux ressources et aux partenaires potentiels illustrent le système de reproduction compétitif propre à cette espèce. Cependant, la mortalité durant ce stade peut être attribuée à plusieurs facteurs, tels que les conditions environnementales et la nutrition.

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Soltani et al. (2008) pour *O. agamemnon*. La mortalité durant l'embryogenèse s'élevait à 9,09 %, principalement due à une humidité trop basse, entraînant un arrêt du développement embryonnaire, ou à une humidité excessive, favorisant les infestations fongiques. Au stade larvaire, les larves nouvellement écloses étaient vulnérables à des niveaux élevés d'humidité et de température, ce qui pouvait nuire à leur alimentation. Un autre facteur de mortalité était le cannibalisme entre larves, dont les taux aux premiers, deuxièmes et troisièmes stades étaient respectivement de 8,33 %, 36,36 % et 60,71 %. La mortalité pupale était de 10,34 %, principalement causée par l'incapacité de la cuticule larvaire à se détacher au niveau de la capsule céphalique, l'enfouissement de la pupa dans le substrat après la mue, ainsi que par des irritations ou blessures entraînant la mort de la pupa. Enfin, la mortalité au stade adulte atteignait 19,23 %.

2.1.3 Symptômes et Dégâts de l'*Oryctes agamemnon arabicus* sur le palmier dattier

Les résultats observés sont en accord avec les observations de Khalaf et al. (2013), qui ont noté que *Oryctes agamemnon arabicus* infeste différentes parties du palmier dattier, notamment les racines, le tronc et la couronne.

En particulier, nos observations montrent que les larves se nourrissent des racines et du tronc, ce qui rejoint les constats de Soltani (2004), qui a identifié les racines respiratoires comme les plus vulnérables à l'infestation. Soltani (2008) souligne que les dommages les plus graves surviennent généralement au niveau des racines basales et de la couronne, ce qui est également observé dans notre étude. Les larves réduisent les zones touchées en une substance poudreuse.

Récemment, les *Oryctes sp.* sont devenus des ravageurs majeurs de différentes variétés de palmiers dattiers. En Arabie Saoudite, tant les larves que les adultes d'*Oryctes* posent particulièrement problème, surtout lors de l'établissement de jeunes vergers de palmiers dattiers. Le temps de développement du stade larvaire est long et peut s'étendre sur plusieurs années chez certaines espèces. Les larves se nourrissent de racines et de bois pourri, tandis que les adultes se nourrissent de nectar, de sève végétale et de fruits (Bedford, 1980 ; Soltani, 2010).

2.1.4 Acariens associés à l'*Oryctes agamemnon arabicus*

Les résultats de l'identification des acariens associés aux adultes et aux larves d'*Oryctes agamemnon arabicus* ont révélé la découverte d'une nouvelle espèce de mite de la famille des Laelapidae, *Hypoaspis arabicus* sp. nov. (Acari: Laelapidae).

Dans cette étude, la présence de cette espèce de mite, *Hypoaspis arabicus* sp. nov., a été observée tout au long des différents stades de développement de l'insecte : stades larvaires, prénymph, nymphe et adulte.

Cette espèce de mite a été retrouvée dans les trois stades larvaires, où elle se déplaçait dans différentes parties de la structure larvaire, puis au stade prénymph et au stade nymphe. Elle a également été observée au stade adulte, principalement sur la face ventrale, notamment au niveau de l'articulation thorax-abdomen.

Il convient de noter qu'une augmentation significative du nombre d'individus et de leur activité a été observée dès le stade prénymph. Ce constat suggère une association potentielle entre cette espèce de mite et l'insecte, possiblement liée au processus de mue. L'activité accrue de cette espèce de mite autour de l'exosquelette laissé après la mue pourrait indiquer que cet événement crée des conditions favorables à sa prolifération ou suggérer une relation symbiotique. De plus, il est envisageable que cette espèce de mite joue un rôle dans l'élimination de l'exosquelette larvaire, facilitant ainsi la transition vers le stade nymphale. Ces observations justifient des investigations supplémentaires pour élucider la nature de ces interactions.

À travers des investigations expérimentales, Wilson et Knollenberg (1987) ont démontré que les acariens commensaux peuvent avoir des effets bénéfiques, neutres ou nuisibles sur leurs hôtes coléoptères, en fonction de divers facteurs tels que les densités de population et la présence d'autres espèces d'acariens. Evans et Till (1979) ont rapporté que *Hypoaspis Canestrini* et les genres apparentés sont des acariens prédateurs que l'on trouve dans les habitats de sol, de litière et de mousse.

Selon Swan (1974), les espèces de *Hypoaspis* ont la capacité de s'attaquer aux œufs et aux larves des coléoptères *Oryctes*, connus pour être des nuisibles des cocotiers.

L'étude de la véritable nature de la relation entre cette espèce de mite, *Hypoaspis*, et ses hôtes insectes peut être approfondie en examinant son potentiel, ainsi que celui des mites laélapides apparentées. Cette espèce de mite, *Hypoaspis*, offre des perspectives prometteuses pour mieux comprendre l'association entre les mites et leurs hôtes insectes.

2.2. Analyse de la Variation Temporelle du NDVI (1990-2024) dans les Régions de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie

L'analyse de l'évolution de l'indice NDVI dans les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, El Oued, Algérie, sur la période 1990-2024, montre une tendance générale à la hausse de l'indice NDVI sur l'ensemble des sites étudiés. Cela suggère une amélioration de la végétation ou une augmentation de la biomasse au fil du temps. Cette tendance pourrait être attribuée à des conditions climatiques favorables, à une meilleure gestion des ressources en eau ou à des pratiques agricoles améliorées.

Cependant, à partir de l'année 2012, une stabilisation des valeurs de NDVI est observée, ce qui pourrait être dû à des facteurs externes limitant son développement. Parmi ces facteurs, on peut citer l'introduction de ravageurs du palmier dattier, notamment l'*Oryctes agamemnon*. Cette espèce a été signalée pour la première fois en 2013 dans la région de Taleb Larbi, wilaya d'El Oued (I.N.P.V., 2014).

Cette stabilisation des valeurs du NDVI pourrait ainsi résulter de l'interaction entre des conditions climatiques variables et l'impact négatif de ce ravageur, limitant la croissance et le développement de la végétation, contrairement à l'amélioration continue observée au début de la période d'étude.

L'index de végétation par différence normalisée (NDVI) est sensible à la phénologie (Ning et al., 2015) et est fréquemment utilisé comme le meilleur indicateur de la croissance végétale et des variations de couverture végétale (Zhao, 2003). Le NDVI a également été largement utilisé dans l'étude des changements de végétation à différentes échelles (Wang et al., 2011; Tucker et al., 2005).

La croissance de la végétation peut être influencée par de nombreux facteurs. L'état de croissance de la végétation constitue une réponse globale à l'environnement climatique et peut refléter ses tendances évolutives (Huang et al., 2020 ; Nanzad et al., 2019 ; Pang et al., 2017 ; Zheng et al., 2018).

2.3. Identification de l'*Oryctes*

2.2.1 Identification morphologique

L'étude de l'identification morphologique des spécimens d'*Oryctes* de palmier dattier, collectés entre 2022 et 2024 dans les régions de Taleb Larbi et Douar El Ma, dans la wilaya d'El Oued en Algérie, a révélé que tous les individus adultes appartiennent à la sous-espèce *Oryctes agamemnon arabicus* Budmeister, 1847. Cette sous-espèce se distingue par des caractéristiques morphologiques conformes aux critères taxonomiques définis par Endrödi (1985).

Le scarabée rhinocéros *Oryctes agamemnon arabicus* (Coleoptera, Scarabaeidae) est identifié comme un ravageur secondaire dans les vergers de palmiers dattiers dans plusieurs pays du Golfe, notamment le Royaume d'Arabie Saoudite (Talhouk, 1982), l'Irak, les Émirats Arabes Unis (Med Saeed, 2004), le Sultanat d'Oman (Al-Sayed and Al-Tamiemi, 1999) et en Tunisie (Khoualdia and Rhouma, 1997). Ce ravageur a été officiellement signalé pour la première fois en Tunisie en 1995, après l'effondrement soudain de nombreux palmiers productifs dans l'oasis de Mrah Lahouar, dans le gouvernorat de Tozeur (Khoualdia and Rhouma, 1997 ; Soltani, 2004 ; Soltani, 2009).

2.2.2 Identification moléculaire

Les résultats de l'identification morphologique des spécimens d'*Oryctes* ont été confirmés par une analyse moléculaire utilisant le marqueur COI, qui a validé la présence d'*Oryctes agamemnon* dans tous les échantillons. L'analyse MASH a révélé des degrés variés de similarité génétique parmi les spécimens, indiquant une légère diversité génétique au sein de la population.

L'étude offre des informations précieuses sur la présence et la répartition des séquences d'*Oryctes agamemnon* dans l'ensemble des données, établissant une base pour une analyse plus approfondie des dynamiques de population de l'espèce. La fréquence des séquences d'*Oryctes agamemnon* dans chaque échantillon aide à comprendre sa répartition dans l'écosystème.

Les analyses de diversité alpha, tant au niveau du genre qu'à celui de l'espèce, montrent une grande homogénéité dans la composition de la communauté, suggérant une faible richesse et uniformité des espèces. Cependant, des facteurs écologiques contextuels pourraient influencer cette faible diversité. Ces analyses fournissent une base pour comprendre la structure de la communauté biologique dans les échantillons. En somme, l'analyse des distances MASH améliore notre compréhension de la diversité génétique et des relations au sein des échantillons, préparant le terrain pour des recherches ultérieures sur la dynamique des communautés biologiques dans l'écosystème.

En tant qu'espèce introduite, *Oryctes agamemnon* est susceptible d'occuper des régions biogéographiques où elle n'a pas évolué naturellement, ce qui peut entraîner une adaptation limitée à ces nouveaux environnements. Cela ouvre la possibilité de rencontrer divers défis et pressions sélectives inconnus, incluant des facteurs abiotiques et la disponibilité des plantes hôtes (Prentis et al. 2008).

D'après Bulman et al. (2005), la capacité d'adaptation génétique d'une espèce invasive et la diversité génétique observée dans un nouvel environnement ont été explorées. Cette adaptabilité dépendait de trois facteurs clés : la durée des cycles reproductifs, les conditions abiotiques de l'environnement et la présence de plantes hôtes appropriées.

Comme le montrent plusieurs études (Hartl et al. 1993, Suchentrunk et al. 2000), la convergence génétique observée parmi les populations d'insectes nuisibles invasifs pourrait être attribuée à un phénomène de « goulot d'étranglement génétique ». Cela suggère que la population invasive proviendrait probablement d'un nombre restreint d'individus, séparés d'un réservoir génétique plus vaste dans leur habitat d'origine (les Émirats Arabes Unis). Les goulots d'étranglement génétiques sont présumés diminuer la diversité génétique au sein de la population envahissante (Dlugosch & Parker, 2008).

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude approfondie de la bioécologie et de l'identification de *Oryctes agamemnon arabicus*, un ravageur significatif des palmiers dattiers en Algérie, a permis d'acquérir des connaissances essentielles pour la gestion durable des cultures dans les oasis de Taleb Larbi et Douar El Ma situées dans la wilaya d'El Oued. En alliant des observations sur le terrain à des expérimentations en laboratoire sur l'Oryctes, cette recherche a permis d'établir un cadre complet pour comprendre le cycle de vie de cet insecte et son interaction avec les acariens. Elle a également permis d'analyser les tendances de l'indice NDVI entre 1990 et 2024 dans les zones étudiées, d'évaluer l'influence des infestations d'Oryctes sur la végétation et la croissance des palmiers dattiers, ainsi que d'effectuer l'identification morphologique et moléculaire, tout en fournissant des données cruciales pour l'élaboration de stratégies de lutte ciblées.

Dans les conditions naturelles des oasis de Taleb Larbi et Douar El Ma, l'*Oryctes agamemnon arabicus* suit un cycle de vie univoltin, c'est-à-dire qu'il accomplit une génération par an. Les adultes émergent au début du mois d'avril et amorcent leur période de vol, marquant ainsi le début de la reproduction. Entre mai et août, on observe une période de forte activité où la population d'adultes augmente progressivement, atteignant un maximum au mois d'août. Cette période est cruciale pour la reproduction, accompagnée d'une prolifération rapide de larves de premier stade. En septembre, la population d'adultes commence à diminuer, mais les larves continuent de se développer, ce qui marque une nouvelle phase dans le cycle de vie de l'espèce. Durant octobre et novembre, bien que la présence d'adultes soit réduite, les larves, en particulier celles aux deuxièmes et troisièmes stades, poursuivent leur croissance. En décembre, la population adulte devient extrêmement rare, mais les larves de troisième stade continuent de croître, confirmant l'importance des stades larvaires dans la survie et le développement de l'espèce. De janvier à mars, les adultes entrent en phase d'hibernation, tandis que les larves poursuivent leur développement, ce qui assure la continuité du cycle de vie au printemps suivant.

Les observations réalisées en laboratoire à une température de 26 ± 1 °C, une humidité relative de 55 ± 5 % et une photopériode de 13/11 heures ont révélé que la durée totale du cycle de vie de l'*Oryctes agamemnon arabicus* est de $314,87 \pm 7,79$ jours (soit environ 10 mois et 8 jours). Ce cycle se divise en plusieurs stades : œuf, trois stades larvaires, prénymph, nymphe et adulte. Parmi ces stades, les stades larvaires occupent une place prédominante, représentant 66,25 % de la durée totale du cycle (soit $208,61 \pm 1,98$ jours). Le troisième stade larvaire est particulièrement long, avec une durée moyenne de 124,58 jours (39,57 %), ce qui met en évidence son importance dans le développement de l'espèce. Les autres stades sont relativement courts : l'œuf dure en moyenne 10,14 jours (3,22 %), la prénymph 10,4 jours (3,30 %), et l'adulte 29,12 jours (9,25 %). Ces données illustrent la prépondérance des stades larvaires dans le cycle de vie, ce qui souligne l'importance de cibler ces stades pour la lutte contre cette espèce nuisible.

L'analyse des taux de mortalité à différents stades de développement a révélé des variations significatives. Le taux de mortalité le plus élevé a été observé au stade embryonnaire, atteignant 20,45 %. Ce taux élevé est suivi d'une réduction significative des mortalités aux stades larvaires, prénymph et nymphe. Cependant, une recrudescence de la mortalité est observée au stade adulte, avec un taux atteignant 20 %. Cette distribution des mortalités selon les stades de développement peut orienter les stratégies de lutte vers les stades les plus vulnérables, notamment l'œuf et l'adulte, pour maximiser l'efficacité des interventions.

Les symptômes d'une infestation par *Oryctes agamemnon arabicus* se manifestent par des trous et des galeries sur le tronc et les pétioles du palmier dattier, accompagnés de traces ressemblant à du compost mûr. Les larves sont également présentes au niveau des racines, à une profondeur de 20 à 30 cm, et causent des dégâts internes aux tissus végétaux, affaiblissant l'arbre.

Les dégâts causés par les adultes et les larves d'*Oryctes* sur le palmier dattier sont considérables. Les larves attaquent principalement les racines aériennes et le tronc, creusant des galeries dans les tissus végétaux. Elles réduisent les zones affectées à une texture poudreuse semblable à du compost mûr, affaiblissant l'arbre et pouvant provoquer son effondrement. Les adultes, en s'attaquant également au tronc et à la couronne, broient les tissus végétaux et endommagent la structure et la croissance de l'arbre. Ces attaques compromettent la santé du palmier, entraînant une perte de vitalité et favorisant des infestations graves.

En laboratoire, il a été observé que les adultes et les larves d'*Oryctes* se nourrissent des rejets de palmier dattier, en particulier des parties racinaires. Les larves creusent des galeries dans les tissus mous, extrayant les nutriments nécessaires à leur développement, tandis que les adultes perforent les rejets, créant des trous et broient le matériel végétal. Ces activités nourrissent les deux stades du ravageur et nuisent à la santé du palmier dattier.

L'étude sur les acariens associés aux adultes et aux larves d'*Oryctes agamemnon arabicus* a abouti à la découverte d'une nouvelle espèce de mite laelapide, nommée *Hypoaspis arabicus* Rais et Kontschán, sp. nov. (Acari: Laelapidae). Au stade adulte, la nouvelle espèce de mite a été principalement observée sur la face ventrale, notamment au niveau de l'articulation thorax-abdomen. Les mites étaient également présentes chez les larves, où ils occupaient différentes parties de l'exosquelette, renforçant ainsi leur association étroite avec l'insecte hôte tout au long de son développement.

L'analyse de l'évolution de l'indice NDVI dans les sites de Taleb Larbi et Douar El Ma, situés dans la wilaya d'El Oued, Algérie, entre 1990 et 2024, montre une tendance générale à l'augmentation de cet indice sur l'ensemble des zones étudiées. Cependant, depuis 2012, une stabilisation des valeurs du NDVI est observée, ce qui pourrait être attribué à des facteurs externes limitant son évolution, parmi lesquels l'apparition de ravageurs du palmier dattier, *Oryctes agamemnon*. En effet, l'impact négatif de ce ravageur pourrait restreindre la croissance et le développement de la végétation, contribuant ainsi à cette stagnation de l'indice NDVI.

L'identification des spécimens d'*Oryctes* collectés dans les oasis de Taleb Larbi et Douar El Ma entre 2022 et 2024 a révélé que tous les individus adultes appartiennent à la sous-espèce *Oryctes agamemnon* subsp. *arabicus* Fairmaire, 1896. Cette identification morphologique a été confirmée par une analyse moléculaire utilisant le marqueur COI, qui a validé la présence de cette sous-espèce dans tous les échantillons. L'analyse MASH a révélé des degrés variés de similarité génétique parmi les spécimens étudiés, suggérant une légère diversité génétique au sein de la population locale. Cette diversité génétique pourrait jouer un rôle clé dans l'adaptation des populations d'*Oryctes* aux conditions environnementales et aux pressions de gestion, en particulier en ce qui concerne l'éventuelle résistance aux traitements phytosanitaires.

L'ensemble des résultats de cette étude fournit des informations essentielles pour la gestion durable des populations d'*Oryctes agamemnon arabicus*. En améliorant la compréhension des cycles biologiques et des mécanismes d'adaptation de cet insecte, cette recherche permet de développer des stratégies de lutte qui contribueront à la protection des écosystèmes agricoles et à la pérennité des palmeraies.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbas, M. S. T., & Mahmoud, B., 2009. On the pathogenicity of the entomopathogenic nematode, *Steinernema riobravus* on some economic insect pests. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 19, 49–53.
- Abdullah, S. K., Lorca, L. L., & Jansson, H., 2010. Diseases of datepalms (*Phoenix dactylifera* L.). *Basrah Journal for Date Palm Research*, 9, 40.
- Abul Soad, A. A., Maitlo, W. A., Markhand, G., & Mahdi, S. M., 2011. Date palm wilt disease (sudden decline syndrome) in Pakistan: symptoms and remedy. *The Blessed Tree*, 3, 38–43.
- Achour, A. F., 2003. Etude bio-écologique de: *Apathe monachus* Fab 1775 (Coleoptera, Bostrychidae) dans la région de l'Oued-Righ Touggourt. Thèse de magister Sc. Agro., Institut national agro., El-Harrach, 156 p.
- Al Kahyri, J., 2005. DATE PALM *Phoenix dactylifera* L. In S. M. Jain & P. K. Gupta (Eds.), *Protocol for somatic embryogenesis in woody plants* (pp. 309–319).
- Al-Deeb, M. A., & Enan, M. R., 2010. First record of a phoretic astigmatid mite *Sancassania* sp. (Acaridae: Astigmata) on *Oryctes agamemnon* (Coleoptera: Scarabaeidae) in UAE. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12, 157–160.
- Al-Deeb, M. A., 2011. Population dynamics of *Oryctes agamemnon arabicus* and effect of light color on light trap effectiveness. Abstract book of Global Conference on Entomology, March 5–9, Chiang Mai, Thailand, p. 25.
- Al-Deeb, M. A., Mahmoud, S. T., & Sharif, E. M., 2012. Use of light traps and differing light color to investigate seasonal abundance of the date palm pest, *Oryctes agamemnon arabicus* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Economic Entomology*, 105(6), 2062–2067.
- Al-Deeb, M. A., Mahmoud, S. T., & Sharif, E. M., 2012b. Use of light traps and differing light colour to investigate seasonal abundance of the date palm pest, *Oryctes agamemnon arabicus* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Economic Entomology*, 105, 2062–2067.
- Al-Deeb, M. A., Muzaffar, S., & Sharif, E. M., 2012a. Interactions between phoretic mites and the Arabian rhinoceros beetle, *Oryctes agamemnon arabicus*. *Journal of Insect Science*, 12, 128. doi:10.1673/031.012.12801.
- Al-Deghairi, M., 2007. Seasonal fluctuation of the date palm fruit stalk borer, *Oryctes elegans* Prell (Coleoptera: Scarabaeidae), in date palm plantations in Al-Qassim region, Saudi Arabia. *Agricultural and Marine Sciences*, 12, 67–70.
- Al-Habshi, K. A., Ba-Angood, S. A., & Al-Baiti, S. O., 2006. The occurrence of the date palm borer *Oryctes rhinoceros* (Linnaeus) in light traps in Wadi Hadramout in 2002. *University of Aden Journal of Natural and Applied Sciences*, 10, 419–426.
- Ali, A. S. A., & Hama, N. N., 2014. Integrated pest management for major date palm pests in Iraq. *Manual, Harmonized Support for Agriculture Development (HSAD)*, p. 22.
- Al-Sayed, A. E., & Al-Tamiemi, S. S., 1999. Seasonal activity of the fruit-stalk borer, *Oryctes agamemnon* (Burm.) (Coleoptera: Scarabaeidae) in the Sultanate of Oman. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 77, 1597–1605.

Al-Turki, S. M., 2008. Antioxidant properties of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars. ProQuest.

Amorsi, G., 1975. Le palmier dattier en Algérie. Ed. Tlemcen, 131 p.

Anonymes, 2014. Institut National de la Protection des Végétaux (IPV). Le palmier dattier: un patrimoine à préserver. INFOS PHYTO. Bulletin d'Informations Phytosanitaires N° 34. ISSN 1112-2536, 4 p.

Anonymes, 2023. Institut National de la Protection des Végétaux (IPV). Nouvelle menace sur palmier dattier: campagne de surveillance et de lutte contre l'*Oryctes* du palmier dattier *Oryctes agamemnon*.

Balachowsky, A. S., 1962. Entomologie appliquée à l'agriculture. Tome I. Coléoptères. Premier Volume. Caraboidea - Staphylinoidea - Hydrophiloidea - Scarabaeoidea - Dascilloidea - Cantharoidea - Bostrychoidea - Cucujoidea - Phytophagoidea (Cerambycidae et Bruchidae). Éd. Masson et Cie, France.

Balachowsky, A., 1937. Les cochenilles de France, d'Europe, du Nord d'Afrique et du Bassin méditerranéen: Caractères généraux des cochenilles - Morphologie externe. Éditions Hermann et Cie, Paris, 67 p.

Balachowsky, A., 1953. Monographie des Coccidoidea - Diaspidinae. Odomaspidini, Parlatorini. Actuel. Soc. et Jind., n° 1202, Hermann et Cie, Paris, 207 p.

Baraud, J., 1985. Coléoptères Scarabaeoidea. Faune du nord de L'Afrique, du Maroc au Sinaï. Éditions Lechevalier, Paris, 651 p.

Bedford, G. O., 1974. Descriptions of the larvae of some rhinoceros beetles (Col., Scarabaeidae, Dynastinae) associated with coconut palms in New Guinea. Bulletin of Entomological Research, 63(3), 445–472.

Bedford, G. O., 1976. Observations on the biology and ecology of *Oryctes rhinoceros* and *Scapanes australis* (Coleoptera: Scarabaeidae: Dynastinae): pests of coconut palms in Melanesia. Journal of the Entomological Society, 15, 241–251.

Bedford, G. O., 1980. Biology, ecology, and control of palm rhinoceros beetles. Annual Review of Entomology, 25, 309–39.

Bedford, G. O., Al-Deeb, M. A., Khalaf, M. Z., Mohammadpour, K., & Soltani, R. 2015. Biology and Management of Dynastid Beetle Pests.

Belguedj, M., 2002. Les ressources génétiques du palmier dattier : caractéristiques des cultivars de dattier dans les palmeraies du Sud-Est algérien. Revue annuelle de l'INRAA, N°1/2002, 28-289.

Belguedj, M., 2007. Évaluation du sous-secteur des dattes en Algérie. INRAA El-Harrach.

Belguedj, N., 2014. Préparations alimentaires à base de dattes en Algérie: description et diagrammes de fabrication. Mémoire de magister en sciences alimentaires, Université Constantine 1, 183 p.

Belhabib, S., 1995. Contribution à l'étude de quelques paramètres biologiques (croissance végétative et fructification) chez deux cultivars (Deglet-Nour et Ghars) du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) dans la région de Oued Righ. Mémoire, Ing. Agro., Batna, 54p.

Ben Abbes, F., 2011. Étude de quelques propriétés chimiques et biologiques d'extraits de dattes « *Phoenix dactylifera* L. ». Thèse de Magister, Université Ferhat Abbas-Setif.

Ben Abdallah, A., 1990. La phoeniciculture : options méditerranéennes. Série A, 1(11), Centre de recherche phoenicole, Institut national de la recherche agronomique de Tunisie (INRAT), 16 p.

Ben Chennouf, A., 1971. Le palmier dattier. Station expérimentale d'Ain Ben Naoui, Biskra, 22 p.

Ben Mbarek, S., & Deboub, I., 2015. Valorisation des sous-produits du palmier dattier et leurs utilisations. Thèse Master Académique, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, 62 p.

Benlarbi, L., 2019. Contribution à l'étude de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, agent causal de la fusariose vasculaire du palmier dattier et moyens de lutte. Thèse de doctorat en sciences agronomiques, Université Abdelhamid Ibn Badis, 175 p.

Bennasseur, A., 2015. Référentiel pour la conduite technique du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), pp. 103-112.

Bouguedoura, N., 1991. Connaissance de la morphogénèse du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) in situ et in vivo du développement morphologique des appareils végétatifs et reproducteurs. Thèse de doctorat en sciences, U.T.H.B., Alger.

Bouguedoura, N., Benkhalfa, A., & Bennaceur, M., 2010. Le palmier dattier en Algérie : situation, contraintes et apports de la recherche. Actes du 3e Séminaire du réseau AUFBIOVEG « Biotechnologies du palmier dattier », Montpellier (France), IRD édition, 15-33.

Bouktir, O., 1999. Aperçu bio-écologique de l'*Apate monachus* (Coléoptère-Bostrychidae) et étude de l'entomofaune dans quelques stations à Ouargla. Mémoire d'ingénieur agronome, Inst. nat. agro., El-Harrach, Alger, 90 p.

Boulanouar, A., 2015. Bio-écologie de l'entomofaune des différentes palmeraies de la région de la Saoura (Béchar) : application à quelques espèces fréquentant la plante-hôte *Phoenix dactylifera* L. Thèse de doctorat, Université de Tlemcen, Algérie.

Brun, J., 1990. Équilibre écologique et lutte biologique. Les ravageurs du palmier dattier, les moyens de lutte contre la cochenille blanche (*Parlatoria blanchardi* Targ). Options méditerranéennes, Sér. A/n°11, pp. 271-274.

Brun, J., Marro, J.-P., & Ipert, G., 1998. La lutte biologique - Les ravageurs du palmier dattier. Éd. I.N.R.A. U.R.B.I.C., Antibes, Paris, 6 p.

Butani, D.K., 1974. Les insectes parasites du palmier-dattier en Inde et leur contrôle. Fruits, 29, 689-691.

- Butani, D.K., 1975. Insect pests of fruit crops and their control - 15. Date Palm. Pesticides, 9, 40-42.
- Calcat, A., 1961. Cours d'agriculture saharienne : Phoeniciculture. Ministère d'État - Sahara, Départements et Territoire d'Outre-Mer, pp. 1.
- Cao, M.K.; Woodward, F.I. Dynamic responses of terrestrial ecosystem carbon cycling to global climate change. *Nature* 1998, 393, 249–252.
- Chelli, A., 1996. Étude bio-écologique de la cochenille blanche du palmier dattier *Parlatoria blanchardi* Targ (Hom. Diaspididae) à Biskra et ses ennemis naturels. Mémoire d'ingénieur, INA, El-Harrach, 101 p.
- Chen, C.; Park, T.; Wang, X.H.; Piao, S.L.; Xu, B.D.; Chaturvedi, R.K.; Fuchs, R.; Brovkin, V.; Ciais, P.; Fensholt, R.; et al. China and India lead in greening of the world through land-use management. *Nat. Sustain.* 2019, 2, 122–129.
- Chu, H.S.; Venevsky, S.; Wu, C.; Wang, M.; Pollard, D. NDVI-based vegetation dynamics and its response to climate changes at Amur-Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015. *Sci. Total Environ.* 2019, 650, 2051–2062.
- Daher Meraneh, A., 2010. Détermination du sexe chez le palmier dattier : approches histocytologiques et moléculaires. Thèse de doctorat, Université de Montpellier 2, Montpellier, France.
- Delassus M., Pasquier M., 1931. Les ennemis du dattier et de la datte. Rapport n°13. Biskra, pp. 1-15.
- Dhiab, I.M., Swayir, I.A., & Abdul-Hadi, I., 1979. Investigation on palm stem borer *Pseudophilus testaceus* Gah. (Coleoptera: Cerambycidae). *Yearbook Plant Prot.*, 2, 103-112.
- Djerbi, M., 1983. Diseases of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.). F.A.O. Regional Project for Palm and Dates Research Centre in the Near East and North Africa, 106 p.
- Djerbi, M., 1986. Les maladies du palmier dattier (*Phoenix dactylifera*). Projet du centre régional de recherche sur le palmier dattier et la datte au Moyen-Orient et en Afrique du Nord, 127 p.
- Djerbi, M., 1994. Précis de phoeniciculture. F.A.O., Rome, 192 p.
- Doumandji Mitich, B. & Doumandji, S., 1988. La lutte biologique contre les déprédateurs des cultures. Collection cours d'agronomie. Office des publications universitaires, Alger, 99 p.
- Doumandji Mitich, B., 1983. Contribution à l'étude bio-écologique des parasites de la pyrale des caroubes *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) en Algérie en vue d'une éventuelle lutte biologique contre ce ravageur. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 253 p.
- Dubost, D., 1972. Le Bayoud en Algérie - Histoire et pronostics. *Revue de la recherche agronomique*, n°01, I.N.R.A.A., pp. 33-39.

- Ehsine, M., 2008. Étude de la relation plante hôte-parasite dans les oasis du sud tunisien (cas de l'*Oryctes* et des nématodes). Mastère en biologie et écophysiologie des organismes végétaux, Faculté des sciences de Sfax, Tunisie, 65 p.
- Ehsine, M., Belkadhi, M.S., & Chaieb, M., 2014. Seasonal and nocturnal activities of the rhinoceros borer (Coleoptera: Scarabaeidae) in the North Saharan oases ecosystems. *Journal of Insect Science (Online)*, 14(1).
- Ehsine, M., Belkadhi, M.S., & Chaieb, M., 2019. Potentiel biotique d'une espèce exotique ravageur du palmier dattier : *Oryctes agamemnon* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Oasis Agriculture and Sustainable Development*, 1(1), 15-22.
- Elwan, A.S. & Al-Tameimi, S.S., 1999. Survey of the insect and mite pests associated with date palm trees in Al-Dakhliya region. *Egypt. J. Agric.*, 78, 653-654.
- El-Zohairy, M.M., El-Deeb, M.A., Hashem, H.H., & Olfat El-Sayed, A., 2009. Biological studies on *Oryctes rhinoceros* L. (Coleoptera: Scarabaeidae). *Egypt. J. Agric. Res.*, 87(2).
- Endrödi, S., 1985. The Dynastinae of the World. Dr. W. Junk Publisher, Dordrecht.
- Espiard, E., 2002. Introduction à la transformation industrielle des fruits. Ed. Tech et Doc - Lavoisier, 360 p.
- Evans, G.O. & Till, W.M., 1979. Mesostigmatic mites of Britain and Ireland (Chelicerata: Acari: Parasitiformes). An introduction to their external morphology and classification. *Transactions of the Zoological Society of London*, 35, 139-270. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1096-3642.1979.tb00059.x>
- F.A.O., 1982. Date production and protection: with special reference to North Africa and the Near East. Food and Agriculture Organization, Rome, 35 p.
- Fasihi, M. T., 2011. A study on the population dynamism of sympatric species of *Oryctes agamemnon* and *O. elegans*. Annual report of project, Bushehr Agricultural and Natural Resources Center, 11 p.
- Feldman, M., 1976. Taxonomie, classification and names of wild, cul and modern cultivated wheats. *Evolution of plants*. Longman, London, pp. 120-128.
- Foley, J.A.; Levis, S.; Costa, M.H.; Cramer, W. Incorporating dynamic vegetation cover within global climate models. *Ecol. Appl.* 2000, 10, 1620-1632.
- Food and Agriculture Organization, 2024. FAOSTAT Dates—Crops and livestock products (Production). Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Gassouma, M. S. S., 1991. Agricultural pests in the United Arab Emirates. Part 1. Fruit trees (In Arabic). Ministry of Agriculture and Fisheries, UAE, 148 p.
- Gassouma, M. S., 2004. Pests of the date palm (*Phoenix dactylifera*). Available online: <http://www.cabdirect.org/abstracts/20087207796.html;jsessionid=A371EDEA1C0D18E9CC493B83DB2020DB>.
- Gharib, A., 1970. *Oryctes elegans* Prell. (Coleoptera-Dynastidae). *Applied Entomology and Phytopathology*, 29, 20-29.

- Gilles, P., 2000. Cultiver le palmier dattier. Éd. CIRAS, 120 p.
- Gourchala, F., 2015. Caractérisation physicochimique, phytochimique et biochimique de cinq variétés de dattes d'Algérie, *Phoenix dactylifera* L. (Deglet noor, Ghars, H'mira, Tamesrit et Tinissine). Effets de leur ingestion sur certains paramètres biologiques (glycémie, profil lipidique, index glycémique et pression artérielle). Thèse de doctorat, biochimie appliquée, Université Badji Mokhtar Annaba.
- Guettouchi, A., 2017. Caractérisation botanique et moléculaire du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) de la région de Bou-Sâada. Mémoire de doctorat en sciences, biotechnologies végétales, Université Frères Mentouri Constantine, 168 p.
- Henry, P., 1955. Note préliminaire sur l'organisation foliaire chez le palmier à huile. Extrait de la revue générale de botanique, 127 p.
- Howard, F. W., Moore, D., Giblin-Davis, R., & Abad, R., 2001. Insects on Palms. Chapter V: Borers of palms. CABI Publishing, ISBN 0851993265, 400 p.
- Huang, F.; Xu, S. Spatio-temporal variations of rain-use efficiency in the west of Songliao Plain, China. Sustainability 2016, 8, 308.
- Huang, S., Zheng, X., Ma, L., Wang, H., Huang, Q., Leng, G., Meng, E., Guo, Y., 2020. Quantitative contribution of climate change and human activities to vegetation cover variations based on GA-SVM model. J. Hydrol. 584, 124687.
- Hussain, A. A., 1974. Date palms & dates with their pests in Iraq. University of Baghdad, 166 p.
- ICARDA, 2011. Integrated control for stem borers of date palm in Iraq. In Improved livelihoods of small farmers in Iraq through integrated pest management and organic fertilization, 4 p. Available at: https://apps.icarda.org/wsInternet/wsInternet.aspx/DownloadFileToLocal?filePath=Research_publications_archive/Plant_protection_IPM/Stem_Borers.pdf&fileName=Stem_Borers.pdf. Accessed on 17 Apr 2015.
- Idder M.A., 2008- La biocénose comme indicatrice des modifications climatiques: cas de l'exploitation agricole de l'ITAS de Ouargla. Les journées internationales sur l'impact des changements climatiques sur les régions arides et semi arides; du 15 au 17 décembre 2007. CRSTRA, Biskra.
- Idder, M. A., 1992. Aperçu bioécologique sur *Parlatoria blanchardi* Targ. 1905 (Homoptera-Diaspidinae) en palmeraies à Ouargla et utilisation de son ennemi *Pharoscymnus semiglobosus* Karsh. (Coleoptera-Coccinellidae) dans le cadre d'un essai de lutte biologique. Thèse de magister en sciences agro., Inst. nat. agro., El-Harrach, 102 p.
- Idder-Ighiili H., Idder M. A., Boughezala Hamad M. & Doumandji-Mitiche B., 2013. Relations entre la cochenille blanche *Parlatoria blanchardi* Targ. et quelques variétés de dattes a Ouargla (Sud-Est Algérien), Revue des Bioressources, Ouargla Vol 3 N° 1, pp. 32-40.
- Idder-Ighili, H., 2008. Interactions entre la pyrale des dattes *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lepidoptera-Pyralidae) et quelques cultivars de dattes dans les palmeraies de Ouargla (Sud-Est algérien). Thèse de magister, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 95 p.

- INPV., 2014 . Bulletin D'informations Phytosanitaires. I.N.P.V. Algérie. N° 34. 4p.
- IPGRI., 2005. (International Plant Genetic Resources Institute). Descripteur du Palmier Dattier. Rome. Italie, 79 p.
- Khalaf, M. Z., & Al-Abid, M., 2013. Photographical manual for annual regular practices for date palm trees and its efficiency on palm borers (23 pp). Baghdad: Ministry of Science and Technology.
- Khalaf, M. Z., & Alrubeai, H. F., 2016. Chemical control of date palm tree borers, *Oryctes* spp. (Coleoptera: Scarabaeidae: Dynastinae). Pakistan Entomologist, 38(1), 1–5.
- Khalaf, M. Z., Al-Rubeai, H. F., Al-Taweel, A. A., & Naher, F. H., 2013. First record of Arabian Rhinoceros Beetle, *Oryctes agamemnon arabicus* Fairmaire on date palm trees in Iraq. Agricultural Biology Journal of North America, 4(3), 349-351.
- Khalaf, M. Z., Naher, F. H., & Abdul-Sattar, A. A., 2010. Population density of *Oryctes elegans* Prell (Coleoptera: Scarabaeidae) on some date palm varieties in South Baghdad orchards. Agriculture and Biology Journal of North America, 1, 238–242.
- Khalaf, M. Z., Naher, F., Khudair, M. W., Hamood, J. B., & Khalaf, H. S., 2014. Some biological and behavioural aspects of Arabian rhinoceros beetle, *Oryctes agamemnon arabicus* Fairmaire (Coleoptera: Scarabaeidae: Dynastinae) under Iraqi conditions. Iraqi Journal of Agricultural Research (Special Issue), 19, 122–133.
- Khalaf, M. Z., Shbar, A. K., Al-Seria, M. H., Sami, R. A., & Naher, F. H., 2011. Some aspects of biology and control methods of Fruit Stalk Borer, *Oryctes elegans* Prell (Coleoptera: Scarabaeidae). Journal of Agricultural Science and Technology, A1, 142–147.
- Khalaf, M. Z., Shbar, A. K., Naher, F. H., Jabo, N. F., Abdulalhamza, B. H., & Sami, R. A., 2012. Activity of insect fauna during the night in palm orchards of central Iraq. Journal of Food Science and Engineering, 2, 277–282.
- Khoualdia, O., & Rhouma, A., 1997. Premières observations sur *Oryctes agamemnon*, ravageur du palmier dattier en Tunisie. Fruits, 52, 111–115.
- Khudhair, M. W., Aboud, H. M., Khalaf, M. Z., & Shbar, A. K., 2014a. *Oryctes elegans*, a vector of *Fusarium proliferatum* causing wilt disease symptoms of date palm. International Journal of Phytopathology, 3(2), 67–72.
- Kinawy, M. M., 2004. Biological control of the coconut palm rhinoceros beetle (*Oryctes rhinoceros* L. Coleoptera: Scarabaeidae) by using Rhabdionvirus *oryctes* Hüger in Sultanate of Oman. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 14, 113–118.
- Latifi, M., & Rad, B., 2012. Pathogenicity of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin, *Beauveria brongniartii* Saccardo, and *Metarhizium anisopliae* Metsch. to adult *Oryctes elegans* Prell, and effects on feeding and mortality. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 4, 1026–1032.
- Leberre, M., 1978. Mise au point sur le problème du ver de la datte *Myelois ceratoniae* Zeller. Bulletin Agronomique Saharien, 1(1), 1–35.

Lepesme, P., 1947. Les insectes des palmiers dattiers. Paris, France: Éditions LECHEVALIER.

Lepigre, A., 1951. Insectes de logis ou de magasin. Insectarium du jardin d'essai du Hamma, Alger, 339 p.

Lever, R. J. A. W., 1979. Pests of the Coconut Palm. FAO Agricultural Studies No. 77, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Liu, X.F.; Zhu, X.F.; Pan, Y.Z.; Li, Y.Z.; Zhao, A.Z. Spatiotemporal changes in vegetation coverage in China during 1982–2012. *Acta Ecol. Sin.* 2015, 35, 5331–5342.

Lokma, H. I. E., 2000. Borers of palm trees conference. Ministry of Agriculture & Water Conference, KSA, 14 p.

Maatallah, S., 1972. Quelques possibilités de valorisation de la datte algérienne. *Revue de la recherche agronomique*, 1, I.N.R.A.A., 28–32.

Makhloufi, A., 2010. Étude des activités antimicrobiennes et antioxydantes de deux plantes médicinales poussant à l'état spontané dans la région de Bechar (*Matricaria pubescens* (Desf.) et *Rosmarinus officinalis* L.) et leur impact sur la conservation des dattes et du beurre cru. Mémoire pour obtenir le grade de doctorat d'état en biologie, Université Aboubaker Belkaid, Bechar, 166 p.

Matallah, M. A. A., 2004. Contribution à l'étude de la conservation des dates variété Deglet Nour : Isotherme d'adsorption et de désorption. Mémoire d'Ingénieur agronome, INA, El Harrach, 79 p.

Max, R., 1997. Influence d'une technique de disinfestation par micro-ondes sur les critères de qualité physico-chimiques et biochimiques de la datte. Institut national polytechnique de Lorraine, 251 p.

Med Saeed, G., 2004. Pests of the date palm (*Phoenix dactylifera*). Available online at: <http://www.icarda.org/APRP/Datepalm/Topics/Pest/Pestright.htm>

Messaid, H., 2007. Optimisation du processus d'immersion-réhydratation du système dattes sèches-jus d'Orange. Mémoire du diplôme de Magister, Université M'Hamed Bouguera-Boumerdès, 96 p.

Mohammad, S., 2015. Utilisation de la cryoconservation pour la conservation et la production de cultures in vitro de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.); impact d'un protocole de cryoconservation sur la physiologie des cals embryogènes de palmier dattier. Thèse de doctorat, Université de Montpellier, 161 p.

Mohammadpour, K., 2002. Investigation on development of control methods of date palm fruit stalk borer, *Oryctes elegans* Prell., by semiochemicals. MSc thesis, Faculty of Agriculture, Ahvaz Shahid Chamran University, Iran, 81 p.

Munier, P., 1973. Le palmier dattier. Paris: Éditions Maison-neuve et Larousse.

Munier, P., 1974. Le problème de l'origine du palmier dattier et l'Atlantide.

Munier, P., 1981. Origine de la culture du palmier dattier et sa propagation en Afrique. Notes historiques sur les principales palmeraies africaines. *Fruits*, 36(7–8), 4.

- Muriel Newton, C., Ivorra, S., Tengberg, M., Pintaud, J. C., & Terral, J. F., 2013. Origines et domestication du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). *Revue d'ethnoécologie*, 4, 1–16.
- Nagoudi, D., 2014. Effet de la congélation sur les caractéristiques des dattes de cultivars Timjouhert et Adela, Bent Qbala. Mémoire de master en Biochimie Appliquée, 3–5.
- Nanzad, L., Zhang, J., Tuvdendorj, B., Nabil, M., Zhang, S., Bai, Y., 2019. NDVI anomaly for drought monitoring and its correlation with climate factors over Mongolia from 2000 to 2016. *J. Arid Environ.* 164, 69–77. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.01.019>
- Ning, T.; Liu, W.; Lin, W. 2015. NDVI Variation and Its Responses to Climate Change on the Northern Loess Plateau of China from 1998 to 2012. *Adv.* 1–10.
- Ohler, J. G., 1999. Modern Coconut Management. Palm Cultivation and Products. FAO: Intermediate Technology Publications Ltd., 458 p.
- Ouenoughi, M., & Dubost, D., 2005. Le voyage forcé des dattiers en Nouvelle-Calédonie, sécheresse. 16(4).
- Pan, N.; Feng, X.; Fu, B.J.; Wang, S.; Jie, F.; Pan, S. 2018. Increasing global vegetation browning hidden in overall vegetation greening: Insights from time-varying trends. *Remote Sens. Environ.*, 214, 59–72.
- Pang, G., Wang, X., Yang, M., 2017. Using the NDVI to identify variations in, and responses of vegetation to climate change on the Tibetan Plateau from 1982 to 2012. *Quat. Int.* 444, 87–96. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.08.038>
- Payandeh, A., & Dehghan, A., 2010. Demography of date palm fruit stalk borer, *Oryctes elegans* (Col. : Scarabaeidae), on date palm under laboratory conditions. *Plant Protection Journal*, 2(3), 255–263.
- Peng, J.; Liu, Z.H.; Liu, Y.H.; Wu, J.S.; Han, Y.N. 2012. Trend analysis of vegetation dynamics in Qinghai-Tibet Plateau using Hurst Exponent. *Ecol. Indic.* 14, 28–39.
- Peyron, G., 2000. Guide illustré de formation : Cultiver le palmier dattier. Éd. CIRAD, Montpellier, 109 p.
- Pintaud, J. C., Zehdi, S., Couvreur, T., Barrow, S., Henderson, S., Aberlenc-Bertossi, F., Tregear, J., & Billote, N., 2010. Species delimitation in the genus *Phoenix* (Arecaceae) based on SSR markers, with emphasis on the identity of the date palm. Diversity, phylogeny, and evolution in the monocotyledon. Edited by seberg, Peterson, barfod ans dais. Aarhus university press, dannark.
- Ragoussis, V., Giannikopoulos, A., Skoka, E., & Grivas, P., 2007. Efficient synthesis of (±)-4-methyloctanoic acid, aggregation pheromone of rhinoceros beetles of the genus *Oryctes* (Coleoptera: Dynastidae, Scarabaeidae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 5050–5052.
- Retima, L., 2015. Caractérisation morphologique et biochimique de quelques cultivars du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) dans la région de Foughala (Wilaya du Biskra). Thèse de Magister, Université El Hadj Lakhdar BATNA, 101 p.

Ritcher, P. O., 1957. Biology of Scarabaeidae. Annual Review of Entomology, 3, 311–334.

Rochat, D., Mohammadpoor, K., Maloosé, C., Avand-Faghih, A., Lettère, M., Beauhaire, J., Morin, P., Pezier, A., Renou, M., & Abdollahi, G. A., 2004. Male aggregation pheromone of date palm fruit stalks borer *Oryctes elegans*. Journal of Chemical Ecology, 30, 378–407.

Saadi, I., Namsi, A., Ben Mahamoud, O., Takrouni, M. L., Zouba, A., Bové, J. M., & Duran-Vila, N., 2006. First report of the “Maladie des feuilles cassantes (MFC)” of date palms in Algeria. Plant Pathology, 55, 572.

Saaidi, M., 1992. Amélioration génétique du palmier dattier : critères de sélection, techniques et résultats. Éd. Options Méditerranéennes, Série A/N° 11, 133 p.

Saleem, A. R., & Ibrahim, R. A., 2019. Assessment of the virulence and proteolytic activity of three native entomopathogenic fungi against the larvae of *Oryctes agamemnon* (Burmeister) (Coleoptera: Scarabaeidae). Egypt Journal of Biological Pest Control, 29, 21. <https://doi.org/10.1186/s41938-019-0120-1>

Sani, M. N., Abdulkadir, F., Salim, F. B., Abubakar, M. M., & Kutama, A. S., 2016. Date Palm (*Phoenix dactylifera*) as food supplement and antimicrobial agent in the 21st Century—A review. Journal of Pharmacy and Biological Sciences (IOSR-JPBS), 11, 46–51.

Sedra, M. H., 2003. Le palmier dattier, base de la mise en valeur des oasis au Maroc : Techniques phoniques et création d'oasis. Éd. INRA, Maroc, 265 p.

Smirnoff, W. A., 1954. La cochenille blanche parasite du palmier dattier en Afrique du Nord. Direction agronomique et des forêts, service de la végétation, 42 p.

Soltani, R., & Ben Hamouda, M. H., 2015. Life cycle of immature stages of *Oryctes agamemnon arabicus* Fairmaire (1896) (Coleoptera: Scarabaeidae) under similar natural conditions of southwest Tunisia. Pakistan Entomologist, 37(2), 83–89.

Soltani, R., 2004. *Oryctes agamemnon* Burmeister (Coleoptera: Scarabaeidae): Contribution à l'étude de sa biologie et des dégâts occasionnés dans les oasis du Djérid au Sud tunisien. Diplôme d'Études Approfondies, École Supérieure d'Horticulture et d'Élevage de Chott-Mariem, Tunisie, 81 p.

Soltani, R., 2009. *Oryctes agamemnon arabicus* Fairmaire, 1896: Étude bioécologique et éthologique dans les oasis de Rjim Maâtoug au sud-ouest Tunisien. Thèse de Doctorat, Institut Supérieur Agronomique de Chott-Mariem, Université de Sousse, Tunisie.

Soltani, R., 2010. The rhinoceros beetle *Oryctes agamemnon arabicus* in Tunisia: Current challenge and future management perspectives. Tunisian Journal of Plant Protection, 5(2), 179–193.

Soltani, R., 2012. Laboratory rearing of immature stages of *Oryctes agamemnon arabicus* under three constant temperatures. Tunisian Journal of Plant Protection, 7(1), 35–42.

Soltani, R., Chaieb, I., & Ben Hamouda, M. H., 2008. Descriptive study of damage caused by the rhinoceros beetle, *Oryctes agamemnon*, and its influence on date palm oases of

Rjim Maatoug, Tunisia. Journal of Insect Science, 8, 53. Available online: insectscience.org/8.53.

Soltani, R., Chaieb, I., & Ben Hamouda, M., 2008. The life cycle of the root borer, *Oryctes agamemnon*, under laboratory conditions. Journal of Insect Science, 8, 61. Available online: insectscience.org/8.61.

Swan, D. I., 1974. A review of the work on predators, parasites, and pathogens for the control of *Oryctes rhinoceros* (L.) (Coleoptera: Scarabaeidae) in the Pacific area. Miscellaneous Publications, Commonwealth Institute of Biological Control, 7, 1–64.

Tabib, R., 2016. Étude de la bioécologie (reproduction, régime alimentaire, parasites) des oiseaux nicheurs dans les Oasis de Biskra. Thèse de Doctorat en Biologie Animale, Université Badji Mokhtar Annaba, 191 p.

Tahri, K., 2017. Étude de l'architecture et de la biomasse du système racinaire de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) adulte. Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider Biskra, 79 p.

Takrouni, L., Rhouma, A., Khoualdia, O., & Allouchi, B., 1988. Observations préliminaires sur deux graves « maladies » d'origine inconnue du palmier dattier en Tunisie. Annales de l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie, 61, 2–16.

Talhok, A. S., 1982. The present status of date palm pests in Saudi Arabia. Pages 432–437. In: Proceedings of the First Symposium on the Date Palm held at King Faisal University, March 23–25, 1982, Al-Hassa, KSA.

Tirichine, H. S., 2010. Étude ethnobotanique, activité antioxydante et analyse phytochimique de quelques cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) du Sud-Est Algérien. Mémoire du Diplôme de Magister en Biologie, Université d'Oran Senia, 106 p.

Triki, M. A., Khoualdia, O., Ben Mahamoud, O., Takouni, M. L., Garnier, M., Bové, J.-M., Montarone, M., Poupet, A., Flores, R., Daros, J. A., Fadda, Z. G. N., Moreno, P., & Duran-Vila, N., 2003. Maladies des feuilles cassantes or brittle leaf disease of date palms in Tunisia: biotic or abiotic disease. Journal of Plant Pathology, 85(2), 71–79.

Tucker, C.J.; Pinzon, J.E.; Brown, M.E.; Slayback, D.A.; Pak, E.W.; Mahoney, R.; Vermote, E.F.; El Saleous, N. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. Int. J. Remote Sens. 2005, 26, 4485–4498.

Vilardebo, A., 1975. Enquête et diagnostic sur les problèmes phytosanitaires entomologiques dans les palmeraies de dattier du Sud-Est Algérien. Bulletin d'Agronomie Saharienne, 1(3), 1–23.

Wang, X.; Piao, S.; Ciais, P. Spring temperature change and its implication in the change of vegetation growth in North America from 1982 to 2006. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 2011, 108, 1240–1245.

Waterhouse, D. F., & Norris, K. R., 1987. *Oryctes rhinoceros* (Linnaeus). Pages 101–117. In: Biological Control: Pacific Prospects. D. F. Waterhouse & K. R. Norris, ACIAR, Melbourne: Inkata Press.

Waterhouse, D. F., & Norris, K. R., 1989. Biological Control - Pacific Prospects. Australian Centre for International Agriculture Research (ACIAR), Canberra, 36 p.

Wertheimer M., 1958- Un des principaux parasites du palmier dattier: Le Myelois decolor. Fruit, volume 13, N°8. pp 109-128.

Wertheimer, M., 1956. Recherche et observations sur la plantation des palmiers dattiers dans le Ziban (région de Biskra). Fruits, 11, 481–487.

Wilson, D. S., & Knollenberg, W. G., 1987. Adaptive indirect effects: the fitness of burying beetles with and without their phoretic mites. Evolutionary Ecology, 1, 139–159.

Wood, B. J., 1968. Pest of Oil Palms in Malaysia and their Control. Kuala Lumpur, Malaysia: Incorporated Society of Planters.

Zenkhi, S., 1988. Tentative d'une lutte biologique par l'utilisation de *Pharoscymnus semiglobosus* KARCH (Coleoptera, Coccinellidae) contre *Parlatoria blanchardi* Targ. (Homoptera, Diaspididae) dans la région de Ouargla. Mémoire d'Ingénieur Agronome, ITAS, Ouargla, 68 p.

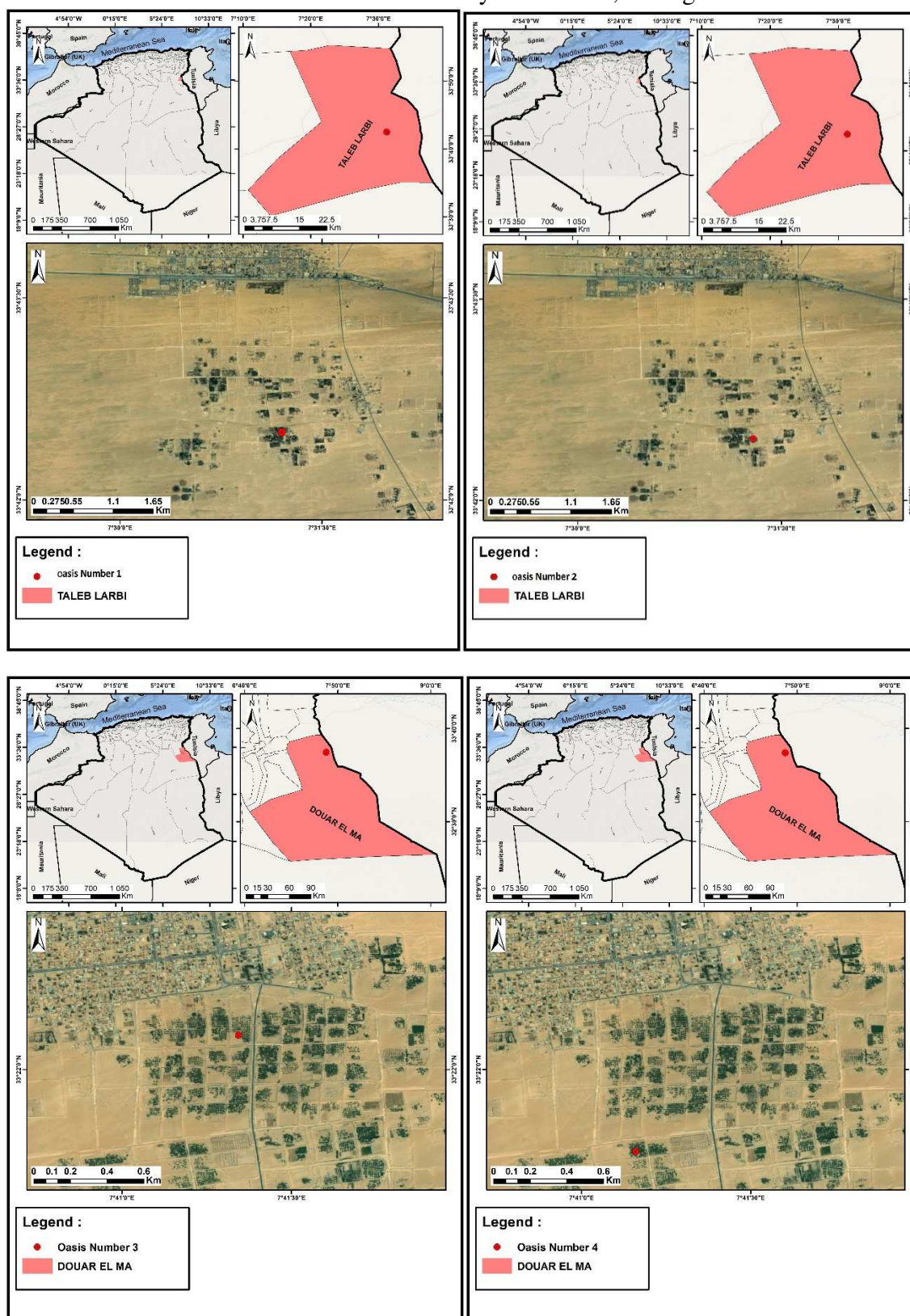
Zhao, Y.S. 2003. Principles and Methods of Remote Sensing Application Analysis; Science Press: China, Beijing, 2003; pp. 368–369.

Zheng, Y., Han, J., Huang, Y., Fassnacht, S.R., Xie, S., Lv, E., Chen, M., 2018. Vegetation response to climate conditions based on NDVI simulations using stepwise cluster analysis for the Three-River Headwaters region of China. Ecol. Indic. 92, 18–29.

Zhu, L.; Southworth, J. 2013. Disentangling the relationships between net primary production and precipitation in southern Africa savannas using satellite observations from 1982 to 2010. Remote Sens., 5, 3803–3825.

ANNEXES

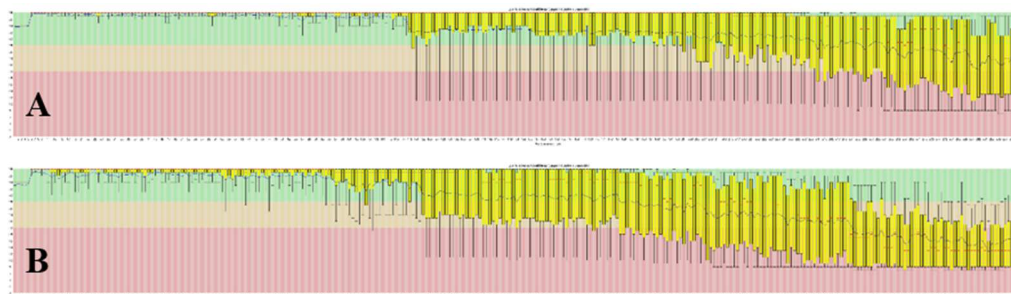
Annexe1 : Localisation géographique des oasis incluses dans l'étude, dans les communes de Taleb Larbi et Douar El Ma au sein de la wilaya d'El Oued, en Algérie.



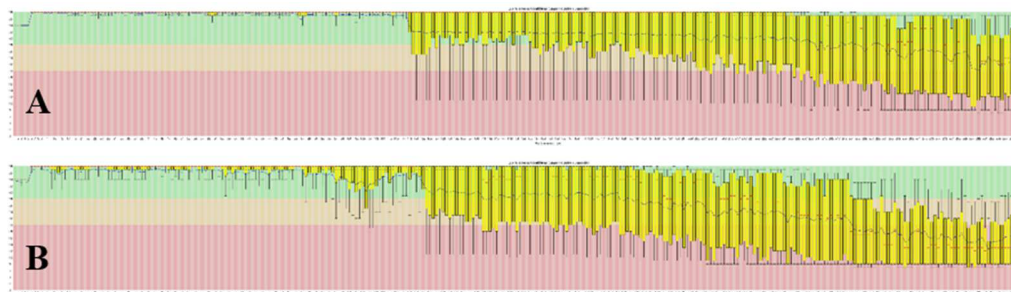
Annexe2 : Moyenne et pourcentage de chaque stade de développement d'*Oryctes agamemnon arabicus*.

Stade	Moyenne (jour)	Pourcentage (%)
Œuf	10,14	3,22
Larve 1	25,8	8,19
Larve 2	58,23	18,49
Larve 3	124,58	39,57
Prénymph	10,4	3,30
Nymph	56,6	17,98
Adulte	29,12	9,25

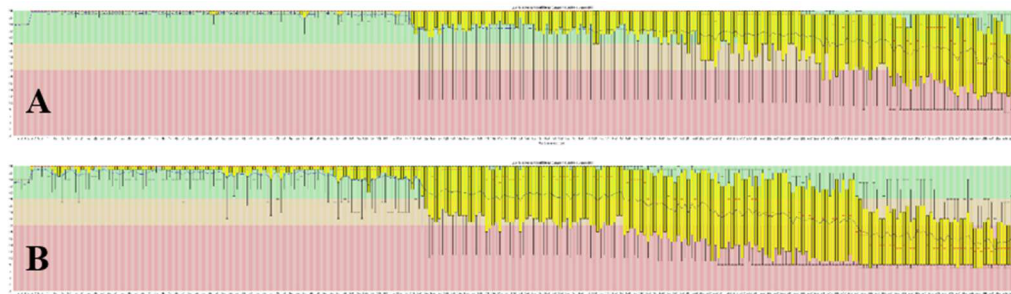
Annexe3 : Valeurs de qualité pour toutes les bases de l'échantillon 1 : A Lecture 1 ; B Lecture 2.



Annexe 4 : Valeurs de qualité pour toutes les bases de l'échantillon 2 : A Lecture 1 ; B Lecture 2.



Annexe 5 : Valeurs de qualité pour toutes les bases de l'échantillon 3 : A Lecture 1 ; B Lecture 2.



Annexe 6 : Valeurs de qualité pour toutes les bases de l'échantillon 4 : A Lecture 1 ; B Lecture 2.

