



Université Constantine 1 - Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie Animale



N° de Série : 79/D3C/2024

N° d'ordre : 02/BAN/2024

Contribution à la connaissance de l'entomofaune de quelques cultures et étude de son activité pollinisatrice

THÈSE

**Présentée pour l'Obtention du Diplôme de
Doctorat de Troisième Cycle en Biodiversité des Arthropodes**

Par

Ikrame MESSELLEM

Devant le jury composé de :

Président	Pr. Salah HAMRAKROUHA	Université Constantine 1-Frères Mentouri
Directrice	Dr. Sihem AGUIB	Université Constantine 1-Frères Mentouri
Examinatrice	Pr. Naima BENKENANA	Université Constantine 1-Frères Mentouri
Examineur	Pr. Mustapha BOUNECHADA	Université de Sétif 1
Examinatrice	Dr. Yasmina SAOUACHE	Université Salah boubnider Constantine 3
Examineur	Pr. Azzedine BOUNAMOUS	Université Abdelhafid boussouf Mila

Soutenue publiquement

Le : 14/11/2024

REMERCIEMENTS

Je commence par exprimer ma profonde gratitude envers Madame AGUIB Sihem, dont les conseils et le soutien ont été inestimables tout au long de la période de recherche.

Je remercie infiniment Monsieur Hamrakrouha Salah pour son immense soutien moral, ses conseils avisés et son aide pendant toute la période d'étude

Mes remerciements vont également à Monsieur Mohamed SHEBL qui m'a aidé et orienté durant les dernières années de recherche.

Je suis reconnaissante envers madame BENKENANA Naima et madame SAOUACHE Yasmina d'avoir accepté d'être rapporteurs de ce manuscrit, ainsi qu'à monsieur BOUNECHADA Mustapha et monsieur BOUNAMOUS Azzedine pour avoir accepté de faire partie du jury. Mes remerciements s'étendent également à tous les membres du comité de thèse, pour leur écoute attentive et leurs conseils avisés lors de mon comité de thèse.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à toute l'équipe du laboratoire de Biosystématique et écologie des Arthropodes pour leur soutien indéfectible et leurs encouragements précieux surtout Foued qui était tellement gentil et collaboratif.

Un remerciement spécial pour madame KOUHIL Karima qui était toujours là pour moi je la remercie pour sa gentillesse et sa compréhension

DEDICACE

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont soutenu et encouragé mon parcours tout au long de cette aventure académique.

À mes parents, pour leur amour inconditionnel et leur soutien indéfectible, qui ont toujours cru en moi et m'ont permis d'atteindre mes objectifs.

À mes frères SALAH et MOHAMED et ma sœur Kenza, pour leurs encouragements constants et leurs précieux conseils, qui ont enrichi mon cheminement.

À mon neveu ANES et à mes nièces INES, RYM et RANIM, pour leur joie de vivre et leur enthousiasme, qui ont égayé mes moments les plus intenses.

À mon fils MOHAMED MASSIM, dont la présence illuminante et l'amour m'ont donné la force de persévérer même dans les moments les plus difficiles. Ce travail est dédié à toi, tu es ma plus grande fierté.

À mon époux, pour son soutien sans faille, sa patience et sa compréhension, qui ont été des piliers essentiels durant cette période. Ta présence a été une source inestimable de réconfort et de motivation.

À mes amies SOUMIA, BOUTHEINA, IMEN, RACHA, LAMIA, pour leur amitié sincère, leurs encouragements et leurs conseils avisés. Votre soutien moral a été un atout précieux tout au long de ce parcours.

À vous tous, un immense merci pour votre aide, votre soutien et votre amour. Cette thèse est le fruit de vos encouragements et de votre présence à mes côtés

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	ii
DEDICACE.....	iii
TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
RESUME.....	x
ABSTRACT	xi
CHAPITRE 1	
INTRODUCTION	1
1.1 Problématique	2
1.2 Hypothèse de travail.....	2
1.3 Objectifs	3
CHAPITRE 2	
DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES	5
2.1 Aperçu des Apoïdes.....	5
2.1.1 Les interactions fleurs-abeilles	7
2.2 Notion de fécondation et pollinisation	7
2.2.1 La pollinisation :.....	8
2.2.2 Les types morphologiques des plantes.....	8
2.2.3 Les agents pollinisateurs	10
2.2.4 Adaptation des hyménoptères à la récolte de nectar :.....	11
2.2.5 Adaptation des hyménoptères à la récolte et au transfert de pollen :.....	12
2.2.6 Les types des pollinisateurs en fonction de leurs choix du pollen.....	13
2.2.7 Facteurs qui influencent la pollinisation entomophile.....	14
2.2.8 Incidence économique de la pollinisation sur la récolte des différentes cultures	14
2.2.9 Le rôle des pollinisateurs sauvages dans l’agriculture.....	15
2.3 L’Activité agricole en Algérie	16
2.4 Informations générales sur les cultures examinées	18
2.4.1 La fève (<i>Vicia faba</i> L).....	18
2.4.1.1 La fleur.....	18
2.4.1.2 Position systématique.....	19
2.4.2 Le Concombre (<i>Cucumis sativus</i> L)	19
2.4.2.1 La fleur.....	20

2.4.2.2 Position systématique.....	20
2.4.3 Le melon (<i>Cucumis melo</i> L).....	21
2.4.3.1 Fleurs	21
2.4.3.2 Position systématique.....	21
2.4.4 La citrouille (<i>Cucurbita maxima</i> L).....	22
2.4.4.1 Fleurs	22
2.4.4.2 Position systématique :.....	23
2.4.5 La luzerne (<i>Medicago sativa</i> L)	23
2.4.5.1 Fleur.....	23
2.4.5.2 Position systématique.....	24

CHAPITRE 3

MATERIEL ET METHODES	25
3.1 Présentation de la zone de recherches.....	25
3.1.1 Coordonnées géographiques de la région de Mila.....	25
3.1.2 Données météorologiques de la région de Mila	25
3.1.2.1 La température atmosphérique	25
3.1.2.2 L'humidité de l'air.....	26
3.1.2.3 La vitesse du vent	27
3.1.2.4 Les précipitations.....	27
3.1.3 Végétation.....	28
3.1.4 Hydrographie	28
3.1.5 Nature des sols	29
3.2 Présentation des stations d'étude	29
3.2.1 Plantes étudiées	31
3.3 Méthodes d'étude des apoïdes et leurs impacts sur le rendement.....	32
3.3.1 Recensement de la faune pollinisatrice des cultures étudiées	32
3.3.2 Etude Comportementale des butineurs	32
3.3.3 Vitesse de butinage.....	33
3.3.4 Efficacité pollinisatrice	33
3.3.5 Mesure de la Quantité de nectar secrétée.....	34
3.3.6 Rôle des insectes sur le rendement des cultures.....	34
3.3.7 Identification des butineurs et de plantes spontanées	35
3.3.8 Analyse statistique.....	36

CHAPITRE 4

RESULTATS	37
4.1 La fève (<i>Vicia faba</i> L)	37
4.1.1 Densité des Visiteurs de <i>vicia faba</i>	37
4.1.2 Comportement de butinage	38
4.1.3 L'efficacité pollinisatrice	39
4.1.4 Rythme d'activité des deux pollinisateurs sur les fleurs de la fève	40
4.1.5 Caractéristiques morphologiques	41
4.1.6 Rendement de la fève.....	42
4.2 Le melon (<i>Cucumis melo</i> L)	43
4.2.1 La faune pollinisatrice du melon	43
4.2.2 Préférence florale, Durée de visite des fleurs et Vitesse de butinage	38
4.2.3 Efficacité pollinisatrice	39
4.2.4 Influence des pollinisateurs sur les rendements du melon	40
4.2.5 Étude du rythme d'activité et de la sécrétion de nectar des espèces abondantes.....	41
4.3 La luzerne (<i>Medicago sativa</i>)	42
4.3.1 Les insectes butineurs de la luzerne.....	42
4.3.2 Etude de comportement de butinage.....	44
4.3.3 Vitesse de butinage.....	45
4.3.4 Efficacité pollinisatrice	45
4.3.5 Impact des pollinisateurs sur le rendement grainier de la luzerne	46
4.3.6 Etude du rythme d'activité en fonction de la sécrétion du nectar.....	46
4.4 Le concombre (<i>Cucumis sativus</i>).....	47
4.4.1 Diversité des insectes pollinisateurs de <i>Cucumis sativus</i>	47
4.4.2 Les préférences florales des espèces abondantes sur les fleurs du concombre	49
4.4.3 La vitesse de butinage.....	49
4.4.4 Exploration des ressources alimentaires par les abeilles	51
4.4.5 Impact des pollinisateurs sur le rendement	53
4.5 La Citrouille (<i>Cucurbita maxima</i>).....	54
4.5.1 Les insectes pollinisateurs de la citrouille.....	54
4.5.2 Le choix florale des pollinisateurs en fonction du sexe des fleurs	55
4.5.3 La vitesse de butinage.....	57
4.5.4 L'efficacité pollinisatrice	57
4.5.5 L'influence des pollinisateurs sur le rendement fruitier de la citrouille	58

CHAPITRE 5

DISCUSSION.....	68
CHAPITRE 6	
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	79
CHAPITRE 7	
BIBLIOGRAPHIE	82

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 Anatomie générale d'une abeille	5
Figure 2.2 Ailes postérieures d'une abeille d'après	6
Figure 2.3 Une patte postérieure d'une abeille	7
Figure 2.4 Schéma montrant la pollinisation	8
Figure 2.5 Schéma des plantes Hermaphrodite, monoïques et dioïques	9
Figure 2.6 Schéma des plantes andromonoïques	10
Figure 2.7 Les deux types de pièces buccales chez les apoïdes.....	12
Figure 2.8 Photo démontrant la brosse ventrale d'un Anthidium; Megachilidae	13
Figure 2.9 Photo d'une corbeille de récolte au niveau de la patte postérieur d'une abeille domestique	13
Figure 2.10 Section transversale d'une fleur de <i>Vicia faba</i>	19
Figure 2.11 Section longitudinal d'une fleur mal (A) et d'une fleur femelle (B) du concombre <i>Cucumis sativus</i> d'après	20
Figure 2.12 Section longitudinale d'une fleur mal (A) et femelle (B) de la citrouille <i>Cucurbita maxima</i> d'après (51).....	22
Figure 2.13 Coupe transversale d'une fleur de la luzerne (<i>Medicago sativa</i>)	24
Figure 3.14 Carte de localisation et des wilayas limitrophe de Mila	25
Figure 3.15 La méthode des quadrats.....	32
Figure 3.16 Les ensachements effectués pour interdire la pollinisation.....	33
Figure 3.17 Matériel utilisé pour préparer des lames contenant les graines de pollen.....	34
Figure 3.18 Fleurs couvertes par un tulle	35
Figure 4.19 Évolution des effectifs des deux pollinisateurs sur les fleurs de la fève en fonction du nombre des fleurs épanouies pendant la floraison 2020	40
Figure 4.20 Évolution des effectifs des deux pollinisateurs sur les fleurs de la fève en fonction du nombre des fleurs épanouies pendant la floraison 2019	41
Figure 4.21 Le nombre de spécimen attiré vers les fleurs en fonction de quantité du nectar secrétée en 2019	41
Figure 4.22 Le nombre de spécimen attiré vers les fleurs en fonction de quantité du nectar secrétée en 2021	42
Figure 4.23 Rythme d'activité des pollinisateurs en fonction du volume de nectar secrété durant toute la journée	47
Figure 4.24 Pourcentages des récoltes florales effectuées par <i>Apis mellifera</i> sur les fleurs du concombre durant la floraison 2019.....	51
Figure 4.25 Pourcentages des récoltes florales effectuées par <i>Ceratina cucurbitina</i> sur les fleurs du concombre durant la floraison 2019	52
Figure 4.26 Pourcentages des récoltes florales effectuées par <i>Megachile</i> spp sur les fleurs du concombre durant la floraison 2019.....	52

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 Températures moyennes mensuelles (en degrés Celsius) enregistrées à la station météorologique de Mila entre 2019 et 2023.	26
Tableau 3.2 Fluctuations mensuelles du taux d'humidité relative de l'air (en pourcentage) enregistrées au site météorologique de Mila pendant la période allant de 2019 à 2023 ...	26
Tableau 3.3 Évolutions mensuelles de la vitesse du vent (en Km/h) observées à la station météorologique de Mila entre 2019 et 2023.	27
Tableau 3.4 Fluctuation mensuelles des précipitations (en millimètres) enregistrées à la station météorologique de Mila entre 2019 et 2023	27
Tableau 3.5 Les différentes variétés de plantes étudiées, ainsi que les dates de semis et les densités de plantation, sont répertoriées.	31
Tableau 4.6 Nombre moyen des butineurs de la fève durant les deux floraisons.....	37
Tableau 4.7 Les produits récoltés par <i>Eucera numida</i> et <i>Apis mellifera</i> sur les fleurs de la fève	38
Tableau 4.8 La vitesse de butinage des deux pollinisateurs sur les fleurs de la fève.....	39
Tableau 4.9 Le temps dépensé sur les fleurs de la fève.....	39
Tableau 4.10 Le nombre des grains déposés sur les stigmates des fleurs par <i>Eucera numida</i> et <i>Apis mellifera</i> au cours de l'année 2019.....	40
Tableau 4.11 Caractéristiques morphologiques des visiteurs majeur de <i>Vicia faba</i>	41
Tableau 4.12 Caractéristiques morphométriques des fleurs de <i>Vicia faba</i>	42
Tableau 4.13 Effet des pollinisateurs sur le rendement de <i>Vicia faba</i>	42
Tableau 4.14 Les pollinisateurs de <i>Cucumis melo</i>	37
Tableau 4.15 Nombre de visites par les butineurs de melon	38
Tableau 4.16 Temps dépensé sur les fleurs mâles et femelles par les pollinisateurs majeurs du melon	39
Tableau 4.17 Vitesse de butinage de l'espèce majeure sur les fleurs du melon pendant les deux floraisons.	39
Tableau 4.18 Nombre de graines de pollen déposés sur les stigmates des fleurs pistillées du melon	40
Tableau 4.19 Effet de la pollinisation sur les fruits du melon	40
Tableau 4.20 Nombre moyen des butineurs sur les fleurs de <i>Medicago sativa</i> durant les deux floraisons.....	43
Tableau 4.21 Nombre de visites effectuées sur les fleurs par les pollinisateurs majeurs de la luzerne pendant la floraison de 2021.....	44
Tableau 4.22 Vitesse de butinage des quatre groupes d'insectes pendant les deux floraisons .	45
Tableau 4.23 Le temps dépensé sur les fleurs de <i>Medicago sativa</i> par les pollinisateurs abondants pendant les deux floraisons	45
Tableau 4.24 Le nombre de graines de pollen déposé sur les stigmates des fleurs par chaque pollinisateur pendant les deux floraisons.....	46
Tableau 4.25 Impact des pollinisateurs sur le rendement quantitatif de la luzerne	46

Tableau 4.26 Abondance des différentes espèces pollinisatrices du concombre en 2019 et en 2020	48
Tableau 4.27 Nombre de visites effectuées par les butineurs du concombre	49
Tableau 4.28 Temps dépensé sur les fleurs staminées et pistillées par les pollinisateurs du concombre.....	50
Tableau 4.29 vitesse de butinage des espèces majeures du concombre pendant les deux floraisons.....	50
Tableau 4.30 Effet de la pollinisation entomophile sur la récolte du concombre.....	53
Tableau 4.31 Nombre moyen des pollinisateurs de <i>Cucurbita maxima</i> durant les deux floraisons.....	55
Tableau 4.32 Le nombre des visites effectuées sur les fleurs mâle et femelle de la plante avec le produit floral récolté	56
Tableau 4.33 Le temps dépensé sur les fleurs staminées et pistillées de <i>Cucurbita maxima</i> ..	57
Tableau 4.34 La vitesse de butinage des pollinisateurs majeurs de la plante	57
Tableau 4.35 Le nombre de graines de pollen déposé sur les stigmates des fleurs durant la deuxième floraison	58
Tableau 4.36 Impact des pollinisateurs sur le rendement de la citrouille.....	59

RESUME

Les performances de pollinisation des insectes butineurs peuvent varier selon leur taxonomie et la nécessité d'identifier ces pollinisateurs et d'évaluer leur efficacité demeure primordiale pour améliorer les services de pollinisation des cultures à l'échelle mondiale puisque dans de nombreuses cultures, la nouaison dépend étroitement des insectes pollinisateurs. Bien que l'abeille domestique soit souvent le pollinisateur majeur utilisé pour la plupart des cultures, les pollinisateurs sauvages peuvent parfois se révéler plus efficaces et performants.

Dans le cadre de cette étude, nous avons examiné les performances d'*Apis mellifera* et de plusieurs pollinisateurs sauvages dans la pollinisation de cinq cultures différentes la fève (*Vicia faba*), le melon (*Cucumis melo*), le concombre (*Cucumis sativus*), la citrouille (*Cucurbita maxima*) et la luzerne (*Medicago sativa*) dont les fruits ou les graines sont d'importance mondiale, les recherches menées entre 2019 et 2023 dans la région de Mila ont exploré le rôle des apoïdes pollinisateurs sur les cinq plantes étudiées. Des expériences ont été menées pour comparer l'efficacité pollinisatrice de plusieurs pollinisateurs en termes de dépôt de pollen par visite, de comportement de butinage et de vitesse de butinage. Les résultats ont mis en évidence qu'*Eucera numida* est un pollinisateur plus efficace pour la fève, tandis que *Ceratina cucurbitina* et *Mégachile pilidens* ont démontré être des pollinisateurs plus performants pour le melon. De plus, pour le concombre, *Ceratina cucurbitina* et trois espèces du genre *Megachile* (*Megachile apicalis*, *Megachile pilidens* et *Megachile leachella*) ont été identifiées comme les principaux pollinisateurs. Concernant la luzerne, une pollinisation efficace a été observée principalement avec deux espèces du genre *Megachile* (*Megachile apicalis* et *Megachile leachella*). Enfin, l'espèce *Bombus ruderatus*, a été identifiée comme meilleur pollinisateur de la citrouille.

Une amélioration significative du rendement grainier et fruitier de toutes les plantes a été enregistrée en étudiant plusieurs paramètres, comparant le rendement des fruits et des graines des fleurs pollinisées par les insectes à celui des fleurs non pollinisées.

Mots clés : *Apis mellifera*, abeilles sauvages, pollinisation, efficacité pollinisatrice, cultures maraichères, comportement de butinage, dépôt de pollen, rendement, Mila

ABSTRACT

The pollination performance of pollinating insects may vary depending on their taxonomy, and the need to identify these pollinators and assess their effectiveness remains paramount for improving crop pollination services globally, as in many crops, fruit set closely depends on pollinating insects. Although the honeybee is often the primary pollinator used for most crops, wild pollinators can sometimes prove to be more effective and efficient. In this study, we examined the performances of *Apis mellifera* and several wild pollinators in the pollination of five different crops: broad bean (*Vicia faba*), melon (*Cucumis melo*), cucumber (*Cucumis sativus*), pumpkin (*Cucurbita maxima*), and alfalfa (*Medicago sativa*), which are globally important for their fruits or seeds. Research conducted between 2019 and 2023 in the Mila region explored the role of pollinator bees on the five studied plants. Experiments were conducted to compare the pollinating efficiency of several pollinators in terms of pollen deposition per visit, foraging behavior, and foraging speed. The results highlighted that *Eucera numida* is a more effective pollinator for broad beans, while *Ceratina cucurbitina* and *Megachile pilidens* have been shown to be more efficient pollinators for melon. Furthermore, for cucumber, *Ceratina cucurbitina* and three species of the genus *Megachile* (*Megachile apicalis*, *Megachile pilidens*, and *Megachile leachella*) were identified as the main pollinators. Regarding alfalfa, effective pollination was observed mainly with two species of the genus *Megachile* (*Megachile apicalis* and *Megachile leachella*). Finally, the species *Bombus ruderatus* was identified as the best pollinator for pumpkin.

A significant improvement in grain and fruit yield of all plants was recorded by studying several parameters, comparing the yield of fruits and seeds from pollinated flowers by insects to those of unpollinated flowers.

Keywords: *Apis mellifera*, wild bees, pollination, pollinating efficiency, market garden plants, foraging behavior, pollen deposition, yield, Mila

المخلص

قد تختلف فعالية التلقيح بين الحشرات الملقحة تبعاً لتصنيفها، وتظل الحاجة إلى تحديد هذه الملقحات وتقييم فعاليتها أمراً بالغ الأهمية لتحسين خدمات تلقيح المحاصيل على الصعيد العالمي، حيث يعتمد عقد الثمار في العديد من المحاصيل بشكل وثيق على الحشرات الملقحة.

على الرغم من أن النحل العسلي غالباً ما يكون الملقح الأساسي المستخدم لمعظم المحاصيل، إلا أن الملقحات البرية يمكن أن تكون أحياناً أكثر فعالية وكفاءة. في هذه الدراسة، قمنا بفحص أداء نحل العسل والعديد من الملقحات البرية في تلقيح خمسة محاصيل مختلفة:

، اليقطين (*Cucurbita maxima*) ، الخيار (*Cucumis sativus*) ، البطيخ (*Cucumis melo*) (*Vicia faba*) الفول ،

، والبرسيم (*Medicago sativa*) ،

والتي تعتبر مهمة عالمياً لأجل ثمارها أو بذورها. تم إجراء الأبحاث بين عامي 2019 و2023 في منطقة ميلا لاستكشاف دور نحل التلقيح على النباتات المدروسة. تم إجراء تجارب لمقارنة كفاءة التلقيح لعدة ملقحات من حيث ترسيب حبوب اللقاح لكل زيارة، وسلوك ، بينما تبين أن *Eucera numida* هو ملقح أكثر فعالية للفول للبحث عن الغذاء، وسرعة البحث عن الغذاء. أشارت النتائج إلى أن هما ملقحان أكثر كفاءة للبطيخ. علاوة على ذلك، بالنسبة للخيار، تم تحديد *Megachile pilidens* و *Ceratina cucurbitina* ، و *Megachile pilidens* ، *Megachile apicalis* و *Megachile* وثلاثة أنواع من جنس *Ceratina cucurbitina* ، *Megachile* كملقحات رئيسية. فيما يتعلق بالبرسيم، لوحظ تلقيح فعال بشكل رئيسي مع نوعين من جنس (*Megachile leachella* و *Megachile apicalis*) ، *Megachile leachella* و *Megachile apicalis* كفضل ملقح لليقطين *Bombus ruderatus* أخيراً، تم تحديد نوع (*Megachile leachella* و *Megachile apicalis*) ،

تم تسجيل تحسن كبير في محصول الحبوب والثمار لجميع النباتات بدراسة عدة معايير، ومقارنة محصول الثمار والبذور من الأزهار التي لفتتها الحشرات مع تلك التي لم تلقح.

الكلمات المفتاحية

، النحل البري، التلقيح، كفاءة التلقيح، نباتات الحدائق، سلوك البحث عن الغذاء، ترسيب حبوب اللقاح، (*Apis mellifera*) نحل العسل المحصول

CHAPITRE 1

Introduction

INTRODUCTION

La pollinisation constitue la première étape cruciale de la fécondation des plantes à fleurs (angiospermes), impliquant le transfert de pollen depuis les étamines jusqu'aux stigmates, elle se déroule entre les fleurs pour permettre la fertilisation et la reproduction.

Ce processus est principalement orchestré par diverses méthodes, incluant l'autopollinisation, la pollinisation par le vent (anémophilie) et celle par les insectes (entomophile). Parmi celles-ci, la pollinisation par les insectes, en particulier les abeilles, se distingue comme la forme de mutualisme la plus significative. Elle revêt une importance majeure dans plusieurs secteurs agricoles, notamment l'arboriculture fruitière, la production de semences et les cultures sous abris.

Les hyménoptères constituent les insectes qui effectuent convenablement la pollinisation et assurent parfaitement le transfert de pollen d'une plante à l'autre grâce à leur morphologie (corps poilu, présence de brosse de récolte), leur régime alimentaire exclusif de pollen et de nectar et surtout leur fidélité pollinisatrice lors du transfert de pollen entre les fleurs, ce sont de meilleurs vecteurs de pollen (1). Beaucoup d'autres insectes Coléoptère, Diptères et même Lépidoptères participent à la pollinisation mais dans la majorité des recherches ce sont les Hyménoptères qui sont plus efficaces et mieux adaptées à la réussite de ce processus. La coévolution entre les abeilles et les fleurs a entraîné une grande variété des espèces végétales que nous connaissons aujourd'hui. Les abeilles, qui comptent plus de 20 000 espèces dans le monde, jouent un rôle incontournable dans la survie et l'évolution de plus de 80 % des espèces végétales (2).

Les pollinisateurs jouent un rôle capital dans l'amélioration du rendement quantitatif et qualitatif de plusieurs cultures. En effet, les insectes sont responsables de la pollinisation pour la majorité des plantes cultivées pour l'alimentation humaine (3). La pollinisation par les abeilles domestiques est le mode le plus courant dans le monde entier (4,5) puisque lorsque le nombre des abeilles sauvages est limité *Apis mellifera* peut constituer une alternative viable pour prévenir les carences en pollinisation (5) actuellement elle est présente presque dans tous les continents mais elle n'est pas originaire de nombreuses parties de son aire de répartition y compris les tropiques; c'est la raison pour laquelle les scientifiques cherchent à évaluer la productivité des espèces d'abeilles sauvages en tant que pollinisateurs aux cultures agricoles et particulièrement celles qui dépendent fortement d'insectes pollinisateurs (6,7); plusieurs études ont confirmé l'inefficacité d'*Apis mellifera* en comparaison avec les populations d'abeilles

sauvages qui peuvent fournir de meilleur service de pollinisation pour plusieurs cultures par exemple l'espèce *Eucera numida* était plus efficace par rapport à *Apis mellifera* sur les fleurs de la fève(8); *Bombus spp* sont plus efficace dans la pollinisation de *Lonicera caerulea* (10)

1.1 Problématique

Cependant, tous les insectes ne sont pas considérés de la même manière par les scientifiques. Ces dernières années, les entomologistes ont alerté sur le déclin alarmant de la population et de la diversité des insectes, soulignant l'importance critique des insectes pollinisateurs pour la reproduction des plantes indigènes et des cultures agricoles. Malgré cela, certains groupes d'insectes pollinisateurs demeurent largement méconnus, sous-étudiés voire négligés, souvent injustement sous-estimés quant à leur importance. L'interaction entre les insectes sauvages et la pollinisation est l'un des phénomènes les plus fondamentaux et remarquables de la nature. Au cœur de ce processus se trouve une symbiose complexe entre les plantes et les insectes, où chacun d'eux joue un rôle vital dans la reproduction et la survie des espèces végétales, ainsi que dans la préservation de la biodiversité. Alors que les abeilles domestiques sont souvent les premiers insectes qui viennent à l'esprit lorsqu'on évoque la pollinisation puisque, une myriade d'autres espèces joue également un rôle essentiel, offrant une diversité et une résilience cruciales aux écosystèmes.

1.2 Hypothèses de travail

Hypothèse 1 : Les abeilles sauvages sont plus efficaces que les abeilles domestiques pour la pollinisation de certaines cultures maraîchères.

Hypothèse 2 : La diversité des pollinisateurs sauvages contribue à une meilleure récolte et productivité des cultures maraîchères dans la région méditerranéenne.

Hypothèse 3 : La pollinisation par les insectes sauvages améliore significativement le rendement et la qualité des cultures maraîchères par rapport aux fleurs non pollinisées.

Hypothèse 4 : La variation saisonnière des populations d'abeilles sauvages influence directement le succès de la pollinisation des cultures étudiées.

Dans cette introduction, nous explorons en profondeur le rôle précieux des insectes sauvages dans le processus de pollinisation, en mettant en évidence leur importance pour l'agriculture, la conservation de la nature et la subsistance humaine. Il est crucial de reconnaître que certains groupes d'insectes ont une histoire de coévolution longue et étroite avec les fleurs, les abeilles domestiques étant l'exemple le plus emblématique. Il est donc logique et nécessaire de les inclure dans la plupart des recherches, mais cela ne doit pas se faire aux dépens des autres pollinisateurs. De plus, les caractéristiques propres à certains insectes posent des défis techniques dans l'étude de leur interaction avec les fleurs. Par exemple, les habitudes nocturnes ou crépusculaires, la répartition géographique restreinte, les faibles fréquences de visite naturelles ou la recherche de fleurs dans des endroits inaccessibles, tels que la canopée forestière, entravent les études sur ces groupes. Par conséquent, ces groupes finissent par être sous-étudiés. En outre, le financement de la recherche est principalement orienté par des considérations économiques, favorisant la recherche sur les pollinisateurs déjà connus dont le rôle dans les cultures agricoles est bien compris. Par conséquent, d'autres groupes, dont le rôle est encore mal compris, sont souvent négligés.

1.3 Objectifs

Compte tenu du manque d'études sur les pollinisateurs des cultures maraîchères dans le bassin méditerranéen, en particulier en Algérie, il est crucial de mener des recherches pour évaluer les performances de pollinisation des espèces d'abeilles sauvages sur les cultures étudiées et identifier les pollinisateurs pouvant être utilisés pour améliorer la pollinisation. L'objectif de cette étude consiste à examiner quatre cultures maraîchères (fève, concombre, melon, citrouille,) à Boumalek et une culture fourragère (la luzerne) à Ain Foua, dans la région de Mila. Pendant deux floraisons pour chaque plante, nous évaluons les performances de pollinisation des abeilles domestiques et sauvages, en soulignant leur importance pour l'agriculture, la préservation de la nature et la vie humaine. Les insectes pollinisateurs des cultures étudiées sont mis en évidence par l'estimation de leurs densités et par l'observation de leur comportement sur les fleurs, ainsi que par l'efficacité pollinisatrice des espèces principales en mesurant la quantité des grains de pollen déposés sur les stigmates des fleurs. De plus, nous examinons l'impact de la pollinisation entomophile en comparant le rendement des fleurs pollinisées par les insectes pollinisateurs avec celui des fleurs non pollinisées.

Cette thèse se divise plusieurs parties distinctes. Au début l'étude se penche sur les Apoïdes et leur interaction avec les plantes à fleurs, en présentant également les différentes espèces de

plantes examinées. La partie suivante présente une description de la zone d'étude, ainsi qu'une description complète du matériel et des techniques employés dans les expérimentations réalisées sur terrain et au laboratoire. Pour simplifier la compréhension des résultats qui seront abordés ultérieurement. Enfin, la dernière partie se consacre aux résultats obtenus et aux discussions qui en découlent, en particulier, l'étude des Apoïdes et de leurs relations avec les plantes examinées, nous procédons à l'identification des abeilles pollinisatrices, en évaluant à la fois leurs densités et leur efficacité dans le processus de pollinisation. Par la suite, nous évaluerons leur impact en comparant le rendement des plantes laissées à l'état naturel avec celui des plantes encagées. Ces résultats seront présentés puis discutés en approfondissant les nouvelles découvertes réalisées dans notre région d'étude et en les comparant aux travaux similaires menés en Algérie et à l'échelle internationale. Finalement, nous terminerons cette étude en présentant une synthèse globale et des perspectives prometteuses pour de futures études dans ce domaine.

Les données collectées lors de cette recherche aideront les gestionnaires à mettre en œuvre des stratégies de pollinisation durables pour maximiser le rendement

Chapitre 2

Données Bibliographiques

DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

2.1 Aperçu des Apoïdes

Les hyménoptères comprennent plus de 100000 espèces à travers le monde entier. Leur nom dérive de caractéristiques anatomiques distinctives comme la présence de deux paires d'ailes membraneuses, dont la première paire d'aile appelée aile antérieure est plus développée. Cette caractéristique est reflétée dans l'étymologie du terme « Hymenoptera », ou Hymenos fait référence à la membrane et pteron à l'aile (3).

Il existe deux sous-ordres dans l'ordre des Hyménoptères : les Symphytes et les Apocrites.

Les apocrites ont une particularité de rétrécissement là où le premier segment abdominal soudé au thorax pour former le mésosome ainsi que le reste de l'abdomen forme le métasome « taille de guêpe » contrairement aux Symphytes qui se distinguent par l'absence de ce caractère (Figure 2.1).

Les ailes présentent une structure membraneuse, tandis que l'abdomen est typiquement composé de six segments pour les femelles et de sept pour les mâles. Chez les femelles, le dernier segment de l'abdomen est souvent doté d'un plateau appelé pygidium. Les femelles ont douze articles antennaires tandis que les mâles en ont treize.

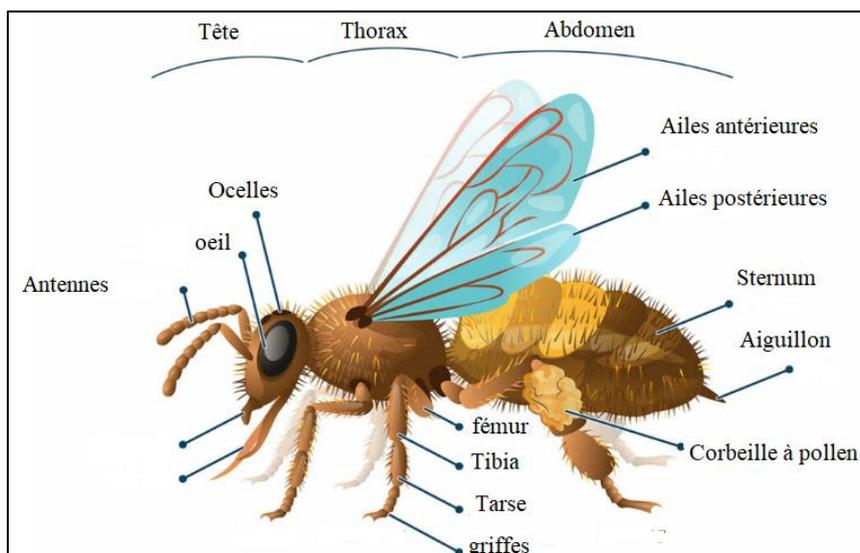


Figure 2.1 Anatomie générale d'une abeille (Anonyme1)

Les ailes antérieures présentent des nervures (Figure 2.2), (comme la nervure récurrente, médiane, transversocubitales et cubitales) qui marquent les cellules telles que les cellules discoïdales, marginale et submarginale.

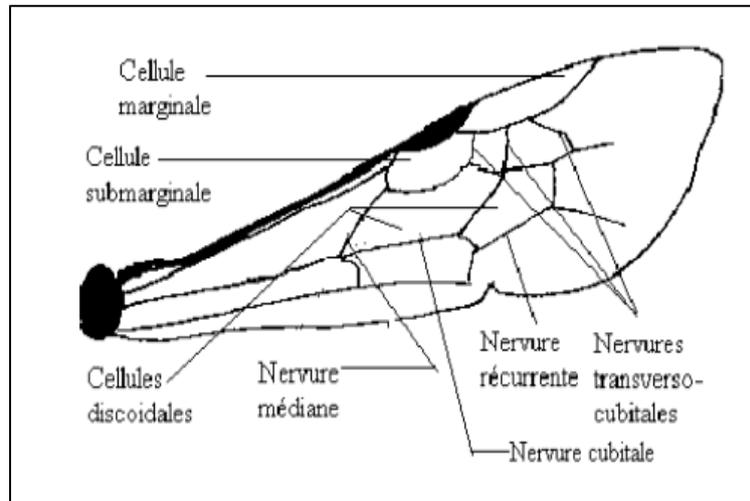


Figure 2.2 Ailes postérieures d'une abeille d'après (Benachour 2008)

Les pattes sont formées de cinq segments distincts. Sur le quatrième segment (le tibia), se trouve une structure nommée plateau basitibial, pouvant adopter une forme dentelée. Le cinquième segment est composé de cinq articles (Figure 2.3), dont la dernière se termine par une paire de griffes simples ou bifides, avec entre elles le pulvillus ou arolium (une structure adhésive).

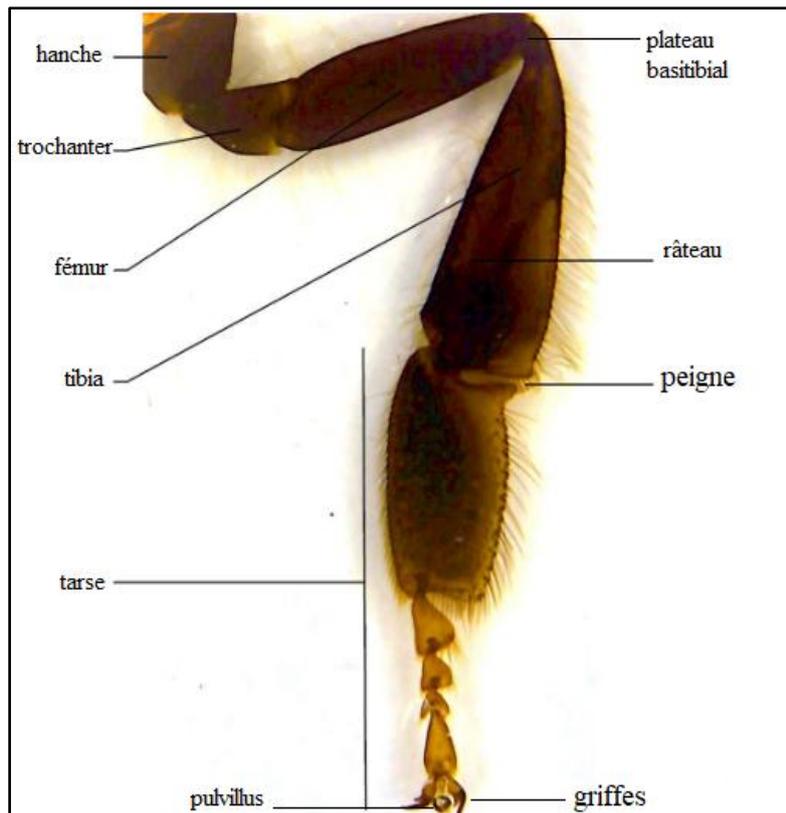


Figure 2.3 Une patte postérieure d'une abeille (Anonyme 2)

Toutes les abeilles, qu'elles soient en société, solitaires ou parasites, font partie de la super famille des apoïdes. Les apoïdes sont des mellifères, car ils rassemblent le nectar et le pollen pour nourrir les larves. On peut expliquer leur efficacité pollinisatrice par des structures morphologiques particulières (3).

Selon (1), il existe plus de 20000 espèces d'abeilles répartis dans le monde entier, regroupées en 9 familles. En Algérie, six de ces familles ont été répertoriées : les Andrenidae, Apidae, Colletidae, Halictidae, Megachilidae, Mellitidae (11–13). La taille des pièces buccales, et plus particulièrement des glosses, varie entre les familles des apoïdes: les Megachilidae et les Apidae sont souvent qualifiées d'abeilles à langue longue avec une glosse développée (3) tandis que les autres familles possèdent une glosse courte et large.

2.1.1 Les interactions fleurs-abeilles

2.2 Notion de fécondation et pollinisation

Les fleurs et les abeilles sont des organismes inséparables sur la base des échanges mutuels. Les abeilles tirent principalement leur source alimentaire du nectar et pollen des fleurs, tandis que les plantes bénéficient réciproquement de la reproduction grâce à ces visites (14). Il y a une

complémentarité entre les pièces buccales des abeilles et la forme des fleurs qu'elles butinent. Plusieurs études ont montré la relation des abeilles (sauvages et domestiques) avec les fleurs des cultures, Ces insectes jouent un rôle essentiel à la reproduction sexuée et participent à la survie et au développement de 70% des plantes à fleurs (15).

2.2.1 La pollinisation

La pollinisation des plantes est une opération biologique primordiale par laquelle les grains de pollen sont transporté des organes mâles d'une fleur, appelés étamines, vers les organes femelles, appelés pistil (Figure 2.4). La pollinisation peut se produire sous deux formes différentes :

- Allogame désigne le processus de fécondation où l'ovule est fécondé par les grains de pollen provenant d'une plante distincte mais de la même espèce.
- Autogame fait référence au processus de fécondation où les grains de pollen fécondent les organes femelles de la même fleur ou ceux d'autres fleurs de la même plante.

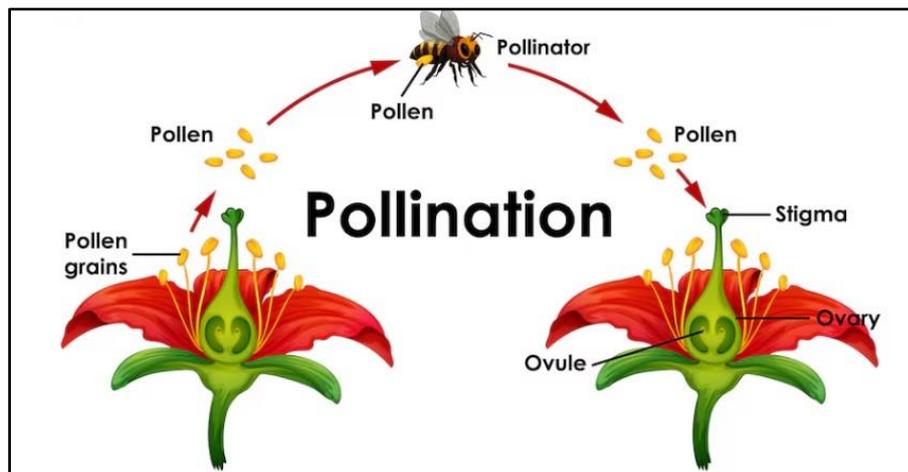


Figure 2.4 Schéma montrant la pollinisation (Anonyme 3)

2.2.2 Les types morphologiques des plantes

Il existe quatre types de plantes différents

Plantes hermaphrodites

Chez ce type de plante les organes reproducteurs mâles et femelles coexistent au sein d'une seule fleur (Figure 2.5). 70% des angiospermes ont cette caractéristique hermaphrodite. Lorsque les grains de pollen d'une fleur pollinisent l'ovule de la même fleur, on parle d'autopollinisation

(autogamie). En revanche, lorsque le pollen est issu d'une autre fleur sur le même plant ou sur un plant distinct, c'est le cas de la pollinisation croisée cette méthode de reproduction est observée chez plusieurs plantes comme l'aubergine, le pois chiche et le pommier

Plantes monoïques

Chez ce type de plantes les organes de reproduction mâles et femelles sont séparés (Fig. 5), on distingue deux types de fleurs, sur chaque pied on trouve des fleurs staminées et des fleurs pistillées. Dans ce cas la pollinisation ne pourra s'effectuer qu'à l'intervention de pollinisateurs (pollinisation croisée), soit entre deux fleurs de la même tige, soit entre des fleurs de différentes tiges. Parmi les plantes monoïques on cite : concombre, melon, citrouille, courgette.

Plantes dioïques

Chez ce type, chaque pied porte exclusivement des fleurs staminées ou des fleurs pistillées nécessitant ainsi une intervention obligatoire pour transporter le pollen d'une fleur à l'autre (Fig.5), comme le chanvre et l'aulne.

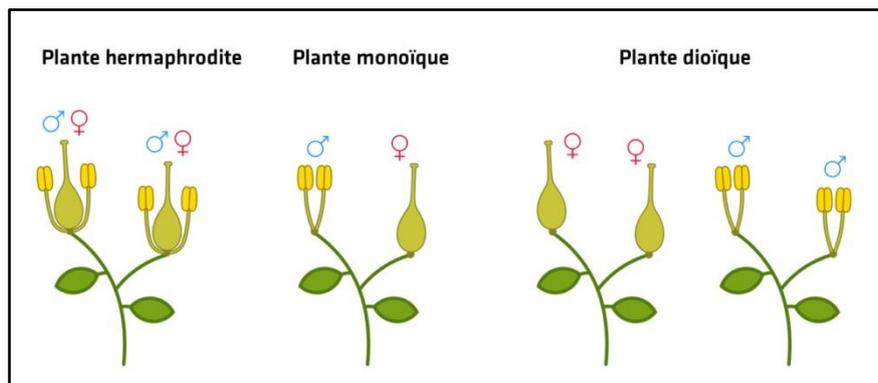


Figure 2.5 Schéma des plantes Hermaphrodite, monoïques et dioïques (Anonyme 4)

Plantes andromonoïques

Une espèce végétale andromonoïque est une espèce présentant une andromonoécie (Figure 2.6), avec des fleurs hermaphrodites et des fleurs staminées (androdioécie) ou avec des fleurs hermaphrodites et des fleurs pistillées (gynodioécie).

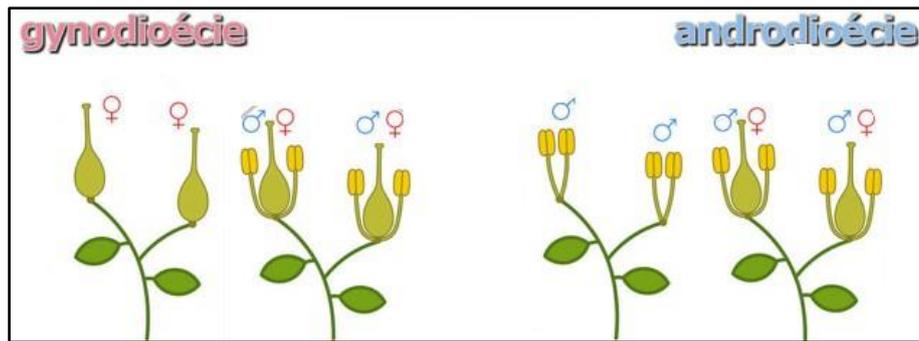


Figure 2.6 Schéma des plantes andromonoïques (Anonyme5)

2.2.3 Les agents pollinisateurs

L'anémogamie

L'anémogamie est la pollinisation par le vent, Les fleurs pollinisées par le vent possèdent des caractéristiques spécifiques qui facilitent le transfert du pollen à travers le vent. Elles génèrent une abondance de grains de pollen légers et fins, facilitant ainsi leur dispersion par le vent et leur dépôt sur les stigmates pour la pollinisation, le périanthe est peu attractif pour les insectes, ce genre de plantes ne produit pas de nectar (16).

L'hydrogamie

L'hydrogamie est la pollinisation par l'eau, Ce type caractérise uniquement les plantes aquatiques.

La zoogamie

La zoogamie implique la pollinisation par les animaux, avec divers organismes pollinisateurs tels que les chauves-souris, les oiseaux, les mollusques, etc. mais les insectes restent les pollinisateurs les plus efficaces ainsi que les mieux adaptés à la pollinisation des plantes à fleurs. Cependant, seuls quelques ordres d'insectes se démarquent par leur interaction avec les fleurs et peuvent être désignés comme des pollinisateurs efficaces.

Ces ordres comprennent les coléoptères, les lépidoptères, les diptères et les hyménoptères.

- Les coléoptères

La contribution des coléoptères à la pollinisation est particulièrement significative dans les milieux tropicaux et les zones arides (17), Des études ont révélé leur importance dans la reproduction de certaines espèces telles que le châtaignier (18), Ils sont capables de collecter le

pollen et le nectar. Cependant, quelques espèces de la famille des Cantharidae, dont plusieurs genres possèdent des pièces buccales adaptées à la récolte du nectar.

- Les diptères

La pollinisation des cultures à petites fleurs est assurée par les mouches. Elles consomment essentiellement du nectar et parfois du pollen. On retrouve sur de nombreuses plantes des familles de diptères comme les Calliphoridae, les Syrphidae et les Bombyliidae (17)

- Les lépidoptères

Les papillons se nourrissent du nectar avec leurs trompes de plusieurs centimètres de long. Leur but alimentaire est le nectar puisque ce sont des insectes nectarifères. Lorsqu'elles visitent une fleur, les grains de pollen s'accrochent à leur corps et sont ainsi transportés d'une fleur à l'autre, assurant la pollinisation accidentellement.

- Les hyménoptères

Les hyménoptères, comprenant les fourmis, les guêpes et les abeilles, sont les meilleurs pollinisateurs avec un rôle prédominant. Les abeilles possèdent plusieurs caractéristiques qui en font des pollinisateurs exceptionnels et notamment leurs régimes alimentaires basé sur le nectar et le pollen ; lorsque l'abeille visite une fleur pour collecter le nectar, elle touche les organes de reproduction, ce qui entraîne le transfert de pollen sur son corps ou son dépôt directement sur les stigmates.

2.2.4 Adaptation des hyménoptères à la récolte de nectar :

Les mandibules des hyménoptères sont conçues pour faciliter la manipulation de la cire par les bourdons et les abeilles domestiques, ainsi que pour collecter la propolis (une résine employée pour fermer les fissures et fixer les rayons des ruches). Les maxilles s'étirent pour créer la glosse qui facilite la récolte de nectar par l'abeille. La taille de la glosse diffère en fonction des familles (Figure 2.7).

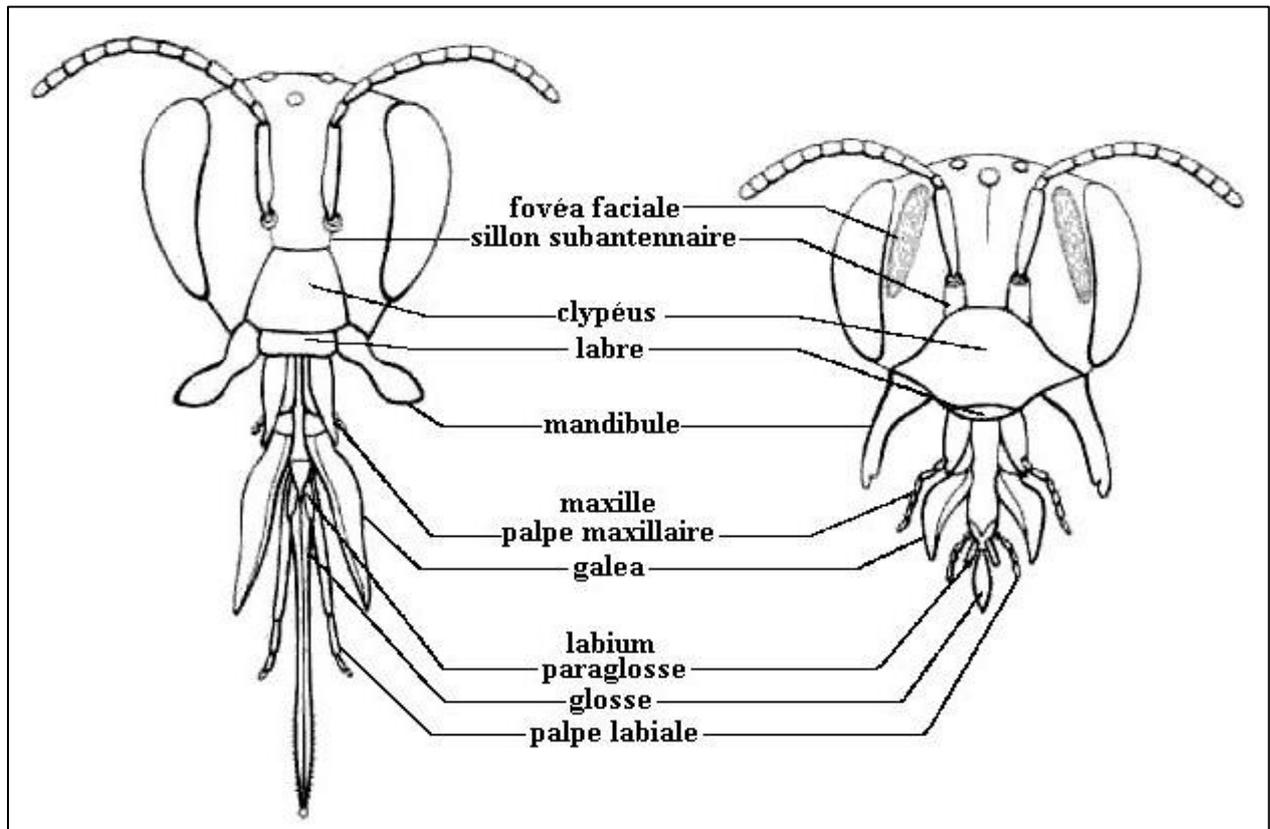


Figure 2.7 Les deux types de pièces buccales chez les apoïdes (Anonyme 6).

2.2.5 Adaptation des hyménoptères à la récolte et au transfert de pollen :

La structure corporelle des abeilles est spécifiquement adaptée à la pollinisation. Elles sont caractérisées par leurs pilosité dense, avec des poils ou des soies souvent plumeux, ces poils favorisent la fixation des grains de pollen lors des visites floraux et permettent à l'abeille de transporter efficacement le pollen, les poils sont principalement trouvés sur les pattes postérieures des femelles (Tibia) formant une sorte de corbeille de récolte (Figure 2.9) ou sur la partie ventrale de l'abdomen créant ainsi une brosse appelée la brosse ventrale (Figure 2.8) (caractère anatomique des espèces de la famille Megachilidae). De plus, certaines abeilles ont la capacité de transporter le pollen sur leur thorax, comme chez les Andrenidae ou au niveau des poils de l'abdomen ce sont surtout les Halictidae et les Colletidae qui possèdent cette densité de poils sous la partie antérieure de l'abdomen.

De plus, le fémur des pattes postérieures chez plusieurs espèces présente une structure similaire à la corbeille observée chez les Apidae, contournée de ramifications de franges de poils.



Figure 2.8 Photo démontrant la brosse ventrale d'un Anthidium; Megachilidae (Pauly 2015)



Figure 2.9 Photo d'une corbeille de récolte au niveau de la patte postérieure d'une abeille domestique (Anonyme7)

2.2.6 Les types des pollinisateurs en fonction de leurs choix du pollen

La plupart des abeilles pollinisatrices sont actives le printemps (3) car l'activité des apoïdes autochtones se manifeste par de brèves phases de butinage qui se synchronisent avec l'éclosion

de leurs plantes hôtes. Selon les recherches de (19), les abeilles sont classées en trois groupes en fonction de leur préférence alimentaire pour le pollen.

Les espèces polylectiques, ce sont les pollinisateurs qui collectent le pollen à partir d'un large éventail de plantes de familles multiples.

Les espèces oligolectiques, ce sont les pollinisateurs qui récoltent le pollen à partir d'un seul groupe restreint de plantes issues d'une seule famille.

Les espèces monolectiques, sont des pollinisateurs qui se limitent à un seul genre voire une seule espèce de plante pour leur approvisionnement en pollen.

2.2.7 Facteurs qui influencent la pollinisation entomophile

Les conditions météorologiques influencent l'activité des pollinisateurs comme la vitesse du vent, l'humidité de l'air, la température et les précipitations; la température est un facteur très important car les insectes ne peuvent pas s'adapter ni avec des températures très élevées ni très basses Selon (20), l'abeille est activement en vol à une température minimale de 10°C.

La lumière aussi est un facteur très important dans la perception des cycles jours-nuit par les insectes, ce qui influence leur comportement de butinages et leur activité pollinisatrice pendant les périodes diurnes, nocturnes ou crépusculaire. La présence de nuages ou d'orage peut modifier la luminosité, ce qui peut dynamiser l'activité des pollinisateurs actifs au crépuscule.

Le niveau d'humidité relative influe sur la teneur en sucre du nectar produit par les nectaires des fleurs, donc elle affecte indirectement l'activité entomophile.

Pendant la période pollinique la pluie empêche le pollen à se libérer de la fleur et perturbe l'activité des abeilles (21).

2.2.8 Incidence économique de la pollinisation sur la récolte des différentes cultures

Les abeilles sont indispensables à la sécurité nutritionnelle et à l'alimentation, environ 33% de nos sources nutritionnelles dépendant de leur performance de butinage, Elles contribuent à environ 80% de la pollinisation des espèces végétales, garantissant de ce fait la pérennité, le développement et la reproduction des végétaux.

L'évaluation économique de la participation des insectes pollinisateurs peut se faire à travers un coefficient, représentant la contribution des pollinisateurs à la productivité d'une plante cultivée.

En France, cette contribution a été estimée à environ 3,6 milliards de francs en 1982, En Amérique, les ouvrières d'*Apis mellifera* contribuent à hauteur de 80% de la fertilisation, avec des impacts positifs évalués à 9,7 milliard de dollars (22). le progrès de la rentabilité agricole sur la qualité et la quantité attribuée exclusivement aux abeilles mellifères est évaluée à 14,6 milliards de dollars pour toutes les cultures aux États-Unis (22).

D'après la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services éco systémiques, les abeilles fournissent des services écologiques et financiers estimés à 577 milliards de dollars (13). Leur rôle dans la pollinisation des plantes favorise la production agricole, assurant ainsi la sécurité alimentaire, tandis que leurs produits riches en éléments nutritifs tels que le miel, la gelée royale et le pollen contribuent à L'apport nutritionnel pour la population(13).

Cependant, cette évaluation doit également tenir compte des autres agents pollinisateurs, tels que les abeilles solitaires, ainsi que la pollinisation dirigée réalisée par des ruches à proximité des cultures à polliniser. De plus, l'incidence de la pollinisation sur le niveau qualitatif des produits, en particulier pour les fruits, car une pollinisation insuffisante peut entraîner des déformations et une moins bonne conservation des fruits (22).

L'évaluation de la répercussion financière de la pollinisation entomophile est à la fois complexe et essentielle. Certaines cultures, telles que le petit pois, ne montrent qu'une faible augmentation, voire aucune, de leur productivité lorsqu'ils bénéficient de la pollinisation par les insectes, tandis que d'autres comme la fève bénéficie considérablement de leur présence. De nombreuses cultures et notamment celles appartenant aux familles, des Fabaceae, Rosaceae et des Brassicaceae, Ne donnent que peu ou pas de fruits ni de graines sans l'intervention des insectes pollinisateurs

2.2.9 Le rôle des pollinisateurs sauvages dans l'agriculture

Les apoïdes sauvages ont un rôle très important au sein de la pollinisation des cultures et sauvages et peuvent même fournir de meilleurs services de pollinisation par rapport à l'abeille domestique par exemple le seuil thermique d'activité des bourdons est souvent inférieur à celui

de l'abeille domestique ce qui signifie qu'ils peuvent résister même lorsque la température est relativement basse, De plus les femelles des apoïdes solitaires peuvent transporter de grande quantité de graine de pollen sur le corps et déposer plus de graines de pollen sur les stigmates ce qui signifie que les abeilles sauvages peuvent être plus efficaces par rapport à l'abeille domestique, aussi les abeilles sauvages de certains genres (*Osmia*, *Anthophora*, *Bombus*) sont plus rapides et très actifs avec une vitesse qui dépasse celle de l'abeille domestique

Dans certains pays, l'élevage des abeilles sauvages est effectué pour assurer et maximiser la réussite de la pollinisation des plantes insuffisamment pollinisées par les abeilles domestiques, puisque une pollinisation insuffisante peut influencer la quantité et la qualité des fruits ou graines obtenues, une mauvaise adaptation à la morphologie d'une fleur peut entraîner une pollinisation inadéquate et pour cela la combinaison de plusieurs pollinisateurs reste la meilleure des façons pour maximiser le taux de pollinisation.

Plusieurs recherches ont montré l'efficacité pollinisatrice des pollinisateurs sauvages sur le rendement quantitatif et qualitatifs des cultures par exemples.

l'utilisation de l'espèce *Megachile minutissima* avait un effet bénéfique remarquable sur le rendement grainier de la luzerne en Egypte (24), aussi l'élevage de l'espèce *Megachile rotundata* a eu un succès énorme d'ailleurs des dizaines de millions de cocons de cette espèce sont commercialisés intensivement. Le Canada domine la production et l'exportation de ces cocons. Ce pollinisateur est principalement adapté à la pollinisation de *Medicago sativa*.

Les osmies sont utilisées généralement pour polliniser les cultures fruitières aux États-Unis, en Espagne et au Japon. L'espèce *Osmia lignaria* est largement utilisée au Canada et en Amérique pour polliniser les fleurs des arbres fruitiers (25–27). L'espèce *Osmia cornuta* est souvent utilisée pour améliorer le succès de la pollinisation d'amandier et de pommiers (28–31).

L'élevage des bourdons est souvent utiliser pour maximiser le rendement en garantissant une bonne pollinisation de certaines cultures sous serre comme la fraise (32–35) l'aubergine (36) et la tomate (37–42). L'anatomie et le comportement de butinage des bourdons les rendent plus efficaces pour polliniser les cultures par rapport aux abeilles domestiques(17)

2.3 L'Activité agricole en Algérie

Bien que l'Algérie abrite une diversité naturelle impressionnante, son secteur agricole ne parvient pas à être autosuffisant, ce qui se traduit annuellement par un manque significatif ou

près de 75% des exigences alimentaires sont comblés par des importations. Au fil des années 2000, l'Algérie a entrepris une série d'initiatives dans le but d'améliorer la sécurité alimentaire nationale, à développer des filières agricoles prioritaires et à exploiter efficacement les terres agricoles. Ces efforts ont été formalisés à travers divers plan nationaux, influencés par les fluctuations des revenus pétroliers, comprenant surtout le Programme National de Développement Agricole (PNDA 2000-2010), la politique de renouveau Agricole et Rural (PRAR 2010-2014), et le plan FELAHA2014-2020(13).

L'Algérie, le plus vaste pays d'Afrique avec une superficie de 2.381.741Km², dispose de 8,5 millions d'hectares de terres cultivables, représentant uniquement 3,5% de la totalité de sa superficie. En 2017, plus de la moitié de la superficie agricole utile était consacrée aux grandes cultures principalement les céréales, qui dominent dans les zones semi-arides des hautes plaines telliennes, sub-arides des hauts-plateaux, ainsi que dans les régions humides et sub-humides des zones littorales et sub-littorales.

L'Algérie, le pays le plus étendu d'Afrique avec 2 381 741 km² de surface, possède 8,5 millions d'hectares de surfaces agricoles, ce qui ne représente que 3,5 % de son étendue globale. En 2017, plus de 50% de sa superficie convient à l'agriculture était allouée aux grandes cultures, principalement les céréales, qui sont prédominantes dans les zones semi-arides des hautes plaines telliennes, sub-arides des hauts plateaux, ainsi que dans les régions littorales et sous-littorales des zones humides et sub-humides.

La culture des arbres occupe plus de 10% de la superficie agricole utile, principalement avec des plantations d'oliviers, de palmiers dattiers et d'autres arbres fruitiers. Les cultures maraichères, qui représentent uniquement 5%, sont pratiquées principalement dans les parties côtières et sub-littorales ainsi que dans les plaines intérieures. Les principaux Wilayas productrices de légumes sont :Chlef, M'sila, Tlemcen, El Taraf, Tipaza, Skikda, Mostaganem, Mascara, Biskra, Alger, Boumerdes, Ain Defla (22)

Les cultures maraichères de base comprennent la pomme de terre, l'ail, l'oignon, la fève, la carotte, le navet, la tomate et le poivron /piment. Dans les oasis du sud, les agriculteurs entretiennent des jardins combinant palmiers- dattiers, cultures maraichères et arbres fruitiers, souvent irrigués par des techniques traditionnelles telles que les foggaras, développées dès le XI^{ème} siècle.

2.4 Informations générales sur les cultures étudiées

2.4.1 La fève (*Vicia faba* L)

La fève (*Vicia faba* L) est une culture protéagineuse de la famille des Fabaceae ,Elle est cultivée dans le monde entier non seulement pour ses grains comestibles mais aussi puisque elle favorise la fertilité du sol en fixant l'azote à une disponibilité accrue du phosphore et à effet phytosanitaire sur le sol entraînant un rendement plus élevé de la culture subséquente(43); elle fournit le nectar et le pollen pour plusieurs pollinisateurs(44). La fève peut être, autogame ou allogame selon les lignées (46,47), La fève, semée en automne et sa floraison le plus souvent entre février et avril.

2.4.1.1 La fleur

Les fleurs de la fève apparaissent en groupes de deux ou quatre formant des inflorescences et émergeant à l'aisselle des feuilles (Figure 2.10), avec une corolle irrégulière blanche agrémentée de taches brunes ou noires. Cette corolle se compose d'un grand pétale, appelé l'étendard, de deux pétales latéraux ou ailes qui recouvrent deux autres pétales inférieurs, unis de long de leurs bords extérieurs pour former la carène. Les étamines au nombre de 10 sont généralement soudées entre elles par leur filet dans une gaine

Sa corolle, d'un blanc irrégulier parsemé de taches foncées ou noires, est constituée d'un pétale principal, appelé l'étendard, accompagné de deux autres pétales dites ailes qui recouvrent deux autres pétales secondaires, unis le long de leurs bords extérieurs pour former la carène. Les dix étamines, sont habituellement fusionnées par leur filet dans une enveloppe.

En général, l'ovaire contient entre deux et neuf ovules. Le stigmate, au moment de sa réceptivité, est recouvert de papilles et produit un exsudat crucial pour la germination du pollen. Juste en dessous du stigmate, le style est équipé d'une brosse à longs poils. Les nectaires situés à la base de la corolle secrètent le nectar qui est également secrétée par des nectaires extra-floraux portés par des stipules foliaires. Les fruits sont des gousses contenant des graines.

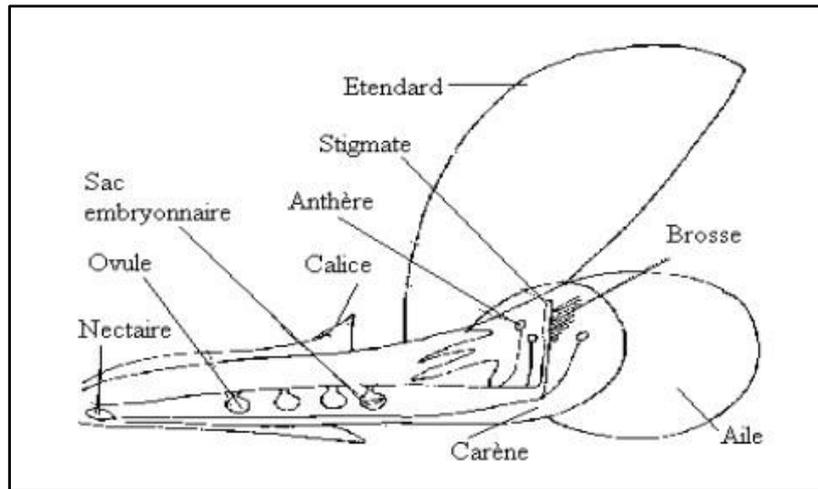


Figure 2.10 Section transversale d'une fleur de *Vicia faba* (Stoddard and Bond 1987)

2.4.1.2 Position systématique

Régne : Plantae

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Fabales

Famille : Fabacea

Sous famille : Faboideae

Genre : *Vicia*

Espèce : *Vicia faba* L

2.4.2 Le Concombre (*Cucumis sativus* L)

Le concombre (*Cucumis sativus* L) est une plante annuelle de la famille des Cucurbitaceae, Les fleurs mâles et femelles sont distinctes mais se trouvent sur le même pied de la plante, ce qui la rend monoïque. Certaines variétés sont exclusivement femelles (gynoïques) d'autres sont Parthénocarpiques qui produisent des fruits sans nécessiter de pollinisation. Bien que sa valeur nutritionnelle soit relativement modeste, Le concombre est hautement apprécié et consommé frais ou sous forme de diverses conserves. Le concombre est répandu dans le monde entier. En

Algérie, le climat et la nature du sol sont très favorables pour une production améliorée que ce soit sous serres ou en plein champ

2.4.2.1 La fleur

Les fleurs du concombre sont de couleur jaune et apparaissent à l'aisselle des feuilles. Elles se composent de cinq pétales ridés partiellement fusionnés. Les fleurs staminées sont plus abondantes et précèdent les fleurs pistillées de quelques jours. Chaque fleur est portée par un fin pédoncule et possède 3 étamines dont deux ont 2 anthères et la troisième en a une seule (Figure 2.11). Les fleurs pistillées sont généralement solitaires et soutenues par un pédoncule robuste. Elles sont aisément identifiables par leur ovaire allongé situé à la base de la fleur. Leur stigmate, formé de trois lobes épais, est porté par un style large. L'ovaire est divisé en 3 chambres, chacune contenant plusieurs rangs d'ovules

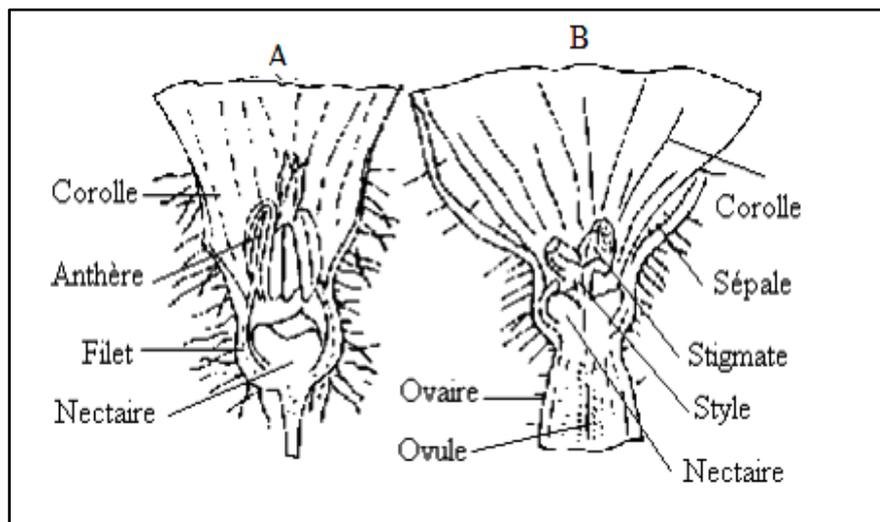


Figure 2.11 Section longitudinale d'une fleur mâle (A) et d'une fleur femelle (B) du concombre *Cucumis sativus* d'après (McGregor 1976a)

2.4.2.2 Position systématique

Règne : Plantae

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Cucurbitales

Famille : Cucurbitaceae

Genre : *Cucumis*

Espèce : *Cucumis sativus* L

2.4.3 Le melon (*Cucumis melo* L)

Le melon (*Cucumis melo* L) est une plante grimpante annuelle de la famille des cucurbitacées, originaire d'Afrique intertropicale, elle est cultivée pour son fruit délicieux, est l'une des cultures les plus consommées mondialement. Les plantes de *Cucumis melo* peuvent être monoïques, portant à la fois des fleurs staminées et des fleurs pistillées ou andromonoïques avec des fleurs staminées et hermaphrodites. La plupart des variétés du melon exigent la présence des insectes pollinisateurs pour un meilleur rendement en fruits (48–50) car le melon ne produit pas de fruits par autopolinisation, ses fleurs nécessitent la présence de vecteurs biotiques (pollinisateurs) pour assurer le transfert de pollen (48) des fleurs staminées vers les fleurs pistillées pour les variétés monoïques et vers les fleurs hermaphrodites pour les variétés andromonoïques.

2.4.3.1 Fleurs

Les fleurs présentent une corolle jaune en forme de cloche avec des pétales presque circulaires, sont très identiques à ceux du concombre. Les fleurs staminées sont regroupées en fascicules de 2 à 4 fleurs et apparaissent avant les fleurs pistillées. En revanche, les fleurs pistillées ou hermaphrodites sont solitaires avec une corolle ovoïde (Figure 2.11) et un ovaire infère (les fleurs du melon sont les mêmes que celles du concombre).

2.4.3.2 Position systématique

Règne : Plantae

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Cucurbitales

Famille : Cucurbitaceae

Genre : *Cucumis*

Espèce : *Cucumis melo*

2.4.4 La citrouille (*Cucurbita maxima* L)

La citrouille *Cucurbita maxima* L est une plante grimpante de la famille des Cucurbitacée originaire d'Amérique du Nord, Elle est cultivée pour ses fruits comestibles, les plantes de citrouille sont monoïques présentent des fleurs mâles et femelles sur le même plan Les fleurs staminées produisent le pollen nécessaire à la fécondation des fleurs pistillées qui à leur tour produisent les fruits

2.4.4.1 Fleurs

Les fleurs de la citrouille sont souvent grandes de couleur jaune vif. Elles sont en forme de trompette avec cinq pétales distincts, les fleurs males sont plus nombreuses que les fleurs femelles, elles ont de longues tiges minces qui les relient à la plante, Les fleurs femelles sont caractérisées par la présence de petite bosse à la base de la fleur qui se développe ensuite en un fruit (Figure 2.12).

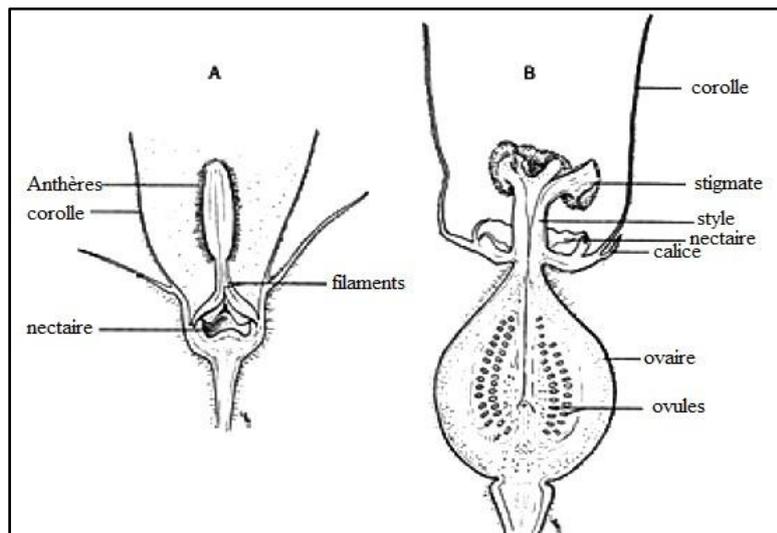


Figure 2.12 Section longitudinale d'une fleur mal (A) et femelle (B) de la citrouille *Cucurbita maxima* d'après (51)

2.4.4.2 Position systématique

Régne : Plantae

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Cucurbitales

Famille : Cucurbitaceae

Genre : Cucurbita

Espèce : *Cucurbita maxima* L

2.4.5 La luzerne (*Medicago sativa* L)

La luzerne *Medicago sativa* est une plante entomophile de la famille des Fabaceae , elle est souvent connu par le nom de « grand trèfle » ou la reine des plantes fourragères Elle est hautement appréciée par les producteurs du lait comme un aliment de haute valeur nutritive pour la vache laitière , une culture fourragère originaire des régions tempérées du proche orient et de l'Asie centrale , la luzerne est introduite dans toute les régions tempérées du monde notamment dans toute l'Europe , l'Afrique du nord et du sud , en Amérique du nord et du sud en Australie et la nouvelle Zélande et même en Afrique de l'est (52) .Elle dépend de la présence d'insectes pollinisateurs pour produire des graines (4), le vent et l'auto-déclenchement ne sont pas des agents pollinisateurs de la luzerne même si la luzerne ait tendance à se croiser ;l'autofécondation des fleurs est possible avec 11,8 % de la totalité de production dans un champ pollinisé par les abeilles (53).

2.4.5.1 Fleur

Les fleurs de luzerne sont petites, généralement de couleur bleu-violet bien que certaines variétés soient roses ou blanches. Elles poussent en grappes denses au sommet des tiges de la plante, les fleurs de luzerne ont une structure typique des fleurs de la famille des légumineuses. La fleur se compose de cinq pétales fusionnés avec une corolle de cinq pétales soudés en forme de papillon, les étamines et le pistil se réunissent sur la même fleur formant une fleur dites hermaphrodite (Figure 2.13)

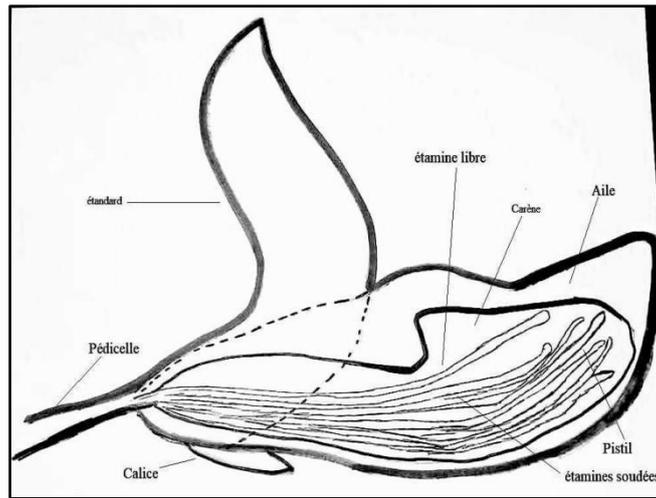


Figure 2.13 Coupe transversale d'une fleur de la luzerne (*Medicago sativa*)

2.4.5.2 Position systématique

Régne : Plantae

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Fabales

Famille : Fabaceae

Sous famille: Faboideae

Genre: *Medicago*

Espèce: *Medicago sativa* L

Remarque : toute les positions systématique ont été vérifié à l'aide de (54)

Chapitre 3

Matériel et méthodes

MATERIEL ET METHODES

3.1 Présentation de la wilaya de Mila

3.1.1 Coordonnées géographiques de la région de Mila

La wilaya de Mila se trouve au nord-est de l'Algérie ($36^{\circ}26'59''$ Nord $6^{\circ}15'51''$). Elle occupe une superficie totale de 348km^2 . Elle est bordée au nord par les wilayas de Jijel et Skikda, à l'est par la Wilaya de Constantine, au sud par Batna et Oum-El-Bouaghi, et à l'ouest par la wilaya de Sétif (Figure 3.14).

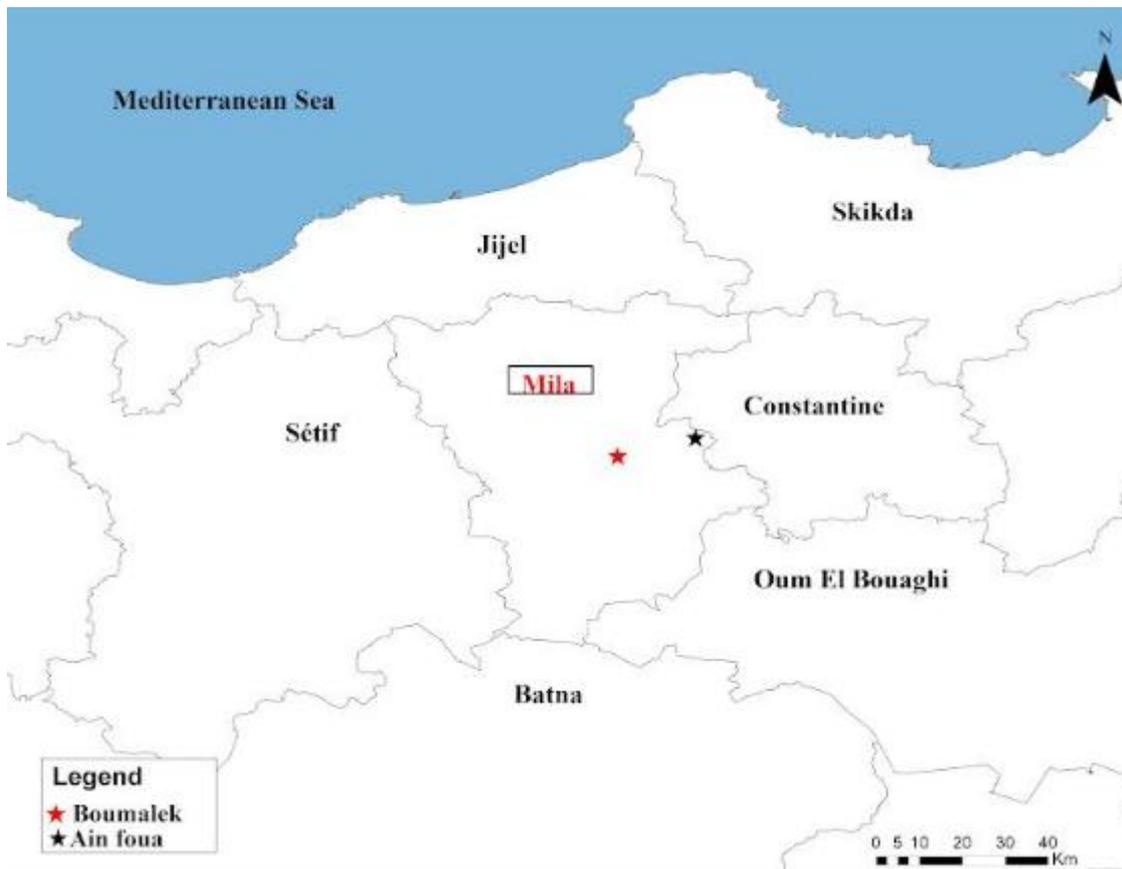


Figure 3.14 Carte de localisation et des wilayas limitrophes de Mila

Mila possède un climat tempéré méditerranéen à été chaud et sec avec des hivers doux et pluvieux.

3.1.2 Données météorologiques de la région de Mila

3.1.2.1 La température atmosphérique

La température est un élément clé du climat, elle est influencée par de divers facteurs comme l'exposition solaire, l'altitude et les particularités locales. Les relevés de température effectués

entre 2019 et 2023 (Tableau 3.1) indiquent que le mois le moins chaud de cette période est, janvier avec la moyenne la plus basse de 9.16°C. En revanche, le mois de juillet a enregistré la température la plus élevée, avec une moyenne de 32,28°C sur l'ensemble des années.

Tableau 3.1 Températures moyennes mensuelles (en degrés Celsius) enregistrées à la station météorologique de Mila entre 2019 et 2023.

	Jan	Fev	mar	Avr	Mai	Juin	jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
2019	7.9	11	13.5	14.8	20	27.1	31	30	25.4	20.2	11.2	12
2020	9.7	14.8	14.2	-	-	-	32.2	31	24.5	18.6	15.9	10
2021	9.6	13.8	13.9	16.8	22.7	27	31.7	31.9	27.1	19.9	10.5	11.2
2022	10	12.6	12.1	14.3	22.7	28.6	32.1	31.5	26.2	24	15.8	14
2023	8.6	10.5	15.5	20	19.7	27.4	34.4	31.5	26.5	23	15.7	11.5

3.1.2.2 L'humidité de l'air

La teneur en humidité atmosphérique, représentant la quantité d'eau dans l'air, varie selon les conditions climatiques. Les données recueillies entre 2019 et 2023 révèlent que novembre est le mois le plus humide. À l'inverse, juin est le mois le moins humide (Tableau 3.2)

Tableau 3.2 Fluctuations mensuelles du taux d'humidité relative de l'air (en pourcentage) enregistrées au site météorologique de Mila pendant la période allant de 2019 à 2023

	Jan	Fev	mar	Avr	Mai	Juin	jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
2019	76.2	62.4	62.3	66.9	52.3	43.6	37.4	43	53.9	56.8	82.9	71
2020	68.6	55.7	64.5	-	-	-	31.8	34	49.5	53.2	59.5	78.5
2021	76.5	59.8	58.6	60.8	48.3	44.3	33	36	47.4	50.5	86.9	71.3
2022	58.8	58.8	69.7	69.8	52.8	41.6	35.1	31.2	47.5	43.8	59.5	62.3
2023	74.1	63.3	55.2	35.4	55.4	46.8	33.3	31.1	47.1	48.1	60.1	70.2

3.1.2.3 La vitesse du vent

La vitesse du vent joue un rôle crucial dans de nombreux aspects de la météorologie et de l'environnement. Elle influence directement le transport des graines de pollen pour les plantes anémophiles. En agriculture, la vitesse du vent peut affecter la pollinisation des cultures en perturbant l'activité pollinisatrice des insectes. Le mois de novembre se distingue par les vitesses de vent les plus élevées, tandis que le mois de juillet a enregistré les valeurs de vitesse les plus basses.

Tableau 3.3 Évolutions mensuelles de la vitesse du vent (en Km/h) observées à la station météorologique de Mila entre 2019 et 2023.

	Jan	Fev	mar	Avr	Mai	Juin	jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
2019	6.1	5.8	6.2	5.5	5.8	6.8	12.2	12.6	11.2	9.2	11.5	9.9
2020	6.9	9.1	12.3	-	-	-	12.8	11.8	11.6	9.3	7.8	9.4
2021	10.1	11.4	10.4	10.8	11.7	14	11.9	11.1	12.3	10.7	8.1	7.1
2022	5.5	8.4	9.6	11.2	10	11.6	13.5	12	10.1	6.1	8.9	8
2023	8.2	8.6	9.3	12.8	11.5	11.8	11.5	12.4	12.7	9.5	8.2	5.1

3.1.2.4 Les précipitations

La pluviométrie a un rôle très important dans l'écosystème, influençant directement la croissance des plantes et, par conséquent, la disponibilité de nourriture pour la faune. De plus, elle influe sur l'existence et la densité des espèces animales dans un contexte spécifique. Les données présentées dans le Tableau 3.4 révèlent que le mois le plus arrosés au cours des cinq années d'étude est le mois de novembre, En revanche, le mois d'août se distinguent par leur faible pluviosité.

Tableau 3.4 Fluctuation mensuelles des précipitations (en millimètres) enregistrées à la station météorologique de Mila entre 2019 et 2023

	Jan	Fev	mar	Avr	Mai	Juin	jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
2019	147.8	59.18	64.51	117.59	19.3	2.54	3.3	0.25	88.39	21.07	148.36	29.97

2020	31.49	0	76.45	-	-	-	0	0.25	8.63	23.61	25.67	130.79
2021	81.52	5.14	59.43	29.94	15.24	9.91	3.56	0.25	17.27	0.76	328.9	70.61
2022	9.4	15.99	84.58	187.21	31.5	6.61	3.56	0	3.65	38.59	54.11	41.14
2023	116.59	62.98	16	1.02	47.25	43.95	0.25	0	3.62	7.11	79.75	74.42

3.1.3 Végétation

Dans la wilaya de Mila la végétation varie selon le climat et la topographie. La région est caractérisée par une large diversité d'écosystèmes

Une végétation typique des régions méditerranéennes avec des forêts de chêne-liège, de chêne vert, de cèdre et de pins d'Alep qui abritent une biodiversité très variée de la végétation et la flore caractérise les parties montagneuses de la Wilaya de Mila

La végétation est plus adaptée au climat semi-aride dans les plaines et les vallées avec des espèces végétales qui résistent à la sécheresse comme le romarin, le thym et le genévrier

La wilaya de Mila est très riche sur le plan écologique, Elle se caractérise par un éventail varié de paysages et de végétation en raison de la diversité du climat et des altitudes.

3.1.4 Hydrographie

La wilaya de Mila est traversée par plusieurs cours d'eau, son réseau hydrographique est très riche ce qui la rend l'une des meilleures parties de l'agriculture en Algérie

Oued Bouhamdane : est l'un des principales sources de la wilaya. Il prend sa source dans les monts de Titteri et traverse plusieurs localités de la wilaya et il se jette dans l'oued El Kebir

Oued El Kebir : C'est un court d'eau très utile qui traverse la wilaya de Mila du nord au sud, il contribue vraiment à l'irrigation des terres agricoles

Oued Boussalem : Il prend sa source dans les monts de Titteri et il se jette dans l'oued El Kebir

Oued Mellah : il prend également sa source dans les monts de Titteri et traverse la wilaya en passant par plusieurs stations

Oued Rhumel : Cet oued coule proche de la wilaya de Mila, est l'un des oueds les plus importants en Algérie, il influence indirectement l'aspect hydrologiques de la région

Ces cours d'eau ont un rôle capital dans l'irrigation des terres agricoles et l'approvisionnement en eau

3.1.5 Nature des sols

La nature des sols dans la Wilaya de Mila varie en fonction de la topographie, du climat et de l'activité géologique de la région. Voici une description générale de la nature des sols que l'on peut rencontrer :

Sols fertiles des plaines et des vallées : Les plaines et les vallées de la Wilaya de Mila abritent souvent des sols alluviaux riches en matière organique, résultant du dépôt de sédiments par les cours d'eau. Ces sols sont généralement très fertiles et favorables à l'agriculture.

Sols de montagne : Dans les régions montagneuses, on trouve une variété de sols, notamment des sols bruns forestiers et des sols de type lithosols. Ces sols peuvent être moins fertiles que ceux des plaines, mais ils peuvent tout de même être exploités pour l'agriculture, en particulier pour les cultures adaptées à ces conditions.

Sols arides des plateaux : Les plateaux de la wilaya de Mila peuvent présenter des sols plus pauvres et moins profonds en raison du climat semi-aride et de l'érosion. Les sols peuvent être rocailloux et moins propices à l'agriculture, bien que certaines pratiques de conservation des sols puissent améliorer leur fertilité.

Sols salins : Dans certaines zones, en particulier près des zones humides ou des cours d'eau, on peut rencontrer des sols salins qui posent des défis pour l'agriculture en raison de leur teneur élevée en sel.

Ces descriptions fournissent une vue d'ensemble des types de sols que l'on peut rencontrer dans la Wilaya de Mila, mais il peut y avoir des variations locales en fonction de facteurs tels que l'altitude, le drainage et l'utilisation des terres

3.2 Présentation des stations d'étude

Notre étude a été exécutée durant cinq ans au niveau de deux stations différentes : Boumalek et Ain Foua

Boumalek est situé dans la localité d'Oued el Athmania à l'est de la wilaya de Mila

Il s'agit de plusieurs parcelles différentes pour chaque plante étudiée ; la parcelle de la fève occupe une superficie de 3 hectares en 2019 (36°16'21'' N 6°14'03'' E) et 2 hectares en 2020

36°15'51''N 6°14'33''E) ; les études réalisées sur le concombre ont été déroulées dans une parcelle de 800m² (40m de long et 20m de large) durant les deux floraisons la culture de melon s'étale sur une superficie de 2hectares en 2019 (36°16'48'' N 6°13'30'' E) et 1hectare en 2021 (36°17'34''N 6°12'47''E), la citrouille a occupé une superficie de 500m² (50 m de long et 10 m de large) pour les deux floraisons

Tous les vergers sont entourés par une végétation herbacée contient de divers plantes sauvages telle que :

La deuxième station est une parcelle d'un hectare situé à Ain foua dans la commune de oued el Athmania (36°31'48,6''N 6°39'49.1''E), cette station est limité par les arbres de pins et entouré par des plante spontanées tel que : *Calendula arvensis* L. *Silybum marianum* L.(Asteraceae), *Sinapis arvensis* L. (Brassicaceae), *Malva sylvestris* L (Malvaceae), *Urospermum dalechampii* L (Asteraceae), *Oxalis pes-caprae* L (Oxalidaceae) *Borago officinalis* L (Boraginaceae),, *Asphodelus microcarpus* L (Liliacées).

3.2.1 Plantes étudiées

Les recherches ont été réalisées sur la fève en 2019 et 2020 (*Vicia faba* L) le concombre (*Cucumis sativus* L) en 2019 et 2020 et le melon (*Cucumis melo* L) en 2019 et 2021, La citrouille (*Cucurbita maxima* L) en 2019 et 2023 et sur la luzerne (*Medicago sativa* L) en 2021 et 2022.

Le tableau suivant représente des informations concernant les plantes étudiées

Tableau 3.5 Les différentes variétés de plantes étudiées, ainsi que les dates de semis et les densités de plantation, sont répertoriées.

Plantes	Variétés	Systèmes de plantation	Espacement entre les rangées	Densité	Date de semis
Fève	Major (trois graines par gousse (malté))	En ligne	75cm	25 plant /m ²	16 /11/2018 02/12/2019
Concombre	Super marketer	En ligne	80cm	18plants/m ²	11/05/2019 3/06/2021
Melon	Jaune canari	En ligne	60cm	15 plants/m ²	26/05/2019 09/05/2021
Citrouille	Rouge vif d'étampes	En ligne	1.5 à 2 m	7 plants/m ²	15/06/2019 25/06/2023
Luzerne	Le magnum	En ligne	18cm	50plants/m ²	15/03/2021 26/03/2022

3.3 Méthodes d'étude des apoïdes et leurs impacts sur le rendement

3.3.1 Recensement de la faune pollinisatrice des cultures étudiées

Afin d'effectuer le recensement des insectes pollinisateurs et évaluer la densité des fleurs ainsi que les observations du comportement de butinage. Nous avons suivi la méthode des quadrats (23) ; sept quadrats de 1m² soumis aux mêmes conditions (soleil, arrosage) ont été placés dans les vergers durant toutes les périodes de floraison pour chaque plante (Figure 3.15)



Figure 3.15 La méthode des quadrats

Pendant toute la période de floraison ; des sorties ont été programmées de 8h à 16h une fois tous les deux jours en respectant les conditions appropriées pour les pollinisateurs (température minimum 15°, vitesse du vent faible, absence de Pluie) ; en effectuant le comptage des pollinisateurs de quadrat en quadrat de façon à rester 8-9 min par m² de 8h à 16h de manière à capturer quelques espèces pour les identifier au laboratoire. Les pollinisateurs sont capturés directement à l'aide de pots en plastique, en notant l'heure de la collecte.

3.3.2 Etude Comportementale des butineurs

Les observations du comportement de butinage ont été réalisées uniquement pour les espèces abondantes sur les fleurs de chaque plante en notant le but alimentaire des visites effectuées (récolte du pollen , nectar ou les deux à la fois) , une visite est considérée pollinisante ou positive lorsque l'insecte entre en contact avec les stigmates, ce contact active la colonne staminale, ce

qui conduit à la libération du pollen (55). Contrairement aux visites non pollinisantes dites négatives là où les insectes volent le nectar à partir de la source sans passer par les organes de reproduction cela est dû aux trous perforés par les espèces du genre *Bombus* à la base de la corolle

3.3.3 Vitesse de butinage

L'efficacité pollinisatrice des pollinisateurs a été réalisée uniquement pour les espèces majeures pour chaque plante. Elle est mesurée par le nombre de visite pollinisante effectuée sur les fleurs et la vitesse de butinage en notant le nombre de fleurs visitées en une seule minute à l'aide d'un chronomètre électronique et en calculant le temps dépensé sur chaque fleur.

3.3.4 Efficacité pollinisatrice

Pour étudier l'efficacité pollinisatrice des espèces abondantes pour chaque plante une comparaison du nombre des graines de pollen déposé sur les stigmates des fleurs a été réalisée

La mesure du nombre moyen des grains de pollen placés sur les stigmates des fleurs par les insectes pollinisateurs abondants a été effectué après avoir ensacher 30 fleurs à l'aide d'un tulle qui empêche l'accès des insectes butineurs (Figure 3.16).



Figure 3.16 Les ensachements effectués pour interdire la pollinisation

En plein floraison le tulle a été enlevé en surveillant, une fois l'insecte effectue une pollinisation réussie, la fleur est retirée pour la prendre au laboratoire afin d'extraire les stigmates et compter

le nombre des grains de pollen déposé par chacun des butineurs majeurs de la plante après la préparation des lames contenant les grains de pollen.

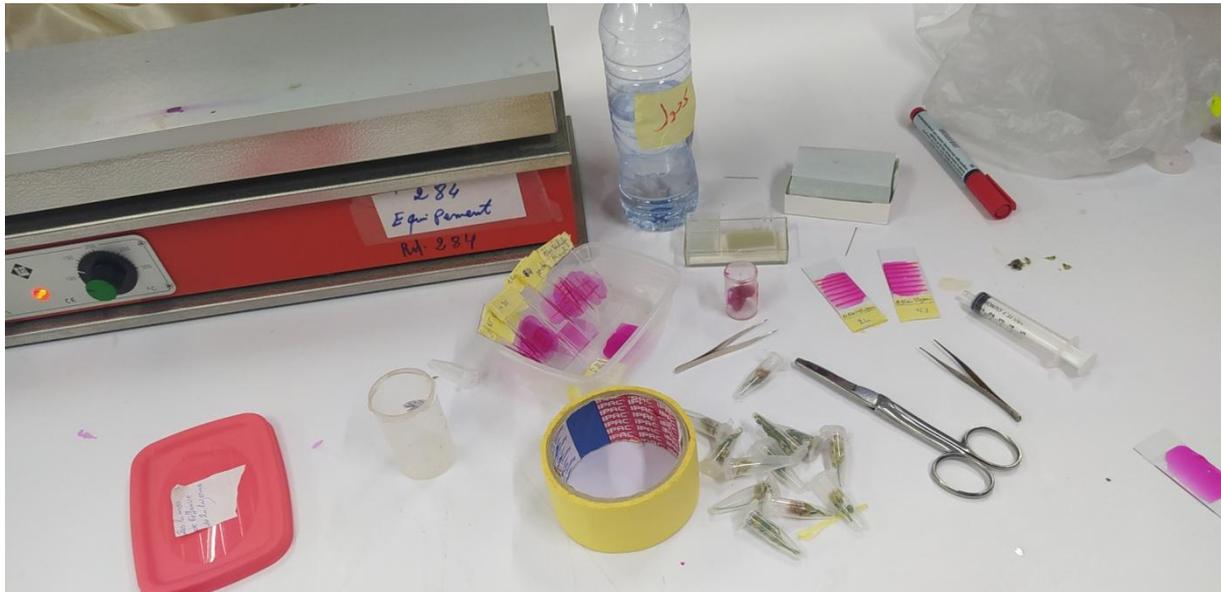


Figure 3.17 Matériel utilisé pour préparer des lames contenant les grains de pollen

3.3.5 Mesure de la Quantité de nectar secrétée

Afin d'étudier la relation entre l'attraction des insectes et la quantité du nectar secrétée par les fleurs de toutes les plantes étudiées ; une mesure de la quantité du nectar secrétée au cours de toute la journée a été réalisée ; La veille de la réalisation de ce paramètre nous avons couverts 30 inflorescences ou fleurs à l'aide de tulle afin d'interdire la pollinisation , à 8h le prélèvement de nectar a été effectué avec des microcapillaires de 5 μ litre de façon à recouvrir la fleur juste après le prélèvement qui était effectué au bout de chaque heure de la journée ; parallèlement au prélèvement de nectar des calculs du nombre d'individus pollinisateurs ont été effectués au cours de toute la journée

3.3.6 Rôle des insectes sur le rendement des cultures

Pour définir le rôle des insectes pollinisateurs sur le rendement quantitatif et qualitatif de chaque plante, 50 inflorescences ou fleurs ont été couvertes en moyen d'un tulle situé dans les quadrats préparé au début de la floraison le tulle a été utilisé pour empêcher l'accès des pollinisateurs.



Figure 3.18 Fleurs couvertes par un tulle

Et 50 inflorescences ou fleurs ont été repéré à l'aide d'un ruban en couleur et sont laissées à accès libre d'insectes ce paramètre a été réalisé pour toutes les plantes étudiées.

Après récupération de la récolte des mesures ont été réalisé sur le plan quantitatif et qualitatif de chaque plante étudiée.

3.3.7 Identification des butineurs et de plantes spontanées

L'identification des spécimens capturée a été réalisé à l'aide d'une loupe binoculaire et de divers clés d'identification (56–58). L'identification a été effectuée également avec des boites de références du laboratoire de Biosystématique et écologie des arthropodes de l'université Mentouri Constantine 1

L'étalage, l'épinglage et l'étiquetage ont été faites pour tous les individus récoltés à l'aide des épingles entomologiques et des étiquettes qui portent : les coordonnées géographiques ou l'insecte a été capturé, le nom et le prénom du légataire, le nom de la culture visitée, la date et l'heure de la capture.

Tous les insectes sont rangés dans des boites de collection.

L'identification des plantes spontanées qui sont visitées parallèlement aux plantes cultivées est effectuée avec de livre (59)

3.3.8 Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été réalisées en utilisant le logiciel SPSS version 22. La signification statistique a été définie comme étant ($p \leq 0,05$). Nous avons employé un test de variance (ANOVA à un facteur) avec deux variables pour comparer le nombre de fleurs visitées par chaque pollinisateur majeur observé sur les fleurs de chaque plante. Le test de corrélation de Pearson a été utilisé pour examiner la relation entre la quantité de nectar sécrétée par les fleurs et le nombre de spécimens attirés. Pour comparer les performances quantitatives avec et sans insectes pollinisateurs, nous avons utilisé le test de Student pour les échantillons indépendants.

Dans le cas des fleurs monoïques, dioïques et andromonoïques là où le sexe est séparé ; le test t de Student pour échantillons indépendants est utilisé pour comparer la durée passée par chaque espèce sur les fleurs mâles et femelles. Aussi Le test du Chi-carré (χ^2) a été employé pour faire la comparaison des proportions des polinisateurs visitant les fleurs mâles et femelles.

Chapitre 4

Résultats

RESULTATS

4.1 La fève (*Vicia faba* L)

4.1.1 Densité des Visiteurs de *vicia faba*

Au cours des deux floraisons, trois ordres d'insectes ont été répertoriés sur la plante : les Hyménoptères, les Diptères et les Lépidoptères. Les observations réalisées indiquent que la majorité des insectes butineurs de la fève appartiennent à quatre familles : les Apidae, les Megachilidae, les Andrenidae et les Halictidae. Parmi eux, deux espèces, *Eucera numida* et *Apis mellifera*, sont les plus fréquemment observées. *Eucera numida* se distingue comme l'espèce la plus abondante, avec une densité moyenne de 214 individus par mètre carré, suivie par *Apis mellifera*, qui participe activement à la pollinisation de la plante avec une densité moyenne de 181 individus par mètre carré au cours des deux périodes d'études (Tableau 4.6)

Tableau 4.6 Nombre moyen des butineurs de la fève durant les deux floraisons

Pollinisateurs	2019	2020
Hymenoptera		
1. Apidae		
<i>Eucera numida</i> (Lepeletier, 1841)	245	184
<i>Apis mellifera</i> (L, 1758)	197	165
<i>Bombus terrestris africanus</i> (L, 1758)	0	42
2. Megachilidae		
<i>Rhodanthidium sticticum</i> (Fabricius, 1787)	30	3
<i>Osmia tricornis</i> (Latreille, 1811)	12	7
3. Andrenidae		
<i>Andrena obselata</i> (Scopoli, 1770)	12	2
4. Halictidae	1	1
Diptera	16	11

Lepidoptera		
<i>Pieris rapae</i> (L ,1758)	7	5
<i>Parage aegeria</i> (L ,1758)	2	0

4.1.2 Comportement de butinage

Pour les deux floraisons de 2019 et 2020, des observations ont été menées sur les deux pollinisateurs majeurs de *Vicia faba* : *Eucera numida* et l'abeille domestique. Toutes les visites d'*Eucera numida* ont été identifiées comme pollinisantes ; lorsqu'elle s'engage dans la fleur à la recherche de nectar, sa langue atteint la base de la corolle, couvrant naturellement son corps de pollen, qui adhère également à ses poils. L'Eucère frotte ensuite les anthères de la fleur avec ses pattes antérieures, transférant ainsi le pollen vers ses pattes postérieures (Tableau 4.7).

En 2020, aucun comportement de butinage positif n'a été enregistré chez l'abeille domestique, sauf lors de la collecte de pollen. *Apis mellifera* puise le nectar directement à la source, à travers les trous préalablement troués par les *Bourdons*. Ce phénomène était totalement absent lors de la première floraison en 2019, en raison de l'absence totale de bourdons.

Tableau 4.7 Les produits récoltés par *Eucera numida* et *Apis mellifera* sur les fleurs de la fève

Floraison	espèces	N V	V P	P ⁺	N ⁺	N ⁻	(P+N)
2019	<i>Eucera numida</i>	245	245	22%	68%	0%	10%
	<i>Apis mellifera</i>	197	197	34%	61%	0%	5%
2020	<i>Eucera numida</i>	184	184	17%	59%	0%	24%
	<i>Apis mellifera</i>	165	84	49%	0%	50%	1%

N V : Nombre de visite effectuée V P : Nombre de visite pollinisante

P : pollen N : nectar + : Visite pollinisante - : Visite non pollinisante

4.1.3 L'efficacité pollinisatrice

Pour comparer l'efficacité de la pollinisation des différents pollinisateurs qui fréquentent abondamment les fleurs, il est plus important de prendre en compte le nombre moyen de visites positives plutôt que la vitesse des pollinisateurs sur les fleurs de la plante ; En 2020 ; 59% des visites de l'abeille domestique étaient pollinisante alors qu'*Eucera numida* effectue toujours des visites pollinisantes sur les fleurs de la fève (Tableau 4.8)

En ce qui concerne le temps dépensé sur les fleurs de la plante, les résultats indiquent que l'abeille domestique est nettement plus lente qu'*Eucera numida*. En moyenne, elle a dépensé 7,99 secondes par fleur, tandis qu'*Eucera numida* a dépensé 5,77 secondes (Tableau 4.9).

De plus ; les mesures du nombre des grains de pollen déposé par chacun des espèces qui fréquentent les fleurs de *Vicia faba* durant la première floraison montrent qu'*Eucera numida* a inséré en moyenne 92,85 grains de pollen par visite et 69,14 grains de pollen sont déposés par *Apis mellifera*. (Tableau 4.10)

Tableau 4.8 La vitesse de butinage des deux pollinisateurs sur les fleurs de la fève

Floraison	N	Nombre de fleurs visitées / min	
		<i>Eucera numida</i>	<i>Apis mellifera</i>
2019	50	10,26±2.9	6,68±1.6
2020	50	9,43±2.3	7,22±1.5

+ visite pollinisante N : Nombre d'individu

Tableau 4.9 Le temps dépensé sur les fleurs de la fève

Floraison	L'espèce	N	Temps dépensé / s
2019	<i>Eucera numida</i>	50	5,32±0.25
	<i>Apis mellifera</i>	50	7,54±0.34
2020	<i>Eucera numida</i>	50	6,22±0.41
	<i>Apis mellifera</i>	50	8,44±0.33

N : Nombre d'individus

Tableau 4.10 Le nombre des grains déposés sur les stigmates des fleurs par *Eucera numida* et *Apis mellifera* au cours de l'année 2019

L'espèce	N	Nombre moyen des grains de pollen
<i>Eucera numida</i>	27	92,85±6.02
<i>Apis mellifera</i>	27	69,14±5.56

N : nombre des fleurs étudiées

4.1.4 Rythme d'activité des deux pollinisateurs sur les fleurs de la fève

L'étude du rythme d'activité d'*Eucera numida* et d'*Apis mellifera* lors des deux floraisons en 2019 et 2020 montre des pics d'activité pour les deux espèces, directement proportionnels au nombre de fleurs épanouies. L'activité la plus intense des Apidae s'est produite après la huitième sortie le 12 avril 2019 et la sixième sortie le 1^{er} Avril 2020. Une diminution a été enregistrée parallèlement à la diminution des fleurs ouvertes (Figure 4.19 et 4.20). Le test de corrélation de Pearson indique une relation significative entre le nombre de fleurs épanouies et les spécimens d'abeilles domestiques et d'*Eucera numida* attirés.

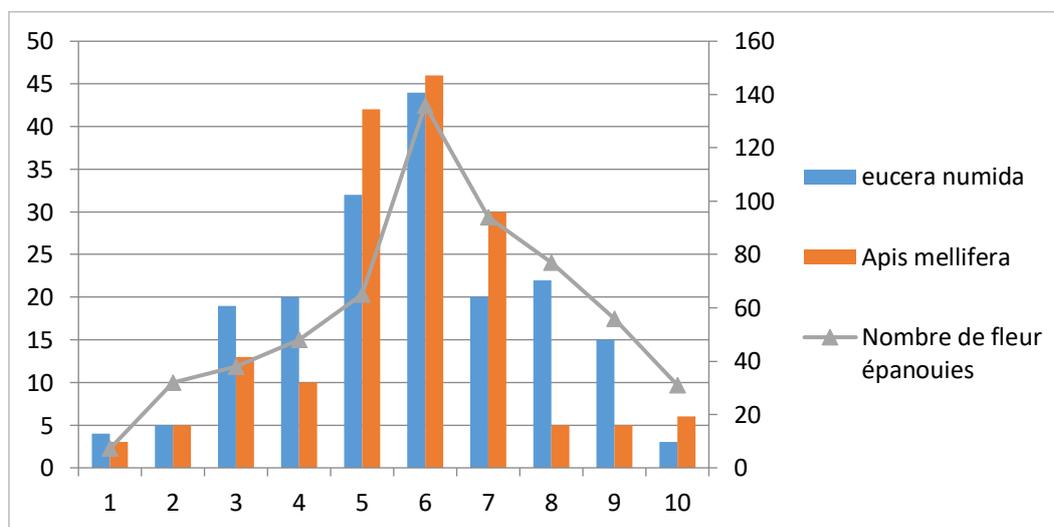


Figure 4.19 Évolution des effectifs des deux pollinisateurs sur les fleurs de la fève en fonction du nombre des fleurs épanouies pendant la floraison 2020

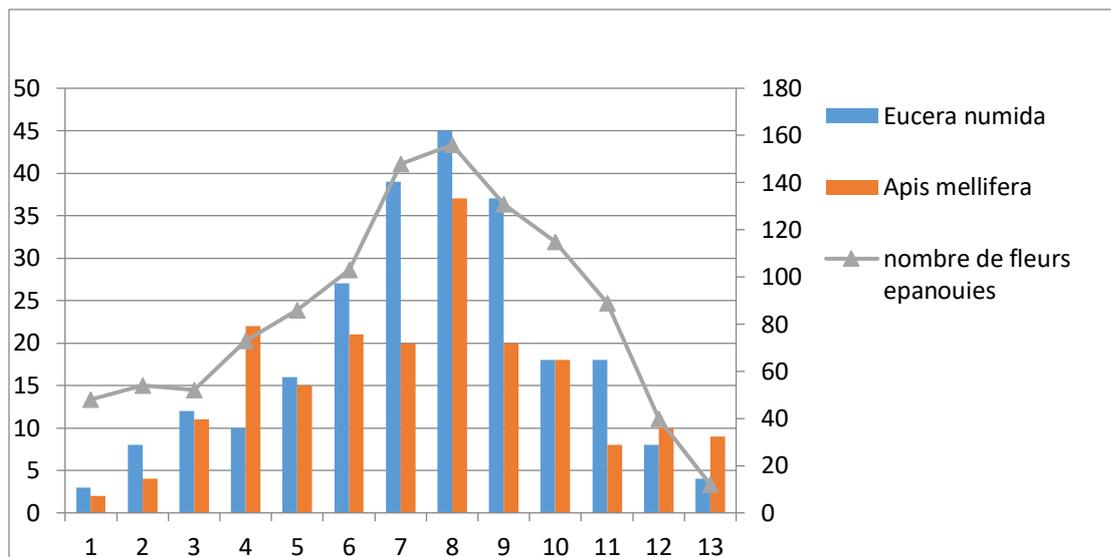


Figure 4.20 Évolution des effectifs des deux pollinisateurs sur les fleurs de la fève en fonction du nombre des fleurs épanouies pendant la floraison 2019

4.1.5 Caractéristiques morphologiques

Les largeurs moyennes du thorax et de la tête des deux espèces étudiées (*Eucera numidia* et *Apis mellifera*) ne présentent pas de différences très significatives ; cependant, la longueur de la langue mesurée est nettement différente. *Eucera numidia* se distingue par une langue longue par rapport à l'abeille domestique, qui a une langue courte (Tableau 4.11). Les résultats indiquent que la longueur de la langue d'*Eucera numidia* est significativement corrélée à la profondeur de la corolle de *Vicia faba* (Tableau 4.12) et diffère de celle de l'abeille domestique en raison de la différence de taille des pièces buccales des deux taxons. La morphologie du pollinisateur spécialisé *Eucera numidia* est mieux adaptée à la visite de *Vicia faba* que celle de l'abeille domestique (visiteur généraliste).

Tableau 4.11 Caractéristiques morphologiques des visiteurs majeur de *Vicia faba*

Taxons	N	Largeur thorax	Largeur tête	Longueur langue
<i>Eucera numida</i>	20	4.96±0.22	3.99±0.12	9,12±0.23mm
<i>Apis mellifera</i>	20	3.89±0.12	3.82±0.11	4.52 ±0.35mm

N : Nombre d'insectes étudiés

Tableau 4.12 Caractéristiques morphométriques des fleurs de *Vicia faba*

Profondeur de la corolle	8.6 ± 0.15mm
Diamètre de la corolle	13.8 ± 0.13 mm

4.1.6 Rendement de la fève

La production de *Vicia faba* est considérablement améliorée en présence d'insectes pollinisateurs. Le taux de formation de fruits (le nombre de fleurs transformées en gousses) par les fleurs pollinisées (non recouvertes d'un tulle) est 3 à 4 fois plus élevé que celui des fleurs non pollinisées (recouvertes d'un tulle). Les résultats du test de student montrent une très grande différence de productivité en présence et en absence d'insectes pollinisateurs. On observe une amélioration significative de la productivité de la plante ($t=0.007 < 0.05$). Le pourcentage de grains de bonne qualité est significativement plus élevé au niveau des inflorescences libres que des inflorescences en cage. Les inflorescences recouvertes d'un tulle produisent plus de graines ridées et avortées que les inflorescences non recouvertes. Le poids moyen des graines produit par les inflorescences libres est également plus élevé que celui des inflorescences en cage (Tableau 4.13). Ainsi, le principal avantage de la pollinisation de la fève par les insectes est l'amélioration quantitative et qualitative du rendement en graines de la plante ; les pertes à la récolte sont ainsi réduites au minimum.

Tableau 4.13 Effet des pollinisateurs sur le rendement de *Vicia faba*

Floraison	Pollinisation	N	NF	Nomb re de graine	% de graines en bonne forme	% de graines ridées	% de graines avortée s	Poids moyen de graine
2019	Libre	50	116	350	80,01	9,42	10,57	3,56±0.41
	Autopollinisation	50	25	74	67,57	20,27	12,16	2,92±0.3
2020	Libre	50	151	464	81,32	10,66	8,02	3,48±0.26
	Autopollinisation	50	45	138	72,97	11,88	15,15	2,74±0.55

N : Nombre d'inflorescence NF : Nombre de gousses formés

4.2 Le melon (*Cucumis melo* L)

4.2.1 La faune pollinisatrice du melon

La faune pollinisatrice du melon comprend divers insectes issus de trois ordres : les Hyménoptères, les Lépidoptères et les Coléoptères (Tableau 4.14). Parmi ceux-ci, les abeilles se distinguent en tant que visiteurs prédominants, représentant 98,78 % de tous les taxons observés. Notamment, l'abeille domestique (*Apis mellifera*) et *Megachile pilidens* se démarquent comme les visiteurs les plus fréquents des fleurs de melon, représentant respectivement 59,95 % et 10,27 % des abeilles observées. *Ceratina cucurbitina* représente 23,04 % de la population d'abeilles. Les autres taxa des trois ordres présentent une abondance nettement plus faible, totalisant 6,73%.

Tableau 4.14 Les pollinisateurs de *Cucumis melo*

Visiteurs florales	2019	2021
Hymenoptera		
1-Apidae		
<i>Apis mellifera</i> (Linnaeus, 1758)	424	510
<i>Bombus terrestris</i> (Linnaeus, 1758)	11	23
<i>Ceratina cucurbitina</i> (Rossi, 1792)	223	136
<i>Tetralonea</i> sp	0	1
2- Andrenidae		
<i>Andrena</i> sp	9	6
3-Halictidae		
<i>Lasioglossum</i> sp	5	4
<i>Sphecode</i> sp	11	8
<i>Halictus scabiosa</i> (Rossi, 1790)	2	1
4-Megachilidae		
<i>Megachile pilidens</i> (Alfken, 1924)	74	86
<i>Megachile apicalis</i> (Spinola, 1808)	4	1
Lepidoptera		
<i>Pieris brassicae</i> (Linnaeus, 1758)	2	1
<i>Pieris rapae</i> (Linnaeus, 1758)	3	2
Coleoptera		

<i>Coccinella septempunctata</i> (Linnaeus, 1758)	4	7
---	---	---

4.2.2 Préférence florale, Durée de visite des fleurs et Vitesse de butinage

Les fleurs staminées ont reçu entre 63% et 92% des visites des trois principaux pollinisateurs de *Cucumis melo* (Tableau 4.15) ; les résultats des tests statistiques n'ont pas révélé de différence statistiquement significative dans les fleurs préférées des pollinisateurs ($\chi^2 = 2,40$; ddl = 2 ; p=0,69). Les observations du taux de visite des fleurs par les abeilles en une seule minute pendant les deux périodes de floraison indiquent une différence significative entre les trois taxons (F= 298,98 ; ddl= 149 ; p = 0,003), les résultats montrent que *Megachile pilidens* visite plus de fleurs par minute que l'abeille domestique ou *Ceratina cucurbitina* pendant les deux périodes de floraison (Tableau 4.17). Les résultats ont indiqué que l'espèce *Apis mellifera* est significativement plus lente sur les fleurs pistillées que sur les fleurs staminées (t = -5,409 ; ddl = 38 ; p = 0,000) (Tableau 4.16). *Ceratina cucurbitina* visite moins de fleurs staminées que de fleurs pistillées(t = -5,088 ; ddl = 38 ; p = 0,000), tandis que les individus de *Megachile pilidens* passent plus de temps sur les fleurs pistillées que sur les fleurs staminées (t = -6,360 ; ddl = 38 ; p = 0,000).

Tableau 4.15 Nombre de visites par les butineurs de melon

Floraison	2019			2021		
Espèces	<i>Apis mellifera</i>	<i>Ceratina cucurbitina</i>	<i>Megachile pilidens</i>	<i>Apis mellifera</i>	<i>Ceratina cucurbitina</i>	<i>Megachile pilidens</i>
Vst staminée	390 (92%)	200 (90%)	53 (72%)	432 (85%)	86 (63%)	61 (71%)
Vst pistillée	34 (8%)	23 (10%)	21 (28%)	78 (15%)	50 (37%)	25 (29%)
total	424	223	74	510	136	86

Tableau 4.16 Temps dépensé sur les fleurs mâles et femelles par les pollinisateurs majeurs du melon

Floraison	Fleurs	<i>Apis mellifera</i>	<i>Ceratina cucurbitina</i>	<i>Megachile pilidens</i>
2019	staminées	8.05 ± 0.47	5.95 ± 0.38	4.6 ± 0.6
	pistilés	9.28 ± 0.66	7.05 ± 0.57	6.05 ± 0.48
2121	Staminées	7.05 ± 0.57	5.85 ± 0.51	3.75 ± 0.67
	pistilés	8.15 ± 0.42	6.8 ± 0.48	5.7 ± 0.42

Tableau 4.17 Vitesse de butinage de l'espèce majeure sur les fleurs du melon pendant les deux floraisons.

Floraison	N	Nombre de fleurs visitées / min		
		<i>Apis mellifera</i>	<i>Ceratina cucurbitina</i>	<i>Megachile pilidens</i>
2019	50	5.78 ± 0.62	8.54 ± 0.58	9.98 ± 0.78
2021	50	5.94 ± 0.67	8.42 ± 0.63	9.86 ± 0.62

4.2.3 Efficacité pollinisatrice

Les mesures de la quantité des grains de pollen déposés sur les fleurs pistillées de *Cucumis melo* par chaque espèce au cours des deux floraisons révèlent une différence significative entre les espèces (ddl = 2 ; sig = 0.009). *Megachile pilidens* a déposé en moyenne le plus grand nombre de grains de tous les pollinisateurs, avec 104,96 grains par visite, suivi de *Ceratina cucurbitina*, qui a déposé 83,53 grains, et d'*Apis mellifera*, qui a déposé 73,17 grains par visite (Tableau 4.18).

Tableau 4.18 Nombre de graines de pollen déposés sur les stigmates des fleurs pistillées du melon

Espèces	N	2019	2021
<i>Apis mellifera</i>	30	76.2 ± 5.45	70.13 ± 6.51
<i>Ceratina cucurbitina</i>	30	85.96 ± 4.97	81.1 ± 5.72
<i>Megachile pilidens</i>	30	104.96 ± 8.63	102.33 ± 6.06

4.2.4 Influence des pollinisateurs sur les rendements du melon

Les pollinisateurs ont un impact significatif sur le rendement des cultures (Tableau 4.19). Les fleurs ayant un accès libre aux insectes ont un poids moyen de récolte 3 à 4 fois plus élevé que les fleurs ensachées ($t = 18,13$; $ddl = 11$; $p = 0,000$). Les fleurs pollinisées ouvertes ont donné significativement plus de fruits (94 % à 98 %) que les fleurs ensachées (20 % à 26 %). Les résultats du test t de student sont significatifs avec $sig = 0,000 < 0,05$. Il existe une différence significative dans le rendement du melon en présence d'insectes par rapport à l'autopollinisation.

Tableau 4.19 Effet de la pollinisation sur les fruits du melon

pollinisation	floraison	N	Nombre de fruits obtenus	Poids moyen de fruit/kg
libre	2019	50	47	2.26 ± 0.29
autopollinisation		50	10	0.65 ± 0.25
Libre	2021	50	49	2.33 ± 0.32
autopollinisation		50	13	0.55 ± 0.18

4.2.5 Étude du rythme d'activité et de la sécrétion de nectar des espèces abondantes

Le rythme d'activité des espèces abondantes au cours des deux floraisons montre des pics d'activité pour les trois espèces. La production de nectar des fleurs staminées et pistillées détermine ce pic. Pour les deux floraisons, l'activité des insectes était maximale de 10 heures du matin à midi, et les pollinisateurs ont diminué à mesure que les fleurs de melon sécrétaient moins de nectar (Figure 4.21 et Figure 4.22). Les résultats du test de corrélation de Pearson montrent une relation significative entre la quantité de nectar sécrétée par chacune des fleurs pistillées ou staminées et le nombre de spécimens attirés par les fleurs de melon. Toutes les valeurs obtenues sont $< 0,05$ (*Apis mellifera*/fleurs staminées sig = 0,003, *Megachile pilidens*/fleurs staminées sig = 0,000, *Ceratina cucurbitina*/fleurs staminées sig = 0,000 ; *Apis mellifera*/fleurs pistillées sig = 0,001, *Megachile pilidens*/fleurs pistillées sig = 0,045, *Ceratina cucurbitina*/fleurs pistillées sig = 0,031).

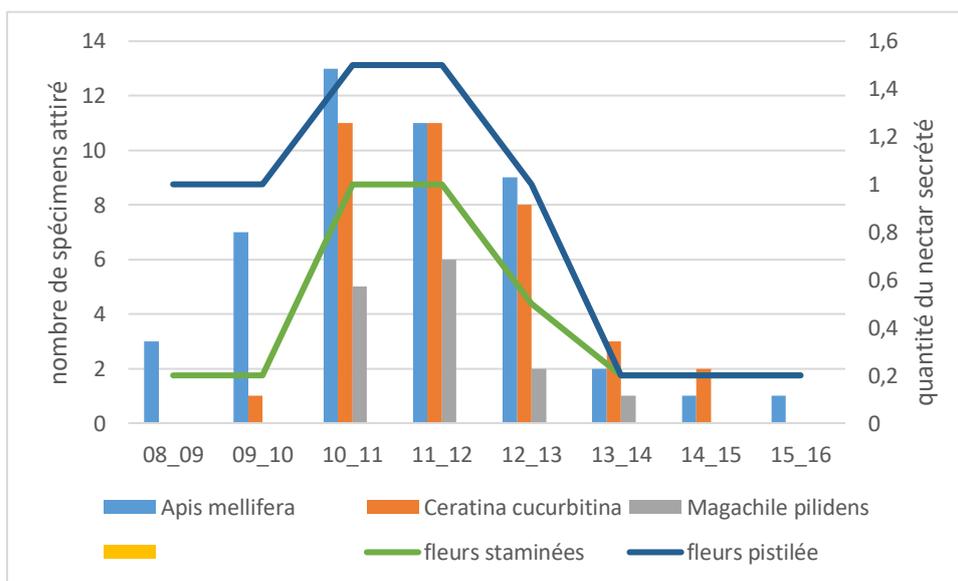


Figure 4.21 Le nombre de spécimen attiré vers les fleurs en fonction de quantité du nectar sécrétée en 2019

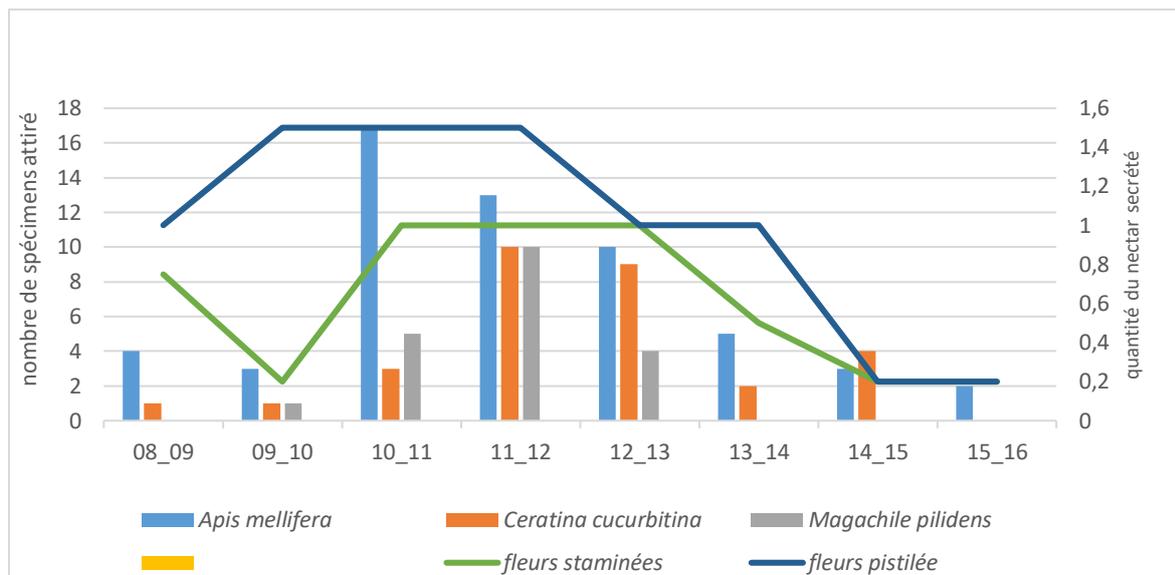


Figure 4.22 Le nombre de spécimen attiré vers les fleurs en fonction de quantité du nectar secrétée en 2021

4.3 La luzerne (*Medicago sativa*)

4.3.1 Les insectes butineurs de la luzerne

12 espèces d'insectes ont été observées sur les fleurs de la luzerne (Tableau 4.20), huit étaient des hyménoptères, trois lépidoptères et un coleoptère ; parmi les visiteurs floraux les plus abondants sont l'abeille domestique 56,91% , les ouvrières de *Bombus terrestris* 25,29% , les reines 7,2% et *Megachile* spp avec 7,33% .Les papillons et les coléoptères avaient de faible taux de visite durant les deux floraisons 3,27%.

Tableau 4.20 Nombre moyen des butineurs sur les fleurs de *Medicago sativa* durant les deux floraisons

Visiteurs florales	2021	2022
Hymenoptera		
1-Apidae		
<i>Apis mellifera</i> (Linnaeus, 1758)	620	730
<i>Eucera numida</i> (Lepelletier, 1841)	5	3
<i>Eucera</i> sp	2	6
<i>Bombus terrestris</i> (ouvrières) (Linnaeus, 1758)	310	290
<i>Bombus terrestris</i> (reines)	99	72
2- Andrenidae		
<i>Andrena</i> sp	4	3
3-Halictidae		
<i>Halictus</i> sp	5	2
4-Megachilidae		
<i>Rhodantidium sticticum</i> (Spinola 1838)	11	13
<i>Megachile pilidens</i>	73	80
<i>M. leachella</i> (Curtis,1828)	83	91
Lepidoptera		
<i>Pieris rapae</i> (Linnaeus, 1758)	5	2
Coleoptera		
<i>Coccinella septempunctata</i> (Linnaeus, 1758)	7	3

4.3.2 Etude de comportement de butinage

Le comportement de butinage sur les fleurs de *Medicago sativa* a été observé uniquement sur les espèces les plus fréquentes

Au cours de la floraison de 2022, les reines de l'espèce *Bombus terrestris* ont effectué des visites avec une répartition de 55% pour la collecte de nectar, 30% pour la collecte de pollen, et 17% pour la collecte simultanée des deux produits (Tableau 4.21). Pour les visites de *Megachile* spp, la majorité sont positives et principalement dédiées à la récolte de nectar, représentant 63% de leurs visites, suivies de 16% pour la collecte mixte (pollen + nectar) et 21% pour la collecte de pollen seul.

Tant les visites des reines de *Bombus terrestris* que celles de *Megachile* spp peuvent être considérées comme potentiellement pollinisantes. Les ouvrières de *Bombus terrestris* et de l'abeille domestique ne pratiquent le butinage positif que lors de la collecte de pollen, représentant respectivement 36% et 55% de leurs visites. En revanche, 60% et 42% des visites des reines de *Bombus terrestris* et d'*Apis mellifera* sont destinées à prélever le nectar à partir des trous percés par les bourdons à la base de la corolle

Tableau 4.21 Nombre de visites effectuées sur les fleurs par les pollinisateurs majeurs de la luzerne pendant la floraison de 2021

Floraisons	Espèces	NV	VP	P ⁺	N ⁺	N ⁻	(P+N)
2022	<i>Apis mellifera</i>	730	423	401	0	307	22
	<i>Megachile</i> spp	91	91	19	57	0	15
	<i>Bombus terrestris</i> (ouvrières)	299	125	104	0	174	21
	<i>Bombus terrestris</i> (reines)	72	72	37	22	0	13

4.3.3 Vitesse de butinage

La vitesse de butinage des pollinisateurs est un facteur qui détermine l'interaction quantitative entre la plante et ses visiteurs basé sur le nombre des fleurs visitées par unité de temps (minute) et le temps dépensé par fleur. Il apparaît clairement que les reines de *Bombus terrestris* étaient les plus rapides sur les fleurs de la luzerne (Tableau 4.22-4.23) suivi par les espèces *Megachile* spp puis l'abeille domestique et enfin les ouvrières de *Bombus terrestris*.

Tableau 4.22 Vitesse de butinage des quatre groupes d'insectes pendant les deux floraisons

Floraison	N	Nombre de fleurs visitées / min			
		<i>Apis mellifera</i>	<i>Bombus terrestris</i> (reines)	<i>Bombus terrestris</i> (ouvrières)	<i>Megachile</i> spp
2021	50	7,28±0,75	9,09±0,77	9,9± 0,93	11,35± 1,01
2022	50	6,06±0,64	9,37±0,79	9,60±0,82	13,53±0,99

Tableau 4.23 Le temps dépensé sur les fleurs de *Medicago sativa* par les pollinisateurs abondants pendant les deux floraisons

Floraison	L'espèce	N	Temps dépensé / s
2021	<i>Apis mellifera</i>	50	6.43 ± 0.86
	<i>Megachile</i> spp	50	7.68 ± 0.96
	<i>Bombus terrestris</i> (reines)	50	5.6 ± 0.99
	<i>Bombus terrestris</i> (ouvrières)	50	8.02 ± 0.75
2022	<i>Apis mellifera</i>	50	5.66 ± 0.99
	<i>Megachile</i> spp	50	8.13 ± 0.61
	<i>Bombus terrestris</i> (reines)	50	6.02 ± 0.62
	<i>Bombus terrestris</i> (ouvrières)	50	10.13 ± 0.74

4.3.4 Efficacité pollinisatrice

Les fleurs de *Medicago sativa* ont reçu des quantités significativement différentes des taxons étudiés (F=136,152 ; sig=0,000 ; df=79) les moyennes du nombre des graines déposés sur les stigmates en une seule visite au cours des deux floraisons sont représentées dans l'ordre suivant

(Tableau 4.24) les reines de *Bombus terrestris*, *Megachile spp*, les ouvrières de *Bombus terrestris* et *Apis mellifera* .

Tableau 4.24 Le nombre de graines de pollen déposé sur les stigmates des fleurs par chaque pollinisateur pendant les deux floraisons

L'espèce	N	SVD en 2021	SVD en 2022
<i>Apis mellifera</i>	20	38,30±2,69	29,35±3,52
<i>Bombus terrestris</i> (ouvrières)	20	66,1±3,8	66,25±5,92
<i>Bombus terrestris</i> (reines)	20	72,25±5,42	67,7±4,93
<i>Megachile spp</i>	20	57,85±4,19	59,85±8,32

4.3.5 Impact des pollinisateurs sur le rendement grainier de la luzerne

La nouaison était plus élevée chez les grappes à accès libre d'insectes que chez les grappes dépourvu des pollinisateurs (Tableau 4.25) ; les fleurs pollinisées produisaient 17 fois plus de graines en 2021 et 14 fois en 2022 plus que celles non pollinisées ; le nombre moyen de graines obtenues par la pollinisation libre est trois fois le nombre obtenu par l'autopollinisation ; les fleurs pollinisées par les insectes ont produit des graines avec un poids plus lourd que les fleurs non pollinisées avec une différence significative ($F=0,745$; $t=4,748$; $df=27$; $sig=0,001$)

Tableau 4.25 Impact des pollinisateurs sur le rendement quantitatif de la luzerne

Pollinisation	N	Nombre de graines obtenues	Poids moyen /100 graines	Nombre de grappes fanées	Nombre de grappe produite de graines
Libre	50	2795	66,92 g± 4,07	3	47
Autopollinisation	50	161	46,5 g ± 6,5	32	18
Libre	50	2880	60,44 g±4,66	2	48
Autopollinisation	50	200	39,77± 7,02	39	11

4.3.6 Etude du rythme d'activité en fonction de la sécrétion du nectar

Les résultats statistiques montrent une forte relation proportionnelle entre le volume du nectar secrété et le nombre de spécimens des ouvrières de *Bombus terrestris* attiré vers les fleurs (Pearson corrélation=0,950 ; $sig=0,000$) (figure 4.23) et avec les individus de *Megachile spp*

(Pearson corrélation=0,795 ;sig=0,018) par contre le même test n'a montré aucune relation avec les reines de *Bombus terrestris* et les abeilles domestiques donc les reines de *Bombus terrestris* et *Apis mellifera* visitent les fleurs de *Medicago sativa* pour prélever le pollen

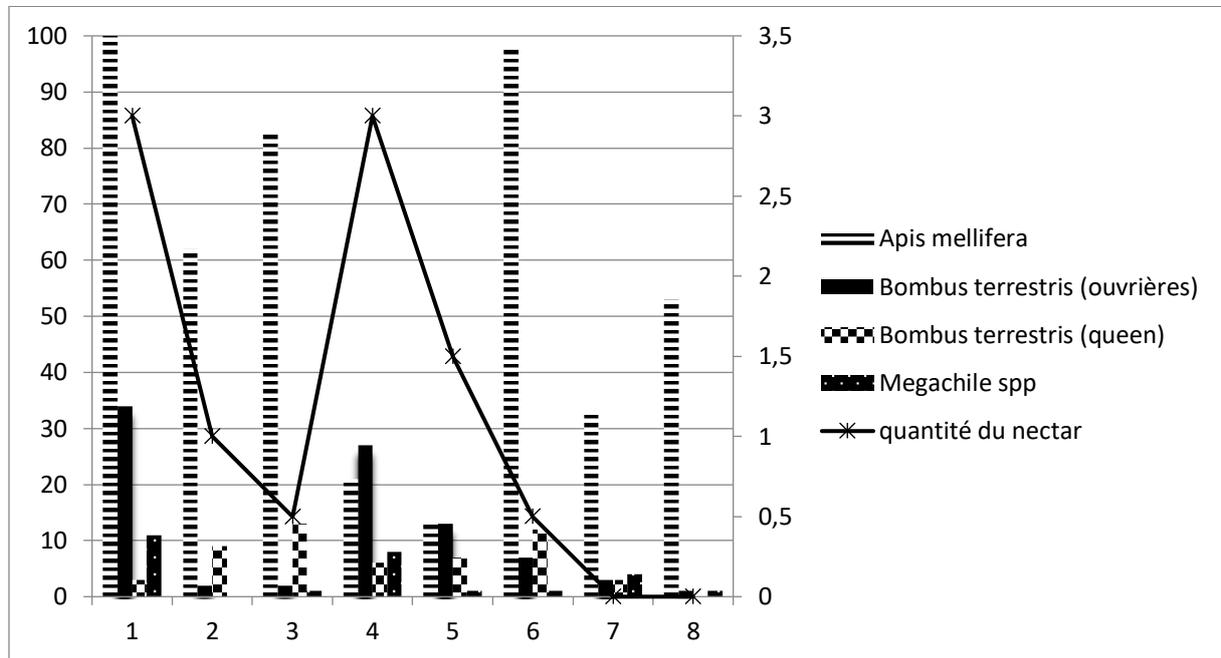


Figure 4.23 Rythme d'activité des pollinisateurs en fonction du volume de nectar secrété durant toute la journée

4.4 Le concombre (*Cucumis sativus*)

4.4.1 Diversité des insectes pollinisateurs de *Cucumis sativus*

Treize espèces de pollinisateurs ont été observées sur les fleurs du concombre, comprenant onze espèces d'abeilles, dont 4 Apidae, 1 Andrenidae, 3 Halictidae et 3 Megachilidae, pendant les deux périodes de floraison. L'abeille domestique, *Ceratina cucurbitina* et trois espèces du genre *Megachile* (*Megachile apicalis*, *Megachile pilidens* et *Megachile leachella*) sont les pollinisateurs les plus observés sur les fleurs du concombre, avec des densités élevées parmi toute la faune pollinisatrice du concombre (Tableau 4.26).

Tableau 4.26 Abondance des différentes espèces pollinisatrices du concombre en 2019 et en 2020

Visiteurs florales	2019	2021
Hymenoptera		
1-Apidae		
<i>Apis mellifera</i> (Linnaeus, 1758)	700	820
<i>Bombus terrestris</i> (Linnaeus, 1758)	12	7
<i>Ceratina cucurbitina</i> (Rossi 1792)	200	121
2- Andrenidae		
<i>Andrena sp</i>	9	6
3-Halictidae		
<i>Lasioglossum sp</i>	5	4
<i>Sphecode sp</i>	10	5
<i>Halictus scabiosa</i>	0	1
4-Megachilidae		
<i>Megachile pilidens</i> (Alfken 1924)	13	21
<i>Megachile leachella</i> (Curtis 1828)	64	70
<i>Megachile apicalis</i> (Spinola 1908)	31	19
Lepidoptera		
<i>Pieris rapae</i> (Linnaeus, 1758)	3	0

Coleoptera		
<i>Coccinella septempunctata</i> (Linnaeus, 1758)	1	2

4.4.2 Les préférences florales des espèces abondantes sur les fleurs du concombre

Les fleurs mâles ont été visitées entre 61% et 86% des visites effectuées par les trois principaux pollinisateurs de *Cucumis sativus* (Tableau 4.27) ; toutefois, les résultats du test statistique n'ont pas indiqué de différence significative dans la préférence des pollinisateurs pour les fleurs ($\chi^2=2,40$; ddl = 2 ; p=0,84).

Tableau 4.27 Nombre de visites effectuées par les butineurs du concombre

Floraison	2019			2021		
Espèces	<i>Apis mellifera</i>	<i>Ceratina cucurbitina</i>	<i>Megachile</i> spp	<i>Apis mellifera</i>	<i>Ceratina cucurbitina</i>	<i>Megachile</i> spp
Vst staminée	602 (86%)	146 (73%)	66 (61.11%)	574 (70%)	68 (56.19%)	88 (80%)
Vst pistillée	98 (14%)	54 (27%)	42 (38.88%)	246 (30%)	53 (43.81%)	22 (20%)
total	700	200	108	820	121	110

4.4.3 La vitesse de butinage

Les résultats indiquent que *Apis mellifera* est nettement plus lente sur les fleurs pistillées que sur les fleurs staminées (t =-5,439 ; df=38 ; p = 0,000) (Tableau 4.28). *Ceratina cucurbitina* était plus lente sur les fleurs pistillées plutôt que sur ceux staminées (t =-5,088 ; df=38 ; p = 0,001), tandis que les individus de *Megachile pilidens* passent plus de temps sur les fleurs pistillées que sur les fleurs staminées (t=-6,360 ; df=38; p=0,002).

Les mesures de la vitesse de butinage des pollinisateurs pendant les deux périodes de floraison (Tab.29) indiquent une différence significative entre les trois taxons ($F=298,98$; $ddl =149$; $p =0,002$). En particulier, *Megachile* spp visitent plus de fleurs par minute que l'abeille domestique et l'espèce *Ceratina cucurbitina* pendant les deux périodes de floraison (Tableau 4.29)

De plus, les résultats révèlent que l'espèce *Apis mellifera* se déplace plus lentement sur les fleurs pistillées que sur les fleurs staminées ($t = -5,409$; $ddl = 38$; $p = 0,001$) (Tableau 4.28). *Ceratina cucurbitina* montre une préférence pour les fleurs femelles par rapport aux fleurs mâles ($t =-5,068$; $ddl = 38$; $p = 0,000$), tandis que les individus de *Megachile pilidens* passent plus de temps sur les fleurs pistillées que sur les fleurs staminées ($t = -7,350$; $ddl = 38$; $P=0,001$)

Tableau 4.28 Temps dépensé sur les fleurs staminées et pistillées par les pollinisateurs du concombre

floraison	Fleurs	<i>Apis mellifera</i>	<i>Ceratina cucurbitina</i>	<i>Megachile</i> spp
2019	staminées	7.15 ± 0.87	5.45 ± 0.30	3.96 ± 0.35
	pistilés	9.08 ± 0.54	6.65 ± 0.69	5.95 ± 0.66
2021	Staminées	6.85 ± 0.62	5.86 ± 0.21	3.55 ± 0.40
	pistilés	10.05 ± 0.22	7.08 ± 0.12	6.17 ± 0.65

Tableau 4.29 vitesse de butinage des espèces majeures du concombre pendant les deux floraisons.

Floraison	N	Nombre de fleurs visitées / min		
		<i>Apis mellifera</i>	<i>Ceratina cucurbitina</i>	<i>Megachile</i> spp
2019	50	4.98 ± 0.83	8.34± 0.44	10.08 ± 0.70
2021	50	4.99 ± 0.98	8.40 ± 0.52	10.26 ± 0.59

Remarque

Les mesures du nombre de graines de pollen déposées sur les stigmates des fleurs de concombre n'ont pas été effectuées car le tulle a été retiré par d'autres personnes qui ne connaissent pas l'objectif de notre étude.

4.4.4 Exploration des ressources alimentaires par les abeilles

Durant la matinée, la majorité des visites florales sont axées sur la collecte du pollen, atteignant un pic entre 8h et 9h, avec des pourcentages élevés observés tout au long de la journée. En revanche, la collecte du nectar est principalement effectuée l'après-midi, entre 12h et 15h

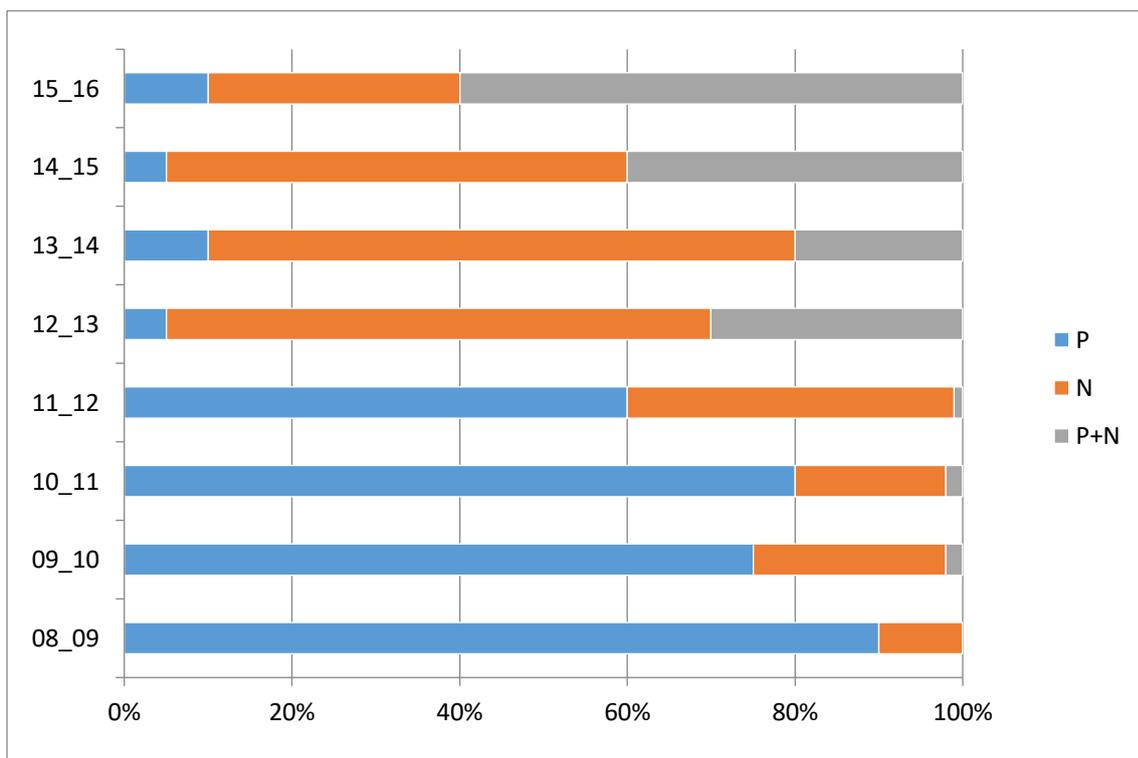


Figure 4.24 Pourcentages des récoltes florales effectuées par *Apis mellifera* sur les fleurs du concombre durant la floraison 2019.

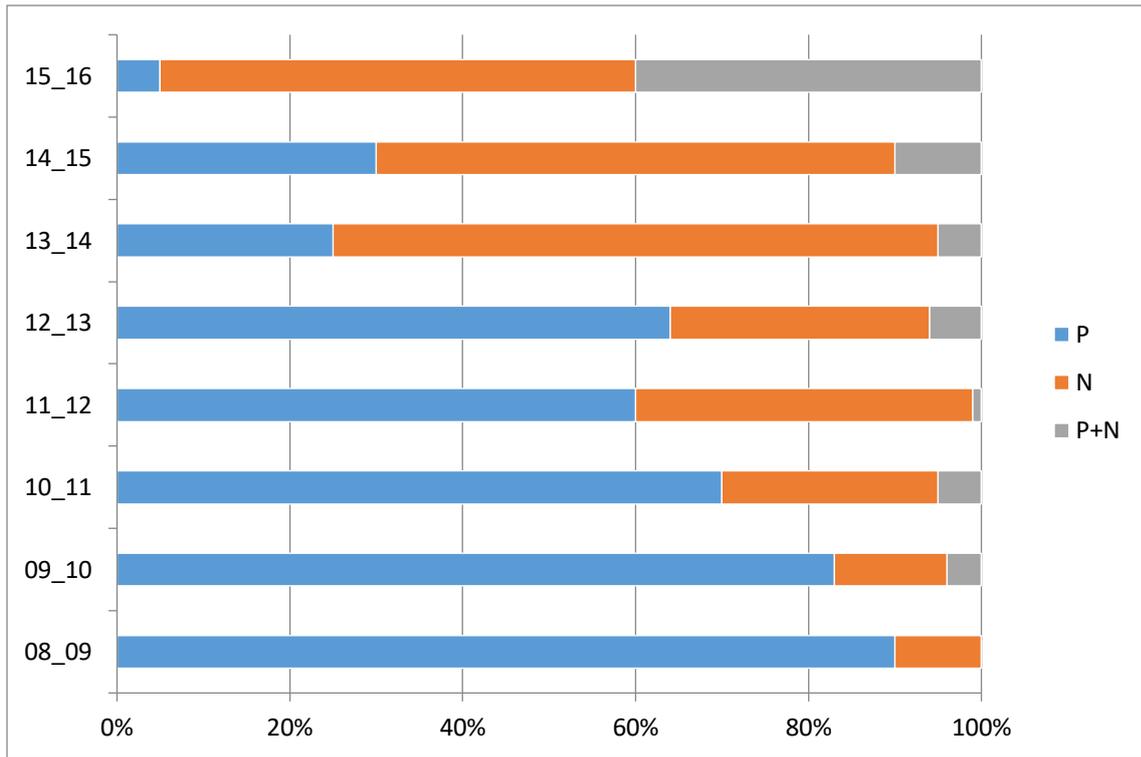


Figure 4.25 Pourcentages des récoltes florales effectuées par *Ceratina cucurbitina* sur les fleurs du concombre durant la floraison 2019

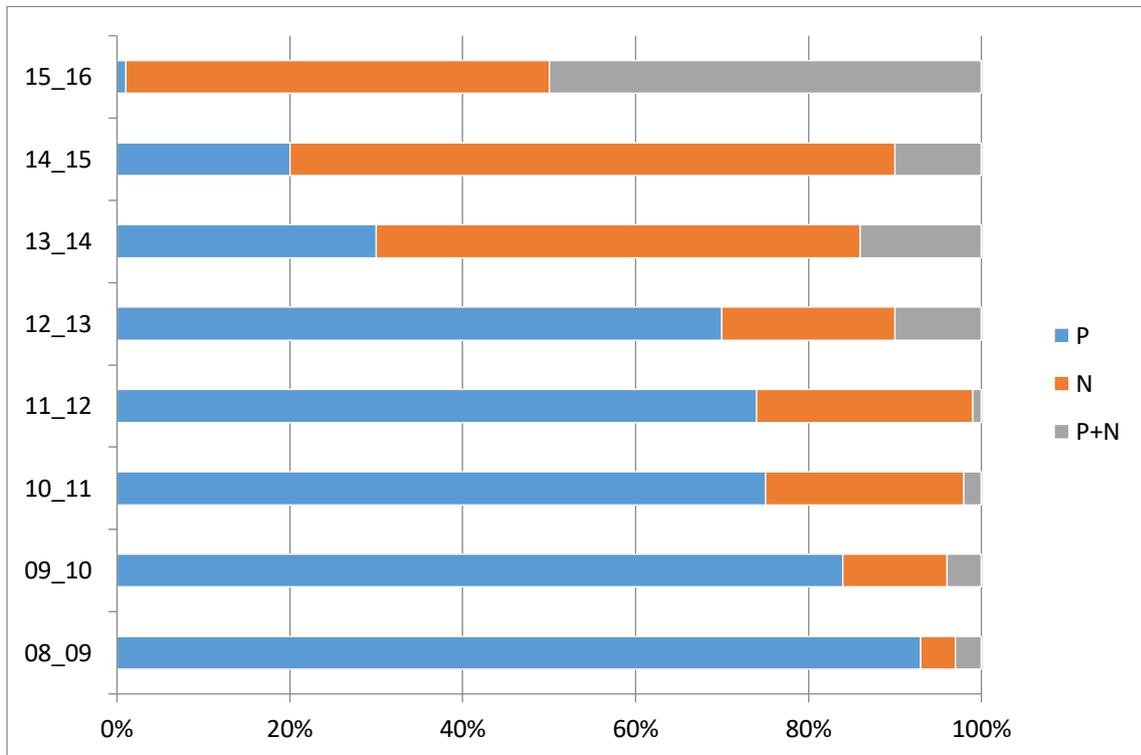


Figure 4.26 Pourcentages des récoltes florales effectuées par *Megachile* spp sur les fleurs du concombre durant la floraison 2019

4.4.5 Impact des pollinisateurs sur le rendement

L'effet des pollinisateurs sur les rendements des fruits du concombre est considérable (Tableau 4.30). Les fleurs accessibles aux insectes présentent un poids moyen de récolte de 3 fois supérieur à celui des fleurs ensachées par un tulle ($t = 18,23$; $df = 11$; $p = 0,001$). Les fleurs à pollinisation libre donnent un rendement en fruits significativement plus élevé (entre 94% et 98%) que les fleurs en sac (entre 20% et 26%). Les résultats du test de Student indiquent une signification statistique ($sig = 0,001 < 0,05$). Ainsi, une différence notable dans les rendements du concombre est observée sur la longueur des fruits obtenues, nous avons remarqué que les fruits obtenues par la pollinisation libre (à accès libre d'insectes) ont une longueur supérieure à ceux obtenus par l'autopollinisation, De plus, le nombre de graines obtenues par fruits est significativement plus élevé dans la pollinisation réalisé par les insectes en comparaison avec celle dépourvue d'insectes pollinisateurs.

Tableau 4.30 Effet de la pollinisation entomophile sur la récolte du concombre

pollinisation	floraison	N	Nombre de fruits obtenus	Poids moyen de fruit/g	La longueur des fruits obtenus	Le nombre de graines/fruit
libre	2019	50	47	320.77 ± 11.89	24.81 ± 2.34	446.33 ± 33
autopollinisation		50	10	110.72 ± 12.09	12.13 ± 0.87	99.5 ± 11.32
libre	2021	50	49	280.53 ± 9.74	22.35 ± 3.02	423.09 ± 27.11
autopollinisation		50	13	99 ± 9.38	10.07 ± 1.02	80 ± 14.35

4.5 La Citrouille (*Cucurbita maxima* L)

4.5.1 Les insectes pollinisateurs de la citrouille

Les observations effectuées au cours des deux années de floraison révèlent que la plupart des pollinisateurs de *Cucurbita maxima* sont des hyménoptères, appartenant à quatre familles distinctes : les Apidae, les Halictidae, les Megachilidae et les Andrenidae. Quelques Diptères et Coléoptères ont également été accidentellement observés visitant les fleurs.

Parmi les pollinisateurs, les abeilles domestiques et l'espèce *Bombus ruderatus* sont les plus fréquemment observés sur les fleurs de *Cucurbita maxima*, avec une densité moyenne respectivement de 755 et 303 individus par m² pour *Apis mellifera* et *Bombus ruderatus* pendant les deux floraisons (Tableau 4.31). En revanche, les Andrenidae et les Megachilidae, sont représentés par plusieurs espèces, sont relativement peu abondants sur la culture.

Tableau 4.31 Nombre moyen des pollinisateurs de *Cucurbita maxima* durant les deux floraisons

Visiteurs florales	2019	2023
Hymenoptera		
1-Apidae		
<i>Apis mellifera</i> (Linnaeus, 1758)	710	800
<i>Bombus ruderatus</i> (Fabricius, 1775)	310	297
<i>Ceratina cucurbitina</i> (Rossi 1792)	14	10
2- Andrenidae		
<i>Andrena</i> sp	3	1
3-Halictidae		
<i>Lasioglossum albocinctum</i> (Lucas, 1846)	4	0
4-Megachilidae		
<i>Megachile pilidens</i> (Alfken 1924)	0	1
<i>Megachile apicalis</i> (Spinola 1908)	2	0
Lepidoptera		
<i>Pieris rapa</i>	0	1
Coleoptera		
<i>Coccinella septempunctata</i>	2	0

4.5.2 Le choix florale des pollinisateurs en fonction du sexe des fleurs

Durant les deux floraisons les abeilles ont clairement favorisé les fleurs mâles (staminées) selon le tableau(4-32), et chacune de leurs visites sur les fleurs femelles est fécondante car elles touchent les stigmates des fleurs.

En 2019, les abeilles domestiques ont privilégié la collecte de nectar, consacrant 70 % de leurs visites aux fleurs mâles et femelles de la plante, tandis que 17 % étaient dédiées à la collecte de pollen, et 13 % à la récolte simultanée des deux produits. En 2023, ces préférences ont légèrement changé, avec 83% des visites pour le nectar, 15 % pour le pollen, et 2% pour la récolte mixte. Il est à noter que la grande majorité des visites des bourdons, soit 75 %, étaient également orientées vers la collecte de nectar durant les deux floraisons (Tableau 4.32).

Lorsqu'elles butinent les fleurs de citrouille, les abeilles domestiques et les bourdons débutent leur visite en se posant sur le stigmate. Elles effectuent ensuite des mouvements avant d'atteindre de nectar au fond de la corolle. Cette séquence assure que pratiquement toutes les visites sur les fleurs femelles de la plante ont le potentiel de promouvoir la pollinisation.

Pour les fleurs mâles, les abeilles se posent sur les anthères et les frottent avec leurs pattes antérieures pour collecter le pollen. Ensuite, elles se placent près du bord de la corolle pour accéder au nectar, puis se dirigent vers le fond de la fleur. En quittant la fleur, il arrive parfois qu'une abeille touche les anthères avec son corps, ce qui facilite l'adhérence du pollen aux poils. Cependant, la plupart du temps, elles se déplacent sur anthères.

Tableau 4.32 Le nombre des visites effectuées sur les fleurs mâle et femelle de la plante avec le produit floral récolté

Floraison	2019						2023					
Espèces	<i>Apis mellifera</i>			<i>Bombus ruderatus</i>			<i>Apis mellifera</i>			<i>Bombus ruderatus</i>		
Visites staminées	65%	P	11%	83%	P	13%	(73%)	P	5%	(69%)	P	9%
		N	40%		N	66%		N	67%		N	46%
		P+N	14%		P+N	4%		P+N	1%		P+N	14%
Visites pistillées	35%	P	2%	17%	P	3%	(27%)	P	10%	(31%)	P	2%
		N	30%		N	11%		N	16%		N	25%
		P+N	3%		P+N	3%		P+N	1%		P+N	4%
Total	710			310			800			297		

4.5.3 La vitesse de butinage

Pendant la floraison de 2023, le temps passé par les abeilles sur les fleurs staminées et pistillées a été mesuré (Tableau 4.33). Il a été observé que les abeilles domestiques ont consacré significativement plus de temps aux fleurs pistillées qu'aux fleurs staminées ($t = 1,46$; $ddl = 22$; $p = 0,006$). De manière similaire, les bourdons ont passé davantage de temps sur les fleurs pistillées que sur les fleurs staminées ($t = 5,34$; $ddl = 24$; $p = 0,003$).

Les bourdons ont été plus rapides dans la pollinisation de la citrouille, avec une moyenne d'environ 5 fleurs par minute, comparativement à *Apis mellifera*, qui a visité en moyenne seulement trois fleurs par minute au cours des deux floraisons (Tableau 4.34).

Tableau 4.33 Le temps dépensé sur les fleurs staminées et pistillées de *Cucurbita maxima*

Flowering	Flowers	N	<i>Apis mellifera</i>	<i>Bombus ruderatus</i>
2023	Staminate	50	15.05 ± 0.97	10,09± 0.31
	Pistillate	50	22.67± 0.51	13,76± 0.49

Tableau 4.34 La vitesse de butinage des pollinisateurs majeurs de la plante

Flowering	N	Number of flowers visited/min	
		<i>Apis mellifera</i>	<i>Bombus ruderatus</i>
2019	50	3.78 ± 0.62	5.04± 0.08
2023	50	2.94 ± 0.67	5.42 ± 0.43

4.5.4 L'efficacité pollinisatrice

Le dépôt de pollen sur les stigmates des fleurs lors de visites individuelles a révélé des variations significatives entre les deux espèces d'abeilles ($df = 1$; $p = 0,007$). En moyenne, les individus de *Bombus ruderatus* ont déposé deux fois plus de graines de pollen que les individus d'*A. mellifera* lors d'une seule visite (Tableau 4.35).

Tableau 4.35 Le nombre de graines de pollen déposé sur les stigmates des fleurs durant la deuxième floraison

Species	N	2023
<i>Apis mellifera</i>	30	53.98 ± 8.51
<i>Bombus ruderatus</i>	30	123.54± 6.72

4.5.5 L'influence des pollinisateurs sur le rendement fruitier de la citrouille

La présence des pollinisateurs est cruciale afin d'assurer un rendement optimal des plants de *Cucurbita maxima*. En effet, leur présence entraîne une amélioration significative de la production. Le taux de formation de fruits, évalué par le nombre de fleurs transformées en fruits, est de 16 à 25 fois plus élevé pour les fleurs pollinisées (non recouvertes d'un tulle) que pour les fleurs non pollinisées (recouvertes d'un tulle). Les résultats de l'étude révèlent une différence notable de productivité entre les conditions avec et sans insectes pollinisateurs, avec une amélioration nette de la productivité de la plante ($t=0.001 < 0.05$).

Par ailleurs, le nombre de grains obtenus par fruit est significativement plus élevé dans les inflorescences non engagées que dans celles qui sont engagées. De même, le poids moyen des fruits et des graines produits par les inflorescences non engagées est supérieur à celui des inflorescences engagées (Tableau 4.36). Ainsi, l'avantage principal de la pollinisation des citrouilles par les insectes réside dans l'amélioration quantitative du rendement en fruits et en graines de la plante, contribuant ainsi à minimiser les pertes à la récolte.

Tableau 4.36 Impact des pollinisateurs sur le rendement de la citrouille

Floraisons	N	pollinisation	Taux de nouaison	Poids moyen des fruits	Nombre de graine par fruit	Poids moyen de 10 graines
2019	50	Libre	50	10.33Kg±3.06	419.32±80.5	14.76g±1.09
		Autopollinisation	2	2.54Kg±1.65	233±44.66	6.66g±0.87
2023	50	Libre	49	11.24Kg±2.23	509.45±66.1	15.33g±0.43
		Autopollinisation	3	2.33Kg±1.11	198.97±39.90	7.44g±1.32

Chapitre 5

Discussion

DISCUSSION

La fève

Les études effectuées sur *Vicia faba* durant les floraisons 2019 et 2020 indiquent que les pollinisateurs majeurs de la fève sont des hyménoptères appartenant à la famille des Apidae ; *Eucera numida* est le pollinisateur majeur de la fève au cours des deux floraisons suivies par l'abeille domestique. Ces résultats sont très semblables à ceux réalisés à Constantine où la même abeille sauvage jouait un rôle capital pour butiner les fleurs de *Vicia faba* (8) et aussi ceux dans l'Espagne (47) dans le nord algérien l'espèce *Eucera pulvacea* était le pollinisateur majeur de la plante (60)

L'espèce *Bombus terrestris africanus* est totalement absente au cours de la première floraison cette observation peut être attribuée à la floraison précoce qui se déroule en même temps que la période de fondation de la colonie, comme mentionné par (17,61). Elle est considérée comme pollinisateur abondant de la même plante en Allemagne mais elle était inefficace pour la pollinisation de *Vicia faba* (62).

L'étude du comportement de butinage montre que les visites effectuées par *Eucera numida* sont positives peu importe le produit récolté (nectar, pollen, ou les deux ensemble) ce qui signifie que toutes ses visites pourraient être pollinisantes au cours des deux floraisons par contre les mêmes observations ont montré qu'*Apis mellifera* n'a réalisé des visites positives qu'en 2019 à cause de l'absence total des bourdons contrairement en 2020 le vol du nectar était le comportement le plus fréquemment observé de façon que nous n'avons pas enregistré de récolte positive de nectar ;elle profite des trous percés par les bourdons (63) ce comportement a été enregistré aussi par(47) , (64), (65) (8).

L'attraction des pollinisateurs vers les fleurs de la fève dépend du nombre des fleurs épanouies, nos observations pendant les deux périodes d'étude montrent que la présence des apoïdes pollinisateurs et notamment *Eucera numida* et *Apis mellifera* était maximale le 2019 et le 2020 en raison du pic au nombre des fleurs épanouies qui correspond aussi à l'ouverture de nouveaux boutons floraux (55) ce qui confirme que plus le nombre de fleur est élevé plus les insectes viennent butiner les fleurs.

L'étude de l'efficacité pollinisatrice effectuée en 2019 en calculant le nombre des grains de pollen déposés sur les stigmates des fleurs par les deux espèces abondantes n'a pas été étudiée auparavant en Algérie sur la fève ce paramètre confirme en quelque sorte qu'*Eucera numida* est le pollinisateur le plus fiable de la fève.

La comparaison réalisée entre les caractéristiques morphologiques de *Vicia faba* et de ses visiteurs montrent qu'*Eucera numida* présente une morphologie mieux adaptée au butinage de la plante donc il existe une concordance entre la morphologie du spécialiste *Eucera numida* et celle des fleurs de la fève.

Des expériences comparant le rendement des inflorescences ensachées à des témoins indiquent que la pollinisation par les insectes améliore la quantité et la qualité du produit récolté ; la quantité de gousses formés et la quantité de graines obtenu par les inflorescences non couvertes est plus significatif par rapport aux inflorescences couvertes ces résultats sont conformes à ceux obtenus par (66–70).

Les inflorescences couvertes donnent plus de graines ridées et avortées par rapport aux inflorescences non couvertes donc la pollinisation croisée influence positivement sur la qualité des grains ; Les gousses des inflorescences fécondées atteignent leur pleine maturité, tandis que celles non fécondées avortent à un stade précoce de développement.

Le melon

Le champ de melons abritait une diversité d'insectes, comprenant 10 espèces d'abeilles, deux lépidoptères et une espèce de Coléoptère. *Apis mellifera*, *Megachile pilidens* et *Ceratina cucurbitina* se sont révélées être les pollinisateurs de melon les plus importants, comme en témoignent leur abondance sur les fleurs, leur fréquence de visite et le dépôt de pollen par visite. Selon (71), ces trois Apidae figurent parmi les pollinisateurs les plus répandus sur les plants de concombres (*Cucumis sativus*), dont les fleurs ressemblent à celles des melons.

Megachile pilidens, appartenant à la famille des Megachilidae, se distingue comme l'un des pollinisateurs les plus courants et efficaces à l'échelle mondiale. Il a été identifié comme le principal pollinisateur de *Cajanus cajan* en Inde, entraînant des rendements significativement plus élevés dans les parcelles avec un accès ouvert aux pollinisateurs(72). Des études antérieures ont également mis en évidence l'efficacité de *Megachile* sp. Dans l'amélioration du rendement de *Grewia asiatica* (73). *Ceratina cucurbitina* démontre une pollinisation efficace d'*Ecballium elaterium* (Cucurbitaceae), passant peu de temps par fleur (74). En Algérie,

Ceratina cucurbitina est une visiteuse fréquente de la lavande (*Lavendula officinalis* L), avec 13 fleurs visitées par minute.

Dans notre étude menée dans la région de Mila, l'abeille solitaire *Megachile pilidens* s'est révélée être un pollinisateur efficace de *Cucumis melo*. Cette espèce a montré à la fois de la vitesse et de l'efficacité dans ses visites, capable de visiter plus de neuf fleurs par minute. *Ceratina cucurbitina* a également fait preuve d'un engagement actif avec la culture, visitant plus de huit fleurs par minute. En revanche, *Apis mellifera* a présenté un taux de visite plus lent, pollinisant presque 6 fleurs par minute

En général, le taux de visite et la fréquence d'un visiteur sont des indicateurs importants de l'efficacité de la pollinisation (75), mais ce n'est pas toujours le cas. Le nombre de graines de pollen déposées sur les stigmates des fleurs par visite joue un rôle important dans la prédiction de l'efficacité de la pollinisation d'une espèce. *Megachile pilidens* est un déposant de pollen efficace sur les stigmates de *Cucumis melo*, déposant le plus grand nombre de graines de pollen par rapport à d'autres pollinisateurs. Le plus grand nombre de graines de pollen déposées sur les stigmates des fleurs indique une capacité élevée à transférer des graines de pollen entre les fleurs de melon, augmentant ainsi la probabilité de pollinisation croisée (allogamie). *Ceratina cucurbitina* a également déposé un grand nombre de graines de pollen. L'abeille domestique a déposé le moins de graines de pollen et semblait moins adaptée à la morphologie de la fleur de melon que les deux autres espèces d'abeilles. *Megachile pilidens* possède une brosse ventrale de récolte. *Ceratina cucurbitina* se distingue par leur petite taille, qui leur permet de pénétrer facilement dans la fleur, et leurs pattes sont mieux adaptées à la récolte de pollen puisque elles sont équipées d'un panier collecteur de pollen (76).

Plusieurs études ont montré que l'efficacité de la pollinisation par les abeilles est affectée par le schéma des visites quotidiennes (77). Nous avons découvert que la quantité de nectar sécrétée par les fleurs pendant la journée influençait le taux de visite des trois pollinisateurs du melon. Un pic de visites s'est produit entre 10 heures et midi, et après midi, le nombre de visites a diminué en fonction du volume de nectar sécrété par les fleurs. La diminution du nombre de visiteurs l'après-midi s'explique par l'épuisement des ressources florales (78), ce qui est conforme aux observations de (79), qui ont constaté que le matin avait le plus de visiteurs. La plupart des visites des abeilles ont été réalisées sur des fleurs mâles, une préférence partagée par (71,80). La quantité de nectar sécrétée par les fleurs mâles et femelles n'explique pas cette préférence, car les fleurs pistillées dans de nombreuses espèces de cucurbitacées monoïques

produisent plus de nectar que les fleurs staminées : *Cucumis melo* (81), *Cucumis sativus* (82), *Cucurbita Pepo* (83,84), et *Cucurbita maxima* (82). Cependant, la concentration en sucre du nectar des fleurs mâles explique pourquoi les fleurs staminées sont attractives pour les abeilles, car les fleurs mâles ont des concentrations de nectar beaucoup plus élevées que les fleurs femelles (fleurs staminées 41-45%, fleurs pistillées 35-36%) (85,86).

Les trois abeilles se sont concentrées davantage sur les fleurs pistillées que sur les staminées. La grande quantité de nectar des fleurs pistillées peut expliquer les visites lentes des pollinisateurs. Sur *Cucumis sativus* (Cucurbitaceae), (71) ont découvert que les visites des fleurs pistillées sont plus lentes que celles des fleurs staminées. (80) ont conclu que la durée des visites est proportionnelle à la quantité de nectar sécrétée. L'expérience d'ensachage a révélé que les fleurs avec un accès libre aux insectes (pollinisation ouverte) produisaient plus de fruits avec un poids plus élevé que les fleurs ensachées (autopollinisation), démontrant l'importance de la pollinisation croisée par les visiteurs floraux. Les fleurs non ensachées sont fréquemment visitées par *Apis mellifera*, *Megachile pilidens* et *Ceratina cucurbitina*, ce qui entraîne une pollinisation améliorée et des rendements comparables à nos résultats (50) ont également trouvé une corrélation modérée entre l'intensité de la visite des abeilles et le poids des fruits, ce qui indique que la pollinisation entomophile augmente le rendement du melon.

Ces résultats indiquent que *Megachile pilidens* et *Ceratina cucurbitina* ont le potentiel de polliniser le melon dans la région de Mila en Algérie. Des recherches supplémentaires sur la contribution et l'efficacité de la pollinisation de chacune de ces pollinisateurs contribueront à augmenter les rendements de melon en Algérie. Il est recommandé de préserver les sites de nidification des deux espèces dans les zones environnantes et d'éviter les pesticides pendant la saison de floraison. De plus, les facteurs climatiques, les pratiques de gestion agricole et le paysage environnant doivent être pris en compte car ils peuvent influencer la diversité des pollinisateurs et le rendement, ainsi que le fait que nos résultats sont basés sur une seule zone. Des recherches sur les pollinisateurs efficaces du melon sont nécessaires dans toute la région.

La luzerne

Une analyse ciblée et efficace des pollinisateurs revêt une importance cruciale pour optimiser le service de pollinisation et garantir une production de graines satisfaisante. Cette étude a permis d'observer plusieurs insectes pollinisateurs sur les fleurs de la luzerne, parmi lesquels figurent notamment l'abeille domestique, les bourdons et les espèces de *Megachile*

Megachile spp et les reines de *Bombus terrestris* sont les pollinisateurs les plus performants et les plus efficaces par rapport aux autres taxons, la majorité de leurs visites sont positives ; ils ont la capacité de manipuler les fleurs avec un mécanisme de déclenchement très efficace cela peut être associé à leurs tailles et leurs brosse de récolte

En général le taux de visite des *Megachile* spp était plus faible par rapport à celui des abeilles domestiques et des bourdons mais la totalité de leurs visites ont été positive ; *Megachile* spp ne nécessitent probablement pas plus d'une visite pour polliniser complètement une fleur de luzerne par rapport aux autres taxons qui nécessitent certainement plusieurs visites pour déclencher la colonne staminale car *Megachile* spp déposent plus de pollen que les ouvrières des bourdons et de l'abeille domestique cela pourrait être du de la présence de scopa situé sous l'abdomen (une brosse porteuse de pollen) caractérisent les Megachilidae (87) ce qui augmente la probabilité que la charge pollinique entre en contact avec le stigmate ; selon (4) les Mégachiles sont plus efficaces dans la pollinisation de la luzerne elles montrent une préférence pour la récolte de pollen en raison de la fabrication de leurs nids ; contrairement à l'abeille domestique qui ne le récolte que lorsqu'elle n'a aucune source pour se nourrir . cette efficacité pollinisatrice peut compenser leurs faible densité en effet les Mégachiles spp ont étaient enregistré comme visiteurs de la luzerne avec l'espèce introduite *Megachile rotundata* (88,89) cette espèce est totalement absente en Algérie nous avons enregistré la présence de *Megachile leachella* et *Megachile pilidens* avec un nombre significatif bien qu'une étude plus approfondie de ses visiteurs dans l'ensemble de l'aire de répartition de la luzerne soit nécessaire.

Les reines de *Bombus terrestris* sont aussi de meilleurs pollinisateurs de la luzerne en raison de leurs visites positives, leurs fréquences, leur rapidité dans la pollinisation des fleurs et leurs quantités de graines de pollen déposé sur les stigmates des fleurs ce sont des concurrents très forts des *Megachile* spp dans la réussite de la pollinisation de *Medicago sativa*

Les ouvrières d'*Apis mellifera* étaient des pollinisateurs inefficaces de la luzerne grâce aux visites négatives effectuées sur les fleurs de la luzerne ,elles passent plus de temps par visite florale elles déposent de petite quantité de pollen par rapport aux *Megachile* spp et aux reines de *Bombus terrestris* (90) aussi a conclu que l'abeille domestique n'était pas utile et même n'a pas de valeur dans la production de semences , cependant *Apis mellifera* était le pollinisateur le plus fréquent de la luzerne en conséquence la grande force de pollinisateurs disponible au niveau des ruches commerciales peut signifier globalement que les ouvrières d'*Apis mellifera* contribuent à la pollinisation de la luzerne plus que toutes les espèces pollinisatrices

(Morse 1991) suggère que même les individus d'*Apis mellifera* ne sont pas efficaces pour certaines cultures mais leur forte mobilité des colonies sollicitent idéalement les déficits de la pollinisation ;

80% des visites des ouvrières de *Bombus terrestris* sur les fleurs de la luzerne ont été négatives. Elles volent le nectar directement en perçant des trous à la base de la corolle (63) puisque le but alimentaire des ouvrières de bourdons était pour la récolte de nectar (8,9,47,64) Plusieurs auteurs ont également signalé ce comportement chez les fleurs des plantes .

les ouvrières de *Bombus terrestris* ont la capacité de visiter plusieurs fleurs par jour par rapport aux ouvrières de l'abeille domestique en raison de leurs rapidité de visite , en plus elles sont tolérantes au froid cela peut assurer la pollinisation pendant les températures printanières fraîche ,en revanche malgré que les ouvrières des *Bombus terrestris* déposent un grand nombre de graines de pollen sur les stigmates des fleurs et elles sont rapides mais cela ne les rend pas efficaces pour polliniser la luzerne en raison des visites négatives effectuées sur les fleurs contrairement aux reines de *Bombus terrestris* qui sont les meilleurs pollinisateurs parmi les quatre taxons étudiés Elles effectuent toujours des visites positives quel que soit le produit récolté ce qui signifie que toutes leurs visites sont fécondantes avec la plus grande quantité des graines de pollen déposé sur les stigmates des fleurs durant les deux années d'étude.

Nos résultats montrent que les fleurs de la luzerne attirent un large éventail d'espèces pollinisateurs , ces variations peuvent s'expliquer par la sécrétion du nectar et du pollen qui était synchronisée avec le nombre de spécimens attiré ; le volume du nectar sécrété au cours de toute la journée est responsable du taux de quelques visiteurs floraux il est synchronisé avec l'attractivité des individus selon (4) la luzerne produit de grande quantité de nectar , peut atteindre jusque 54 à 238 livres (pound) par acre pendant une journée de floraison maximale l'activité quotidienne des pollinisateurs sur les fleurs dépend de la production florale soit de nectar (17) soit du pollen (91) durant toute la journée ;Les observations montrent que la majorité de visites des espèces *Megachile* spp et les ouvrières de *Bombus terrestris* sont consacrées pour la récolte du nectar (environ 60% des visites) et cette attractivité est synchronisée avec la quantité du nectar sécrétée. Nous avons enregistré le volume le plus élevé du nectar sécrété de 9h à 10h et de 14h à 15h avec un nombre de spécimen plus élevé dans ces période de la journée à l'inverse l'abeille domestique et les reines de *Bombus terrestris* récoltent principalement le pollen qui est disponible durant toute la journée ils sont nombreuses de 9h à 16h et leurs activité n'est pas synchronisée avec la quantité du nectar sécrétée.

La production grainière de la luzerne dépend de la présence d'insectes pollinisateurs ; une comparaison du rendement obtenu par les grappes couvertes par un tulle (autopollinisation) à des témoins (pollinisation libre) montrent une grande amélioration quantitativement en présence de pollinisateurs ; le nombre de graines obtenues par les fleurs accessibles aux insectes pollinisateurs est presque cinq fois plus de graines par rapport aux grappes couvertes ; le poids moyen des graines obtenu par les grappes pollinisées est plus élevé par rapport aux grappes non pollinisées ;(92) a déclaré qu'un champ de luzerne au Kansas a produit deux fois plus de graines en présence d'abeilles pollinisatrices qu'un champ similaire sans abeilles et même les gousses obtenues par la pollinisation libre étaient plus grosses et contiennent plus de graines par rapport à l'autopollinisation ; (93) a calculé qu'environ 200 millions de fleurs par acre étaient capables de produire 220.000 graines par livre à cinq graines par gousses cela indique un potentiel de 5000 livres de graines par acre (94) ont montré que 46,7% des fleurs produisent des gousses , c'est-à-dire une tonne de graines par acre est possible ; *Megachile rotundata* est un meilleur pollinisateur de la luzerne qui peut augmenter significativement la production grainière de la luzerne selon une étude réalisée en Argentine (88,89) Pour produire des semences de haute qualité et pour que la récolte soit maximale les fleurs de la luzerne doivent être pollinisées de manière croisée par la combinaison des abeilles domestiques ,des reines de *Bombus terrestris* et des *Megachile* spp représenté par les deux espèces rencontrées sur le champ (*Megachile leachella* et *Megachile pilidens*)

L'efficacité pollinisatrice des pollinisateurs de la luzerne est totalement connectée avec la période de floraison de la plante ; les producteurs peuvent programmer des périodes de floraison précoce qui coïncident avec l'émergence des reines de *Bombus terrestris* en évitant les floraisons tardives pour éviter les visites négatives des ouvrières de *Bombus terrestris*

Megachile spp préfèrent nicher au-dessus du sol dans des trous d'environ trois mètres pour exploiter ce genre d'espèce le producteur prépare des trous dans des planches là où les abeilles sont abondantes et actives (95)une fois les nids sont formés dans les trous , les abeilles immatures peuvent être transportées vers les champs de la luzerne de façon à les disposer à des distances réduites puisque les *Megachile* spp ne butinent pas aussi loin que les abeilles domestiques et pour les bourdons plusieurs recherches ont été réalisées sur la nidification avec des mécanismes d'élevage des reines.

Le concombre

Les observations menées sur les floraisons de 2019 et 2021 de *C. sativus* ont révélé une forte affluence de visiteurs, principalement des Hyménoptères apoïdes appartenant à quatre familles : Megachilidae, Andrenidae, Apidae, Halictidae et *Apis mellifera* a été le pollinisateur le plus fréquemment observée tout au long des deux périodes d'étude, suivie par l'espèce *Ceratina cucurbitina* et plusieurs espèces du genre *Megachile* sp (*Megachile pilidens*, *Megachile apicalis* et *Megachile leachella*). Ces résultats corroborent ceux de (71), qui ont étudié la pollinisation du concombre dans la région de Constantine et signalé les mêmes pollinisateur, les deux espèces *Pieris rapae* (Lépidoptère) et *Coccinella septempunctata* (Coleoptera) ont été observé accidentellement sur les fleurs de *Cucumis sativus*.

La plupart des visites des abeilles se sont dirigées vers les fleurs mâles (fleurs staminées). Cette préférence, notée par (65,80), semble indépendante de la densité élevée de ces fleurs; les abeilles continuent à privilégier les fleurs mâles(80). Cette préférence peut être attribuée à la quantité de nectar produite par les fleurs mâles et femelles. Des études ont démontré que les fleurs femelles sécrètent entre 0,6 et 1,7 fois plus de nectar que les fleurs mâles (51,85,85). De plus, le nectar des fleurs pistillées est plus énergétique, avec une concentration totale en sucres de 4,6 mg par unité pour le nectar femelle, contre 3,3 mg pour le nectar mâle (85,96).

Toutefois, le nectar des fleurs mâles présente une concentration en sucres significativement supérieure à celle des fleurs pistillées (85,96). Cette concentration accrue en sucres dans le nectar des fleurs mâles semble être l'élément attractif pour les abeilles (80).

Les visites de diverses espèces aux fleurs de *C. sativus* sont plus courantes le matin et en début d'après-midi, habituellement entre 11h et 14h. L'activité des abeilles est synchronisée avec la sécrétion de nectar et la libération de pollen par les fleurs.

. Les nombres moyens de butineurs de pollen étaient significativement plus élevés le matin (de 8h à 11h), tandis qu'il y avait significativement plus de butineurs de nectar l'après-midi (de 12h à 14h). (97,98) ont également rapporté que le butinage du pollen était maximal le matin et celui du nectar maximal l'après-midi dans les fleurs de cucurbitacées, De plus, les abeilles consacrent leurs visites à la récolte de nectar et pollen ensemble l'après-midi (de 12h à 16h), tandis qu'un faible pourcentage de ce type de récolte a été enregistré le matin.

La durée des visites des abeilles aux fleurs staminées et pistillées influence leur efficacité pollinisatrice. Moins de temps passé sur les fleurs pistillées entraîne un taux de visites

pollinisantes plus élevé (83,99). Nos observations montrent que les abeilles passent plus de temps sur les fleurs femelles, ce qui pourrait être dû à l'abondance de nectar. (80) ont noté que la durée des visites est liée à la quantité de nectar disponible, les abeilles restant sur la fleur jusqu'à l'avoir épuisée.

L'analyse de la vitesse de butinage des principales espèces pollinisatrices de la plante révèle que les *Megachile spp* sont les pollinisateurs les plus rapides dans la pollinisation du concombre, visitant près de 10 fleurs par minute. Ensuite, l'espèce *Ceratina cucurbitina* a visité environ 8 fleurs par minute, suivie de l'abeille domestique, qui était la plus lente de toutes les espèces, avec près de cinq fleurs par minute.

La citrouille

Bombus ruderatus est un pollinisateur extrêmement efficace pour les citrouilles, par rapport à l'abeille domestique selon plusieurs critères de performance. Par exemple *Bombus ruderatus* a déposé le double de la quantité des grains de pollen en une seule visite en comparaison avec l'abeille domestique. De plus il a systématiquement entré en contact avec le stigmate

Les observations effectuées sur les fleurs de la citrouille *Cucurbita maxima* pendant les deux floraisons 2019 et 2023 ont révélé une forte affluence de visiteurs, principalement des insectes de l'ordre des Hyménoptères, appartenant aux familles des Apidae, Halictidae, Andrenidae et Megachilidae. Parmi ces visiteurs, l'abeille domestique *Apis mellifera* et une espèce de bourdon (*Bombus ruderatus*). Ces constatations concordent les résultats obtenus à New York par (100,101) qui ont signalé l'abeille domestique et une espèce de bourdon *Bombus impatiens* parmi les pollinisateurs majeurs de la citrouille. Au Pakistan, (102) ont rapporté la présence de trois espèces fréquemment observé sur la citrouille *Apis dorsata*, *Nomia sp* et *Halictus sp*, tandis que plusieurs recherches ont révélées l'efficacité pollinisatrice des abeilles domestiques sur les fleurs de *Cucurbita maxima* (103,104)

La citrouille dépend de la pollinisation croisée pour son développement (103), et ce sont principalement les abeilles qui assurent le transport de pollen de fleur en fleur (101,103,105). Pour une pollinisation efficace, il est nécessaire que les fleurs mâles et femelles reçoivent au moins sept visites de pollinisateurs (106). Des fourmis ont été observé à l'intérieur de certaines fleurs mais nous avons exclu leur présence de nos analyses puisque elles ne participent pas à la pollinisation (103)

Bombus ruderatus est un pollinisateur extrêmement efficace pour les citrouilles, par rapport à l'abeille domestique selon plusieurs critères de performance. Par exemple *Bombus ruderatus* a déposé le double de la quantité des grains de pollen en une seule visite en comparaison avec l'abeille domestique, nos résultats corroborent les résultats de (100) qui ont constaté que les bourdons sont de meilleurs pollinisateurs des cultures *Cucurbita*, déposant plus de grains de pollen par stigmate en une seule visite et entrant en contact avec le stigmate plus souvent que les abeilles domestiques et les abeilles des courges cendrées

L'activité des pollinisateurs sur les fleurs varie en fonction de la disponibilité de pollen (91) ou de nectar (107).

Nos observations durant les deux floraisons montrent que les abeilles des deux taxons ont une préférence remarquable des fleurs pistillées entre 65-83% des visites ont été effectuées sur les fleurs pistillées en raison de la grande quantité de nectar secrété par les fleurs femelles de la citrouille, (108) ont cité que les fleurs femelles produisent 118 ± 22 ml contre 26 ml le volume de nectar enregistré pour les fleurs mâles.

Le temps de butinage dépensé sur les fleurs pistillées et staminées est significativement différents entre les deux sexes floraux, les résultats montrent que les deux taxons dépensent plus de temps sur les fleurs pistillées par rapport à ceux staminées et particulièrement les bourdons ont passé une période plus longue pour prélever le nectar sur les fleurs pistillées que l'abeille domestique ce qui favorise le contact avec la surface stigmatique de la fleur cela augmente la réussite de la pollinisation.

L'abondance de nectar dans les fleurs pistillées peut justifier la lenteur des visites des pollinisateurs sur ces fleurs. En effet, (80) ont observé une corrélation entre la durée des visites sur les fleurs et la quantité de nectar disponible. Ils ont noté qu'une abeille domestique, lorsqu'elle n'est pas dérangée pourra rester sur la fleur jusqu'à ce qu'elle ait collecté tout le nectar disponible.

Cucurbita maxima est largement autostérile(103), ce qui rend la pollinisation croisée essentielle pour obtenir des rendements plus améliorés. Nos résultats confirment que la présence de pollinisateurs contribue à améliorer la production de la culture. En effet, les rendements fruitiers et grainiers issus de la pollinisation croisée sont plus élevés que ceux résultant de l'autopollinisation. De nombreuses études ont également montré que la présence de

pollinisateurs sur les fleurs de la citrouille augmente grandement les rendements par rapport à l'autopollinisation(101,102,109,110).

Le taux de nouaison des fleurs pollinisées par les insectes est beaucoup plus élevé en comparaison avec ceux encagées avec des fruits contenant de grands nombre de graines par rapport à l'autopollinisation, Bien que le vent puisse assurer le transport du pollen d'une plante à une autre (51) sur des distances pouvant atteindre 2,5 km (111), le rôle des abeilles, reste prépondérant. En revanche, le poids moyen des fruits obtenus et des graines était significativement plus élevé sur les fleurs à accès libre de pollinisateurs que sur ceux ensachés par un tulle.

Chapitre 6

Conclusion et perspectives

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les recherches effectuées dans la wilaya de Mila, portant sur cinq cultures maraîchères incluant le concombre, le melon, la citrouille, la luzerne et la fève, ont mis en évidence la présence d'*Apis mellifera* sur les fleurs de toutes ces cultures. Elle s'est avérée être le principal pollinisateur du melon en termes d'abondance, en compagnie des espèces *Ceratina cucurbitina* et *Megachile pilidens*. Pour le concombre, ces mêmes espèces, ainsi que *M. apicalis* et *M. leachella*, ont été recensées, avec l'abeille domestique et *C. cucurbitina* et *M. pilidens*. De plus, elle était accompagnée d'*Eucera numida* pour polliniser les fleurs de fève. Les bourdons ont été identifiés comme les principaux pollinisateurs de la citrouille avec l'espèce *Bombus ruderatus*, en plus de l'abeille domestique.

L'analyse de l'impact de la pollinisation par les insectes sur la récolte des cultures a montré que les insectes pollinisateurs contribuent de manière significative à l'augmentation du rendement de toutes les plantes étudiées.

L'abeille domestique se distingue comme l'espèce commune à toutes ces plantes. En effet, elle est largement reconnue comme le pollinisateur le plus crucial pour de plusieurs cultures, comme l'ont souligné plusieurs études antérieures (51,77,112,112–115). L'abeille domestique ajuste son activité de butinage pour répondre aux besoins nutritionnels de sa colonie, cherchant à optimiser ses récoltes selon les observations d'Alleaume (2012). Cette domestication remonte à des temps anciens, remontant même jusqu'à l'Égypte ancienne il y a environ 4000 ans, où les humains commençaient déjà à l'élever (13). Sa domestication axée principalement sur la production de miel et de cire plutôt que sur ses capacités de pollinisation supérieures (116). Son emploi comme pollinisatrice de cultures a débuté à mesure que les populations d'autres abeilles, en particulier celles spécialisées dans le transport du pollen, ont diminué en raison des nouveaux défis agronomiques et environnementaux (21,117).

Jusqu'à présent, *Apis mellifera* est considérée comme l'un des principaux pollinisateurs des cultures. Cependant, Plusieurs études dans le monde entier ont confirmé l'inefficacité relative d'*Apis mellifera* par rapport aux populations d'abeilles sauvages, qui peuvent fournir un meilleur service de pollinisation pour diverses cultures. Par exemple, l'espèce *Eucera numida* s'est avérée plus efficace que l'abeille domestique dans la pollinisation de la fève (8,9), l'espèce *Megachile pilidens* et *Ceratina cucurbitina* étaient plus efficace sur les fleurs du melon (118), L'espèce *Megachile rotundata* est l'espèce la plus efficace aux Etats-Unis pour déclencher les

fleurs de la luzerne (89) aussi l'espèce *Megachile minutissima* avait un rôle très important sur les fleurs de *Medicago sativa* en Egypte (119) la pollinisation du pommier et du poirier est majoritairement réussie en utilisant l'espèce *Osmia cornuta*, (29,30) les bourdons ont participé à la pollinisation de plusieurs cultures telle que la tomate (37–40,42,120), la citrouille(100).

En Grande-Bretagne, les abeilles domestiques ne représentaient au mieux qu'un tiers de l'activité globale de pollinisation, le reste étant assuré par des abeilles sauvages. Une étude distincte a clairement démontré que les abeilles sauvages, par leur butinage des fleurs, favorisent la fructification dans les cultures agricoles, même en présence d'abeilles domestiques en abondance. Une récente étude mondiale a comparé l'efficacité pollinisatrice des abeilles domestiques et des pollinisateurs sauvages dans 41 cultures réparties dans le monde entier. Il est ressorti que dans certains cas et sous certaines conditions, l'abeille domestique n'est pas aussi efficace qu'on le supposait (Batra 1995, cité par Benachour 2008).

Un exemple mettant en lumière cette inefficacité de l'espèce *Apis mellifera* est observé dans le cas de la luzerne. D'après (121), l'abeille domestique prélève le nectar sans effectuer le déclenchement des fleurs ou elle pourra contribuer légèrement à la pollinisation (avec 1 % des visites effectuées pour récolter le nectar). En général, les abeilles sauvages se révèlent être des pollinisateurs particulièrement efficaces. Par exemple, quelques centaines d'individus de l'espèce *Osmia cornuta* suffisent à polliniser un hectare de pommiers. Au Japon l'espèce *Osmia cornifrons* est connue par sa fidélité et son efficacité pollinisatrice sur les fleurs de pommiers (122), plusieurs espèces végétales dont le nectar est difficilement accessible sont évitées par les abeilles domestiques en raison de leur morphologie florale comme le trèfle rouge, la luzerne ou la tomate, sont souvent visitées par des abeilles sauvages spécialisées (123). L'efficacité de ces abeilles en matière de pollinisation est due à leur comportement de butinage, caractérisé par une fidélité à une plante hôte particulière, la rapidité sur les fleurs, une zone de butinage limitée, et une collecte ainsi qu'une distribution de pollen très efficaces.

Les bourdons, considérés comme des pollinisateurs plus efficaces que les abeilles domestiques, sont utilisés sous serres pour polliniser les fleurs de tomate. Cette culture nécessite une pollinisation par vibration pour obtenir de meilleurs rendements, une tâche que l'abeille domestique ne peut pas assurer.

Les pollinisateurs subissent un déclin récent, qu'ils soient domestiques ou sauvages, conjointement à une diminution concomitante des plantes qui dépendent d'eux. Cette tendance inquiétante menace directement la survie même des plantes et pourrait avoir des répercussions

graves sur de nombreuses cultures commerciales d'importance vitale. De plus, elle représente une menace sérieuse pour la production agricole, la conservation de la biodiversité et la sécurité alimentaire mondiale. Les facteurs à l'origine de ce déclin comprennent la perte d'habitats, l'usage excessif de produits agrochimiques, la propagation d'agents pathogènes, la présence d'espèces exotiques et les changements climatiques. Face à cette crise imminente, des stratégies futures doivent être développées et mises en œuvre pour inverser cette tendance alarmante (124)

En guise de conclusion, Nos observations menées dans la wilaya de Mila sur diverses cultures maraîchères soulignent la nécessité majeure des abeilles solitaires dans le processus de pollinisation de ces plantes. Il devient donc impératif de préserver les populations locales de pollinisateurs sauvages afin de répondre aux besoins de pollinisation des cultures.

Pour ce faire, des mesures de préservation des apoïdes, similaires à celles évoquées précédemment, doivent être mises en place. De plus, il est essentiel de sensibiliser les agriculteurs à l'importance des pollinisateurs au sein de la pollinisation des cultures afin d'améliorer les rendements. Malheureusement, de nombreux agriculteurs, tout comme la population en général, connaissent l'abeille domestique principalement pour la production de miel et de cire, mais ignorent son rôle crucial dans le processus de pollinisation.

La mise en place de contrats de pollinisation, déjà courante au niveau de plusieurs pays, notamment aux États-Unis, pourrait être envisagée entre les agriculteurs et les apiculteurs. Le déploiement dans les champs et les vergers en fleurs d'un nombre adéquat de colonies d'abeilles permettrait non seulement d'optimiser les rendements des cultures, mais aussi d'accroître la production de miel. Par ailleurs, il est urgent de mener des recherches approfondies sur notre faune d'abeilles. Bien que des recherches aient déjà été menées dans de nombreuses zones de l'est et du centre, d'autres sont en cours et doivent être étendues à toutes les régions du pays. Ces travaux devraient également inclure une analyse de la flore cultivée pour mieux comprendre la diversité des pollinisateurs des cultures en Algérie. L'observation du comportement de ces espèces solitaires, ainsi que la compréhension de leur biologie et de leur comportement de nidification, seront cruciales pour identifier les espèces les plus adaptées à la pollinisation efficace de nos cultures et pour initier leur élevage.

Chapitre 7
Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

1. Michener CD. The bees of the world [Internet]. Vol. 1. JHU press; 2000 [cité 19 mai 2024].
2. Vaissière B. Abeille, pollinisation et pesticides. Académie d'Agriculture de France. 2005.
3. Payette A. Les Apoïdes du Québec: Abeilles et agriculture. L'Abeille. 1996;16(4):14-5.
4. McGregor SE. Insect Pollination of Cultivated Crop Plants. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture; 1976. 440
5. Klein AM, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops.
6. Kremen C, Williams NM, Thorp RW. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. Proc Natl Acad Sci USA. 24 déc 2002;99(26):16812-6.
7. Winfree R, Williams NM, Gaines H, Ascher JS, Kremen C. Wild bee pollinators provide the majority of crop visitation across land-use gradients in New Jersey and Pennsylvania, USA. Journal of Applied Ecology. juin 2008;45(3):793-802.
8. Benachour K, Louadi K, Terzo M. Rôle des abeilles sauvages et domestiques (Hymenoptera : Apoidea) dans la pollinisation de la fève (*Vicia faba* L. var. *major*) (Fabaceae) en région de Constantine (Algérie). Annales de la Société entomologique de France (NS). janv 2007;43(2):213-9.

9. Messellem I, Aguib S, Abed Racha. The pollinating fauna of the bean *Vicia faba* L and the quantitative and qualitative performance role of the plant in the region of Mila (east of Algeria). *agrobiologia*. 2023;2(13):3637-44.
10. Frier SD, Somers CM, Sheffield CS. Comparing the performance of native and managed pollinators of Haskap (*Lonicera caerulea*: Caprifoliaceae), an emerging fruit crop. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2016;219:42-8.
11. Louadi K. Contribution à la connaissance des genres *Halictus* et *Lasioglossum* de la région de Constantine (Algérie)(Hymenoptera, Apoidea, Halictidae). *Bulletin de la Société entomologique de France*. 1999;104(2):141-4.
12. Bendifallah L, Louadi K, Doumandji S. Apoidea et leur Diversité au Nord d'Algérie. *Silva Lusitana*. 2010;18(1):85-102.
13. Korichi Y. Diversité, activité de butinage et impact de la pollinisation des Apoïdes (Hymenoptera: Apoidea) sur les plantes cultivées dans la région de Tizi-Ouzou [Internet] [PhD Thesis]. Université Mouloud MAMMERRI Tizi-Ouzou; 2020
14. Louveaux J. Les abeilles et leur élevage. [Internet]. 1980
15. Klein AM, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc R Soc B*. 7 févr 2007;274(1608):303-13.
16. Philippe JM. La pollinisation par les abeilles [Internet]. 1991
17. Pouvreau A. Les insectes pollinisateurs. Delachaux & Niestlé. 2004;157P.

18. Larue C. De la pollinisation à la formation des graines: le cas du châtaignier [PhD Thesis]. Université de Bordeaux; 2021 Disponible sur: <https://theses.hal.science/tel-03533842/>
19. Jacob-Remacle A. Abeilles sauvages et pollinisation. Unité de Zoologie générale et appliquée de la Faculté des Sciences ; 1990.
20. Dibos C. Interactions plante-pollinisateur: caractérisation de la qualité du pollen de deux cucurbitacées durant son ontogénèse, sa présentation et son transport sur le corps de l'abeille domestique [PhD Thesis]. Université d'Avignon; 2010
21. Kevan PG, Baker HG. Insects as Flower Visitors and Pollinators. *Annu Rev Entomol.* janv 1983;28(1):407-53.
22. Benachour K. Diversité et activité pollinisatrice des abeilles (Hymenoptera: Apoidea) sur les plantes cultivées. Thèse de doctorat en entomologie appliquée Univ Mentouri, Constantine: 2008;151.
23. Abrol DP. Effect of climatic factors on pollination activity of alfapollinating subtropical bees *Megachile nana* Bingh and *Megachile flavipes* Spinola (Hymenoptera: Megachilidae). [Internet]. 1988
24. Shebl MA, Kamel SM, Abu Hashesh TA, Osman MA. The impact of leafcutting bees (*Megachile minutissima*, Megachilidae, Hymenoptera)(Radoszkowski, 1876) artificial nest sites on seed production of alfalfa, Ismailia, Egypt. *Agricultura.* 2008;5:33-5.
25. Torchio PF. Use of *Osmia lignaria* Say (Hymenoptera: Apoidea, Megachilidae) as a pollinator in an apple and prune orchard. *Journal of the Kansas Entomological Society.* 1976;475-82.

26. Bosch J, Kemp WP, Trostle GE. Bee population returns and cherry yields in an orchard pollinated with *Osmia lignaria* (Hymenoptera: Megachilidae). *Journal of Economic Entomology*. 2006;99(2):408-13.
27. Sheffield CS. Pollination, seed set and fruit quality in apple: studies with *Osmia lignaria* (Hymenoptera: Megachilidae) in the Annapolis Valley, Nova Scotia, Canada. *Journal of Pollination Ecology*. 2014;12:120-8.
28. Torchio PF, Asensio E. The introduction of the European bee, *Osmia cornuta* Latr., into the US as a potential pollinator of orchard crops, and a comparison of its manageability with *Osmia lignaria propinqua* Cresson (Hymenoptera: Megachilidae). *Journal of the Kansas Entomological Society*. 1985;42-52.
29. Vicens N, Bosch J. Pollinating efficacy of *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Megachilidae, Apidae) on 'red Delicious' apple. *Environmental Entomology*. 2000;29(2):235-40.
30. Maccagnani B, Ladurner E, Santi F, Burgio G. *Osmia cornuta* (Hymenoptera, Megachilidae) as a pollinator of pear (*Pyrus communis*): fruit-and seed-set. *Apidologie*. 2003;34(3):207-16.
31. Ladurner E, Recla L, Wolf M, Zelger R, Burgio G. *Osmia cornuta* (Hymenoptera Megachilidae) densities required for apple pollination: a cage study. *Journal of Apicultural Research*. janv 2004;43(3):118-22.
32. Li JiLian LJ, Peng WenJun PW, Wu Jie WJ, An JianDong AJ, Guo ZhanBao GZ, Tong YueMin TY, et al. Strawberry pollination by *Bombus lucorum* and *Apis mellifera* in greenhouses. 2006 [cité 8 mai 2024];
33. Ceuppens B, Ameye M, Van Langenhove H, Roldan-Ruiz I, Smagghe G. Characterization of volatiles in strawberry varieties 'Elsanta' and 'Sonata'

and their effect on bumblebee flower visiting. *Arthropod-Plant Interactions*. juin 2015;9(3):281-7.

34. Nayak RK, Rana K, Bairwa VK, Singh P, Bharti VD. A review on role of bumblebee pollination in fruits and vegetables. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2020;9(3):1328-34.
35. Liu J, Chen M, Ma W, Zheng L, Zhang B, Zhao H, et al. Composition of strawberry flower volatiles and their effects on behavior of strawberry pollinators, *Bombus terrestris* and *Apis mellifera*. *Agronomy*. 2023;13(2):339.
36. Abak K, Özdoğan AO, Dasgan HY, Derin K, Kaftanoğlu O. Effectiveness of bumble bees as pollinators for eggplants grown in unheated greenhouses. In: XXV International Horticultural Congress, Part 4: Culture Techniques with Special Emphasis on Environmental Implications 514
37. Asada S, Ono M. Crop pollination by Japanese bumblebees, *Bombus* spp.(Hymenoptera: Apidae): Tomato foraging behavior and pollination efficiency. *Applied Entomology and Zoology*. 1996;31(4):581-6.
38. Dogterom MH, Matteoni JA, Plowright RC. Pollination of greenhouse tomatoes by the North American *Bombus vosnesenskii* (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Economic Entomology*. 1998;91(1):71-5.
39. Vergara CH, Fonseca-Buendía P. Pollination of greenhouse tomatoes by the Mexican bumblebee *Bombus ephippiatus* (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Pollination Ecology* [Internet]. 2012
40. Nunes-Silva P, Hrnčir M, Shipp L, Kevan P, Imperatriz-Fonseca VL. The behaviour of *Bombus impatiens* (Apidae, Bombini) on tomato (*Lycopersicon*

esculentum Mill., Solanaceae) flowers: pollination and reward perception. *Journal of Pollination Ecology*. 2013;11:33-40.

41. Strange JP. *Bombus huntii*, *Bombus impatiens*, and *Bombus vosnesenskii* (Hymenoptera: Apidae) pollinate greenhouse-grown tomatoes in western North America. *Journal of economic entomology*. 2015;108(3):873-9.
42. Zhang H, Han C, Breeze TD, Li M, Mashilingi SK, Hua J, et al. Bumblebee pollination enhances yield and flavor of tomato in gobi desert greenhouses. *Agriculture*. 2022;12(6):795.
43. Koepke U, Nemecek T. Ecological services of faba bean. *Field Crops Res*. 115 (3),. 2009;217-33.
44. Everwand, G, Cass, S, Dauber J, Williams M, Stout J. . Legume crops and biodiversity. In: Murphy-Bokern, D., Stoddard, F.L., Watson, C.A. (Eds.), *Legumes in Cropping Systems*. CAB International, Wallingford. 2017;
45. Le Guen J, Mesquida J, Pierre JS, Morin G, Tasei JN, Carré S. Efficacité pollinisatrice de différents traitements sur 2 lignées de féverole de printemps (*Vicia faba* L. var. *equina* Steudel), à des niveaux d'autofertilité différents, avec utilisation de diverses espèces de *Bombus* Latr. (Hymenoptera : Apidae). *Apidologie* 24(2). 1993;129-145.
46. Pierre J, Le Guen J, Pham Delègue M, Mesquida J, Marilleau R, Morin J. Comparative study of nectar secretion and attractivity to bees of two lines of spring-type faba bean (*Vicia faba* L. var. *equina* Steudel). *Apidologie* 27. 1996;65-75.
47. Pierre J, Suzo MJ, Esnault R, Le Guen, Moreno MT. .Diversité et efficacité de l'entomofaune pollinisatrice (Hymenoptera:Apidae) de la féverole (*Vicia faba* L.) sur deux sites, en France et en Espagne. *Annales de la Société*

Entomologique de France (n.s.) 35 (suppl.): Annales de la Société Entomologique de France (n.s.) 35 (suppl.): 1999;312-318.

48. Kouonon LC, Jacquemart AL, Zoro Bi AI, Bertin P, Baudoin JP, Dje Y. Reproductive biology of the andromonoecious *Cucumis melo* subsp. *agrestis* (Cucurbitaceae). *Annals of Botany*. 1 nov 2009;104(6):1129-39.
49. Ribeiro M de F, Silva EMS da, Lima Júnior I de O, Kiill LHP. Honey bees (*Apis mellifera*) visiting flowers of yellow melon (*Cucumis melo*) using different number of hives. *Cienc Rural*. 10 juill 2015;45:1768-73.
50. Tschoeke PH, Oliveira EE, Dalcin MS, Silveira-Tschoeke MCAC, Santos GR. Diversity and flower-visiting rates of bee species as potential pollinators of melon (*Cucumis melo* L.) in the Brazilian Cerrado. *Scientia Horticulturae*. avr 2015;186:207-16.
51. McGregor SE. Insect pollination of cultivated crop plants [Internet]. Agricultural Research Service, US Department of Agriculture; 1976
52. Bolton JL. Alfalfa. Botany cultivation and utilization. Alfalfa Botany cultivation and utilization [Internet]. 1962 [cité 6 mars 2024];
53. Riday H, Reisen P, Raasch JA, Santa-Martinez E, Brunet J. Selfing Rate in an Alfalfa Seed Production Field Pollinated with Leafcutter Bees. *Crop Science*. mai 2015;55(3):1087-95.
54. Gardens RB, Kew MBG. The plant list. A working list of all plant species. le Royal Botanic Gardens, Kew et le Missouri Botanical Garden; 2017.
55. Stoddard FL, Bond DA. The pollination requirements of the faba bean. *Bee World* 68(3): 144-152. Bee. 1987;144-152.

56. Michener CD. Classification of the Apidae (Hymenoptera). The University of Kansas Science Bulletin. 1990;153.
57. Scheuchl E. Clé illustrée des genres de la super-famille des Apoidea. Illustrierte Bestimmungstabellen der Wildbienen Deutschlands und Österreichs. Band I, Anthophoridae, Gattungen, Bonn. 2000;158.
58. Pauly A. Clés Illustrées Pour L'identification des Abeilles de Belgique et des Régions Limitrophes (Hymenoptera: Apoidea) Megachilidae. Halictidae Document de travail du projet belbees. 2015;
59. Beniston WS. Fleurs d'Algérie, édition entreprise nationale de livre. Algérie; 1984.
60. Aouar-sadli M, Louadi K, Doumandji SE. Pollination of the broad bean (*Vicia faba* L.var. major) (Fabaceae) by wild bees and honey bees (Hymenoptera: Apoidea) and its impact on the seed production in the Tizi-Ouzou area (Algeria). 2008;7.
61. Jacob-Remacle A. Comportement de butinage de l'abeille domestique et des abeilles sauvages dans des vergers de pommiers en Belgique. Apidologie 20. 1989;271-85.
62. Marzinzig B, Brünjes L, Biagioni S, Behling H, Link W, Westphal C. Bee pollinators of faba bean (*Vicia faba* L.) differ in their foraging behaviour and pollination efficiency. Agriculture, Ecosystems & Environment. sept 2018;264:24-33.
63. Newton SD, Hill GD. Robbing of field bean flowers by the short-tongued bumblebee *Bombus terrestris*. Journal of Apiculture Research 22: 124-129. Journal of Apiculture Research 22. 1983;124-129.

64. Koltowski Z. Foraging by pollinating insects on several field bean cultivars (*Vicia faba* L. spp. minor Harz). *Pszczelnicze Zeszyty Naukowe* 40(1). *Pszczelnicze Zeszyty Naukowe* 40(1). 1996;77-93.
65. Free JB. *Insect Pollination of Crops*,. 2nd ed. Academic Press, London. 1993;
66. Free JB. The pollination requirements of broad beans and field beans (*Vicia faba*). *Journal of Agricultural Science* 66. 1966;395-8.
67. Pritsch G. Recherche sur le rôle que joue l'abeille dans la pollinisation de la fève (*Vicia faba*),. CR 23 Congrès international d'Apiculture. 1971;529-30.
68. Pinzauti M, Frediani D. Effetto dell'impollinazione entomofila sulla produttività del favino (*Vicia faba* minor). *Apicoltore Moderno*. 1979;107-13.
69. Bartomeus I, Potts SG, Steffan-Dewenter I, Vaissière BE, Woyciechowski M, Krewenka KM, et al. Contribution of insect pollinators to crop yield and quality varies with agricultural intensification. *PeerJ*. 27 mars 2014;2:e328.
70. Nayak GK, Roberts, S.P.M, Garratt M, Breeze TD, Tscheulin T, Harrison-Cripps J. . Interactive effect of floral abundance in semi-natural habitats on pollinators in field beans (*Vicia faba*). *Agric. Ecosyst. Environ.* 199,. 2015;58-66.
71. Benachour K, Louadi K. Comportement de butinage des abeilles (Hymenoptera : Apoidea) sur les fleurs mâles et femelles du concombre (*Cucumis sativus* L.) (Cucurbitaceae) en région de Constantine (Algérie). *Annales de la Société entomologique de France (NS)*. 1 janv 2011;47.
72. Udayakumar A, Shivalingaswamy TM. Leafcutter Bees (Hymenoptera: Megachilidae) as Pollinators of Pigeon Pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.,

- Fabaceae): Artificial Trap Nests as a strategy for their conservation. *Sociobiology*. 22 avr 2022;69(1):e7202-e7202.
73. Sajjad A, Akram W, Ali S, Farooqi MA, Mujtaba G, Ali M, et al. Pollination of *Grewia asiatica* (Malvaceae) by *Megachile cephalotes* (Hymenoptera: Megachilidae): Male vs. Female Pollination. *Sociobiology*. 14 nov 2019;66(3):467-74.
74. Benachour K. Insect Visitors of Lavender (*Lavandula officinalis* L.): Comparison of Quantitative and Qualitative Interactions of the Plant with Its Main Pollinators. *African Entomology*. sept 2017;25(2):435-44.
75. Zameer SU, Bilal M, Fazal MI, Sajjad A. Foraging behavior of pollinators leads to effective pollination in radish *Raphanus sativus* L. *Asian J Agri & Biol*. 2007;5(4):221-7.
76. Louadi K, Terzo M, Benachour K, Berchi S, Aguib S, Maghni N, et al. Les Hyménoptères Apoidea de l'Algérie orientale avec une liste d'espèces et comparaison avec les faunes ouest-paléarctiques. *Bulletin de la Société entomologique de France*. 2008;113(4):459-72.
77. Ela MA, Messi J, Fohouo FNT, Tamesse JL, Kekunou S, Pando JB. Foraging behaviour of *Apis mellifera adansonii* and its impact on pollination, fruit and seed yields of *Citrullus lanatus* at Nkolbisson (Yaoundé, Cameroon). *Cameroon Journal of Experimental Biology [Internet]*. 2010
78. Polatto LP, Chaud-Netto J, Alves-Junior VV. Influence of Abiotic Factors and Floral Resource Availability on Daily Foraging Activity of Bees: Influence of Abiotic and Biotic Factors on Bees. *J Insect Behav*. sept 2014;27(5):593-612.

79. Siqueira KMMD, Kiill LHP, Silva Gama DRD, Araújo DCDS, Coelho MDS. Comparação do padrão de floração e de visitação do meloeiro do tipo amarelo em Juazeiro-BA¹. Rev Bras Frutic. oct 2011;33(spe1):473-8.
80. Collison CH, Martin EC. Behaviour of Honeybees Foraging on Male and Female Flowers of *Cucumis Sativus*. Journal of Apicultural Research. 1 janv 1979;18(3):184-90.
81. Fisher RM, Pomeroy N. Pollination of Greenhouse Muskmelons by Bumble Bees (Hymenoptera: Apidae). Journal of Economic Entomology. 1 août 1989;82(4):1061-6.
82. Fahn A. Studies in ecology of nectar secretion. Palestine Journal of Botany Jerusalem. 1949;4:207-224.
83. Tepedino VJ. The Pollination Efficiency of the Squash Bee (*Peponapis pruinosa*) and the Honey Bee (*Apis mellifera*) on Summer Squash (*Cucurbita pepo*). Journal of the Kansas Entomological Society. 1981;54(2):359-77.
84. NEPI M, CIAMPOLINI F, PACINI E. Development and Ultrastructure of *Cucurbita pepo* Nectaries of Male Flowers. Annals of Botany. 1 juill 1996;78(1):95-104.
85. Collison BB, Dey GR. Altering Counselor Expectancies of Young Entry Level Workers. Counselor Education and Supervision. 1973;12(4):243-8.
86. Connor LJ, Collison CH, Martin EC. The pollination of hybrid cucumbers by honey bees. In: 3rd International Symposium on Pollination. 1975.
87. Michener C. The Bees Of The World. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London. 2nd éd. 2007;953.

88. Stephen WP, Osgood CE. The induction of emergence in the leaf-cutter bee *Megachile rotundata*, an important pollinator of alfalfa. *Journal of Economic Entomology*. 1965;58(2):284-6.
89. Haedo JP, Martínez LC, Graffigna S, Marrero HJ, Torretta JP. Managed and wild bees contribute to alfalfa (*Medicago sativa*) pollination. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1 févr 2022;324:107711.
90. Hay WD. Does Artificial Tripping of Alfalfa Blossoms Increase Seed-Setting?:(A Preliminary Report). *Scientific Agriculture*. 1925;5(9):289-90.
91. Stone GN, Willmer P, Rowe JA. Partitioning of pollinators during flowering in an african *acacia* community. *Ecology*. déc 1998;79(8):2808-27.
92. Cockerell TD. Some insect pests of the Salt River Valley and the remedies for them [Internet]. College of Agriculture, University of Arizona (Tucson, AZ); 1899
93. Lesins K. Investigations into seed setting of lucerne at Ultuna, Sweden, 1945-1949. *Kungliga Lantbrukshogskolans Annaler*. 1950;17:441-83.
94. Pedersen MW, Petersen HL, Bohart GE, Levin MD. A Comparison of the Effect of Complete and Partial Cross-pollination of Alfalfa on Pod Sets, Seeds Per Pod, and Pod and Seed Weight ¹. *Agronomy Journal*. avr 1956;48(4):177-80.
95. Stephen WP. Artificial nesting sites for the propagation of the leaf-cutter bee, *Megachile (Eutricharaea) rotundata*, for alfalfa pollination. *Journal of Economic Entomology*. 1961;54(5):989-93.
96. Kauffeld NM, Williams PH. Honey bees as pollinators of pickling cucumbers in Wisconsin. 1972;(269):252-4.

97. Bhambure CS. Further studies on the importance of honeybees in pollination of Cucurbitaceae. Indian Bee Journal [Internet]. 1958
98. Aluri RJ. Studies on pollination ecology in India: a review. Proceedings of the Indian National Science Academy B. 1990;56:375-88.
99. Cervancia CR. A review of pollination biology research in selected Asian countries. Philippine Entomol. 2018;32:3-36.
100. Artz DR, Nault BA. Performance of *Apis mellifera*, *Bombus impatiens*, and *Peponapis pruinosa* (Hymenoptera: Apidae) as pollinators of pumpkin. Journal of Economic Entomology. 2011;104(4):1153-61.
101. Petersen JD, Reiners S, Nault BA. Pollination services provided by bees in pumpkin fields supplemented with either *Apis mellifera* or *Bombus impatiens* or not supplemented. PLoS One. 2013;8(7):e69819.
102. Ali M, Saeed S, Sajjad A, Bashir MA. Exploring the best native pollinators for pumpkin (*Cucurbita pepo*) production in Punjab, Pakistan. Pakistan Journal of Zoology [Internet]. 2014
103. Sinu PA, Sibisha VC, Nikhila Reshmi MV, Reshmi KS, Jasna TV, Aswathi K, et al. Invasive ant (*Anoplolepis gracilipes*) disrupts pollination in pumpkin. Biol Invasions. 1 sept 2017;19(9):2599-607.
104. Palatty Allesh S, Varma S, Reshmi KS, Aswathi K, Megha PP, Jasna TV, et al. Effet du sex-ratio des fleurs sur la nouaison chez la citrouille (*Cucurbita maxima*). Scientia Horticulturae. 27 févr 2019;246:1005-8.
105. Hoehn P, Tschardt T, Tylianakis JM, Steffan-Dewenter I. Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. juill 2008;275(1648):2283-91.

106. Esther Julier H, Roulston TH. Wild bee abundance and pollination service in cultivated pumpkins: farm management, nesting behavior and landscape effects. *Journal of Economic Entomology*. 2009;102(2):563-73.
107. Suso MJ, Pierre J, Moreno MT, Esnault R, Le Guen J. Variation in outcrossing levels in faba bean cultivars: role of ecological factors. *The Journal of Agricultural Science*. 2001;136(4):399-405.
108. Nepi M, Guarnieri M, Pacini E. Nectar Secretion, Reabsorption, and Sugar Composition in Male and Female Flowers of *Cucurbita pepo*. *International Journal of Plant Sciences* [Internet]. mars 2001
109. Walters SA, Taylor BH. Effects of honey bee pollination on pumpkin fruit and seed yield. *HortScience*. 2006;41(2):370-3.
110. Vidal M das G, Jong D de, Wien HC, Morse RA. Pollination and fruit set in pumpkin (*Cucurbita pepo*) by honey bees. *Braz J Bot*. mars 2010;33:106-13.
111. Timmons AM, O'Brien ET, Charters YM, Dubbels SJ, Wilkinson MJ. Assessing the risks of wind pollination from fields of genetically modified *Brassica napus* ssp. *oleifera*. In: Cassells AC, Jones PW, éditeurs. *The Methodology of Plant Genetic Manipulation: Criteria for Decision Making*
112. Kumar M, Singh R. Pollination efficiency of *Apis mellifera* in seed production of sunflower (*Helianthus annus* L.). *Journal of Entomological Research*. 2003;27(2):131-4.
113. Al-Ghzawi A, Zaitoun S. The role of honey bee *Apis mellifera* syriaca in pollination of four muskmelon (*Cucumis melo*) cultivars grown under semiarid conditions. *Advances in Horticultural Science*. 2007;21(1):41-6.

114. Sarwar G, Aslam M, Munawar MS, Raja S, Mahmood R. Effect of honey bee (*Apis mellifera* L.) pollination on fruit setting and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Pakistan Entomologist*. 2008;30(2):185-91.
115. Neves EL das, Viana BF. Pollination efficiency of *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (Hymenoptera, Apidae) on the monoecious plants *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. and *Jatropha mutabilis* (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) in a semi-arid Caatinga area, northeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 2011;71:107-13.
116. Batra SWT. Fruit-pollinating bees of the Garhwal Himalaya, UP, India. In: VII International Symposium on Pollination 437 [Internet]. 1996 [cité 16 sept 2024]. p. 325-8. Disponible sur: https://www.actahort.org/books/437/437_39.htm
117. Müller A, Diener S, Schnyder S, Stutz K, Sedivy C, Dorn S. Quantitative pollen requirements of solitary bees: implications for bee conservation and the evolution of bee–flower relationships. *Biological conservation*. 2006;130(4):604-15.
118. Messellem I, Aguib S, Abed R, Abderrezak S. Comparative Study of Pollination Efficiency and Yield Components of Melon Crops by Three Bee Species in Algeria. *Journal of the Kansas Entomological Society*. 2024;97(1):1-12.
119. Shebl MA, Kamel SM, Hashesh TAA, Osman MA. Seasonal abundance of leafcutting bees (*Megachile minutissima*, Megachilidae, Hymenoptera). *World Journal of Agricultural Sciences*. 2008;4(2):280-7.
120. DAŞGAN HY, ÖZDOĞAN A, KAFTANOĞLU O, Abak K. Effectiveness of bumblebee pollination in anti-frost heated tomato greenhouses in the

Mediterranean basin. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2004;28(2):73-82.

121. Tasei JN, Picard M, Carre S. Les insectes pollinisateurs de la luzerne (*Medicago sativa* L.) en France. Apidologie. 1978;9(3):175-94.
122. Sekita N, Yamada M. Use of *Osmia cornifrons* for pollination of apples in Aomori Prefecture, Japan. Japan Agricultural Research Quarterly. 1993;26:264-264.
123. Pfiffner L, Müller A. Wild Bees and Pollination: Fact Sheet. Research Institute of Organic Agriculture. 2014;
124. Abrol DP. Decline in Pollinators. In: Abrol DP, éditeur. Pollination Biology: Biodiversity Conservation and Agricultural Production [Internet]. Dordrecht: Springer Netherlands; 2012 [cité 16 mai 2024]. p. 545-601. Disponible sur : https://doi.org/10.1007/978-94-007-1942-2_17



Contribution à la connaissance de l'entomofaune de quelques cultures et étude de son activité pollinisatrice



Thèse

en vue de l'Obtention du Diplôme de Doctorat de Troisième Cycle en Biodiversité des Arthropodes

Résumé

Les performances de pollinisation des insectes butineurs peuvent varier selon leur taxonomie et la nécessité d'identifier ces pollinisateurs et d'évaluer leur efficacité demeure primordiale pour améliorer les services de pollinisation des cultures à l'échelle mondiale puisque dans de nombreuses cultures, la nouaison dépend étroitement des insectes pollinisateurs. Bien que l'abeille domestique soit souvent le pollinisateur majeur utilisé pour la plupart des cultures, les pollinisateurs sauvages peuvent parfois se révéler plus efficaces et performants.

Dans le cadre de cette étude, nous avons examiné les performances d'*Apis mellifera* et de plusieurs pollinisateurs sauvages dans la pollinisation de cinq cultures différentes la fève (*Vicia faba*), le melon (*Cucumis melo*), le concombre (*Cucumis sativus*), la citrouille (*Cucurbita maxima*) et la luzerne (*Medicago sativa*) dont les fruits ou les graines d'importance mondiale, les recherches menées entre 2019 et 2023 dans la région de Mila ont exploré le rôle des apoïdes pollinisateurs sur les cinq plantes étudiées. Des expériences ont été menées pour comparer l'efficacité pollinisatrice de plusieurs pollinisateurs en termes de dépôt de pollen par visite, de comportement de butinage et de vitesse de butinage. Les résultats ont mis en évidence qu'*Eucera numida* est un pollinisateur plus efficace pour la fève, tandis que *Ceratina cucurbitina* et *Megachile pilidens* ont démontré être des pollinisateurs plus performants pour le melon. De plus, pour le concombre, *Ceratina cucurbitina* et trois espèces du genre *Megachile* (*Megachile apicalis*, *Megachile pilidens* et *Megachile leachella*) ont été identifiées comme les principaux pollinisateurs. Concernant la luzerne, une pollinisation efficace a été observée principalement avec deux espèces du genre *Megachile* (*Megachile apicalis* et *Megachile leachella*). Enfin, l'espèce *Bombus rudermanni*, a été identifiée comme meilleur pollinisateur de la citrouille.

Une amélioration significative du rendement grainier et fruitier de toutes les plantes a été enregistrée en étudiant plusieurs paramètres, comparant le rendement des fruits et des graines des fleurs pollinisées par les insectes à celui des fleurs non pollinisées.

Mots clés : *Apis mellifera*, abeilles sauvages, pollinisation, efficacité pollinisatrice, cultures maraichères, comportement de butinage.

Directeur de thèse : Sihem AGUIB– Université : Constantine 1 – Frères Mentouri

Année Universitaire : 2023-2024