

N° Ordre..... /FS/UMBB/2025

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LRECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Sciences
Thèse de Doctorat

Présenté par

Mme. HAIDER Yamina

En vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT en :

Filière : Sciences Agronomiques
Option : Production et Nutrition Animales

**Caractérisation Biologique et Comportementale des Populations
d'Abeilles Locales en Algérie.**

Soutenue publiquement le : 25/05/2025, Devant le jury :

Mme	BISSAAD	Fatma Zohra	Prof	U.M.B. de Boumerdes	Présidente
M.	ADJLANE	Noureddine	Prof	U.M.B. de Boumerdes	Directeur de thèse
M.	HADDAD	Nizar	Dr	Directeur général, Organic L'Ora. Amman, Gouvernement d'Amman, Jordanie	Co-Directeur de thèse
Mme	MOHAND KACI	Hakima	Prof	U.M.B. de Boumerdes	Examinatrice
Mme	MEKIOUS	Scherazad	Prof	Université de Djelfa	Examinatrice
Mme	AYED-LOUCIF	Wahida	Prof	Université de Annaba	Examinatrice
Mme	KAUCHE	Soumeya	Prof	U.M.B. de Boumerdes	Invitée

Année Universitaire : 2024/2025

*"Si l'abeille disparaissait de la surface du globe,
l'homme n'aurait plus que quatre années à vivre. Plus d'abeilles, plus de pollinisation, plus de
plantes, plus d'animaux, plus d'hommes."*

Albert Einstein



DEDICACE

À mes parents, mes premiers guides dans la vie. Merci, papa et mama, pour votre amour, vos sacrifices et vos encouragements constants. Vous m'avez appris la valeur du travail et de la persévérance, et ce succès est autant le vôtre que le mien.

À mon mari, qui a été mon pilier tout au long de ce voyage. Ton soutien indéfectible, ta patience et ta croyance en moi ont été ma force dans les moments les plus difficiles. Merci d'avoir été là à chaque étape et d'avoir partagé cette aventure avec moi.

À mes enfants, Imane et Ibrahim, qui m'ont apporté une joie immense et un amour inconditionnel. Vous êtes ma source d'inspiration, et je vous remercie pour votre douceur et vos sourires qui illuminent chaque jour.

À mes frères et sœurs, et à ma belle-famille, pour votre soutien et votre présence à mes côtés. Votre encouragement m'a donné le courage d'aller de l'avant et de croire en moi.

Enfin, à mes amis, pour votre amitié et votre soutien précieux. Vous avez rendu ce chemin plus doux, et je suis reconnaissante de vous avoir à mes côtés.

À vous tous, cette thèse est dédiée avec tout mon amour et ma gratitude.

Yamina

REMERCIEMENTS

À la fin de ce travail de recherche, mes premières pensées vont vers Allah, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la force, la santé, la patience, et la persévérance nécessaires pour mener à bien cette étude.

Je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères à mon directeur de thèse, M. Adjlane Noureddine, pour sa supervision, ses conseils éclairés et son soutien constant tout au long de ce parcours. Sa disponibilité, malgré ses nombreuses responsabilités, et sa bienveillance m'ont été d'une grande aide. Ma gratitude va également à mon co-directeur, M. Haddad Nizar, Directeur général de l'Organic L'Ora à Amman, Jordanie, pour ses conseils et son soutien tout au long de cette recherche.

Je souhaite remercier vivement Mme Bissaad Fatma Zohra, Professeure à l'Université de Boumerdès, Présidente du jury, ainsi que les examinatrices, Mme Mohand Kaci Hakima, Professeure à l'Université de Boumerdès, Mme Mekious Scherazad, Professeure à l'Université de Djelfa, et Mme Ayed-Loucif Wahida, Professeure à l'Université de Annaba, pour l'honneur qu'elles m'ont fait en acceptant d'évaluer ce travail de thèse. Leur expertise et leurs remarques constructives m'ont permis d'améliorer et d'enrichir mon travail. Je tiens à remercier Mme Kaouche Soumeya, de l'Université M'Hamed Bougara de Boumerdès, pour sa présence en tant qu'invitée.

Mes remerciements vont particulièrement à Dr Fani Hatjina, Directrice de l'Institut des Sciences Animales à Nea Moudania, Grèce, et coordinatrice du projet SafeAgroBee PRIMA, pour ses conseils et sa contribution dans le chapitre sur le comportement hygiénique. Je suis honorée d'être membre active de ce projet. Ma gratitude s'étend également à Dr Raquel Martin-Hernandez du Centre de Recherche et de Développement en Apiculture et Agro-environnement en Espagne, et coordinatrice du projet MediBees PRIMA, pour son soutien, ses conseils précieux et la chance de collaborer avec elle.

Je tiens aussi à exprimer toute ma reconnaissance à Dr Anna Gajda, chef du Laboratoire des Maladies des Abeilles à l'Université des Sciences de la Vie de Varsovie, pour son accueil chaleureux dans son laboratoire et son appui lors des analyses virales (qPCR). Je remercie également Justyna pour son assistance précieuse au laboratoire.

Un remerciement spécial est adressé au Pr Adam Tofilski du Département de Zoologie et de Bien-être Animal de l'Université d'Agriculture de Cracovie pour son aide inestimable dans les analyses morphométriques des ailes d'abeilles mellifères ouvrières.

Mes remerciements vont également à Dr Abdelmounaim Khemmoulli de l'Université Ferhat Abbas à Sétif, Algérie, et Dr Abdallah Aouadi de l'Université Chadli Bendjedid à El Tarf, Algérie, pour leur contribution essentielle aux analyses statistiques de cette étude.

Je remercie chaleureusement les frères Diffa'Allah, apiculteurs professionnels à Blida et Boufarik, pour leur collaboration et leur aide précieuse lors des sessions d'échantillonnage.

Enfin, je voudrais exprimer ma reconnaissance à ma famille et à mes collègues du département des Sciences Agronomiques pour leur soutien moral, leurs encouragements et leur accompagnement tout au long de ce travail. Que chacun trouve ici l'expression de ma profonde gratitude et reconnaissance.

TABLE DE MATIERE

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

1	INTRODUCTION	1
2	Chapitre I - Étude bibliographique sur les abeilles locales et leurs caractéristiques	6
2.1	Position systématique et classification de l'abeille	6
2.2	Distribution d' <i>A. m. intermissa</i> et <i>A. m. sahariensis</i> en Afrique du Nord	7
2.3	Disponibilité de la nourriture et des ressources florales	9
2.4	L'importance des abeilles et la pollinisation	10
2.5	La biologie d'abeille.....	11
2.5.1	Organisation des abeilles dans la colonie	11
2.5.2	Description du nid des abeilles mellifères	13
2.5.3	Organisation sociale des abeilles mellifères	13
2.5.4	La reine.....	16
2.5.5	Les diverses tâches des ouvrières	17
2.6	Les caractéristiques biologiques et comportementales de l'abeille mellifères	18
2.7	Facteurs influençant le comportement et l'écologie des abeilles mellifères	19
2.7.1	Facteurs Biotiques	19
2.7.2	Facteurs Abiotiques	22
2.8	Caractéristiques biologiques des abeilles locales en Algérie	25
2.8.1	<i>Apis mellifera intermissa</i> (Abeille tellienne).....	25
2.8.1.1	Origine géographique	25
2.8.1.2	Morphologie	26
2.8.1.3	Comportement	26
2.8.1.4	Nervosité et comportement de défense.....	26
2.8.1.5	Abondance d'utilisation de la propolis	26
2.8.1.6	Essaimage	26
2.8.2	<i>Apis mellifera sahariensis</i> (Abeille saharienne).....	26
2.8.2.1	Origine géographique	26
2.8.2.2	Morphologie	26
2.8.2.3	Comportement	27
2.8.2.4	Adaptation au climat.....	27
2.8.3	Traits comportementaux d' <i>Apis mellifera sahariensis</i>	27
2.8.4	Interactions entre les sous-espèces d' <i>Apis mellifera</i> en Algérie	28
2.8.5	Comportement de recherche de nourriture	29

2.8.6	Résistance aux maladies et aux parasites	30
2.8.7	Diversité génétique et hybridation.....	31
2.9	Différences de Caractéristiques Comportementales : Une Analyse.....	31
2.9.1	Facteurs génétiques	31
2.9.2	Facteurs environnementaux.....	31
2.9.3	Nutrition	31
2.9.4	Pesticides et polluants.....	32
2.10	Interactions avec d'autres organismes	32
2.11	Les critères de sélection divergents des colonies d'abeilles résistantes.....	35
2.12	CONCLUSION	37
3	Chapitre II – Enquête sur les pratiques et défis de l'apiculture en Algérie	45
3.1	INTRODUCTION.....	45
3.2	MATERIALS ET METHODES.....	46
3.2.1	Conception de l'Enquête.....	46
3.2.2	Étude de la zone et caractérisation climatique.....	46
3.2.3	Collecte des Données	47
3.2.4	SWOT analysis.....	48
3.2.5	Analyses des Données	48
3.2.6	Analyse statistique.....	49
3.3	RESULTS ET DISCUSSION	51
3.3.1	sociodémographique.....	52
3.3.2	Caractérisation des ruchers.....	53
3.3.3	Caractérisation de l'abeille locale Tellian <i>A. m. intermissa</i>	55
3.3.4	Pratiques apicoles	65
3.3.5	Les plantes mellifères	70
3.3.5.1	Les espèces les plus citées.....	71
3.3.5.2	Plantes secondaires.....	71
3.3.5.3	Plantes moins fréquemment citées	71
3.3.6	Événements Apicoles et Tendances Écologiques Annuelles.....	73
3.3.6.1	Période d'essaimage	73
3.3.6.2	Production de cellules de faux-bourdons.....	73
3.3.6.3	Fécondation des reines	73
3.3.6.4	Production de reines	73
3.3.6.5	Entrée de nectar	73
3.4	CONCLUSION	76
4	Chapitre III – Comportement hygiénique des colonies locales (Pin-Test)	78
4.1	INTRODUCTION.....	78

4.2	MATERIELS ET METHODES	80
4.2.1	Lieu d'étude et période d'expérience.....	80
4.2.2	Évaluation de l'Infestation par <i>Varroa</i> dans les Colonies d'Abeilles via la Méthode de Poudrage au Sucre Glace	80
4.2.3	Préparation du gabarit métallique.....	81
4.2.4	Méthode du Pin Test.....	81
4.2.5	Période d'observation.....	82
4.2.6	Analyse statistique.....	82
4.3	RÉSULTATS ET DISCUSSION	83
4.3.1	Taux de retrait du test par épingle chez <i>A. m. intermissa</i> en Algérie	83
4.3.2	Motifs saisonnières et mensuels dans le comportement hygiénique	83
4.3.2.1	Effet du temps	85
4.3.2.2	Différences entre les colonies.....	85
4.3.2.3	Influence saisonnière	85
4.3.3	Interaction de la variation temporelle et mensuelle des taux d'élimination des colonies d'abeilles mellifères.....	87
4.3.3.1	Effet du temps sur les taux de retrait	88
4.3.3.2	Effet du mois sur les taux de retrait.....	88
4.3.3.3	Interaction entre mois et temps.....	89
4.3.4	Implications pour la santé des colonies et la résistance aux maladies.....	89
4.3.4.1	Interaction Colonie × Temps.....	90
4.3.4.2	Interaction Colonie × Mois.....	90
4.3.5	Variations Spécifiques des Colonies dans le Comportement Hygiénique.....	91
4.3.6	Implications pour l'apiculture en Algérie.....	95
4.3.7	Pistes Futures : Comparaison avec <i>A. m. sahariensis</i>	96
4.3.8	Impact du Comportement Hygiénique sur l'Infestation par le <i>Varroa</i>	96
4.3.9	Variation Saisonnière de l'Infestation.....	99
4.3.10	Applications pour la Gestion Apicole	99
4.4	CONCLUSIONS	100
5	Chapitre IV – Influence des pathogènes sur l'asymétrie des ailes d' <i>Apis mellifera intermissa</i>	103
5.1	INTRODUCTION.....	103
5.2	MATÉRIELS ET MÉTHODES	104
5.2.1	Lieu et Date de l'Échantillonnage.....	104
5.2.2	Acquisition et Préparation des Images	105
5.2.3	Analyse Morphométrique.....	105
5.2.4	Comptage des spores de <i>Nosema</i>	105
5.2.5	Analyse des Virus BQCV, DWV A et DWV B chez les Abeilles	106

5.2.6	Analyse Statistique	106
5.3	RÉSULTATS ET DISCUSSION	109
5.3.1	Variation Géographique	109
5.3.2	Comptes de Spores de <i>Nosema</i> et Analyse de Corrélation.....	115
5.3.3	Corrélation d'Asymétrie de Forme des Ailes.....	117
5.3.4	Spores de <i>Nosema</i> et Morphologie des Ailes	117
5.3.5	Taille vs. Asymétrie.....	117
5.3.6	Corrélation entre la Charge Virale de DWV-B et les Spores de <i>Nosema</i> chez les <i>A. m. intermissa</i>	119
5.3.7	Corrélation entre la Charge Virale de DWV-A et les Ailes (CS) chez <i>A. m. intermissa</i>	121
5.3.7.1	Interaction Pathogène :	123
5.3.7.2	Implications pour la Gestion des Colonies :	123
5.3.8	Corrélation entre la charge virale du BQCV et l'asymétrie des ailes (CS.asym) chez <i>A. m. intermissa</i>	123
5.3.8.1	Asymétrie des Ailes comme Indicateur de Stress	124
5.3.8.2	Effet du BQCV sur le Développement des Abeilles	124
5.4	CONCLUSION	125
6	Conclusion générale	127
6	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	129

ANNEXE

RESUME

LISTE DES ABREVIATIONS

ACP : Analyse en Composantes Principales
ADNmt : ADN mitochondrial
AEM : Analyse en Composantes Principales
AF : Asymétrie Fluctuante
AHC : Analyse Hiérarchique des Clusters (ou des Grappes)
AMF : Analyse Factorielle Multiple
BQCV : Black Queen Cell Virus (virus de la cellule royale noire)
CB : Cubital Index (indice cubital)
CCD : Colony Collapse Disorder (syndrome d'effondrement des colonies)
CS : Centroid Size (taille du centroïde des ailes)
CS.asym : Centroid Size Asymmetry (asymétrie de taille du centroïde des ailes)
DWV : Deformed Wing Virus (virus de l'aile déformée), avec les variants DWV-A et DWV-B
FAO : Food and Agriculture Organization
HB : Hygienic Behavior (Comportement Hygiénique)
IC : Intervalle de confiance
IPM : Integrated Pest Management (Gestion intégrée des parasites)
MCA : Multiple Correspondence Analysis (Analyse de Correspondance Multiple)
MD.FA : Mahalanobis Distance Fluctuating Asymmetry (asymétrie fluctuante de la distance de Mahalanobis)
MGL : Modèle Linéaire Généralisé
MNR : Mite Non-Reproduction (Non-reproduction des acariens)
PD.FA : Procrustes Distance Fluctuating Asymmetry (asymétrie fluctuante de la distance de Procrustes)
PKB : Pin-Killed Brood test (test de couvain tué par épingle)
RecInf : Re-encapsulation of Infested Cells (Ré-encapsulation des cellules infestées)
SBV : Sacbrood Virus (virus du saccouvain)
SMR : Suppression of Mite Reproduction (Suppression de la reproduction des acariens)
SWOT : Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats (Forces, Faiblesses, Opportunités, Menaces)
VSH : Varroa-Sensitive Hygiene (Hygiène sensible au Varroa)

LISTE DES FIGURES

Figure.1 Une carte d'évolution et la répartition géographique des différentes lignées génétiques d' <i>Apis mellifera</i>	6
Figure.2 Carte de répartition des abeilles mellifères locales en Algérie, deux sous-espèces ; <i>A. m. intermissa</i> et <i>A. m. sahariensis</i> par Adjlane et al (2016) était basé sur (Adam, 1983; Haccour, 1961; Ruttner, 1975, 1988)	09
Figure.3 La morphologie et le processus de développement des trois castes d' <i>A. mellifera</i> . D'après l'Encyclopædia Britannica	13
Figure.4 Comparaison des reines d' <i>A. m. intermissa</i> (A) et d' <i>A. m. sahariensis</i> (B) parmi les ouvrières sur un rayon de ruche.....	16
Figure.5 Le polyéthisme lié à l'âge : fait référence aux différentes tâches effectuées par les abeilles ouvrières adultes tout au long de leur vie. L'échelle verticale du graphique illustre la fréquence à laquelle ces ouvrières se livrent à des activités spécifiques, mesurée en unités arbitraires d'après Clément et al (2012) et Winston (1993)	18
Figure.6 Les agents pathogènes et ravageurs des abeilles	21
Figure.7 Description schématique des facteurs influençant les processus d'adaptation chez les abeilles locales en Algérie.	23
Figure.8 Photos originales de l'abeille locale en Algérie : (A) <i>A. m. sahariensis</i> (B) <i>A. m. intermissa</i>	29
Figure.9 Principaux traits comportementaux et physiologiques impliqués dans la résistance naturelle des abeilles mellifères au parasite <i>Varroa</i>	36
Figure.10 Répartition des emplacements des ruchers de répondants.....	50
Figure.11 Répartition des emplacements de ruchers avec l'indice d'aridité.....	53
Figure.12 Données démographiques des répondants à l'enquête, diagramme circulaire illustrant la caractérisation des répondants par (A) sexe, (B) tranche d'âge et (C) niveau de scolarité.	54
Figure.13 Répartition du Nombre de Colonies par Répondants(A) en Fonction (B) sexe, (C) tranche d'âge et (D) niveau de scolarité.....	56
Figure.14 Distribution de la classification de l'abeille tellienne, <i>Apis mellifera intermissa</i> pour neuf caractéristiques.....	59
Figure.15 Analyse multifactorielle du rendement en miel, des pratiques d'apiculture et des facteurs apicoles	62
Figure.16 Multiple factor analysis (MFA) montrant la typologie de l'apiculture basée sur des variables continues et catégorielles (B) d'ordination des trois grappes obtenues à partir du Hierarchical Cluster Analysis (HCA).	64
Figure.17 Aperçu des pratiques apicoles et tendances de la production de miel.	66
Figure.18 Diagramme en barres de la question à échelle de Likert à 3 points concernant (A) la tolérance des abeilles et leur comportement, et (B) les perceptions de menace.	67
Figure.19 Modèle linéaire généralisé (MGL) illustrant les effets du nombre de colonies sur les pratiques d'apiculture : l'élevage des reines (A) et la mobilité des ruchers (Transhumance) (B).....	68
Figure.20 Diagramme en barres empilées illustrant (A) les variations régionales de la douceur des abeilles, (B) les effets du type de rucher (Sédentaire ou Migratoire) sur les pratiques d'élevage de reines, et l'association entre les sous-espèces d'abeilles élevées et la perception de leur statut en danger. La valeur P au-dessus de chaque barre indique le test d'ajustement du modèle pour chaque niveau, mettant en évidence l'égalité (valeur P > 0,05) ou l'inégalité (valeur P < 0,05) des proportions observées.	69
Figure.21 Analyse des correspondances multiples (ACM) montrant les niveaux d'adaptation des abeilles en relation avec différentes régions.	70
Figure.22 Plantes mellifères les plus importantes pour les abeilles selon les apiculteurs.....	72
Figure.23 Événements Apicoles et Tendances Écologiques Annuelles.	74
Figure.24 Application du test par épingle pour évaluer le comportement hygiénique des colonies d' <i>A. m. intermissa</i> . (A) La zone ciblée du couvain est perforée pour simuler un couvain mort. (B) Un quadrillage	

(10×10 cel) est placé sur le rayon pour mesurer les taux de retrait du couvain après le test par épingle.....	81
Figure.25 Le boxplot illustre le taux de retrait par mois et par colonie.	86
Figure.26 Boxplot des taux de retrait (%) selon les mois et les périodes de temps.	87
Figure.27 Interaction de la variation temporelle et mensuelle des taux d'élimination des colonies d'abeilles mellifères.	88
Figure.28 Analyse en Composantes Principales (ACP) du comportement hygiénique dans les colonies d' <i>A. m. intermissa</i> selon les taux de retrait de Pin Test.	93
Figure.29 Regroupement hiérarchique des colonies d' <i>A. m. intermissa</i>	95
Figure.30 Dynamique des populations d'abeilles et de <i>Varroas</i> de mars à septembre.	98
Figure.31 Distribution Géographique et Représentation de l'Altitude des Sites d'Échantillonnage de Blida et Boumerdes dans le Nord de l'Algérie	107
Figure.32 Configuration de 19 Points de Repère Anatomiques de la Forme de l'Aile Antérieur d'Abeille : Analyse de Morphométrie Géométrique.	108
Figure.33 Ailes Dorsales Antérieures Gauche (A) et Droite (B) d'un Spécimen Ouvrière d' <i>A. m. intermissa</i> Montrant les Caractéristiques Morphologiques des Repères. Les points rouges numérotés indiquent la position des dix-neuf repères utilisés pour les mesures des ailes. La barre d'échelle indique 1 mm.	108
Figure.34 Analyse en Composantes Principales (ACP) de la Morphologie des Ailes Antérieurs d'Abeilles dans Deux Localités Algériennes : Blida et Boumerdes.	111
Figure.35 Comparaison de la Taille du Centroïde (CS) des Ailes des ouvrières d' <i>A. m. intermissa</i> de Blida et Boumerdes.....	115
Figure.36 Vue microscopique des dénombrements de <i>Nosema spp</i> dans <i>A. m. intermissa</i> , dans un hémocytomètre à l'échelle 0,01 mm. X 400.	117
Figure.37 Matrice de Corrélation entre la Morphologie des Ailes et les Comptes de Spores de <i>Nosema</i> dans les Colonies d' <i>A. m. intermissa</i>	118
Figure.38 Corrélation entre la Charge Virale de DWV-B et les Spores de <i>Nosema</i> chez <i>A. m. intermissa</i> . (r =0,782), P-value : 0,001575	121
Figure.39 Association entre la Charge Virale de DWV-A et les Ailes (CS) chez <i>A. m. intermissa</i> . (r = 0,559), P-value = 0,04689	122
Figure.40 Corrélation entre la charge virale du BQCV et l'asymétrie des ailes (CS.asym) chez <i>A. m. intermissa</i> . R=0,647, P-value=0,01676	124

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Classification de l'abeille mellifère (<i>Apis mellifera</i>).....	5
Tableau 2. Caractéristiques des apiculteurs selon les Clusters	65
Tableau 3. Facteurs SWOT affectant l'apiculture en Algérie.....	75
Tableau 4. Résultats du test de Kruskal-Wallis pour les taux de retrait par mois.....	84
Tableau 5. Résultats de l'ANOVA pour les taux de retrait aux intervalles de 6h, 24h et 48h ($p < 0,05$)	85
Tableau 6. Résultats de l'ANOVA à deux facteurs pour les effets du mois et de la période de temps sur les taux de retrait ($p < 0,05$)	89
Tableau 7. Résultats de l'ANOVA à trois facteurs sur les taux de retrait en fonction de la colonie, de la période et du mois	91
Tableau 8. Analyse de Variance Multivariée (MANOVA) des Scores des Composantes Principales pour les Différences entre Groupes	112
Tableau 9. L'ANOVA pour la Taille du Centroïde (CS) des Ailes d'Abeilles Ouvrières <i>A. m. intermissa</i> Entre Deux Localités	113
Tableau 10. Résumé des résultats statistiques clés pour les trois corrélations	119

Introduction

1 INTRODUCTION

Les abeilles jouent un rôle fondamental dans la pollinisation des plantes cultivées et sauvages, contribuant ainsi au maintien de la biodiversité et à la sécurité alimentaire mondiale (Klein et al., 2007; Kumar & Khan, 2023; Radzevičiūtė et al., 2021). En Algérie, les deux sous-espèces *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis* se distinguent par leur adaptation remarquable aux conditions environnementales spécifiques du pays, allant des zones littorales aux régions sahariennes. Cette diversité écologique confère à l'Algérie un patrimoine apicole unique, mais encore largement sous-exploité scientifiquement.

Dans ce contexte, comprendre les caractéristiques biologiques et comportementales des abeilles locales revêt une importance stratégique pour la durabilité des systèmes apicoles, la conservation de la biodiversité et l'amélioration des performances zootechniques. Des études récentes soulignent que le cycle de vie des abeilles influence non seulement la dynamique des populations mais aussi la réponse aux stress environnementaux et pathologiques (Al-Etby, 2023; Büchler et al., 2024; Ghorbani et al., 2021; Karbassioon et al., 2023; Kumar & Khan, 2023). De nombreux modèles ont été développés pour simuler ces dynamiques (Aizen & Harder, 2009; Hatjina et al., 2014; Kretzschmar et al., 2020; Rajagopalan et al., 2024), reflétant l'importance croissante de la biologie prédictive dans l'apiculture moderne.

L'abeille constitue par ailleurs un modèle privilégié pour l'étude des interactions entre l'épigénétique, l'immunité et le comportement social (Nouyrigat & Barbu, 2023). En Algérie, les colonies d'abeilles sont maintenues non seulement pour leurs produits (miel, cire, gelée royale) mais aussi pour leur comportement hygiénique, leur rusticité et leur aptitude à la pollinisation (Altaye et al., 2019). Toutefois, la recherche sur les aspects moléculaires et comportementaux des abeilles indigènes reste encore limitée, notamment en ce qui concerne leur réponse aux agents pathogènes. Cette lacune est d'autant plus préoccupante que les abeilles algériennes sont soumises à de multiples pressions : parasites, pesticides, changement climatique et pratiques apicoles parfois inadaptées (Adjlane et al., 2012).

Les données de la FAO (2023) montrent une évolution irrégulière de la production de miel en Algérie entre 1994 et 2022, avec un pic à 7356 tonnes en 2008 et une baisse récente à environ 5617 tonnes. Cette variabilité pourrait refléter à la fois des facteurs environnementaux et des contraintes liées aux pratiques apicoles. Kessi et al. (2024) insistent sur la nécessité d'améliorer les méthodes de récolte, de transformation et de conservation, tout en mettant en place des réglementations nationales pour renforcer la qualité et la traçabilité du miel algérien.

Sur le plan génétique, plusieurs études ont confirmé la diversité des populations d'abeilles en Algérie, révélant la présence de lignées africaine, méditerranéenne du nord et de l'ouest (Achou, 2015; Bouzeraa et al., 2020). Les travaux morphométriques ont montré des variations significatives dans les traits morphologiques des abeilles du nord et du sud (Bouzeraa et al., 2016), ainsi que des groupes distincts selon les zones écologiques (Barour et al., 2005, 2011). L'existence d'un flux génétique limité et d'introgessions anthropiques témoigne d'une évolution locale complexe, influencée par l'environnement et les pratiques humaines.

Par ailleurs, des études comportementales ont mis en évidence des personnalités individuelles au sein des colonies (Weller, 2015) et soulignent l'importance du comportement hygiénique comme barrière naturelle contre les agents pathogènes tels que *Varroa destructor* ou *Nosema spp.* (Al-Etby, 2023). Dans le cas particulier d'*A. m. intermissa*, les observations confirment un comportement de défense marqué, une nervosité élevée et une pigmentation sombre (Haddad et al., 2015), tandis que les études sur l'asymétrie des ailes ont permis de différencier *A. m. intermissa* et *A. m. sahariensis* selon leur distribution géographique (Abed et al., 2021).

Malgré cette richesse biologique, une question fondamentale demeure insuffisamment explorée : Quelles sont les caractéristiques biologiques et comportementales des abeilles face aux agents pathologiques ?

Cette problématique constitue le fil conducteur de la présente recherche doctorale, qui s'inscrit dans une approche intégrée combinant analyse écologique, morphométrie, comportement, et épidémiologie. Notre objectif général est de mieux comprendre les mécanismes d'adaptation des abeilles locales en Algérie, en particulier *Apis mellifera intermissa*, dans un contexte de pressions multiples.

Trois objectifs spécifiques sont ainsi poursuivis :

1. Analyser l'impact des pratiques apicoles et des facteurs environnementaux sur la santé et la productivité des colonies.
2. Étudier les caractéristiques biologiques et comportementales des abeilles locales, en tenant compte de leur diversité morphologique, de leur répartition géographique et de leurs spécificités génétiques.
3. Évaluer le comportement hygiénique et la résistance aux pathogènes, notamment à travers des tests standardisés (comme le Pin-Test) et l'analyse des charges infectieuses (*Nosema spp.*, BQCV, DWV-A, DWV-B), ainsi que leur lien avec l'asymétrie des ailes comme indicateur de stress développemental.

Ainsi, cette thèse vise à combler une lacune scientifique majeure et à fournir des recommandations concrètes pour la conservation des sous-espèces locales, la sélection de colonies résistantes, et le développement d'une apiculture durable en Algérie, fondée sur les données scientifiques les plus actuelles.

Chapitre I –

**Étude bibliographique sur
les abeilles locales et leurs
caractéristiques**

2 Chapitre I - Étude bibliographique sur les abeilles locales et leurs caractéristiques

Après avoir donné un aperçu des généralités bibliographiques relatives à *Apis mellifera*, ce discours passe à un examen complet des principaux attributs comportementaux et biologiques présentés par les populations d'abeilles indigènes présentes aux confins de l'Algérie, en particulier *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis*.

Le discours suivant vise à fournir un aperçu complet de l'abeille *Apis mellifera*, en englobant les différentes facettes qui entourent son existence. Plus précisément, la discussion portera sur la position systématique de cette espèce, sa vaste distribution géographique et le fonctionnement complexe de sa biologie. En approfondissant ces aspects, nous espérons mettre en lumière la nature multiforme de cette abeille remarquable, permettant ainsi de mieux comprendre son importance dans un cadre écologique plus large.

2.1 Position systématique et classification de l'abeille

La position systématique de l'abeille *Apis* se situe au sein d'un genre spécifique qui englobe un total de neuf espèces distinctes d'insectes sociaux appartenant à la famille des Apidae. Ce genre particulier, connu sous le nom d'*Apis*, est le seul de la tribu Apini. La caractéristique remarquable de ces espèces réside dans leur capacité à produire du miel en quantités considérables. En outre, il convient de noter que ce genre comprend principalement des espèces largement utilisées à des fins apicoles. Il est important de souligner que les individus appartenant à ce genre particulier sont communément appelés abeilles, mais il convient de mentionner que ce terme peut également englober les taxons supérieurs Apoidea, Apidae et Apinae. Il est essentiel de reconnaître qu'il existe d'autres espèces d'abeilles mellifères au-delà des limites du genre *Apis*, mais que leur production de miel est plutôt limitée en comparaison (Prost & Le Conte, 2005).

Le genre *Apis*, tel que classé par Linnaeus, 1758, comprend un total de sept espèces distinctes. Ces espèces incluent *Apis cerana* Fabricius, 1793, qui a été désignée par Fabricius en 1793, *Apis koschevnikovi* Enderlein, 1906, et *Apis nigrocincta*, documenté pour la première fois par Smith, 1861. Ces trois espèces, qui ressemblent beaucoup à la taille de notre abeille communément appelée, se trouvent principalement en Asie du Sud-Est. Une autre espèce remarquable du genre *Apis* est l'*Apis dorsata*, souvent appelée abeille « géante » en raison de sa taille, que l'on trouve principalement en Inde. De plus, le genre *Apis* comprend deux petites espèces d'abeilles indiennes, à savoir *Apis florea* Fabricius, 1787, et *Apis andreniformis*, initialement documentée par Smith en 1858. Enfin, nous avons *Apis mellifera* Linnaeus, 1758. Contrairement aux autres espèces du genre, *Apis mellifera* possède une aire de répartition nettement plus étendue, allant de l'Europe au Moyen-Orient et s'étendant à travers l'Afrique. Il est important de noter que les autres espèces du genre *Apis* sont confrontées uniquement à l'Asie.

Tableau 1. Classification de l'abeille mellifère (*Apis mellifera*) (Ravazzi, 2003).

Règne	Animal
Embranchement	Arthropodes
Classe	Insectes
Ordre	Hyménoptères
Sous-ordre	Apocrites
Super- famille	Apoïdés
Famille	Apidés
Sous-famille	Apinae
Tribu	Apinés
Genre	<i>Apis</i>
Espèce	<i>Apis mellifera intermissa</i> Buttel–Reepen (1906).

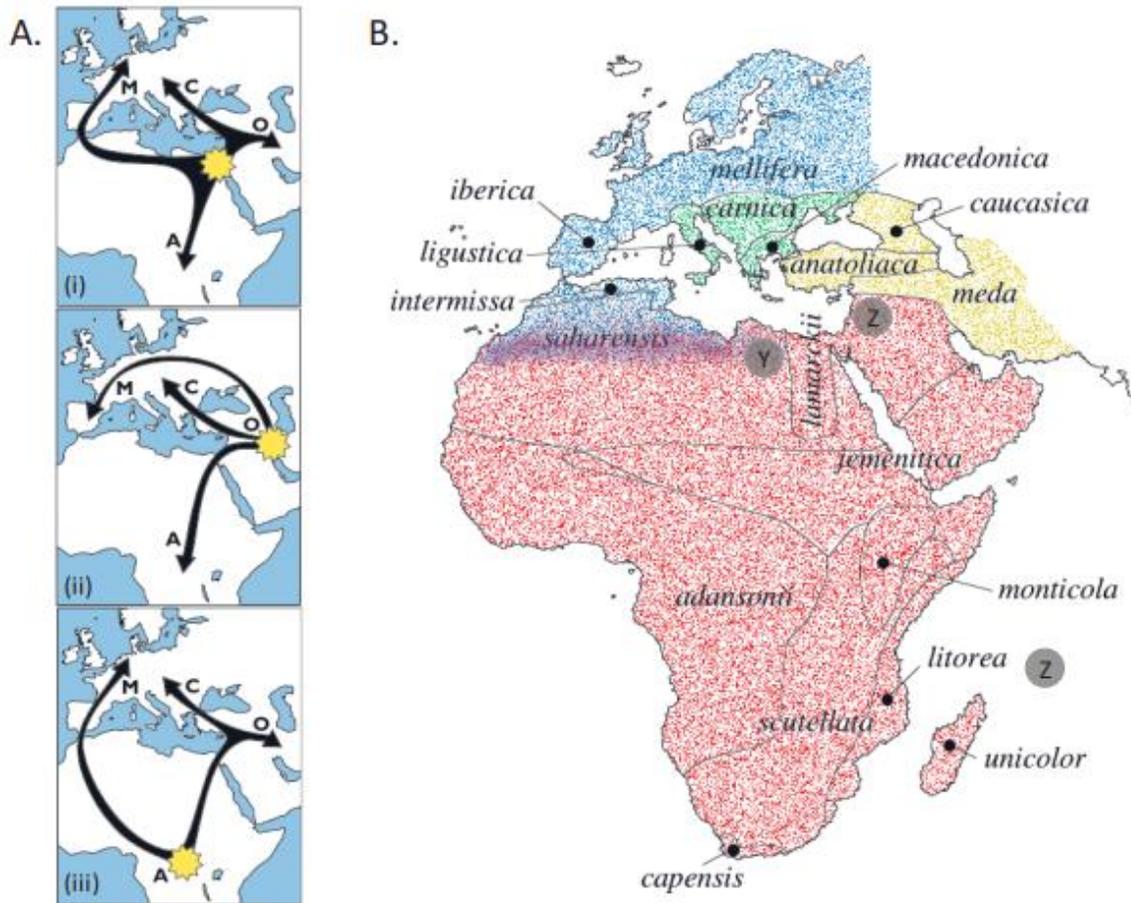


Figure.1 Une carte d'évolution et la répartition géographique des différentes lignées Génétiques d'*Apis mellifera*. (Rouzé, 2020) Les théories évolutionnistes concernant les principales lignées impliquent trois scénarios possibles : (i) une expansion au Moyen-Orient suivie de la colonisation de l'Europe par deux itinéraires distincts, (ii) une expansion au Moyen-Orient menant à la colonisation de l'Europe par une seule route nordique, et (iii) une expansion depuis l'Afrique aboutissant à la colonisation de l'Europe par deux itinéraires distincts. Les hypothèses susmentionnées sont basées sur les travaux de Han et al (2012). De plus, la distribution de la sous-espèce *Apis mellifera* est illustrée, les lignes M, C, A et O étant respectivement représentées par le bleu, le vert, le rouge et le jaune. Les types Y et Z, qui sont très proches des lignées A et O, sont identifiés par une variation de leur ADN mitochondrial. Ces résultats s'appuient sur les recherches menées par Moritz et al (2005), en utilisant les données de Techer et al (2017) et Alburaki et al (2013).

L'*Apis mellifera* est le résultat d'une intervention humaine sur toutes les masses continentales de la planète, à l'exception de l'Antarctique, dans le but de faciliter la pollinisation des cultures et la production de miel. L'espèce présente des variations dans sa répartition selon les régions géographiques, en raison de sa capacité à s'adapter aux circonstances particulières qui prévalent dans chaque zone, telles que le climat, la végétation et les agents pathogènes. Par conséquent, 27 sous-espèces distinctes ont été répertoriées à ce jour, dont 10 sont identifiables en Afrique et 2 sous-espèces identifiables en Algérie (*Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis*) (Barour et al., 2011; Meixner et al., 2013).

2.2 Distribution d'*A. m. intermissa* et *A. m. sahariensis* en Afrique du Nord

L'abeille appartient à la classe des insectes, qui comprend un large éventail d'espèces diverses. L'une des espèces d'abeilles les plus répandues au monde est l'*Apis mellifera*, que l'on trouve dans diverses régions allant de l'extrême sud des savanes africaines à la Méditerranée et même plus loin dans le nord de l'Europe et le sud de la Scandinavie. Cette distribution étendue est rendue possible par la capacité de l'abeille à s'adapter aux différents habitats, conditions climatiques et flore présents dans chaque zone géographique. Par conséquent, en raison de la vaste gamme d'environnements dans lesquels vivent les abeilles, une multitude de sous-espèces ou de races ont émergé, chacune ayant ses propres caractéristiques physiques et physiologiques, spécifiquement adaptées à ses régions respectives (Chauvin, 1968). La race connue sous le nom d'*Apis mellifera intermissa*, trouvée en Algérie, est communément appelée abeille tellienne. *Apis mellifera sahariensis*, également connue sous le nom d'abeille saharienne, a été documentée pour la première fois par Haccour en (1961). Cette espèce particulière se caractérise par sa petite taille et sa coloration jaune, ainsi que par son indice cubital élevé. De plus, il présente un caractère non agressif et fait preuve d'une résilience exceptionnelle face à des conditions environnementales difficiles. Il peut notamment être observé dans les régions du sud du Maroc et de l'Algérie.

Selon Le Conte et Navajas (2008), *A. m. intermissa* se trouve principalement en Afrique du Nord, en particulier dans des régions comme l'Algérie et la Tunisie (Fig.1). Cette sous-espèce est adaptée aux conditions environnementales spécifiques du climat nord-africain, notamment les oasis du désert africain. *A. m. sahariensis*, comme son nom l'indique, se

trouve également dans la région du désert du Sahara, en particulier dans des zones d'Afrique du Nord comme le Maroc et l'Algérie (Fig.1). Cette sous-espèce s'est adaptée à l'environnement désertique rigoureux et est connue pour sa capacité à survivre dans des conditions arides. Les populations d'abeilles domestiques du nord-est de l'Algérie se sont révélées appartenir à la lignée africaine (A), ce qui confirme des recherches antérieures, elles présentent une plus grande diversité que les populations du sud (Bouzeraa et al., 2020).

La distribution des deux sous-espèces *Apis mellifera* et *Apis sahariensis* en Algérie est influencée par plusieurs facteurs. L'étude d'Abed et al (2021) a révélé qu'il existe une différence significative dans la forme des ailes entre les deux sous-espèces. De plus, Chahbar et al (2013) ont observé que des haplotypes mitochondriaux spécifiques sont trouvés avec une fréquence élevée dans chaque région, pouvant servir de marqueurs spécifiques à des sous-espèces pour *A. m. intermissa* et *A. m. sahariensis*.

L'origine africaine des populations d'abeilles domestiques algériennes a été confirmée sur la base d'analyses phylogénétiques et de la structure des populations. Ils ont été regroupés séparément des autres lignées évolutives, telles que les lignées de la Méditerranée occidentale, de la Méditerranée du Nord et de l'Orient. L'évaluation génétique des populations d'abeilles domestiques algériennes à l'aide de marqueurs microsatellites a révélé une forte variabilité génétique au sein des populations, indiquant un patrimoine génétique diversifié (Loucif-Ayad et al., 2015).

Ces résultats suggèrent que les différences génétiques et physiologiques, ainsi que les variations de la prévalence de la maladie, contribuent à la distribution des deux sous-espèces en Algérie.

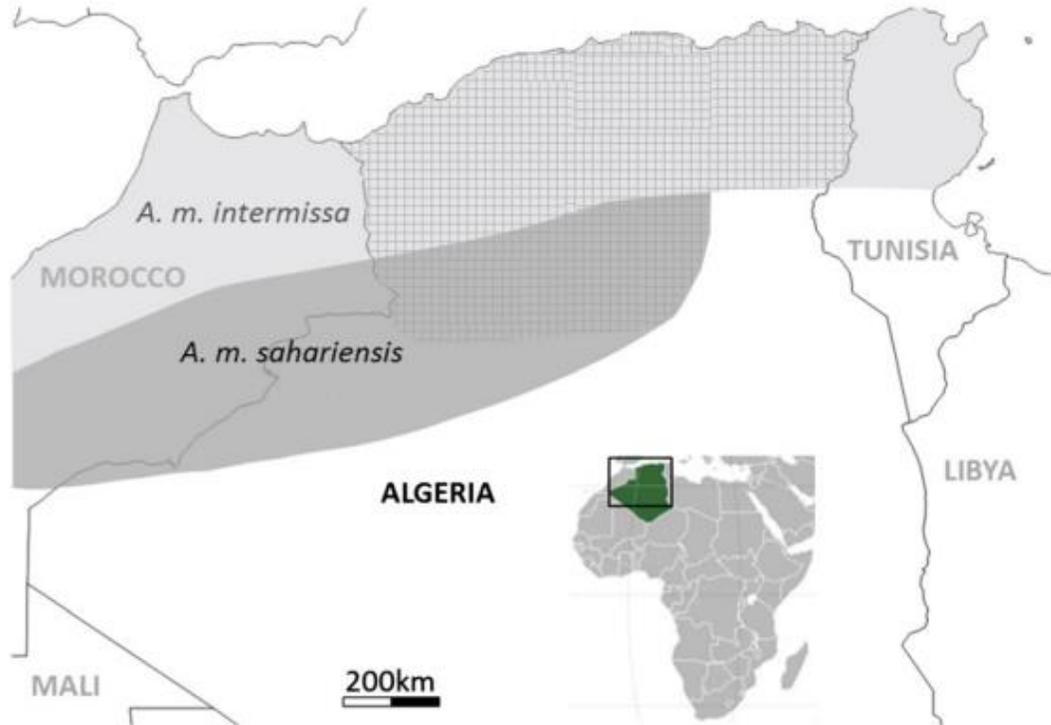


Figure.2 Carte de répartition des abeilles mellifères locales en Algérie, deux sous-espèces ; *A. m. intermissa* et *A. m. sahariensis* par Adjlane et al (2016) était basé sur (Adam, 1983; Haccour, 1961; Ruttner, 1975, 1988)

2.3 Disponibilité de la nourriture et des ressources florales

Investiguer la disponibilité de la nourriture et des ressources florales pour les abeilles en différentes régions de l'Algérie. Discuter de l'impact des types de végétation, des changements d'utilisation des terres et des pratiques agricoles sur la disponibilité des sources alimentaires.

Les ressources alimentaires disponibles pour les abeilles en Algérie sont diverses et abondantes. Les abeilles sauvages et mellifères indigènes visitent diverses ressources florales végétales, les familles des astéracées, des boraginacées et des brassicacées étant les plus fréquemment visitées (Bendifallah & Ortiz-Sánchez, 2018). Le pollen d'abeille récolté à partir de différentes sources botaniques offre une alimentation complète, comprenant des glucides, des protéines, des acides aminés, des vitamines et des minéraux (Hemmami et al.,

2020). En outre, l'écosystème naturel du nord et du sud-est de l'Algérie offre une riche biodiversité d'abeilles sauvages, avec plus de 180 taxons appartenant à cinq familles recensés (Laïd et al., 2013). Les ouvrages de terrassement tels que les bassins d'infiltration et les fossés constituent également des habitats importants pour les abeilles, fournissant des ressources alimentaires et des sites de nidification, en particulier dans les structures végétales simplifiées (Bendifallah et al., 2012). Dans l'ensemble, la diversité des espèces végétales et des habitats en Algérie contribue à la disponibilité des ressources alimentaires pour les abeilles. Les plantes mellifères qui attirent les abeilles en Algérie comprennent plusieurs espèces. Un inventaire des plantes mellifères dans la région de Jijel en Algérie a identifié diverses plantes butinées par les abeilles, notamment des plantes spontanées et cultivées, telles que les Fabacées, les Astéracées et les Lamiacées (Hamel & Boulemtafes, 2017). De plus, les plantes qui fournissent à la fois du pollen et du nectar sont particulièrement importantes pour les abeilles mellifères (Nadji & Rogai, 2018). Il est essentiel de protéger ces habitats et de promouvoir la diversité des plantes mellifères pour soutenir la réussite de l'apiculture en Algérie (Hamel & Boulemtafes, 2017).

2.4 L'importance des abeilles et la pollinisation

Les abeilles et la pollinisation entretiennent une relation mutuellement bénéfique. Les abeilles sont d'importants pollinisateurs pour les plantes sauvages et les cultures, contribuant à la production alimentaire mondiale et à la diversité agricole. Ils visitent les plantes à fleurs pour récolter le pollen et le nectar, fournissant ainsi involontairement des services de pollinisation (Keller et al., 2021). Le succès de ce mutualisme dépend de l'équilibre délicat entre les demandes des abeilles en matière d'approvisionnement alimentaire et les demandes des plantes en matière de reproduction sexuée (Kumar & Khan, 2023). Les activités humaines et le changement climatique peuvent perturber cet équilibre, ce qui peut avoir des effets néfastes sur le système de pollinisation essentiel qui soutient les cultures de base dans le monde entier (Nitharwal et al., 2021). Les insectes pollinisateurs, y compris les abeilles, jouent un rôle majeur dans la production végétale, et leur disponibilité est essentielle au maintien des populations de pollinisateurs commerciaux et sauvages (Grüter, 2020). Les abeilles, en particulier les abeilles sans dard, sont d'importants pollinisateurs dans divers environnements et sont responsables d'une grande partie des visites de fleurs dans

différentes régions (Khalifa et al., 2021). Dans l'ensemble, les abeilles jouent un rôle crucial pour la pollinisation, qui à son tour influence l'économie et est vitale pour la production végétale.

Les abeilles contribuent de manière significative à la pollinisation en étant d'importants pollinisateurs pour les plantes cultivées. La pollinisation d'origine animale, y compris la pollinisation par les abeilles, joue un rôle crucial dans la production alimentaire mondiale, les cultures pollinisées par les abeilles représentant environ un tiers de l'alimentation humaine (Khalifa et al., 2021). Les abeilles sont considérées comme des pollinisateurs efficaces et largement disponibles, offrant un excellent rapport qualité/prix pour la quantité et la qualité des récoltes, ce qui améliore les résultats économiques et alimentaires mondiaux (Patel et al., 2021). Les abeilles, y compris les abeilles mellifères et les abeilles sans dard, sont des pollinisateurs particulièrement importants dans divers environnements, représentant une proportion significative des visiteurs de fleurs dans différentes régions (Grüter, 2020; Kumar & Khan, 2023). Ils contribuent à la réalisation des objectifs de développement durable (ODD) des Nations Unies, influençant potentiellement 15 des 17 ODD et un minimum de 30 cibles des ODD (Reddy et al., 2022). La contribution des abeilles au développement durable et leur rôle dans la promotion de la biodiversité et de la sécurité alimentaire sont essentiels pour garantir la viabilité des systèmes apicoles.

2.5 La biologie d'abeille

2.5.1 Organisation des abeilles dans la colonie

Les abeilles mellifères ont une organisation sociale complexe caractérisée par un travail divisé et un comportement coordonné. Les intérêts physiques des abeilles individuelles sont étroitement liés à ceux de la colonie, ce qui fait que la colonie se comporte comme une entité collective (Hasenjager et al., 2022). Les abeilles communiquent par le biais de divers systèmes de signalisation, notamment la danse frétillante, la danse tremblante, le signal d'arrêt et le signal de tremblement, afin de coordonner leur comportement (Szopek et al., 2021). Les colonies utilisent également des phéromones produites par la reine pour maintenir l'ordre social et assurer sa domination (Stephen, 2021). De plus, les colonies d'abeilles mellifères se reproduisent et se dispersent par essaimage, un mécanisme par lequel une nouvelle colonie est formée par une partie de la colonie d'origine (Singh, 2022).

L'organisation sociale des abeilles mellifères est cruciale pour leur succès en matière de recherche de nourriture, de reproduction et de fitness global de la colonie (Mumoki & Crewe, 2021).

La structure de la colonie d'abeilles implique un assemblage de 30 000 à 50 000 individus, principalement composé d'ouvrières, soit environ 95 %, tandis que les 5 % restants sont constitués de mâles ou de faux-bourçons. Le dénombrement précis fluctue en fonction des saisons, de la race, des caractéristiques génétiques et de l'âge de la reine (Von Frisch, 1977). Ces êtres susmentionnés font remonter leur lignée à un seul ancêtre, la reine, qui fait preuve d'un dévouement absolu à la reproduction, comme en témoigne son abdomen élargi. Il est à noter qu'elle est capable de pondre jusqu'à 2 000 œufs en une journée (Bull, 1983). Les mâles haploïdes, quant à eux, émergent de la maturation d'un ovule non fécondé par un processus connu sous le nom de parthénogenèse arrhénototique. À l'inverse, les femelles sont le produit d'œufs fécondés et possèdent une constitution génétique diploïde (Adams et al., 1977).

Les trois castes distinguent par leurs caractéristiques physiques. La reine peut être identifiée par son abdomen allongé, tandis que les mâles, également appelés faux-bourçons, ont un physique plus robuste et des yeux proéminents. Le développement de ces trois castes commence lorsque la reine pond un œuf dans une cellule. Un ovule fécondé donnera naissance à une femelle avec un jeu complet de chromosomes, alors qu'un ovule non fécondé produira un mâle avec un demi-jeu de chromosomes. À l'éclosion, la larve est nourrie à la gelée royale, puis nourrie de pollen par les gardiens, qui scellent ensuite la cellule. Après avoir subi une métamorphose, l'adulte sort de la cellule. Le développement des mâles est plus long que celui des ouvrières, tandis que celui des reines est plus court mais implique une alimentation exclusive en gelée royale dans une cellule spécialisée. D'après l'Encyclopædia Britannica (www.britannica.com/animal/honeybee)

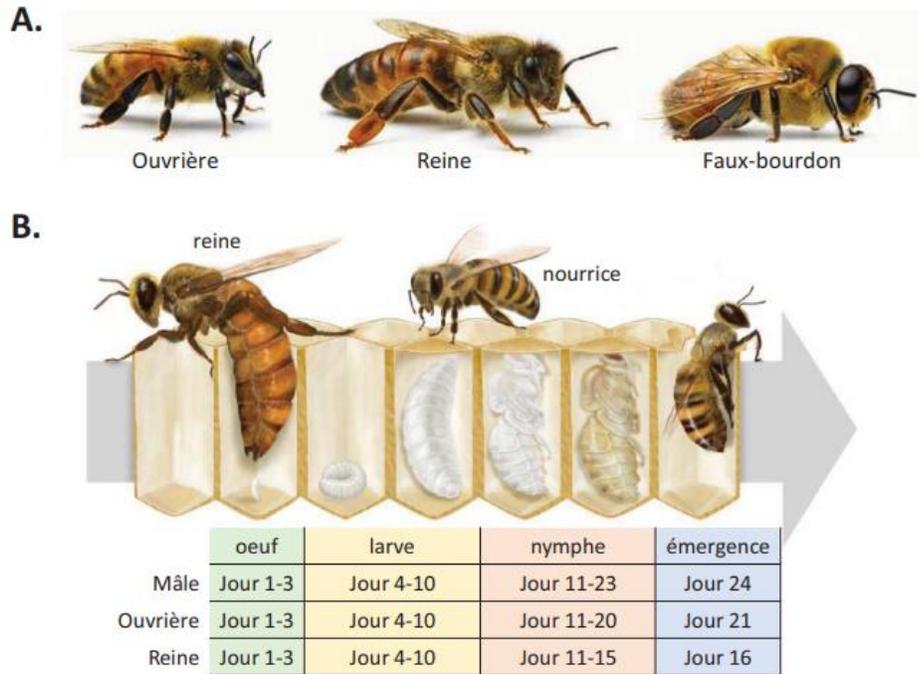


Figure.3 La morphologie et le processus de développement des trois castes d'*A. mellifera*. D'après l'Encyclopædia Britannica (www.britannica.com/animal/honeybee)

2.5.2 Description du nid des abeilles mellifères

La société des abeilles mellifères est formée au sein d'un nid fonctionnel composé de nombreuses cellules de cire hexagonales, facilitant les différentes interactions entre les individus. De plus, le nid constitue un cadre idéal pour l'avancement de la colonie, la croissance des larves et le stockage du pollen et du miel (Wilson, 1971).

2.5.3 Organisation sociale des abeilles mellifères

La structure sociétale d'une colonie d'abeilles comprend trois groupes distincts, à savoir les ouvrières, la reine et les mâles, appelés drones. Bien que la présence d'une reine solitaire soit constante, le nombre de drones peut aller de zéro à plusieurs milliers, et la population ouvrière peut varier entre 10 000 et 60 000 individus selon la saison. Dans les régions à climat tempéré, la durée de vie des abeilles ouvrières suit un schéma bimodal. Ces abeilles peuvent être classées soit comme des « abeilles d'été », caractérisées par une durée de vie relativement courte, soit comme des « abeilles d'hiver », dont l'espérance de vie est

nettement plus longue. Plus précisément, les abeilles qui émergent entre le printemps et le milieu de l'été vivent généralement de 25 à 35 jours, tandis que les abeilles d'hiver ont une durée de vie de 6 à 8 mois (Maurizio & Hodges, 1950).

La biologie des abeilles mellifères est étroitement liée à l'organisation de la colonie d'abeilles, qui est une société très structurée et complexe. La reine des abeilles est au cœur de la croissance et de la survie de la colonie, s'accouplant avec plusieurs drones et capable de produire plus d'un million de descendants au cours de sa vie (Marwaha, 2023). La biologie de la reine, y compris ses caractéristiques morphométriques, la synchronicité du développement, la génétique, les hormones et les phéromones, joue un rôle central dans l'organisation coloniale et les comportements d'essaimage (Marwaha, 2023). Les faux-bourçons, les abeilles mâles, ont leur propre rôle distinct au sein de la colonie. Leur fonction première est de s'accoupler avec la reine, et leur biologie, y compris la parthénogenèse haploïde et les profils de phéromone, est essentielle pour le succès reproducteur de la ruche (Shweta et al., 2024). Le développement et le comportement des drones, y compris leurs interactions avec la reine, sont essentiels pour maintenir la santé de la colonie et faciliter la croissance (Zarić et al., 2024). Les abeilles ouvrières, bien que non explicitement détaillées dans le contexte fourni, sont les femelles non productives qui effectuent la majorité du travail dans la ruche, de la recherche de nourriture aux soins du couvain. Leurs comportements et interactions avec la reine et les drones sont également importants pour l'organisation et la fonction de la colonie (Zhang et al., 2022).

En conclusion, la biologie des abeilles et l'organisation de leurs colonies sont complexes et interdépendantes. La reine, les drones et les travailleurs jouent des rôles spécialisés qui contribuent à la santé et à la productivité de la colonie. La recherche sur la biologie moléculaire des abeilles et les facteurs qui influent sur la santé des colonies est essentielle à l'élaboration de stratégies pour atténuer les pertes de colonies et améliorer la productivité apicole (Marwaha, 2023).

La biologie de la reine, y compris ses caractéristiques morphométriques, sa synchronicité développementale, sa génétique, ses hormones, ses phéromones et son rôle dans l'organisation coloniale et l'essaimage, est abondamment couverte dans la littérature, fournissant des informations sur la structure sociale complexe des colonies d'abeilles

(Kovačić et al., 2020).

Les bourdons jouent également un rôle crucial dans la colonie, en particulier dans leur interaction avec la reine et leur contribution à la diversité génétique de la ruche par parthénogénèse haploïde (Zarić et al., 2024). Leur biologie, leur développement et leur comportement, y compris les profils d'accouplement et de phéromone, sont essentiels pour maintenir la santé de la colonie et faciliter la productivité apicole (Zarić et al., 2024).

L'abeille mellifère de l'Ouest (*Apis mellifera L.*) revêt une importance économique, agricole et environnementale importante, et ses colonies sont organisées de manière hautement sociale, avec divers rôles répartis entre les différents types d'abeilles (Reddy et al., 2022). Cependant, les colonies d'abeilles mellifères ont subi des réductions importantes dans certaines régions, des facteurs comme les ravageurs, les maladies, les pratiques apicoles, les changements climatiques, les pratiques agricoles et l'utilisation de pesticides ayant contribué à ces pertes. L'acarien ectoparasitaire *Varroa destructor* et les parasites microsporidiens comme *Nosema ceranae* ont été identifiés comme des facteurs majeurs du déclin des colonies (Moritz et al., 2010; Van Esch et al., 2020; Vercelli et al., 2021).

En conclusion, la biologie et l'organisation des colonies d'abeilles domestiques sont complexes et critiques pour leur survie et leur productivité. La reine et les drones ont des rôles distincts et cruciaux au sein de la colonie, et la santé de la colonie est influencée par une myriade de facteurs internes et externes. Il est essentiel de poursuivre la recherche et la surveillance pour comprendre et atténuer les difficultés auxquelles font face les colonies d'abeilles domestiques (Kovačić et al., 2020; Shweta et al., 2024).



Figure.4 Comparaison des reines d'*A. m. intermissa* (A) et d'*A. m. sahariensis* (B) parmi les ouvrières sur un rayon de ruche. (Images personnelles).

2.5.4 La reine

La reine est entourée d'ouvriers qui lui fournissent les moyens de subsistance essentiels, en la nourrissant d'une nourriture riche qui lui permet d'accomplir ses principales responsabilités (**Fig.3**). Sa responsabilité secondaire, en revanche, facilite l'unité de la colonie au moyen de phéromones qui contrôlent la physiologie et le comportement des

ouvriers (Winston & Punnet, 1982). La reine présente de nombreuses adaptations morphologiques conçues en ce sens en raison de son rôle de pondreuse. Elle est la personne la plus grande de la colonie et elle est facilement identifiable. Elle pèse environ 210 mg et mesure environ 2 cm de long, avec un ventre bien développé qui dépasse largement les ailes (Tarpy et al., 2011). Contrairement à ses ouvrières, son système génital fonctionne correctement. C'est ce qui explique son abdomen si volumineux et long. Sa taille est d'ailleurs proportionnelle à la quantité de sperme qu'elle stocke. L'appareil génital est composé de deux ovaires très volumineux constitués d'ovarioles (structure contenant une succession d'ovocytes à différents stades de développement). Deux oviductes relient ces ovaires au vagin. La vésicule séminale, également appelée spermathèque, est annexée au vagin. Les ovules pénètrent dans le vagin, parfois en passant par la spermathèque pour être fécondés, puis sont déposés par l'orifice génital. La spermathèque, comme son nom l'indique, est la réserve de spermatozoïdes datant de l'accouplement (Poole, 1970). Près de 5 millions d'entre eux sont conservés tout au long de la vie de la reine (Tarpy et al., 2011).

2.5.5 Les diverses tâches des ouvrières

Les tâches des ouvrières au sein de la ruche sont vastes et multiformes. Ces responsabilités peuvent généralement être classées en deux groupes distincts : les tâches exécutées dans les limites de la ruche, telles que la reproduction, la production de gelée royale, la construction de cellules et la facilitation de l'évaporation, et les tâches exécutées à l'extérieur de la ruche, comprenant principalement la recherche de nourriture et la protection.

Le phénomène connu sous le nom de polyéthisme (**Fig.5**) lié à l'âge est observé chez les abeilles ouvrières, dont les fonctions évoluent dans le temps (Calderone, 1998; Ohashi et al., 2000; Winston, 1993). De 1 à 3 jours après l'éclosion, l'abeille ouvrière fait office de nettoyeuse en éliminant les déchets de sa cellule et de celles de ses homologues. Il devient alors responsable de l'étanchéité du couvain et de la régulation de la température au sein de la colonie. Entre 3 et 5 jours, elle agit comme nourrice en nourrissant les larves avec du miel et du pollen provenant des réserves de la ruche. De 5 à 10 jours, l'abeille ouvrière poursuit ses tâches d'allaitement en fournissant de la gelée royale à la fois à la reine et aux larves. Entre 10 et 18 jours, il joue le rôle d'un magasinier, déchargeant et stockant le pollen et le miel dans la ruche. De 18 à 20 jours, il devient gardien et défend la ruche contre les intrus.

Enfin, du 21^e jour jusqu'à sa mort, il devient butineur, récoltant du pollen et du nectar pour fabriquer du miel (Fahrbach & Robinson, 1995). Le but de l'abeille est de quitter sa ruche pour se procurer du pollen et produire du miel, qui est dérivé du nectar (substance sucrée émise par les fleurs) et du miellat (les excréments des pucerons). Néanmoins, les abeilles ne s'aventurent pas à l'extérieur pour se rassembler, quelles que soient les circonstances. Les conditions météorologiques dominantes doivent être caractérisées par une sécheresse modérée, un vent minimal et une température supérieure à 9 °C (Bernd, 1979).

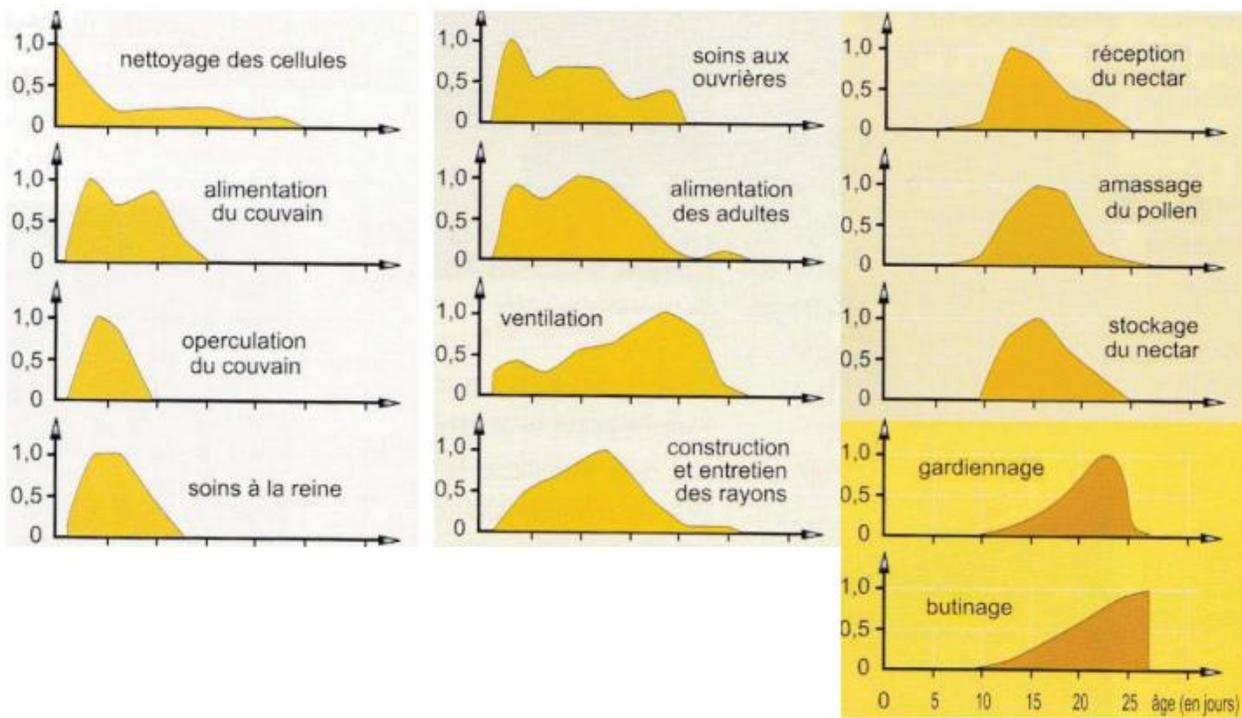


Figure.5 Le polyéthisme lié à l'âge : fait référence aux différentes tâches effectuées par les abeilles ouvrières adultes tout au long de leur vie. L'échelle verticale du graphique illustre la fréquence à laquelle ces ouvrières se livrent à des activités spécifiques, mesurée en unités arbitraires d'après Clément et al (2012) et Winston (1993)

2.6 Les caractéristiques biologiques et comportementales de l'abeille mellifère

L'abeille est exposée à divers facteurs de stress et les chercheurs s'efforcent depuis longtemps d'identifier ceux qui pourraient être influençant le comportement et l'écologie des abeilles locales et qui sont liés à la disparition des colonies. Certains agents pathogènes ou parasites, comme le *Varroa*, ou des catégories spécifiques de pesticides, comme les

néonicotinoïdes, sont considérés comme des facteurs de risque importants pour les abeilles (Van Esch et al., 2020; Vergara-Amado et al., 2020). Cependant, aucun facteur de stress ne peut expliquer à lui seul l'ampleur des pertes signalées. Ces pertes sont plutôt susceptibles d'avoir une origine multifactorielle, ce qui n'implique pas toujours les mêmes facteurs ou la combinaison de certains d'entre eux (Hoppe et al., 2015; Meixner & VanEngelsdorp, 2010; Scheper et al., 2015). En fait, certains facteurs de stress se sont révélés plus nocifs lorsqu'ils surviennent ensemble que lorsqu'ils sont examinés isolément.

2.7 Facteurs influençant le comportement et l'écologie des abeilles mellifères

Lin (2023) se concentre sur les impacts potentiels des facteurs de stress biotiques et abiotiques sur la physiologie et la santé des colonies d'abeilles.

2.7.1 Facteurs Biotiques

Les facteurs biotiques, notamment les infections et les parasites, revêtent une grande importance, la perte de colonies d'abeilles aux États-Unis est attribuée à des facteurs météorologiques défavorables, à la famine, à la perte de la reine des abeilles, au stress lié au transport des ruches et à des infections (virus, bactéries et champignons) susceptibles de contribuer au syndrome d'effondrement des colonies (CCD) (Neov et al., 2019).

Les principaux facteurs biotiques qui affectent les abeilles mellifères en Algérie comprennent les maladies des abeilles telles que le *Varroa* et l'empoisonnement des abeilles par les insecticides, ainsi que la dégradation des écosystèmes et le changement climatique (Nabti & Lazhari, 2022). Ces facteurs constituent une menace pour la population d'abeilles locale et ont une influence négative sur la production de miel (Amor et al., 2022). Les maladies des abeilles, principalement représentées par le *V. destructor* et l'empoisonnement des abeilles par les insecticides, menacent la survie des colonies d'abeilles en Algérie (Adjlane et al., 2012). L'impact de l'acarien parasite *V. destructor* augmente le risque d'effondrement des colonies d'abeilles et est influencé par des facteurs environnementaux locaux tels que la température et l'humidité (Hillayová et al., 2022).

Il a été démontré que des facteurs biotiques tels que les parasites (*Varroa*) et les virus influencent le comportement des abeilles mellifères. Il a été démontré que la présence de

l'acarien ectoparasite *V. destructor* induisait des changements dans l'organisation sociale des colonies d'abeilles mellifères, entraînant une distanciation sociale accrue entre les différentes cohortes d'abeilles (Ramos-Cuellar et al., 2022). De plus, on a découvert que l'acarien *V. destructor* avait un impact négatif sur les colonies d'abeilles mellifères en étant le vecteur de nombreux virus, notamment le virus des ailes déformées (*DWV*) et le virus du saccouvain (*SBV*) (Pusceddu et al., 2021). De plus, des études ont montré que les colonies d'abeilles mellifères d'origine européenne sont plus sensibles aux maladies parasitaires et virales que les colonies d'origine africaine (Morfin et al., 2023).

Pusceddu et al (2021) ont utilisé une combinaison d'approches spatiales et comportementales pour étudier le comportement des abeilles mellifères en réponse à l'intrusion de *V. destructor*, ils ont démontré que les abeilles mellifères modifient l'utilisation de l'espace et les interactions sociales afin d'accroître la distance sociale entre les jeunes (nourrices) et les vieilles (butineuses) cohortes d'abeilles en présence de *V. destructor*. Ils ont suggéré une stratégie comportementale inédite chez les abeilles mellifères pour limiter la transmission intra coloniale du parasite.

La présence combinée d'une infection à *N. ceranae* et de certains pesticides peut entraîner une augmentation de la mortalité dans les colonies d'abeilles, ce qui suggère un impact négatif potentiel sur le comportement des abeilles, les infections microsporidiennes à *N. ceranae* et *N. apis* peuvent provoquer des diarrhées aiguës chez les abeilles pendant la saison hiver-printemps ou des infections latentes (Neov et al., 2019).

Le comportement d'hygiène des abeilles peut influencer leur résistance aux maladies et aux parasites et peut être influencé par des facteurs génétiques et la sélection naturelle (Dadoun et al., 2020). La valeur économique de la pollinisation par les abeilles pour la production agricole en Algérie est influencée par le nombre de visites et les effets agrégés de diverses espèces d'abeilles, notamment les abeilles mellifères, les abeilles charpentières, les abeilles sans dard, les bourdons et les abeilles solitaires (Khalifa et al., 2021), le manque de législation et de normes nationales pour le miel algérien peut avoir un impact négatif sur le développement de l'apiculture algérienne (Adjlane et al., 2012; Conte et al., 2020; Dadoun et al., 2020; Hung et al., 2018; Khalifa et al., 2021), Les recherches limitées sur les infections et les options de traitement disponibles pour les abeilles en Algérie, le comportement, la

physiologie et l'évolution des abeilles en Algérie, et le microbiote des abeilles et du miel algériens (Adjlane et al., 2012; Conte et al., 2020; Dadoun et al., 2020; Hung et al., 2018; Khalifa et al., 2021), Dans l'ensemble, ces facteurs suggèrent qu'il existe un besoin d'investissement et de soutien accrus pour l'apiculture algérienne, en particulier dans les domaines de la recherche, de l'éducation et du développement des politiques. En s'attaquant à ces facteurs, il pourrait être possible de promouvoir des pratiques apicoles durables et d'améliorer la santé et la dynamique des populations d'abeilles en Algérie.

Ces résultats soulignent l'importance de comprendre les interactions entre les facteurs biotiques et les abeilles mellifères, car elles peuvent avoir un impact significatif sur le comportement des abeilles et la santé des colonies.

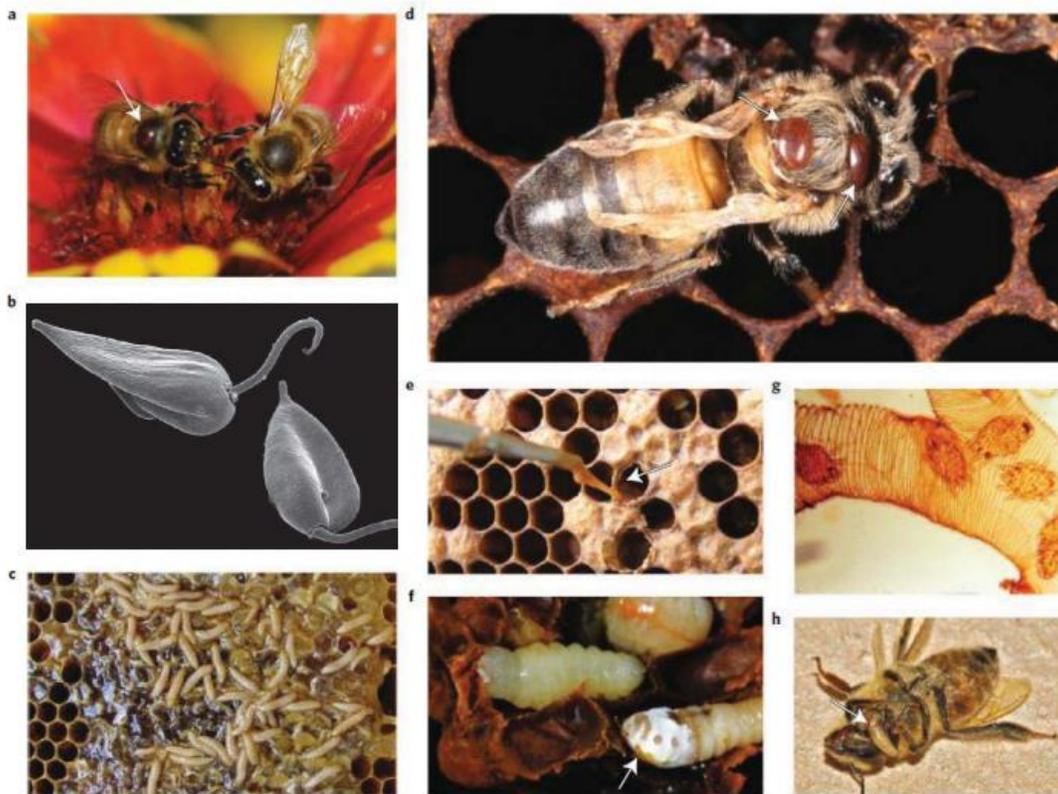


Figure.6 Les agents pathogènes et ravageurs des abeilles, tels que, **a** : l'acarien *Varroa destructor* et **b** : les cellules flagellées du trypanosome *Lotmaria passim*, constituent une menace importante pour les abeilles. En outre, **c** : l'infestation par les larves du petit coléoptère *Aethina tumida* et par **d** : des virus tels que le virus des ailes déformées (DWV) contribue à la propagation des maladies. **e** : Les infections causées par les larves de la cochenille américaine *Paenibacillus* et par **f** : le champignon

Ascospaera apis affectent également les larves d'abeilles. De plus, **g** : les acariens *Acarapis woodi* et **h** : la larve parasite *Apocephalus borealis* exploitent davantage les abeilles, causant des dégâts (Brosi et al., 2017; Schwarz et al., 2015).

2.7.2 Facteurs Abiotiques

La diversité génétique et la structure des colonies d'abeilles mellifères en Algérie sont affectées par des facteurs anthropiques tels que l'utilisation de pesticides et le remplacement des colonies locales (Kheira et al., 2020). Les facteurs environnementaux, tels que les conditions climatiques et l'origine florale et géographique, jouent également un rôle dans la qualité du miel algérien (Adjlane et al., 2012; Chahbar et al., 2013).

Les conditions climatiques dans différentes régions d'Algérie, notamment les climats humides, subhumides, arides et semi-arides, ont un impact sur la qualité des échantillons de miel prélevés dans ces régions. Dans l'ensemble, les facteurs biotiques et environnementaux ont des effets significatifs sur les abeilles mellifères en Algérie. Plusieurs facteurs influencent le comportement et l'écologie des abeilles locales en Algérie (Fig.7).

La compréhension des facteurs influençant le comportement et l'écologie des abeilles locales en Algérie est cruciale pour leur conservation et leur gestion. Le changement climatique et la dégradation de l'habitat peuvent affecter les populations d'abeilles et leur comportement, ce qui à son tour peut avoir un impact sur la pollinisation et la production des cultures en Algérie (Hung et al., 2018; Khalifa et al., 2021). Les régions du nord de l'Algérie ont peut-être servi de refuge lors des changements climatiques passés, ce qui a permis de préserver diverses lignées d'abeilles domestiques (Bouzeraa et al., 2020). La déforestation et la perte d'habitat peuvent également affecter les populations d'abeilles et leur comportement, et peuvent entraîner un déclin des services de pollinisation (Khalifa et al., 2021).

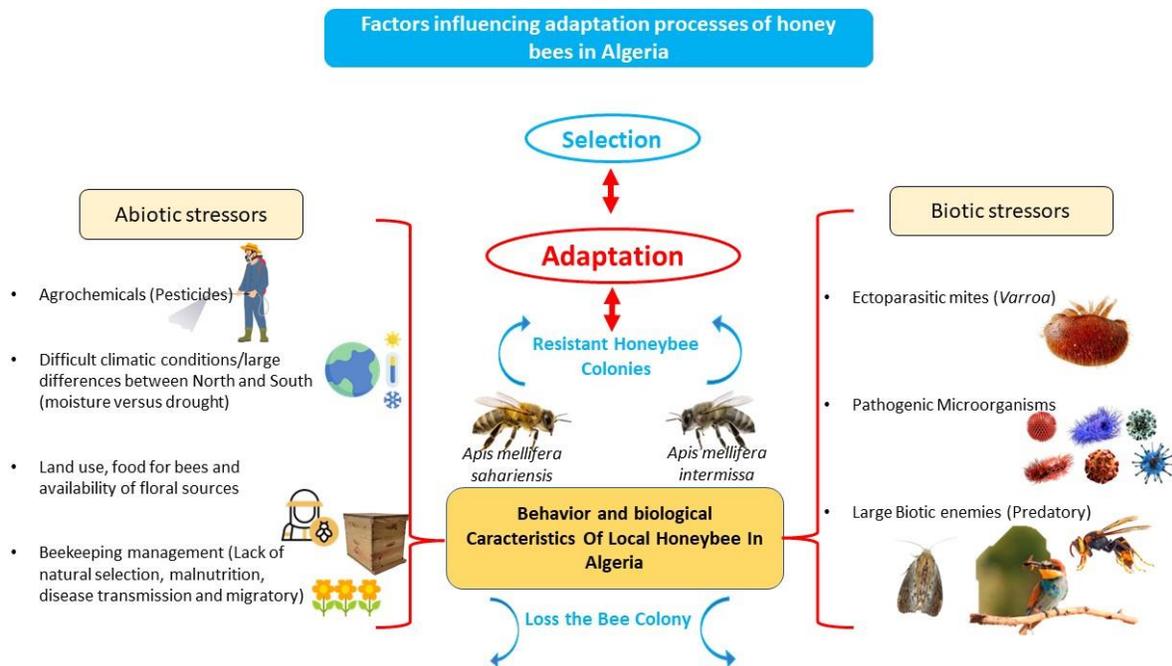


Figure.7 Description schématique des facteurs influençant les processus d'adaptation chez les abeilles locales en Algérie.

Une étude récente de Khedidji et al (2022) discute de l'influence de divers facteurs, tels que l'alimentation, la sous-espèce et l'âge, sur le développement, la physiologie et le comportement des abeilles locales en Algérie (*A. m. intermissa* et *A. m. sahariensis*). Elle se concentre spécifiquement sur les effets de la consommation de pollen sur les niveaux de protéines dans l'hémolymphe, le développement des glandes hypopharyngiennes, le développement ovarien et les taux de survie de deux sous-espèces d'abeilles. L'étude a montré que la quantité de protéines dans l'hémolymphe était influencée par la sous-espèce, la sous-espèce *intermissa* ayant plus de protéines hémolympatiques que *sahariensis* lorsque la même quantité de pollen était consommée. Cela suggère qu'*A. m. intermissa* optimise son régime protéique bien mieux qu'*A. m. sahariensis*, l'étude a également démontré que les sous-espèces ont évolué dans des environnements floraux différents, ce qui les rend peut-être plus adaptées à digérer des régimes spécifiques de pollen, le régime utilisé dans l'étude étant potentiellement plus adapté à *intermissa*. Selon Bouzeraa et al (2020) les diverses conditions environnementales dans le nord de l'Algérie peuvent fournir aux abeilles une plus grande variété de sources de nourriture et de sites de nidification, permettant une diversité génétique accrue au sein des populations.

Le changement climatique peut avoir des effets importants sur le comportement des abeilles locales. L'augmentation des températures peut influencer leur biologie, leur distribution et leur comportement, entraînant des modifications de la synchronisation entre les plantes et les insectes (Ouknin et al., 2023). De plus, le changement climatique peut avoir un impact sur le comportement, la physiologie, la répartition et l'interaction des abeilles avec les maladies. Les abeilles devront s'adapter à de nouveaux prédateurs, parasites et pathogènes qui les entourent. Les relations entre les hôtes et les parasites changeront et les abeilles devront faire face à de nouveaux stress résultant du commerce et des transferts de pathogènes entre les différentes espèces d'abeilles (Conte & Navajas, 2008). Les modifications phénologiques et distributionnelles des microbes du sol, provoquées par le changement climatique, peuvent perturber les interactions mutualistes entre les abeilles, les plantes à fleurs et les mutualistes souterrains, tels que les bactéries et les champignons du sol. Cela peut entraîner des changements dans la phénologie de la floraison, des étalages floraux plus réduits et des récompenses florales de moindre qualité, ce qui a un impact sur le temps de recherche de nourriture et les demandes énergétiques des abeilles (Keeler et al., 2021). Les abeilles, en particulier les abeilles mellifères, sont plus sensibles aux changements climatiques que les bourdons, ce qui les rend plus prédisposées aux changements futurs des conditions météorologiques en cours de journée (Karbassioon et al., 2023). De plus, les variations de température peuvent moduler la température des pétales des fleurs, ce qui peut influencer la prise de décision des abeilles et la dynamique de pollinisation (Shrestha et al., 2018). Les conséquences extrêmes des pesticides sur le comportement des abeilles peuvent également être modulés par la température, différents comportements ayant un impact plus important à différentes plages de température (Kenna et al., 2023).

Selon Aglagane et al (2023), la probabilité d'affectation à la sous-espèce d'abeille saharienne, *A. m. sahariensis*, diminue avec l'augmentation de l'intensité de la gestion humaine et des précipitations. Cela indique que le niveau d'intervention humaine et les conditions environnementales jouent un rôle dans la composition génétique des populations d'abeilles. L'étude a révélé que les taux élevés d'hybridation avec *A. m. intermissa* mettent en péril l'intégrité génétique de l'abeille saharienne. Cette hybridation est attribuée à des facteurs tels que la modernisation du secteur apicole, l'importation de reines étrangères, l'élevage de reines à grande échelle et les déplacements réguliers de colonies, qui ont fortement impacté le pool génétique des

sous-espèces localement adaptées et provoqué une pollution génétique par introgression.

Achou (2015) a évalué la diversité génétique des abeilles en Algérie et a identifié trois lignées différentes d'abeilles, avec des preuves d'introgression génétique faible provenant de populations non locales.

Ces résultats suggèrent collectivement que les abeilles indigènes en Algérie présentent des variations morphologiques et génétiques qui peuvent être liées à leur adaptation aux conditions climatiques locales. Cela suggère que les sous-espèces d'abeilles en Algérie ont le potentiel de s'adapter et d'évoluer en réponse à leurs conditions environnementales spécifiques.

De plus, l'étude a trouvé des preuves d'hybridation entre différentes sous-espèces, en particulier entre *A. m. intermissa* et *A. m. sahariensis* (Abed et al., 2021). Les pesticides, en particulier ceux ayant des propriétés neurotoxiques, ont été signalés comme ayant un impact sur le système nerveux des espèces d'abeilles locales en Algérie, telles que *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis* (Chahbar et al., 2014). Des doses sublétals de l'insecticide clothianidine ont amené les abeilles à abandonner progressivement les mangeoires contaminées, les concentrations plus élevées entraînant un abandon plus rapide. Les abeilles n'ont pas montré de rétention de mémoire des expériences précédentes avec l'insecticide, indiquant qu'elles pourraient être particulièrement vulnérables à une exposition répétée (Girolami et al., 2023).

Ces études ont collectivement mis l'accent sur l'importance de comprendre et de traiter les stress abiotiques et biotiques auxquels sont confrontées les abeilles en Algérie, car ils ont des implications importantes pour l'apiculture, la production de miel, la pollinisation et la santé agricole globale dans la région.

2.8 Caractéristiques biologiques des abeilles locales en Algérie

Les caractéristiques biologiques des abeilles locales en Algérie ont fait l'objet de plusieurs études.

Ces caractéristiques comprennent :

2.8.1 *Apis mellifera intermissa* (Abeille tellienne)

2.8.1.1 Origine géographique

Cette sous-espèce se trouve principalement le long de la côte méditerranéenne et atlantique de l'Afrique du Nord, ainsi que dans l'Atlas marocain (Buttel-Reepen, 1906a).

2.8.1.2 Morphologie

L'abeille tellienne est relativement grande et possède un exosquelette d'un noir brillant. Sa taille est légèrement inférieure à celle d'*Apis mellifera mellifera* (abeille noire européenne) et *Apis mellifera carnica* (Buttel-Reepen, 1906a). Les abeilles algériennes, en particulier la sous-espèce *A. m. intermissa*, sont de plus petite taille que les autres sous-espèces (Khedim et al., 2023). Cette taille plus petite peut être due à des facteurs génétiques spécifiques à la population algérienne et à des adaptations aux conditions environnementales locales. **(Fig.3)**

2.8.1.3 Comportement

Ces abeilles construisent généralement plus de 100 cellules royales lors de la période d'essaimage et plusieurs reines vierges peuvent cohabiter temporairement avant que l'une ne soit fécondée (Buttel-Reepen, 1906a). Elles sont connues pour leur nervosité et leur comportement défensif, ainsi que pour leur tendance à propoliser excessivement :

2.8.1.4 Nervosité et comportement de défense

Les abeilles Telliennes locales en Algérie sont connues pour leur comportement nerveux et agressif lorsqu'elles défendent leurs ruches (Khedim et al., 2023). Ce comportement serait dû à leur adaptation aux conditions environnementales difficiles de l'Algérie.

2.8.1.5 Abondance d'utilisation de la propolis

La propolis, une substance résineuse collectée par les abeilles à partir des bourgeons des arbres, est utilisée pour la construction et la défense des ruches. Il a été observé que les abeilles algériennes utilisent abondamment la propolis dans leurs ruches, ce qui pourrait être dû à leur besoin de protection supplémentaire dans leur environnement (Khedim et al., 2023).

2.8.1.6 Essaimage

Les colonies d'abeilles telliennes ont tendance à s'essaimer fréquemment, souvent jusqu'à sept fois par an (Buttel-Reepen, 1906a).

2.8.2 *Apis mellifera sahariensis* (Abeille saharienne)

2.8.2.1 Origine géographique

Cette sous-espèce est originaire des oasis du sud du Maroc et de l'ouest algérien. On peut également la trouver dans des cavités rocheuses du Sahara oriental (Baldensperger, 1932).

2.8.2.2 Morphologie

Comparativement aux autres sous-espèces d'*Apis mellifera*, *A. m. sahariensis* est plus petite et

moins pigmentée (Baldensperger, 1932; Bendjedid & Achou, 2014).

2.8.2.3 Comportement

Contrairement aux abeilles telliennes, les abeilles sahariennes essayent rarement et produisent peu de cellules royales. Lorsqu'elles essaient, il y a une forte probabilité que toutes les jeunes reines soient tuées, sauf une. De plus, ces abeilles propolisent modérément et présentent un niveau de défense plus bas, même si elles restent quelque peu nerveuses (Baldensperger, 1932).

2.8.2.4 Adaptation au climat

Les abeilles sahariennes sont adaptées aux conditions climatiques extrêmes, pouvant résister aussi bien au gel (-8°C) qu'aux chaleurs intenses (jusqu'à 50°C) (Baldensperger, 1932). La sous-espèce *A. m. sahariensis*, qui prédomine dans le sud de l'Algérie, est connue pour son adaptation aux conditions de sécheresse, indiquant un niveau élevé de tolérance aux conditions environnementales difficiles de la région (Adjlane et al., 2016).

2.8.3 Traits comportementaux d'*Apis mellifera sahariensis*

A. m. sahariensis, une sous-espèce d'abeille domestique endémique d'Algérie, présente des différences comportementales par rapport aux autres espèces d'abeilles domestiques. En termes de survie, le *sahariensis* a une espérance de vie moyenne plus longue que l'*A. m. intermissa* lorsqu'il est nourri avec du pollen (Khedidji et al., 2022). *Sahariensis* présente également une résistance plus élevée à la carence en pollen, avec un impact moindre sur le développement des glandes hypopharyngées, de plus, le *sahariensis* présente une tendance à l'essaimage et une agressivité plus élevées, avec un temps de réponse plus court et une distance de suivi plus longue après les perturbations (Tarekegn et al., 2022). Cependant, la *sahariensis* présente de bonnes performances en termes de comportements hygiéniques et d'activité de recherche de nourriture (Choi et al., 2022). Ces différences comportementales mettent en évidence les caractéristiques uniques d'*A. m. sahariensis* par rapport aux autres espèces d'abeilles domestiques.

A. m. sahariensis, une sous-espèce d'abeille domestique, présente plusieurs adaptations comportementales à son environnement désertique. Ces adaptations incluent des niveaux d'expression plus élevés des protéines de choc thermique (hsp) par rapport aux autres sous-espèces, ce qui aide les abeilles à tolérer les températures estivales extrêmes (Alghamdi & Alattal, 2023). De plus, *A. m. sahariensis* présente des activités de recherche de nourriture plus

importantes, à la fois sortantes et collectrices de pollen, par rapport aux autres sous-espèces, ce qui leur permet de récolter efficacement des ressources provenant d'une flore riche en nectar dans les environnements chauds et arides (Alqarni et al., 2021). La sous-espèce présente également des adaptations comportementales aux températures élevées et aux saisons sèches, ce qui contribue à sa tolérance aux ravageurs et aux agents pathogènes, tels que le varroa (Haddad et al., 2016). De plus, le génotype des pupes d'abeilles domestiques n'affecte pas de manière significative les comportements d'infestation et de reproduction des varroas, ce qui indique que *A. m. sahariensis* ne présente pas d'infestation différentielle ni de ciblage préférentiel de génotypes spécifiques de pupes (Beaurepaire et al., 2019). Dans l'ensemble, ces adaptations comportementales permettent à *A. m. sahariensis* de prospérer et de survivre dans son environnement désertique.

2.8.4 Interactions entre les sous-espèces d'*Apis mellifera* en Algérie

Les interactions ou les croisements éventuels entre *A. m. intermissa* et *A. m. sahariensis* et l'impact potentiel sur leur diversité génétique et leurs rôles écologiques L'impact potentiel des interactions entre *A. m. intermissa* et *A. m. sahariensis* sur leur diversité génétique et leurs rôles écologiques est que des taux élevés d'hybridation avec *A. m. intermissa* mettent en péril l'intégrité génétique de l'abeille mellifère du Sahara (Aglagane et al., 2023). Cependant, aucun signe d'introgession n'a été détecté chez la sous-espèce de référence européenne (Dáttilo et al., 2022). De plus, la probabilité d'assignation à une sous-espèce saharienne diminuait avec l'augmentation de l'intensité de la gestion humaine et des précipitations (Santillán-Castillo et al., 2023). Ces résultats sont importants pour développer une stratégie de conservation pour les abeilles mellifères du Sahara (Fridi et al., 2022). Le rôle interactif d'*A. mellifera* au sein des réseaux de pollinisation influe sur le chevauchement des niches, la spécialisation et la robustesse des réseaux (Fridi et al., 2022).

Lorsque l'abeille domestique a été retirée des réseaux, les espèces végétales se chevauchaient moins et les réseaux sont devenus plus spécialisés et plus résistants aux extinctions d'espèces. Ces effets varient géographiquement et pourraient influencer plusieurs facteurs écologiques et évolutifs agissant à l'échelle locale, notamment les services de pollinisation.

Ces résultats suggèrent que les interactions entre différentes sous-espèces d'abeilles domestiques pourraient avoir des implications écologiques, mais des recherches supplémentaires portant

spécifiquement sur les interactions entre *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis* sont nécessaires pour déterminer la nature exacte et l'étendue de ces implications.



Figure.8 Photos originales de l'abeille locale en Algérie : (A) *A. m. sahariensis* (B) *A. m. intermissa*.

2.8.5 Comportement de recherche de nourriture

L'un des traits comportementaux notables des abeilles locales en Algérie est leur comportement de recherche de nourriture. Des études ont montré que les abeilles algériennes présentent des comportements spécifiques de recherche de nourriture qui sont adaptés à l'environnement local. Les étés chauds et secs du climat méditerranéen peuvent créer des conditions favorables aux activités de recherche de nourriture des abeilles domestiques, car les plantes à fleurs sont abondantes pendant cette période (Bouzeraa et al., 2020). Elles ont été observées avoir des préférences pour certaines ressources florales, telles que certaines espèces végétales ou sources de nectar. De plus, il a été constaté que les abeilles locales en Algérie présentent un degré élevé d'efficacité des ressources lors de la recherche de nourriture, visitant plusieurs fleurs en peu de temps pour maximiser leur collecte de nectar et de pollen (Khedim et al., 2023), Le comportement de recherche de nourriture des abeilles

locales en Algérie est influencé par plusieurs facteurs, notamment la disponibilité de sources de nourriture, l'emplacement et les espèces végétales sélectionnées dans leur aire de répartition. Les caractéristiques morphologiques des abeilles peuvent également jouer un rôle dans leur comportement de recherche de nourriture (Abou-Shaara, 2014) par exemple, l'étude d'Abou-Shaara et al a révélé que la longueur de la langue des abeilles algériennes est plus courte que celle des autres sous-espèces. Cela peut affecter leur capacité à accéder au nectar à partir de structures florales profondes et pourrait expliquer leur préférence pour certaines espèces végétales avec des sources de nectar plus accessibles.

Le comportement de recherche de nourriture des abeilles mellifères est influencé par divers facteurs. Ces facteurs incluent la disponibilité des ressources en pollen et en nectar, la saisonnalité et la diversité des plantes mellifères des environs (Kanazoe et al., 2023). De plus, la régulation des tâches de recherche de nourriture, les variations entre les sous-espèces et les facteurs internes et externes à la colonie ont également un impact sur le comportement alimentaire des abeilles mellifères (Guiseppe, 2022). Le comportement de recherche de nourriture est crucial pour la survie de la colonie et présente des avantages tels que la pollinisation des plantes, mais il peut également présenter des inconvénients (Singh & Chanu, 2022a). La danse du waggle est un mouvement unique utilisé par les abeilles domestiques pour transmettre des informations sur les sites de fourrage aux autres membres de la colonie, indiquant l'emplacement, la distance et la rentabilité des sites (Palmer et al., 2022). De plus, l'utilisation de la danse frétilante dans les décisions collectives en matière de recherche de nourriture peut varier d'une colonie à l'autre et est influencée par les conditions écologiques locales (Singh & Chanu, 2022b). Cela suggère qu'il est crucial de comprendre et de contrôler le comportement de recherche de nourriture pour maximiser les produits des colonies et augmenter les avantages agricoles (Guiseppe, 2022).

Dans l'ensemble, il est important de comprendre les facteurs qui influencent le comportement alimentaire des abeilles mellifères pour maximiser les produits des colonies et les avantages agricoles.

2.8.6 Résistance aux maladies et aux parasites

Des études ont montré que les abeilles algériennes, en particulier les sous-espèces *A. m.*

intermissa et *A. m. sahariensis*, présentent un schéma unique de prévalence pour les parasites et les agents pathogènes courants des abeilles, suggérant un certain niveau de résistance à ces maladies (Adjlane et al., 2016).

2.8.7 Diversité génétique et hybridation

Des recherches ont trouvé des preuves de diversité génétique et d'hybridation entre différentes sous-espèces d'abeilles en Algérie, en particulier entre *A. m. intermissa* et *A. m. sahariensis* (Adjlane et al., 2016), Cette diversité génétique et cette hybridation peuvent contribuer à l'adaptabilité et à l'évolution des abeilles en réponse à leurs conditions environnementales spécifiques.

2.9 Différences de Caractéristiques Comportementales : Une Analyse

Les caractéristiques morphologiques jouent un rôle important dans la classification des sous-espèces d'abeilles mellifères, les caractéristiques de nervation des ailes ont été étudiées de manière plus intensive que les autres caractéristiques morphologiques du corps (Abou-Shaara et al., 2013). Selon Abou-Shaara et al (2013) les facteurs influant sur les caractéristiques morphologiques du corps des abeilles mellifères :

2.9.1 Facteurs génétiques

Les caractéristiques morphologiques des abeilles mellifères sont influencées par leur constitution génétique, car les différentes sous-espèces présentent des traits corporels distincts.

2.9.2 Facteurs environnementaux

Les conditions environnementales, telles que la température, l'humidité et la disponibilité des ressources, peuvent avoir un impact sur le développement et l'expression des caractéristiques morphologiques des abeilles mellifères.

2.9.3 Nutrition

La qualité et la quantité des sources de nourriture peuvent affecter la croissance et le développement des abeilles mellifères, influençant potentiellement leur morphologie

corporelle.

2.9.4 Pesticides et polluants

L'exposition aux pesticides et aux polluants présents dans l'environnement peut avoir des effets néfastes sur la santé des abeilles, notamment sur leurs caractéristiques morphologiques.

2.10 Interactions avec d'autres organismes

Les interactions avec les parasites, les agents pathogènes et les prédateurs peuvent influencer la morphologie des abeilles mellifères, car celles-ci peuvent développer des adaptations ou des changements en réponse à ces interactions

Ces dernières années, l'étude du comportement des abeilles a mis en lumière deux traits importants qui contribuent à la résistance contre *V. destructor*, un acarien parasite qui constitue une menace importante pour les populations d'abeilles (Buechegger et al., 2018). Ce comportement, connu sous le nom d'hygiène de *Varroa*, est un trait héréditaire d'*Apis mellifera* et peut être incorporé dans les programmes d'élevage de reines en tant que stratégie durable pour contrôler *V. destructor* (Spivak & Danka, 2021). L'hygiène de *Varroa* (Varroa-Sensitive Hygiene, VSH) et la suppression de la reproduction des acariens (Suppression of Mite Reproduction, SMR) sont toutes deux des traits associés au comportement hygiénique des abeilles en réponse à l'infestation par *V. destructor* (Sprau et al., 2021). D'un autre côté, l'étude sur le comportement hygiénique a révélé que les abeilles en Algérie présentent un comportement hygiénique efficace envers les couvées malades et *V. destructor*.

Les chercheurs ont observé que les abeilles détectaient et éliminaient les couvées malades et *V. destructor* en désoperculant et en enlevant les cellules infestées. Le moment de ce comportement hygiénique s'est avéré crucial pour réduire le risque de transmission de maladies et améliorer la santé de la colonie (Adjlane & Haddad, 2014). Il a été observé que les abeilles affichaient un comportement hygiénique rapidement, éliminant les couvées malades et les cellules infestées par *Varroa* avant qu'une transmission supplémentaire d'agents pathogènes ou de parasites ne puisse se produire (El-Seedi et al., 2022). Ce comportement contribue à maintenir la santé des colonies d'abeilles et à limiter la

propagation des maladies et des infestations. Dans l'ensemble, la comparaison de ces deux études souligne l'importance des traits biologiques et du comportement hygiénique chez les abeilles. Ces résultats suggèrent que des facteurs environnementaux et des variations génétiques peuvent contribuer aux différences de traits biologiques observées chez les abeilles de différentes régions.

Une autre étude s'est concentrée sur les caractéristiques comportementales des abeilles en Algérie et les a comparées à d'autres insectes sociaux, tels que les fourmis et les termites (Brothers et al., 2000). L'étude a spécifiquement étudié le comportement hygiénique chez les abeilles, qui est une forme importante d'immunité sociale pour ces insectes (Spivak & Danka, 2021). Les chercheurs visaient à comprendre les mécanismes comportementaux sous-jacents du comportement hygiénique chez les abeilles et comment il est lié aux maladies et aux parasites comme *V. destructor*. Les chercheurs ont mené des expériences pour explorer le moment et l'efficacité du comportement hygiénique des abeilles envers les couvées malades et les abeilles adultes infestées par *V. destructor*.

La première étude d'Adjlane et Haddad (2014) sur les caractéristiques comportementales des abeilles locales en Algérie a été menée sur 40 colonies d'*A. m. intermissa*, la race d'abeille locale d'Algérie. L'objectif de l'étude était d'évaluer le comportement hygiénique des abeilles, qui est un facteur important de résistance à *V. destructor*, un acarien parasite qui constitue une menace majeure pour les abeilles. Les résultats de l'étude ont montré que les abeilles locales en Algérie ont un comportement hygiénique élevé. Le taux d'élimination du couvain mort infesté par *V. destructor* était de 91,56 % après 24h au printemps et de 83,55 % en automne. Ces résultats sont supérieurs à ceux rapportés pour d'autres races d'abeilles, suggérant que les abeilles locales en Algérie sont bien adaptées aux conditions environnementales locales et ont une bonne résistance à *V. destructor*. Les résultats de l'étude ont montré que les abeilles en Algérie présentent un comportement hygiénique fort, reconnaissant et éliminant efficacement les couvées malades de leurs colonies pour empêcher la propagation d'agents pathogènes. Ces résultats suggèrent que les abeilles en Algérie ont développé un niveau élevé de résistance aux maladies et aux parasites courants, ce qui est crucial pour maintenir la santé et la survie de leurs colonies. L'étude sur le comportement de toilettage et d'élimination d'*A. m. intermissa* en Tunisie contre *V.*

destructor fournit des informations précieuses sur les mécanismes de résistance de cette sous-espèce. Les résultats montrent que les ouvrières d'*A. m. intermissa* sont très efficaces pour détecter et éliminer le couvain artificiellement infesté et tué par le gel, avec des taux d'élimination allant jusqu'à 75 % et 97%-99 % après 24h, respectivement. De plus, il a été observé que les abeilles éliminaient activement les acariens *V. destructor*, avec un grand nombre d'acariens blessés tombant des colonies naturellement infestées. Ces résultats suggèrent qu'*A. m. intermissa* possède des mécanismes actifs de résistance contre *V. destructor*, y compris des comportements de toilette et d'élimination (Boecking & Ritter, 1993a). Dans l'ensemble, les études de Tunisie et d'Algérie fournissent des preuves solides que les abeilles *A. m. intermissa* ont développé des mécanismes efficaces pour résister aux acariens *V. destructor*.

Une autre étude par Toufalia et al (2018) s'est concentrée sur fournir des informations sur les facteurs qui contribuent à l'apparition rare de comportements hygiéniques chez *A. mellifera* et sur leur impact sur la réduction des maladies, l'élimination des larves lyophilisées et infectées par le couvain de craie des cellules ouvertes a été quantifiée dans 20 colonies, et les colonies allaient de non hygiéniques à totalement hygiéniques, avec des taux d'élimination allant de 52 % à 100 % en 2 jours. Les résultats suggèrent qu'un faible comportement hygiénique à l'égard des couvains morts dans des cellules scellées est une caractéristique distincte des colonies d'abeilles domestiques et pourrait contribuer à comprendre pourquoi le comportement hygiénique est rare chez *A. mellifera*.

Le comportement hygiénique des abeilles locales en Algérie est influencé par des facteurs environnementaux tels que la température, l'humidité, la disponibilité de nourriture et l'exposition aux pesticides (Boecking & Ritter, 1993a; Evans & Spivak, 2010; Fries & Raina, 2003; Johnson et al., 2010). Pour développer des programmes de sélection des abeilles résistantes à *V. destructor* en Algérie, des méthodes comme la sélection naturelle, la sélection sélective et l'insémination artificielle peuvent être employées (Boecking & Spivak, 1999; Dietemann et al., 2013; Page & Fondrk, 1995). La conservation et la gestion durable des abeilles locales peuvent être réalisées en protégeant leur habitat, en éduquant les apiculteurs et en les soutenant. En mettant en œuvre ces mesures, les apiculteurs peuvent contribuer à la préservation et à la durabilité des populations d'abeilles locales en Algérie.

2.11 Les critères de sélection divergents des colonies d'abeilles résistantes

Les critères de sélection divergents des colonies d'abeilles résistantes incluent des comportements hygiéniques spécifiques ciblant les cellules de couvain infestées par *Varroa* (VSH, hygiène sensible à *Varroa*), l'hygiène et le ré-encapsulation des cellules de couvain. Au niveau de la colonie, l'essaimage peut renforcer la résistance des populations d'abeilles vivantes dans la nature. De plus, les caractéristiques du couvain pourraient également être impliquées dans les capacités de résistance, si elles confèrent une hypersensibilité du couvain qui conduit à une mort accélérée ou à un taux accumulé d'élimination, entraînant ainsi la propagation et la reproduction de *Varroa*. Dans l'ensemble, ces critères participent à limiter la croissance de la population de *Varroa*, comme le montrent des niveaux élevés de non-reproduction des acariens dans le couvain (Noël et al., 2020).

Les efforts de sélection pour les colonies d'abeilles résistantes se concentrent sur des caractéristiques telles que la suppression de la reproduction des acariens (SMR), la ré-encapsulation des cellules infestées (RecInf) et la survie des couvées (Gabel et al., 2023; Van Alphen & Fernhout, 2020). Ces caractéristiques ressemblent beaucoup aux mécanismes de résistance observés chez les populations d'abeilles mellifères survivant au varroa (Conte et al., 2020). L'héritabilité de SMR et de RecInf s'est révélée prometteuse pour une sélection ultérieure dans les populations reproductrices (Blacquièrre et al., 2019; Mondet et al., 2020). Les autres caractéristiques impliquées dans la résistance au varroa incluent le comportement de toilettage, le comportement hygiénique et la croissance limitée de la population d'acariens (Vung et al., 2020). La sélection naturelle a permis aux populations d'*Apis mellifera* de devenir tolérantes ou résistantes au varroa, comme en témoignent la résistance réussie en Afrique du Sud et les abeilles mellifères africanisées en Amérique du Sud (Van Alphen & Fernhout, 2020).

Une étude sur le terrain en Suisse explore deux caractéristiques chez les abeilles mellifères visant à améliorer la résistance au *V. destructor*. Les caractéristiques sont le taux de repeuplement des couvains et la solidité, qui sont liés à la résistance à l'acarien, les deux caractéristiques peuvent être utilisées pour la sélection des abeilles mellifères (Guichard et al., 2021). Lors d'une expérience suédoise, seulement 7 % des colonies ont survécu à l'invasion de *Varroa*, ce qui a entraîné une forte consanguinité. D'autres expériences avec des colonies survivantes ont échoué en raison de la consanguinité neutralisant les effets de la sélection. La perte de variation

génétique chez les abeilles européennes a également contribué à l'absence de résistance. La prévention de la perte de variation génétique peut faciliter la sélection au niveau des colonies dans les populations d'accouplement fermées (Van Alphen & Fernhout, 2020). En revanche, les abeilles hybrides sélectionnées par les éleveurs d'abeilles ne sont pas conçues pour accumuler des réserves alimentaires, leur reine ne régule pas sa ponte et les ouvrières ne régulent pas l'élevage des larves. Elles dépendent donc fortement d'une alimentation artificielle en solution sucrée fournie par le gardien d'abeilles pour survivre dans des conditions météorologiques défavorables (Conte & Navajas, 2008). Cependant, le succès des programmes de sélection dépend de l'évaluation des caractères dans différentes conditions locales et de la gestion des colonies. Les approches de sélection naturelle, telles que l'arrêt du traitement contre les acariens et la sélection pour la survie et le développement prolifératif des colonies, se sont révélées efficaces dans le développement de populations d'abeilles mellifères résistantes.

Dans l'ensemble, les critères de sélection des colonies d'abeilles résistantes incluent des caractéristiques liées à la reproduction des acariens, à la survie des couvées et à la résistance aux maladies au niveau des colonies.

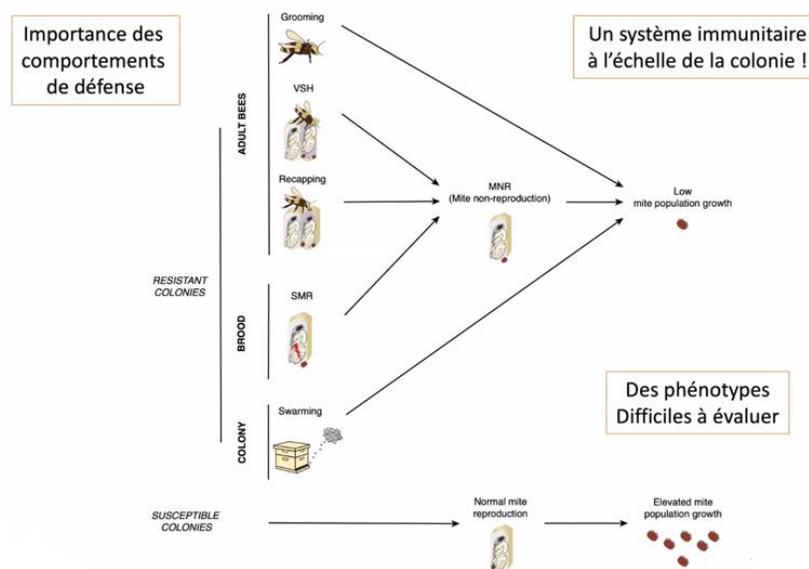


Figure.9 Principaux traits comportementaux et physiologiques impliqués dans la résistance naturelle des abeilles mellifères au parasite *Varroa* : la désinfestation sélective vis-à-vis de *Varroa* (VSH), le résumé age (recapping), et la suppression de la reproduction des acariens (SMR) contribuent à la non-reproduction des acariens (MNR). En combinaison avec l'hygiène et l'essaimage, ces traits conduisent à une résistance de la ruche grâce à une croissance limitée de la population d'acariens (Noël et al., 2020).

Les abeilles domestiques présentent une résistance à l'acarien *Varroa* grâce à divers traits génétiques et comportementaux. Un trait comportemental important est l'hygiène sensible au *Varroa* (VSH), où les abeilles sont capables de détecter spécifiquement le couvain infesté par le *Varroa* et de les retirer de la colonie. De plus, les comportements hygiéniques et de récapitulation ont été confirmés comme des mécanismes importants pour la résistance à *Varroa*. Au niveau génétique, des études ont montré que les colonies survivantes infestées par *Varroa* sont génétiquement distinctes des colonies sensibles voisines, ce qui indique un rôle potentiel de facteurs génétiques dans la résistance. En outre, des enquêtes récentes ont mis en évidence l'importance des défenses comportementales affichées par les populations d'abeilles résistantes à *Varroa*, indiquant une interaction complexe d'aspects génétiques et comportementaux dans la résistance des abeilles aux acariens *Varroa*. Une autre perspective pour le développement d'outils de sélection provient spécifiquement d'une compréhension détaillée des mécanismes du comportement du VSH, un caractère dans lequel les abeilles mellifères sont capables de détecter spécifiquement le couvain infesté par *Varroa*. Des preuves solides suggèrent que l'étape de reconnaissance implique la détection de produits sémio-chimiques associés à l'infestation de *Varroa*. L'évaluation de la réponse des abeilles suite à l'application de tels composés candidats dans les colonies, en agissant comme un proxy fiable de l'activité VSH de la colonie, pourrait aboutir à un outil de terrain pratique pour phénotyper les colonies résistantes (**Fig.9**). Principaux traits comportementaux et physiologiques impliqués dans la résistance naturelle des abeilles mellifères au parasite *Varroa*. Le VSH (hygiène sensible à *Varroa*), le rechapage et le SMR (reproduction des acariens supprimés) contribuent au MNR (non-reproduction des acariens). Associés au hygiène et à l'essaimage, ces caractéristiques conduisent à des colonies résistantes grâce à une faible croissance de la population d'acariens (Noël et al., 2020).

2.12 CONCLUSION

La comparaison des études sur les caractéristiques biologiques et comportementales des abeilles locales en Algérie fournit des informations précieuses sur les variations et les adaptations de ces espèces dans différents environnements. Ces résultats ont des implications importantes pour les pratiques apicoles et les efforts de conservation. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour explorer les facteurs génétiques et environnementaux spécifiques qui contribuent aux

différences observées dans les traits biologiques parmi les abeilles de différentes régions d'Algérie. La compréhension des mécanismes sous-jacents du comportement hygiénique et des traits biologiques chez les abeilles peut aider au développement de programmes d'élevage efficaces et de stratégies de gestion pour maintenir des populations d'abeilles saines et résilientes. De plus, les recherches futures devraient se concentrer sur le moment et la spécificité du comportement hygiénique concernant le couvain infesté par *Varroa* et le couvain infecté par un virus, ainsi que sur les effets potentiels à long terme du comportement hygiénique sur la santé de la colonie et la résistance aux maladies. En conclusion, l'étude des caractéristiques biologiques et comportementales des abeilles est cruciale pour comprendre leur adaptabilité et leur résilience dans différents environnements.

Les résultats de ces études soulignent l'importance de prendre en compte à la fois les traits biologiques et le comportement hygiénique des abeilles pour des pratiques apicoles et une gestion des colonies efficaces.

La préservation des populations d'abeilles locales en Algérie, notamment les abeilles Telian (*A. m. intermissa*) et les abeilles sahariennes (*A. m. sahariensis*), est d'une importance capitale pour maintenir l'équilibre de l'écosystème et soutenir la productivité agricole. Pour y parvenir, il est essentiel de comprendre la structure génétique et la diversité de ces populations, ainsi que les menaces auxquelles elles sont confrontées. La mise en œuvre de pratiques apicoles durables, la promotion de l'utilisation de reines localement adaptées et la conservation des sous-espèces d'abeilles indigènes sont autant d'étapes nécessaires pour maintenir la survie à long terme et la diversité génétique des abeilles en Algérie. Bouzeraa et al (2020) souligne l'importance de préserver la diversité génétique locale des populations d'abeilles domestiques algériennes en limitant les importations de reines étrangères. Dans le monde en mutation rapide d'aujourd'hui, l'importance de prévisions météorologiques précises ne peut être surestimé. De même, l'importance de préserver et de conserver les populations d'abeilles en Algérie ne doit pas être sous-estimée. En donnant la priorité à la conservation des abeilles locales et à leur diversité génétique, l'Algérie peut non seulement protéger son industrie agricole, mais également contribuer aux efforts mondiaux de conservation des abeilles. De plus, comprendre l'isolement génétique des populations d'abeilles locales est crucial pour leur conservation réussie (Bykova et al., 2020).

Cela peut être réalisé en menant des études génétiques pour déterminer l'étendue du flux génétique entre les populations et en identifiant les menaces potentielles d'hybridation avec des taxons étroitement apparentés. En outre, des mesures de confinement strictes doivent être mises en œuvre pour prévenir l'hybridation et préserver les caractéristiques génétiques distinctes des populations d'abeilles locales.

La conservation des populations d'abeilles locales est cruciale pour maintenir l'équilibre de l'écosystème et soutenir la productivité agricole. Pour assurer la survie à long terme et la diversité génétique des abeilles en Algérie, des pratiques apicoles durables, une collaboration avec des organisations internationales et le partage des connaissances et des meilleures pratiques de gestion des abeilles sont essentiels. En conclusion, la préservation et la conservation des populations d'abeilles locales en Algérie, telles que les abeilles Telian et les abeilles sahariennes, sont essentielles pour maintenir l'équilibre écologique et soutenir la productivité agricole. Comprendre les différences de comportement est crucial pour les efforts de conservation, car cela peut avoir un impact sur l'adaptation et la survie de ces populations d'abeilles dans leurs environnements respectifs. Par conséquent, une analyse plus complète des caractéristiques comportementales fournirait une compréhension plus holistique des besoins de conservation de ces sous-espèces (Aglagane et al., 2023).

Cela peut être réalisé en mettant en œuvre des pratiques apicoles durables, en promouvant l'utilisation de reines localement adaptées et en établissant des programmes de conservation et des zones protégées pour les sous-espèces d'abeilles menacées. De plus, des efforts doivent être faits pour réduire l'introggression génétique causée par les pratiques apicoles modernes telles que l'importation de reines étrangères et la transhumance (Loucif-Ayad et al., 2015).

Les conséquences du changement climatique ou du déplacement des races d'abeilles vers différentes régions géographiques peuvent affecter la répartition des abeilles, leur comportement, leur physiologie, leur interaction avec les maladies et leur valeur économique en tant que pollinisateurs. Il est donc crucial de prendre des mesures de conservation pour prévenir la perte de diversité génétique des abeilles et préserver les écotypes précieux nécessaires à la biodiversité mondiale (Conte & Navajas, 2008).

Une compréhension de la structure génétique et de l'isolement des populations d'abeilles locales

en Algérie est nécessaire pour préserver leurs traits uniques et assurer leur conservation réussie. Pour préserver et conserver efficacement les populations d'abeilles locales en Algérie, il est impératif de comprendre la structure génétique et le niveau d'isolement de ces populations. Cela aidera à développer des stratégies de conservation et des mesures de confinement appropriées pour prévenir l'introgression génétique et préserver les traits génétiques uniques des populations d'abeilles locales en Algérie. L'intégration d'études génétiques, la mise en œuvre de pratiques apicoles durables et l'établissement de programmes de conservation sont essentiels à la préservation et à la conservation des populations d'abeilles locales en Algérie.

Ces résultats soulignent la nécessité d'une stratégie de conservation globale pour préserver l'intégrité génétique et les caractéristiques uniques de l'*A. m. sahariensis* et l'*A. m. intermissa*, deux sous-espèces d'abeilles algériennes face à l'hybridation croissante et aux influences environnementales.

Chapitre II –

Enquête sur les pratiques et défis de l'apiculture en Algérie

3 Chapitre II – Enquête sur les pratiques et défis de l'apiculture en Algérie

3.1 INTRODUCTION

L'apiculture joue un rôle crucial dans le maintien de l'équilibre délicat. De nombreux écosystèmes, en plus de fournir des produits de haute qualité tels que le miel, la cire, la propolis et la gelée royale. En Algérie, ce secteur représente une source de revenus non négligeable pour les populations rurales. Cependant, la situation sanitaire de l'industrie apicole algérienne reste peu documentée. Cette étude vise à combler cette lacune en procédant à une enquête nationale sur les pratiques apicoles et les défis sanitaires auxquels elles sont confrontées.

Les abeilles, en tant que pollinisateurs, sont des indicateurs précieux de la santé des écosystèmes. Les abeilles cherchent des plantes mellifères non seulement dans les forêts, les prairies, la végétation rudérale et marécageuse, mais aussi dans les agro-phytes (Bakour et al., 2021). Leur surveillance permet donc de mieux comprendre les impacts des pratiques agricoles sur l'environnement.

Les résultats de cette étude permettront d'élaborer des stratégies adaptées pour soutenir le développement durable de l'apiculture en Algérie. L'objectif de cette enquête nationale est donc d'analyser la situation sanitaire et les pratiques apicoles en Algérie, en se basant sur un échantillon représentatif d'exploitations apicoles réparties sur l'ensemble du territoire national.

Au fur et à mesure que nous approfondissons les résultats, cette étude met en lumière les obstacles qui ont entravé le développement de l'apiculture en Algérie ces dernières années, y compris des facteurs tels que la sécheresse, les taux de mortalité élevés et la prévalence des pathologies. L'impact cumulatif de la pandémie de COVID-19 sur les rendements des apiculteurs est également exploré, révélant une baisse inquiétante de la production de miel au cours des deux dernières années. Au milieu de ces défis, des aspects positifs émergent, mettant en vedette des apiculteurs pratiquant des méthodes efficaces telles que le renouvellement de la reine, la sélection stratégique des ruchers et la mise en œuvre de la transhumance. De plus, le dépistage régulier de la varroase dans les colonies d'abeilles

domestiques reflète une approche proactive de la gestion de la maladie.

Cette étude souligne la nécessité urgente d'un programme national visant à valoriser et promouvoir les pratiques apicoles durables en Algérie. Cette étude souligne non seulement les obstacles auxquels sont confrontés les apiculteurs algériens, mais souligne également le potentiel de changement positif. Il souligne le rôle crucial des associations apicoles dans les initiatives sur le terrain, plaidant pour l'organisation du secteur apicole et l'amélioration globale de la situation actuelle. Les sections suivantes approfondiront les résultats détaillés de l'enquête, offrant une compréhension nuancée de la dynamique qui façonne l'apiculture en Algérie et présentant des informations précieuses pour la durabilité et la résilience futures face à l'évolution des défis environnementaux.

3.2 MATERIALS ET METHODES

3.2.1 Conception de l'Enquête

Le questionnaire comportait des éléments pour assurer l'anonymat et répondait aux préoccupations en matière de protection de la vie privée. La première partie était consacrée à la démographie des apiculteurs et à leurs pratiques, suivie de questions sur les perceptions des apiculteurs quant aux caractéristiques et au comportement des abeilles mellifères et sur le rendement en miel. Dans la dernière partie, les connaissances des apiculteurs sur les agents pathogènes prédominants et les mesures de lutte correspondantes ont été examinées. En raison de certains points sans réponse, il y avait différentes réponses aux questions individuelles.

3.2.2 Étude de la zone et caractérisation climatique

Les conditions climatiques de l'Algérie sont très variables, influencées par ses caractéristiques géographiques et ses zones climatiques régionales. Le pays passe d'un climat méditerranéen humide au nord à des conditions arides au sud, avec des modèles saisonniers distincts et une répartition des précipitations (Zerouali et al., 2022). Le nord-est de l'Algérie présente une grande variabilité spatio-temporelle des précipitations, avec un climat humide au nord et aride plus au sud. Les régimes pluviométriques sont influencés par des fluctuations périodiques, avec des sécheresses importantes notées à la fin du XXe siècle (Ghorbani et al., 2021; Zerouali et al., 2022). Les modèles climatiques prévoient une expansion des conditions désertiques au détriment

des zones tempérées d'ici la fin du 21^{ème} siècle, exacerbée par l'augmentation des températures et la réduction des précipitations (Zeroual et al., 2020; Zerouali et al., 2022).

Trois cartes de l'Algérie, illustrant la répartition des emplacements apicoles par rapport à l'indice d'aridité de 2000 à 2021. L'indice d'aridité classe le climat en cinq catégories : humide, sec sous-humide, semi-aride, aride et hyper-aride. Les cartes donnent une vue d'ensemble de la façon dont ces conditions climatiques varient à travers le pays et où se trouvent les ruchers dans ces zones. La concentration des ruchers dans les régions du nord suggère que les activités d'apiculture sont plus possibles et productives dans les zones avec des conditions climatiques plus favorables (zones humides, subhumides sèches et semi-arides) (**Fig.11**).

3.2.3 Collecte des Données

L'étude a été menée en 2021 (d'avril à septembre). Les données ont été recueillies au moyen d'un questionnaire formel préparé en anglais, en français et en arabe par l'intermédiaire de Google Forms. Ce questionnaire a été conçu pour recueillir des données complètes sur les pratiques apicoles, les défis et la répartition des ruchers en Algérie. Pour apporter plus de clarté et soutenir la phase d'inclusion, nous avons collaboré avec les associations locales de communautés et d'apiculteurs. Nous avons ensuite testé le questionnaire développé avec des apiculteurs pour améliorer et finaliser la conception de l'instrument de recherche.

Le questionnaire a été préparé de manière indépendante par les auteurs algériens en collaboration avec des membres du consortium MEDIBEES, qui ont fourni des contributions sur des sections spécifiques. Le questionnaire élaboré comprenait 15 questions ouvertes et fermées qui traitaient des sujets suivants : 1) renseignements généraux sur les apiculteurs (p. ex., âge, genre, niveau d'études, nombre de colonies, etc.) et leurs pratiques (p. ex., stratégies apicoles (stationnaires ou migratoires), rendement du miel, alimentation, gestion de la santé, etc.), suivi de questions sur les perceptions des apiculteurs quant aux caractéristiques et au comportement des abeilles et sur le rendement du miel. Dans la dernière partie, on a examiné les connaissances des apiculteurs sur les agents pathogènes prédominants et les mesures de lutte correspondantes. En raison de certains points non résolus, les réponses aux questions individuelles ont été différentes.

L'enquête a été distribuée par courriel à toutes les associations d'apiculteurs et aux apiculteurs en Algérie. En outre, 15 visites aux apiculteurs ont été effectuées pour maximiser le taux de réponse et des données ont également été recueillies par observation personnelle à chaque visite pendant

la période d'étude. Au total, 200 questionnaires ont été recueillis et analysés. Le questionnaire comportait des éléments pour assurer l'anonymat et répondre aux préoccupations en matière de protection de la vie privée, et l'utilisation de toute l'information était anonyme, et toutes les données étaient confidentielles. Les répondants étaient des apiculteurs ayant des ruchers dans 19 différentes wilayas à travers l'Algérie (**Fig.10**). Cette vaste couverture géographique met en évidence la nature répandue de l'apiculture dans le pays.

3.2.4 SWOT analysis

L'analyse SWOT est un outil de planification stratégique utilisé pour tirer parti des forces, corriger les faiblesses, tirer profit des occasions et atténuer les menaces dans divers domaines (Boudalia et al., 2020; Igliński et al., 2016). Dans cette étude, les apiculteurs ont rempli une matrice SWOT pour recueillir leurs points de vue sur les facteurs positifs et négatifs qui influent sur le secteur. Cette évaluation vise à cerner les aspects qui peuvent renforcer ou affaiblir la résilience des exploitations apicoles face aux diverses menaces (Novelli et al., 2021). La méthodologie SWOT a été appliquée pour analyser les données relatives aux pratiques apicoles qui influencent la production de miel en Algérie. L'analyse visait à identifier les facteurs internes qui influent sur l'apiculture, y compris les forces et les faiblesses façonnées par l'environnement interne, ainsi que les facteurs externes, tels que les opportunités et les menaces, influencés par l'environnement externe. Cette approche globale permet de mieux comprendre la dynamique qui affecte le secteur apicole et aide à orienter les décisions stratégiques pour améliorer la production de miel.

3.2.5 Analyses des Données

Les caractéristiques démographiques des apiculteurs, y compris l'âge, le sexe et le niveau d'éducation, ont été résumées à l'aide de fréquences et de pourcentages pour les variables catégorielles, de moyennes et d'écart-types pour les variables numériques. Plusieurs tests d'indépendance en chi-carré ont été réalisés pour évaluer les associations entre des variables catégorielles telles que les pratiques d'élevage de la reine (stationnaire vs. migratoire) et les stratégies d'apiculture (stationnaire vs. migratoire), le comportement régional et apicole, les sous-espèces et la perception des menaces. Par la suite, des tests de qualité de l'ajustement ont été

appliqués pour examiner la distribution des niveaux catégoriels dans d'autres niveaux catégoriels. Analyse de la correspondance multiple (MCA) a été effectuée en utilisant le package FactoMineR, pour explorer la relation entre la région et le niveau d'adaptation et de résistance aux différents facteurs tels que varroa, sécheresse et chaleur.

Deux modèles linéaires généralisés (MGL) ont été réalisés avec une fonction de lien logistique pour évaluer : (1) la relation entre le nombre de colonies et la probabilité d'adopter des pratiques migratoires par rapport aux pratiques imbriquées, (2) l'effet du niveau d'éducation et du nombre de colonies sur la probabilité qu'un apiculteur se flétrisse est susceptible d'élever automatiquement une reine. Une analyse factorielle multiple (AMF) a été réalisée pour analyser la typologie de l'apiculture, incluant ainsi des variables catégorielles et numériques. Les variables incluses étaient les pratiques d'élevage de la reine (que les apiculteurs pratiquent ou non l'élevage de la reine), la fréquence de l'élevage de la reine (combien de fois par an est-il élevé le miel), le rendement moyen du miel, la mobilité (si les pratiques d'apiculture sont stationnaires ou migratoires), les niveaux d'éducation (variables catégorielles) et le dénombrement des colonies (variable numérique). Après l'AEM, on a effectué une analyse hiérarchique des grappes (AHC) pour identifier les groupes d'apiculteurs en fonction de leurs pratiques et caractéristiques.

3.2.6 Analyse statistique

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel R version 4.3.3. Des différences statistiquement significatives entre les moyennes ont été comparées au niveau de signification de 5 % à l'aide du test de Duncan.

Package ("FactoMineR"), Multiple Factor Analysis (MFA) : Utilisé pour identifier les relations entre les pratiques d'apiculture, les caractéristiques des apiculteurs et les traits des abeilles.

Le module statistique pour le modèle linéaire généralisé (MGL) : Appliqué pour analyser l'impact des facteurs externes sur le nombre de colonies d'abeilles et la probabilité de pratiques d'élevage de reines.

Un examen de la répartition apicole a révélé une concentration prononcée dans la région nord de l'Algérie (Fig. 10). Les résultats de l'enquête ont mis en évidence une nette ségrégation des pratiques apicoles, avec une préférence marquée pour les zones relativement peu développées dans la région du nord. Ce schéma spatial suggère que les activités d'apiculture prospèrent dans des environnements moins urbanisés, probablement en raison de conditions naturelles favorables ou de la disponibilité des terres.

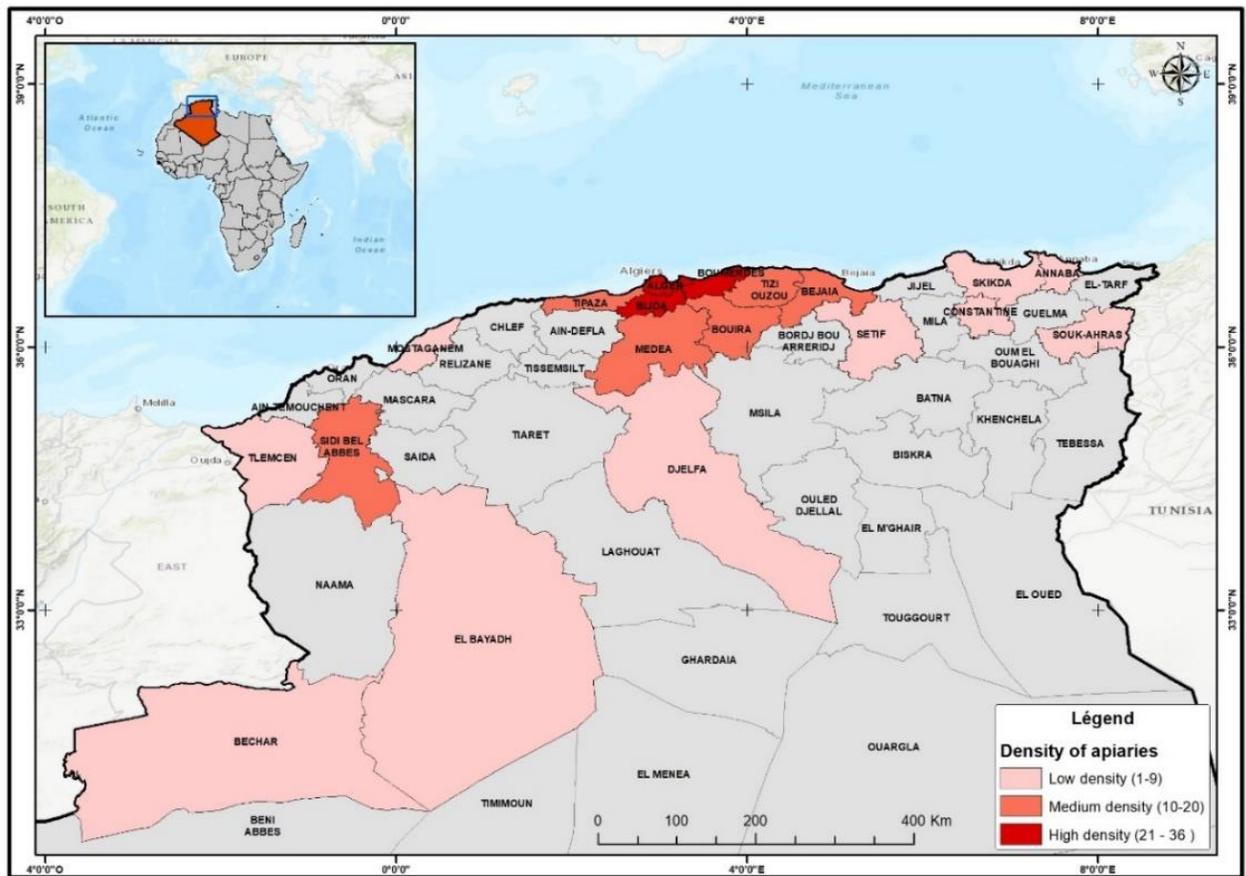


Figure.10 Répartition des emplacements des ruchers de répondants.

La figure 11, est composée de trois cartes de l'Algérie, illustrant la distribution des emplacements apicoles par rapport à l'indice d'aridité de 2000 à 2021. L'indice d'aridité classe le climat en cinq catégories : humide, sec sous-humide, semi-aride, aride et hyper-aride. Les cartes donnent une vue d'ensemble de la façon dont ces conditions climatiques varient à travers le pays et où se trouvent les ruchers dans ces zones. La concentration des ruchers dans les régions du nord suggère que les activités d'apiculture sont plus possibles et productives dans les zones avec des

conditions climatiques plus favorables (zones humides, subhumides sèches et semi-arides).

Ruchers épars dans les régions arides et hyper-Zones arides : La rareté des ruchers dans les régions centrales et méridionales de l'Algérie indique les conditions difficiles pour l'apiculture dans ces régions en raison de l'extrême aridité et du manque de végétation

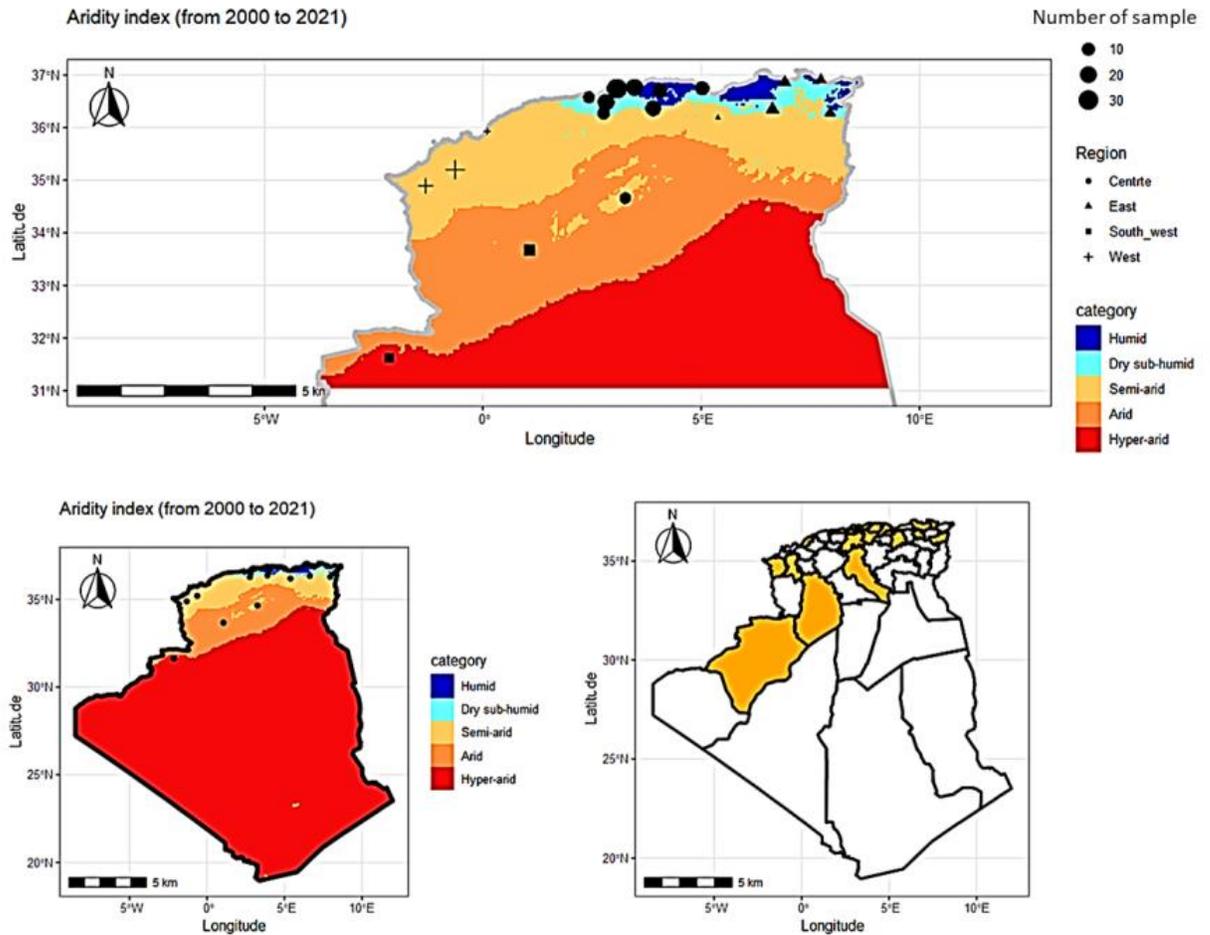


Figure.11 Répartition des emplacements de ruchers avec l'indice d'aridité.

3.3 RESULTS ET DISCUSSION

Cette étude fournit une analyse complète des pratiques apicoles et des défis en Algérie, offrant des informations précieuses sur les caractéristiques démographiques des apiculteurs, leurs méthodes de travail et les principaux obstacles qu'ils rencontrent. Les résultats mettent en lumière plusieurs principes clés et relations qui peuvent orienter les stratégies futures

pour améliorer la durabilité et la productivité du secteur apicole en Algérie.

3.3.1 sociodémographique

L'analyse des groupes d'âge des apiculteurs révèle que le groupe le plus représenté est celui des 31-40 ans, ce qui pourrait suggérer un déclin de l'intérêt pour l'apiculture parmi les jeunes adultes, reflétant une désaffection plus large pour le secteur agricole (Henning et al., 2022). Engager les jeunes générations dans l'apiculture est essentiel pour assurer la viabilité économique à long terme du secteur. En termes d'éducation, 35 % des apiculteurs ont un niveau d'enseignement supérieur et 39 % ont terminé le secondaire. L'éducation joue un rôle crucial dans l'adoption de meilleures pratiques apicoles. Les résultats montrent que les apiculteurs ayant un niveau d'éducation universitaire sont plus susceptibles de pratiquer l'élevage de reines, un indicateur de leur maîtrise des techniques avancées d'apiculture (Essayah et al., 2019).

L'apiculture est complexe et nécessite des compétences diverses en matière de durabilité écologique, économique, culturelle et sociale (Fedoriak et al., 2021). Les apiculteurs jouent un rôle essentiel dans la sauvegarde de l'espèce et, pour les aider à le faire, ils disposent désormais de solutions moins invasives pour surveiller et prédire la santé des ruches (Magnier et al., 2022). Sur la base des répondants interrogés dans (**Fig. 12A**), cette étude a indiqué que la participation des femmes adultes dans le secteur de l'apiculture algérien est très faible (3%). Le taux de chômage des jeunes est comparable à celui des hommes adultes (97 %). Nos résultats montrant la prédominance masculine de la vocation apicole s'accordent avec plusieurs autres études sur le continent africain, avec des pourcentages de 14 % au Rwanda et 6,7 % en Éthiopie. Le nombre très limité de femmes apicultrices dans les zones d'étude pourrait être dû au fait que l'apiculture est considérée comme un travail masculin (Bihonegn & Begna, 2021; Mushonga et al., 2019). Dans une étude récente de Farrugia et al. (2022) sur les activités d'apiculture (8,3%) des femmes maltaises adultes et une autre étude de Guiné et al. (2021), les femmes étaient également sous-représentées, Le pourcentage de femmes est le plus élevé en Italie (37,5%) et celui de femmes en Espagne le plus faible (10%).

Les résultats de cette étude (**Fig.12B**) ont montré que 38 % du groupe d'âge le plus représentatif appartient au groupe d'âge 31-40 ans, et le moins représentatif est le groupe d'âge 61-70 ans avec seulement 4% (n = 7), suivi de 41 à 50 avec des réponses (13 %). Cela suggère un intérêt diminué pour l'apiculture chez les jeunes adultes, reflétant un désintérêt plus large dans le

secteur agricole en général. Des efforts devraient être entrepris pour attirer et engager plus de jeunes dans ces secteurs, en vue d'améliorer leur viabilité économique à long terme (Farrugia et al., 2022). Le niveau d'éducation des apiculteurs joue un rôle crucial dans l'identification et la spécification des services de développement et de vulgarisation nécessaires pour la région (Alemu et al., 2015). En termes d'éducation, 35 % avaient un niveau d'études supérieures et 39 % avaient achevé l'enseignement secondaire (**fig. 12C**). Par conséquent, selon cette étude, un niveau d'éducation plus élevé a eu un impact notable sur l'adoption réussie de pratiques améliorées d'apiculture.

3.3.2 Caractérisation des ruchers

La plupart des ruchers n'ont qu'une seule sous-espèce de l'abeille dans leur rucher; la majorité des apiculteurs, 95% (n = 190), ont des abeilles telliennes, ou *Apis mellifera intermissa*, et ont signalé qu'ils gardaient la sous-espèce indigène *A. m. intermissa* comme principale abeille. Ce groupe était suivi par 5% qui gardaient des abeilles sahariennes, *Apis mellifera sahariensis*. 73% (n = 146) des apiculteurs ont indiqué que les abeilles locales sont en danger, et 27% (n = 53) des apiculteurs ne considèrent pas les abeilles locales comme étant en danger.

Les pratiques apicoles en Algérie suivent principalement un modèle à petite échelle, comme le montre la figure **12(A)**. Les données disponibles montrent que seulement 26,5% des apiculteurs (n=53) gèrent des colonies d'abeilles avec un nombre compris entre 50 et 100. En revanche, avec 23,5 % des apiculteurs (n=47) gérant moins de 50 colonies et moins de 5 % des apiculteurs (n=10) gérant plus de 300 colonies, cette pratique est peu susceptible de changer, compte tenu des limitations importantes en matière de végétation, de changement climatique, etc.. L'approche temporelle est adoptée par la majorité des apiculteurs dans leurs pratiques apicoles. Selon les informations recueillies auprès de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), le nombre de ruches en Afrique du Nord a connu une tendance à la hausse depuis 2000. En 2018, la Tunisie et l'Algérie ont atteint leur pic avec respectivement 700000 et 400000 ruches. La Libye, en revanche, a le plus faible nombre de ruches, soit 36000 en 2000 et 37500 en 2018. L'Égypte a connu un déclin de 1,4 million de ruches en 2000 à 800000 en 2018, tandis que le nombre de ruches au Maroc est passé de 600000 en 2000 à près de 400000 en 2018 (*Data Source: Wwww.Fao.Org/Faostat, 2018*).

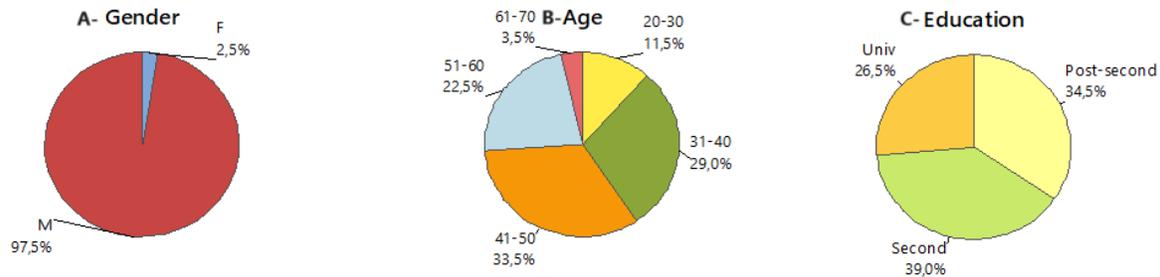


Figure.12 Données démographiques des répondants à l'enquête, diagramme circulaire illustrant la caractérisation des répondants par (A) sexe, (B) tranche d'âge et (C) niveau de scolarité.

Répartition du Nombre de Colonies en Fonction du Sexe des Répondants (**Fig.13B**) : Ce graphique montre la distribution du nombre de colonies gérées par les répondants selon leur sexe. On observe que les répondants masculins gèrent un nombre plus élevé de colonies, en particulier dans les catégories de 50-100 et 100-200 colonies. Les répondants féminins sont peu nombreux et gèrent principalement moins de 50 colonies. Cette répartition indique une prédominance masculine dans la gestion de colonies apicoles à grande échelle.

Répartition du Nombre de Colonies en Fonction de la Tranche d'Âge des Répondants (**Fig.13C**) : Ce graphique illustre la distribution du nombre de colonies gérées par les répondants en fonction de leur tranche d'âge. Il apparaît que les répondants âgés de 31 à 40 ans gèrent le plus grand nombre de colonies, suivis par ceux âgés de 41 à 50 ans. Les tranches d'âge les plus jeunes (20-30 ans) et les plus âgées (61-70 ans) gèrent relativement moins de colonies. Cette tendance suggère que les apiculteurs d'âge moyen sont plus impliqués dans la gestion d'un plus grand nombre de colonies.

Répartition du Nombre de Colonies en Fonction du Niveau de Scolarité des Répondants (**Fig.13D**) : Ce graphique représente la distribution du nombre de colonies gérées par les répondants selon leur niveau de scolarité. On remarque que les répondants ayant un niveau de scolarité intermédiaire (50-100 colonies) et élevé (100-200 colonies) gèrent un plus grand nombre de colonies par rapport à ceux ayant un niveau de scolarité inférieur (<50 colonies). Cela pourrait indiquer que l'éducation joue un rôle dans la capacité à gérer un plus grand nombre de colonies, peut-être en raison de l'accès à de meilleures pratiques de gestion et connaissances apicoles.

Ces analyses permettent de mieux comprendre les caractéristiques démographiques et éducatives des apiculteurs en relation avec la gestion de colonies apicoles en Algérie.

3.3.3 Caractérisation de l'abeille locale Tellian *A. m. intermissa*

Étant donné que la plupart des apiculteurs élèvent l'abeille tellienne, seuls les résultats de la caractérisation de cette sous-espèce sont rapportés, car les résultats pour l'abeille saharienne ne sont pas très représentatifs. Les apiculteurs ont été invités à évaluer neuf caractéristiques avec une note entre 1 et 5 (1 étant faible et 5 étant fort) (**Fig.13**). Il a été constaté que l'ensemble des réponses des apiculteurs a abouti à trois notes (la note 1 signifie très faible, la note 3 signifie moyenne et la note 5 signifie très forte). L'abeille tellienne a principalement obtenu une note de 5 (très forte) pour cinq caractéristiques (tendance à l'essaimage, tolérance à la chaleur, production de miel, résistance à la sécheresse et adaptation à l'environnement local). Elle a été notée pour son adaptation à l'environnement local, ce qui correspond à un score de 3 (intermédiaire ou moyen) pour la tolérance au varroa destructor. En ce qui concerne la douceur, l'abeille *Apis mellifera intermissa* a été principalement classée comme 1 (faible), étant connue pour son agressivité. Les résultats sont en accord avec les caractéristiques déjà connues de *A. m. intermissa* et montrent que bien qu'elle n'ait pas une classification très élevée pour de nombreuses caractéristiques apicoles, elle est considérée comme bien adaptée aux conditions environnementales en Algérie.

Comme la majorité des apiculteurs entretiennent l'abeille tellienne, seuls les résultats de caractérisation pour cette sous-espèce seront rapportés, car les résultats pour l'abeille saharienne ne sont pas très représentatifs. La principale sous-espèce identifiée en Afrique du Nord est l'*Apis mellifera intermissa*, souvent connue sous le nom d'abeille "tellienne" ou "punique" (Rinderer, 2013).

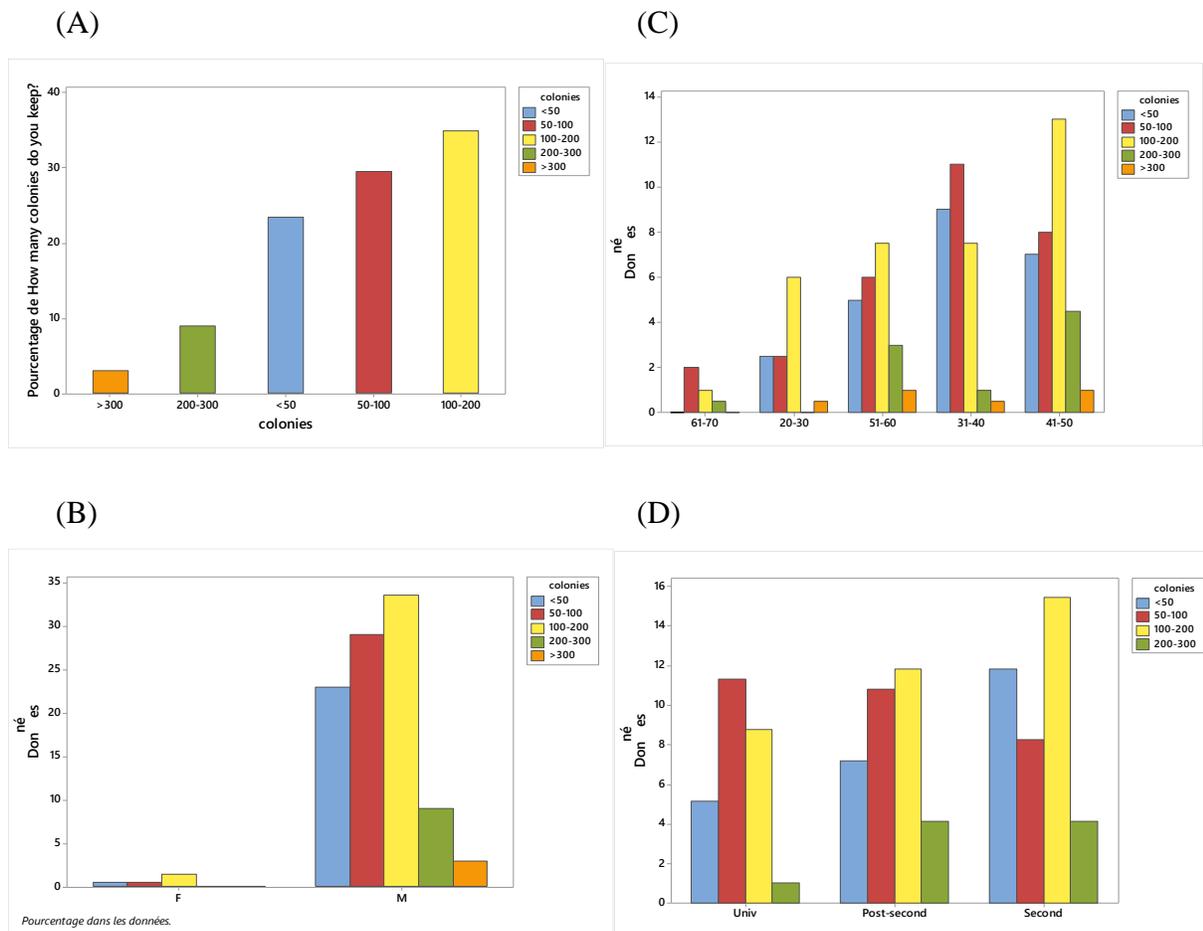


Figure.13 Répartition du Nombre de Colonies par Répondants(A) en Fonction (B) sexe, (C) tranche d'âge et (D) niveau de scolarité.

Un nombre significatif de répondants ont fourni des informations sur la pratique de l'échange de reines. La tendance dominante montre que la période la plus courante pour le remplacement des reines est tous les trois ans, représentant 43% des réponses, tandis que 25% ont rapporté remplacer les reines tous les deux ans. Il est intéressant de noter qu'une majorité de répondants (69%) ne participent pas à l'élevage de reines. Il est à noter que cette découverte présente une certaine incohérence avec le résultat obtenu dans le point précédent. Cette divergence suggère que bien que de nombreux apiculteurs adhèrent à un calendrier spécifique de remplacement des reines, une proportion significative ne participe pas activement au processus réel d'élevage de reines, créant une dynamique intéressante au sein des pratiques apicoles de la population sondée. La pratique du remplacement des reines dans les ruchers est un signe de l'engagement des

apiculteurs à maintenir la santé et la productivité de leurs colonies. La recherche scientifique a montré que les reines de mauvaise qualité représentent un problème de gestion important car elles peuvent entraîner une réduction de la production de miel, une susceptibilité accrue aux maladies et un déclin global des colonies d'abeilles (Bieńkowska et al., 2020; Gray et al., 2023; Tarpay et al., 2020).

Une étude récente a révélé que la composition génétique des abeilles mellifères algériennes est façonnée par la géographie plutôt que par les sous-espèces, avec des différences de population claires entre les régions occidentales et orientales (Salvatore et al., 2023). *A. m. intermissa* se trouve en Afrique du Nord et s'étend sur le Maroc, l'Algérie et la Tunisie (Buttel-Reepen, 1906b) et se caractérise par sa petite taille, sa couleur sombre et son comportement défensif agressif (Ruttner et al., 1978). Notamment, les réponses des apiculteurs comprenaient trois notes principales : 1 (indiquant un niveau très faible), 3 (représentant un niveau moyen) et 5 (indiquant un niveau très fort). En particulier, l'abeille tellienne a principalement reçu une note de 5 (très forte) pour cinq traits différents, y compris les tendances liées au comportement d'essaimage, à la tolérance à la chaleur, à la production de miel, à la résistance à la sécheresse et à l'adaptation à l'environnement local. Plus précisément, elle a reçu un score de 3 (intermédiaire ou moyen) pour la tolérance au varroa destructor, démontrant une réponse équilibrée à cet aspect. En termes de douceur, *l'Apis mellifera intermissa* a été principalement classée comme 1 (faible), indiquant une tendance à l'agressivité. Ces résultats sont cohérents avec les caractéristiques connues de *A. m. intermissa*, soulignant son adaptation remarquable aux conditions environnementales prévalant en Algérie. Les abeilles locales se sont adaptées à leur environnement spécifique sur de nombreuses générations et ont développé des caractéristiques uniques qui leur permettent de prospérer dans leur climat local et de se nourrir de la flore locale (Alaux et al., 2019; Everitt et al., 2023; Wallberg et al., 2017). Bien que l'abeille tellienne ne reçoive pas des notes exceptionnellement élevées pour toutes les caractéristiques apicoles, son adaptation remarquable à l'environnement local reste une qualité notable. Ces caractéristiques spéciales contribuent ensemble au profil unique de *l'Apis mellifera intermissa* dans le domaine des espèces d'abeilles (Bendjedid & Achou, 2014). Dans le cadre de cette recherche, la sous-espèce indigène *A. m. intermissa* a reçu les scores les plus élevés dans divers paramètres, notamment en termes d'adaptation à l'environnement local. Cela est en accord avec les données établies indiquant que

les sous-espèces indigènes présentent un niveau d'adaptation plus élevé aux conditions locales par rapport aux sous-espèces étrangères introduites (Büchler et al., 2020; Hatjina et al., 2014).

Cette figure 14 est un biplot d'analyse de correspondance (analyse de co-inertie) visualisant les relations entre la production de miel, les pratiques apicoles (fréquence de remplacement des reines et comportement migratoire), et les facteurs de l'exploitation (niveau d'éducation de l'apiculteur et localisation des ruches). Le biplot affiche deux composantes principales expliquant un total de 19,98 % de la variation (Dim1 : 10,43 % et Dim2 : 9,55 %). Sur le côté gauche du biplot, les facteurs de l'exploitation sont représentés par des points. Les apiculteurs ayant un niveau d'éducation plus élevé (Université) tendent à être situés du côté positif de Dim1, tandis que ceux ayant un niveau d'éducation plus faible (0-3 ans) se trouvent du côté négatif. Sur le côté droit du biplot, la production de miel et les pratiques apicoles sont représentées par des points. Les rendements de miel plus élevés (11-15 kg) sont associés à l'apiculture migratoire du côté positif de Dim1. Les rendements de miel plus faibles (0-5 kg) sont associés à l'apiculture stationnaire du côté négatif de Dim1. Les exploitations apicoles avec un remplacement des reines plus fréquent (2-3 fois par an) se situent du côté positif de Dim2, tandis que celles avec un remplacement des reines moins fréquent (0-1 fois par an) sont du côté négatif de Dim2. Le centre du biplot représente les valeurs moyennes pour toutes les variables. Les points plus proches les uns des autres tendent à être plus corrélés. Par exemple, en bas à droite, les exploitations avec un niveau d'éducation plus faible et une production de miel plus faible tendent à être corrélées avec l'apiculture stationnaire et un remplacement des reines moins fréquent.

L'analyse multifactorielle suggère que la production de miel et les pratiques apicoles sont influencées par une interaction

Un autre constat majeur est la prédominance des pratiques apicoles stationnaires (69,5 %) par rapport aux pratiques migratoires (30,5 %). Cela pourrait s'expliquer par une dépendance aux ressources florales locales et par des contraintes géographiques ou logistiques. L'apiculture migratoire, bien que moins courante, semble associée à des rendements en miel plus élevés et à des pratiques plus fréquentes d'élevage de reines. Ces résultats sont cohérents avec les tendances mondiales où l'apiculture migratoire est souvent liée à une meilleure optimisation des ressources et à une productivité accrue.

Enfin, l'étude révèle que la majorité des apiculteurs élèvent *Apis mellifera intermissa* (95 %),

tandis qu'une petite proportion maintient *Apis mellifera sahariensis* (5 %). La faible représentation de cette dernière sous-espèce pourrait indiquer un besoin d'efforts de conservation pour préserver ses traits génétiques uniques.

Ce graphique (**Fig.14**) semble être un diagramme de co-inertie visualisant la distribution des scores pour neuf caractéristiques de l'abeille tellienne (*Apis mellifera intermissa*). Les scores varient probablement de "très faible" à "très élevé". Le biplot affiche des points pour les évaluations des caractéristiques des abeilles (à droite) et les observations des apiculteurs (à gauche). Les points plus proches les uns des autres ont tendance à être plus corrélés. Par exemple, en bas à droite, les évaluations d'une faible capacité de survie hivernale et d'une faible tolérance à la chaleur sont corrélées avec les observations d'apiculteurs ayant un niveau d'éducation plus faible.

Observations des apiculteurs : Le côté gauche du biplot représente probablement les observations des apiculteurs, catégorisées par des facteurs tels que le niveau d'éducation (0-3 ans, Université) et la localisation des ruches (Centre, Est, Sud-Ouest, Ouest).

Évaluations des caractéristiques des abeilles : Les évaluations des neuf caractéristiques des abeilles sont affichées sur le côté droit du biplot. Elles incluent la tendance à l'essaimage, la tolérance à la chaleur, la capacité de survie hivernale, la tolérance au varroa, la production de miel, la résistance à la sécheresse, la douceur et l'adaptation. Les scores pour chaque caractéristique varient probablement entre cinq catégories : très faible, faible, moyen, élevé et très élevé. La distribution de ces scores est visualisée par la position des points sur le biplot. Pour la tolérance à la chaleur, le biplot montre une répartition des scores sur toutes les catégories, certains apiculteurs rapportant une très faible tolérance (en bas à droite) et d'autres une très haute tolérance (en haut à droite). De même, pour la production de miel, la distribution montre que certains apiculteurs rapportent une très faible production de miel (en bas à droite), tandis que d'autres rapportent une production très élevée (en haut à droite).

Dans l'ensemble, le biplot offre une visualisation de la façon dont les apiculteurs de différentes régions avec des niveaux d'éducation variés tendent à évaluer les neuf caractéristiques des abeilles telliennes.

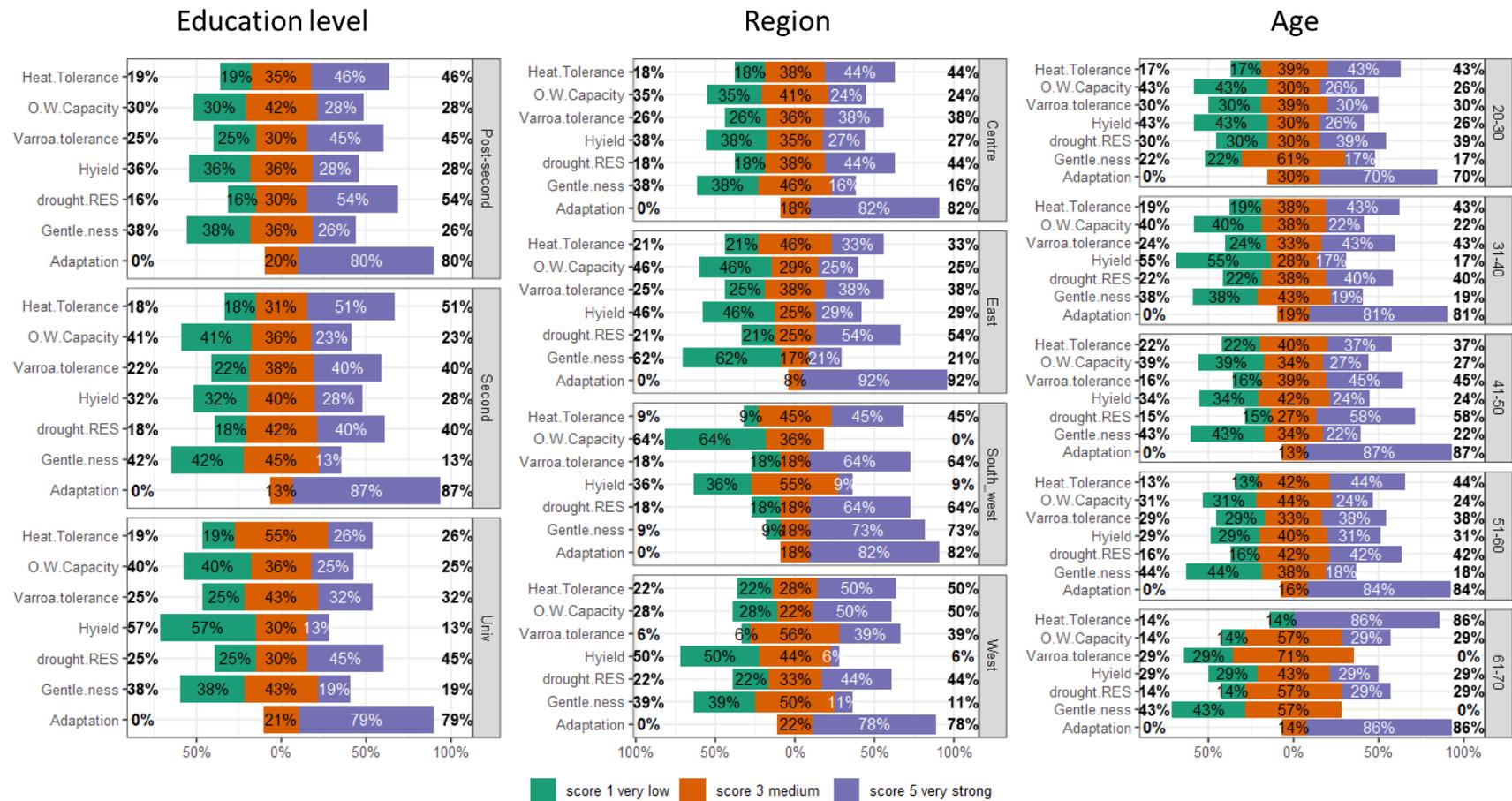


Figure.14 Distribution de la classification de l'abeille tellienne, *Apis mellifera intermissa* pour neuf caractéristiques.

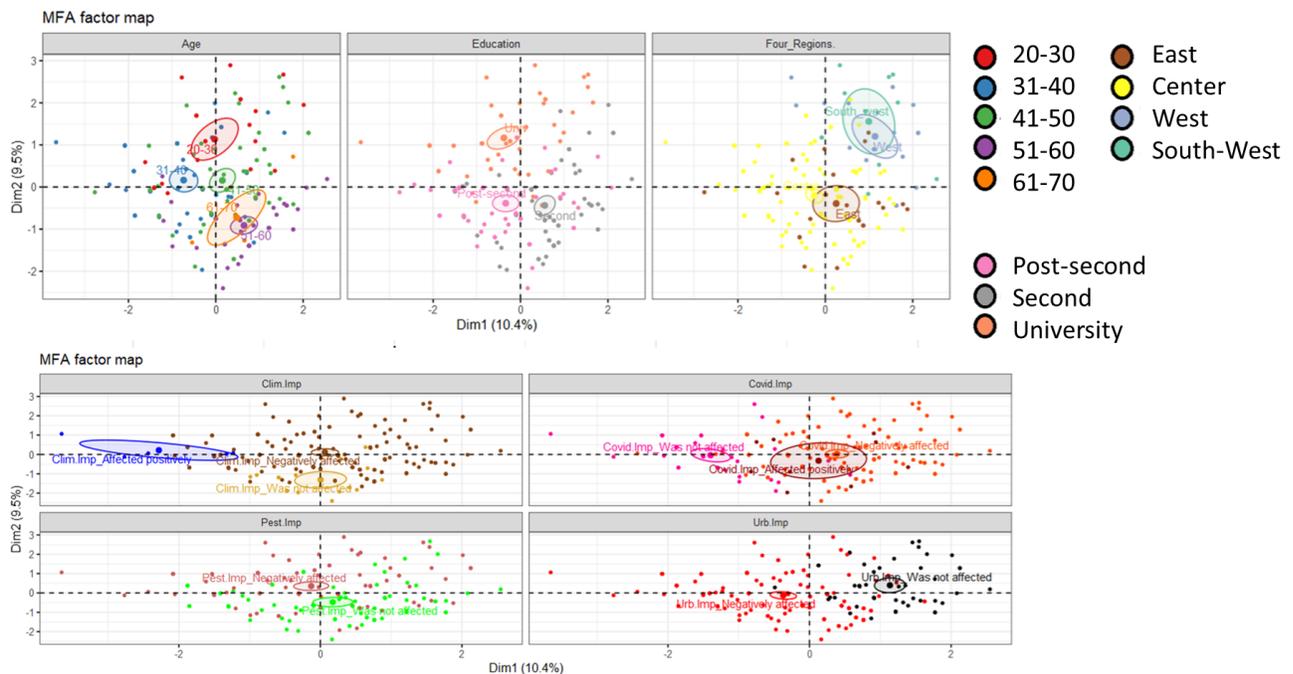


Figure.15 Analyse multifactorielle du rendement en miel, des pratiques d'apiculture et des facteurs apicoles.

Dans le Cluster 1, la caractéristique "rendement moyen de miel = 0-5 kg" était très concentrée avec 97,74 % des individus ayant ce rendement, ce qui représente 100 % du groupe ($p < 0,001$, $v.test = 14,75$). Le Cluster présente également des proportions élevées d'individus ne pratiquant pas l'élevage de reines (72,99 %, $p = 0,001$, $v.test = 3,18$) et ceux pratiquant l'apiculture stationnaire (72,46 %, $p = 0,003$, $v.test = 2,99$). Il y a une proportion notable d'apiculteurs ayant un diplôme universitaire, mais ils sont sous-représentés dans le Cluster (52,94 %, $p = 0,03$, $v.test = -2,17$). Les autres caractéristiques notables comprennent celles avec une faible représentation dans le groupe, comme les rendements de miel de 11-15 kg et 6-10 kg, tous deux avec des résultats négatifs significatifs.

Le Cluster 2 était caractérisé par une dominance de "Rendement moyen du miel = 6-10 kg" (96%, représentant 100% du Cluster, $p < 0,001$, $v.test = 13,93$). Les personnes ayant un diplôme universitaire sont légèrement surreprésentées (37,25 %, $p = 0,015$, $v.test = 2,42$). Les rendements faibles (0-5 kg) et moyens (11-15 kg) sont absents dans ce Cluster, comme l'indiquent des tests négatifs significatifs.

Le Cluster 3 est principalement constitué d'individus avec "rendement moyen de miel = 11-15 kg" (100%, formant 75% du groupe, $p < 0,001$, $v.test = 8,81$). Les apiculteurs migrants sont nettement surreprésentés (28,33 %, $p < 0,001$, $v.test = 5,26$), ainsi que ceux qui font de nouveau la queue avec une fréquence de 1 (21,88 %, $p = 0,0003$, $v.test = 3,57$). Il y a une sous-représentation significative des faibles rendements de miel (0-5 kg) et de l'apiculture stationnaire, comme le montrent les tests négatifs pour ces caractéristiques.

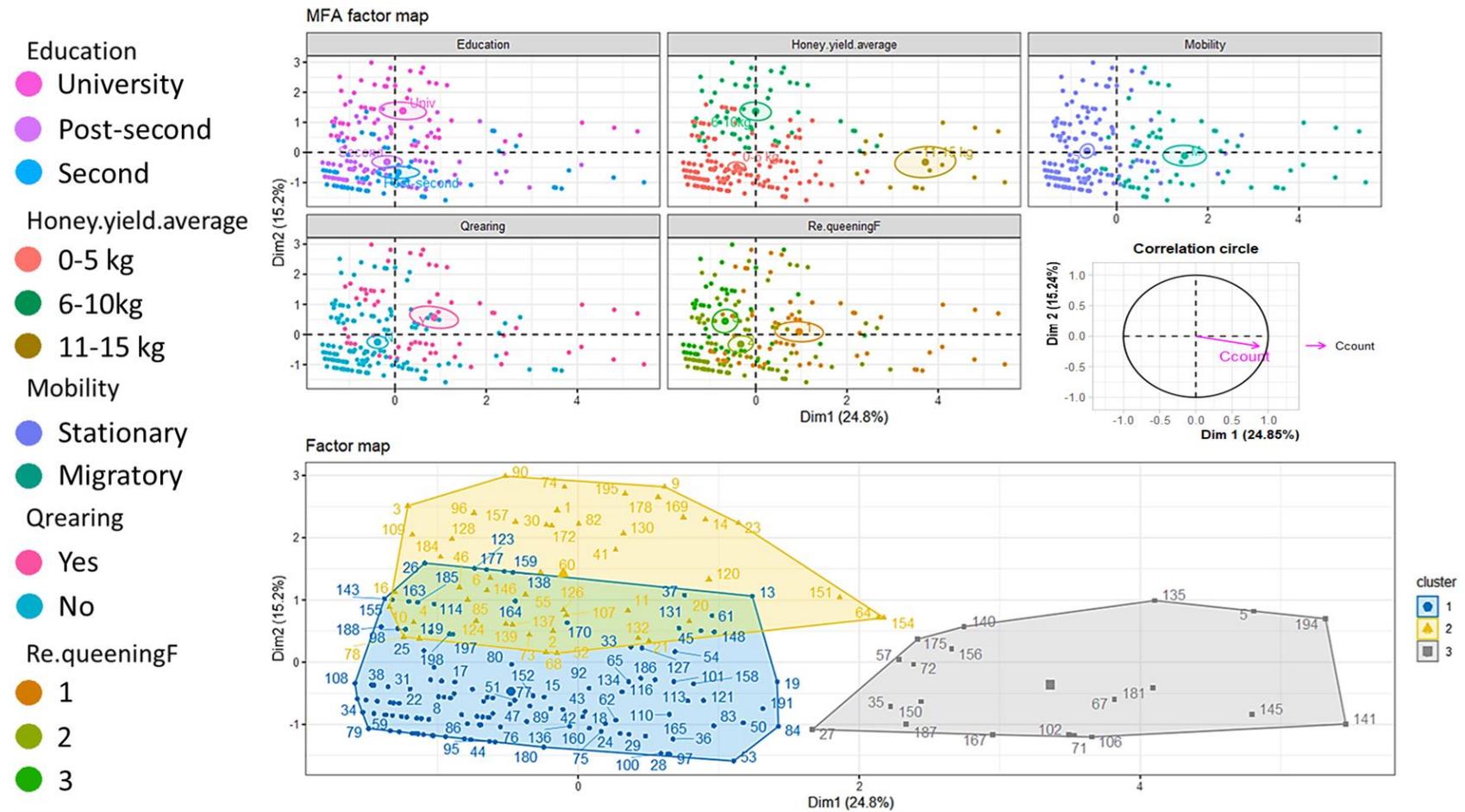


Figure.16. Multiple factor analysis (MFA) montrant la typologie de l'apiculture basée sur des variables continues et catégorielles (B) d'ordination des trois grappes obtenues à partir du Hierarchical Cluster Analysis (HCA).

Tableau 2. Caractéristiques des apiculteurs selon les Clusters

	Cluster/Level	Level / Cluster	P-value	v.test
Cluster 1				
Honey yield average=0-5 kg	97.74	100	<0.001	14.75
Queen rearing=N	72.99	76.92	0.001	3.18
Mobility=Stationary	72.46	76.92	0.003	2.99
Education=University	52.94	20.77	0.03	-2.17
Re-queening Frequency=1	51.56	25.38	0.005	-2.83
Mobility=Migratory	50	23.08	0.003	-2.99
Queen rearing=Yes	49.18	23.08	0.001	-3.18
Honey yield average =11-15 kg	0	0	<0.001	-5.51
Honey yield average =6-10kg	0	0	<0.001	-11.78
Cluster 2				
Honey yield average =6-10kg	96	100	<0.001	13.93
Education=University	37.25	39.58	0.015	2.42
Honey yield average =11-15 kg	0	0	0.013	-2.48
Honey yield average =0-5 kg	0	0	<0.001	-11.75
Cluster 3				
Honey yield average =11-15 kg	100	75	<0.001	8.81
Mobility= Migratory	28.33	85	<0.001	5.26
Re-queening Frequency =1	21.88	70	0.0003	3.57
Queen rearing =Y	19.67	60	0.005	2.79
Re-queening Frequency =3	2.04	5	0.023	-2.27
Queen rearing =N	5.84	40	0.005	-2.79
Honey yield average =0-5 kg	2.26	15	<0.001	-4.99
Mobility= Stationary	2.17	15	<0.001	-5.26

Cluster/ Le niveau indique le pourcentage de répondants présentant une caractéristique particulière au sein d'un groupe particulier ; Le niveau / Cluster indique le pourcentage de tous les participants au sein d'un groupe particulier qui présentent cette caractéristique particulière, test v. (test de la variance des proportions) mesure l'importance des différences entre les proportions observées d'une caractéristique dans différents groupes.

3.3.4 Pratiques apicoles

La majorité des répondants pense que les races locales d'abeilles sont en danger (N=147, 73,5%), et la plupart (69%) ont indiqué qu'ils ne pratiquent pas l'élevage de reines. La fréquence de remplacement des reines la plus courante était deux fois par an (N=86, 43%), suivie de ceux qui remplacent les reines une fois par an (N=65, 32,5%) et ceux qui le font également une fois par an

(N=49, 24,5%). Un pourcentage notable de 86,5% des répondants rapportent une diminution de la production de miel au cours de la dernière décennie (**Fig.17**).

L'adaptation se distingue comme la caractéristique la plus forte, avec 82 % obtenant un score très élevé. La douceur et la production de miel présentent des résultats mitigés, avec 40 % obtenant un score très faible, mais également des scores moyens significatifs à 42 % et 36 % respectivement. La tolérance à la chaleur, la tolérance au varroa et la résistance à la sécheresse affichent des scores modérés à élevés. De plus, la capacité à passer l'hiver était plus uniformément répartie (**Fig. 17**).

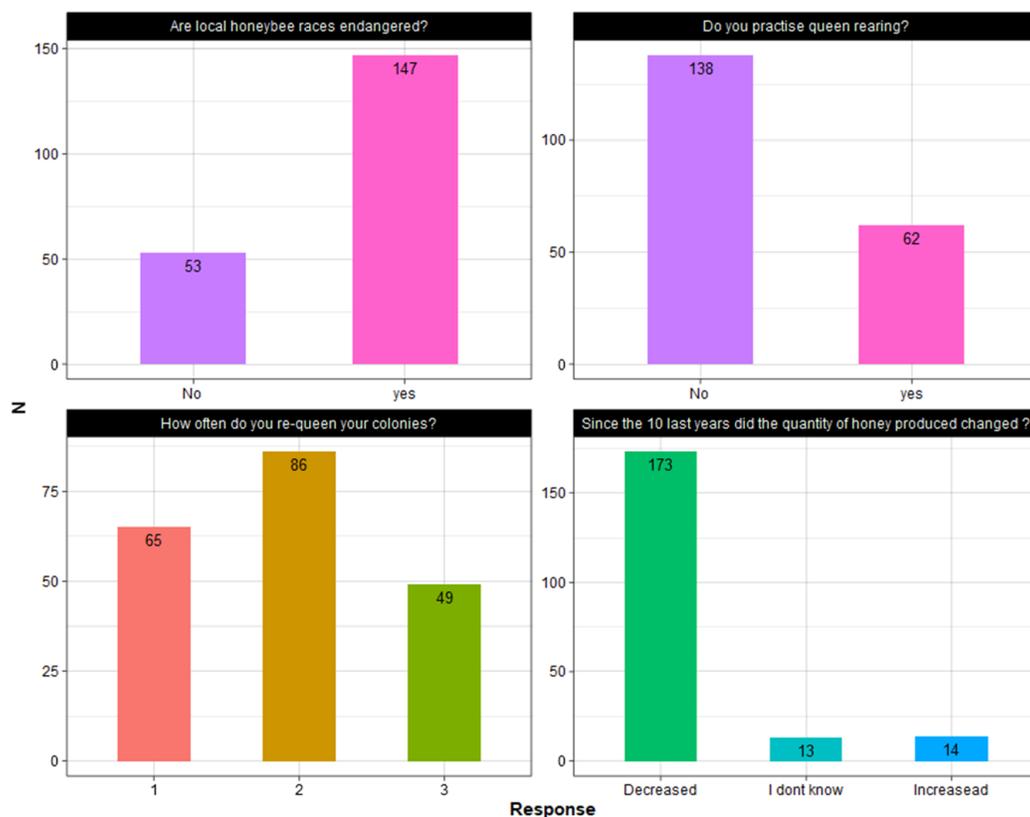


Figure.17 Aperçu des pratiques apicoles et tendances de la production de miel.

Le nombre de colonies (Odds Ratio = 1.01, Z value=3.72, P-value<0.001) et le niveau d'éducation universitaire (Odds Ratio = 2.62, Z value= 2.31, P-value= 0.02) montrent des effets positifs statistiquement significatifs sur la probabilité que les apiculteurs pratiquent l'élevage de reines (**Fig. 18A**). De plus, le nombre de colonies a un effet négatif sur la probabilité de maintenir

un rucher sédentaire (Odds Ratio = 0.97, Z value= 6.65, P < 0.001), indiquant qu'à mesure que les apiculteurs augmentent leur nombre de colonies, ils sont plus susceptibles d'adopter des pratiques apicoles migratoires (**Fig. 18B**).

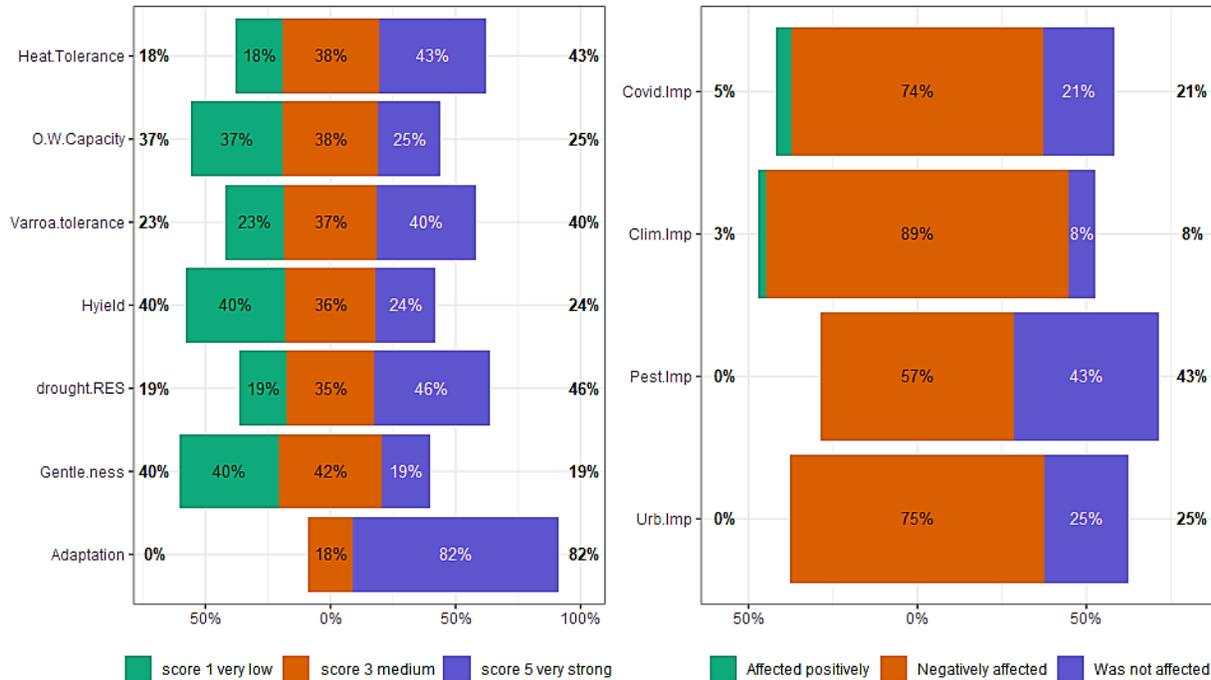


Figure.18 Diagramme en barres de la question à échelle de Likert à 3 points concernant (A) la tolérance des abeilles et leur comportement, et (B) les perceptions de menace.

Comme illustré dans la **Fig.19A**, l'élevage de reines est significativement moins répandu (test d'indépendance du chi-carré : $\chi^2 = 7,22$, P-valeur < 0,001) dans les ruchers sédentaires (25 %) par rapport aux ruchers migratoires (Transhumance) (44 %). D'après le test d'ajustement, les apiculteurs migratoires (Transhumance) montrent une distribution plus équilibrée (P-valeur = 0,37) entre ceux qui pratiquent l'élevage (44 %) et ceux qui ne le pratiquent pas (56 %), contrairement aux ruchers sédentaires, qui présentent un déséquilibre significatif (P-valeur < 0,001) avec une prédominance (77 %) d'absence d'activité d'élevage de reines. Le test du chi-carré pour l'indépendance a indiqué une association significative entre le comportement de douceur et les régions ($\chi^2 = 30,20$, P-valeur < 0,001), où 73 % des abeilles de la région sud-ouest montrent des niveaux élevés de douceur, contrairement aux régions de l'est et du centre, qui présentent respectivement des niveaux de douceur faibles et moyens (Fig.19B). De plus, une relation significative (Fig.19C) a été observée entre les sous-espèces et les perceptions des

apiculteurs concernant le statut des races locales d'abeilles, quant à savoir si elles sont menacées (test d'indépendance du chi-carré : $\chi^2 = 6,07$, P-valeur = 0,01), où *A. m. intermissa* est davantage perçue comme menacée (test d'ajustement du chi-carré : P-valeur < 0,001).

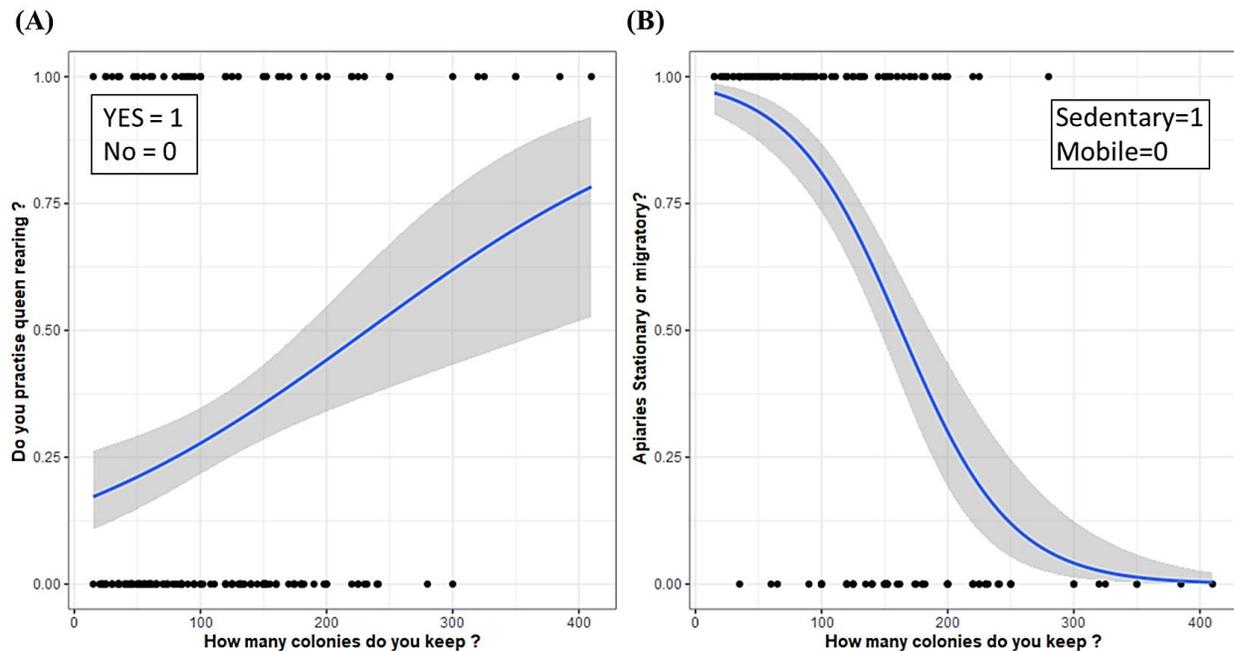


Figure.19 Modèle linéaire généralisé (MGL) illustrant les effets du nombre de colonies sur les pratiques d'apiculture : l'élevage des reines (A) et la mobilité des ruchers (Transhumance) (B).

Cependant, aucune association significative n'a été trouvée entre les régions et la perception des apiculteurs quant à savoir si les races locales d'abeilles sont en danger ou non ($\chi^2 = 7,22$, P = 0,07). De plus, les apiculteurs des régions du centre et de l'est ont affirmé que l'espèce locale est en danger à 78 % et 71 % respectivement. Le test d'ajustement du modèle a révélé une disparité notable dans la perception des apiculteurs du centre (P < 0,001) et de l'est (P = 0,04) concernant le statut en danger de l'espèce locale d'abeilles. En revanche, les régions du sud et du sud-ouest ne montraient pas de différences significatives, suggérant un équilibre entre les réponses "oui" et "non" dans ces zones. L'axe 1 explique 13,7 % de la variance, et l'axe vertical 2 explique 13,2 % de la variance, représentant ainsi 26,9 % de l'inertie totale du jeu de données. Les abeilles de la région centrale se caractérisaient par une forte tolérance à la chaleur, une résistance moyenne à la sécheresse, et une faible tolérance au varroa, en contraste avec les abeilles de l'ouest et de l'est. De plus, les abeilles du sud-ouest étaient fortement résistantes à la sécheresse et tolérantes au varroa (**Fig.20**).

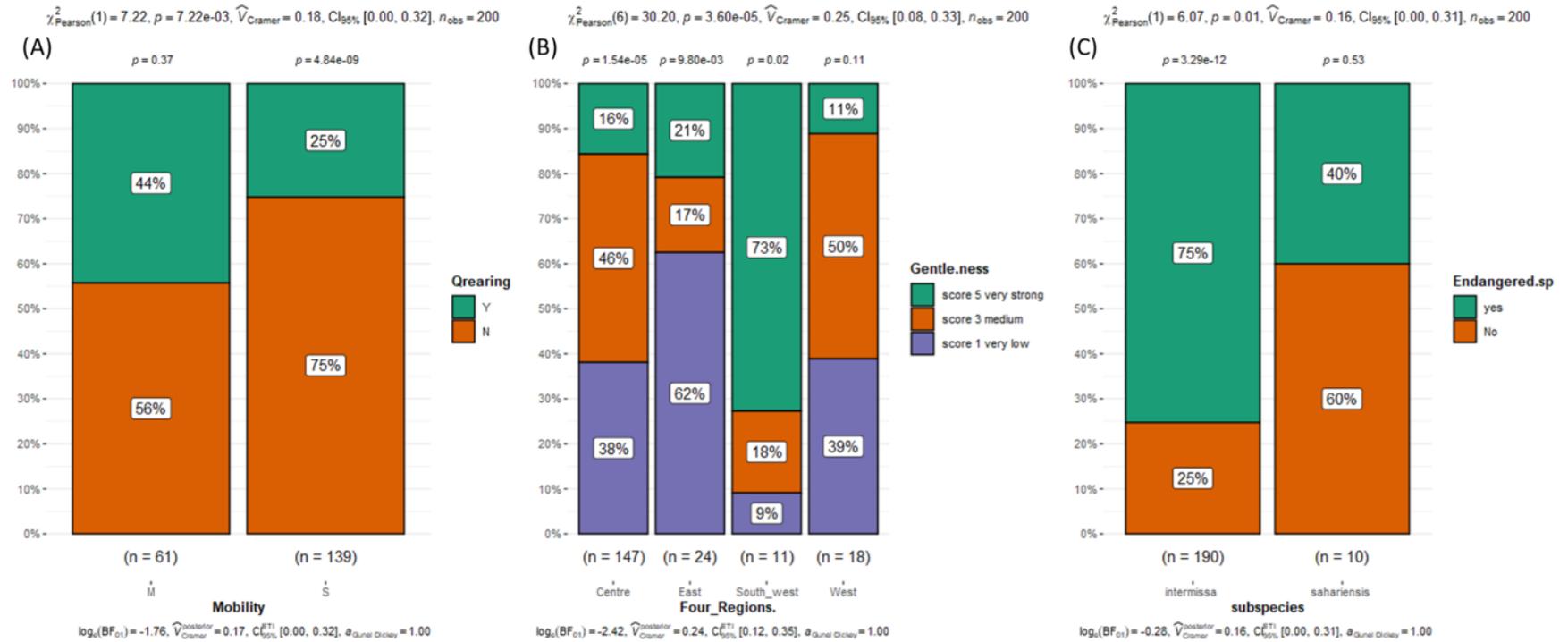


Figure.20 Diagramme en barres empilées illustrant (A) les variations régionales de la douceur des abeilles, (B) les effets du type de rucher (Sédentaire ou Migratoire) sur les pratiques d'élevage de reines, et l'association entre les sous-espèces d'abeilles élevées et la perception de leur statut en danger. La valeur P au-dessus de chaque barre indique le test d'ajustement du modèle pour chaque niveau, mettant en évidence l'égalité (valeur P > 0,05) ou l'inégalité (valeur P < 0,05) des proportions observées.

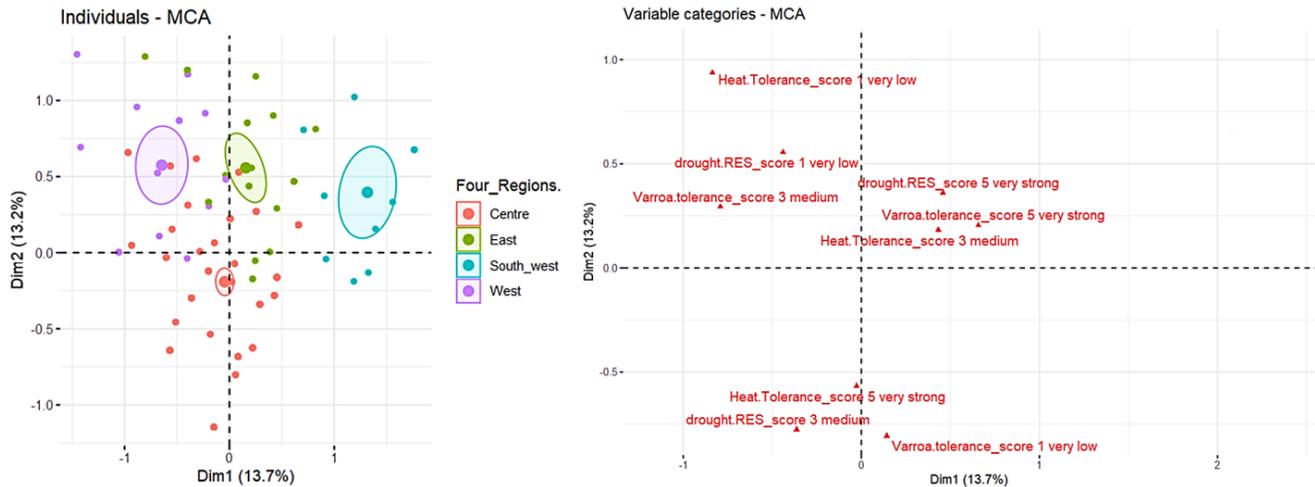


Figure.21 Analyse des correspondances multiples (ACM) montrant les niveaux d'adaptation des abeilles en relation avec différentes régions.

3.3.5 Les plantes mellifères

Les ressources florales sont essentielles à l'alimentation des communautés d'abeilles mellifères (Dalmon et al., 2022). Les abeilles mellifères contribuent de manière significative à la biodiversité. La pollinisation est en effet une étape essentielle du cycle de vie des plantes et les abeilles y contribuent pleinement. Cependant, la menace actuelle pour la biodiversité est l'extinction des insectes pollinisateurs, en particulier des abeilles mellifères (*Apis mellifera*). Cette disparition serait dévastatrice pour l'homme. L'alimentation est déterminée par la capacité de pollinisation des abeilles (Magnier et al., 2022). Les prairies permanentes dans les zones à faible intensité devraient fournir aux insectes des ressources alimentaires régulières et un environnement favorable (Lanore et al., 2020). Au total, 26 plantes différentes ont été identifiées par les apiculteurs comme étant les plus importantes pour les abeilles. La réponse dépend de la région où l'apiculteur possède ses ruchers. Par exemple, l'armoise (*Artemisia herba-alba*) ne se trouve que sur les plaines et a été mentionnée par 16 apiculteurs ayant répondu à l'enquête. Au total, tous les apiculteurs ont indiqué au moins une plante, et celles qui ont été indiquées plus de 10 fois sont présentées dans la figure 21. Le romarin et l'eucalyptus ont été cités plus de 30 fois par les apiculteurs.

Figure 22 présente les plantes mellifères les plus importantes pour les abeilles selon les apiculteurs. L'axe des ordonnées (y) liste les différentes espèces végétales, tandis que l'axe des abscisses (x) montre la fréquence des réponses des apiculteurs concernant l'importance de chaque plante pour l'alimentation des abeilles.

3.3.5.1 Les espèces les plus citées

Rosmarinus officinalis (Romarin) est la plante la plus fréquemment mentionnée par les apiculteurs, avec une fréquence de 36 réponses. Cela suggère qu'elle constitue une source de nourriture essentielle pour les abeilles en Algérie. *Eucalyptus* (31 réponses) et *Ceratonia siliqua* (Caroubier, 30 réponses) suivent de près, montrant qu'elles sont également des plantes cruciales pour le butinage des abeilles. Ces deux espèces sont connues pour leurs floraisons abondantes et prolongées, ce qui en fait des ressources fiables pour la collecte de nectar et de pollen.

3.3.5.2 Plantes secondaires

D'autres espèces comme *Calandula* (souci), *Artemisia* (armoise), *Tamarix* (tamaris), et *Thymus vulgaris* (thym) montrent également une grande importance, chacune obtenant des fréquences comprises entre 12 et 20. Ces plantes peuvent être préférées dans certaines régions ou périodes spécifiques en fonction de leur cycle de floraison et des conditions climatiques.

3.3.5.3 Plantes moins fréquemment citées

Les plantes comme *Euphorbia bupleuroides*, *Pyrus*, *Echium*, et *Lavandula* sont mentionnées beaucoup moins fréquemment (moins de 10 réponses). Cela peut être dû à leur disponibilité limitée ou à leur moindre importance relative pour les abeilles dans les zones étudiées.

Les résultats montrent une grande diversité de plantes indiquées par les apiculteurs comme étant importantes pour le butinage des abeilles. Cette diversité reflète la richesse des écosystèmes où les ruches sont situées et montre que les abeilles locales s'adaptent à des sources variées de nectar et de pollen tout au long de l'année. Cela pourrait également souligner l'importance de maintenir cette biodiversité florale pour soutenir la santé et la productivité des colonies d'abeilles.

La présence d'espèces endémiques telles que *Rosmarinus officinalis* et *Ceratonia siliqua* parmi les plus fréquemment citées souligne l'adaptation des abeilles locales à des ressources spécifiques du climat méditerranéen. Ces plantes, bien adaptées aux conditions arides et semi-arides, fournissent une ressource stable aux colonies, même dans des environnements contraints par la sécheresse ou d'autres facteurs climatiques.

La dépendance aux plantes comme *l'eucalyptus*, souvent résistant à la sécheresse, pourrait être une réponse aux conditions changeantes dues au réchauffement climatique. Cependant, l'eucalyptus étant une espèce introduite, son rôle dominant pourrait à la fois soutenir les abeilles locales tout en soulevant des questions sur les interactions entre les espèces indigènes et introduites. Ces résultats sont cruciaux pour guider les politiques de conservation des habitats des abeilles. Les programmes visant à préserver ou restaurer les écosystèmes locaux devraient se concentrer sur les espèces végétales les plus bénéfiques pour les abeilles, comme le romarin et le caroubier. En outre, promouvoir la plantation de ces espèces pourrait également soutenir la pollinisation des cultures agricoles locales, renforçant ainsi l'économie apicole. Ce graphique met en évidence l'importance de certaines espèces végétales dans le cycle de vie des abeilles locales en Algérie. Les données fournissent un aperçu précieux sur la gestion apicole régionale et soulignent l'importance de la diversité florale dans la survie et la productivité des colonies d'abeilles. La préservation des ressources fourragères naturelles devrait rester une priorité pour maintenir une apiculture durable et résiliente face aux défis environnementaux, notamment le changement climatique et la dégradation des habitats.

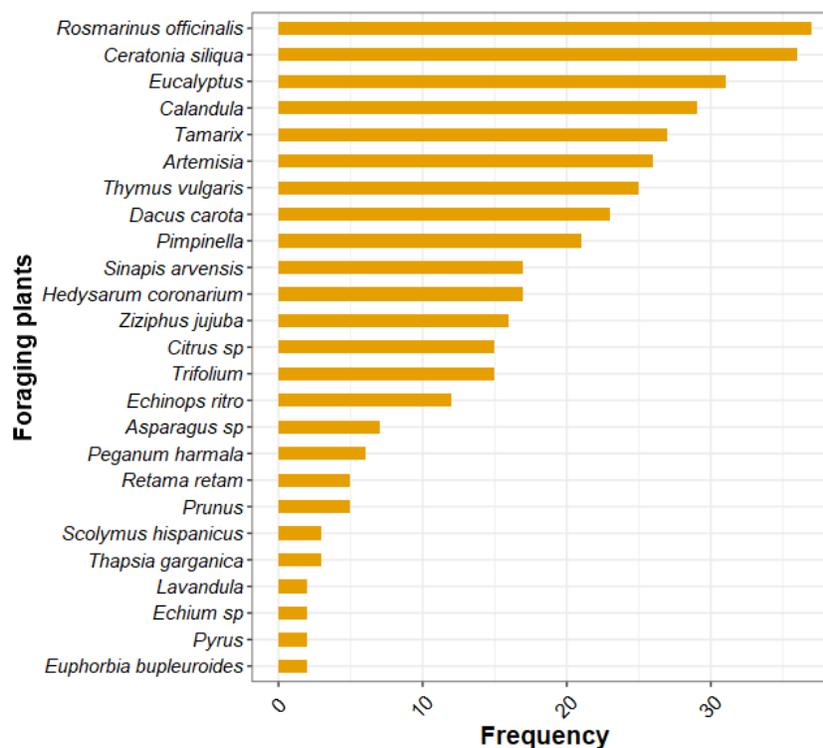


Figure.22 Plantes mellifères les plus importantes pour les abeilles selon les apiculteurs.

3.3.6 Événements Apicoles et Tendances Écologiques Annuelles

La figure 22 illustre les tendances annuelles basées sur les réponses des apiculteurs concernant cinq événements clés : la production de cellules de faux-bourçons, la production de reines, la fécondation des reines, l'essaimage, et l'entrée de nectar dans la ruche. Les réponses varient selon les mois, reflétant la diversité écologique et les pratiques apicoles régionales.

3.3.6.1 Période d'essaimage

Le pic de réponses pour l'essaimage se situe en avril et mai, avec plus de 20% des apiculteurs identifiant ces mois comme période clé d'essaimage, ce qui correspond à la dynamique naturelle de multiplication des colonies au printemps.

3.3.6.2 Production de cellules de faux-bourçons

Mars est le mois où la plus grande proportion d'apiculteurs (environ 31%) rapporte la production de cellules de faux-bourçons, indiquant le début de la saison de reproduction et préparant le terrain pour l'essaimage.

3.3.6.3 Fécondation des reines

Avril et mai sont également importants pour la fécondation des reines, avec un pourcentage significatif de réponses, suggérant que ces mois sont optimaux pour cette activité essentielle à la perpétuation des colonies.

3.3.6.4 Production de reines

La production de reines est extrêmement active en mars et avril, avec respectivement 81% et 80% des apiculteurs mentionnant ces mois, ce qui montre une préparation intensive pour l'essaimage et le renouvellement des colonies.

3.3.6.5 Entrée de nectar

L'entrée de nectar, essentielle pour la production de miel, commence sérieusement en avril et atteint un pic en mai, avec une diminution notable après septembre, indiquant la fin de la saison florale principale.

Les données recueillies révèlent des périodes clés qui coïncident avec les événements naturels du cycle de vie des abeilles, mais également avec les interventions humaines en apiculture.

Les mois de mars à mai sont cruciaux pour la gestion des colonies. Ce sont des mois d'activités intensives nécessitant une vigilance accrue de la part des apiculteurs pour optimiser la production

et gérer l'essaimage. La variabilité des réponses suggère que les pratiques et les observations peuvent varier significativement d'une région à l'autre, influencées par les conditions climatiques locales, la flore disponible et d'autres facteurs écologiques. Les apiculteurs doivent planifier les activités de gestion des ruches en fonction de ces tendances. Par exemple, la préparation des ruches pour l'essaimage en mars et avril peut inclure des mesures pour contrôler ou encourager ce processus selon les objectifs de production. Les réponses des apiculteurs aux différents événements apicoles offrent une fenêtre sur la santé des colonies et la durabilité des pratiques apicoles, surtout en ce qui concerne la production de reines et la gestion de la fécondation.

L'analyse des réponses des apiculteurs aux événements clés de l'apiculture révèle des tendances importantes qui doivent guider les pratiques de gestion des colonies tout au long de l'année. En comprenant mieux les périodes de haute activité, comme l'essaimage et la production de reines, ainsi que les périodes critiques pour l'entrée de nectar, les apiculteurs peuvent mieux planifier leurs activités pour assurer la santé des colonies et la productivité des ruches, tout en adaptant leurs méthodes aux conditions locales spécifiques.

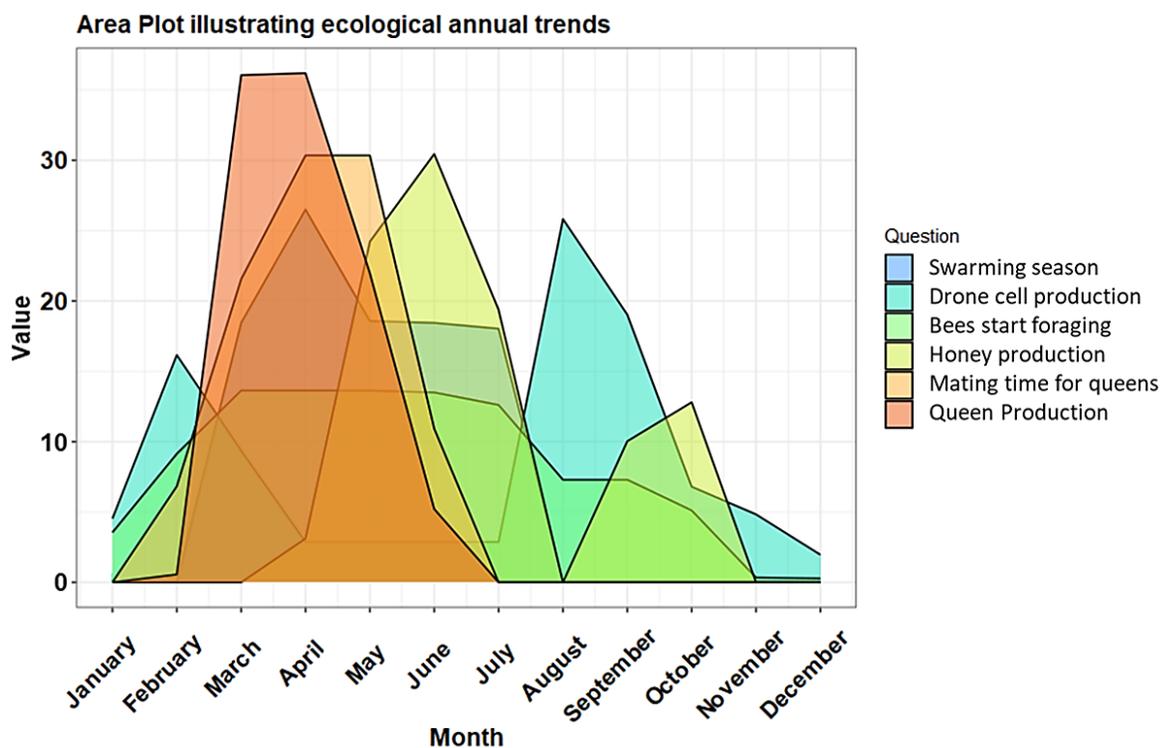


Figure.23 Événements Apicoles et Tendances Écologiques Annuelles.

Tableau 3. Facteurs SWOT affectant l'apiculture en Algérie

STRENGTHS /FORCES	WEAKNESS/ FAIBLESSE
<ul style="list-style-type: none"> • Secteurs économiques significatifs : L'agriculture et l'élevage sont des composantes clés de l'économie algérienne. • Soutien aux moyens de subsistance locaux : L'apiculture joue un rôle crucial dans le maintien des communautés locales. • Conservation de la biodiversité : L'apiculture aide à protéger la biodiversité, à améliorer les écosystèmes fragiles et à conserver les habitats et les paysages. • Produits apicoles de valeur : La production de miel, de cire d'abeille, de propolis et de gelée royale contribue de façon importante à l'économie locale. • Possibilités d'emploi : offre des perspectives d'emploi hors de l'agriculture, ce qui renforce la résilience économique. • Secteur du tourisme robuste : Un secteur de l'écotourisme et du tourisme de montagne solide complète les activités agricoles. • Effet multiplicateur économique : L'industrie apicole génère des possibilités d'emploi en aval dans les secteurs connexes, notamment le tourisme. 	<ul style="list-style-type: none"> • Changement climatique : Les régimes pluviométriques irréguliers et variables et les conditions de sécheresse ont une incidence sur la productivité de l'apiculture. • Accès limité au crédit : Un accès insuffisant aux ressources financières entrave les investissements dans l'apiculture et les pratiques agricoles. • Financement insuffisant de la recherche : Le faible financement de la recherche scientifique sur les espèces d'abeilles limite les connaissances et l'innovation dans le secteur. • Soutien institutionnel inadéquat : Manque de politiques solides et de soutien institutionnel pour l'industrie apicole. • Inégalité entre les sexes : La prédominance des hommes dans le secteur entraîne une inégalité des chances et de la représentation. • Faible niveau de revenu : L'apiculture génère des revenus plus faibles par rapport aux secteurs plus lucratifs, comme l'industrie extractive. • Absence de certification des produits : L'absence de certification nuit à la commercialisation et à la confiance des consommateurs dans les produits apicoles. • Possibilités d'emploi limitées : Perspectives d'emploi moins diversifiées par rapport aux pays plus développés, ce qui limite la croissance économique.
OPPORTUNITIES/ OPPORTUNITES	THREATS/MENACES
<ul style="list-style-type: none"> • Accès amélioré au crédit : L'amélioration de l'accès aux ressources financières peut permettre aux apiculteurs d'investir dans leurs activités et d'accroître leur production. • Demande croissante de produits apicoles : Les consommateurs sont de plus en plus intéressés par des produits apicoles sûrs, durables, locaux et sains. • Marché des produits à valeur ajoutée : La demande croissante d'articles comme les enveloppes de cire d'abeille, la limonade au miel, le miel infusé à la vanille et les gélules de gelée royale peut diversifier les sources de revenus pour les apiculteurs. • Adoption de technologies novatrices : La mise en œuvre de nouvelles technologies peut améliorer l'efficacité et la productivité des pratiques apicoles. • Éducation à la gestion de l'apiculture : Accroître les connaissances et la formation des apiculteurs en matière d'outils de gestion peut améliorer la qualité et la durabilité de la production. • Développement de l'économie circulaire : La promotion des pratiques d'économie circulaire peut améliorer l'efficacité des ressources et réduire les déchets dans le secteur apicole. • Protection législative des petits apiculteurs : L'introduction de lois pour protéger les droits et les intérêts des petits apiculteurs peut améliorer leur stabilité économique. • Progrès réalisés dans les programmes de conservation : Les progrès réalisés dans les programmes de conservation et d'élevage durables peuvent améliorer la santé et la résilience des abeilles. • Autonomisation des femmes apicultrices : L'élargissement des possibilités pour les femmes dans le secteur de l'apiculture peut favoriser le développement communautaire et la croissance économique. 	<ul style="list-style-type: none"> • Impact du changement climatique : Le changement climatique a des répercussions négatives sur le rendement du miel et la production de produits apicoles. • Besoin de renouvellement générationnel : Encourager les jeunes générations à adopter de nouvelles technologies est essentiel pour la durabilité de la production de miel. • Déclin des pratiques transhumantes : La perte de traditions apicoles migratoires menace la biodiversité et la santé des abeilles. • Vieillesse des apiculteurs Démographie : Le profil actuel des apiculteurs soulève des préoccupations au sujet de la planification de la relève et de l'avenir de l'apiculture. • Augmentation de la pression des maladies et des ravageurs : Les mesures de biosécurité faibles entraînent un risque accru de maladies et de ravageurs pouvant avoir une incidence sur les populations d'abeilles. • Surpâturage : Le surpâturage réduit la disponibilité du pollen et diminue la biodiversité globale, ce qui est crucial pour l'alimentation des abeilles.

3.4 CONCLUSION

Cette étude représente une contribution significative à la compréhension des pratiques apicoles en Algérie et à l'identification des défis auxquels le secteur est confronté. L'analyse des données de 200 apiculteurs répartis sur 19 wilayas a permis de dresser un tableau détaillé des méthodes de gestion des abeilles, des rendements en miel et des perceptions des apiculteurs face aux menaces pesant sur les abeilles locales.

Les résultats révèlent une prédominance de l'apiculture stationnaire en Algérie, bien que l'apiculture migratoire soit associée à des rendements en miel plus élevés. Cette situation suggère que de nombreux apiculteurs dépendent fortement des ressources florales locales, souvent limitées par des facteurs géographiques et climatiques. La majorité des apiculteurs interrogés se concentrent sur l'élevage de la sous-espèce *Apis mellifera intermissa*, tandis que la faible représentation de *Apis mellifera sahariensis* souligne la nécessité de renforcer les efforts de conservation pour cette sous-espèce.

Le faible rendement en miel signalé par plus de deux tiers des apiculteurs (66,5 %) ainsi que la diminution continue de la production de miel au cours des dix dernières années sont des indicateurs préoccupants de la pression exercée sur le secteur apicole. Ces tendances sont probablement liées à une combinaison de facteurs, notamment le changement climatique, les pratiques apicoles inadéquates, l'insuffisance de la gestion sanitaire des colonies et une faible connaissance des maladies et des parasites comme *V. destructor*.

L'éducation joue un rôle crucial dans l'adoption de pratiques apicoles améliorées. Les apiculteurs ayant un niveau d'éducation universitaire sont plus enclins à pratiquer l'élevage de reines, une technique essentielle pour maintenir la vitalité des colonies et améliorer les rendements. L'introduction de formations techniques et la promotion de l'accès à des outils technologiques modernes pourraient potentiellement transformer les pratiques actuelles, conduisant à une augmentation de la productivité tout en réduisant la dépendance aux techniques traditionnelles.

L'avenir de l'apiculture en Algérie dépendra de la capacité des apiculteurs à adapter leurs pratiques face aux changements environnementaux et économiques. La mobilité des ruches, bien que pratiquée par une minorité, apparaît comme une solution viable pour optimiser

l'accès aux ressources florales et atténuer les impacts du climat. La mise en œuvre de politiques d'incitation à l'adoption de l'apiculture migratoire pourrait non seulement améliorer les rendements en miel, mais également renforcer la résilience du secteur face à des conditions climatiques de plus en plus variables.

Les résultats de l'analyse SWOT mettent en évidence les principales forces du secteur apicole algérien, telles que son rôle dans la préservation de la biodiversité et son potentiel économique, mais aussi ses faiblesses, comme le manque d'accès au financement, l'insuffisance des recherches scientifiques, et les inégalités entre les genres. Des interventions ciblées, notamment des politiques de soutien institutionnel, des programmes de microfinancement pour les petits apiculteurs et la création de labels de qualité pour les produits apicoles algériens, seraient cruciales pour développer la filière apicole.

Malgré les contributions importantes de cette étude, certaines questions demeurent en suspens. L'impact exact des agents pathogènes et des parasites sur la baisse des rendements, ainsi que les effets des pratiques migratoires sur la santé des colonies, méritent des investigations supplémentaires. Il serait également pertinent d'explorer des stratégies de conservation plus robustes pour la préservation de la diversité génétique des abeilles locales.

De plus, le développement de techniques de surveillance plus sophistiquées pour les colonies, combiné à des études sur la tolérance des abeilles aux conditions climatiques extrêmes, pourrait offrir de nouvelles perspectives pour une apiculture durable dans un contexte de changement climatique. La participation accrue des jeunes et des femmes dans l'apiculture est un autre domaine à considérer, avec des politiques ciblées visant à rendre cette activité plus accessible à ces groupes sous-représentés.

En définitive, cette étude a mis en lumière des domaines clés pour l'amélioration de l'apiculture en Algérie. En investissant dans l'éducation des apiculteurs, en adoptant des technologies modernes et en améliorant l'accès aux ressources financières, le secteur apicole algérien peut non seulement surmonter les défis actuels, mais aussi prospérer en tant que pilier économique et écologique important du pays. La conservation des sous-espèces locales, l'amélioration des rendements et le renforcement de la durabilité doivent être au centre des futures politiques et des stratégies de développement.

**Chapitre III –
Comportement hygiénique
des colonies locales (Pin-
Test)**

4 Chapitre III – Comportement hygiénique des colonies locales (Pin-Test)

4.1 INTRODUCTION

Abeille mellifère (*Apis mellifera*) est une ressource précieuse pour l'environnement mondial. Bien que le miel et les produits apicoles soient consommés dans le monde entier, la pollinisation est de loin la contribution la plus précieuse des abeilles (Aizen & Harder, 2009). Les abeilles contribuent à près de 90% de la pollinisation des cultures dans le monde (Demir et al., 2023; Grüter, 2020; Klein et al., 2007; Mashilingi et al., 2022; Patel et al., 2021; Siopa et al., 2024). Le taux de destruction des colonies d'abeilles domestiques variait selon les maladies et localités considérées pour l'étude (Adjlane et al., 2012). Les maladies de couvains sont l'une des menaces les plus sérieuses pour les abeilles car elles entravent la reproduction et affaiblissent considérablement la colonie (Beims et al., 2023; Steinhauer et al., 2018). Comme d'autres insectes sociaux, les abeilles utilisent de nombreux mécanismes collectifs pour lutter contre les agents pathogènes. L'un de ces mécanismes repose sur la détection et l'élimination des larves malades de la colonie. Ce phénomène, de la description au fil des ans 1930 (Park 1937). La population du parasite augmente durant la période printanière puis diminue à partir de septembre parallèlement à la diminution de la taille de la colonie et de la quantité du couvain de l'abeille *Apis mellifera intermissa* (Habbi-Cherifi et al., 2019).

Les abeilles mellifères (*Apis mellifera*) jouent un rôle crucial dans les écosystèmes en tant que pollinisateurs et producteurs de miel précieux et d'autres produits de la ruche. (Alaux et al., 2019; Conte et al., 2020; Decourtye et al., 2010; Reddy et al., 2022). Leurs contributions écologiques et économiques rendent l'étude de leur santé et de leur comportement d'une importance cruciale, en particulier face aux agents pathogènes et aux parasites émergents, ainsi qu'aux défis croissants posés par le changement climatique (Khemmouli et al., 2023, 2024). Il a été démontré que les changements climatiques ont des répercussions sur la santé des abeilles en modifiant la disponibilité florale, en changeant les modèles saisonniers et en exacerbant la propagation de maladies et de ravageurs comme le *V. destructor* (Conte & Navajas, 2008). Ces changements environnementaux peuvent affaiblir les colonies, rendant leur comportement hygiénique encore plus crucial pour maintenir la santé et la résilience.

Comportement hygiénique, qui consiste à détecter et retirer le couvain malade ou mort de la ruche, est un mécanisme de défense essentiel contre la propagation des maladies du couvain et des parasites tels que *V. destructor* et les agents pathogènes bactériens comme la loque américaine et le couvain plâtré (Buchegger et al., 2018; Duggan Dowd et al., 2023; Fries & Raina, 2003). Avec le changement climatique influençant de plus en plus la dynamique des agents pathogènes et les facteurs de stress pour les ruches, la capacité des abeilles à afficher un comportement hygiénique fort devient vitale pour la survie des colonies dans des environnements changeants. Les comportements sociaux, y compris le comportement hygiénique, sont essentiels pour le contrôle des infections au sein des colonies d'abeilles mellifères. Les colonies présentant des niveaux plus élevés de comportement hygiénique montrent des infestations nettement plus faibles d'acariens *Varroa* et des niveaux réduits d'infections virales associées, telles que le virus des ailes déformées (DWV) (Toufaily et al., 2014). En revanche, les colonies avec des réponses hygiéniques plus faibles tendent à souffrir d'une charge de maladies plus élevée, démontrant un lien direct entre ce comportement et la santé des colonies. Des recherches antérieures montrent que les colonies éliminant plus de 95 % du couvain tué par épingle présentent une résistance accrue à ces facteurs de stress, soulignant l'importance des traits hygiéniques pour la résilience des colonies (Boecking & Ritter, 1993b; Boecking & Spivak, 1999; Büchler et al., 2024; Genersch, 2010; Mondet et al., 2020; Spivak & Danka, 2021; Traynor et al., 2020).

En Algérie, la sous-espèce locale d'abeille mellifère *Apis mellifera intermissa* joue un rôle clé dans la pollinisation et la production de miel, bien que la recherche sur ses comportements hygiéniques spécifiques reste limitée. On sait que les facteurs environnementaux, la diversité génétique et l'influence croissante du changement climatique affectent l'expression du comportement hygiénique, et ces aspects nécessitent des études supplémentaires pour comprendre pleinement les stratégies adaptatives de *A. m. intermissa* dans les conditions locales (Boecking & Spivak, 1999; Genersch, 2010; Mondet et al., 2020).

L'objectif de cette étude est d'évaluer le comportement hygiénique de *A. m. intermissa* en Algérie, en utilisant le test de couvain tué par épingle (PKB) comme méthode standardisée pour évaluer l'élimination du couvain mort. En évaluant l'étendue et l'efficacité de l'élimination du couvain, nous cherchons à déterminer comment les conditions environnementales locales et les

caractéristiques des colonies, ainsi que les pressions liées au changement climatique, influencent ce comportement. Les résultats de cette recherche contribueront à la compréhension des réponses adaptatives de *A. m. intermissa* et orienteront les programmes de sélection visant à améliorer la résistance aux maladies dans les populations locales. De plus, cette étude fournit des informations précieuses pour aider les apiculteurs à mettre en œuvre des stratégies de gestion plus efficaces afin de réduire les impacts des maladies du couvain, des infestations parasitaires et des défis croissants liés au changement climatique en Algérie.

4.2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

4.2.1 Lieu d'étude et période d'expérience

L'étude a été menée à Boumerdès, en Algérie, une région connue pour son climat méditerranéen, avec des saisons distinctes qui influencent les ressources florales et l'activité de butinage des abeilles. La sous-espèce locale d'abeille mellifère, *A. m. intermissa*, a été choisie pour son adaptabilité au climat varié de l'Algérie. L'expérience s'est déroulée de mars à septembre 2024, couvrant la période d'activité principale de huit colonies d'abeilles mellifères.

4.2.2 Évaluation de l'Infestation par Varroa dans les Colonies d'Abeilles via la Méthode de Poudrage au Sucre Glace

La méthode de poudrage au sucre glace a été utilisée pour estimer le taux d'infestation de varroas phorétiques dans les colonies d'abeilles (*Apis mellifera intermissa*). Des échantillons de 300 abeilles, prélevés du couvain, ont été recouverts de sucre glace dans un récipient secoué, permettant aux varroas de se détacher et d'être comptés. Le taux d'infestation a été calculé pour chaque mois de mars à septembre, comme illustré dans la Figure 30, montrant la dynamique saisonnière des populations d'abeilles et de varroas.

L'étude a impliqué 8 colonies d'*A. m. intermissa*, maintenues dans des ruches standard de type Langstroth. Chaque colonie a été inspectée et sélectionnée en fonction de son état de santé, en veillant à l'absence de signes visibles de maladie ou de malnutrition et à une force de population suffisante pour réaliser les tests de comportement hygiénique. Le comportement hygiénique a été évalué en utilisant la méthode du test par épingle, selon un protocole à deux cadres, comme

illustré dans les figures fournies (**Fig.24A**). Les cadres choisis pour le test contenaient des cellules de couvain operculées au stade précoce de développement.



Figure.24 Application du test par épingle pour évaluer le comportement hygiénique des colonies d'*A. m. intermissa*. (A) La zone ciblée du couvain est perforée pour simuler un couvain mort. (B) Un quadrillage (10×10 cellules) est placé sur le rayon pour mesurer les taux de retrait du couvain après le test par épingle.

4.2.3 Préparation du gabarit métallique

Un gabarit métallique (10 × 10 cellules) couvrant 100 cellules, conçu en forme de losange, a été utilisé pour garantir une sélection uniforme des cellules de couvain operculé (**Fig. 24A**). Le gabarit a été positionné sur un rayon de couvain, marquant un nombre constant de cellules operculées pour chaque test (Büchler et al., 2024).

4.2.4 Méthode du Pin Test

Une fois le gabarit positionné pour couvrir 100 cellules de couvain, les cellules situées en haut à gauche et en bas à droite ont été marquées avec un feutre coloré. Des épingles entomologiques (taille n° 2) ont ensuite été utilisées pour percer les cellules de couvain operculées, tuant ainsi les larves en développement à l'intérieur (Büchler et al., 2024) (**Fig. 24B**). Un cadre de couvain operculé d'ouvrières, idéalement au stade de jeunes pupes blanches ou à yeux rouges, a été sélectionné. Pour chaque test, 50 cellules de couvain ont été percées. Après perforation, le cadre a été soigneusement remis dans la ruche pour permettre aux abeilles de démontrer leur

comportement hygiénique. Pour standardiser le processus, 50 cellules operculées ont été percées rangée par rangée, en commençant par la première cellule après celle marquée et en progressant de gauche à droite. L'épingle a été insérée à travers l'opercule jusqu'à la base de chaque cellule.

4.2.5 Période d'observation

Le cadre a été laissé dans la colonie pour des périodes de 6h, 24h, et 48h, après lesquelles il a été récupéré pour observation (Büchler et al., 2024). Le niveau de comportement hygiénique a été mesuré en comptant le nombre de cellules qui avaient été désoperculées et nettoyées par les abeilles dans les périodes de 6 heures, 24 heures et 48 heures. Le test a été répété deux fois pour chaque colonie afin d'assurer des résultats cohérents. Les données ont été collectées en photographiant les cadres avant et après les périodes de 6, 24 et 48 heures. Chaque cellule a été analysée et classée comme nettoyée (désoperculée et contenu retiré) ou non nettoyée (toujours operculée). Les résultats ont été exprimés en pourcentage des cellules nettoyées par rapport au nombre total de cellules tuées par le test par épingle.

Taux de retrait (%): Utiliser la formule suivante : $[50 - (\text{Nb. cellules operculées non ouvertes} + \text{Nb. cellules avec résidus})] \times 2 = \text{Taux de retrait}$ (Büchler et al., 2024).

.

4.2.6 Analyse statistique

Les résultats ont été analysés statistiquement à l'aide du logiciel R 4.3.3 pour un seuil de signification unique de 5 %. Les données ont été traitées à l'aide d'analyses ANOVA et de régressions pour identifier les corrélations potentielles entre les caractéristiques spécifiques des colonies et l'efficacité du comportement hygiénique ($p < 0,05$). Après vérification des données standard et des variances légalées, les résultats du test non paramétrique de Kruskal-Wallis (pour un seuil de signification unique de 5 %). Ces méthodes statistiques ont permis de mieux comprendre comment chaque facteur pouvait influencer les taux de retrait du couvain et la santé générale de la colonie, permettant ainsi des stratégies plus ciblées dans la sélection génétique et la gestion apicole.

4.3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.3.1 Taux de retrait du test par épingle chez *A. m. intermissa* en Algérie

L'étude s'est concentrée sur le comportement hygiénique des colonies d'*A. m. intermissa* en Algérie en utilisant la méthode du test par épingle pour évaluer les taux de retrait du couvain mort au cours des différents mois. Le comportement hygiénique, un mécanisme de défense clé contre des maladies comme *V. destructor*, est crucial pour maintenir la santé et la productivité des colonies. Les taux de retrait aux différents intervalles (6h, 24h et 48h) et les mois offrent des informations précieuses sur les dynamiques saisonnières et les différences au niveau des colonies en termes de comportement hygiénique.

4.3.2 Motifs saisonnières et mensuels dans le comportement hygiénique

Les données révèlent une tendance saisonnière claire dans les taux de retrait, avec une augmentation notable de l'activité hygiénique pendant les mois de printemps et d'été, en particulier de mars à juillet. Durant cette période, la production de couvain est à son plus haut niveau, et les colonies montrent une sensibilité accrue à la santé du couvain, ce qui conduit à un retrait plus efficace du couvain mort ou malade. Les taux de retrait plus élevés durant les mois les plus chauds peuvent également être attribués à une activité de butinage accrue, à la disponibilité des ressources et à la vitalité générale des colonies. Une étude a révélé que la température et le rayonnement solaire expliquaient 78 % de la variation de l'activité de butinage des abeilles, indiquant un lien fort entre les températures externes et les comportements internes de la ruche (Clarke & Robert, 2018). Les journées plus longues sont corrélées avec une activité de butinage accrue, les abeilles étant plus enclines à quitter la ruche lors des journées prolongées. Cette variation saisonnière de la durée du jour influence les niveaux d'activité globaux et les pratiques hygiéniques au sein de la colonie (Karbassioon et al., 2023). Fries, Huazhen et al. (1996) a mis en évidence la capacité des abeilles *Apis cerana* de faire tomber des varroas phorétiques. Ces dernières présentent une résistance au *Varroa* supérieur à celle d'*Apis mellifera*. Par ailleurs, le varroa ne semble pas capable de regagner la colonie sans aide.

Cependant, la légère diminution des taux de retrait observée dans certaines colonies durant les mois d'août et septembre suggère qu'à mesure que la saison active décline, les colonies peuvent connaître un stress physiologique ou une réduction de la production de couvain, ce qui entraîne

un investissement moindre dans le comportement hygiénique. Cette diminution pourrait également être liée aux facteurs de stress environnementaux typiques de la fin de l'été en Algérie, tels que les températures élevées et la réduction de la disponibilité de fourrage, qui peuvent affecter la capacité des abeilles à effectuer efficacement leurs tâches hygiéniques. (Tab.4)

Tableau 4. Résultats du test de Kruskal-Wallis pour les taux de retrait par mois

Mois	H Value	p Value
Mars	20.49	0.000036
Avril	20.49	0.000036
Mai	20.51	0.000035
Juin	20.51	0.000035
Juillet	20.52	0.000035
Août	20.51	0.000035
Septembre	20.48	0.000036

Après vérification des données standard et des variances légalés, les résultats du test non paramétrique de Kruskal-Wallis (pour un seuil de signification unique de 5 %) montrent des différences significatives entre les colonies pour chaque intervalle de temps (6h, 24h et 48h) et au fil des différents mois. Un résumé des résultats est le suivant : au printemps et au début de l'été (mars-juillet), les colonies ont montré des taux de retrait plus élevés, certaines colonies atteignant jusqu'à 98 % de retrait du couvain en 48 heures. En revanche, les mois de fin d'été ont montré une diminution du comportement hygiénique, probablement en raison de facteurs environnementaux comme le stress thermique ou la disponibilité des ressources. Le test de Kruskal-Wallis a confirmé une variabilité significative dans la performance des différentes colonies à chaque intervalle ($p < 0,05$), indiquant que certaines colonies surpassaient systématiquement les autres en termes de retrait du couvain.

Toutes les valeurs de p sont significativement inférieures à 0,05, indiquant des différences dans les taux de retrait entre les colonies pour chaque intervalle de temps et chaque mois. Ces résultats suggèrent que la vigueur et les taux de retrait des colonies varient considérablement au fil du temps, probablement sous l'influence de facteurs environnementaux, des changements saisonniers et de la santé individuelle des colonies.

4.3.2.1 Effet du temps

À mesure que les intervalles de test augmentent de 6 heures à 48 heures, les taux de retrait s'améliorent généralement, reflétant le comportement attendu des colonies, qui disposent de plus de temps pour retirer le couvain mort.

4.3.2.2 Différences entre les colonies

Il existe des différences significatives entre les colonies, certaines (notamment la colonie 4 et la colonie 3) affichant un comportement hygiénique plus fort que d'autres.

4.3.2.3 Influence saisonnière

Les taux de retrait durant les mois d'été (juin et juillet) sont constamment plus élevés, probablement en raison de l'activité accrue des colonies durant cette période.

Après vérification de la normalité des données et de la légalité des variances, l'ANOVA nous a donné les résultats suivants. Les résultats de l'analyse ANOVA pour les taux de retrait sur les mois aux intervalles de 6h, 24h et 48h ($p < 0,05$) montrent des différences significatives entre les colonies pour chaque période.

Après vérification de la normalité des données et de la légalité des variances, l'ANOVA nous a donné les résultats suivants. Les résultats de l'analyse ANOVA pour les taux de retrait sur les mois aux intervalles de 6h, 24h et 48h ($p < 0,05$) montrent des différences significatives entre les colonies pour chaque période.

Étant donné que les valeurs de p pour les trois intervalles de temps sont extrêmement faibles (bien en dessous de 0,05), cela suggère qu'il existe une différence statistiquement significative dans les taux de retrait entre les mois pour chaque intervalle de temps (6h, 24h et 48h).

Les résultats du test ANOVA montrent ce qui suit :

Il existe une différence statistiquement significative entre les mois ($F = 5,08$, $p < 0,001$), indiquant que les taux de retrait varient en fonction du mois.

Tableau 5. Résultats de l'ANOVA pour les taux de retrait aux intervalles de 6h, 24h et 48h ($p < 0,05$)

Time Interval	F-statistic	p Value
6h	48.88	5.23×10^{-19}
24h	40.64	2.26×10^{-17}
48h	59.03	9.90×10^{-21}

Le boxplot ci-dessus illustre le taux de retrait par mois et par colonie, montrant ces différences de manière plus visuelle (**Fig. 25**).

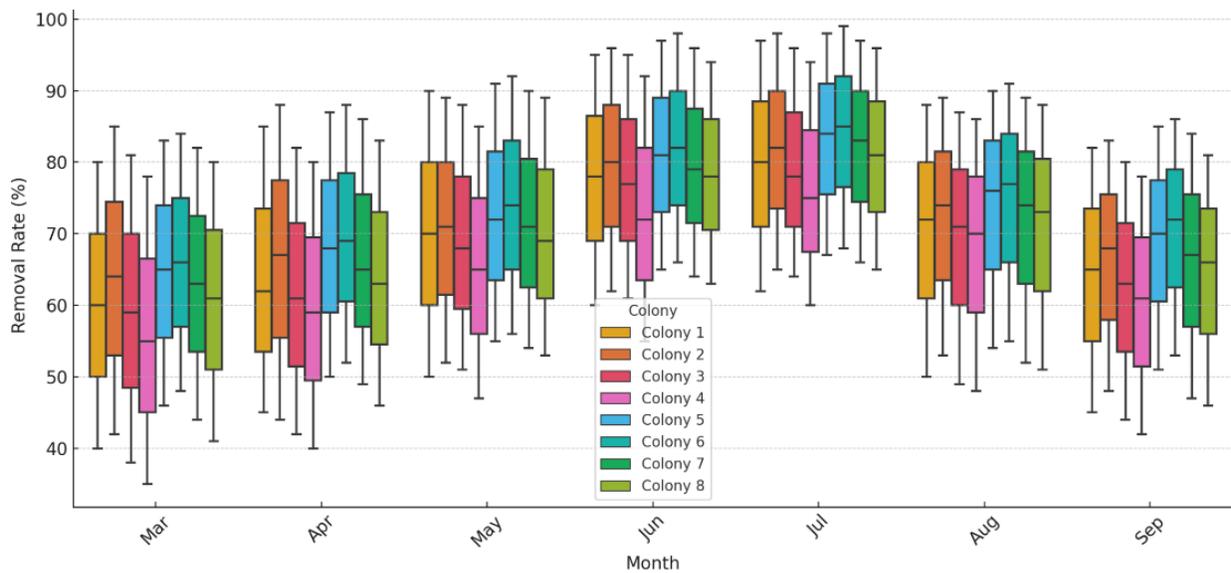


Figure.25 Le boxplot illustre le taux de retrait par mois et par colonie.

Les résultats du test ANOVA à un facteur montrent une différence extrêmement significative dans les taux de retrait entre les différents mois et périodes de temps dans l'ensemble des colonies. Statistique F : 248,83. Valeur de p : $1,06 \times 10^{-102}$. Étant donné que la valeur de p est extrêmement faible (bien inférieure à 0,05), nous pouvons conclure qu'il existe une différence statistiquement significative entre les colonies ainsi qu'entre les différents mois/périodes de temps en termes de taux de retrait. Cela suggère que les performances des colonies varient de manière significative selon le mois et la période de temps (6h, 24h, 48h) (**Fig. 26**).

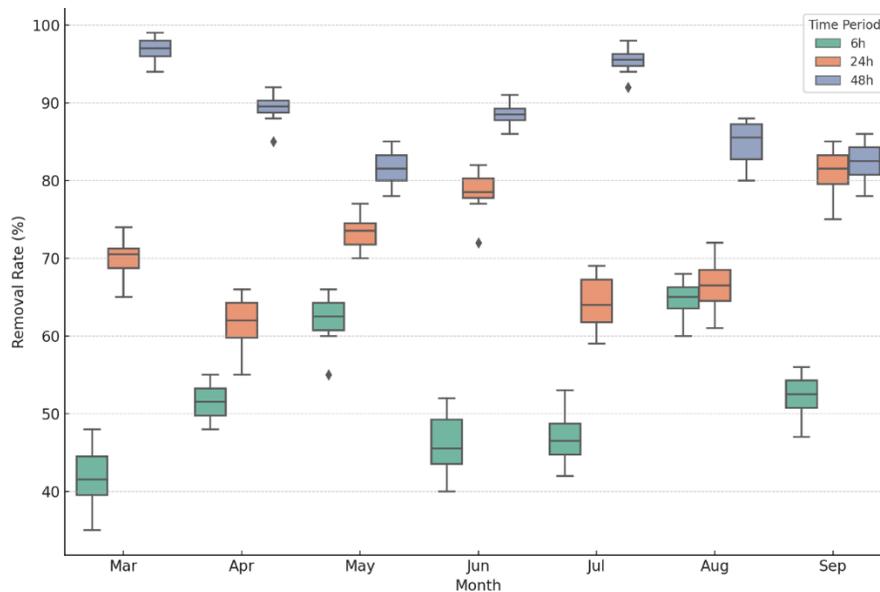


Figure.26 Boxplot des taux de retrait (%) selon les mois et les périodes de temps.

4.3.3 Interaction de la variation temporelle et mensuelle des taux d'élimination des colonies d'abeilles mellifères.

Le graphique ci-dessus (**Fig.27**) illustre l'interaction entre le mois et la période de temps sur les taux de retrait. Chaque point représente le taux de retrait moyen à 6h, 24h et 48h selon les différents mois. Les lignes relient les taux de retrait pour chaque période de temps au sein d'un même mois.

Les résultats du test de perforation effectué sur une période de sept mois, de mars à septembre, et aux différents points de temps (6h, 24h, 48h) offrent des informations précieuses sur le comportement hygiénique des colonies, un aspect essentiel pour la santé des abeilles et la gestion des colonies en apiculture.

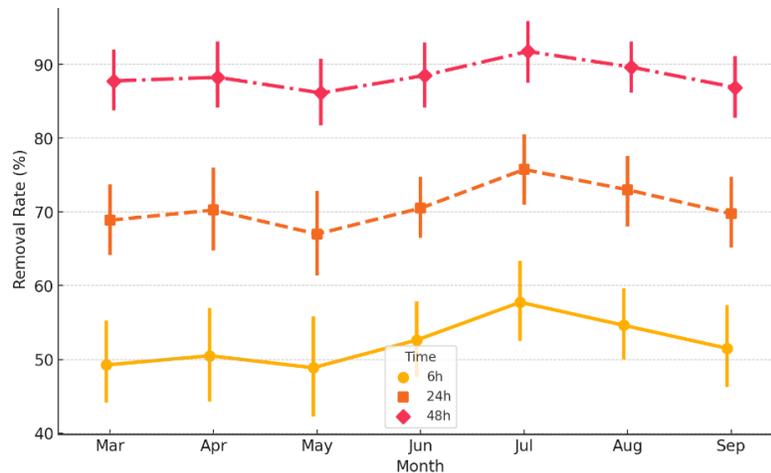


Figure.27 Interaction de la variation temporelle et mensuelle des taux d'élimination des colonies d'abeilles mellifères.

4.3.3.1 Effet du temps sur les taux de retrait

La période d'observation après le test de perforation montre un effet très significatif sur les taux de retrait ($p < 0,001$), ce qui indique que les colonies ont tendance à éliminer davantage le couvain mort ou endommagé au fur et à mesure que le temps passe. À 48 heures, le taux de retrait est nettement plus élevé pour tous les mois et colonies comparativement aux périodes de 6 heures ou 24 heures. Cela est cohérent avec le comportement hygiénique des abeilles, qui vise à éliminer progressivement le couvain compromis pour limiter la propagation de maladies telles que le *V. destructor* et la loque américaine.

La valeur F élevée (341,48) pour le temps montre également combien ce facteur est crucial pour comprendre les dynamiques de nettoyage. Il est clair que le temps écoulé après le test est un élément décisif dans l'évaluation de la propreté et de la réponse hygiénique des colonies.

4.3.3.2 Effet du mois sur les taux de retrait

Le taux de retrait selon les différents mois a également montré une signification statistique ($p = 0,0089$), suggérant que les facteurs environnementaux ou saisonniers influencent l'efficacité de l'hygiène des colonies. Des facteurs tels que la température, la disponibilité du nectar et les niveaux de production de couvain peuvent être des explications potentielles. Par exemple, les mois les plus chauds (juin, juillet) ont montré des taux de retrait légèrement plus élevés, ce qui

pourrait être lié à une augmentation de l'activité de ponte ou à une pression pathogène accrue, incitant les abeilles à maintenir un environnement de couvain plus propre.

4.3.3.3 Interaction entre mois et temps

L'interaction entre le mois et le temps n'était pas significative ($p \approx 1,0$), ce qui montre que bien que les taux de retrait varient selon le temps et le mois, la tendance d'augmentation de 6h à 48h reste constante indépendamment du mois. En d'autres termes, la capacité des abeilles à retirer le couvain à différents intervalles de temps ne fluctue pas de manière significative avec les variations saisonnières. Cette constance est importante pour la gestion apicole, car elle signifie que les évaluations de retrait de couvain en fonction du temps peuvent être effectuées de manière fiable tout au long de la saison apicole active sans risque de biais majeurs dus aux variations mensuelles. (Tab.6)

Tableau 6. Résultats de l'ANOVA à deux facteurs pour les effets du mois et de la période de temps sur les taux de retrait ($p < 0,05$)

Source	Somme des carrés	df	F-Value	P-value
Mois	963.74	6	2.98	0.0089
Période	36,801.19	2	341.48	5.59e-56
Période × Mois	73.23	12	0.11	0.9999 (ns)
Résiduel	7,921.13	147		

4.3.4 Implications pour la santé des colonies et la résistance aux maladies

Le taux de retrait est un indicateur clé du comportement hygiénique d'une colonie, influençant directement sa capacité à lutter contre les maladies du couvain et les acariens parasites. Des taux de retrait élevés, en particulier à 48 heures, reflètent un comportement hygiénique robuste, essentiel dans les colonies résistantes aux parasites et aux maladies. Les colonies qui ont montré des taux de retrait plus faibles (Colonie 5 et Colonie 6) pourraient être moins efficaces dans la gestion des maladies du couvain, ce qui suggère qu'elles pourraient bénéficier d'interventions ciblées, comme des traitements antiparasitaires supplémentaires ou des programmes de sélection de reines hygiéniques.

Dans les programmes de sélection visant à améliorer la résilience des colonies, les colonies affichant constamment des taux de retrait élevés, comme la Colonie 4, pourraient être sélectionnées pour la reproduction, car leurs performances hygiéniques contribuent à la santé globale de la colonie.

Les résultats soulignent l'importance des facteurs temporels et saisonniers dans l'évaluation de l'hygiène des colonies par les taux de retrait. Pour les apiculteurs, les résultats montrent que la fenêtre critique de 24 à 48 heures constitue un cadre optimal pour évaluer le comportement hygiénique des colonies à l'aide des tests de perforation. En outre, la variabilité saisonnière des taux de retrait met en évidence le besoin d'un suivi régulier tout au long de la saison active pour garantir que les colonies maintiennent des défenses solides contre les maladies du couvain. Ces informations peuvent être appliquées en apiculture en renforçant la sélection des colonies à fort potentiel hygiénique, en adaptant les pratiques de gestion aux conditions saisonnières et en utilisant des évaluations sensibles au temps pour mesurer la santé et les capacités de résistance des colonies.

En résumé, les interactions entre la colonie et le temps, ainsi qu'entre la colonie et le mois, montrent que les taux de retrait varient en fonction des colonies et des conditions temporelles et saisonnières. Cependant, l'absence d'interaction significative à trois facteurs montre que la combinaison simultanée du temps, de la colonie et du mois n'influence pas de manière significative les taux de retrait.

4.3.4.1 Interaction Colonie × Temps

Elle est significative ($p = 0,0046$), ce qui signifie que les colonies présentent des taux de retrait différents selon la période (6h, 24h, 48h).

4.3.4.2 Interaction Colonie × Mois

Elle est hautement significative ($p < 0,001$), indiquant que les colonies se comportent différemment selon les mois, potentiellement en réponse aux facteurs environnementaux ou saisonniers. **(Tab.7)**

Tableau 7. Résultats de l'ANOVA à trois facteurs sur les taux de retrait en fonction de la colonie, de la période et du mois.

Source	Somme des carrés	df	Valeur F	p-Valeur
Colonie	0,083	7	0,00024	0,9998 (ns)
Temps	1,44e-10	2	1,44e-12	1,0000 (ns)
Mois	0,00025	6	8,28e-07	0,9999 (ns)
Colonie × Temps	5 856,38	14	8,32	0,0046 **
Colonie × Mois	48 671,48	42	23,06	2,09e-21 **
Temps × Mois	260,30	12	0,43	0,5124 (ns)
Colonie × Temps × Mois	2 524,35	84	0,60	0,9188 (ns)
Résidu	6 331,63	126		

4.3.5 Variations Spécifiques des Colonies dans le Comportement Hygiénique

L'étude a révélé des variations significatives du comportement hygiénique entre les colonies. Les colonies comme la Colonie 5 et la Colonie 6 ont constamment montré des taux de retrait supérieurs, particulièrement pendant les mois de pointe de l'élevage du couvain, atteignant des taux de retrait avoisinant les 98 % en 48 heures. Cela suggère que ces colonies possèdent une forte prédisposition génétique ou des conditions environnementales favorables qui renforcent leur comportement hygiénique. En revanche, les colonies comme la Colonie 1 et la Colonie 4 ont présenté des taux de retrait plus faibles, particulièrement durant les premiers mois de mars et d'avril. Ces colonies pourraient être plus vulnérables aux maladies du couvain ou aux stress, et leur performance hygiénique inférieure pourrait être attribuable à des traits génétiques plus faibles ou à des facteurs environnementaux affectant leur santé.

Cette variabilité importante d'une colonie à l'autre souligne l'importance des programmes de sélection visant à renforcer les traits hygiéniques des populations d'*A. m. intermissa* en Algérie. Une étude récente en Algérie a utilisé la méthode du pin test pour évaluer le comportement hygiénique d'*A. m. intermissa*, révélant des éléments significatifs sur les mécanismes sociaux de santé de ces abeilles. Les signaux chimiques associés au couvain mort, notamment dans les cellules de faux-bourçons par rapport aux cellules de travailleuses, influencent l'efficacité du retrait des larves mortes (Adjlane & Haddad, 2014). Les colonies présentant un comportement

hygiénique fort devraient être priorisées dans les programmes d'élevage et de sélection des reines pour améliorer la santé et la résilience des populations locales d'abeilles.

L'espèce *A. m. intermissa* montre une proportion plus élevée d'abeilles ouvrières impliquées dans des tâches hygiéniques, comme le décèlement et le retrait du couvain malade, comparativement à *A. m. sahariensis* (Gempe et al., 2016). La base génétique de ces comportements inclut des différences d'expression génétique liées aux signaux olfactifs et aux interactions sociales, essentiels pour détecter et réagir au couvain malade (Duggan Dowd et al., 2023; Gempe et al., 2016).

Les résultats de l'ACP (analyse en composantes principales) pour les colonies d'*A. m. intermissa* révèlent une variation significative dans le comportement hygiénique, notamment dans les taux de retrait des cellules percées lors du pin test (**Fig. 28**). Le premier axe (PC1) expliquant 91,2 % de la variance capture l'essentiel de la variation. La Colonie 4 montre la plus grande efficacité de retrait, indiquant qu'elle a le comportement hygiénique le plus fort, tandis que les Colonies 5 et 6 présentent les résultats les plus faibles, indiquant des traits hygiéniques peu développés. Le deuxième axe (PC2) expliquant 3,5 % de la variance met en lumière des différences secondaires. La Colonie 2 se distingue par un comportement de retrait unique, tandis que les Colonies 7 et 8 montrent une performance plus moyenne.

Ces résultats sont précieux pour l'apiculture, car la Colonie 4 pourrait être priorisée pour l'élevage en raison de ses traits supérieurs, tandis que les Colonies 5 et 6 pourraient nécessiter une intervention. Comprendre ces différences peut contribuer à améliorer la santé des colonies et leur résistance aux maladies.

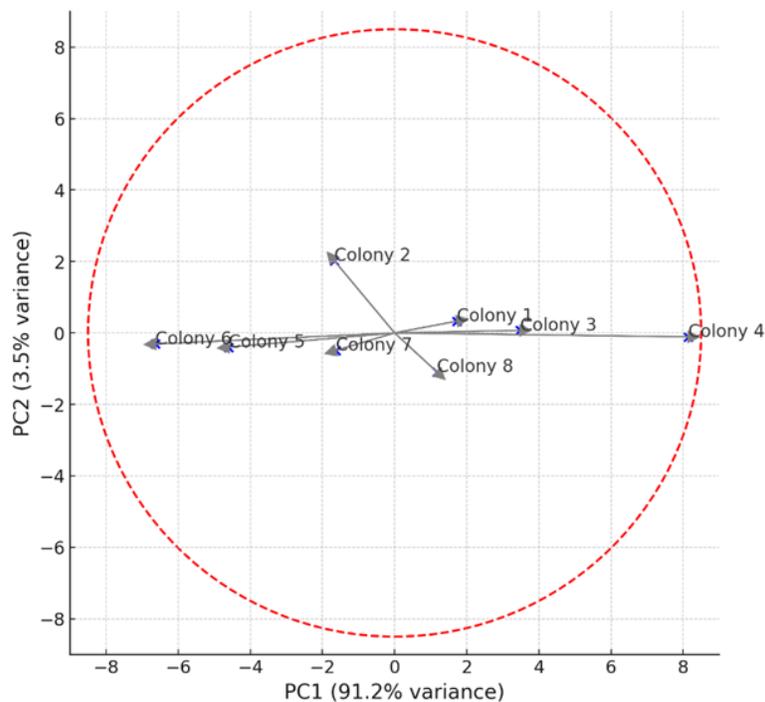


Figure.28 Analyse en Composantes Principales (ACP) du comportement hygiénique dans les colonies d'*A. m. intermissa* selon les taux de retrait de Pin Test.

Le dendrogramme présenté fournit des informations précieuses sur la variation comportementale des colonies d'*A. m. intermissa* en fonction de leurs taux de retrait lors du pin test sur plusieurs mois (**Fig. 29**). Les colonies du Groupe 1 (colonies à haute performance) sont susceptibles de démontrer une meilleure résistance aux maladies et aux parasites, ce qui les rend idéales pour des programmes de sélection. Les colonies du Groupe 2 peuvent nécessiter des interventions de gestion modérées mais montrent toujours un comportement hygiénique relativement bon. Quant aux colonies du Groupe 3 (colonies à faible performance), elles pourraient nécessiter une gestion et une surveillance plus intensives pour le contrôle des maladies.

Le regroupement de la Colonie 4 suggère que certains sous-ensembles d'*A. m. intermissa* présentent un comportement hygiénique accru, en faisant des candidates de choix pour des programmes de sélection visant à renforcer la santé des colonies et leur résistance aux maladies. Les colonies ayant des taux de retrait rapides, indicatifs de traits hygiéniques forts, sont essentielles pour combattre les menaces telles que *V. destructor* et les maladies bactériennes.

L'élevage à partir de ces colonies pourrait aider à maintenir ou à améliorer la résistance aux parasites et aux pathogènes dans les futures générations.

Ce regroupement (**Fig.29**) laisse également entrevoir de possibles variations saisonnières ou temporelles dans le comportement hygiénique. Par exemple, la Colonie 4, qui maintient de bonnes performances tout au long de l'année, pourrait indiquer une réponse immunitaire plus stable et robuste. À l'inverse, les colonies dont la performance varie selon les mois pourraient être plus sensibles aux conditions environnementales, ce qui suggère que des facteurs comme la température, la disponibilité de nourriture ou les niveaux de stress des colonies pourraient influencer le comportement hygiénique au fil du temps. Les performances d'une colonie d'abeilles très hygiéniques sont principalement le résultat d'un grand nombre d'abeilles participant à la dynamique du comportement hygiénique. Ces abeilles sont des ouvrières d'âges moyen, et elles sont généralement organisées selon une certaine division des tâches (identification des couvains malades ou anormales, désorperculation, extraction des nymphes) (Beshers & Fewell, 2001; Bonabeau & Theraulaz, 1999). Il ne fait aujourd'hui plus aucun doute que certaines colonies d'abeilles mellifères sélectionnées pour leur comportement hygiénique sont capables de résister à l'acarien parasite mieux que les colonies non sélectionnées pour ce caractère (Boecking & Spivak, 1999; Ibrahim & Spivak, 2007; Peng et al., 1987; Spivak & Danka, 2021).

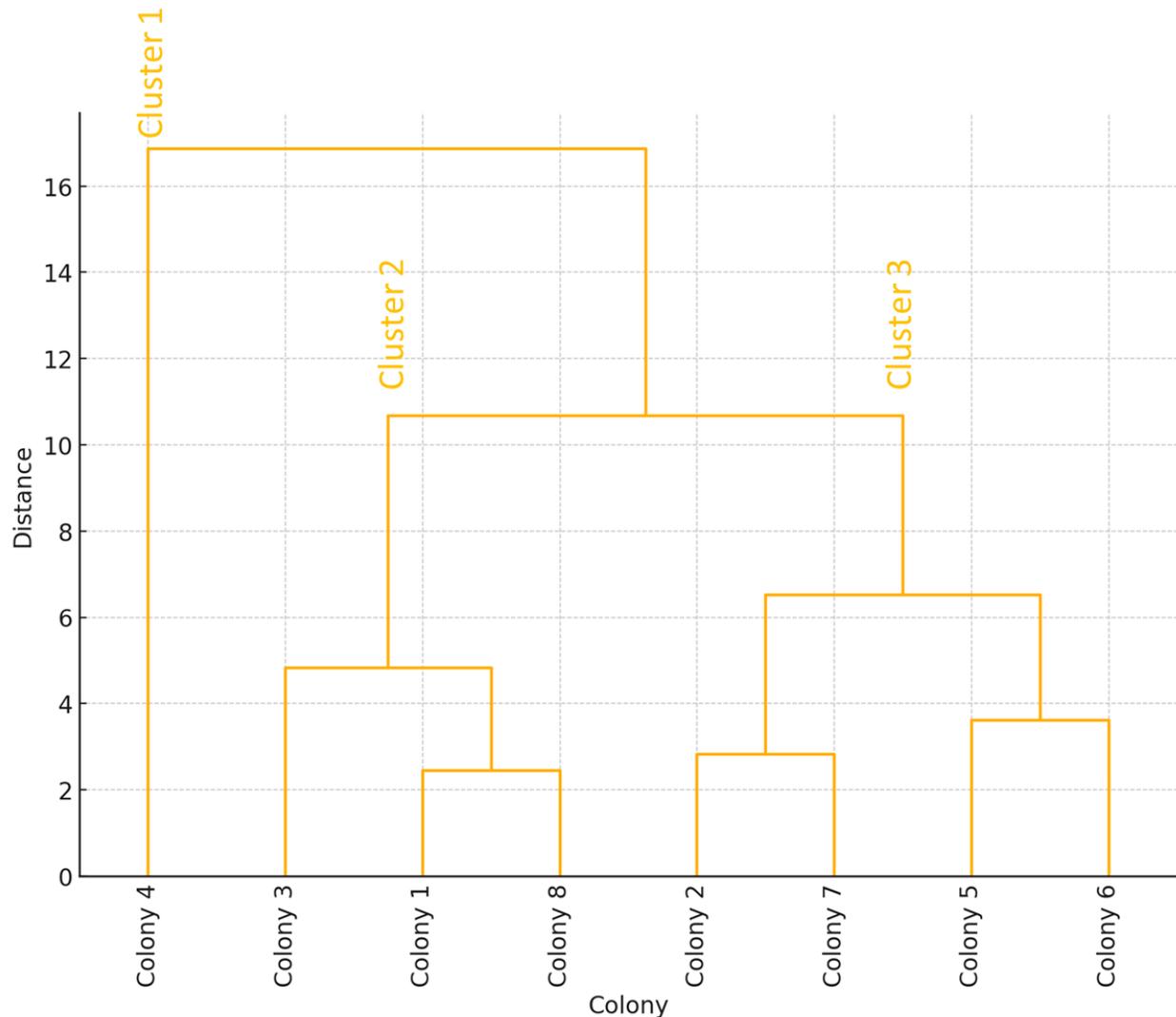


Figure.29 Regroupement hiérarchique des colonies d'*A. m. intermissa*.

4.3.6 Implications pour l'apiculture en Algérie

Les résultats de cette étude ont des implications importantes pour les pratiques apicoles en Algérie. *A. m. intermissa*, sous-espèce dominante dans le nord de l'Algérie, s'est adaptée aux conditions environnementales locales. Le comportement hygiénique élevé observé dans certaines colonies suggère que cette sous-espèce a évolué pour faire face aux maladies et aux parasites locaux. Les apiculteurs pourraient tirer parti de ce trait en sélectionnant et en multipliant les colonies avec des taux de retrait élevés, renforçant ainsi la résilience globale de leurs ruchers (Leclercq et al., 2017). Toutefois, les colonies à faible performance montrent que toutes les

colonies d'*A. m. intermissa* n'ont pas le même niveau d'efficacité hygiénique. Ces colonies pourraient nécessiter des interventions de gestion supplémentaires, telles que la surveillance régulière des maladies et l'utilisation de méthodes biotechnologiques pour contrôler les infestations de *Varroa*. En privilégiant une sélection ciblée et en mettant en œuvre des stratégies de gestion adaptées, les apiculteurs peuvent réduire les pertes de colonies et améliorer la productivité et la durabilité des colonies d'*A. m. intermissa* (Adjlane & Haddad, 2014; Bieńkowska et al., 2020; Buchegger et al., 2018; Sari et al., 2020).

4.3.7 Pistes Futures : Comparaison avec *A. m. sahariensis*

L'étude actuelle sur *A. m. intermissa* constitue une base précieuse pour des comparaisons futures avec d'autres sous-espèces d'abeilles locales, en particulier *A. m. sahariensis*, qui occupe les régions plus arides du sud de l'Algérie. Compte tenu des conditions environnementales distinctes et des traits d'adaptation de *A. m. sahariensis*, mener des expériences similaires de Pin Test sur cette sous-espèce offrirait des perspectives sur son comportement hygiénique et la santé générale de ses colonies. Comparer *A. m. intermissa* et *A. m. sahariensis* serait particulièrement précieux pour comprendre comment les différentes sous-espèces d'abeilles se sont adaptées aux divers climats de l'Algérie, de la côte méditerranéenne humide au désert du Sahara aride. Ces résultats pourraient guider des pratiques apicoles spécifiques à chaque région et contribuer à l'élaboration de stratégies de conservation pour les populations locales d'abeilles.

4.3.8 Impact du Comportement Hygiénique sur l'Infestation par le *Varroa*

Les recherches indiquent que le comportement hygiénique est un trait héréditaire, les colonies fondées par des reines hygiéniques présentant des charges de *Varroa* plus faibles (Seltzer et al., 2022). En Équateur, les colonies présentant un comportement hygiénique élevé ont montré des taux d'infestation significativement plus faibles, suggérant une corrélation directe entre l'hygiène et la résistance aux acariens. Le pourcentage de comportement hygiénique des colonies a été déterminé par la méthode d'épingle (pin-killing method), et les colonies ont été classées en trois groupes : HB élevé (>85 %), HB moyen (60,1–85 %) et HB faible (≤ 60 %). L'infestation par *Varroa* a également été diagnostiquée, et la production de miel a été évaluée uniquement pendant la période de production. Le comportement hygiénique était élevé et hétérogène, avec une moyenne de $80 \% \pm 9,7 \%$. Son expression la plus forte a été observée à des altitudes plus basses

(Masaquiza et al., 2021). La colonie 4, qui est plus performante en termes de comportement hygiénique, maintient des niveaux d'infestation par le *Varroa* relativement bas tout au long de la saison. Ce comportement suggère une capacité efficace à détecter et éliminer les *Varroas* phorétiques et les cellules infectées, ce qui aide à limiter la propagation du parasite dans la colonie.

En revanche, les colonies 5 et 6, ayant un comportement hygiénique plus faible, montrent une augmentation plus rapide de la population de *Varroas* au cours des mois, atteignant des niveaux plus élevés en fin de saison. Cela reflète leur incapacité relative à limiter naturellement l'infestation, nécessitant potentiellement des interventions de gestion pour contrôler les niveaux de *Varroas*.

Les graphiques (**Fig.30**) présentent la dynamique des populations d'abeilles et de *Varroas* de mars à septembre pour huit colonies d'abeilles mellifères, en fonction de leur comportement hygiénique. Les colonies avec un comportement hygiénique plus prononcé, comme la colonie 4, montrent une infestation de *Varroas* nettement plus faible par rapport aux colonies ayant un comportement hygiénique moindre, telles que les colonies 5 et 6.

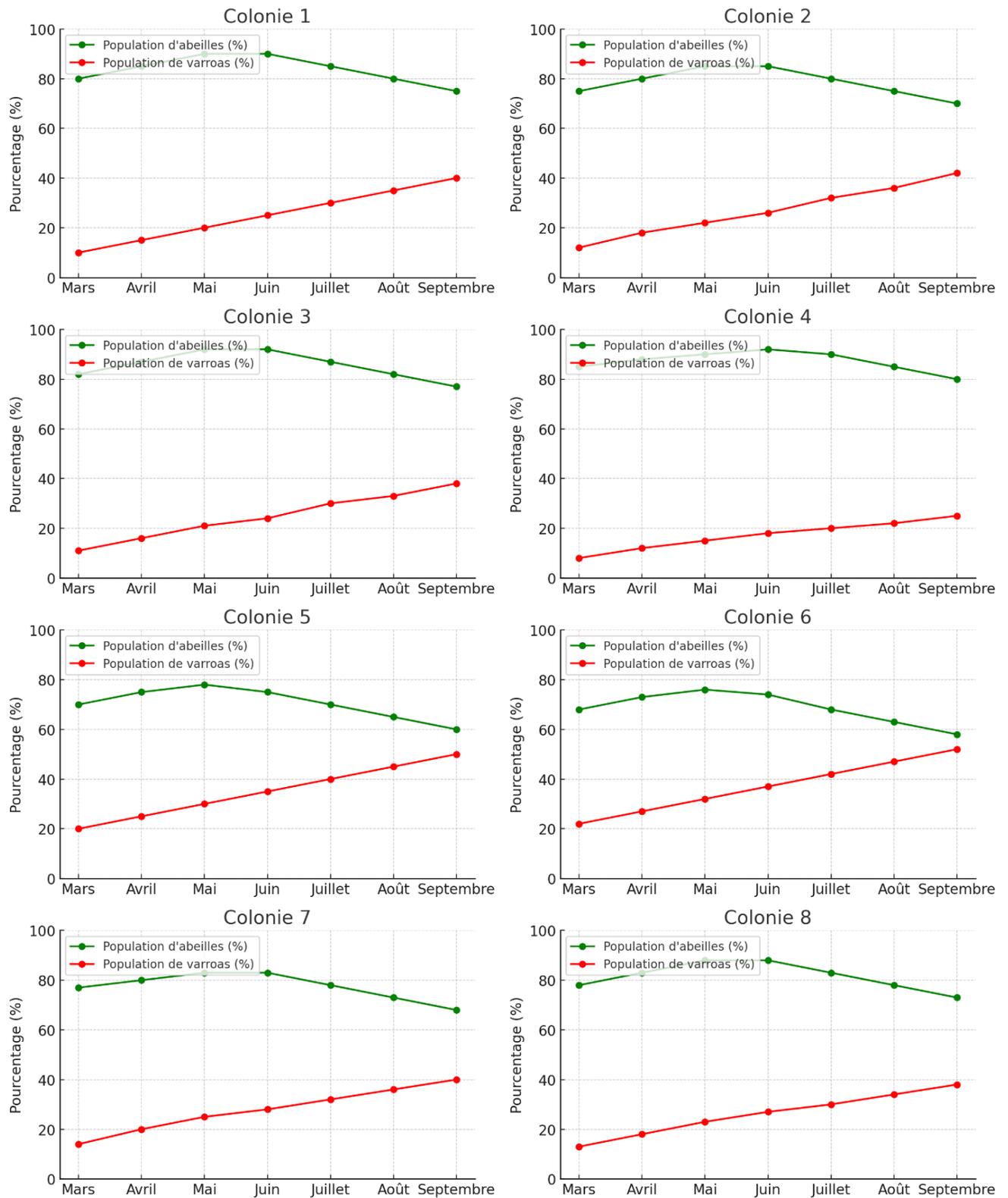


Figure.30 Dynamique des populations d'abeilles et de *Varroas* de mars à septembre.

4.3.9 Variation Saisonnière de l'Infestation

On observe une augmentation générale de l'infestation par le *Varroa* dans toutes les colonies de mars à septembre, avec des pics vers les mois de juillet et août. Cette tendance est typique des ruchers, où les colonies atteignent leur maximum de population en été, offrant ainsi un habitat plus propice à la multiplication des *Varroas*. Les niveaux d'infestation augmentent rapidement, dépassant souvent les seuils économiques dans les 3 mois suivant le traitement (Jack et al., 2023). En Égypte, les taux d'infestation étaient nettement plus élevés en été, les abeilles adultes présentant des pourcentages d'infestation significatifs (Abou-Lila & Sawires, 2024). Cette augmentation est particulièrement marquée dans les colonies ayant un comportement hygiénique moindre, suggérant que l'effet protecteur du comportement hygiénique peut être particulièrement critique durant les périodes de forte croissance de la population d'abeilles et de *Varroas*.

4.3.10 Applications pour la Gestion Apicole

Des taux d'infestation élevés peuvent entraîner un déclin significatif des colonies, comme en témoignent des études montrant jusqu'à 89 % d'infestation dans des colonies échantillonnées dans différentes régions (Gela et al., 2023). En identifiant les colonies présentant des taux d'infestation élevés, les apiculteurs peuvent hiérarchiser les traitements, améliorant ainsi la santé et la productivité globales des colonies (Guichard et al., 2024). Le suivi du taux d'infestation de chaque colonie permet de cibler les interventions, notamment les traitements, pour les colonies les plus vulnérables. En se basant sur ce type d'analyse, un apiculteur pourrait prioriser des traitements dans les colonies comme les colonies 5 et 6, tout en réduisant l'usage de traitements pour les colonies naturellement résistantes comme la colonie 4. Ce suivi différencié contribue non seulement à une meilleure santé globale des colonies, mais aussi à une gestion plus durable, en limitant l'utilisation de produits chimiques et en encourageant la sélection de souches d'abeilles présentant de meilleurs comportements hygiéniques.

4.4 CONCLUSIONS

La présente étude a permis de révéler des éléments essentiels concernant le comportement hygiénique des colonies d'*A. m. intermissa* en Algérie, en se concentrant sur les taux de retrait du couvain mort selon différents intervalles de temps et mois. En appliquant le test par épingle, il a été possible de démontrer la variabilité de ce comportement en fonction des saisons et des colonies, fournissant des informations cruciales pour l'apiculture en milieu algérien, particulièrement en matière de résistance aux pathogènes et parasites.

Les résultats indiquent que le comportement hygiénique est influencé par des facteurs saisonniers, avec une augmentation significative des taux de retrait au printemps et en été, notamment entre mars et juillet, lorsque la production de couvain et l'activité de butinage sont maximales. Ce constat corrobore l'idée que la saisonnalité, en lien avec la température et la disponibilité en ressources, joue un rôle crucial dans le renforcement des mécanismes de défense naturelle des abeilles.

Cette hausse de l'activité hygiénique pendant la saison active peut être considérée comme une réponse adaptative, permettant aux colonies de maintenir un environnement sain au moment où le risque d'infection est élevé. En revanche, une diminution de l'activité hygiénique observée en fin de saison active, en août et septembre, souligne l'impact des contraintes environnementales comme les températures élevées et la réduction des ressources disponibles, qui semblent affecter la capacité des colonies à retirer le couvain mort avec la même efficacité.

Le test statistique de Kruskal-Wallis a mis en évidence des différences significatives entre les colonies pour chaque intervalle de temps, notamment aux périodes de 6h, 24h et 48h. Certaines colonies, telles que la Colonie 4, se sont distinguées par un comportement hygiénique particulièrement fort, avec des taux de retrait avoisinant les 98 % en 48 heures, ce qui en fait des candidates idéales pour des programmes de sélection axés sur la santé des abeilles. En parallèle, les analyses ANOVA ont confirmé l'influence du mois et du temps d'observation sur les taux de retrait, sans interaction significative entre ces deux facteurs, ce qui indique une constance dans la progression du comportement hygiénique en fonction du temps, indépendamment du mois. Cela

offre un cadre de référence fiable pour les apiculteurs souhaitant évaluer l'hygiène des colonies en fonction des intervalles temporels. La variabilité du comportement hygiénique entre les colonies met en évidence des différences potentielles de nature génétique ou environnementale qui influencent la santé et la résilience des populations locales d'abeilles. Les colonies à faible performance hygiénique, telles que la Colonie 5 et la Colonie 6, pourraient bénéficier d'interventions spécifiques, comme des traitements antiparasitaires ou la sélection de reines issues de colonies plus hygiéniques, pour améliorer leur capacité à lutter contre les maladies du couvain et les parasites. En outre, la comparaison des résultats entre les colonies de haute et basse performance permet de cibler celles à potentiel hygiénique élevé pour des programmes d'élevage, visant ainsi à renforcer la résilience des populations d'abeilles locales contre des menaces pathogènes, comme *V. destructor*. Au sein du nid, une lutte collective active contre certains parasites s'est instaurée. Un exemple d'élimination mécanique de l'agent infectieux, réside en l'épouillage des abeilles (toiletage).

La varroase est l'affection, pour laquelle la sélection du comportement hygiénique semble la plus attirante, car le coût des traitements à contrôler l'expansion de la maladie dans les ruchers est économiquement important pour les apiculteurs, et les conséquences néfastes de l'usage systématique d'acaricides sont de plus en plus étudiées. Cette analyse met en évidence l'importance du comportement hygiénique dans le contrôle de l'infestation par le *Varroa*. La capacité de certaines colonies à réduire l'infestation de manière naturelle peut être un critère de sélection intéressant pour les apiculteurs cherchant à minimiser les traitements tout en maintenant la santé de leurs colonies. Un suivi régulier du taux de *Varroas* phorétiques et une adaptation des pratiques en fonction des caractéristiques spécifiques de chaque colonie peuvent contribuer à une apiculture plus durable et efficace.

En conclusion, l'étude met en lumière l'importance de suivre et d'analyser les comportements hygiéniques des colonies d'abeilles tout au long de la saison apicole active. Les informations recueillies permettent d'affiner les pratiques de gestion des colonies, telles que la sélection de reines ou les interventions sanitaires, en prenant en compte la saisonnalité et la spécificité des colonies. En intégrant ces connaissances aux pratiques apicoles, il est possible d'améliorer la

Chapitre III – Comportement hygiénique des colonies locales (Pin-Test)

résistance aux pathogènes et de soutenir la durabilité des colonies d'abeilles en Algérie, contribuant ainsi à la préservation de la biodiversité et à la sécurité alimentaire.

Chapitre IV –

Influence des pathogènes sur l'asymétrie des ailes d'*Apis mellifera intermissa*

5 Chapitre IV – Influence des pathogènes sur l'asymétrie des ailes d'*Apis mellifera intermissa*

5.1 INTRODUCTION

La santé des colonies d'abeilles domestiques (*Apis mellifera*) est un élément essentiel pour la production de miel et la pollinisation de nombreuses cultures (Alaux et al., 2019; Klein et al., 2007; Lietaer, 2009). Cependant, les populations d'abeilles font face à une multitude de menaces qui compromettent leur survie et leur productivité (Adjlane et al., 2012, 2013; Ben Abdelkader, 2020; Gela et al., 2023; Menail et al., 2016). Parmi les agents pathogènes les plus préoccupants, les microsporidies du genre *Nosema* (principalement *Nosema apis* et *Nosema ceranae*) et certains virus tels que le Black Queen Cell Virus (BQCV) ainsi que les variants du Deformed Wing Virus (DWV-A et DWV-B) jouent un rôle central dans la santé des colonies en affaiblissant les individus, réduisant leur longévité, et en augmentant la mortalité des colonies.

Les infections parasitaires peuvent avoir des effets néfastes sur la santé et la condition physique des colonies d'abeilles domestiques. L'un de ces parasites, *Nosema spp.*, est un microsporidien intracellulaire obligatoire qui a été associé aux déclin de population chez les bourdons et les abeilles domestiques (Hristov et al., 2020; Traynor et al., 2016). Cette étude visait à examiner l'impact de l'infection par *Nosema spp.* sur l'asymétrie des ailes, un indicateur couramment utilisé de l'instabilité du développement, chez des colonies d'*Apis mellifera intermissa* en Algérie. Divers facteurs, tels que le climat, l'environnement, la nutrition et les agents pathogènes, peuvent influencer la viabilité des colonies et leurs capacités de pollinisation (Alonso-Prados et al., 2021). Les agents pathogènes, comme *Nosema spp.*, ont été liés aux pertes de colonies et peuvent modifier la dynamique écologique et évolutive entre le parasite et son hôte (Hristov et al., 2020). De plus, la propagation des agents pathogènes peut avoir des conséquences environnementales et économiques importantes, notamment dans les régions où la proportion d'apiculteurs professionnels est élevée (Alonso-Prados et al., 2021).

L'asymétrie fluctuante (AF), définie comme la variation aléatoire entre les côtés droit et gauche d'un organisme normalement symétrique, est un indicateur de stress développemental et de perturbations environnementales. Dans le cas des abeilles, l'AF des ailes antérieures est particulièrement pertinente, car elle peut révéler des conséquences extrêmes du stress pathogène

et environnemental. Ainsi, l'étude de l'asymétrie des ailes peut offrir des informations précieuses sur l'effet de facteurs pathogènes comme *Nosema spp.* et les virus (BQCV, DWV-A et DWV-B) sur la santé et la viabilité des colonies *A. m. intermissa*, une sous-espèce endémique de l'Afrique du Nord et bien adaptée aux conditions locales.

Dans ce contexte, ce chapitre vise à explorer l'influence de l'infection par *Nosema spp.* et des charges virales des BQCV, DWV-A, et DWV-B sur l'asymétrie des ailes antérieures chez *A. m. intermissa*. L'objectif est d'évaluer dans quelle mesure ces infections affectent la symétrie morphologique et, par extension, la stabilité développementale de cette sous-espèce. De plus, en identifiant les relations entre asymétrie et charges pathogènes, cette étude pourrait contribuer à une meilleure compréhension de l'impact de ces agents sur les abeilles et offrir des perspectives pour des stratégies de gestion sanitaire plus ciblées pour les colonies.

5.2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

5.2.1 Lieu et Date de l'Échantillonnage

L'étude a été menée en Algérie, avec des échantillons collectés entre avril et juin 2024 dans deux régions : Blida et Boumerdès. Ces localités ont été sélectionnées en raison de leurs conditions environnementales contrastées, dans le but d'évaluer leur impact potentiel sur la morphologie et la santé des abeilles mellifères ouvrières. Les analyses virologiques ont été réalisées au Laboratoire des Maladies des Abeilles de l'Université des Sciences de la Vie de Varsovie (Pologne), en utilisant la technique de qPCR pour la détection de virus spécifiques. Les analyses morphométriques des ailes ont été effectuées au Département de Zoologie et de Bien-être Animal de l'Université d'Agriculture de Cracovie (Pologne), afin de mesurer les variations morphologiques et détecter d'éventuelles asymétries fluctuantes liées à des facteurs de stress. Matériels Biologiques. L'échantillon biologique se compose de 329 abeilles ouvrières de l'espèce *A. m. intermissa*, provenant de 13 colonies réparties dans les régions de Blida et Boumerdes. Ces colonies ont été sélectionnées pour refléter une diversité environnementale, et les abeilles ont été prélevées de manière aléatoire dans chaque colonie afin de maximiser la représentativité de la diversité morphologique au sein des colonies.

Les abeilles ont été prélevées directement dans des flacons d'éthanol et congelées jusqu'au jour de la manipulation, afin de préserver l'intégrité des ailes et des autres structures pour les analyses morphométriques. Seules les abeilles avec des ailes antérieures intactes ont été conservées pour

l'analyse, celles endommagées ou incomplètes ayant été exclues de l'étude. Les ailes antérieures gauche et droite ont été disséquées et montées entre deux lames de microscope pour une observation et une imagerie de haute qualité.

5.2.2 Acquisition et Préparation des Images

Après la dissection, les ailes ont été photographiées à l'aide d'une caméra USB haute résolution équipée d'une lentille macro. Les images ont été sauvegardées au format PNG avec une résolution de 2400 dpi, garantissant une qualité suffisante pour des mesures précises. Les ailes jugées endommagées, sales ou manquant de veines ont été écartées pour minimiser les erreurs d'analyse.

5.2.3 Analyse Morphométrique

La morphométrie des ailes a été étudiée en utilisant des techniques de morphométrie géométrique. Dix-neuf points de repère anatomiques ont été identifiés sur chaque aile antérieure à l'aide de logiciels spécialisés : IdentiFly v.1.8, permettant une analyse détaillée de la forme et de l'asymétrie. Les paramètres mesurés incluent la taille des ailes (CS), l'asymétrie de taille des ailes (CS.asym), et l'asymétrie de forme (PD.FA et MD.FA). Ces caractéristiques ont été évaluées pour leur potentiel de corrélation avec des facteurs environnementaux et infectieux, notamment les infections virales. Les données relatives aux ouvrières sont disponibles sur le site Zenodo à l'adresse suivante : <https://zenodo.org/records/13939415>, Les images des ailes antérieures des ouvrières ont été obtenues dans le cadre d'une étude des images de l'aile antérieures des abeilles (*Apis mellifera*) en Algérie (Haider et al., 2024).

5.2.4 Comptage des spores de *Nosema*

Pour déterminer le degré d'infection de *Nosema spp.* dans un échantillon, il a été suggéré d'utiliser une évaluation subjective basée sur une échelle d'infection en trois niveaux arbitraires : faible, modéré et élevé (Doull & Eckert, 1962; Gross & Runtter, 1970). Cependant, pour des fins de recherche, de telles estimations ne devraient pas être employées si un certain degré de précision est requis.

La méthode la plus simple pour compter les spores de *Nosema spp.* consiste à utiliser un hémocytomètre traditionnel, comme décrit dans l'article de la BEEBOOK consacré aux méthodes

diverses (Human et al., 2013) et par Cantwell (1970). Bien que les levures et les spores de *Nosema* réfléchissent la lumière différemment en microscopie optique régulière, l'utilisation de la microscopie à contraste de phase permet d'éviter toute erreur d'identification.

5.2.5 Analyse des Virus BQCV, DWV A et DWV B chez les Abeilles

Les échantillons d'abeilles adultes ont été collectés dans 13 colonies réparties dans deux régions apicoles : Blida et Boumerdès. Les abeilles ont été placées dans des tubes stériles et conservées à basse température pour préserver l'intégrité de l'ARN. L'extraction de l'ARN viral a été réalisée à l'aide d'un kit spécialisé, suivie d'une transcription inverse pour convertir l'ARN en ADNc. La quantification des virus BQCV, DWV A et DWV B a ensuite été effectuée par qPCR en utilisant des primers et sondes spécifiques. Des contrôles positifs et négatifs ont été intégrés pour garantir la fiabilité des résultats, tandis que les données ont été normalisées à l'aide d'un gène de référence interne. Cette méthodologie a permis d'évaluer avec précision la charge virale et la prévalence des virus dans les colonies étudiées.

5.2.6 Analyse Statistique

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R version 4.3.2. Des tests de corrélation ont été effectués pour examiner les relations entre l'asymétrie des ailes, la taille des ailes et les niveaux d'infection par *Nosema*. Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été menée pour comparer la morphologie des ailes des abeilles entre les deux localités. De plus, une Analyse de Variance Multivariée (MANOVA) a été utilisée pour évaluer les différences dans les scores des composantes principales entre les groupes, ainsi qu'une ANOVA pour comparer la taille du Centroïde (CS) des ailes entre les localités.

Cette figure (**Fig.31**) montre la position géographique de Blida et Boumerdes sur la carte de l'Algérie, superposée aux informations d'altitude. Blida est représentée par des cercles rouges et Boumerdes par des triangles bleu clair, avec une légende en niveaux de gris indiquant les altitudes dans toute la région. Les deux localités sont situées dans le nord de l'Algérie, où les échantillons pour l'étude ont été collectés.

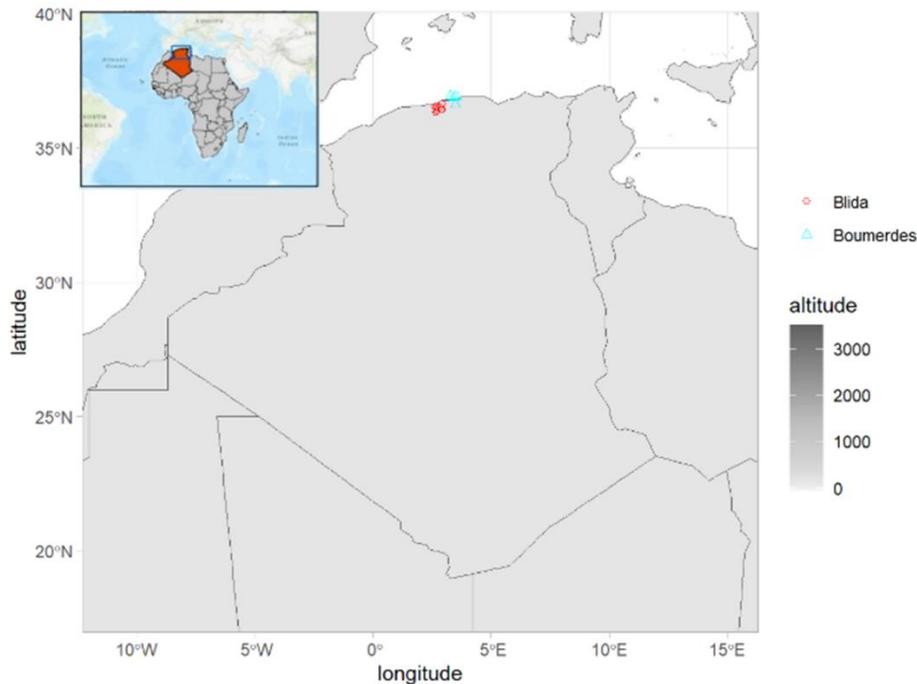


Figure.31 Distribution Géographique et Représentation de l'Altitude des Sites d'Échantillonnage de Blida et Boumerdes dans le Nord de l'Algérie

La figure (32-33) représente l'analyse morphométrique géométrique de la forme de l'aile antérieure de l'abeille domestique (*A. m. intermissa*), en utilisant 19 points de repère anatomiques. Les points noirs indiquent les repères observés sur les ailes, et les lignes rouges relient ces repères, illustrant la structure de l'aile antérieure pour l'analyse de la forme.

En résumé, cette figure 33 constitue un élément fondamental de la morphométrie géométrique, centré sur la morphologie des ailes d'abeille ouvrières sont caractérisées par 19 points repères (points rouges sur la photo) correspondant aux intersections des principales nervures des ailes

antérieures. L'analyse de ces points de repère permet de révéler d'éventuelles variations de forme d'aile entre différentes populations ou conditions environnementales, contribuant ainsi à notre compréhension de l'adaptabilité et de la santé des abeilles domestiques.

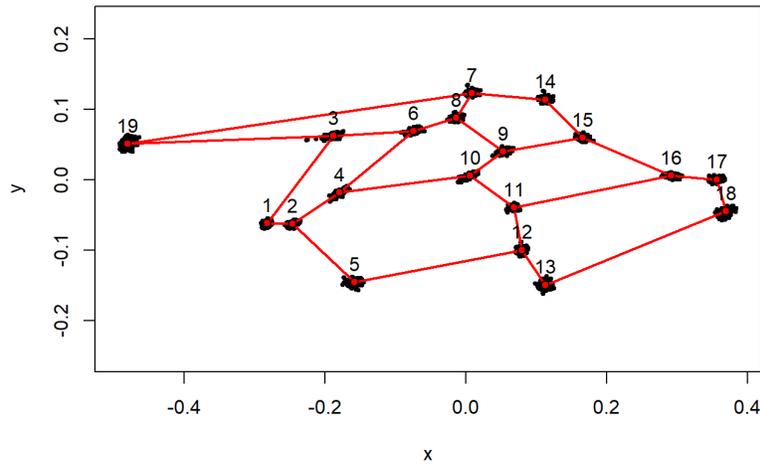


Figure.32 Configuration de 19 Points de Repère Anatomiques de la Forme de l'Aile Antérieur d'Abeille : Analyse de Morphométrie Géométrique.

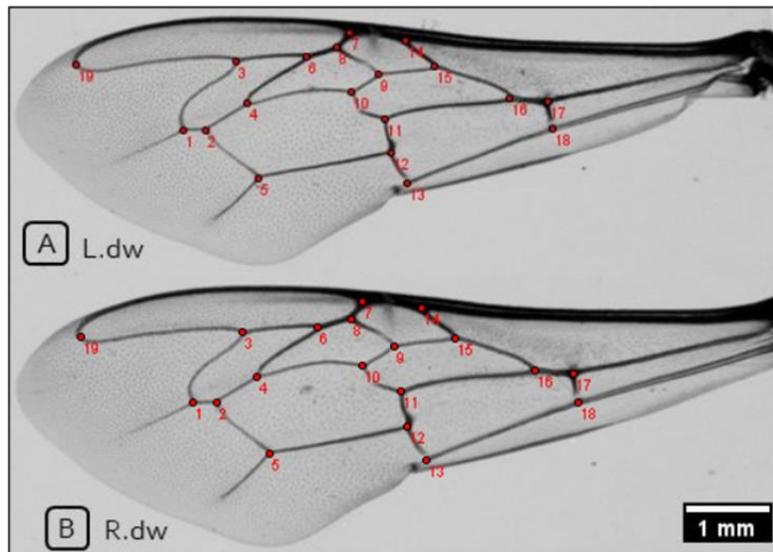


Figure.33 Ailes Dorsales Antérieures Gauche (A) et Droite (B) d'un Spécimen Ouvrière d'*A. m. intermissa* Montrant les Caractéristiques Morphologiques des Repères. Les points rouges numérotés indiquent la position des dix-neuf repères utilisés pour les mesures des ailes. La barre d'échelle indique 1 mm.

5.3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Ce chapitre explore l'impact de la microsporidie *Nosema spp.* et de différentes charges virales (Black Queen Cell Virus, Deformed Wing Virus-A et Deformed Wing Virus-B) sur l'asymétrie des ailes antérieures de l'abeille mellifère algérienne, *Apis mellifera intermissa*. L'étude met en évidence des corrélations entre les charges pathogènes et les anomalies morphologiques, offrant un aperçu crucial des effets de ces agents pathogènes sur la morphologie et la santé des abeilles. Les résultats obtenus pourraient aider à affiner les stratégies de gestion sanitaire dans les colonies, en ciblant les infections spécifiques pour réduire les impacts sur les performances et la survie des populations apicoles en Algérie.

5.3.1 Variation Géographique

Les ellipses représentent les intervalles de confiance à 95 % pour les deux groupes. Bien qu'il y ait un certain chevauchement entre les ailes antérieures de Blida et celles de Boumerdes, la différenciation des clusters suggère des différences géographiques modérées dans la morphologie des ailes entre les deux régions. Les colonies de Boumerdes présentent une répartition plus large le long des deux axes, indiquant une plus grande variabilité dans la forme des ailes comparée aux colonies de Blida.

Cette figure 34 présente les résultats d'une analyse en composantes principales (ACP) de la morphologie des ailes d'abeilles (*A. m. intermissa*) provenant de deux régions géographiques en Algérie : Blida et Boumerdes. Les deux axes représentent les deux premières composantes principales (CP1 et CP2), qui expliquent ensemble environ 46,7 % de la variance dans la morphologie des ailes (CP1 = 29,4 %, CP2 = 17,3 %).

L'analyse de la forme des ailes antérieures des abeilles mellifères révèle des informations importantes sur leur morphologie, qui sont cruciales pour comprendre leur dynamique de vol et leurs applications potentielles dans les conceptions biomimétiques. Les études fournissent de vastes ensembles de données contenant des images des ailes antérieures et des coordonnées des points de repère, ce qui facilite un examen détaillé des variations entre les différentes populations et les différentes conditions environnementales (Oleksa et al., 2023; Tofilski et al., 2024). Un

ensemble de données complet comprend des images d'ailes antérieures de diverses populations d'abeilles mellifères, telles que 4 117 images de reines et 8 006 images de drones (Tofilski et al., 2024), et 2 282 images d'abeilles ouvrières en Serbie (Kaur et al., 2023). L'analyse de ces images permet d'identifier des caractéristiques morphologiques, telles que la longueur et la forme des ailes, qui peuvent varier de manière significative en fonction de la situation géographique et de facteurs environnementaux (Aglagane et al., 2022, 2023; Kaur et al., 2023; Tofilski et al., 2024).

La séparation le long de CP1 et CP2 indique que la morphologie des ailes d'abeilles peut varier entre ces deux localités. Cela pourrait être attribué à des facteurs environnementaux, des pratiques apicoles locales ou des différences génétiques entre les colonies de chaque région. Par exemple, des études antérieures ont suggéré des ailes plus grandes chez les colonies de Blida, possiblement liées à l'utilisation de cire gaufrée par les apiculteurs locaux. Les abeilles domestiques obtiennent des indices de reconnaissance des partenaires de nidification grâce à la cire, ce qui influence considérablement leurs interactions sociales. Les chercheurs exposés à des substrats en rayons de cire ont montré une acceptabilité réduite pour les abeilles sœurs, ce qui indique que la cire joue un rôle essentiel dans l'identité des colonies et la cohésion social (Breed et al., 1988). Des fondations en cire contaminées ont été associées à un mauvais développement des couvains et à une réduction des populations de colonies. Une étude a révélé que de fortes concentrations d'acaricides dans la cire entraînaient une diminution du nombre de cellules de couvain recouvertes et de la taille globale de la population (Alkassab et al., 2020). De plus, l'exposition au pollen traité aux pesticides a eu un effet négatif sur la santé reproductive des reines, affectant indirectement la viabilité des colonies (Milone & Tarpy, 2021).

CP1 (29,4 %) représente probablement la variation la plus significative de la morphologie des ailes entre les deux régions, reflétant peut-être des différences de taille ou de forme. CP2 (17,3 %) capture une variation secondaire, qui pourrait inclure des différences spécifiques de forme non directement liées à la taille globale.

Des études futures pourraient explorer l'impact de la cire gaufrée sur la morphologie et la santé des abeilles domestiques en Algérie. Bien que l'ACP démontre une variation géographique de la morphologie des ailes, des recherches supplémentaires pourraient se concentrer sur d'autres facteurs environnementaux ou biologiques, comme les infections virales, les conditions

climatiques ou la disponibilité de la nourriture, qui peuvent contribuer aux différences observées entre les populations d'abeilles de Blida et Boumerdes.

Cette ACP suggère une variation morphologique modérée mais distincte entre les populations d'abeilles des régions de Blida et Boumerdes, soulignant l'influence potentielle des facteurs locaux sur la structure des ailes. Des études futures pourraient aider à clarifier les causes sous-jacentes de ces différences et leur impact sur la santé et la productivité des colonies.

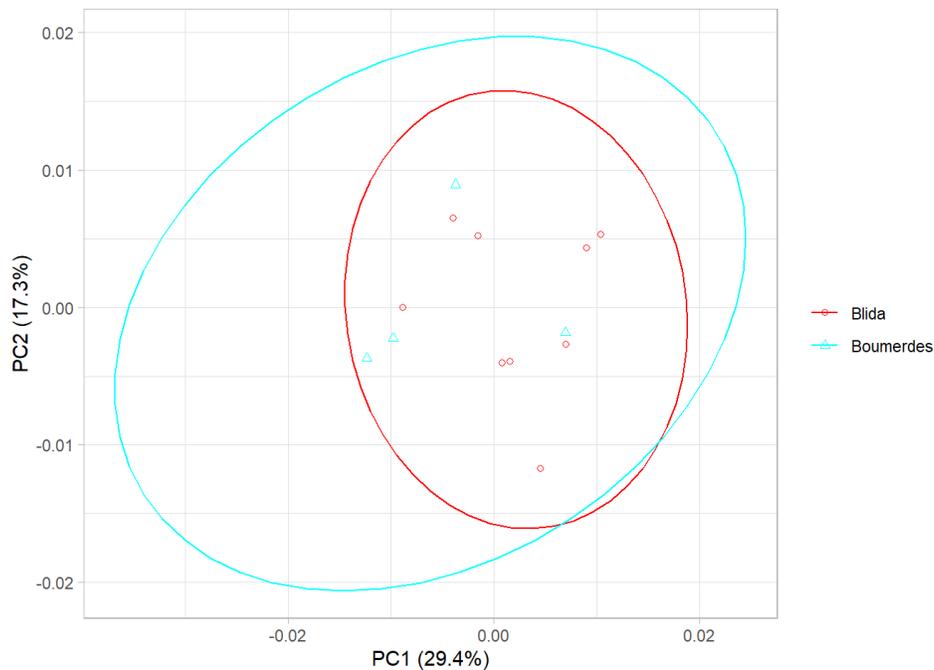


Figure.34 Analyse en Composantes Principales (ACP) de la Morphologie des Ailes Antérieures d'Abeilles dans Deux Localités Algériennes : Blida et Boumerdes.

La valeur de la trace de Pillai (0,9282) mesure l'effet global du groupe sur les 11 composantes principales. Elle est souvent considérée comme l'une des statistiques les plus robustes pour les tests multivariés.

Le rapport F approximatif (1,1753) compare la variance expliquée par la variable de regroupement à la variance résiduelle. Une valeur F plus élevée indiquerait une différence plus marquée entre les groupes.

La valeur p élevée ($p = 0,6239$) suggère que la variable de regroupement n'explique pas significativement la variance entre les 11 composantes principales. Autrement dit, il n'existe pas de preuve solide de différences significatives entre les groupes selon l'analyse multivariée.

L'analyse MANOVA indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les groupes selon leurs scores en composantes principales. Avec une valeur p bien supérieure au seuil de signification conventionnel (par ex., 0,05), nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle les deux groupes sont similaires dans leurs profils multivariés.

Ces résultats non-significatifs suggèrent que la variable de regroupement n'a pas d'impact significatif sur la variation observée entre les 11 composantes principales. En pratique, cela pourrait signifier que les facteurs géographiques ou autres représentés n'expliquent pas une part importante de la variabilité des données. Une analyse plus approfondie pourrait explorer si d'autres facteurs ou une combinaison de facteurs permettraient une différenciation de groupe plus significative. **(Tab.8)**

Tableau 8. Analyse de Variance Multivariée (MANOVA) des Scores des Composantes Principales pour les Différences entre Groupes.

Source	Df	Trace de Pillai	Approx. F	Df Num	Df Den	P-value
geo.data.sample\$gr (Groupe)	1	0.9282	1.1753	11	1	0.6239
Résidus	11					

Un test ANOVA à un facteur a été réalisé pour tester s'il existe une différence significative dans la taille du centroïde (CS) des ailes d'abeilles ouvrières *A. m. intermissa* entre deux groupes (localisations)**(Tab.9)**. Les résultats sont les suivants :

La valeur p de 0,61 est bien supérieure au seuil de signification standard (généralement 0,05), indiquant qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative dans la taille du centroïde entre les deux localités (Blida et Boumerdes). La valeur F de 0,276 est également faible, suggérant une faible preuve contre l'hypothèse nulle selon laquelle les moyennes des deux groupes sont égales.

L'absence de différence significative dans la taille des ailes entre les deux groupes suggère que les facteurs environnementaux ou génétiques influençant la taille des ailes dans les populations

d'*A. m. intermissa* de ces localités peuvent être similaires. Alternativement, cela pourrait indiquer que la taille des ailes n'est pas très variable dans ces zones géographiques ou n'est pas fortement affectée par les conditions spécifiques de chaque localité (comme le climat, la disponibilité de nourriture, ou les pratiques apicoles). Des analyses plus poussées, possiblement avec un échantillon plus large ou des facteurs supplémentaires tels que les variables environnementales, pourraient fournir des informations supplémentaires sur de potentielles différences subtiles entre les populations.

Tableau 9. L'ANOVA pour la Taille du Centroïde (CS) des Ailes d'Abeilles Ouvrières *A. m. intermissa* Entre Deux Localités

Source	Df	Somme des Carrés	Carré Moyen	F-value	P-value
Groupe (gr)	1	0,00240	0,002397	0,276	0,61
Résidus	11	0,09558	0,008689		

Le boxplot (**Fig. 35**) présente la distribution de la taille du centroïde (CS), une mesure de la taille des ailes, pour les travailleuses d'*A. m. intermissa* provenant de deux localités en Algérie : Blida et Boumerdes.

Blida : La médiane de la CS est légèrement plus élevée que celle de Boumerdes, avec une gamme de valeurs plus cohérente, bien que des valeurs aberrantes suggèrent que certains individus ont des tailles d'ailes plus grandes.

Boumerdes : La CS présente une médiane légèrement inférieure, avec une gamme de données plus étroite et sans valeurs aberrantes apparentes.

Cette différence de CS pourrait indiquer une influence géographique ou environnementale sur la taille des ailes, qui pourrait être liée aux conditions locales telles que la disponibilité de nourriture, le climat ou les pratiques apicoles. La présence de valeurs aberrantes à Blida pourrait refléter une variabilité naturelle au sein de la population ou bien des facteurs environnementaux ou génétiques spécifiques affectant une partie des abeilles. L'utilisation de la cire gaufrée a été notée dans certaines colonies, en particulier celles de Blida. La cire gaufrée est une pratique apicole où des feuilles de cire sont fixées dans les cadres des ruches, fournissant un modèle pour la construction des rayons par les abeilles. Cela pourrait expliquer les tailles d'ailes plus grandes

observées dans ces colonies, car l'utilisation de la cire gaufrée peut influencer le développement des abeilles (Breed et al., 1988). Il a été démontré que le CS différencie de manière fiable les espèces, comme dans le genre *Plebeia*, où le CS distinguait efficacement les espèces nichant dans différents substrats (Santos et al., 2019). Des études menées en Ukraine ont établi des normes morphométriques pour les populations d'abeilles locales, en utilisant CS et d'autres indices pour classer les ailes en groupes distincts, améliorant ainsi la compréhension de l'hybridation et de l'identification des sous-espèces (Galatyuk et al., 2023). La comparaison de la taille du centroïde (CS) des ailes des ouvrières d'*Apis mellifera* est essentielle pour analyser les variations morphologiques entre différentes populations et sous-espèces, ainsi que pour comprendre l'impact de l'environnement et des pratiques apicoles sur la structure des colonies. Le CS, qui représente un indicateur géométrique de la taille et de la forme de l'aile, permet d'évaluer des différences subtiles en utilisant des méthodes de morphométrie géométrique, souvent par analyse de points de repère (19 landmarks) placés sur des structures spécifiques de l'aile antérieure. Des études ont montré que la taille du centroïde varie en fonction de plusieurs facteurs, y compris l'origine géographique, les conditions climatiques et la génétique des populations d'abeilles (Garnery et al., 1998). Par exemple, des sous-espèces comme *Apis mellifera mellifera* et *Apis mellifera carnica* présentent des différences marquées dans la CS des ailes, révélant une adaptation morphologique potentielle aux conditions locales (Gross & Runtter, 1970). En outre, des recherches récentes suggèrent que le stress environnemental, notamment l'exposition aux pesticides et les variations de ressources alimentaires, peut également modifier la taille du centroïde en raison de perturbations dans le développement larvaire des ouvrières (Cavallin et al., 2019). L'analyse de la CS des ailes devient donc un outil puissant pour non seulement discriminer entre les sous-espèces, mais aussi évaluer l'état de santé et l'adaptation écologique des populations d'abeilles. Cela a des implications pour la conservation et la sélection des abeilles, en particulier dans le contexte actuel de déclin des populations d'abeilles domestiques et sauvages.

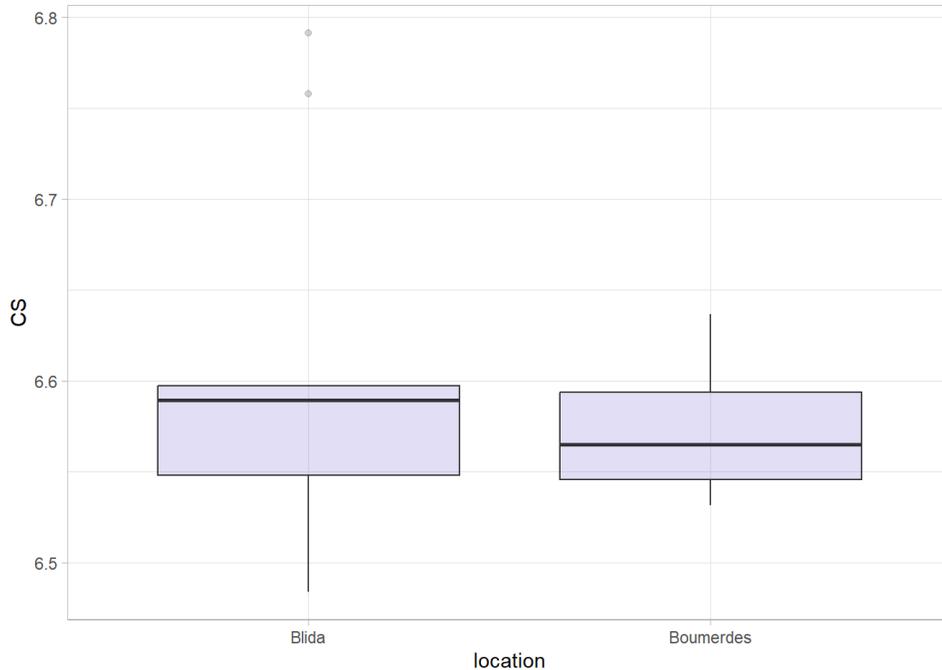


Figure.35 Comparaison de la Taille du Centroïde (CS) des Ailes des ouvrières d'*A. m. intermissa* de Blida et Boumerdes.

5.3.2 Comptes de Spores de *Nosema* et Analyse de Corrélation

Les comptes de spores de *Nosema* ont été mesurés pour chaque colonie en utilisant des techniques microscopiques standard (Cantwell, 1970; OIE, 2008).

Un microscope photonique utilisant un grossissement de 400 X suffit pour l'observation des spores de *Nosema spp.* (**Fig. 36**) dans les préparations d'abeilles macérées. Utilisation de la microscopie à lumière contrastée en phase facilite la distinction des spores de microsporidie de levure ou d'autres particules

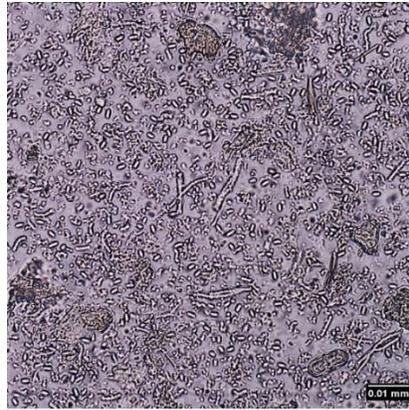


Figure.36 Vue microscopique des dénombrements de *Nosema spp* dans *A. m. intermissa*, dans un hémocytomètre à l'échelle 0,01 mm. X 400.

Une répartition des niveaux d'infection pour *Nosema apis* et *Nosema ceranae* chez les abeilles, basée sur les concentrations de spores par abeille. Cette interprétation est tirée de l'étude de Rennich et al. (2013), qui indique qu'une concentration de plus de 1,000,000 spores par abeille peuvent entraîner des dommages pour les colonies d'abeilles.

Niveau d'infection Intervalle de spores par abeille

Non détecté	$\leq 1 \times 10^4$ spores/abeille
Très faible	$1 \times 10^4 \leq X < 1 \times 10^5$
Faible	$1 \times 10^5 \leq X < 1 \times 10^6$
Modérée	$1 \times 10^6 \leq X < 2.5 \times 10^6$
Grave	$2.5 \times 10^6 \leq X \leq 5 \times 10^6$
Très grave	$\geq 5 \times 10^6$ spores/abeille

Cette classification permet de situer l'ampleur de l'infection de *Nosema spp*. Dans les colonies, facilitant ainsi la mise en place de mesures de gestion appropriées.

Les corrélations potentielles entre la morphologie des ailes (y compris la taille et l'asymétrie fluctuante) et les niveaux d'infection par *Nosema* ont été testées à l'aide de l'ANOVA et de tests non paramétriques de Kruskal-Wallis. Cependant, aucune relation significative n'a été observée, et seules les deux mesures d'asymétrie de forme (PD.FA et MD.FA) étaient corrélées entre elles.

Cette figure (**Fig.37**) présente une matrice de corrélation entre divers indicateurs de morphologie des ailes—CS (taille du centre des ailes), CS.asym (asymétrie de taille des ailes),

PD.FA (asymétrie fluctuante de distance de Procrustes), MD.FA (asymétrie fluctuante de distance de Mahalanobis) et les comptes de spores de *Nosema*. Elle permet d'illustrer les relations entre ces variables, avec les observations suivantes :

5.3.3 Corrélation d'Asymétrie de Forme des Ailes

La corrélation la plus forte et significative est observée entre les deux mesures d'asymétrie de forme des ailes—PD.FA et MD.FA (Corr : 0,696, marquée avec **), ce qui indique que ces deux mesures sont étroitement liées. Cela suggère une certaine cohérence dans la variation morphologique et l'asymétrie fluctuante au sein des colonies, probablement due à des facteurs environnementaux ou génétiques à l'échelle de la colonie influençant la forme des ailes.

5.3.4 Spores de *Nosema* et Morphologie des Ailes

Aucune corrélation significative n'a été trouvée entre les comptes de spores de *Nosema* et les indicateurs de morphologie des ailes (CS, CS.asym, PD.FA et MD.FA). Cela suggère qu'il n'y a pas de preuve claire d'une relation entre les niveaux d'infection par *Nosema* et l'asymétrie ou la taille des ailes dans ces populations d'abeilles, comme l'indiquent les faibles valeurs de corrélation entre les variables. Les abeilles présentant certaines morphologies d'ailes peuvent présenter des réponses immunitaires différentes, ce qui affecte leur sensibilité aux infections. Par exemple, les abeilles plus âgées, dont les ailes peuvent avoir des caractéristiques différentes, sont plus sensibles au *Nosema* (Porrini et al., 2020).

5.3.5 Taille vs. Asymétrie

Une faible corrélation négative est observée entre la taille des ailes (CS) et l'asymétrie de taille des ailes (CS.asym) (Corr : -0,351), indiquant que lorsque les ailes deviennent plus grandes, leur asymétrie tend à légèrement diminuer. Cependant, cet effet est faible et pourrait nécessiter une enquête plus approfondie avec des échantillons plus importants ou des ensembles de données différents.

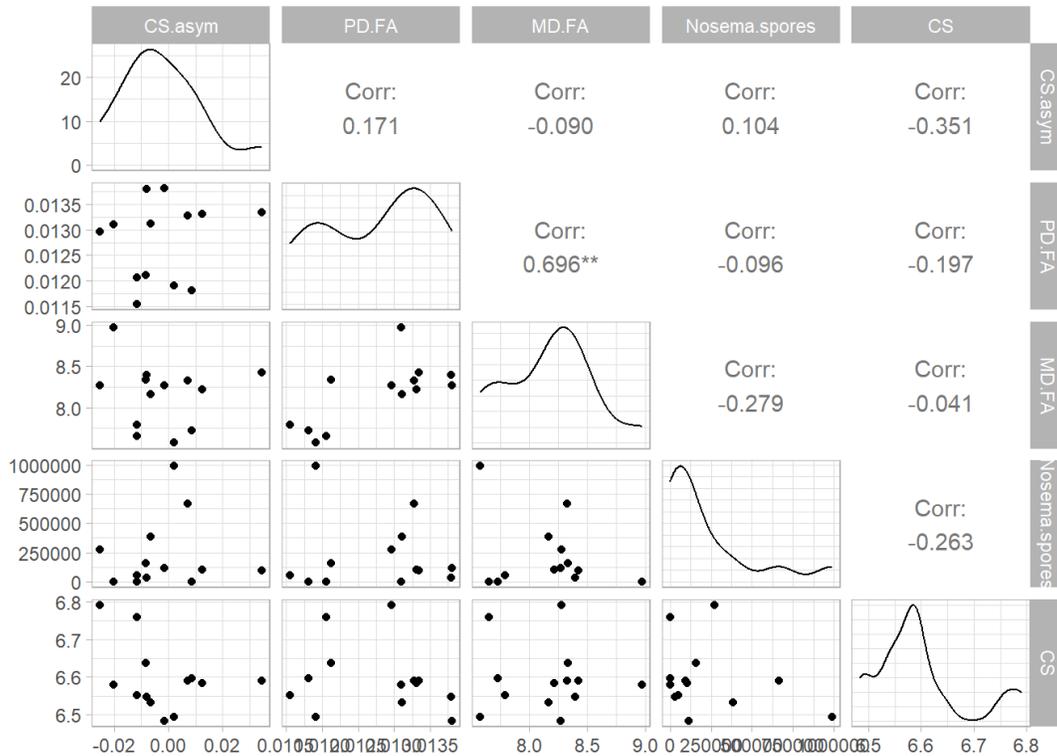


Figure.37 Matrice de Corrélation entre la Morphologie des Ailes et les Comptes de Spores de *Nosema* dans les Colonies d'*A. m. intermissa*.

Bien que les corrélations entre PD.FA et MD.FA soient significatives, l'absence de relations significatives entre les mesures de morphologie des ailes et les comptes de spores de *Nosema* suggère que la forme des ailes ou l'asymétrie de taille ne sont peut-être pas des indicateurs fiables de la santé de la colonie en termes de niveaux d'infection par *Nosema*.

Le tableau 10 présente les résultats clés pour trois corrélations principales observées dans l'étude, incluant la force des relations (corrélation r), leur signification statistique (valeur de t et p), ainsi que les intervalles de confiance pour chaque corrélation.

DWV-B vs. *Nosema spp.* : La corrélation est forte ($r = 0,7823$) et significative ($p = 0,0016$) avec un intervalle de confiance de [0,407 à 0,932]. Cela indique que des niveaux élevés de spores de *Nosema* sont associés à des charges virales plus élevées de DWV-B, suggérant une interaction potentiellement néfaste entre les deux pathogènes.

DWV-A vs. Taille des ailes (CS) : La corrélation est modérée ($r = 0,5593$) avec une significativité marginale ($p = 0,0469$) et un intervalle de confiance large [0,012 à 0,849],

montrant une association possible mais incertaine entre la taille des ailes et les charges virales de DWV-A.

BQCV vs. Asymétrie des ailes (CS.asym) : Une corrélation modérée à forte ($r = 0,6474$) et significative ($p = 0,0168$), avec un intervalle de confiance [0,150 à 0,883], suggère que l'asymétrie des ailes est associée à des charges virales plus élevées de BQCV, ce qui pourrait indiquer un lien entre stress et vulnérabilité virale.

Ces corrélations mettent en évidence des interactions possibles entre la morphologie des abeilles et leur niveau de pathogènes, indiquant des axes de recherche pour améliorer la gestion sanitaire des colonies. (Tab.10)

Tableau 10. Résumé des résultats statistiques clés pour les trois corrélations

	t-value	df	P-value	95% Intervalle de confiance	Corrélation (r)
DWV.B vs. <i>Nosema Spp</i>	4.1653	11	0.001575	[0.407, 0.932]	0.7823
DWV.A vs. CS	2.2378	11	0.04689	[0.012, 0.849]	0.5593
BQCV vs. CS.asym	2.8169	11	0.01676	[0.150, 0.883]	0.6474

5.3.6 Corrélation entre la Charge Virale de DWV-B et les Spores de *Nosema* chez les *A. m. intermissa*

La corrélation entre la charge virale du virus des ailes déformées de type B (DWV-B) et la charge en spores de *Nosema* chez *Apis mellifera* est un sujet clé pour comprendre l'impact des infections multiples sur la santé des colonies d'abeilles. Le DWV-B, un virus particulièrement virulent, est majoritairement transmis par le parasite *V. destructor*, qui affaiblit le système immunitaire des abeilles et les rend plus susceptibles à d'autres infections (Martin et al., 2012). Les spores de *Nosema*, en particulier *Nosema ceranae*, sont des microsporidies qui attaquent le système digestif des abeilles, réduisant leur absorption de nutriments et entraînant des troubles énergétiques (Higes et al., 1999). Des études ont montré que les abeilles fortement infectées par *Nosema* présentent une charge virale accrue en DWV-B, suggérant que *Nosema* pourrait affaiblir les barrières immunitaires, facilitant ainsi la réplication du virus (Doublet et al., 2015; Fries et al., 2013).

La synergie entre *Nosema* et DWV-B se traduit par des effets amplifiés sur la mortalité des abeilles et l'affaiblissement global des colonies, ce qui menace leur survie, notamment en hiver (Natsopoulou et al., 2017). Par conséquent, la gestion de la santé des abeilles devrait inclure des pratiques visant à contrôler à la fois les infestations par *Varroa* et *Nosema*, afin de minimiser l'impact combiné de ces agents pathogènes.

La figure 38 montre une relation linéaire positive entre le nombre de spores de *Nosema* et les niveaux de DWV-B (variante B du Virus de l'Aile Déformée) chez *A. m. intermissa*. Le test statistique utilisé (corrélation de Pearson) révèle les éléments suivants : Coefficient de corrélation ($r=0,782$), ce qui indique une corrélation positive forte entre les spores de *Nosema* et les niveaux de DWV-B. En d'autres termes, à mesure que le nombre de spores de *Nosema* augmente, la quantité de DWV-B tend également à augmenter. P-value : 0,001575, qui est très faible et statistiquement significative. Cela signifie qu'il y a une très faible probabilité que cette corrélation observée soit due au hasard, renforçant ainsi la solidité de cette association. L'intervalle de confiance à 95 % varie de 0,41 à 0,93, ce qui suggère encore que la corrélation réelle entre les spores de *Nosema* et DWV-B est probablement forte et positive.

Corrélation Positive : La corrélation positive significative ($r = 0,782$) suggère que les niveaux d'infection de *Nosema spp.* (Un parasite microsporidien) sont associés à une augmentation des niveaux de DWV-B chez les abeilles domestiques. Cela correspond à l'hypothèse selon laquelle l'infection par *Nosema* pourrait exacerber les infections virales ou que les charges virales augmentent en réponse au stress induit par *Nosema*.

Ce résultat pourrait indiquer que l'infection par *Nosema* influence directement ou indirectement la réplication virale de DWV-B. Le stress induit par *Nosema* pourrait affaiblir le système immunitaire de l'abeille, permettant à DWV-B de se répliquer plus facilement, ou bien des effets synergiques pourraient exister, où les deux agents pathogènes ensemble causent davantage de dommages aux abeilles.

Implications pour la Santé des Abeilles : Puisque *Nosema* et DWV sont tous deux des agents pathogènes majeurs associés aux pertes de colonies d'abeilles, cette interaction pourrait avoir des conséquences importantes pour la santé des colonies. Les apiculteurs pourraient avoir besoin de surveiller à la fois le nombre de spores de *Nosema* et les charges virales de DWV, car contrôler un pathogène pourrait aider à atténuer la sévérité de l'autre.

Le résultat suggère qu'il est nécessaire d'explorer davantage comment la co-infection avec plusieurs pathogènes affecte la santé des abeilles. Plusieurs études ont rapporté des résultats similaires où les interactions entre plusieurs pathogènes aggravent les effets des maladies (Adjlane et al., 2012; Alonso-Prados et al., 2021; Gray et al., 2023; Hristov et al., 2020; Tantillo et al., 2015; Van Esch et al., 2020). La forte corrélation entre les spores de *Nosema* et DWV-B dans ces données met en évidence la dynamique complexe des pathogènes des abeilles, et les apiculteurs pourraient envisager des stratégies de gestion intégrée des parasites (IPM) qui ciblent plusieurs pathogènes simultanément (Jack & Ellis, 2021; Radzevičiūtė et al., 2021).

Il serait intéressant d'examiner si la réduction des charges de spores de *Nosema* (par exemple, via des traitements au fumagillin ou d'autres méthodes). (Doublet et al., 2015; Higes et al., 2006) entraîne également une diminution des niveaux de DWV-B ou si la relation est principalement influencée par d'autres facteurs, comme les stress environnementaux ou une mauvaise nutrition, qui pourraient affecter les deux pathogènes (Porrini et al., 2020).

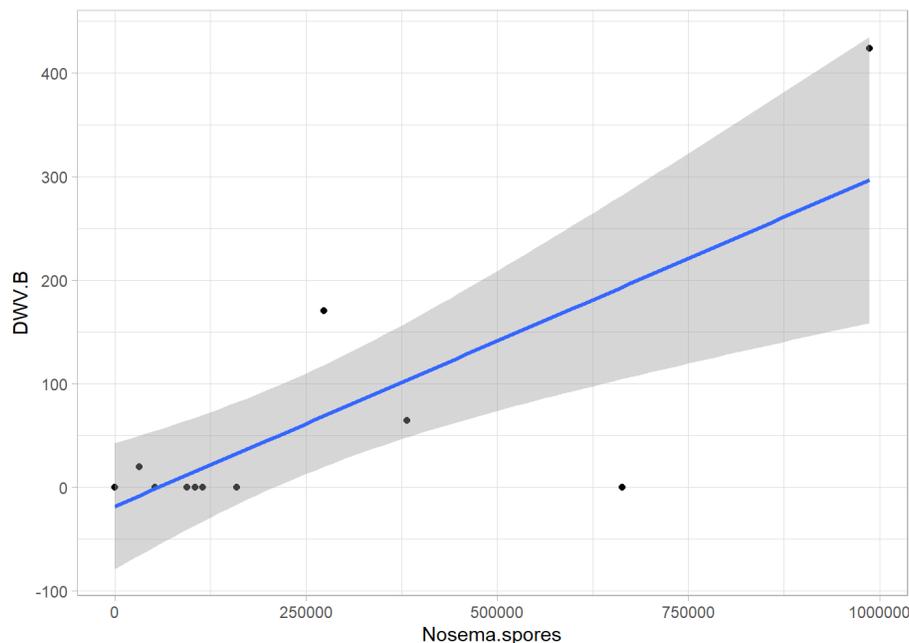


Figure.38 Corrélation entre la Charge Virale de DWV-B et les Spores de *Nosema* chez *A. m. intermissa*.
($r=0,782$), P-value : 0,001575

5.3.7 Corrélation entre la Charge Virale de DWV-A et les Ailes (CS) chez *A. me. intermissa*

Corrélation positive modérée entre CS et les niveaux de DWV-A ($r = 0,559$) (**Fig.39**), ce qui signifie que, à mesure que CS augmente, les niveaux de DWV-A ont tendance à augmenter, bien

que cette relation soit plus faible que la corrélation observée dans les données précédentes pour DWV-B et les spores de *Nosema*. Ce résultat est juste en dessous du seuil de signification communément accepté de 0,05, (P-value = 0,04689) ce qui signifie que la relation est statistiquement significative, mais seulement de manière marginale. Cela suggère des preuves faibles que cette corrélation n'est pas due au hasard. L'intervalle de confiance est assez large (0,012 à 0,849), indiquant une certaine incertitude dans l'estimation de la corrélation. La borne inférieure (0,012) est très proche de zéro, ce qui implique que la corrélation réelle pourrait être assez faible, bien que la borne supérieure (0,849) suggère qu'elle pourrait être relativement forte. Cela reflète la nature modérée à faible de la corrélation. Le coefficient de corrélation de 0,559 montre une association positive modérée entre CS et DWV-A, mais elle est plus faible que la corrélation entre les spores de *Nosema* et DWV-B. Cela suggère que des valeurs plus élevées de CS sont associées à une augmentation des niveaux viraux de DWV-A, mais la relation n'est pas aussi nette qu'avec d'autres variables.

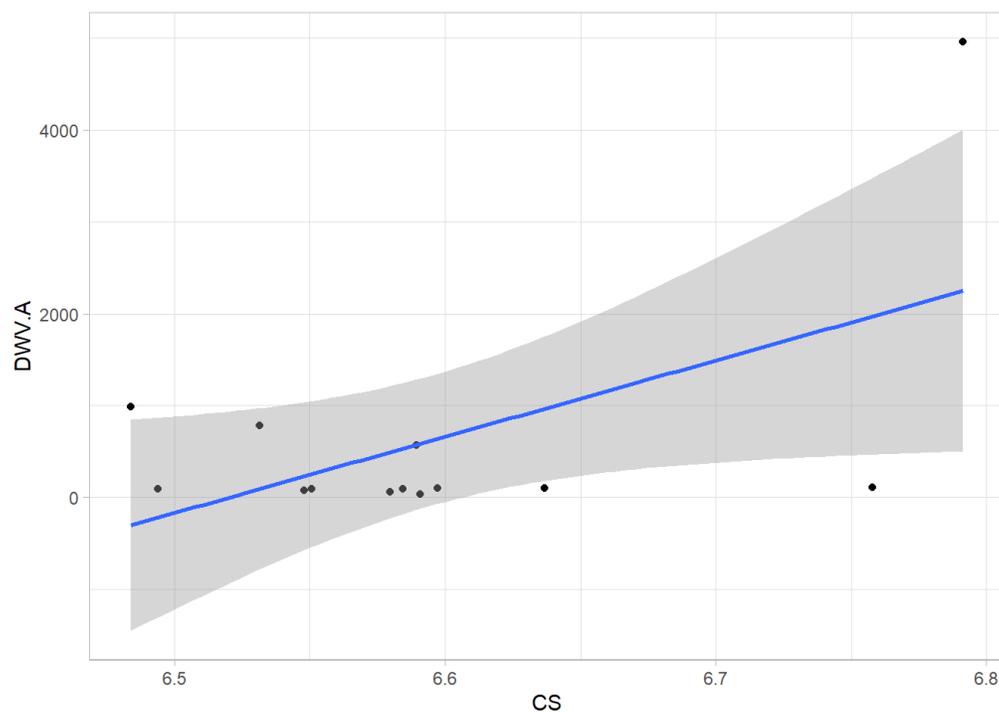


Figure.39 Association entre la Charge Virale de DWV-A et les Ailes (CS) chez *A. me. intermissa*. ($r = 0,559$), P-value = 0,04689

5.3.7.1 Interaction Pathogène :

Le DWV est connu pour être transmis par le parasite *V. destructor*, ce qui pourrait expliquer comment même des colonies fortes peuvent abriter des niveaux élevés de DWV. (Gregorc & Bakonyi, 2012; Natsopoulou et al., 2017) Si les colonies sont fortement infestées de *Varroa*, les charges virales peuvent augmenter même dans des colonies par ailleurs fortes ou populeuses.

5.3.7.2 Implications pour la Gestion des Colonies :

Si les niveaux de DWV-A sont en effet plus élevés dans les colonies avec un meilleur CS, les apiculteurs pourraient avoir besoin d'examiner le rôle des infestations de mites ou d'autres facteurs de stress qui permettent au virus de proliférer même dans les colonies qui semblent en bonne santé. Une intervention précoce (par exemple, traitements contre les mites ou réduction des facteurs de stress) pourrait être nécessaire pour éviter l'effondrement éventuel de ces colonies à mesure que DWV-A atteint des niveaux pathogènes (Natsopoulou et al., 2017; Remnant et al., 2018; Tantillo et al., 2015). La corrélation observée entre CS et DWV-A pourrait être un facteur important dans la compréhension de la dynamique virale au sein des colonies d'abeilles. Bien que l'association soit modérée et que la P-value suggère une signification marginale, cela souligne la complexité potentielle des évaluations de la santé des colonies. Les colonies fortes en termes de population ou de productivité pourraient encore héberger des niveaux dangereux de DWV-A, ce qui pourrait conduire à un déclin de la colonie à un stade ultérieur.

5.3.8 Corrélation entre la charge virale du BQCV et l'asymétrie des ailes (CS.asym) chez *A. m. intermissa*

La figure 40 présente la corrélation entre la charge virale du virus de la cellule reine noire (BQCV) et l'asymétrie des ailes (CS.asym) chez *A. m. intermissa*. Ce graphique montre une relation positive entre l'asymétrie des ailes des abeilles et les niveaux de BQCV. La ligne de régression en bleu représente une tendance positive, indiquant que les niveaux de BQCV augmentent avec l'asymétrie des ailes (CS.asym). Cela signifie qu'une plus grande asymétrie dans les ailes des abeilles est associée à des niveaux plus élevés de charge virale de BQCV. Le coefficient de corrélation ($R=0,647$) est modéré à fort, ce qui suggère une association notable entre l'asymétrie des ailes et l'infection par BQCV. L'intervalle de confiance (0,1498 à 0,8833) autour de la ligne de régression montre que, bien qu'il existe une incertitude dans cette

corrélation, la tendance reste significative, sans inclure zéro dans l'intervalle. Cela renforce l'hypothèse d'une relation positive.

5.3.8.1 Asymétrie des Ailes comme Indicateur de Stress

L'asymétrie dans les ailes pourrait être un indicateur de stress, causé par des facteurs environnementaux, nutritionnels ou parasitaires, qui affaiblissent la santé des abeilles. Ce stress pourrait rendre les abeilles plus vulnérables aux infections virales comme le BQCV (Alonso-Prados et al., 2021; Beims et al., 2023; Gregorc & Bakonyi, 2012; Tantillo et al., 2015).

5.3.8.2 Effet du BQCV sur le Développement des Abeilles

Le BQCV est connu pour cibler les larves de reines, entraînant leur mortalité, ce qui peut affecter la reproduction et la stabilité de la colonie (Gregorc & Bakonyi, 2012; Tantillo et al., 2015). Une corrélation positive entre BQCV et l'asymétrie des ailes pourrait signifier que les colonies infectées présentent une santé réduite, impactant la croissance symétrique des individus.

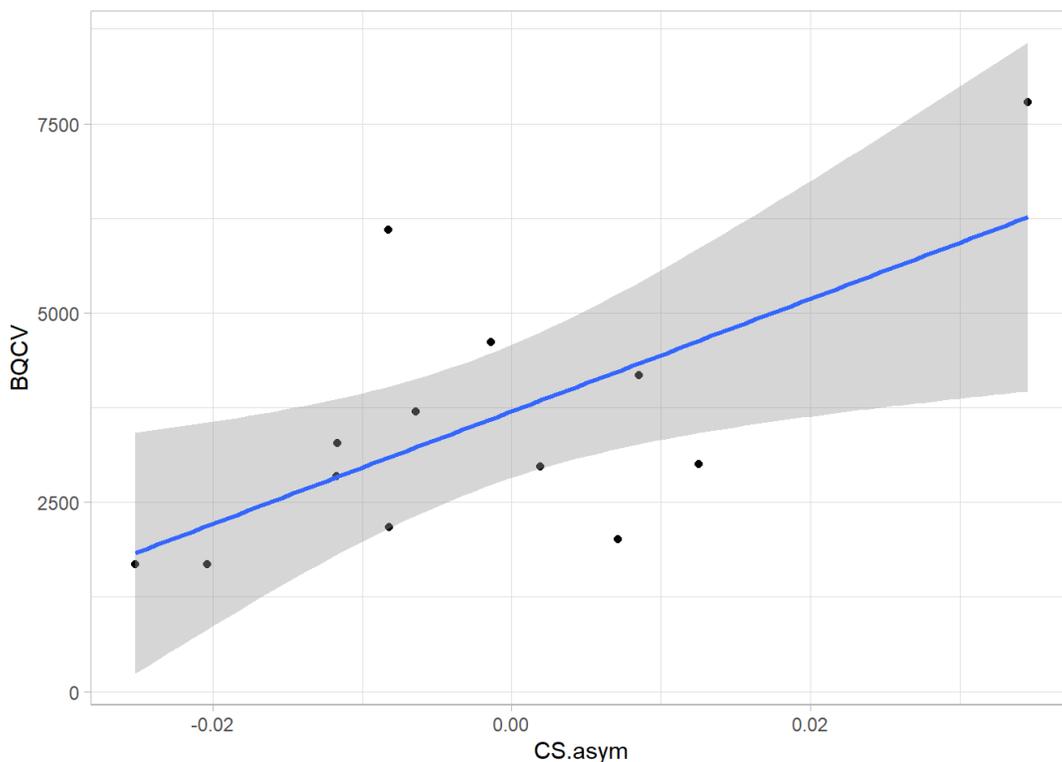


Figure.40 Corrélation entre la charge virale du BQCV et l'asymétrie des ailes (CS.asym) chez *A. m. intermissa*. $R=0,647$, $P\text{-value}=0,01676$

5.4 CONCLUSION

Cette étude a exploré la morphologie des ailes d'*Apis mellifera intermissa* dans un contexte d'infections multiples par des pathogènes majeurs, incluant *Nosema spp.* et plusieurs virus. En examinant les relations entre la taille, l'asymétrie des ailes et les niveaux d'infection, elle a mis en lumière des interactions complexes qui influencent la santé des colonies d'abeilles.

Les résultats de l'analyse morphologique montrent que, bien que les variations dans la taille des ailes et les niveaux d'asymétrie fluctuent entre les colonies, aucune corrélation significative n'a été identifiée entre la morphologie des ailes et les niveaux d'infection par *Nosema*. Cependant, les deux mesures d'asymétrie de forme des ailes, PD.FA et MD.FA, étaient fortement corrélées entre elles, suggérant une certaine cohérence dans les variations morphologiques au sein des colonies, potentiellement influencée par des facteurs génétiques ou environnementaux communs.

L'analyse des corrélations entre les charges pathogènes et les indicateurs morphologiques des ailes a révélé des associations intéressantes avec les charges virales. Par exemple, une corrélation modérée à forte a été observée entre la charge virale de DWV-B et les spores de *Nosema*, suggérant que l'infection par *Nosema* pourrait aggraver les charges virales de DWV-B, possiblement en affaiblissant le système immunitaire des abeilles. Cette synergie entre *Nosema* et DWV-B met en évidence l'importance de considérer les co-infections dans la gestion de la santé des colonies.

Une relation significative, bien que plus faible, a également été trouvée entre la taille des ailes (CS) et les niveaux de DWV-A, ainsi qu'entre l'asymétrie de taille des ailes (CS.asym) et le BQCV. L'asymétrie des ailes, souvent associée à des facteurs de stress environnementaux ou nutritionnels, pourrait être un indicateur indirect de vulnérabilité aux infections virales.

Ces observations mettent en lumière la nécessité de stratégies de gestion intégrée des pathogènes (IPM) qui abordent simultanément les infestations par *Nosema* et les vecteurs de virus, comme *Varroa destructor*. En effet, le renforcement des mesures de contrôle pour ces pathogènes pourrait contribuer à atténuer leurs effets combinés sur la santé des colonies, particulièrement dans les environnements stressants.

En conclusion, bien que la morphologie des ailes seule ne puisse être utilisée comme un indicateur fiable de la charge en *Nosema*, les corrélations avec les charges virales indiquent des

liens potentiels entre le stress physiologique des abeilles et leur vulnérabilité aux infections. Les résultats de cette étude encouragent donc un suivi simultané des paramètres morphologiques et pathogéniques, et la mise en place de mesures de gestion préventive et intégrée pour préserver la vitalité des colonies d'*Apis mellifera intermissa*. Ces données enrichissent notre compréhension des interactions pathogènes dans des contextes de santé apicole et pourraient contribuer au développement de pratiques durables pour l'apiculture en Algérie et ailleurs.

Conclusion générale

6 Conclusion générale

Cette étude multidimensionnelle a permis d'apporter un éclairage approfondi sur la santé, la morphologie, le comportement hygiénique et les dynamiques de gestion des colonies d'abeilles locales en Algérie, principalement *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis*. En croisant des approches comportementales, morphométriques, sanitaires et sociotechniques, nous avons pu mettre en évidence des interconnexions fondamentales entre les pratiques apicoles, les caractéristiques biologiques des abeilles et leur résilience face aux pressions environnementales et pathogéniques.

D'une part, l'étude du comportement hygiénique des colonies a révélé une variabilité intercoloniale marquée et une forte influence saisonnière. Ces résultats suggèrent que certaines lignées d'*A. m. intermissa* possèdent un potentiel naturel de résistance au couvain pathogène ou parasité, notamment par *Varroa destructor*, ce qui ouvre la voie à des programmes de sélection axés sur ce trait adaptatif. Cette capacité à maintenir un couvain sain pendant les périodes de forte activité reflète également une stratégie évolutive en réponse aux stress environnementaux.

Parallèlement, l'analyse de la morphologie alaire en lien avec les infections par *Nosema spp.* et les virus (DWV-A, DWV-B, BQCV) a mis en évidence des corrélations significatives entre les déséquilibres morphologiques (asymétries) et certaines charges virales, suggérant que les altérations morphologiques pourraient refléter un stress physiologique aggravé par des co-infections. Ces interactions entre pathogènes soulignent l'importance d'une approche intégrée dans la gestion sanitaire des colonies.

L'étude sur les pratiques apicoles et la perception des apiculteurs algériens a, quant à elle, révélé un secteur dominé par l'apiculture stationnaire, caractérisé par des rendements en miel faibles, une sensibilisation limitée aux maladies et un accès inégal à l'éducation technique. Cette situation fragilise les efforts de conservation des sous-espèces locales et amplifie la vulnérabilité du secteur aux aléas climatiques, aux pertes génétiques et aux maladies émergentes.

L'ensemble de ces résultats converge vers une conclusion claire : la préservation de l'abeille locale en Algérie doit passer par une stratégie globale alliant conservation génétique, amélioration comportementale et transformation des pratiques apicoles. Il est essentiel de

promouvoir l'utilisation de reines localement adaptées, d'encourager l'élevage sélectif basé sur le comportement hygiénique, de mettre en œuvre des programmes de surveillance pathogénique intégrée (IPM), et de soutenir la formation continue des apiculteurs, notamment en matière de lutte biologique contre *Varroa* et de prévention des co-infections virales.

Face aux effets croissants du changement climatique, à l'hybridation génétique et à la pression des pathogènes, le développement de pratiques apicoles durables, informées scientifiquement et socialement adaptées est indispensable. Une meilleure compréhension des interactions entre génétique, environnement et agents pathogènes contribuera non seulement à la durabilité du secteur apicole en Algérie, mais aussi à la préservation de la biodiversité locale et à la sécurité alimentaire nationale.

Références bibliographiques

6 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abed, F., Bachir-Bouiadjra, B., Dahloum, L., Yakubu, A., Haddad, A., & Homrani, A. (2021). Procruste analysis of forewing shape in two endemic honeybee subspecies *Apis mellifera intermissa* and *A. m. sahariensis* from the northwest of Algeria. *Biodiversitas*, 22(1), 154–164. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220121>
- Abou-Lila, A. S. M., & Sawires, S. . (2024). The Fluctuation of Infestation with *Varroa* Mite on Honeybee Colonies in Egypt and Variation Study Using Scanning Electromicroscope. *Entomological News*, 131(1), 1–8. <https://doi.org/10.3157/021.131.0101>
- Abou-Shaara, H. F. (2014). The foraging behaviour of honey bees, *Apis mellifera*: A review. *Veterinarni Medicina*, 59(1), 1–10. <https://doi.org/10.17221/7240-VETMED>
- Abou-Shaara, H. F., Al-Ghamdi, A. A., & Mohamed, A. A. (2013). Body morphological characteristics of honey bees. *Agricultura*, 49(1–2), 45–49.
- Achou, L. W. (2015). An Insightful Molecular Analysis Reveals Foreign Honeybees Among Algerian Honeybee Populations (*Apis mellifera* L.). *Journal of Data Mining in Genomics & Proteomics*, 06(01). <https://doi.org/10.4172/2153-0602.1000166>
- Adam, B. (1983). *In search of the best strains of bees*. Northern Bee Books.
- Adams, J., Rothman, E. D., Kerr, W. E., & Paulino, Z. L. (1977). ESTIMATION OF THE NUMBER OF SEX ALLELES AND QUEEN MATINGS FROM DIPLOID MALE FREQUENCIES IN A POPULATION OF *APIS MELLIFERA*. *Genetics*, 86(3), 583–596. <https://doi.org/10.1093/genetics/86.3.583>
- Adjlane, N., Dainat, B., Gauthier, L., & Dietemann, V. (2016). Atypical viral and parasitic pattern in Algerian honey bee subspecies *Apis mellifera intermissa* and *A. m. sahariensis*. *Apidologie*, 47(5), 631–641. <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0410-x>
- Adjlane, N., Doumandji, S. E., & Haddad, N. (2012). Situation de l'apiculture en Algérie : Facteurs menaçant la survie des colonies d'abeilles locales *Apis mellifera intermissa*. *Cahiers Agricultures*, 21(4), 235–241. <https://doi.org/10.1684/agr.2012.0566>
- Adjlane, N., & Haddad, N. (2014). The first data on hygienic behavior of *Apis mellifera intermissa* in Algeria. *Journal of Biology and Earth Sciences*, 4(1), B1–B5.
- Adjlane, N., Haddad, N., & Doumandji, S. (2013). *Varroa destructor* resistance to fluvalinate in Algeria. *Trends in Entomology*, 9, 35–38.
- Aglagane, A., Oleksa, A., Er-Rguibi, O., Tofilski, A., El Mouden, E. H., Aamiri, A., & Aourir, M. (2023). Genetic diversity and population structure of the Saharan honey bee *Apis mellifera sahariensis* from southeastern Morocco: introgression assessment and implications for conservation. *Apidologie*, 54(3), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s13592-023-01009-9>
- Aglagane, A., Tofilski, A., Er-Rguibi, O., Laghzaoui, E. M., Kimdil, L., El Mouden, E. H.,

Références bibliographiques

- Fuchs, S., Oleksa, A., Aamiri, A., & Aourir, M. (2022). Geographical Variation of Honey Bee (*Apis mellifera* L. 1758) Populations in South-Eastern Morocco: A Geometric Morphometric Analysis. *Insects*, *13*(3). <https://doi.org/10.3390/insects13030288>
- Aizen, M. A., & Harder, L. D. (2009). The Global Stock of Domesticated Honey Bees Is Growing Slower Than Agricultural Demand for Pollination. *Current Biology*, *19*(11), 915–918. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.03.071>
- Al-Etby, M. A. . (2023). Defense Behavior of Honeybee *Apis mellifera* L. Hives: A Review. *Arab Journal of Plant Protection*, *41*(1), 85–92. <https://doi.org/10.22268/AJPP-41.1.085092>
- Alaux, C., Le Conte, Y., & Decourtye, A. (2019). Pitting wild bees against managed honey bees in their native range, a losing strategy for the conservation of honey bee biodiversity. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *7*(MAR), 1–4. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00060>
- Alburaki, M., Bertrand, B., Legout, H., Moulin, S., Alburaki, A., Sheppard, W. S., & Garnery, L. (2013). A fifth major genetic group among honeybees revealed in Syria. *BMC Genetics*, *14*(117). <https://doi.org/10.1186/1471-2156-14-117>
- Alemu, T., Seifu, E., & Bezabih, A. (2015). Postharvest handling, opportunities and constraints to honey production in northern Ethiopia. *Livestock Research for Rural Development*, *27*(5).
- Alghamdi, A. A., & Alattal, Y. Z. (2023). Expression Levels of Heat-Shock Proteins in *Apis mellifera jemenetica* and *Apis mellifera carnica* Foragers in the Desert Climate of Saudi Arabia. *Insects*, *14*(5). <https://doi.org/10.3390/insects14050432>
- Alkassab, A. T., Thorbahn, D., Frommberger, M., Bischoff, G., & Pistorius, J. (2020). Effect of contamination and adulteration of wax foundations on the brood development of honeybees. *Apidologie*, *51*(4), 642–651. <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00749-2>
- Alonso-Prados, E., González-Porto, A. V., Bernal, J. L., Bernal, J., Martín-Hernández, R., & Higes, M. (2021). A case report of chronic stress in honey bee colonies induced by pathogens and acaricide residues. *Pathogens*, *10*(8), 955. <https://doi.org/10.3390/pathogens10080955>
- Alqarni, A. S., Iqbal, J., Raweh, H. S., Hassan, A. M. A., & Oways, A. A. (2021). Beekeeping in the desert: Foraging activities of honey bee during major honeyflow in a hot-arid ecosystem. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(20). <https://doi.org/10.3390/app11209756>
- Altaye, S. Z., Meng, L., Lu, Y., & Li, J. (2019). The emerging proteomic research facilitates in-depth understanding of the biology of honeybees. *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(17). <https://doi.org/10.3390/ijms20174252>
- Amor, S. Ben, Mekious, S., Benfekih, L. A., Abdellattif, M. H., Boussebaa, W., Almalki, F. A., Hadda, T. Ben, & Kawsar, S. M. A. (2022). Phytochemical Characterization and Bioactivity of Different Honey Samples Collected in the Pre-Saharan Region in Algeria. *Life*, *12*(7), 1–18. <https://doi.org/10.3390/life12070927>
- Bakour, M., Laaroussi, H., Ousaaid, D., Oumokhtar, B., & Lyoussi, B. (2021). Antioxidant and Antibacterial Effects of Pollen Extracts on Human Multidrug-Resistant Pathogenic Bacteria.

Références bibliographiques

- Journal of Food Quality*, 2021, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2021/5560182>
- Baldensperger, P. (1932). Variété d'abeilles en Afrique du Nord. *5ème Congrès International. Entomology*, 829–839.
- Barour, C., Tahar, A., & Baylac, M. (2011). Forewing shape variation in Algerian honey bee populations of *Apis mellifera intermissa* (Buttel-Reepen, 1906)(Hymenoptera: Apidae): a landmark-based geometric morphometrics analysis. *African Entomology*, 19(1), 11–22.
- Barour, C., Tahar, A., Radloff, S. E., & Hepburn, H. R. (2005). Multivariate analysis of honeybees, *Apis mellifera* Linnaeus (Hymenoptera : Apidae) of the northeastern and southern regions of Algeria. *African Entomology*, 13(1), 17–23.
- Beaurepaire, A., Sann, C., Arredondo, D., Mondet, F., & Le Conte, Y. (2019). Behavioral genetics of the interactions between *Apis mellifera* and *Varroa destructor*. *Insects*, 10(9), 1–13. <https://doi.org/10.3390/insects10090299>
- Beims, H., Janke, M., von der Ohe, W., & Steinert, M. (2023). Influence of virus abundances in donor colonies and nurse hives on queens of *Apis mellifera* during the rearing process. *Open Veterinary Journal*, 13(7), 879–893. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2023.v13.i7.10>
- Ben Abdelkader, F. (2020). Situation of Beekeeping in North Africa. *Journal of Apitherapy and Nature*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.35206/jan.719721>
- Bendifallah, L., Doumandji, S., Louadi, K., & Iserbyt, S. (2012). Geographical variation in diversity of pollinator bees at natural ecosystem (Algeria). *International Journal of Science and Advanced Technology*, 2(11), 26–31.
- Bendifallah, L., & Ortiz-Sánchez, F. J. (2018). Flowering plants preferred by native wild bees (hymenoptera, apoidea, apiformes) in the Algerian Littoral Region. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 10(2), 172–190.
- Bendjedid, H., & Achou, M. (2014). Etude de la Diversité Morphométrique de Deux Populations d'Abeilles Domestiques (*Apis Mellifera Intermissa* et *Apis Mellifera Sahariensis*) du Sud Algérien. *Synthèse : Revue Des Sciences et de La Technologie*, 95(28), 84–95. <https://doi.org/10.12816/0027832>
- Bernd, H. (1979). Thermoregulation of African and European Honeybees during Foraging, Attack, and Hive Exits and Returns. *Journal of Experimental Biology*, 80(1), 217–229. <https://doi.org/10.1242/jeb.80.1.217>
- Beshers, S. N., & Fewell, J. H. (2001). MODELS OF DIVISION OF LABOR IN SOCIAL INSECTS. *Annual Review of Entomology*, 46, 413–440. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.46.1.413>
- Bieńkowska, M., Łoś, A., & Węgrzynowicz, P. (2020). Honey bee queen replacement: An analysis of changes in the preferences of polish beekeepers through decades. *Insects*, 11(8), 1–13. <https://doi.org/10.3390/insects11080544>
- Bihonegn, A., & Begna, D. (2021). Beekeeping Production System, Challenges, and

Références bibliographiques

- Opportunities in Selected Districts of South Wollo Zone, Amhara, Ethiopia. *Advances in Agriculture*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/2278396>
- Blacquièrè, T., Boot, W., Calis, J., Moro, A., Neumann, P., & Panziera, D. (2019). Darwinian black box selection for resistance to settled invasive *Varroa destructor* parasites in honey bees. *Biological Invasions*, 21(8), 2519–2528. <https://doi.org/10.1007/s10530-019-02001-0>
- Boecking, O., & Ritter, W. (1993a). Grooming and removal behaviour of *Apis mellifera intermissa* in Tunisia against *Varroa jacobsoni*. *Journal of Apicultural Research*, 23(3–4), 127–134. <https://doi.org/10.1080/00218839.1993.11101297>
- Boecking, O., & Ritter, W. (1993b). Grooming and removal behaviour of *Apis mellifera intermissa* in Tunisia against *Varroa jacobsoni*. *Journal of Apicultural Research*, 32(3–4), 127–134. <https://doi.org/10.1080/00218839.1993.11101297>.
- Boecking, O., & Spivak, M. (1999). Behavioral defenses of honey bees against *Varroa jacobsoni* Oud. *Apidologie*, 30(2–3), 141–158. <https://doi.org/10.1051/apido:19990205>
- Bonabeau, E., & Theraulaz, G. (1999). A Brief History of Stigmergy. *Artificial Life*, 5(2), 97–116. <https://doi.org/10.1162/106454699568700>
- Bouzeraa, H., Achou, M., Sellami, H., & Slotani, N. (2016). Study of the morphometric diversity of the population of honeybees (*Apis Mellifera*) in the North-East Algeria. *European Journal of Experimental Biology*, 6(6), 6–12.
- Bouzeraa, H., Sellami, H., Gdoura, R., Achou, M., & Soltani, N. (2020). Genetic diversity of the Honeybee *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (Hymenoptera Apidae) from Jijel (Northeast Algeria). *Biodiversity Journal*, 11(1), 7–14. <https://doi.org/10.31396/biodiv.jour.2020.11.1.7.14>
- Breed, M. D., Williams, K. R., & Fewell, J. H. (1988). Comb wax mediates the acquisition of nest-mate recognition cues in honey bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 85(22), 8766–8769. <https://doi.org/10.1073/pnas.85.22.8766>
- Brosi, B. J., Delaplane, K. S., Boots, M., & De Roode, J. C. (2017). Ecological and evolutionary approaches to managing honeybee disease. *Nature Ecology and Evolution*, 1(9), 1250–1262. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0246-z>
- Brothers, D. ., Tschuch, G., & Burger, F. (2000). Associations of mutillid wasps (Hymenoptera, Mutillidae) with eusocial insects. *Insectes Sociaux*, 47, 201–211. <https://doi.org/10.1007/PL00001704>
- Buchegger, M., Buechler, R., Fuerst-Waltl, B., Kovacic, M., & Willam, A. (2018). Relationships between resistance characteristics of honey bees (*Apis mellifera*) against *Varroa* mites (*varroa destructor*). *Journal of Central European Agriculture*, 19(4), 954–958. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/19.4.2360>
- Büchler, R., Andonov, S., Bernstein, R., Bienefeld, K., Costa, C., Du, M., Gabel, M., Given, K., Hatjina, F., Harpur, B. A., Hoppe, A., Kezic, N., Kovačić, M., Kryger, P., Mondet, F., Spivak, M., Uzunov, A., Wegener, J., & Wilde, J. (2024). Standard methods for rearing and

Références bibliographiques

- selection of *Apis mellifera* queens 2.0. *Journal of Apicultural Research*, 0(0), 1–57. <https://doi.org/10.1080/00218839.2023.2295180>
- Büchler, R., Uzunov, A., Kovačić, M., Prešern, J., Pietropaoli, M., Hatjina, F., Pavlov, B., Charistos, L., Formato, G., & Galarza, E. (2020). Summer brood interruption as integrated management strategy for effective Varroa control in Europe. *Journal of Apicultural Research*, 59(5), 764-773. <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1793278>
- Bull, J. J. (1983). *Evolution of Sex Determining Mechanisms* (B. Cummings (Ed.); Menlo Park). Bull, J. J. (1983). Evolution of sex determining mechanisms. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc..
- Buttel-Reepen, H. (1906a). Beiträge zur Systematik, Biologie, sowie zur geschichtlichen und geographischen Verbreitung der Honigbiene (*Apis mellifera* L.). *Inher Varietäten Und Der Ubrigen Apis-Arten.*, 3, 117–201.
- Buttel-Reepen, H. von. (1906b). Beiträge zur Systematik, Biologie, sowie zur geschichtlichen und geographischen Verbreitung der Honigbiene. *Apistica*, 117-201.
- Bykova, T. O., Krivozubov, A. S., Ivashov, A. V., Sattarov, V. N., Safonkin, A. F., Triseleva, T. A., Soloviev, A. M., & Emirsinov, I. S. (2020). Morphometric variability of wild honey bees of the mountain forest zone of Crimea as a material for breeding. *E3S Web of Conferences*, 224. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022404014>
- Calderone, N. W. (1998). Proximate mechanisms of age polyethism in the honey bee, *Apis mellifera* L. *Apidologie*, 29(1–2), 127–158. <https://doi.org/10.1051/apido:19980108>
- Cantwell, G. E. (1970). Standard methods for counting nosema spores. *American Bee Journal*, 110(6), 222–223.
- Cavallin, P., Rodet, G., & Henry, M. (2019). The apiary influence range: A new paradigm for managing the cohabitation of honey bees and wild bee communities. *Espaces Naturels*, 65, 51-52. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103555>
- Chahbar, N., Chahbar, M., & Doumandji, S. (2014). Evaluation of acute toxicity of thiamethoxam in algerian honeybee *Apis mellifera intermissa* and *Apis mellifera sahariensis*. *International Journal of Zoology*, 4(3), 29–40.
- Chahbar, N., Muñoz, I., Dall’Olio, R., De la Rúa, P., Serrano, J., & Doumandji, S. (2013). Population structure of North African honey bees is influenced by both biological and anthropogenic factors. *Journal of Insect Conservation*, 17, 385–392. <https://doi.org/10.1007/S10841-012-9520-1>
- Chauvin, R. (1968). *Traité de biologie de l’abeille* (Masson et).
- Choi, Y.-S., Geun, P.-H., & Frunze, O. (2022). Differential hygienic behavior of *Apis cerana* F. and *Apis mellifera* L. to Sacbrood virus infection. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 25(4), 101995. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2022.101995>
- Clarke, D., & Robert, D. (2018). Predictive modelling of honey bee foraging activity using local

Références bibliographiques

- weather conditions. *Apidologie*, 49(3), 386–396. <https://doi.org/10.1007/s13592-018-0565-3>
- Clement, H., Olvera, A., Rodríguez, M., Zamudio, F., Palomares, L. A., Possani, L. D., Odell, G. V., Alagón, A., & Sánchez-López, R. (2012). Identification, cDNA cloning and heterologous expression of a hyaluronidase from the tarantula *Brachypelma vagans* venom. *Toxicon*, 60(7), 1223–1227. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2012.08.018>
- Conte, Y. Le, Meixner, M. D., Brandt, A., Carreck, N. L., Costa, C., Mondet, F., & Büchler, R. (2020). Geographical distribution and selection of european honey bees resistant to varroa destructor. *Insects*, 11(12), 1–34. <https://doi.org/10.3390/insects11120873>
- Conte, Y. Le, & Navajas, M. (2008). Climate change: Impact on honey bee populations and diseases. *OIE Revue Scientifique et Technique*, 27(2), 485–510. <https://doi.org/10.20506/rst.27.2.1819>
- Dadoun, N., Nait-Mouloud, M., Mohammedi, A., & Sadeddine Zennouche, O. (2020). Differences in grooming behavior between susceptible and resistant honey bee colonies after 13 years of natural selection. *Apidologie*, 51(5), 793–801. <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00761-6>
- Dalmon, A., Diévert, V., Thomasson, M., Fouque, R., Vaissière, B., Guilbaud, L., Le Conte, Y., & Henry, M. (2022). Les communautés d’abeilles butinant la même ressource florale échangent-elles des agents pathogènes? *La Santé de l’Abeille, Fédération Nationale Des Organisations Sanitaires Apicoles Départementale*, 307, 85-95.
- Data source: www.fao.org/faostat.* (2018).
- Dáttilo, W., Cruz, C. P., Luna, P., Ratoní, B., Hinojosa-Díaz, I. A., Neves, F. S., Leponce, M., Villalobos, F., & Guevara, R. (2022). The Impact of the Honeybee *Apis mellifera* on the Organization of Pollination Networks Is Positively Related with Its Interactive Role throughout Its Geographic Range. *Diversity*, 14(11), 917. <https://doi.org/10.3390/d14110917>
- Decourtye, A., Mader, E., & Desneux, N. (2010). Landscape enhancement of floral resources for honey bees in agro-ecosystems. *Apidologie*, 41(3), 264–277. <https://doi.org/10.1051/apido/2010024>
- Demir, E. G., Morkoyunlu, A., & Kuvancı, A. (2023). Importance of honey bee in cherry species pollination (Kocaeli/Turkey). *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 22(2), 40-48. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2023.22.2.0054>
- Diao, Q., Sun, L., Zheng, H., Zeng, Z., Wang, S., Xu, S., Zheng, H., Chen, Y., Shi, Y., Wang, Y., Meng, F., Sang, Q., Cao, L., Liu, F., Zhu, Y., Li, W., Li, Z., Dai, C., Yang, M., ... Wu, J. (2018). Genomic and transcriptomic analysis of the Asian honeybee *Apis cerana* provides novel insights into honeybee biology. *Scientific Reports*, 8(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17338-6>
- Dietemann, V., Nazzi, F., Martin, S. J., Anderson, D. L., Locke, B., Delaplane, K. S., Wauquiez, Q., Tannahill, C., Frey, E., Ziegelmann, B., Rosenkranz, P., & Ellis, J. D. (2013). Standard methods for varroa research. *Journal of Apicultural Research*, 52(1). <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.1.09>

Références bibliographiques

- Doublet, V., Natsopoulou, M. E., Luise, Z., & Paxton, R. J. (2015). Within-host competition among the honey bees pathogens *Nosema ceranae* and Deformed wing virus is asymmetric and to the disadvantage of the virus. *Journal of Invertebrate Pathology*, *124*, 31–34. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2014.10.007>
- Doull, K. M., & Eckert, J. E. (1962). A Survey of the Incidence of *Nosema* Disease in California. *Journal of Economic Entomology*, *55*(3), 313–317. <https://doi.org/10.1093/jee/55.3.313>
- Duggan Dowd, D., Muntaabski, I., Russo, R. M., Galindo Cardona, A., Scannapieco, A. C., & Liendo, M. C. (2023). Understanding the differential performance in hygienic behavior against dead brood of drones and workers of *Apis mellifera*: a chemical approach. *Journal of Apicultural Research*, *0*(0), 1–4. <https://doi.org/10.1080/00218839.2023.2285156>
- El-Seedi, H. R., El-Wahed, A. A. A., Zhao, C., Saeed, A., Zou, X., Guo, Z., Hegazi, A. G., Shehata, A. A., El-Seedi, H. H. R., Algethami, A. F., Al Naggar, Y., Agamy, N. F., Rateb, M. E., Ramadan, M. F. A., Khalifa, S. A. M., & Wang, K. (2022). A Spotlight on the Egyptian Honeybee (*Apis mellifera lamarckii*). *Animals*, *12*(20). <https://doi.org/10.3390/ani12202749>
- Evans, J. ., & Spivak, M. (2010). Socialized medicine: Individual and communal disease barriers in honey bees. *Journal of Invertebrate Pathology*, *103*, S62–S72. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.06.019>
- Everitt, T., Wallberg, A., Christmas, M. J., Olsson, A., Hoffmann, W., Neumann, P., & Webster, M. T. (2023). The genomic basis of adaptation to high elevations in Africanized honey bees. *Genome Biology and Evolution*, *15*(9), evad157. <https://doi.org/10.1093/gbe/evad157>
- Fahrbach, S. E., & Robinson, G. E. (1995). Behavioral development in the honey bee: toward the study of learning under natural conditions. *Learning & Memory (Cold Spring Harbor, N.Y.)*, *2*(5), 199–224. <https://doi.org/10.1101/lm.2.5.199>
- Farrugia, D., Martin-Hernandez, R., & Zammit Mangion, M. (2022). Beekeeping in Malta: A Review of Current Practices, Trends and Challenges. *Bee World*, *99*(4), 131–138. <https://doi.org/10.1080/0005772x.2022.2113231>
- Fedorjak, M., Kulmanov, O., Zhuk, A., Shkrobanets, O., Tymchuk, K., Moskalyk, G., Olendr, T., Yamelynets, T., & Angelstam, P. (2021). Stakeholders' views on sustaining honey bee health and beekeeping: the roles of ecological and social system drivers. *Landscape Ecology*, *36*(3), 763–783. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01169-4>
- Fridi, R., Tabet Aoul, N., Catays, G., Basso, B., Bienefeld, K., Gregorc, A., Vignal, A., & Canale-Tabet, K. (2022). Genetic diversity and population genetic structure analysis of *Apis mellifera* subspecies in Algeria and Europe based on complementary sex determiner (CSD) gene. *Apidologie*, *53*(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13592-022-00920-x>
- Fries, I., Chauzat, M. P., Chen, Y. P., Doublet, V., Genersch, E., Gisder, S., Higes, M., McMahan, D. P., Martín-Hernández, R., Natsopoulou, M., Paxton, R. J., Tanner, G., Webster, T. C., & Williams, G. R. (2013). Standard methods for *Nosema* research. *Journal of Apicultural Research*, *52*(1). <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.1.14>

Références bibliographiques

- Fries, I., Huazhen, W., Wei, S., & Jin, C. S. (1996). Grooming behavior and damaged mites (*Varroa jacobsoni*) in *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica*. *Apidologie*, 27(1), 3–11. <https://doi.org/10.1051/apido:19960101>
- Fries, I., & Raina, S. (2003). American Foulbrood and African Honey Bees (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Economic Entomology*, 96(6), 1641–1646. <https://doi.org/10.1093/jee/96.6.1641>
- Gabel, M., Hoppe, A., Scheiner, R., Obergfell, J., & Büchler, R. (2023). Heritability of *Apis mellifera* recapping behavior and suppressed mite reproduction as resistance traits towards *Varroa destructor*. *Frontiers in Insect Science*, 3, 1–11. <https://doi.org/10.3389/finsc.2023.1135187>
- Galatyuk, O. Y., Yarovets, Y., Vitaly, A., Babenko., V., Cherevatov., A., Grigorenko., M., B., S., & O., K. (2023). *Wing morphometry of worker bees in the central and northern parts of Ukraine* (Vol. 3). <https://doi.org/10.33245/2310-9289-2023-178-1-74-87>
- Galea, T. (2020). *The development of 'Varroa destructor' in native 'Apis mellifera ruttneri' and in introduced 'Apis mellifera ligustica' colonies on the island of Malta*. University of Malta.
- Garnery, L., Franck, P., Baudry, E., Vautrin, D., Cornuet, J.-M., & Solignac, M. (1998). Genetic diversity of the west European honey bee (*Apis mellifera mellifera* and *A. m. iberica*) II. Microsatellite loci. *Genetics Selection Evolution*, 30(S1). <https://doi.org/10.1186/1297-9686-30-s1-s49>
- Gela, A., Atickem, A., Bezabeh, A., Woldehawariat, Y., & Gebresilassie, A. (2023). Insights into varroa mite (*Varroa destructor*) infestation levels in local honeybee (*Apis mellifera*) colonies of Ethiopia. *Journal of Applied Entomology*, 147(9), 798–808. <https://doi.org/10.1111/jen.13171>
- Gempe, T., Stach, S., Bienefeld, K., Otte, M., & Beye, M. (2016). Behavioral and molecular studies of quantitative differences in hygienic behavior in honeybees. *BMC Research Notes*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s13104-016-2269-y>
- Genersch, E. (2010). American Foulbrood in honeybees and its causative agent, *Paenibacillus* larvae. *Journal of Invertebrate Pathology*, 103, S10-S19. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.06.015>
- Ghorbani, M. A., Kahya, E., Roshni, T., Kashani, M. H., Malik, A., & Heddami, S. (2021). Entropy analysis and pattern recognition in rainfall data, north Algeria. *Theoretical and Applied Climatology*, 144(1–2), 317–326. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03542-y>
- Girolami, V., Toffolo, E. P., Mazzon, L., Zampieri, F., Lentola, A., Giorio, C., & Tapparo, A. (2023). Effect of repeated intakes of a neonicotinoid insecticide on the foraging behaviours of *Apis mellifera* in field trials. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(5), 12257–12268. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22977-y>
- Gray, A., Adjlane, N., Arab, A., Ballis, A., Brusbardis, V., Bugeja Douglas, A., Cadahía, L., Charrière, J. D., Chlebo, R., Coffey, M. F., Cornelissen, B., Costa, C. A. da, Danneels, E., Danihlík, J., Dobrescu, C., Evans, G., Fedoriak, M., Forsythe, I., Gregorc, A., ...

Références bibliographiques

- Brodtschneider, R. (2023). Honey bee colony loss rates in 37 countries using the COLOSS survey for winter 2019–2020: the combined effects of operation size, migration and queen replacement. *Journal of Apicultural Research*, 62(2), 204–210.
<https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2113329>
- Gregorc, A., & Bakonyi, T. (2012). Viral infections in queen bees (*Apis mellifera carnica*) from rearing apiaries. *Acta Veterinaria Brno*, 81(1), 15–19.
<https://doi.org/10.2754/avb201281010015>
- Gross, K. P., & Runtter, F. (1970). Entwickelt *Nosema apis* Zander eine Resistenz gegenüber dem Antibiotikum Fumidil B? *Apidologie*, 1(4), 401–422.
<https://doi.org/10.1051/apido:19700403>
- Grüter, C. (2020). Importance for pollination. Stingless Bees: Their Behaviour, Ecology and Evolution. In *Fascinating Life Sciences* (pp. 323–339). Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-60090-7_9
- Guichard, M., Droz, B., Brascamp, E. W., Virag, A. von, Neuditschko, M., & Dainat, B. (2021). Exploring two honey bee traits for improving resistance against varroa destructor: Development and genetic evaluation. *Insects*, 12(3), 1–15.
<https://doi.org/10.3390/insects12030216>
- Guichard, M., Von Virag, A., Droz, B., & Dainat, B. (2024). Do Varroa destructor (Acari: Varroidae) mite flows between *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) colonies bias colony infestation evaluation for resistance selection? *Journal of Insect Science*, 24(4).
<https://doi.org/10.1093/jisesa/ieae068>
- Guiné, R. P. F., Mesquita, S., Oliveira, J., Coelho, C., Costa, D. T., Correia, P., Correia, H. E., Dahle, B., Oddie, M., Raimets, R., Karise, R., Tourino, L., Basile, S., Buonomo, E., Stefanic, I., & Costa, C. A. (2021). Characterization of beekeepers and their activities in seven european countries. *Agronomy*, 11(12), 2398.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11122398>
- Guiseppe, N. (2022). Bee Foraging Activity with Indian Honeybee *Apis cerana indica* Fab., Apidae: Hymenoptera and Bee Colony Management during Various Seasons. *Newest Updates in Agriculture and Veterinary Science*, 2, 61–69.
<https://doi.org/10.9734/bpi/nuavs/v2/4477e>
- Habbi-Cherifi, A., Adjlane, N., & Medjdoub-Benaad, F. (2019). LA VARROASE DE L' ABEILLE MELLIFERE : BIOLOGIE , CYCLE DE DEVELOPPEMENT , PATHOGENIE ET MOYENS DE LUTTE. *Algerian Journal of Arid Environment*, 9(2), 4–19.
<https://doi.org/P-ISSN 2170-1318/ E-ISSN 2588-1949 3.2.->
- Haccour, A. (1961). Recherches sur l'abeille saharienne au Maroc : Communication à la Société des Sciences naturelles et physiques du Maroc. *Extrait de La Belgique Apicole*, 25(2), 13–18.
- Haddad, N. J., Adjlane, N., Saini, D., Menon, A., Krishnamurthy, V., Jonklaas, D., Tomkins, J. P., Loucif-Ayad, W., & Horth, L. (2018). Whole-genome sequencing of north African honey

Références bibliographiques

- bee *Apis mellifera intermissa* to assess its beneficial traits. *Entomological Research*, 48(3), 174–186. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12272>
- Haddad, N. J., Batainh, A. M., Migdadi, O. S., Saini, D., Krishnamurthy, V., Parameswaran, S., & Alhamuri, Z. (2016). Next generation sequencing of *Apis mellifera syriaca* identifies genes for *Varroa* resistance and beneficial bee keeping traits. *Insect Science*, 23(4), 579–590. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12205>
- Haddad, N. J., Loucif-Ayad, W., Adjlane, N., Saini, D., Manchiganti, R., Krishnamurthy, V., AlShagoor, B., Batainh, A. M., & Mugasimangalam, R. (2015). Draft genome sequence of the Algerian bee *Apis mellifera intermissa*. *Genomics Data*, 4, 24–25. <https://doi.org/10.1016/j.gdata.2015.01.011>
- Haider, Y., Gajda, A., & Tofilski, A. (2024). *Fore wing images of honey bees (Apis mellifera) from Algeria [Data set]*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13939415>
- Hamel, T., & Boulemtafes, A. (2017). *Plantes butinées par les abeilles à la péninsule de l'Edough (Nord-Est algérien) Plants foraged by bees in the Edough peninsula (Northeast Algeria)*. 29(9), 1–13.
- Han, F., Wallberg, A., & Webster, M. T. (2012). From where did the western honeybee (*Apis mellifera*) originate? *Ecology and Evolution*, 2(8), 1949–1957. <https://doi.org/10.1002/ece3.312>
- Hasenjager, M. J., Franks, V. R., & Leadbeater, E. (2022). From dyads to collectives: a review of honeybee signalling. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 76(9). <https://doi.org/10.1007/s00265-022-03218-1>
- Hatjina, F., Costa, C., Büchler, R., Uzunov, A., Drazic, M., Filipi, J., Charistos, L., Ruottinen, L., Andonov, S., Meixner, M. D., Bienkowska, M., Dariusz, G., Panasiuk, B., Le Conte, Y., Wilde, J., Berg, S., Bouga, M., Dyrba, W., Kiprijanovska, H., ... Kezic, N. (2014). Population dynamics of European honey bee genotypes under different environmental conditions. *Journal of Apicultural Research*, 53(2), 233–247. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.53.2.05>
- Hemmami, H., Ben Seghir, B., Ben Ali, M., Rebiai, A., Zeghoud, S., & Brahmia, F. (2020). Phenolic profile and antioxidant activity of bee pollen extracts from different regions of Algeria. *Ovidius University Annals of Chemistry*, 31(2), 93–98. <https://doi.org/10.2478/auoc-2020-0017>
- Higes, M., Martín, R., & Meana, A. (2006). *Nosema ceranae*, a new microsporidian parasite in honeybees in Europe. *Journal of Invertebrate Pathology*, 92(2), 93–95. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2006.02.005>
- Higes, M., Meana, A., Suárez, M., & Llorente, J. (1999). Original article Negative long-term effects on bee colonies treated with oxalic acid against *Varroa jacobsoni* Oud. Mariano a Aránzazu Meana a. *Apidologie*, 30(4), 289–292.
- Hillayová, M. K., Korený, L., & Skvarenina, J. (2022). The local environmental factors impact the infestation of bee colonies by mite *Varroa destructor*. *Ecological Indicators*, 141(June).

Références bibliographiques

- <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109104>
- Hoppe, P. P., Safer, A., Amaral-Rogers, V., Bonmatin, J. M., Goulson, D., Menzel, R., & Baer, B. (2015). Effects of a neonicotinoid pesticide on honey bee colonies: a response to the field study by Pilling et al. (2013). *Environmental Sciences Europe*, 27(1), 1–4. <https://doi.org/10.1186/s12302-015-0060-7>
- Hristov, P., Shumkova, R., Palova, N., & Neov, B. (2020). Factors associated with honey bee colony losses: A mini-review. *Veterinary Sciences*, 7(4), 1–16. <https://doi.org/10.3390/vetsci7040166>
- Human, H., Brodschneider, R., Dietemann, V., Dively, G., Ellis, J., Fotsgren, E., Fries, I., Hatjina, F., Hu, F.-L., Jaffe, R., Kohler, A., Pirk, C. W. W., Rose, R., Strauss, U., Tanner, G., Van Der Steen, J. J. M., Vejsnaes, F., Williams, G. R., & Zheng, H.-Q. (2013). Miscellaneous standard methods for *Apis mellifera* research. In V Dietemann; J D Ellis; P. In Neumann (Ed.), *Journal of Apicultural Research* (Vol. 52, Issue 4). <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.10>
- Hung, K. L. J., Kingston, J. M., Albrecht, M., Holway, D. A., & Kohn, J. R. (2018). The worldwide importance of honey bees as pollinators in natural habitats. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1870). <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2140>
- Ibrahim, A., & Spivak, M. (2007). Field trial of honey bee colonies bred for mechanisms of resistance against *Varroa destructor*. *Apidologie*, 38, 67–76. <https://doi.org/10.1051/apido>
- Jack, C. J., de Bem Oliveira, I., Kimmel, C. B., & Ellis, J. D. (2023). Seasonal differences in *Varroa destructor* population growth in western honey bee (*Apis mellifera*) colonies. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11(April), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1102457>
- Jack, C. J., & Ellis, J. D. (2021). Integrated Pest Management Control of *Varroa destructor* (Acari: Varroidae), the Most Damaging Pest of (*Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae)) Colonies. *Journal of Insect Science*, 21(5). <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieab058>
- Johnson, R. M., Ellis, M. D., Mullin, C. A., & Frazier, M. (2010). Pesticides and honey bee toxicity - USA. *Apidologie*, 41(3), 312–331. <https://doi.org/10.1051/apido/2010018>
- Kanazoe, I. W., Nombéré, I., Ouédraogo, S., Boussim, J. I., & Vereecken, N. J. (2023). Influence of climatic factors and floristic diversity on the foraging activity of *Apis mellifera adansonii* Latreille in a West African Savannah. *African Journal of Ecology*, 61(3), 660–674. <https://doi.org/10.1111/aje.13159>
- Karbassioon, A., Yearlsey, J., Dirilgen, T., Hodge, S., Stout, J. C., & Stanley, D. A. (2023). Responses in honeybee and bumblebee activity to changes in weather conditions. *Oecologia*, 201(3), 689–701. <https://doi.org/10.1007/s00442-023-05332-x>
- Kaur, H., Nebojša, N., & Adam, T. (2023). *Fore wing images of honey bees (Apis mellifera) from Serbia*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10255747>
- Keeler, A. M., Rose-Person, A., & Rafferty, N. E. (2021). From the ground up: Building

Références bibliographiques

- predictions for how climate change will affect belowground mutualisms, floral traits, and bee behavior. *Climate Change Ecology*, 1, 100013.
<https://doi.org/10.1016/j.ecochg.2021.100013>
- Keller, A., McFrederick, Q. S., Dharampal, P., Steffan, S., Danforth, B. N., & Leonhardt, S. D. (2021). (More than) Hitchhikers through the network: The shared microbiome of bees and flowers. *Current Opinion in Insect Science*, 44, 8–15.
<https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.09.007>
- Kenna, D., Graystock, P., & Gill, R. J. (2023). Toxic temperatures: Bee behaviours exhibit divergent pesticide toxicity relationships with warming. *Global Change Biology*, 29(11), 2981–2998. <https://doi.org/10.1111/gcb.16671>
- Kessi, O., Mekious, S., Aouadi, A., Houdeib, J., & Megatli, S. (2024). Global assessment of Algerian honeys quality by palynological, physicochemical analyses, trace elements and potentially toxic elements screenin. *Acta Agriculturae Slovenica*, 120(2), 1–14.
<https://doi.org/10.14720/aas.2024.120.2.17995>
- Khalifa, S. A. M., Elshafiey, E. H., Shetaia, A. A., El-Wahed, A. A. A., Algethami, A. F., Musharraf, S. G., Alajmi, M. F., Zhao, C., Masry, S. H. D., Abdel-Daim, M. M., Halabi, M. F., Kai, G., Al Naggar, Y., Bishr, M., Diab, M. A. M., & El-Seedi, H. R. (2021). Overview of bee pollination and its economic value for crop production. *Insects*, 12(8), 1–23.
<https://doi.org/10.3390/insects12080688>
- Khedidji, H., Abderrahmani, K., Oulebsir-Mohandkaci, H., Ladjali-Mohammedi, K., & Mohammedi, A. (2022). Effects of Pollen Deprivation in Groups of Tellian (*Apis mellifera intermissa*) and Saharan (*Apis mellifera sahariensis*) Honey Bees under Controlled Conditions. *Insects*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/insects13080727>
- Khedim, R., Halfaoui, Y. F., Mediouni, R. M., Gaouar, S., & Bechir, S. (2023). *Characterization of isolated colonies of honey bees (Apis mellifera intermissa) , in Northern Algeria by classical morphometry approach.* <https://doi.org/10.46325/gabj.v7i2.349>
- Kheira, D., Jinane-Baya, H., Nesrine, O., & Badis, B. (2020). Characterization of Honeys From Algeria According To Climatic Origin Based on Physicochemical Properties. *Revue Agrobiologia*, 10(1), 1940–1989. www.agrobiologia.net
- Khemmouli, A., Chenafi, H., Hannachi, Abderrahmane, Merdaci, S., Haider, Y., Fouad, R., Merabe, A., Reghda, C., & Fayssal, G. (2024). Effects of Deficit Irrigation on the Composition of By-Products of Camelina Sativa: Towards Sustainable Water Use in Semi-Arid Agriculture. *Natural Resources and Sustainable Development*, 14(1), 165–182.
<https://doi.org/10.31924/nrsd.v14i1.158>
- Khemmouli, A., Chennafi, H., Hannachi, A., Merdaci, S., Chenafi, A., & Rekik, F. (2023). Monitoring of Limited Water Supply on Oilseed Crop (*Camelina Sativa L. Crantz*) Under Semi-Arid Environment in the Algerian Aures Region. *Natural Resources and Sustainable Development*, 13(2), 389–406. <https://doi.org/10.31924/nrsd.v13i2.142>
- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C.,

Références bibliographiques

- & Tschardtke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303–313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Kovačić, M., Puškadija, Z., Dražić, M. M., Uzunov, A., Meixner, M. D., & Büchler, R. (2020). Effects of selection and local adaptation on resilience and economic suitability in *Apis mellifera carnica*. *Apidologie*, 51(6), 1062–1073. <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00783-0>
- Kretzschmar, A., Seuillet, T., Frontero, L., Faugere, E., Maisonnasse, A., & Dussy, D. (2020). Synthèse publique rapport VIVA, Vivre avec Varroa. INRA; CNRS; ADA; ITSAP. *HAL Science Ouverte*, 5. <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00783-0>
- Kumar, G., & Khan, M. S. (2023). Insects as Crop Pollinators. In Omkar (Ed.), *Insects as Service Providers* (pp. 37–64). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3406-3_3
- Laid, B., Zohra, G., & Halima, H. (2013). Analysis of Bee Farming Systems in Western Algeria. *Journal of Renewable Agriculture*, 1(8), 132–140.
- Lanore, L., Genoud, D., Blanchetete, A., Novak, S., Loubeyre, J., Farruggia, A., Lanore, L., Genoud, D., Blanchetete, A., Novak, S., & Fleurance, G. (2020). *Les abeilles dans les prairies d'exploitations d'élevage aux environnements agricoles contrastés To cite this version :*
- Leclercq, G., Pannebakker, B., Gengler, N., Nguyen, B. K., & Francis, F. (2017). Inconvenientes y beneficios del comportamiento higiénico de la abeja de la miel (*Apis mellifera* L.) : una revisión. *Journal of Apicultural Research*, 56(7), 366–375. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1327938>
- Lietaer, C. (2009). Impact of beekeeping on forest conservation, preservation of forest ecosystems and poverty reduction. *XIII World Forestry Congress*, 18–23.
- Lin, Z., Shen, S., Wang, K., & Ting, J. I. (2023). Biotic and abiotic stresses on honeybee health. *Integrative Zoology*, 00, 1–16. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12752>
- Loucif-Ayad, W., Achou, M., Legout, H., Alburaki, M., & Garnery, L. (2015). Genetic assessment of Algerian honeybee populations by microsatellite markers. *Apidologie*, 46, 392–402. <https://doi.org/10.1007/s13592-014-0331-0>
- Magnier, B., Zacharewicz, G., Magnier, B., & Zacharewicz, G. (2022). L'apiculture dirigée par les données et les modèles. *The Conversation France*, 0–5. <https://doi.org/10.1007/s13592-014-0331-0>
- Mariani, F., Maggi, M. D., Porrini, M. P., Fuselli, S. R., Caraballo, G., Brascesco, M. C., Barrios, C., Principal, J., & Eguaras, M. J. (2012). Parasitic interactions between *Nosema* spp. and *Varroa destructor* in *Apis mellifera* colonies. *Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas; Zootecnia Tropical*, 30(1), 81–90.
- Martin, S. J., Highfield, A. C., Brettell, L., Villalobos, E. M., Budge, G. E., Powell, M., Nikaido, S., & Schroeder, D. C. (2012). Global honey bee viral landscape altered by a parasitic mite. *Science*, 336(6086), 1304–1306. <https://doi.org/10.1126/science.1220941>

Références bibliographiques

- Marwaha, L. (2023). *The Polyandrous Queen Honey Bee: Biology and Apiculture*. Bentham Science Publishers Amazon France.
- Masaquiza, D., Vargas, J., Ortíz, N., Salazar, R., Curbelo, L., Pérez, A., & Arenal, A. (2021). Hygienic behavior of *apis mellifera* and its relationship with varroa destructor infestation and honey production in the central highlands of Ecuador. *Insects*, *12*(11). <https://doi.org/10.3390/insects12110966>
- Mashilingi, S. K., Zhang, H., Garibaldi, L. A., & An, J. (2022). Honeybees are far too insufficient to supply optimum pollination services in agricultural systems worldwide. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *335*(April), 108003. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108003>
- Maurizio, A., & Hodges, F. E. D. (1950). The influence of pollen feeding and brood rearing on the length of life and physiological condition of the honeybee preliminary report. *Bee World*, *31*(2), 9–12. <https://doi.org/10.1080/0005772X.1950.11094617>
- Meixner, M. D., Pinto, M. A., Bouga, M., Kryger, P., Ivanova, E., & Fuchs, S. (2013). Standard methods for characterising subspecies and ecotypes of *Apis mellifera*. *Journal of Apicultural Research*, *52*(4), 1–28. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.05>
- Meixner, M. D., & VanEngelsdorp, D. (2010). A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. *Journal of Invertebrate Pathology*, *103*, S80-S95. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.06.011>
- Menail, A. H., Piot, N., Meeus, I., Smaghe, G., & Loucif-Ayad, W. (2016). Large pathogen screening reveals first report of *Megaselia scalaris* (Diptera: Phoridae) parasitizing *Apis mellifera intermissa* (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Invertebrate Pathology*, *137*, 33–37. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2016.04.007>
- Milone, J. P., & Tarpy, D. R. (2021). Effects of developmental exposure to pesticides in wax and pollen on honey bee (*Apis mellifera*) queen reproductive phenotypes. *Scientific Reports*, *11*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80446-3>
- Mondet, F., Parejo, M., Meixner, M. D., Costa, C., Kryger, P., Andonov, S., Servin, B., Basso, B., Bieńkowska, M., Bigio, G., Căuia, E., Cebotari, V., Dahle, B., Dražić, M. M., Hatjina, F., Kovačić, M., Kretavicius, J., Lima, A. S., Panasiuk, B., ... Büchler, R. (2020). Evaluation of suppressed mite reproduction (Smr) reveals potential for varroa resistance in european honey bees (*apis mellifera* l.). *Insects*, *11*(9), 1–17. <https://doi.org/10.3390/insects11090595>
- Morfin, N., Harpur, B. A., De la Mora, A., & Guzman-Novoa, E. (2023). Breeding honey bees (*Apis mellifera* L.) for low and high Varroa destructor population growth: Gene expression of bees performing grooming behavior. *Frontiers in Insect Science*, *3*, 1–10. <https://doi.org/10.3389/finsc.2023.951447>
- Moritz, R., De Miranda, J., Fries, I., Le Conte, Y., Neumann, P., & Paxton, R. J. (2010). Research strategies to improve honeybee health in Europe. *Apidologie*, *41*(3), 227–242. <https://doi.org/10.1051/apido/2010010>

Références bibliographiques

- Moritz, R., Härtel, S., & Neumann, P. (2005). Global invasions of the western honeybee (*Apis mellifera*) and the consequences for biodiversity. *Écoscience* 12, 12(3), 289–301. <https://doi.org/10.2980/i1195-6860-12-3-289.1>
- Mumoki, F. N., & Crewe, R. M. (2021). Pheromone communication in honey bees (*Apis mellifera*). *Insect Pheromone Biochemistry and Molecular Biology Academic Press.*, 183–204. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819628-1.00006-7>
- Mushonga, B., Hategekimana, L., Habarugira, G., Kandiwa, E., Samkange, A., & Ernest Segwagwe, B. V. (2019). Characterization of the Beekeeping Value Chain: Challenges, Perceptions, Limitations, and Opportunities for Beekeepers in Kayonza District, Rwanda. *Advances in Agriculture, 2019*. <https://doi.org/10.1155/2019/5982931>
- Nabti, D., & Lazhari, T. (2022). Chemical composition, biological activity and factors influencing the quality of Algerian bee-honey. *South Asian Journal of Experimental Biology*, 12(1), 1–11. [https://doi.org/10.38150/sajeb.12\(1\).p1-11](https://doi.org/10.38150/sajeb.12(1).p1-11)
- Nadji, R., & Rogai, H. (2018). *Inventaire des plantes mellifères dans la région de la Mitidja (Soumaa et Oued el alleug)*. Saad Dahleb university, Algeria.
- Natsopoulou, M. E., McMahon, D. P., Doublet, V., Frey, E., Rosenkranz, P., & Paxton, R. J. (2017). The virulent, emerging genotype B of Deformed wing virus is closely linked to overwinter honeybee worker loss. *Scientific Reports*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05596-3>
- Neov, B., Georgieva, A., Shumkova, R., Radoslavov, G., & Hristov, P. (2019). Biotic and abiotic factors associated with colonies mortalities of managed honey bee (*Apis mellifera*). *Diversity*, 11(12), 1–16. <https://doi.org/10.3390/d11120237>
- Nitharwal, M., Rolania, R., Jatav, H., Chandra, K., Khan, M., Kumawat, S., Attar, S., & Dhaka, S. (2021). Plant Reproductive Ecology: Recent Advances. In A. Rustagi & B. Chaudhry (Eds.), *Plant Reproductive Ecology-Recent Advances* (pp. 41–56). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.94800>
- Noël, A., Le Conte, Y., & Mondet, F. (2020). Varroa destructor: How does it harm *Apis mellifera* honey bees and what can be done about it? *Emerging Topics in Life Sciences*, 4(1), 45–57. <https://doi.org/10.1042/ETLS20190125>
- Nouyrigat, G. M., & Barbu, E. M. (2023). Managing *Apis Mellifera* Bees' Mortality to Protect the Environmental Sustainability: Perceptions, Practices and Solutions of Beekeepers. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 18(2), 343–352. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.180201>
- Nuralieva, U., Tajiyev, K., Sheralieva, Z., Toishimanov, M., Moldakhmetova, G., Temirbayeva, K., & Tajieva, A. (2023). Geometric morphometric characteristics of *Apis mellifera* honeybee in Kazakhstan. *Biodiversitas*, 24(8), 4402–4409. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240821>
- Ohashi, K., Sasaki, M., Sasagawa, H., Nakamura, J., Natori, S., & Kubo, T. (2000). Functional flexibility of the honey bee hypopharyngeal gland in a dequeen colony. *Zoological*

Références bibliographiques

- Science*, 17(8), 1089–1094. <https://doi.org/10.2108/zsj.17.1089>
- OIE, O. I. D. E. (2008). *Nosemosis of honey bees*.
- Oleksa, A., Căuia, E., Siceanu, A., Puškadija, Z., Kovačić, M., Pinto, M. A., Rodrigues, P. J., Hatjina, F., Charistos, L., Bouga, M., Prešern, J., Kandemir, I., Rašić, S., Kusza, S., & Tofilski, A. (2023). Honey bee (*Apis mellifera*) wing images: A tool for identification and conservation. *GigaScience*, 12(March). <https://doi.org/10.1093/gigascience/giad019>
- Ouahab, Y., Bendifallah, L., Rasmont, P., & Hammou, M. A. (2021). Nesting Ecology and Foraging Biology of the Mason Bee *Osmia* (*Helicosmia*) *latreillei* Spinola, 1806 (Hymenoptera: Megachilidae) in Western Algeria. *Bee World*, 98(3), 94–99. <https://doi.org/10.1080/0005772X.2020.1854987>
- Ouknin, M., Alahyane, H., Mounir, A., & Majidi, L. (2023). Climate Change Impact on Honeybees (*Apis* spp.) and Their Pollination Services: Climate Change and Honeybees Services. In A. Karmaoui (Ed.), *In Climate Change and the Economic Importance and Damages of Insects* (pp. 147–173). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-4824-3.ch007>
- Page, R. E., & Fondrk, M. . (1995). The effects of colony-level selection on the social organization of honey bee (*Apis mellifera* L.) colonies: colony-level components of pollen hoarding. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 36, 135–144. <https://doi.org/10.1007/BF00170718>
- Palmer, J., Samuelson, A. E., Gill, R. J., Leadbeater, E., & Jansen, V. A. A. (2022). Honeybees vary collective decision making across landscapes. *BioRxiv*, 7, 1–18. <https://www.biorxiv.org/content/early/2022/08/30/2022.08.30.505816>
- Patel, V., Pauli, N., Biggs, E., Barbour, L., & Boruff, B. (2021). Why bees are critical for achieving sustainable development. *Ambio*, 50(1), 49–59. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01333-9>
- Peng, F. Z., Akagi, H., & Nabae, A. (1987). A study of active power filters using quad-series voltage-source PWM converters for harmonic compensation. *IEEE Power Electronics Specialists Conference, Blacksburg, VA, USA*, 204–212. <https://doi.org/10.1109/PESC.1987.7077183>.
- Poole, H. (1970). The Wall Structure of the Honey Bee Spermatheca with Comments about Its Function. *Annals of the Entomological Society of America*, 63(6), 1625-1628.
- Porrini, L. P., Martín, Pablo, P., Melisa, Paula, G., Fernando, M., Luciana, A., Pedro, Fernández, I., & Martin, Javier, E. (2020). Infectivity and virulence of *Nosema ceranae* (Microsporidia) isolates obtained from various *Apis mellifera* morphotypes. *Entomologia Experimentalis Et Applicata*, 4. <https://doi.org/10.1111/EEA.12902>
- Prost, J. ., & Le Conte, Y. (2005). *Apiculture : connaître l'abeille, conduire le rucher*. Lavoisier, Tec & Doc.
- Pusceddu, M., Cini, A., Alberti, S., Salaris, E., Theodorou, P., Floris, I., & Satta, A. (2021).

Références bibliographiques

- Honey bees increase social distancing when facing the ectoparasite *Varroa destructor*. *Science Advances*, 7(44), 1–14. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abj1398>
- Radzevičiūtė, R., Theodorou, P., Schlegel, M., & Paxton, R. J. (2021). A two-part modelling approach reveals a positive effect of pollinator biodiversity in boosting the pollination of apple flowers. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 306(May 2020). <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107197>
- Rajagopalan, K., DeGrandi-Hoffman, G., Pruett, M., Jones, V. P., Corby-Harris, V., Pireaud, J., Curry, R., Hopkins, B., & Northfield, T. D. (2024). Warmer autumns and winters could reduce honey bee overwintering survival with potential risks for pollination services. *Scientific Reports*, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55327-8>
- Ramos-Cuellar, A. K., De la Mora, A., Contreras-Escareño, F., Morfin, N., Tapia-González, J. M., Macías-Macías, J. O., Petukhova, T., Correa-Benítez, A., & Guzman-Novoa, E. (2022). Genotype, but Not Climate, Affects the Resistance of Honey Bees (*Apis mellifera*) to Viral Infections and to the Mite *Varroa destructor*. *Veterinary Sciences*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/vetsci9070358>
- Ravazzi, G. (2003). *Abeilles et apiculteurs*. De Vecchi.
- Reddy, P. V. R., Rajan, V. V., Mani, M., Kavitha, S. J., & Sreedevi, K. (2022). Insect Pollination in Horticultural Crops. In M. Mani (Ed.), *Trends in Horticultural Entomology* (pp. 491–516). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0343-4_15
- Remnant, E., Mather, N., Gillard, T., Yagound, B., & Beekman, M. (2018). Vector-mediated viral transmission favours less virulent viruses. *BioRxiv*, 1–26. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/323527>
- Rennich, K., Pettis, J., Vanengelsdorp, D., Bozarth, R., Eversole, H., Roccasacca, K., Smith, M., Stitzinger, J., Andree, M., Snyder, R., Rice, N., Evans, J., Levi, V., Lopez, D., & Rose, R. (2013). 2011-2012 National honey bee pests and diseases survey report*. *Bee Health: Factors, Analyses, and Research Progress*, 53–68.
- Rinderer, T. E. (2013). *Bee genetics and breeding*. Academic press.
- Rouzé, R. (2020). *Impacts et interactions de la microsporidie *Nosema cerenae* et d'insecticides neurotoxiques sur la santé de l'abeille domestique, *Apis mellifera**. Université Clermont Auvergne.
- Ruttner, F. (1975). African races of honey bees. *IProc 25th Int Beekeep Congr. Bucharest, Apimondia*.
- Ruttner, F. (1988). Biogeography and Taxonomy of Honey Bees. In *Springer-Verlang Berlin Heidelberg* (1st ed). Springer-Verlang Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-72649-1>
- Ruttner, F., Tassencourt, L., & Louveaux, J. (1978). Biometrical-statistical analysis of the geographic variability of *Apis mellifera*. *Apidologie*, 9(4), 363–381. <https://doi.org/10.1051/apido:19780408>

Références bibliographiques

- Salvatore, G., Chibani Bahi Amar, A., Canale-Tabet, K., Fridi, R., Tabet Aoul, N., Saci, S., Labarthe, E., Palombo, V., D'Andrea, M., Vignal, A., & Faux, P. (2023). Natural clines and human management impact the genetic structure of Algerian honey bee populations. *Genetics Selection Evolution*, 55(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12711-023-00864-5>
- Santillán-Castillo, R., Utrera-Quintana, F., CastilloGonzález, F., Benítez-Riquelme, I., Camacho-Ronquillo, J. C., Hernández-Hernández, J. E., & Villa-Mancera, A. E. (2023). POSIBILIDAD DE GENERAR POBLACIONES DE *Apis mellifera* L. TOLERANTES A IMIDACLOPRID. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(1), 41–49. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.1.41>
- Santos, C. F. dos, Patrick, Douglas, de, Souza, dos, S., Daniela, Martins, M., Tairis, D.-C., & Betina, B. (2019). Geometric morphometrics of the forewing shape and size discriminate *Plebeia* species (Hymenoptera: Apidae) nesting in different substrates. *Systematic Entomology*, 2. <https://doi.org/10.1111/SYEN.12354>
- Sari, F., Kandemir, I., Ceylan, D. A., & G, A. (2020). Using AHP and PROMETHEE multi-criteria decision making methods to definesuitable apiary locations. *Journal of Apicultural Research*, 59(4), 546–557. <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1718341>
- Scheper, J., Bommarco, R., Holzschuh, A., Potts, S. G., Riedinger, V., Roberts, S. P. M., Rundlöf, M., Smith, H. G., Steffan-Dewenter, I., Wickens, J. B., Wickens, V. J., & Kleijn, D. (2015). Local and landscape-level floral resources explain effects of wildflower strips on wild bees across four European countries. *Journal of Applied Ecology*, 52(5), 1165–1175. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12479>
- Schwarz, R. S., Bauchan, G. R., Murphy, C. A., Ravoet, J., De Graaf, D. C., & Evans, J. D. (2015). Characterization of two species of trypanosomatidae from the Honey Bee *Apis mellifera*: *Crithidia mellificae* Langridge and McGhee, and *Lotmaria passim* n. gen., n. sp. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 62(5), 567–583. <https://doi.org/10.1111/jeu.12209>
- Seltzer, R., Kahanov, P., Kamer, Y., Hetzroni, A., Bieńkowska, M., Hefetz, A., & Soroker, V. (2022). The payoffs and tradeoffs of hygienic behavior: a five year field study on a local population of honey bees. *Journal of Apicultural Research*, 61(4), 492–501. <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2048947>
- Shrestha, M., Garcia, J. E., Bukovac, Z., Dorin, A., & Dyer, A. G. (2018). Pollination in a new climate: Assessing the potential influence of flower temperature variation on insect pollinator behaviour. *PLoS One*, 13(8), e0200549. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200549>
- Shweta, K., Saminathan, V. R., Sowmiya, C., Preetha, G., Srinivasan, M. R., Baskaran, V., & Manivannan, N. (2024). Flying Sperm: The Indispensable Component of the Instrumental Insemination of Honey Bees: A Review. *Indian Journal of Animal Research*, Of. <https://doi.org/10.18805/ijar.b-5384>
- Singh, A. S. (2022). Social Structure to Artificial Implementation: Honeybees: Depth and Breadth of Artificial Bee Colony Optimization. *Intelligent Systems: Proceedings of CIS 2021, Volume 2*, 271–285.

Références bibliographiques

- Singh, A. S., & Chanu, M. T. (2022a). Combined role of immediate early genes Egr-1, Hr-38 and Kakusei in the foraging behavior and learning in honeybees. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, *16*(2), 458–465. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2022.16.2.1169>
- Singh, A. S., & Chanu, M. T. (2022b). foraging behavior and learning of in honeybees. *BioRxiv*, *10*. <https://doi.org/10.1101/2022.10.21.513309>
- Siopa, C., Carvalheiro, L. G., Castro, H., Loureiro, J., & Castro, S. (2024). Animal-pollinated crops and cultivars—A quantitative assessment of pollinator dependence values and evaluation of methodological approaches. *Journal of Applied Ecology*, *61*(6), 1279–1288. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14634>
- Spivak, M., & Danka, R. G. (2021). Perspectives on hygienic behavior in *Apis mellifera* and other social insects. *Apidologie*, *52*(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00784-z>
- Sprau, L., Hasselmann, M., & Rosenkranz, P. (2021). Reproduction of *Varroa destructor* does not elicit varroa sensitive hygiene (VSH) or recapping behaviour in honey bee colonies (*Apis mellifera*). *Apidologie*, *52*(6), 1048–1059. <https://doi.org/10.1007/s13592-021-00886-2>
- Steinhauer, N., Kulhanek, K., Antúnez, K., Human, H., Chantawannakul, P., Chauzat, M. P., & vanEngelsdorp, D. (2018). Drivers of colony losses. *Current Opinion in Insect Science*, *26*, 142–148. <https://doi.org/10.1016/J.COIS.2018.02.004>
- Stephen, F. P. (2021). The Social Life of Honey Bees. *Veterinary Clinics of North America-Food Animal Practice*, *37*(3), 387–400. <https://doi.org/10.1016/J.CVFA.2021.06.012>
- Szopek, M., Stokanic, V., Radspieler, G., & Schmickl, T. (2021). Simple Physical Interactions Yield Social Self-Organization in Honeybees. *Frontiers in Physics*, *9*, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fphy.2021.670317>
- Tantillo, G., Bottaro, M., Di Pinto, A., Martella, V., Di Pinto, P., & Terio, V. (2015). Virus infections of honeybees *Apis mellifera*. *Italian Journal of Food Safety*, *4*(3), 157–168. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2015.5364>
- Tarekegn, A., Faji, M., & Abebe, A. (2022). PRODUCTION-AND-Behavioral PERFORMANCE_Ethiopia. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, *22*(2), 211–226. <https://doi.org/10.31467/uluaricilik.1181552>
- Tarpy, D. R., Keller, J. J., Caren, J. R., & Delaney, D. A. (2011). Experimentally induced variation in the physical reproductive potential and mating success in honey bee queens. *Insectes Sociaux*, *58*, 569–574. <https://doi.org/10.1007/s00040-011-0180-z>
- Tarpy, D. R., Talley, E., & Metz, B. N. (2020). Influence of brood pheromone on honey bee colony establishment and queen replacement. *Journal of Apicultural Research*, *60*(2), 220–228. <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1867336>
- Techer, M. A., Clémencet, J., Simiand, C., Preaduth, S., Azali, H. A., Reynaud, B., & Hélène, D. (2017). Large-scale mitochondrial DNA analysis of native honey bee *Apis mellifera* populations reveals a new African subgroup private to the South West Indian Ocean islands. *BMC Genetics*, *18*(1), 1–21. <https://doi.org/10.1186/s12863-017-0520-8>

Références bibliographiques

- Tofilski, A., Kaur, H., & Łopuch, S. (2024). Size and Shape Differences in Fore Wings of Honey Bee (*Apis Mellifera*) Queens, Workers and Drones. *Journal of Apicultural Science*, 68(1), 5–17. <https://doi.org/10.2478/jas-2023-0013>
- Toufalia, H. Al, Evison, S. E. F., Hughes, W. O. H., & Ratnieks, F. L. W. (2018). Both hygienic and non-hygienic honeybee, *Apis mellifera*, colonies remove dead and diseased larvae from open brood cells. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1751), 27–29. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0201>
- Toufalia, H., Amiri, E., Scandian, L., Kryger, P., & Ratnieks, F. (2014). Towards integrated control of varroa: effect of variation in hygienic behaviour among honey bee colonies on mite population increase and deformed wing virus incidence. *Journal of Apicultural Research*, 53(5), 555–562. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.53.5.10>
- Traynor, K. S., Mondet, F., de Miranda, J. R., Techer, M., Kowallik, V., Oddie, M. A., Chantawannakul, P., & McAfee, A. (2020). Varroa destructor: A complex parasite, crippling honey bees worldwide. *Trends in Parasitology*, 36(7), 592–606. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2020.04.004>
- Traynor, K. S., Rennich, K., Forsgren, E., Rose, R., Pettis, J., Kunkel, G., Madella, S., Evans, J., Lopez, D., & vanEngelsdorp, D. (2016). Multiyear survey targeting disease incidence in US honey bees. *Apidologie*, 47(3), 325–347. <https://doi.org/10.1007/s13592-016-0431-0>
- Van Alphen, J. J. M., & Fernhout, B. J. (2020). Natural selection, selective breeding, and the evolution of resistance of honeybees (*Apis mellifera*) against Varroa. *Zoological Letters*, 6(1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/s40851-020-00162-8>
- Van Esch, L., De Kok, J. L., Janssen, L., Buelens, B., De Smet, L., de Graaf, D. C., & Engelen, G. (2020). Multivariate Landscape Analysis of Honey Bee Winter Mortality in Wallonia, Belgium. *Environmental Modeling and Assessment*, 25(3), 441–452. <https://doi.org/10.1007/s10666-019-09682-w>
- Vercelli, M., Novelli, S., Ferrazzi, P., Lenthini, G., & Ferracini, C. (2021). A Qualitative Analysis of Beekeepers' Perceptions and Farm Honey Bees. *Insects*, 12(228), 1–11.
- Vergara-Amado, J., Manzi, C., Franco, L. M., Contecha, S. C., Marquez, S. J., Solano-Iguaran, J. J., Haro, R. E., & Silva, A. X. (2020). Effects of residual doses of neonicotinoid (imidacloprid) on metabolic rate of queen honey bees *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). *Apidologie*, 51(6), 1091–1099. <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00787-w>
- Von Frisch, K. (1977). Fünfzig Jahre Verständliche Wissenschaft. *Semper Attentus: Beiträge Für Heinz Götze Zum 8. August 1977*, 113–116.
- Vung, N. N., Choi, Y. S., & Kim, I. (2020). High resistance to Sacbrood virus disease in *Apis cerana* (Hymenoptera: Apidae) colonies selected for superior brood viability and hygienic behavior. *Apidologie*, 51(1), 61–74. <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00708-6>
- Wallberg, A., Schöning, C., Webster, M. T., & Hasselmann, M. (2017). Two extended haplotype blocks are associated with adaptation to high altitude habitats in East African honey bees. *PLoS Genetics*, 13(5), 1–30. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1006792>

Références bibliographiques

- Weller, A. (2015). *Behavioral syndromes in individual honeybees*. University of Colorado, Boulder.
- Wilson, W. . (1971). Resistance to American foulbrood in honey bees XI. Fate of *Bacillus* larvae spores ingested by adults. *Journal of Invertebrate Pathology*, *17*(2), 247–255. [https://doi.org/10.1016/0022-2011\(71\)90099-1](https://doi.org/10.1016/0022-2011(71)90099-1)
- Winston, M. L. (1993). *La biologie de l'abeille* (F. Roche (Ed.)).
- Winston, M. L., & Punnet, E. N. (1982). Factors determining temporal division of labor in honeybees. *Canadian Journal of Zoology*, *60*(11), 2947–2952.
- World Food and Agriculture information Products, F. (2022). *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022*.
- Zarić, N. M., Brodschneider, R., & Goessler, W. (2024). Sex-specific element accumulation in honey bees (*Apis mellifera*). *Environmental Science and Pollution Research*, *0123456789*. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32822-z>
- Zhang, X., Hao, Y., Niu, Q., Chen, Y., Xia, Z., Xie, Z., Zhao, Y., Kong, L., & Peng, W. (2022). Division of Labor among Worker Bees Is Associated with the Lipidomic Plasticity in Their Brains. *Agriculture (Switzerland)*, *12*(7), 1–19. <https://doi.org/10.3390/agriculture12070952>
- www.britannica.com/animal/honeybee

ANNEXE

Questionnaire destiné aux apiculteurs algériens

Ce questionnaire a été élaboré dans le cadre de l'étude doctorale sur les pratiques apicoles et les facteurs influençant la santé des colonies d'abeilles en Algérie. Il a été administré à des apiculteurs dans différentes wilayas.

Identification de l'apiculteur

- 1a. Nom et Prénom :
- 1b. Sexe : Masculin Féminin
- 1c. Âge : <20 21–30 31–40 41–50 51–60 61–70 >70
- 1d. Niveau d'instruction : Sans Primaire Secondaire Universitaire

Informations sur l'exploitation apicole

- 2a. Nombre de colonies actuellement en possession :
- 2b. Type de ruche utilisée : Traditionnelle Langstroth Dadant Autre :
- 2c. Type d'exploitation : Fixe Transhumante Mixte
- 2d. Statut de l'apiculteur : Temps plein Temps partiel

Races d'abeilles et conduite d'élevage

- 3a. Pensez-vous que les races locales d'abeilles sont en danger ? Oui Non
- 3b. Pratiquez-vous l'élevage de reines ? Oui Non
- 3c. D'où proviennent généralement vos reines ?
- 3d. Pratiquez-vous des croisements entre races d'abeilles ? Oui Non
- 3e. Quelle race d'abeille utilisez-vous principalement ?
- 3f. Pensez-vous que vos abeilles sont hybrides ? Oui Non
- 3g. Utilisez-vous des reines importées ? Oui Non Parfois

Produits de la ruche et pratiques de production

- 4a. Produisez-vous de la gelée royale ? Oui Non
- 4b. Produisez-vous du pollen ? Oui Non
- 4c. Produisez-vous de la propolis ? Oui Non
- 4d. Produisez-vous du venin d'abeille ? Oui Non
- 4e. Vendez-vous des essaims ou des colonies ? Oui Non
- 4f. Vendez-vous des reines ? Oui Non
- 4g. Quelle est la quantité moyenne de miel produite par ruche (kg) ? :

Santé des colonies

- 5a. Avez-vous observé des pertes de colonies ? Oui Non
5b. Si oui, quelle en était la cause présumée ?
5c. Effectuez-vous des tests de dépistage du varroa ? Oui Non
5d. Quel taux d'infestation considérez-vous critique ?
5e. Quelles méthodes utilisez-vous pour le traitement contre Varroa destructor ?

Traitements appliqués (préciser la période)

- 14H. Tau-fluvalinate (ex. Apistan) :
14I. Amitraz :
14J. Acide oxalique (sublimation) :
14K. Acide oxalique (gouttage) :
14L. Autres méthodes non mentionnées :

Alimentation complémentaire

Quelle quantité de solution sucrée donnez-vous annuellement ? : kg

Perceptions environnementales

- 16A. Votre activité apicole est-elle affectée par le changement climatique ? (Échelle 1–5) :
16B. ... par la pollution de l'air ? (1–5) :
16C. ... par l'usage de pesticides agricoles ? (1–5) :
16D. ... par l'urbanisation ? (1–5) :

Protocole pour l'Évaluation du Comportement Hygiénique de l'Abeille Mellifère Telliennne par le Pin Test

Objectif : Évaluer le comportement hygiénique des colonies d'abeilles mellifères telliennes en mesurant leur capacité à détecter et éliminer les cellules endommagées, utilisant le pin test.

Étapes du Protocole

1. Sélection des colonies :

- Choisir un ensemble de colonies d'*Apis mellifera intermissa* dans plusieurs ruchers locaux pour assurer la représentativité.
- Noter les informations de chaque colonie (taille, état sanitaire, localisation du rucher).

2. Réalisation du Pin Test :

- Repérer un cadre de couvain fermé et sélectionner une zone contenant au moins 100 cellules operculées.
- Utiliser une aiguille fine (ex. aiguille de 0,5 mm) pour perforer le couvain dans une zone uniforme (souvent au centre du couvain).
- Piquer les cellules de manière à endommager les larves ou les nymphes dans chaque cellule sans affecter la structure des opercules.

3. Observation des réactions de nettoyage :

- Remettre le cadre dans la ruche et attendre 6h , 24h , 48 heures.
- Revenir après ce délai pour compter le nombre de cellules nettoyées (opercules enlevés et contenu retiré par les abeilles).
- Noter le nombre total de cellules piquées et le nombre de cellules nettoyées.

4. Calcul et Analyse :

- Calculer le taux de nettoyage : $\text{Taux de nettoyage (\%)} = \left(\frac{\text{Nombre de cellules nettoyées}}{\text{Nombre total de cellules piquées}} \right) \times 100$

- Répéter le test à différentes saisons pour évaluer l'influence saisonnière.
- Analyser les résultats statistiquement pour comparer les colonies et interpréter les différences.

Tableau 1 : Les données Pin Test pour 8 colonies sur plusieurs mois et périodes

Colony ID	Mar Removal Rate (%)	Apr Removal Rate (%)	May Removal Rate (%)	Jun Removal Rate (%)	Jul Removal Rate (%)	Aug Removal Rate (%)	Sep Removal Rate (%)
	6h / 24h / 48h						
Colony 1	40 / 60 / 80	45 / 62 / 85	50 / 70 / 90	60 / 78 / 95	62 / 80 / 97	50 / 72 / 88	45 / 65 / 82
Colony 2	42 / 64 / 85	44 / 67 / 88	52 / 71 / 89	62 / 80 / 96	65 / 82 / 98	53 / 74 / 89	48 / 68 / 83
Colony 3	38 / 59 / 81	42 / 61 / 82	51 / 68 / 88	61 / 77 / 95	64 / 78 / 96	49 / 71 / 87	44 / 63 / 80
Colony 4	35 / 55 / 78	40 / 59 / 80	47 / 65 / 85	55 / 72 / 92	60 / 75 / 94	48 / 70 / 86	42 / 61 / 78
Colony 5	46 / 65 / 83	50 / 68 / 87	55 / 72 / 91	65 / 81 / 97	67 / 84 / 98	54 / 76 / 90	51 / 70 / 85
Colony 6	48 / 66 / 84	52 / 69 / 88	56 / 74 / 92	66 / 82 / 98	68 / 85 / 99	55 / 77 / 91	53 / 72 / 86
Colony 7	44 / 63 / 82	49 / 65 / 86	54 / 71 / 90	64 / 79 / 96	66 / 83 / 97	52 / 74 / 89	47 / 67 / 84
Colony 8	41 / 61 / 80	46 / 63 / 83	53 / 69 / 89	63 / 78 / 94	65 / 81 / 96	51 / 73 / 88	46 / 66 / 81

Tableau 2 : Caractéristiques morphométriques et sanitaires des colonies d'abeilles : asymétrie fluctuante, spores de *Nosema* et charges virales (BQCV, DWV A, DWV B)

colony	CS.asym	PD.FA	MD.FA	Nosema. spores	BQCV	DWV.B	DWV.A
DZ-0047	- 0.00138127	0.01380294	8.270276	115312.5	4610.26914	Negatif-	991.038933
DZ-0048	- 0.01167987	0.01206157	7.651757	0	3285.53751	Negatif-	113.19163
DZ-0049	- 0.00817162	0.01378716	8.395213	32463.5	2169.14942	20.0461389	78.8688117
DZ-0050	0.00192189	0.01190908	7.571505	987187.5	2969.11606	423.554757	90.2358267
DZ-0051	0.00853504	0.01181507	7.722633	0	4173.6416	Negatif-	100.249569
DZ-0052	- 0.02519599	0.01296472	8.273748	273461.5	1677.44592	170.212247	4956.47801
DZ-0053	0.03453755	0.01334122	8.424044	94783.5	7781.71529	Negatif-	567.580822
DZ-0054	- 0.02036573	0.0130999	8.974318	0	1685.53838	Negatif-	63.6373929
DZ-0055	- 0.00824012	0.01211866	8.335919	159062.5	6101.65936	Negatif-	97.6749707
DZ-0056	-0.0117065	0.011555	7.790463	52812.5	2841.28972	Negatif-	97.12169
DZ-0057	- 0.00642908	0.01311199	8.163904	382500	3699.51971	64.6251199	785.693663
DZ-0058	0.00709808	0.01327065	8.325229	663892.5	2013.60635	Negatif-	38.414845
DZ-0059	0.01253694	0.01331212	8.216803	104687.5	3000.95857	Negatif-	91.815536

Tableau 3 : Analyse qPCR des Échantillons d'Abeilles Mellifères pour le Virus BQCV : Valeurs Cq et SQ

BQCV					
			sample	Cq	SQ
C01	SYBR	Unkn-01	A1	30.93	382.65021
C02	SYBR	Unkn-01	A1	30.32	2988.42654
C03	SYBR	Unkn-02	A2	30.03	7938.09959
C04	SYBR	Unkn-02	A2	30.21	4265.21913
C05	SYBR	Unkn-03	A3	30.31	3107.81596
C06	SYBR	Unkn-03	A3	30.36	2574.76347
C07	SYBR	Unkn-04	A4	30.48	1748.27722
C08	SYBR	Unkn-04	A4	30.13	5650.76220
C09	SYBR	Unkn-05	T30	30.16	5044.09295
C10	SYBR	Unkn-05	T30	30.52	1526.98207
C11	SYBR	Unkn-06	T50	30.29	3303.67337
C12	SYBR	Unkn-06	T50	30.36	2634.55875
D01	SYBR	Unkn-07	T47	30.48	1712.37377
D02	SYBR	Unkn-07	T47	30.36	2625.92507
D03	SYBR	Unkn-08	S24	30.43	2043.54962
D04	SYBR	Unkn-08	S24	30.24	3958.36751
D05	SYBR	Unkn-09	T57	30.35	2657.67340
D06	SYBR	Unkn-09	T57	30.75	697.21845
D07	SYBR	Unkn-10	T59	30.21	4342.75066
D08	SYBR	Unkn-10	T59	29.93	11220.67992
D09	SYBR	Unkn-11	T15	30.04	7649.81553
D10	SYBR	Unkn-11	T15	30.51	1570.72275
D11	SYBR	Unkn-12	T41	30.31	3115.77335
D12	SYBR	Unkn-12	T41	30.67	911.43936
E01	SYBR	Unkn-13	T55	30.97	333.56520
E02	SYBR	Unkn-13	T55	30.03	8013.71801

Tableau 4 : Analyse qPCR des Échantillons d'Abeilles Mellifères pour le Virus DWV B : Valeurs Cq et SQ

DWV B						
				sample	Cq	SQ
C01	SYBR		Unkn-01	A1	37.56	2.15155
C02	SYBR		Unkn-01	A1	31.72	7.95804
C03	SYBR		Unkn-02	A2	38.24	0.04901
C04	SYBR		Unkn-02	A2	37.23	0.10788
C05	SYBR		Unkn-03	A3	36.50	0.18957
C06	SYBR		Unkn-03	A3	39.46	0.01886
C07	SYBR		Unkn-04	A4	28.60	91.33362
C08	SYBR		Unkn-04	A4	29.73	37.91662
C09	SYBR		Unkn-05	T30	37.28	0.10345
C10	SYBR		Unkn-05	T30	38.19	0.05060
C11	SYBR		Unkn-06	T50	33.83	1.53866
C12	SYBR		Unkn-06	T50	25.76	845.57086
D01	SYBR		Unkn-07	T47	37.35	0.09825
D02	SYBR		Unkn-07	T47	29.66	39.99403
D03	SYBR		Unkn-08	T57	27.82	168.98667
D04	SYBR		Unkn-08	T57	27.80	171.43783
D05	SYBR		Unkn-09	T59	34.48	0.92529
D06	SYBR		Unkn-09	T59	34.85	0.69180
D07	SYBR		Unkn-10	T15	37.24	0.10671
D08	SYBR		Unkn-10	T15	35.23	0.51294
D09	SYBR		Unkn-11	T41	36.89	0.14003
D10	SYBR		Unkn-11	T41	34.95	0.64044
D11	SYBR		Unkn-12	T55	37.33	0.09964
D12	SYBR		Unkn-12	T55	36.57	0.17971
D03	SYBR		Unkn-08	S24	37.35	2.59834
D04	SYBR		Unkn-08	S24	37.06	3.33160

Tableau 5 : Analyse qPCR des Échantillons d'Abeilles Mellifères pour le Virus DWV A : Valeurs Cq et SQ

DWV A					
			sample	Cq	SQ
C07	SYBR	Unkn-04	A4	35.58	261.56324
C08	SYBR	Unkn-04	A4	32.26	1309.82408
C09	SYBR	Unkn-05	T30	38.00	80.62668
C10	SYBR	Unkn-05	T30	36.78	145.75658
C11	SYBR	Unkn-06	T50	39.56	37.82778
C12	SYBR	Unkn-06	T50	36.83	142.64387
D01	SYBR	Unkn-07	T47	38.47	64.14031
D02	SYBR	Unkn-07	T47	37.70	93.59732
D03	SYBR	Unkn-08	S24	37.63	96.72041
D04	SYBR	Unkn-08	S24	37.85	86.91066
D05	SYBR	Unkn-09	T57	34.09	539.37288
D06	SYBR	Unkn-09	T57	28.21	9373.58314
D07	SYBR	Unkn-10	T59	32.75	1033.28828
D08	SYBR	Unkn-10	T59	37.52	101.87336
D11	SYBR	Unkn-12	T41	39.45	39.88650
D12	SYBR	Unkn-12	T41	39.61	36.94319
C11	SYBR	Unkn-06	A1	38.05	91.77630
C12	SYBR	Unkn-06	A1	39.99	35.49848
D01	SYBR	Unkn-07	A2	38.51	73.18166
D02	SYBR	Unkn-07	A2	37.47	122.16828
D03	SYBR	Unkn-08	A3	38.21	85.12059
D04	SYBR	Unkn-08	A3	37.70	109.12279
D05	SYBR	Unkn-09	T15	31.82	1932.84661
D06	SYBR	Unkn-09	T15	39.32	49.23126
D07	SYBR	Unkn-10	T55	37.45	123.27588
D08	SYBR	Unkn-10	T55	38.40	77.22326

Résumé :

Cette étude approfondie sur l'apiculture en Algérie a révélé des dynamiques clés entre les pratiques apicoles, le comportement hygiénique des colonies et la santé des abeilles *Apis mellifera intermissa* face aux infections pathogènes. L'analyse des données de 200 apiculteurs a montré une prédominance de l'apiculture stationnaire, limitant les rendements en raison de la dépendance aux ressources florales locales. Les résultats indiquent que 66,5 % des apiculteurs signalent un faible rendement en miel, ce qui, combiné à une diminution continue de la production sur les dix dernières années, reflète les défis du secteur, exacerbés par le changement climatique et des pratiques de gestion inadéquates. Les tests statistiques, y compris l'ANOVA, ont révélé des différences significatives ($p < 0.05$) entre les colonies en ce qui concerne les taux de retrait du couvain mort, indiquant une variabilité importante du comportement hygiénique en fonction des saisons. L'analyse de la correspondance (ACP) a permis de visualiser les relations entre les différentes colonies et leur performance hygiénique, mettant en évidence certaines colonies, comme la Colonie 4, qui affichent un comportement hygiénique supérieur avec des taux de retrait atteignant jusqu'à 98 % en 48 heures. L'examen des corrélations entre les charges virales et les caractéristiques morphologiques des ailes a révélé des associations intéressantes. Bien qu'aucune corrélation significative ($p > 0.05$) n'ait été observée entre la morphologie des ailes et les niveaux d'infection par *Nosema*, des corrélations modérées à fortes ont été trouvées entre la charge virale de DWV-B et les spores de *Nosema*, suggérant que l'infection par *Nosema* pourrait aggraver les charges virales, ce qui mérite une attention particulière dans la gestion de la santé des colonies. En somme, cette étude fournit des bases solides pour des stratégies durables en apiculture algérienne. En investissant dans l'éducation des apiculteurs, l'amélioration des pratiques de gestion et l'adoption de technologies modernes, le secteur peut renforcer la résilience de ses colonies face aux menaces environnementales et sanitaires. Ces approches sont essentielles pour la prospérité économique et la préservation de la biodiversité en Algérie.

Mots clés : *Apis mellifera intermissa*, Comportement hygiénique, Infection, Rendements, Pratiques apicoles.

Abstract:

This comprehensive study on beekeeping in Algeria revealed key dynamics between beekeeping practices, the hygienic behavior of colonies, and the health of *Apis mellifera intermissa* in the face of pathogenic infections. Analysis of data from 200 beekeepers showed a predominance of stationary beekeeping, limiting yields due to reliance on local floral resources. The results indicated that 66.5% of beekeepers reported low honey yields, which, combined with a continuous decline in production over the last ten years, reflects the challenges facing the sector, exacerbated by climate change and inadequate management practices. Statistical tests, including ANOVA, revealed significant differences ($p < 0.05$) between colonies regarding the rates of dead brood removal, indicating a substantial variability in hygienic behavior based on the seasons. Correspondence analysis (PCA) allowed visualization of the relationships between different colonies and their hygienic performance, highlighting certain colonies, such as Colony 4, that displayed superior hygienic behavior with removal rates reaching up to 98% within 48 hours. The examination of correlations between viral loads and the morphological characteristics of wings revealed interesting associations. Although no significant correlation ($p > 0.05$) was observed between wing morphology and infection levels of *Nosema*, moderate to strong correlations were found between the viral load of DWV-B and *Nosema* spores, suggesting that *Nosema* infection could exacerbate viral loads, which warrants particular attention in managing colony health. In summary, this study provides a solid foundation for sustainable strategies in Algerian beekeeping. By investing in beekeeper education, improving management practices, and adopting modern technologies, the sector can enhance the resilience of its colonies against environmental and health threats. These approaches are essential for the economic prosperity and biodiversity preservation in Algeria.

Keywords: *Apis mellifera intermissa*, Hygienic behaviour, Infection, Yields, Beekeeping practices.

الملخص :

كشفت هذه الدراسة المعمّقة حول تربية النحل في الجزائر عن تفاعلات رئيسية بين الممارسات المتّبعة في تربية النحل، والسلوك الصحي (النظيف) لمستعمرات نحل العسل من النوع أبيس ميليفيرا إنترميسا، وصحة النحل في مواجهة العدوى الممرضة. أظهرت تحاليل بيانات 200 مرّي نحل هيمنة نظام تربية النحل الثابت (غير الترحالي) ، مما يحدّ من المردودية بسبب الاعتماد على الموارد الزهرية المحلية.

أشارت النتائج إلى أن 66.5% من مرّي النحل أبلغوا عن ضعف إنتاج العسل، وهو ما يعكس التحديات التي يواجهها هذا القطاع، خصوصًا مع التراجع المستمر للإنتاج خلال السنوات العشر الأخيرة، وذلك نتيجة للتغيرات المناخية والممارسات الإدارية غير الملائمة.

بين المستعمرات فيما ($p < 0.05$) أظهرت التحاليل الإحصائية، بما في ذلك تحليل التباين (أنوفا)، وجود فروقات معنوية يخصّ معدلات إزالة الحضنة الميتة، مما يدلّ على وجود تفاوت كبير في السلوك الصحي حسب الفصول. كما سمح التحليل التراسلي (تحليل المكونات الرئيسية) بتصوّر العلاقات بين المستعمرات المختلفة وأدائها الصحي، حيث تميّزت بعض المستعمرات، مثل المستعمرة رقم 4، بسلوك صحي متميّز، حيث بلغت نسبة إزالة الحضنة الميتة إلى 98% خلال 48 ساعة.

كما تمّ دراسة الترابط بين الحمولة الفيروسية والخصائص الشكلية لأجنحة النحل، وكشفت التحاليل عن علاقات مثيرة للاهتمام بين شكل الأجنحة ومستويات الإصابة بطفيل نوزيما، تمّ تسجيل ($p > 0.05$) فعلى الرغم من عدم وجود ارتباط معنوي (دي دبليو في ب) وعدد أبواغ نوزيما، مما يشير B ترابطات متوسطة إلى قوية بين حمولة فيروس تشوّه الأجنحة من النوع إلى أن الإصابة بطفيل نوزيما قد تساهم في تفاقم العدوى الفيروسية، وهو ما يستدعي اهتمامًا خاصًا في إطار إدارة صحة مستعمرات النحل.

ختامًا، توفر هذه الدراسة أسسًا علمية قوية لوضع استراتيجيات مستدامة لتربية النحل في الجزائر. من خلال الاستثمار في تكوين مرّي النحل، وتحسين أساليب الإدارة، وتبني التكنولوجيا الحديثة، يمكن لهذا القطاع أن يعزّز مناعة مستعمراته تجاه التهديدات البيئية والصحية. وتعدّ هذه التوجهات ضرورية من أجل الأزدهار الاقتصادي والحفاظ على التنوع البيولوجي في الجزائر.

الكلمات المفتاحية : نحل العسل أبيس ميليفيرا إنترميسا، السلوك الصحي، العدوى، الإنتاجية، ممارسات تربية النحل.

SUSTAINABLE BEEKEEPING IN ALGERIA: EXPLORING PRACTICES, CHALLENGES, AND LOCAL HONEYBEE TRAITS FOR NATURAL RESOURCE MANAGEMENT

Haider Yamina*^{ID}, Adjlane Nouredine**^{ID}, Martin-Hernande Raquel***^{ID}, Haddad Nizar****^{ID}, Abdelmounaim Khemmouli*****^{ID}#

*M'hamed Bougara University, Faculty of Sciences, Department of Agronomy, Laboratory of Bioinformatics, Applied Microbiology and Biomolecules (BMAB), Boumerdes, Algeria

**M'hamed Bougara University, Faculty of Sciences, Department of Agronomy, Boumerdes, Algeria

***Regional Research and Development Institute for Food and Forestry, Laboratory of Beekeeping Pathology, Centre for Beekeeping and Agroenvironmental Research, Marchamalo, Spain, and Institute of Human Resources for Science and Technology, Albacete, Spain

****Innovations & Business Development, Fresh Del Monte; General Manager, Organic L'Ora, Amman, Governorate of Amman, Jordan

*****Ferhat Abbas University, Faculty of Natural and Life Sciences, Department of Agronomic Sciences, Laboratory of Valorisation of Natural Biological Resources, Sétif 1, 19000, Algeria

Abstract

Honeybees are crucial pollinators, playing a vital role in maintaining plant biodiversity and promoting a healthy natural environment. They serve as bioindicators, reflecting the state of our ecosystems. Beekeeping in Algeria faces significant challenges, particularly the devastating effects of the Varroa mite, an ectoparasite harming bee colonies.

This study aimed at understanding the resilience of Mediterranean bee subspecies in the context of climate change. Conducted in 2021, a survey targeted Algerian beekeeping associations and individual beekeepers. The goal was to characterize beekeeping practices, identify key challenges, and evaluate their impact on natural resources and sustainable development.

The survey reached beekeepers in 19 Algerian provinces, with a total of 200 responses analyzed. The results highlight constraints hindering beekeeping development: drought, high bee mortality, and the presence of bee diseases. These findings suggest that beekeepers who select colonies with strong overwintering and drought resistance capabilities can potentially improve honey production. The COVID-19 pandemic further impacted honey production, leading to lower yields in recent years.

However, positive aspects were also identified, including beekeepers implementing good practices (queen replacement, apiary selection, transhumance) and routine Varroa mite monitoring. Strengthening the role of beekeeping associations in the field is crucial to support the sector's organization and improve its current situation, ultimately contributing to sustainable management of natural resources in Algeria.

Key words: Beekeeping, natural resources, sustainable development, climate change, honeybee, Varroa

INTRODUCTION

Honeybees are the most ideal pollinators for agricultural production (Demir et al., 2023; Requier et al., 2023). Bees produce a range of high-value products, including honey, royal jelly, and beeswax, but have recently been impacted by a wide range of biological and abiotic factors (Moritz et al., 2010). Beekeeping in Algeria has always been of great importance on the

Corresponding author

socio-economic level, given the climatic conditions and the important flora favourable to its development. In 2012 the term precision beekeeping was described for the first time by Zacepins et al., 2012.

It is an apiary management strategy based on individual and continuous monitoring of colonies using technological tools (Capela et al., 2023; Meikle and Holst, 2015; Zacepins and Karasha, 2013).

Its primary objective is to minimize resource consumption to maximize bee productivity, which requires a better understanding of the daily needs of the colonies. In Algeria, beekeeping faces a significant challenge in the form of *Varroa destructor*, an ectoparasitic mite that poses a severe threat to bee colonies (Adjlane et al., 2013; Bendjedid and Achou, 2014; Hazam et al., 2023).

This study within the framework of the MEDIBEES project, which focuses on monitoring the Mediterranean Honeybee Subspecies and their Resilience to Climate Change for the Improvement of Sustainable Agro-Ecosystems, a comprehensive questionnaire was crafted and distributed among beekeepers in the countries collaborating within the MEDIBEES consortium.

The primary goal of this questionnaire was to gather insights from key stakeholders in the apiculture industry, with the goal of identifying the primary challenges and threats facing this crucial sector. It is preferable that authors to submit their article carefully written and checked. Materials submitted with spelling and grammar errors will not be accepted. They must present the results as concisely as possible.

As we delve into the results, this study sheds light on the impediments that have hindered the development of beekeeping in Algeria in recent years, including factors such as drought, elevated mortality rates, and the prevalence of pathologies. The compounding impact of the COVID-19 pandemic on beekeepers' yields is also explored, revealing a concerning decline in honey production over the last two years. Amidst these challenges, positive aspects emerge, showcasing beekeepers practicing effective methods such as queen renewal, strategic apiary selection, and the implementation of transhumance. Additionally, regular screening for varroasis in honeybee colonies reflects a proactive approach to disease management.

This study not only underscores the obstacles facing Algerian beekeepers but also highlights the potential for positive change. It emphasizes the crucial role of beekeeping associations in on-the-ground initiatives, advocating for the organization of the beekeeping sector and the overall enhancement of the current situation. The subsequent sections will delve into the detailed findings of the survey, offering a nuanced understanding of the dynamics shaping beekeeping in Algeria and presenting valuable insights for

future sustainability and resilience in the face of evolving environmental challenges.

MATERIAL AND METHOD

The questionnaire was prepared in both English and French using Google Forms. The study was carried out during the year 2021, with the objective of characterizing and understanding the beekeeping activity and its main problems in Algeria, the survey was disseminated in Algeria by e-mail and sent to all beekeeping associations and beekeepers. Visits to the beekeepers were also carried out to obtain the maximum number of responses.

In this article, only the results obtained for Algeria will be presented. In total, 200 questionnaires were analysed. The respondents have apiaries in 19 wilayas of the country. Statistically significant differences among means were compared at the 5 % significance level using the Duncan's test implemented in R software version 4.3.1.

In the course of this study, an examination of apiary distribution highlighted a pronounced concentration in the northern region of Algeria (Fig. 1). Survey respondents reported having apiaries in 19 different wilayas across the country, underscoring the widespread nature of beekeeping activities. Notably, the results illustrated a distinct segregation of beekeeping practices, with a significant preference for relatively undeveloped areas in the northern region. This spatial pattern suggests a tendency for beekeeping activities to thrive in less urbanized environments, possibly owing to factors such as favourable natural conditions or land availability.

Survey Design. To ensure data privacy and participant anonymity, the questionnaire employed appropriate features. The survey commenced by gathering beekeeper demographics and established management practices. Subsequently, it explored beekeepers' observations regarding honeybee traits and behaviors, followed by an evaluation of honey production. Finally, the questionnaire delved into beekeepers' knowledge of prevalent pathogens and their implemented control strategies. However, unanswered questions led to some variation in response completeness.

Statistical Analysis: Unveiling Beekeeping Challenges and Solutions

This investigation will employ a multifaceted approach to analyze the collected data on bee populations, beekeeping practices, and environmental variables. Software programs R (version 4.3.3) and Excel 2016 will be utilized to perform descriptive statistics, the MCA statistic and the chi-square test (X^2). These analyses aim to uncover trends in beekeeping practices within Algeria. By identifying potential challenges that may be impacting bee health,

this study seeks to establish recommendations for sustainable beekeeping practices in the region.

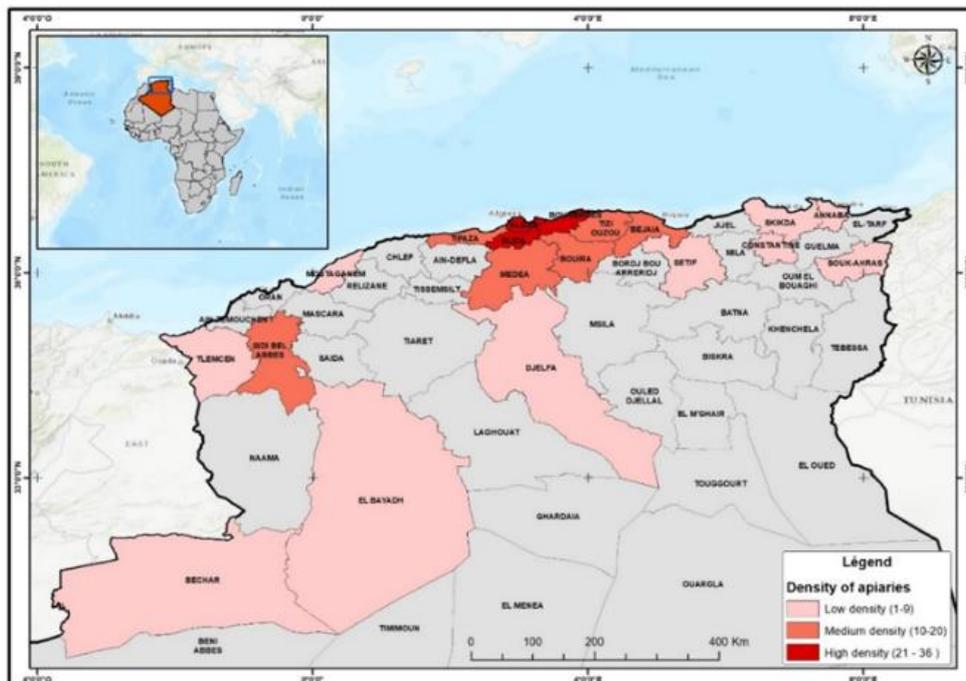


Fig. 1. Distribution of locations where respondents have their apiaries

RESULTS AND DISCUSSION

Sociodemographic. The majority of respondents (97 %) were men, with a predominance in the 31-40 age group. The least represented were those aged 61-70 (4 %) and 41-50 (13 %). Regarding educational level, 35% of respondents had higher education and 39 % had completed secondary school. Most beehives are located in the northern region of Algeria, spread across 19 wilayas, indicating a concentration of beekeeping activities in less urbanized areas (Fig. 2).

Beekeepers play a crucial role in preserving bee species, and they now have access to less invasive solutions for monitoring and predicting hive health (Magnier et al., 2022). Our results show a male dominance in beekeeping, consistent with several studies from the African continent, where men constitute 14 % of beekeepers in Rwanda and 6.7 % in Ethiopia. The very low number of female beekeepers in the studied areas may be due to the perception of beekeeping as a male occupation (Bihonegn and Begna, 2021; Mushonga et al., 2019). A recent study by Farrugia et al., 2022, on beekeeping activities in Malta found that only 8.3 % of adult beekeepers are women. Another study also shows that women are underrepresented in Europe, with

Italy having the highest percentage of female beekeepers (37.5 %) and Spain the lowest (10 %).

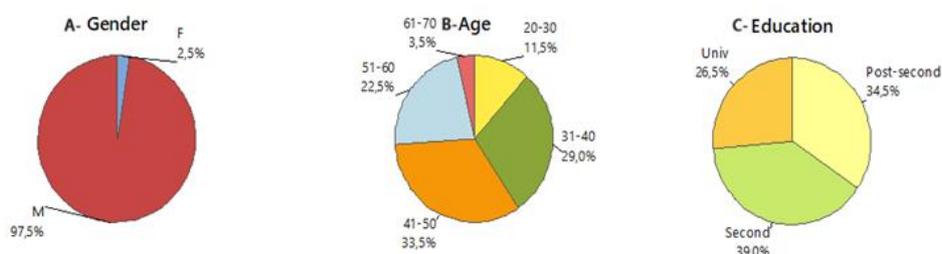


Fig. 2. Demographics of Survey Respondents, Pie chart illustrating the characterization of respondents by (A) gender, (B) age range, and (C) Education

38 % of beekeepers are in the 31-40 age group, while the 61-70 age group is the least represented, with only 4 %. This decline in interest in beekeeping among young adults reflects a broader trend of disinterest in the agricultural sector. It is essential to implement initiatives to attract and engage young people to ensure the long-term economic sustainability of these sectors (Farrugia et al., 2022). The educational level of beekeepers is crucial for identifying and specifying the development and extension services needed for the region (Alemu et al., 2015). In terms of education, 35 % had higher education and 39 % had completed secondary school. Thus, these findings underscore the pivotal role of education in the successful adoption of improved beekeeping practices.

Characterization of apiaries. Most apiaries predominantly house a single subspecies of honeybee. Approximately 95 % of beekeepers (n=190) primarily manage Tellian or *Apis mellifera intermissa* bees, while 5 % prefer Saharan honeybees, *Apis mellifera (A.m.) sahariensis*. Among respondents, 73 % of beekeepers (n=146) perceive local bees to be endangered, contrasting with 27 % (n=53) who do not share this concern.

The distribution of colonies per beekeeper, depicted in Figure 3, varies significantly. Respondents with the fewest and most colonies manage between 15 and 410 colonies in Langstroth hives. Specifically, 26.5 % of beekeepers (n=53) manage between 50 and 100 colonies, 23.5 % (n=47) have fewer than 50 colonies, and fewer than 5 % (n=10) oversee more than 300 colonies. None reported managing more than 500 colonies in this study.

Beekeeping practices in Algeria primarily adhere to a small-scale model. Only 26.5 % of beekeepers (n=53) manage between 50 and 100 colonies, with 23.5 % (n=47) handling fewer than 50 and less than 5 % (n=10) managing more than 300 colonies. Despite challenges such as vegetation

availability, climate change, and part-time engagement among beekeepers, these practices appear stable.

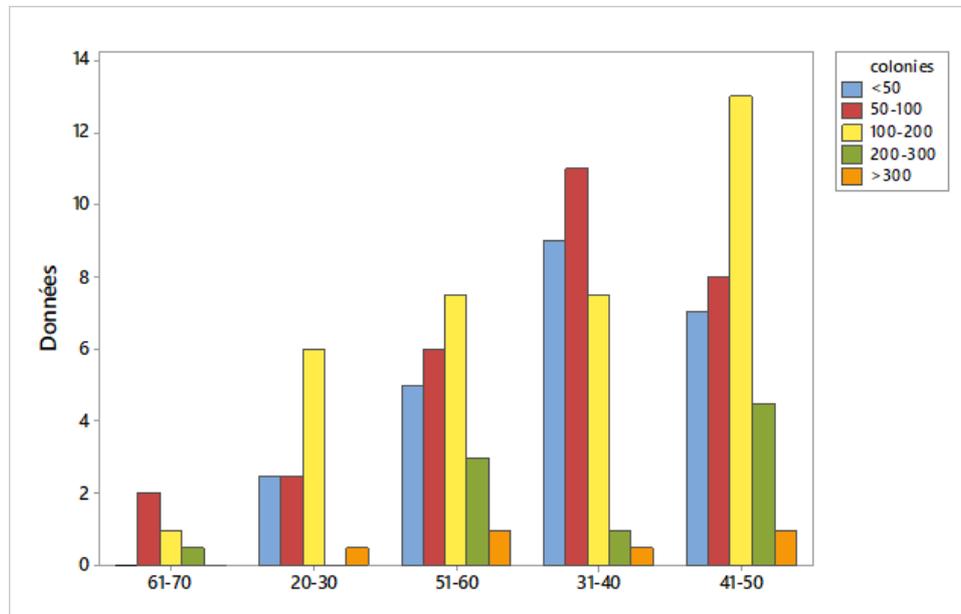


Fig. 3. Distribution of the number of colonies managed

Data from the FAO indicates a rising trend in hive numbers across North Africa since 2000. In 2018, Tunisia and Algeria peaked at 700,000 and 400,000 hives, respectively, while Libya recorded the lowest figures with 36,000 hives in 2000 and 37,500 in 2018. Egypt saw a decline from 1.4 million hives in 2000 to 800,000 in 2018, and Morocco's hive count decreased from 600,000 to nearly 400,000 over the same period.

Characterization of the local Tellian bee *A.m. intermissa*

As most beekeepers maintain the Tellian bee, only the characterization results for this subspecies will be reported, as findings for the Saharan bee are not highly representative. Beekeepers rated nine characteristics on a scale of 1 to 5 (1 being weak, 5 being strong) (Fig. 4). Responses predominantly selected three scores (1 for very weak, 3 for medium, 5 for very strong). The Tellian bee scored predominantly 5 for five traits (swarming tendency, heat tolerance, honey production, drought resistance, and adaptation to the local environment). It scored 3 for Varroa destructor tolerance, while for gentleness, *A. m. intermissa* was mainly rated 1, known for its aggressiveness. These results align with known traits of *A. m. intermissa* and indicate its adaptation to environmental conditions in Algeria.

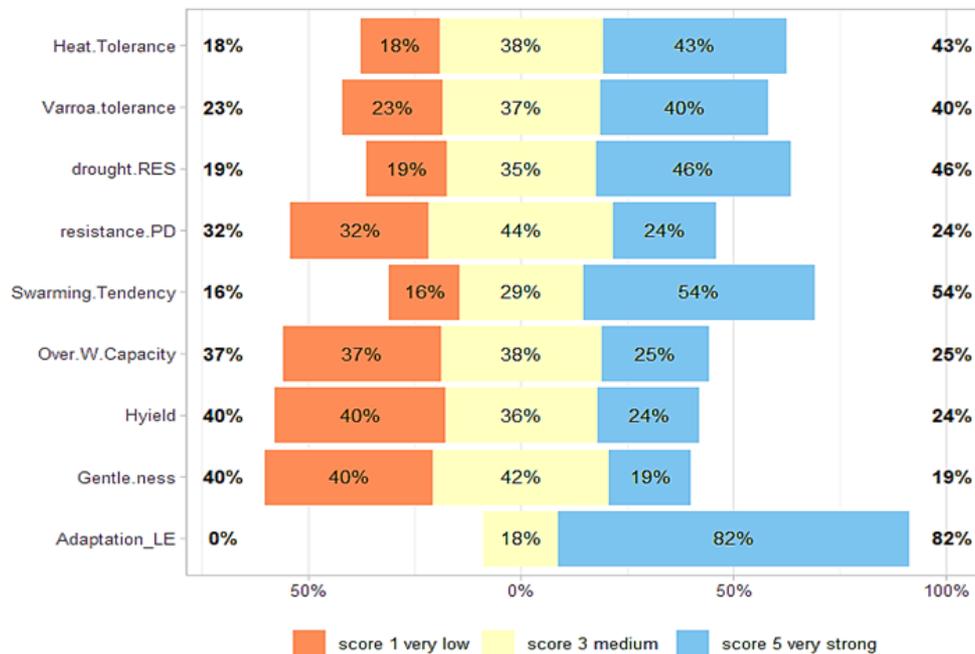


Fig. 4. Distribution of the classification of the Tellian bee, *A. m. intermissa* for nine characteristics. This chart displays the count of different scores (e.g., very low, low, medium, high, very high) for characteristics such as swarming tendency, heat tolerance, over-wintering capacity, and others. Each characteristic is evaluated on a scale, and the distribution of these evaluations across the dataset is visualized here

Given that most beekeepers maintain the Tellian bee, only its characterization results will be reported, with the Saharan bee not being representative. *Apis mellifera intermissa*, often referred to as the "Tellian" or "Punic" bee, is the primary subspecies identified in North Africa (Rinderer, 2013). Regarding queen replacement practices, a significant proportion of respondents indicated the most common interval is every three years (43 %), followed closely by those replacing queens every two years (25 %).

Interestingly, despite this, 69 % of respondents do not engage in queen rearing. This finding contrasts with earlier results, highlighting a discrepancy: while many beekeepers adhere to a specific schedule for queen replacement, a significant portion do not actively participate in queen rearing itself. This introduces a dynamic aspect to beekeeping practices among the surveyed population. Replacing queens in apiaries reflects beekeepers' dedication to maintaining colony health and productivity. Scientific research underscores the management concern posed by poor-quality queens, which can lead to reduced honey production, heightened disease susceptibility, and overall colony decline (Bieńkowska et al., 2020; Gray et al., 2023; Tarpay et al., 2020).

A recent study has highlighted that geography plays a more significant role than subspecies in shaping the genetic composition of Algerian honeybees, revealing distinct population differences between western and eastern regions (Salvatore et al., 2023). *Apis mellifera intermissa* is prevalent across North Africa, including Morocco, Algeria, and Tunisia (Buttel-Reepen, 1906). This subspecies is characterized by its small size, dark coloration, and aggressive defense behavior (Ruttner et al., 1978).

Responses from beekeepers were categorized into three main scores: 1 (very weak), 3 (medium), and 5 (very strong). The Tellian bee received predominant scores of 5 (very strong) for traits such as swarming tendency, heat tolerance, honey production, drought resistance, and adaptation to the local environment. It scored 3 (medium) for varroa destructor tolerance, indicating a balanced response in this aspect. In terms of temperament, *A. m. intermissa* was mostly rated as 1 (low), suggesting a tendency towards aggressiveness. These findings align with the well-established characteristics of *A. m. intermissa*, highlighting its significant adaptation to the environmental conditions prevailing in Algeria.

Local honeybees have evolved over generations to adapt specifically to their environment, developing unique traits that facilitate their thriving on local flora (Alaux et al., 2019; Everitt et al., 2023). Despite not consistently scoring high across all beekeeping traits, the Tellian bee's remarkable adaptation to the local environment remains a noteworthy attribute. These distinctive characteristics collectively contribute to the unique profile of *A. m. intermissa* within the realm of bee species (Bendjedid and Achou, 2014). This research underscores that the indigenous honeybee subspecies, *A. m. intermissa*, demonstrates superior adaptation to local conditions compared to introduced foreign subspecies, as supported by existing data (Büchler et al., 2020; Hatjina et al., 2014).

The biplot displays two main components, Dim1 (dimension 1) and Dim2 (dimension 2), which collectively account for 26.9 % of the variation in the data (13.7 % for Dim1 and 13.2 % for Dim2). Each dot on the biplot represents a specific behavioral characteristic, identified by the abbreviations along the outside of the plot (Fig. 5). For instance, "Heat.Tolerance_score 1" likely refers to a low score on heat tolerance, while "Varroa. tolerance_score 5" represents a high score on Varroa tolerance. The location of a dot on the biplot reflects the relative importance and interrelationships between the behavioral characteristics it represents. Dots that are closer together tend to be more similar, while farther dots indicate greater dissimilarity. The interpretation of specific relationships between behavioral characteristics would depend on the scientific context of the study and researcher background knowledge.

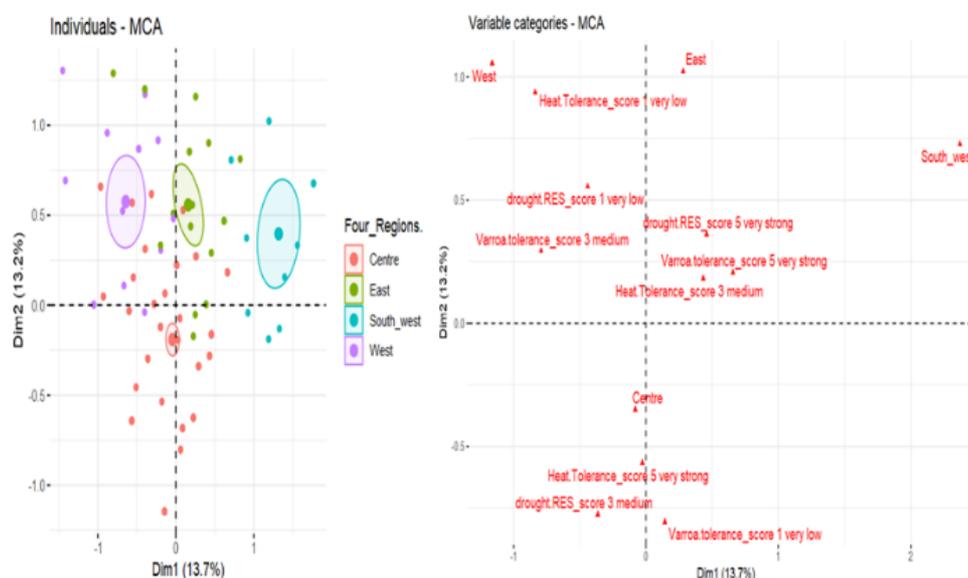


Fig. 5. Multifactor Analysis (MCA) Biplot of Honey Bee Behavioral Characteristics in Algeria

However, some general observations can be made: Characteristics on the left side of the plot seem to be contrasted with those on the right side. For example, “drought.RES_score 1” (low score on drought resistance) appears opposite “Heat.Tolerance_score 5” (high heat tolerance). This may suggest that low drought resistance is associated with high heat tolerance, and vice versa.

Dots in the upper right quadrant, such as “Varroa. tolerance_score 5” and “East,” might represent characteristics that are more prevalent in eastern Algeria. Algerian beekeepers give high scores to bees with a low swarming tendency, indicating a preference for those less likely to swarm. Similarly, gentle bees are favored, suggesting a preference for easier handling. Bees resistant to pests and diseases also receive high scores, highlighting a preference for those less likely to be affected. Regarding honey yield, its position on the graph is ambiguous, requiring more data to determine its relationship with other characteristics.

The position of overwintering capacity is also unclear, necessitating further studies to clarify its relation to other traits. Heat tolerance seems to be a minor factor, probably due to Algeria's relatively mild climate. Finally, Varroa tolerance does not appear to be a significant factor, possibly because of the use of alternative treatments. In summary, Algerian beekeepers show a clear preference for bees with low swarming tendencies, gentleness, and resistance to pests and diseases, although additional studies are needed to clarify the relationships with honey yield and overwintering capacity.

The matrix correlation depicts the relationships between various behavioral characteristics of honeybee colonies and honey yield (Fig. 6).

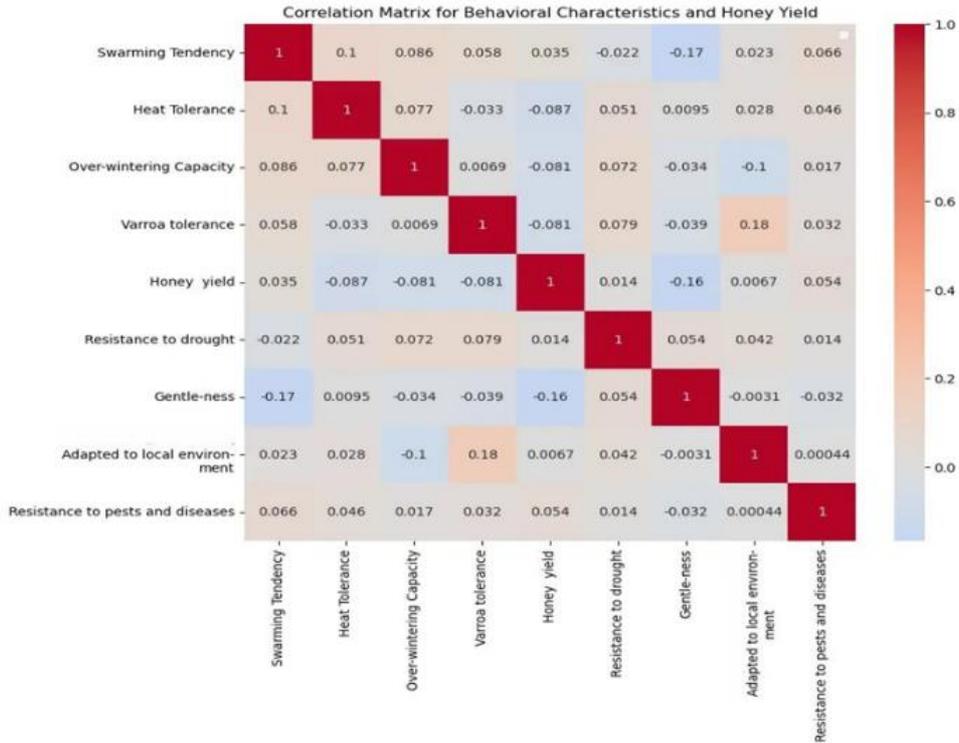


Fig. 6. Correlation Matrix for Behavioral Characteristics and Honey Yield in Honeybee Colonies

Positive correlations indicate that certain characteristics are associated with higher honey yields. For instance, overwintering capacity (0.086) is positively correlated with honey yield. Colonies that survive winter well have a longer foraging season, allowing them to produce more honey. Similarly, drought resistance (0.072) is also linked to higher honey yields, likely because these colonies are more successful at finding nectar during dry periods when flowers are scarce.

In contrast, negative correlations reveal characteristics associated with lower honey yields. Swarming tendency (-0.17) shows that colonies with a high propensity to swarm produce less honey. This is likely because swarming reduces the number of worker bees available for foraging. Varroa tolerance (-0.081) presents a weak negative correlation with honey yield. While some colonies tolerate Varroa mites better, the presence of these parasites can still lead to a decline in honey production. Lastly, gentleness (-0.16) also shows a weak negative correlation with honey yield.

The reason for this correlation is not entirely clear and would require further investigation. In summary, certain behavioral characteristics of honeybee colonies, such as overwintering capacity and drought resistance, are beneficial for honey yield, while others, like swarming tendency and the presence of parasites, have a negative impact. Understanding these relationships can help optimize colony management to maximize honey production. It is worth noting that the majority of correlations in the matrix are weak, indicating that numerous factors influence honey yield. Beekeepers' management practices likely play a significant role in addition to the behavioral characteristics explored here. It is also important to emphasize that the data reflect beekeeping practices and bee behavior in Algeria. These behaviors and their correlations with honey yield may vary in other geographical regions.

Overall Significance

The correlation matrix provides valuable insights into how honeybee behavioural characteristics are associated with honey yield in Algeria. Beekeepers can leverage this information to select and manage honeybee colonies for optimal honey production. However, it's important to remember that correlation doesn't imply causation. Further research would be needed to determine the cause-and-effect relationships between specific bee behaviours and honey yield.

Beekeeping events; Ecological annual trends

Beekeepers were also asked to identify the months in which five distinct events occurred: drone production, queen production, queen fertilization, swarming, and nectar entry into the hive. The overall picture is presented here, but it should be noted that it is expected that there will be a wide variation in responses, as each event may occur at different times of the year, depending on the region in which the apiaries are located.

The months of March, April, and May had a greater number of responses about all the events surveyed, with March being mentioned a greater number of times about drone production 15 % (n=31) and August 10.5 % (n=21), and queen production being very high in March 40.5 % (n=81) and April 40 % (n=80) about the remaining months of the events. At the opposite end of the spectrum are the months of November, December, and January, which were mentioned very few times, with only a reasonable number (>10 responses) for the start of nectar entry into the hive (Fig. 7).

In the survey, beekeepers were tasked with providing insights into the temporal occurrences of significant events in beekeeping, including drone production, queen production, queen fertilization, swarming, and the initiation of nectar entry into the hive. It's important to note that the wide

variation in responses is expected, considering that the timing of these events can vary based on the geographical location of the apiaries.

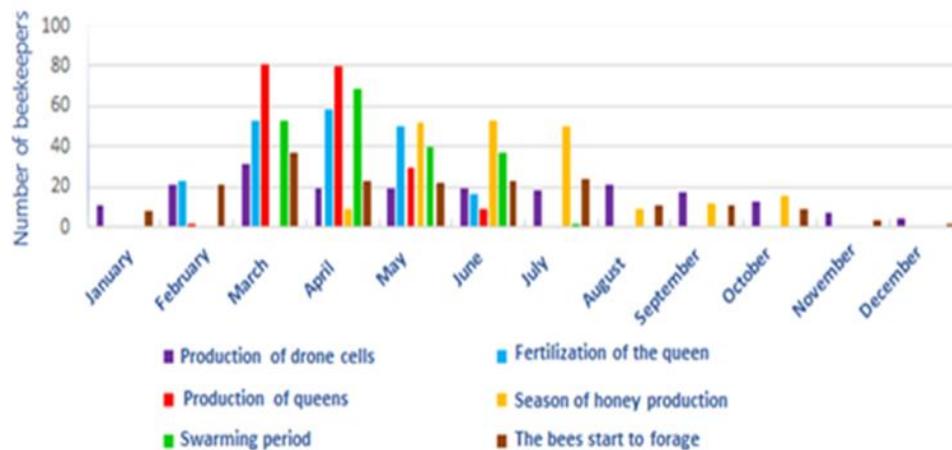


Fig. 7. Distribution of the ecological annual trends (Beekeeping events) for *A.m.intermissa*

The analysis of responses highlighted a pattern where March, April, and May emerged as months with more frequent mentions for all surveyed events. March, in particular, stood out as a significant month for drone production, with 15 % (n=31) of beekeepers mentioning it, and August also garnered attention (10.5 %, n=21). Moreover, queen production exhibited a substantial presence in March (40.5 %, n=81) and April (40 %, n=80) compared to the remaining months. Conversely, the winter months of November, December, and January received fewer mentions, indicating a relative lull in these specific beekeeping activities during this period (Kumsa and Takele, 2014; Sperandio et al., 2019). However, it's noteworthy that even within this quieter period, there were still reasonable numbers of responses, especially concerning the initiation of nectar entry into the hive, emphasizing the bees' year-round activity. This variability in the timing of events underscores the influence of regional and climatic differences on the annual cycle of beekeeping, emphasizing the need for beekeepers to adapt their practices based on the unique conditions of their respective locations. This was evidenced in the ecological annual trends of the native *A. m. intermissa*, which was very contrasting.

Drone production, queen production, and mating showed synchronization with the favorable weather and floral resources occurring early in spring (as early as March) and again during autumn, with a gradual decrease in activity. These reported patterns have important conservation implications that indicate that the Algerian honeybee shows greater adaptation to the local environment. Three main honey-producing periods

were reported for *A. m. intermissa*. The first spring harvest started in early April peaking in May, followed by a second summer harvest in late June-July. This was followed by a third honey production season overlapping with September, and October. This is in agreement with Farrugia et al., 2022 the honey-producing months reported by Maltese beekeepers rearing *A. m. ruttneri* (published results from MEDIBEES data).

Bee plants

A total of 26 different plants were identified by the beekeepers as being the most important for the bees. The answer will depend on the region where the beekeeper has the apiaries. For example, mugwort (*Artemisia herba-alba*) is only found on the flats and was indicated by 16 beekeepers who responded to the survey.

In total, all beekeepers indicated at least one plant and those that were indicated more than 10 times are presented in Table 1. Rosemary and Eucalyptus were indicated more than 30 times by beekeepers throughout the country.

Table 1

Plants indicated by more than 10 beekeepers as being the most important for bees

Plant	Answers
Rosemary	36
Eucalyptus	31
Carob tree	20
Wormwood	19
Tamarisk	16
<i>Cloverleaf hedizarum</i>	15
<i>Calandularvensis</i>	12

Beekeepers in this study highlighted the importance of three main plant species for their honey bees: mugwort (*Artemisia herba-alba*), rosemary, and eucalyptus. These plant species are likely important sources of nectar and pollen for honey bees in the study area, and their presence may contribute to the local honey production. The location of apiaries and the surrounding floral sources can affect local honey production (Attard and Douglas, 2017; Bahloul et al., 2022; Gambin et al., 2013). Floral resources are essential for the feeding of honey bee communities (Dalmon et al., 2022).

Honeybees make a significant contribution to biodiversity. The main honey in Algeria comes from Acacia, Pinus, Cupressus, Thymus, Rosmarinus, Citrus, Eucalyptus, and many wild plants (Keshlaf, 2017). In addition to encouraging the protection of these pollen sources, we recommend conducting in-field studies to determine, with scientific rigor, which pollen sources are present in hives and honey.

Beekeeping activities and products

The majority of beekeepers (97 %) typically do not engage in pollination services as part of their beekeeping activities. Only a small percentage, represented by 6 beekeepers (3 %), offer pollination services and have practiced this activity across various crops. The average honey production per colony per year for most beekeepers is around 5 kg (66 %), with only 26 % producing more than 11 kg. When comparing honey production over the last 5 years to that of a decade ago, a significant proportion (86%) of beekeepers believe that the quantity of honey produced has decreased.

Regarding hive products, 160 respondents (80 %) exclusively produce honey, while 26 beekeepers harvest two hive products, primarily honey and propolis (19 responses). Additionally, 6 beekeepers collect three hive products, namely honey, propolis, and pollen (Fig. 8). Honey is the most commonly extracted hive product, as expected (Belguet et al., 2024). Royal jelly is produced by only six beekeepers, and none of the respondents indicated venom production. The majority of beekeepers generate between 0 and 5 kg of honey per year per colony (66 %), with only 8 % producing between 6 and 10 kg. The consensus among more than half of the beekeepers (86 %) is that the quantity of honey produced has declined over the past 5 years.

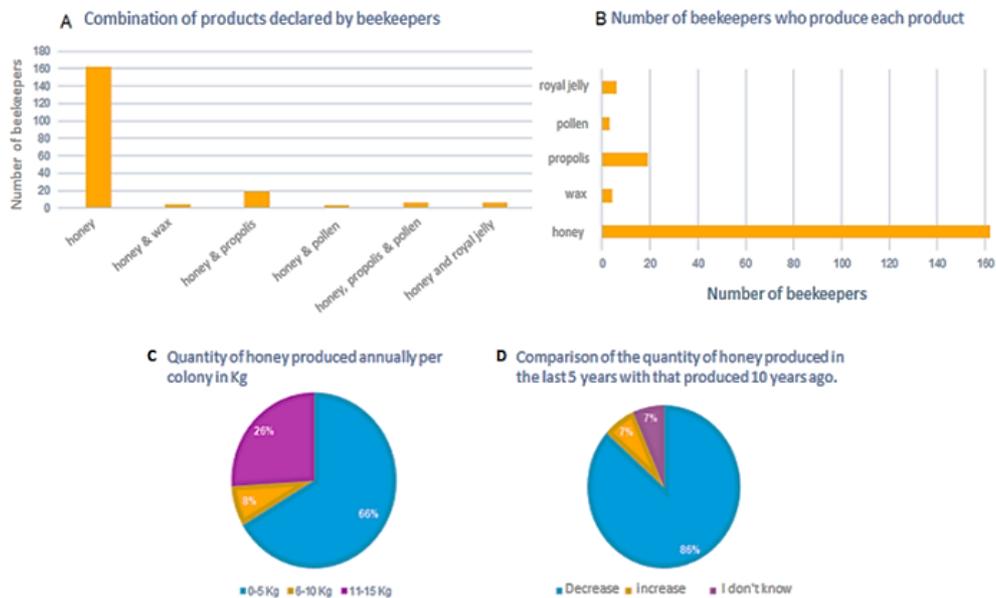


Fig. 8. Hive products produced by respondents: (A) Product combinations reported by beekeepers. (B) Number of beekeepers producing each product. Honey production. (C) Quantity of honey produced annually per colony in Kg. (D) Comparison of the quantity of honey produced in the last 5 years with that of 10 years ago

Lack of forage was the primary cause of colony losses reported by beekeepers in our survey. These losses exhibited a bimodal annual pattern, with peaks in August and December-January. The timing of these peaks corresponds to the arid summer months and the inclement weather in winter, when Algerian honeybees remain active. Queen problems, queen age, and *Varroa destructor* may contribute to winter mortality, as suggested by van der Zee et al., 2014. Furthermore, the extreme aridity in summer in recent years may have prevented bees from collecting sufficient food stores to survive the winter. Intensive honey extraction practices, aimed at maximizing profits, may also contribute to these losses. Notably, a majority of beekeepers indicated that other factors, including pathogens, could be contributing to colony losses. American foulbrood, caused by the bacterium *Paenibacillus larvae* (Galea, 2020), is one possible pathogen, but no other records of pathogens or viruses are publicly available.

Bee has a major role in maintaining biodiversity and agrosystems through pollination (Gallai and Vaissière, 2009). The size of the bee population and the amount of honey harvested are also key factors (Decourtye et al., 2017). In the surveyed beekeeping community, the vast majority (97 %) does not engage in pollination services, with only a small group (3 %) participating in such activities across various crops. Al-Ghamdi et al., 2016, conducted a survey on the beekeeping status in Arabic countries, providing data on honey production per colony in various nations: Algeria (8.75 ± 6.49), Morocco (14.08 ± 6.48), Tunisia (9.00 ± 4.98), Egypt (9.50 ± 3.18), and Libya (12.56 ± 5.64). Morocco was positioned as the top producer, followed by Libya, while Egypt, Tunisia, and Algeria reported honey production below 10 kg per hive. In comparison to the reported average honey yield in Algeria in 2016 (10 kg/hive) and analogous Mediterranean countries such as Spain (10 kg/hive), Italy (15 kg/hive), Greece (11 kg/hive), and Cyprus (11 kg/hive) (EC, 2019), our study reveals a decline in honey production.

The observed low honey harvest per colony and the reported decrease in quantities over recent years among local beekeepers highlight alarming trends in the local apiculture sector. We attribute these declines to various factors, including elevated temperatures in recent summers, diminished forage availability, exposure to pathogens and pesticides, extensive reduction in arable land due to increased urbanization, depletion of weed species and wildflowers, and the rapid conversion of cultivated land for private recreational purposes. Habitat degradation and fragmentation, recognized as key environmental contributors to global bee declines (Decourtye et al., 2010), underscore the urgency for concerted efforts. While a commendable initiative by a prominent local beekeepers' association aims to preserve bee pastures in rural passages between December and May, comprehensive

policies, coordinated approaches, and actions from competent authorities are imperative to ensure sustainable land use practices.

Bees naturally suffer from a wide range of parasites and pathogens, the latter including protozoa, fungi, bacteria and viruses. By far, the majority of research has focused on those associated with honey bees. Some bee diseases, such as deformed wing virus (DWV), *Nosema ceranae* and *Paenibacillus larvae* (Genersch, 2010). The ectoparasite *Varroa destructor* of the honey bee (*Apis mellifera*) is the main cause of periodic colony losses and therefore remains the greatest threat to beekeeping worldwide (Traynor et al., 2020). The prevalence of *Nosema* is linked to particular climatic conditions such as high humidity and a long cold period (Haider and Adjlane, 2021).

Factors influencing beekeeping activity

Figure 9 represents the opinion of beekeepers regarding the impact of certain factors (other than diseases) on beekeeping activity, namely: COVID-19, climate change, agricultural practices, and urbanization. All other factors were identified as factors that negatively influence beekeeping activity, with climate change (89 %), urbanization (75 %), and COVID-19 (74 %) being those that most concerned beekeepers, 43 % of beekeepers consider that "pesticide" agricultural practices have not been affected, and 25 % of beekeepers' responses also consider that urbanization is not a factor that influences beekeeping activity, followed by COVID-19 (21 %). And that 5 % of the beekeepers think that COVID-19 positively influences beekeeping activity followed by 2 % of the answers for climate change, and no answer for urbanization and agricultural practices.

Since the 1990s, synthetic pesticides have been widely considered by scientists and beekeepers as the primary cause of colony collapse (Bonmatin et al., 2017; Colin and Marchand, 2007; Eouzan et al., 2017; Hoppe et al., 2015). In their conclusions, most beekeepers expressed significant concerns about the negative impact of climate change on their activities. The study's findings indicate that Algerian beekeepers are particularly worried about several factors affecting their beekeeping practices, including climate change, urbanization, and COVID-19. Climate change disrupts bee foraging and reproductive patterns, while also facilitating the spread of pests and diseases harmful to bees. Urbanization leads to habitat loss and fragmentation of bee populations, exacerbated by increased pollution. The COVID-19 pandemic has further hindered beekeeping activities in Algeria, complicating colony management and honey sales.

Notably, a significant minority of beekeepers (43 %) believe that agricultural practices, including pesticide use, have not affected their activities, suggesting a potential lack of awareness regarding pesticide risks to bees.

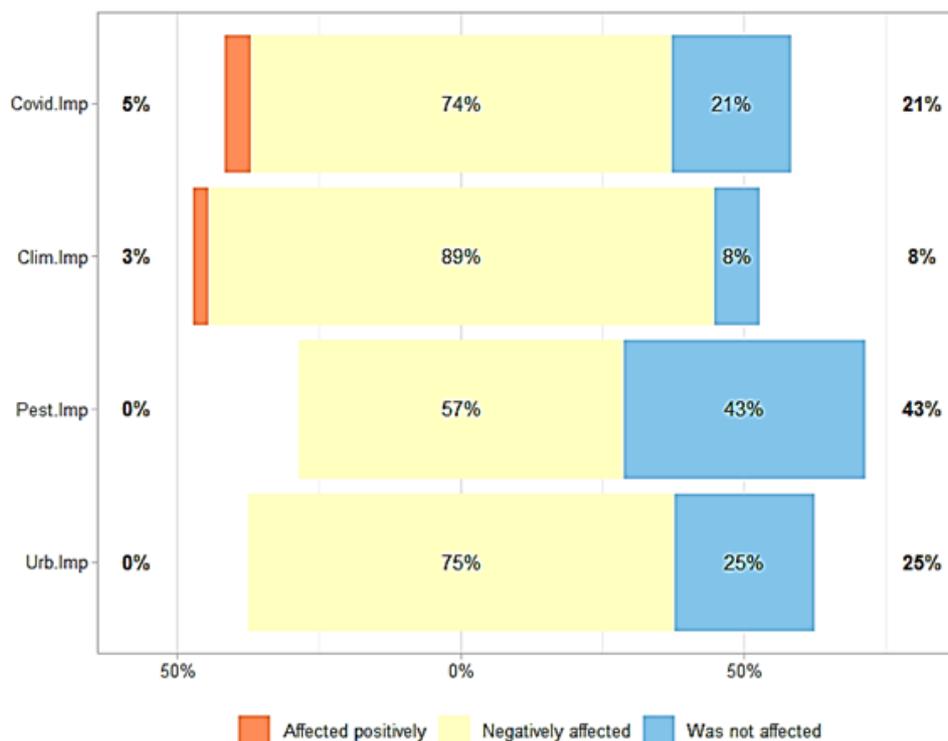


Fig. 9. Beekeepers' views on the impact of various factors (other than a disease) on beekeeping activity

CONCLUSIONS

Beekeepers play a key role in maintaining healthy colonies. By surveying beekeepers, we documented first-hand knowledge of the practices, trends, and challenges currently affecting Algerian apiculture. Synergistic effects from increased losses of foraging resources, high mite and disease pressure, and other factors appear to be contributing to losses to the local apiculture sector.

The results of this study show the constraints on the development of beekeeping in Algeria in recent years, the drought, the very high mortality, and the presence of pathologies. *A. m. intermissa* is highly adapted to arid conditions, and the loss of its gene pool through hybridization with introduced honeybees would be devastating, especially given the threat of climate change.

The correlation matrix revealed that overwintering capacity and drought resistance are positively correlated with honey yield, while swarming tendency and Varroa tolerance show weak negative correlations. These findings suggest that beekeepers who select colonies with strong overwintering and drought resistance capabilities can potentially improve

honey production. However, bee behaviour is just one factor influencing honey yield. COVID has had a negative influence on the yield of beekeepers. A very low yield of honey has been obtained during the last two years.

Among the positive points of the survey, were the presence of beekeepers who practice good beekeeping (renewal of queens each year, selection at the level of the apiaries, migratory) as well as the periodic screening of the varroasis in the bee colonies. Beekeeping associations must be on the ground to organize the beekeeping sector and improve the current situation.

The current study encountered certain limitations. We continue to highlight the need to set up measures to comprehensively support the apicultural industry, protect the native Algerian honeybee by isolating it from further introgression, and adopt a more sensitive balance of the steps currently being taken to drive the economy. Furthermore, it establishes a foundation for future investigations in this field. Further research is needed to better understand the specific impacts of these threats on honeybees in Algeria.

Acknowledgment

This work would not have been possible without the assistance of so many people who in some way or other helped us during the entire experiment. We are grateful to the Department of Agronomy of University of Boumerdes Algeria, we would like to thank all the beekeepers who responded to this survey and all those who helped spread the word. We would like to express our gratitude to Mr. Mourad Chabli for his invaluable assistance in the analysis of our data. His expertise and dedication greatly contributed to the success of our research. This work was completed as part of the MEDIBEES project, which monitors Mediterranean bee subspecies and their resilience to climate change for the sustainable improvement of agroecosystems. MEDIBEES is funded by the European Commission through the PRIMA program.

REFERENCES

1. Adjlane N., Haddad N., Doumandji S., 2013, Varroa destructor resistance to fluvalinate in Algeria. *Trends in Entomology*, no. 9, pp. 35-38;
2. Alaux C., Le Conte Y., Decourtye A., 2019, Pitting wild bees against managed honey bees in their native range, a losing strategy for the conservation of honey bee biodiversity. *Frontiers in Ecology and Evolution*, vol. 7, pp. 1-4. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00060>;
3. Alemu T., Seifu E., Bezabih A., 2015, Postharvest handling, opportunities and constraints to honey production in northern Ethiopia. *Livestock Research for Rural Development*, vol. 27, no. 5;
4. Al-Ghamdi A.A., Alsharhi M.M., Abou-Shaara H.F., 2016, Current status of beekeeping in the Arabian countries and urgent needs for its development inferred from a socio-economic analysis. *Asian Journal of Agricultural Research*, vol. 10, no. 2, pp. 87-98;
5. Attard E., Douglas A.B., 2017, Physicochemical characterization of Maltese honey. *Honey Anal*, vol. 8, pp. 171-191;

6. Bahloul R., Zerrouk S., Chaibi R., 2022, Pollen analysis of honey from Laghouat region (Algeria). *Grana*, vol. 61, no. 6, pp. 471-480. <https://doi.org/10.1080/00173134.2022.2126726>;
7. Belguet A., Bouchareb R., Benider C., Guendouz A., 2024, Quality evaluation of some honeys from different flora habitants from Setif, Eastern of Algeria. *Natural Resources and Sustainable Development*, vol 14, is. 1, pp. 183-188. <https://doi.org/10.31924/nrsd.v14i1.159>;
8. Bendjedid H., Achou M., 2014, Etude de la Diversité Morphométrique de Deux Populations d'Abeilles Domestiques (*Apis Mellifera Intermissa* et *Apis Mellifera Sahariensis*) du Sud Algérien. Synthèse: *Revue Des Sciences et de La Technologie*, vol. 95, no. 28, pp. 84-95. <https://doi.org/10.12816/0027832>;
9. Bieńkowska M., Łoś A., Węgrzynowicz P., 2020, Honeybee queen replacement: An analysis of changes in the preferences of polish beekeepers through decades. *Insects*, vol. 11, no. 8, pp. 1-13. <https://doi.org/10.3390/insects11080544>;
10. Bihonegn A., Begna D., 2021, Beekeeping Production System, Challenges, and Opportunities in Selected Districts of South Wollo Zone, Amhara, Ethiopia. *Advances in Agriculture*. <https://doi.org/10.1155/2021/2278396>;
11. Bonmatin J-M., Sánchez-Bayo F., Janairo B., Isagani J., 2017, Systemic Pesticides: A Worldwide Assessment. De La Salle University Publishing House, 978–9715556484;
12. Büchler R., Uzunov A., Kovačić M., Prešern J., Pietropaoli M., Hatjina F., Pavlov B., Charistos L., Formato G., Galarza E., 2020, Summer brood interruption as integrated management strategy for effective *Varroa* control in Europe. *Journal of Apicultural Research*, vol. 59, no. 5, pp. 764-773. <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1793278>;
13. Buttel-Reepen H. von., 1906, Beiträge zur Systematik, Biologie, sowie zur geschichtlichen und geographischen Verbreitung der Honigbiene. *Apistica*, pp. 117-201;
14. Capela N., Yoko L. Dupont Rortais A., Sarmiento A., Papanikolaou A., Topping C.J., Arnold G., Pinto M.A., Rodrigues P.J., More S.J., Tosi S., Alves T.S., Sousa J.P., Less I., 2023, High accuracy monitoring of honey bee colony development by a quantitative method. *Journal of Apicultural Research*, vol. 62. no. 4, pp. 741-750. <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2098899>;
15. Colin M.E., Marchand P.A., 2007, L' apiculture écologique. *L'écologiste*, vol. 8, no. 1, pp. 41-43;
16. Dalmon A., Diévert V., Thomasson M., Fouque R., Vaissière B., Guilbaud L., Le Conte Y., Henry M., 2022, Les communautés d'abeilles butinant la même ressource florale échangent-elles des agents pathogènes? *La Santé de l'Abeille*, Fédération Nationale Des Organisations Sanitaires Apicoles Départementale, no. 307, pp. 85-95;
17. Decourtye A., Mader E., Desneux N., 2010, Landscape enhancement of floral resources for honey bees in agro-ecosystems. *Apidologie*, vol. 41, no. 3, pp. 264-277. <https://doi.org/10.1051/apido/2010024>;
18. Decourtye A., Vallon J., Kretzschmar A., Maisonnasse A., Beri C., Alaux C., Frontero L., Girod V.Y. L.C., Dangleant A., 2017, *Apis mellifera*. *Innovations Agronomiques*, vol. 55, no. 1, pp. 183-200;
19. Demir E.G., Morkoyunlu A., Kuvanci A., 2023, Importance of honey bee in cherry species pollination (Kocaeli/Turkey). *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, vol. 22, no. 2, pp. 40-48. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2023.22.2.0054>;
20. EC - European Commission, 2019, Beekeeping Sector, National Apiculture Programmes 2020-2022;

21. Eouzan I., Garnery L., Sime-Ngando T., Biron D.G., 2017, Les pesticides, la cause du déclin de l'abeille domestique? (C. Bernard, C. Mougin, & A. Pery (Eds.); ISTE Editi). Ecotoxicologie des communautés et impacts sur les fonctions des écosystèmes;
22. Everitt T., Wallberg A., Christmas M.J., Olsson A., Hoffmann W., Neumann P., Webster M.T., 2023, The genomic basis of adaptation to high elevations in Africanized honeybees. *Genome Biology and Evolution*, vol. 15, no. 9, evad 157. <https://doi.org/10.1093/gbe/evad157>;
23. FAO, 2018, www.fao.org/faostat;
24. Farrugia D., Martin-Hernandez R., Zammit Mangion M., 2022, Beekeeping in Malta: A Review of Current Practices, Trends and Challenges. *Bee World*, vol. 99, no. 4, pp. 131-138. <https://doi.org/10.1080/0005772x.2022.2113231>;
25. Galea T., 2020, The development of 'Varroa destructor' in native 'Apis mellifera ruttneri' and in introduced 'Apis mellifera ligustica' colonies on the island of Malta. University of Malta;
26. Gallai N., Vaissière B., 2009, Guidelines for the economic valuation of pollination services at a national scale. FAO, 17. <https://doi.org/hal-02822628>;
27. Gambin C., Lanfranco E., Mifsud D., 2013, Pollen Characterisation of Maltese Honey. *Journal of Malta Chamber of Scientists*, vol. 1, no. 2, pp. 33-46;
28. Genersch E., 2010, American Foulbrood in honeybees and its causative agent, *Paenibacillus larvae*. *Journal of Invertebrate Pathology*, vol. 103, S10-S19. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.06.015>;
29. Gray A., Adjlane N., Arab A., Ballis A., Brusbardis V., Bugeja Douglas A., Cadahía L., Charrière J.D., Chlebo R., Coffey M.F., Cornelissen B., Costa C.A., da Danneels E., Danihlík J., Dobrescu C., Evans G., Fedoriak M., Forsythe I., Gregorc A., Brodschneider R., 2023, Honey bee colony loss rates in 37 countries using the COLOSS survey for winter 2019–2020: the combined effects of operation size, migration and queen replacement. *Journal of Apicultural Research*, vol. 62, no. 2, pp. 204-210. <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2113329>;
30. Haider Y., Adjlane N., 2021, Distribution of *Nosema* sp. (causative agent of nosemosis in honey bees) in Algeria. *AGBIOL 2021. III International Agricultural, Biological & Life Science Conference*, Edirne, Turkey, pp. 734-741;
31. Hatjina F., Costa C., Büchler R., Uzunov A., Drazic M., Filipi J., Charistos L., Ruottinen L., Andonov S., Meixner M.D., Bienkowska M., Dariusz G., Panasiuk B., Le Conte Y., Wilde J., Berg S., Bouga M., Dyrba W., Kiprijanovska H., Kezic, N., 2014, Population dynamics of European honey bee genotypes under different environmental conditions. *Journal of Apicultural Research*, vol. 53, no. 2, pp. 233-247. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.53.2.05>;
32. Hazam S., Touati S., Touati L., Saher L., Khedidji H., Kaki S.A., Chemat S., 2023, Promising Algerian essential oils as natural acaricides against the honey bee mite *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). *Experimental and Applied Acarology*, vol. 92, pp. 87-107. <https://doi.org/10.1007/s10493-023-00866-4>;
33. Hoppe P.P., Safer A., Amaral-Rogers V., Bonmatin J.M., Goulson D., Menzel R., & Baer B., 2015, Effects of a neonicotinoid pesticide on honeybee colonies: a response to the field study by Pilling et al. (2013). *Environmental Sciences Europe*, vol. 27, no. 1, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1186/s12302-015-0060-7>;
34. Keshlaf M., 2017, The past and present status of beekeeping in Libya. *Journal of Apicultural Research*, vol. 56, no. 3, pp. 190-195. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1306372>;
35. Kumsa T., Takele D., 2014, Assessment of the effect of seasonal honeybee management on honey production of Ethiopian honeybee (*Apis mellifera*) in

- modern beekeeping in Jimma Zone. *Research Journal of Agriculture and Environmental Management*, vol. 3, no. 5, pp. 246-254;
36. Magnier B., Zacharewicz G., Zacharewicz G., 2022, L' apiculture dirigée par les données et les modèles. *The Conversation France*, 0-5;
 37. Meikle W.G., Holst N., 2015, Application of continuous monitoring of honeybee colonies. *Apidologie*, vol. 46, no. 1, pp. 10-22. <https://doi.org/10.1007/s13592-014-0298-x>;
 38. Moritz R.F.A., De Miranda J., Fries I., Le Conte Y., Neumann P., Paxton R.J., 2010, Research strategies to improve honeybee health in Europe. *Apidologie*, vol. 41, no. 3, pp. 227-242. <https://doi.org/10.1051/apido/2010010>;
 39. Mushonga B., Hategekimana L., Habarugira G., Kandiwa E., Samkange A., Ernest Segwagwe B.V., 2019, Characterization of the Beekeeping Value Chain: Challenges, Perceptions, Limitations, and Opportunities for Beekeepers in Kayonza District, Rwanda. *Advances in Agriculture*, no. 1. <https://doi.org/10.1155/2019/5982931>;
 40. Requier F., Pérez-Méndez N., Andersson G.K.S., Blareau E., Merle I., Garibaldi L.A., 2023, Bee and non-bee pollinator importance for local food security. *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 38, no. 2, pp. 196-205. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.10.006>;
 41. Rinderer T.E., 2013, *Bee genetics and breeding*. Academic press;
 42. Ruttner F., Tassencourt L., Louveaux J., 1978, Biometrical-statistical analysis of the geographic variability of *Apis mellifera*. *Apidologie*, vol. 9, no. 4, pp. 363-381. <https://doi.org/10.1051/apido:19780408>;
 43. Salvatore G., Chibani Bahi Amar A., Canale-Tabet K., Fridi R., Tabet Aoul N., Saci S., Labarthe E., Palombo V., D'Andrea M., Vignal A., Faux P., 2023, Natural clines and human management impact the genetic structure of Algerian honey bee populations. *Genetics Selection Evolution*, vol. 55, no. 1, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1186/s12711-023-00864-5>;
 44. Sperandio G., Simonetto A., Carnesecchi E., Costa C., Hatjina F., Tosi S., Gilioli G., 2019, Beekeeping and honey bee colony health: A review and conceptualization of beekeeping management practices implemented in Europe. *Science of the Total Environment*, 696, 133795;
 45. Tary D.R., Talley E., Metz B.N., 2020, Influence of brood pheromone on honey bee colony establishment and queen replacement. *Journal of Apicultural Research*, vol. 60, no. 2, pp. 220-228. <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1867336>;
 46. Traynor K.S., Mondet F., de Miranda J.R., Techer M., Kowallik V., Oddie M.A., Chantawannakul P., McAfee A., 2020, *Varroa destructor*: A complex parasite, crippling honey bees worldwide. *Trends in Parasitology*, vol. 36, no. 7, pp. 592-606. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2020.04.004>;
 47. Van der Zee R., Brodschneider R., Brusbardis V., Charrière J-D., Chlebo R., Coffey M.F., Dahle B., Drazic M.M., Kauko L., Kretavicius J., Kristiansen P., Mutinelli F., Otten C., Peterson M., Raudmets A., Santrac V., Seppälä A., Soroker V., Topolska G., Gray A., 2014, Results of international standardised beekeeper surveys of colony losses for winter 2012–2013: Analysis of winter loss rates and mixed effects modelling of risk factors for winter loss. *Journal of Apicultural Research*, vol. 53, no. 1, pp. 19-34. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.53.1.02>;
 48. Wallberg A., Schöning C., Webster M.T., Hasselmann M., 2017, Two extended haplotype blocks are associated with adaptation to high altitude habitats in East African honey bees. *PLoS Genetics*, vol. 13, no. 5, pp. 1-30. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1006792>;

49. Zacepins A., Stalidzans E., Meitalovs J., 2012, Application of information technologies in precision apiculture. A. Zacepins, E. Stalidzans. Proceedings of the 13th International Conference on Precision Agriculture (ICPA 2012);
50. Zacepins A., Karasha T., 2013, Application of temperature measurements for bee colony monitoring: A review. Engineering for Rural Development, pp. 126-131.

Received: July 14, 2024 Revised: November 06, 2024 Accepted: November 11, 2024 Published: November 30, 2024

Lien de publication de l'article intitulé :

"Sustainable Beekeeping in Algeria : Exploring Practices, Challenges, and Local Honeybee Traits for Natural Resource Management", in the journal **Natural Resources and Sustainable Development**", dans la revue **Natural Resources and Sustainable Development**. Cet article explore les pratiques apicoles durables en Algérie, met en lumière les défis rencontrés par les apiculteurs et examine les traits uniques des populations locales d'abeilles mellifères dans une perspective de gestion efficace des ressources naturelles.

Détails de la citation :

- **Revue** : Natural Resources and Sustainable Development
- **Volume** : 14
- **Numéro** : 2
- **Année** : 2024
- **DOI** : 10.31924/nrsd.v14i2.166
- **Lien vers l'article** : <https://www.nrsdj.com/issues-year-2024-2/sustainable-beekeeping-in-algeria-exploring-practices,-challenges,-and-local-honeybee-traits-for-natural-resource-management.html>

Auteurs et affiliations :

1. **Haider Yamina***
 - *M'hamed Bougara University, Faculty of Sciences, Department of Agronomy, Laboratory of Bioinformatics, Applied Microbiology and Biomolecules (BMAB), Boumerdes, Algeria*
2. **Adjlane Nouredine**
 - *M'hamed Bougara University, Faculty of Sciences, Department of Agronomy, Boumerdes, Algeria*
3. **Martin-Hernande Raquel**
 - *Regional Research and Development Institute for Food and Forestry, Laboratory of Beekeeping Pathology, Centre for Beekeeping and Agroenvironmental Research, Marchamalo, Spain, and Institute of Human Resources for Science and Technology, Albacete, Spain*
4. **Haddad Nizar**
 - *Innovations & Business Development, Fresh Del Monte; General Manager, Organic L'Ora, Amman, Governorate of Amman, Jordan*
5. **Abdelmounaim Khemmouli**
 - *Ferhat Abbas University, Faculty of Natural and Life Sciences, Department of Agronomic Sciences, Laboratory of Valorisation of Natural Biological Resources, Sétif 1, 19000, Algeria*

Results of the nationale survery on algerian beekeeping (breeding practices, health situation)

DOI: 10.46932/sfjdv5n11-019

Received on: Oct 1st, 2024

Accepted on: Oct 25th, 2024

Yamina Haider

PhD in Agronomy

Institution: Department of Agronomy, Faculty of Sciences, M'hamed Bougara University;
Laboratory of Bioinformatics, Applied Microbiology and Biomolecules (BMAB)

Address: Boumerdes, Algeria

E-mail: y.haider@univ-boumerdes.dz

Noureddine Adjlane

Doctor in Agronomy

Institution: Department of Agronomy, Faculty of Sciences, M'hamed Bougara University

Address: Boumerdes, Algeria

E-mail: adjlanenoureddine@hotmail.com

Nizar Haddad

Doctor in Agronomy

Institution: National Agricultural Research Centre

Address: Amman, Jordan

E-mail: director@narc.gov.jo

ABSTRACT

The honey bee plays a crucial role in maintaining plant biodiversity and environmental equilibrium, making beekeeping a vital activity in Algeria. However, the proliferation of *Varroa* ectoparasitic mites, causing varroasis, poses a significant threat to beekeeping in the region. This study, conducted between March and July 2022, aimed to comprehensively characterize the state of beekeeping in Algeria and identify its primary challenges. The survey was disseminated via email to beekeeping associations and individual beekeepers, with responses from 100 participants subjected to analysis, most of the respondents 97%, are men. 66% of the respondents practice sedentary and 34% transhumance. The findings shed light on the impediments to beekeeping development in recent years, including factors such as drought, elevated mortality rates, and the prevalence of bee pathologies. Notably, a significant portion of beekeepers refrains from conducting mortality analyses. The survey also revealed a substantial decline in honey production compared to previous years. However, positive aspects emerged, such as the presence of beekeepers employing sound beekeeping practices, including frame renewal, colony protection against adverse weather conditions, and the practice of transhumance. Furthermore, periodic varroasis screening in bee colonies was observed as a promising practice. Most beekeepers 98% use annual treatments for *varroa* mites in light of these findings, it is imperative for beekeeping associations to actively engage and take measures to organize and enhance the beekeeping sector, thereby addressing the current challenges.

Keywords: Beekeeping, *Varroa*, Bee Mortality, Honey Production, Environmental Balance.

1 INTRODUCTION

Beekeeping holds significant importance due to its direct influence on the production of various valuable outputs, including honey, beeswax, queen bees, and bee colonies. Additionally, it yields a plethora of other essential products, such as pollen, royal jelly, bee venom, and propolis, which find applications in diverse fields ranging from cosmetics to medicine. The multifaceted nature of beekeeping underscores its pivotal role in both agricultural and industrial sectors, as it contributes not only to the apicultural industry but also to the broader economy and human well-being (Abebe, 2007). The honeybee (*Apis mellifera*) is a valuable resource for the global environment. Although honey and bee products are consumed worldwide, pollination is by far the most valuable contribution of bees. (Aizen; Harder, 2009). Bees contribute to almost 90% of the world's crop pollination (Klein *et al.*, 2007).

Bees and pollinators are now major figures in biodiversity because of their ability to pollinate. The threat of their disappearance has revealed the extent to which they represent an essential issue for the agricultural economy, food security, and global health (Dupre; Fortier; Alphantery, 2021). The mechanism of the decline in bee populations has not yet been fully established, although these losses appear to be the result of multiple interrelated factors. The rate of honey bee colony destruction varied according to the diseases and localities considered in the study (Adjlane *et al.*, 2018).

The population of the parasite increases during the spring period and then decreases from September onwards in parallel with the decrease in colony size and the quantity of brood of the *Apis mellifera intermissa* (Habbi-Cherifi *et al.*, 2019).

This study aims to provide an overview of beekeepers and their practices. It complements data collected previously in similar surveys. It will also make it possible to analyze the health situation of bee colonies and to explain the mortalities and losses of colonies suffered in our hives.

2 MATERIAL AND METHOD

2.1 LOCATION AND PERIOD OF WORK

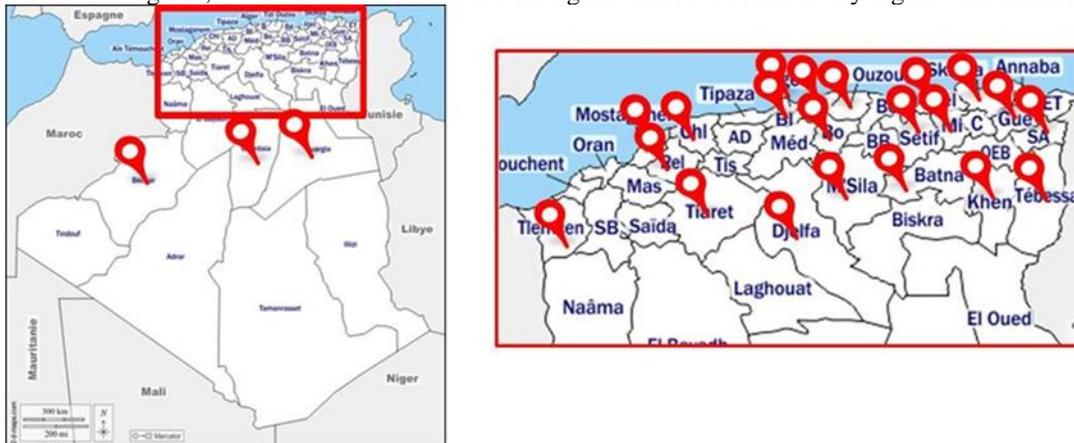
The study was conducted during the year 2022, a survey was carried out between March and July, to characterize and understand the beekeeping activity and its main problems in Algeria. This survey was distributed by e-mail and sent to all the beekeeping associations and beekeepers.

The survey questionnaire focused on the following elements: Characterization of respondents and hives, beekeeping practices, threats to honey bees, and treatments used for varroa control.

2.2 DATA ANALYSIS

The data gathered from both primary and secondary sources were input into Microsoft Excel 2016 spreadsheets, and subsequent data frequencies, tables, and graphs were generated using the same software.

Figure 1. Distribution of locations where respondents have their apiaries. The heat map of Algeria, which displays the distribution of apiaries across the country, reveals a noteworthy pattern. It's evident that there is a relatively lower density of apiaries in the southern regions, whereas the northern areas of Algeria exhibit a considerably higher concentration of apiaries.



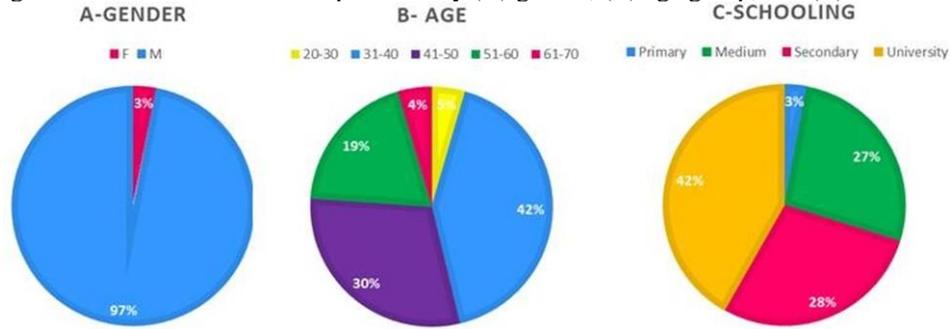
Source: Prepared by the authors themselves.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 CHARACTERIZATION OF RESPONDENTS

According to the results obtained, most of the respondents (100 responses, 97%, Figure 2a) are men. Our results, which reveal a prevalence of male participation in the field of beekeeping, align with numerous studies conducted across the African continent. At levels that were similar to findings in another research (Bihonegn; Begna, 2021; Farrugia; Martin-Hernandez; Zammit Mangion, 2022; Sperandio *et al.*, 2019). It seems that male predominance in this profession can be attributed to their willingness to endure bee stings and craft their own hives, resulting in reduced initial and ongoing expenses. (Berhe; Asale; Yewhalaw, 2019). The most representative age group belongs to the 31-40 age group and the least representative is the 61-70 age group with only 3 responses (4%), followed by 41-50 with responses (30%) (Figure 2b), age and experience significantly impact the ability to recognize local honeybee species, understand their products, and interpret their behaviors (Aynalem Abejew; Mekuriaw Zeleke, 2017). In terms of education, 42% had higher education and 28% had completed secondary school (Figure 2c). The educational background of beekeepers can play a pivotal role in discerning and specifying the requisite development and extension services tailored for the region (Alemu; Seifu; Bezabih, 2015).

Figure 2. Characterization of respondents by (A) gender, (B) age group, and (C) education.

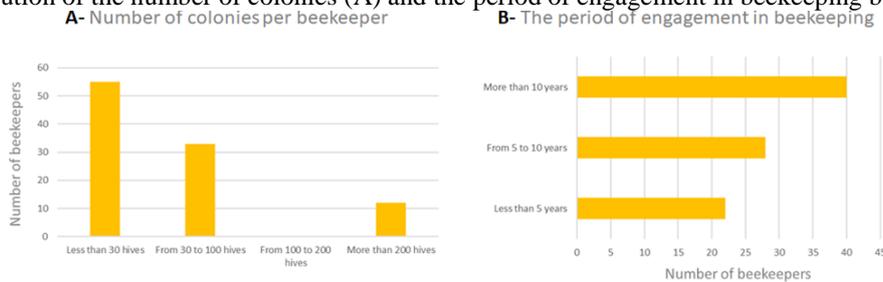


Source: Prepared by the authors

3.2 CHARACTERIZATION OF APIARIES

Figure 3a represents the distribution of the number of colonies by beekeepers, the distribution of the colonies is very variable, and the hives installed of the Langstroth type. According to the total number of colonies, 55 of the beekeepers have more colonies in less than 30 hives, followed by 33 beekeepers who have 30 to 100 colonies, 12 beekeepers who have more than 200 colonies, and no response for colonies from 100 to 200 hives. The persistence of this practice is expected to endure, primarily due to the significant constraints posed by limited land availability and the predominantly part-time nature of beekeeping among the majority of beekeepers (Farrugia *et al.*, 2022). Most beekeepers have accumulated more than ten years of experience, accounting for 40 responses out of a total of 100, which is 40% (Figure 3b), it could be attributed to the trend among beekeepers to develop their skills and expertise over the years. Beekeeping is an activity that greatly benefits from experience, as beekeepers learn to better understand bee behavior, manage colonies more effectively, and address various challenges related to bee health. Experienced beekeepers are often better equipped to make informed decisions and solve problems that arise in their hives. Therefore, it is logical that most beekeepers have accumulated significant experience over the years to enhance their beekeeping practices.

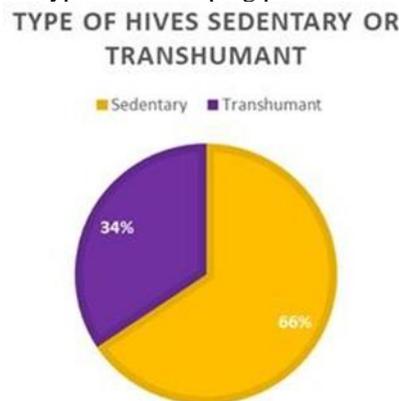
Figure 3. Distribution of the number of colonies (A) and the period of engagement in beekeeping by beekeepers (B).



Source: Prepared by the authors.

Beekeeping can be done in two ways, sedentary or transhumance, with the movement of colonies depending on the floral vegetation. Regarding the type of beekeeping, most of the respondents practice sedentary (66%) and transhumance (34%; Figure 4). Additionally, the extensive practices of migratory beekeeping and commercial breeding can promote gene flow between different bee races in Algeria. Productive beekeeping now uses seasonal transhumance, sometimes massive, towards protected natural areas. The managers of protected natural areas are now expressing concern about ecological interference between honeybees (*Apis mellifera*) and the many other species of foraging insects. (Cavallin; Rodet; Henry, 2019). A study by Dahmane (2020) shows that most of the beekeepers have secondary activities, and that beekeeping is practiced by a very large number of amateurs, who have a technical level, often, insufficient. In addition, migratory beekeeping practices should be carefully managed to minimize the risk of genetic mixing and the spread of diseases.

Figure 4. Types of beekeeping practiced in Algeria.

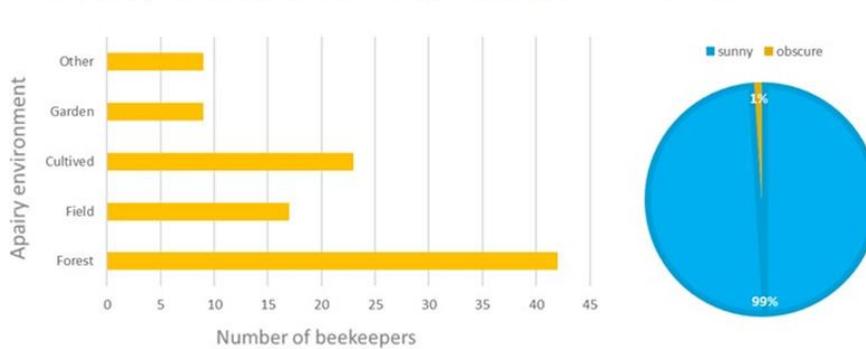


Source: Prepared by the authors.

3.3 BEEKEEPING PRACTICES

Beekeepers have a crucial role in ensuring the vitality of bee colonies (Sperandio *et al.*, 2019). The majority of beekeepers place their colonies in forests (42 responses) followed by cultivated (23 responses) and 17 responses for fields. The choice of hive location by beekeepers is sunny (99%) and dark (1%; Figure 5b). In this study beekeepers prefer placing their hives in forests rather than agricultural fields due to concerns about pesticides, aiming to avoid pollution and toxicity associated with agricultural chemicals. This preference stems from beekeepers' deep understanding of the detrimental effects of pesticides on bee health and honey quality. By opting for forest locations, beekeepers also contribute to preserving local biodiversity and safeguarding the natural environment.

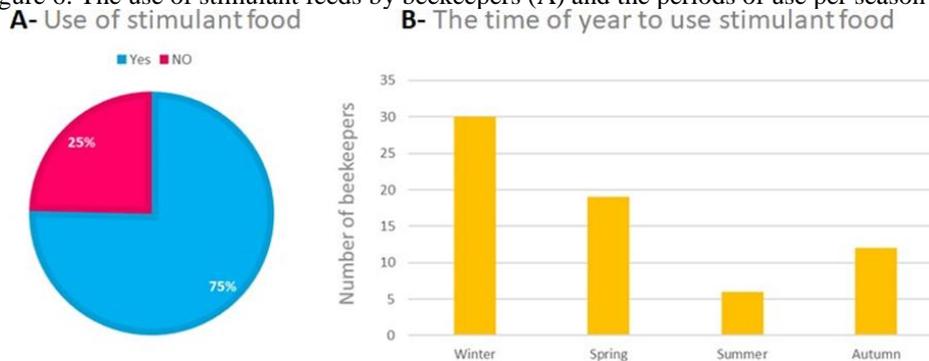
Figure 5. The environment (A) and the location of the apiary (B).



Source: Prepared by the authors.

The main objective of beekeepers is to increase production, in the animal production sector, genetic improvement meets the conditions for moderate breeding; controlled feeding, in beekeeping where the activity remains highly dependent on the climate and natural resources. Most beekeepers use stimulating feeds (75%) (Figure 6a) at different times of the year, with 30 responses for winter followed by spring 19 responses, and autumn 12 responses (Figure 6b), for the duration, the dose used, and the frequency of distribution varies according to the season and the number of hives as well as the development and strength of a colony of bees.

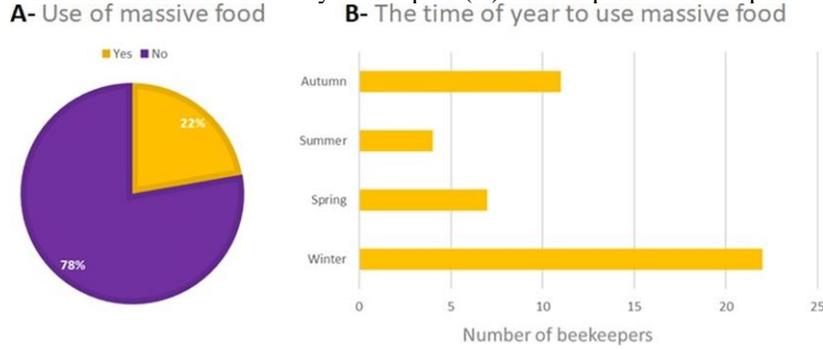
Figure 6. The use of stimulant feeds by beekeepers (A) and the periods of use per season (B).



Source: Prepared by the authors.

The use of mass feeding by 78% of beekeepers (Figure 7a) in different periods of the year, 22 responses for winter followed by autumn 11 responses and 7 responses for spring (Figure 7b). Feeding bees during periods of crop failure in the wild is a particularly specific problem. To compensate for the lack of nutrients in the bees' diet during the poor harvest seasons in the wild, most beekeepers feed the bee colonies with sugar syrup, which, in addition to carbohydrates, lacks a significant amount of biologically active substances. Under these conditions, it is essential to strengthen their strength and vitality by balanced feeding methods with nutritional supplements enriched with biologically active organic substances (Cebotari; Buzu, 2022).

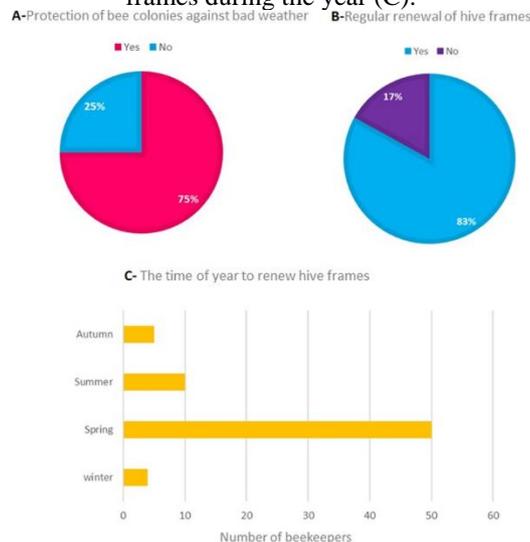
Figure 7. The use of massive feeds by beekeepers (A) and the periods of use per season (B).



Source: Prepared by the authors.

75% of the beekeepers protect their colonies against the weather (Figure 8a), using polystyrene boards, cardboard, and wooden boards during the winter as rain and even snow covers, some beekeepers close most of the flight holes with newspaper against the wind, and for the summer the beekeepers move their hives to less sunny places. 83% of the beekeepers regularly renew frames (Figure 8b), usually in spring (50 responses) (Figure 8c), at the beginning of the beekeeping season when they check the hives and remove old frames with a darker color, or in case of suspicion of a contagious disease, other beekeepers change the frames after the honey harvest.

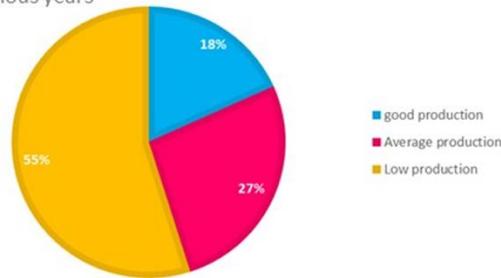
Figure 8. Protection of colonies against bad weather by beekeepers (A) renewal of frames (B) and periods of renewal of frames during the year (C).



Source: Prepared by the authors.

As one might expect, honey is the most exploited hive product. In most beekeepers' responses comparing honey production this year with previous years, more than half of beekeepers (55%) consider that the amount of honey produced has decreased, due to several biotic and abiotic factors such as drought, climate change, very high mortalities, the presence of pathologies and COVID had a negative influence on the yield which is very low in honey and that (18%) of beekeepers find that honey production is good (Figure 9).

Figure 9. Estimated honey production this year compared to previous years.
Estimate of honey production this year compared to previous years

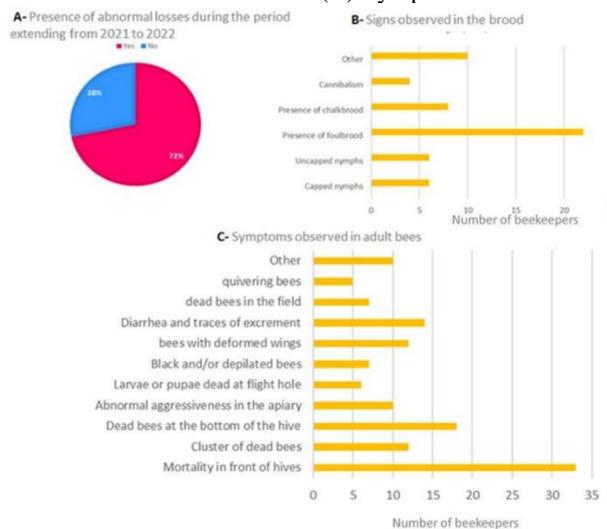


Source: Prepared by the authors.

3.4 THREATS TO HONEY BEES

Bees naturally suffer from a wide range of parasites and pathogens, the latter including protozoa, fungi, bacteria, and viruses. By far, the majority of research has focused on those associated with honey bees. Some bee diseases include deformed wing virus (DWV), *Nosema ceranae*, and *Paenibacillus larvae* (Genersch, 2010). Most beekeepers (72%) consider that there are abnormal losses in the period from 2021 to 2022. (Figure 10a). About the signs observed in broods (22 responses) for the presence of foulbrood, followed by six responses for capped nymphs and uncapped nymphs. On the other hand, 10 beekeepers responded with other signs (Figure 10b). And for symptoms observed in adult bees, the highest number of responses (34) for mortality in front of the hives followed by dead bees at the bottom of the hive (18). Third with 14 responses for diarrhea and dung trails, 7 responses for black and/or hairy bees and dead bees in the field (Figure 10c). Another study in Algeria, it has been reported that 65% and 85% of hives contained *nosema sp.* spores (Chahbar *et al.*, 2016).

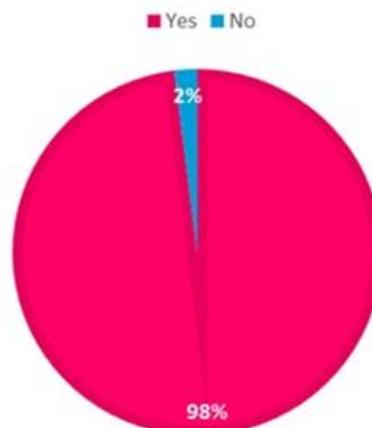
Figure 10. Beekeepers' responses to threats to bees. (A) Percentage of abnormal losses during the period from 2021 to 2022. (B) Signs were observed in the brood. (C) Symptoms are seen in adult bees.



Source: Prepared by the authors.

Only 2% of beekeepers who ask to do laboratory analyzes for mortalities, by sending samples of bees and brood, the results of the analyzes show the presence of American foulbrood and noseosis. (Figure 11). This low rate of beekeepers seeking laboratory analyzes for bee mortalities may be attributed to various factors, including a lack of awareness about the benefits of such analyzes, limited access to testing facilities, or perhaps a belief that mortalities are primarily caused by other factors. Further research and outreach efforts could help elucidate the underlying reasons for this limited uptake of laboratory testing among beekeepers. It is essential to provide beekeepers with education about the advantages of collecting samples and utilizing microscopic examination for the diagnosis of prevalent honeybee diseases. Additionally, this educational effort should be complemented by offering necessary tools and access to laboratory services to facilitate comprehensive diagnostics on the samples provided by beekeepers (Mushonga *et al.*, 2019).

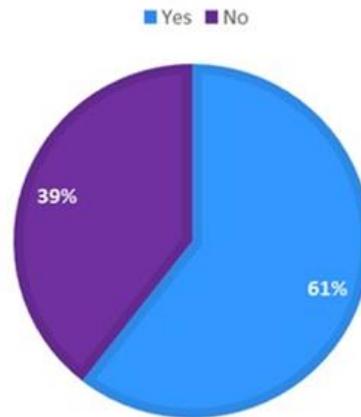
Figure 11. Percentage of beekeepers who requested analyzes for recorded mortalities.
Percentage of beekeepers who asked to do analyzes for mortalities



Source: Prepared by the authors.

In more than half of the responses (61%), beekeepers indicate that neighboring apiaries are also affected by the same symptoms in their colonies. (Figure 12). Worker bees collect and disseminate infectious spores from diseased broods within the hive, facilitating their spread. Furthermore, forager bees transport these spores beyond the hive, potentially leading to their transmission between hives during robbing incidents, where weakened and afflicted hives are plundered for honey by bees from other colonies (Stephan; Miranda; Forsgren, 2020; Downs; Ratnieks, 2000).

Figure 12. Percentage of neighbouring apiaries also affected.
 Neighboring apiaries also affected

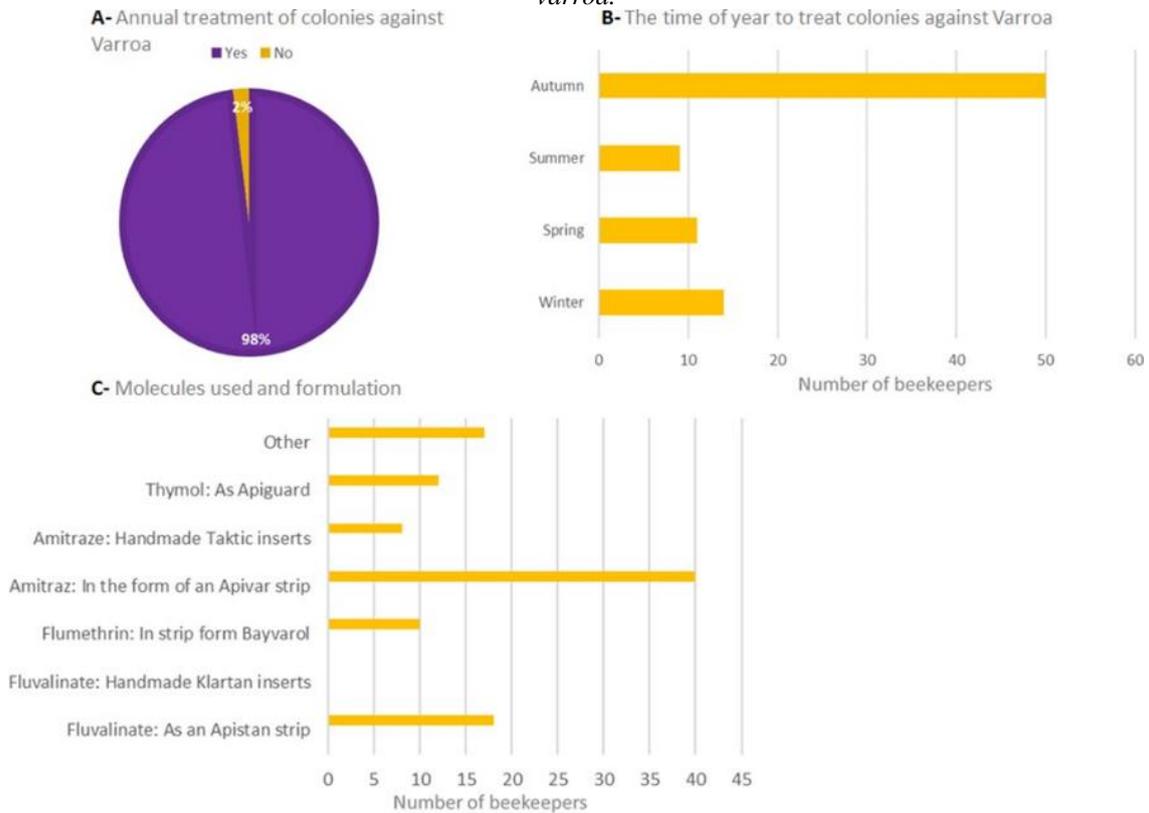


Source: Prepared by the authors.

The invasion of the *Varroa destructor* mite is one of the most dangerous parasitic diseases that have intensified the most valuable attacks, from a production point of view, on useful insect species, such as the *Apis mellifera L.* bee, having a highly accelerated character, with an extremely harmful destructive impact, threatening the existence of the bee colony (Cebotari *et al.*, 2013).

Specialized researchers should direct their work towards studying the evolutionary cycle of *Varroa destructor*, its resistance to physical and chemical agents, and the means of destroying it in hives (Louveaux, 1974). Most beekeepers (98%) use annual treatments for varroa mites (Figure 13a). In total, (50 responses) of the beekeepers apply the treatment in autumn followed by twelve responses in winter (Figure 13b). Ten beekeepers did not answer the question. Of the treatments indicated, the most used is Amitraze: in the form of a strip (Apivar) (40 responses), followed by Fluvalinate: in the form of a strip (Apistan) (18), and no beekeepers use Fluvalinate: homemade inserts in Klartanen, in contrast (12 responses) for Thymol: in the form of Apiguard (Figure 13c). We can see that the relationship of beekeepers to the health of bees is mediated by their relationship to nature, which is expressed in the discourse on the drugs proposed to combat *varroa* mites and on alternatives to drugs, mainly the breeding of hardy or productive lines of bees, or those resistant to the parasite. As we have seen, control strategies have evolved since the 1980s and are identified and known to beekeepers. They are spread out over a continuum ranging from natural treatments (without chemicals) to medicines available in conventional chemistry (Faugère; Dussy, 2019, 2021).

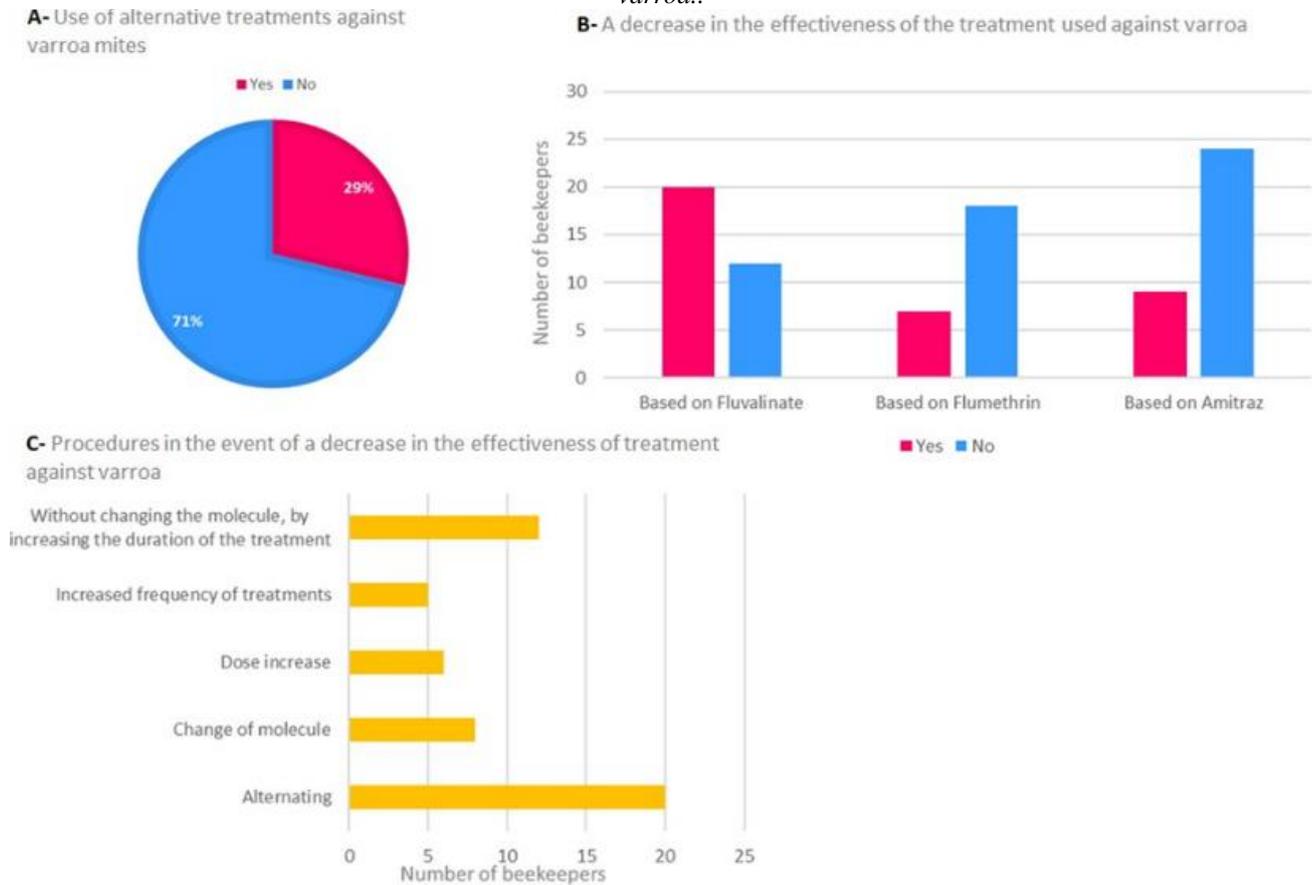
Figure 13. Surveillance and treatments against *Varroa* used by beekeepers. (A) Percentage of responses from beekeepers who treat *Varroa* annually. (B) Period of the year of treatment against *varroa*. (C) The treatment molecules were used against *varroa*.



Source: Prepared by the authors.

Regarding the opinion of the beekeepers on the different treatments used against varroa mites, 71% of the beekeepers use alternative treatments (Figure 14), such as tobacco leaves, garlic, cider vinegar, oxalic acid, mugwort, thyme, and thyme crystals in the bees' diet. Figure 14 shows the seasons in which varroa monitoring and treatments are applied. *Varroa* monitoring is carried out throughout the beekeeping season. The fluvalinate treatment is the treatment with the lowest efficacy according to 20 beekeepers after the second to third year of the *varroa* treatment, beekeepers also perform several methods to increase treatment efficiencies, the highest number of responses was obtained for the use of alternative or biological treatments (20 responses), followed by the procedure of not changing the molecule, increasing the duration of the treatment (12) and 8 responses for changing the molecule used. (Figure 14c). Another study sought to identify fluvalinate-resistant mite populations in northern-central Algeria, with *Varroa* mortality at 41.23% in fluvalinate-treated apiaries, compared to 81.51% in those receiving an alternative treatment (Adjlane; Doumandji; Haddad, 2013).

Figure 14. Opinion of beekeepers regarding the different treatments used against *varroa* mites. (A) Percentages of beekeepers who carry out alternative treatments. (B) Distribution of responses concerning a decrease in the effectiveness of the treatment used against *varroa* mites. (C) Methods in the event of a decrease in the effectiveness of the treatment against *varroa*..



Source: Prepared by the authors.

Regarding the opinion of the beekeepers on the different treatments used against *varroa* mites, 71% of the beekeepers use alternative treatments (Figure 14), such as tobacco leaves, garlic, cider vinegar, oxalic acid, mugwort, thyme, and thyme crystals in the bees' diet. Figure 14 shows the seasons in which *varroa* monitoring and treatments are applied. *Varroa* monitoring is carried out throughout the beekeeping season. The fluvalinate treatment is the treatment with the lowest efficacy according to 20 beekeepers

4 CONCLUSION

The results of this study show the constraints and challenges of beekeeping development in Algeria in recent years, the very high mortality, and the presence of pathologies. The majority of beekeepers do not ask for an analysis of the recorded mortalities. The practice has had a negative influence on the yield, which is very low in honey. Among the positive points of the survey, the presence of beekeepers who practice good beekeeping (renewal of frames, protection of colonies against bad weather, practice of transhumance) as well as the periodic detection of varroasis in the bee colonies and the use of biological

or alternative treatments. The conservation of honeybee colonies in Algeria requires their protection against various biotic and abiotic factors. Beekeeping associations must be on the ground to organize the beekeeping sector and improve the current situation, as the beekeeping profession has had to deal with significant losses of colonies and a drop in honey production in recent years. Further studies are needed in the future to improve the health situation of beekeeping in Algeria. An issue that demands attention in future research is the effective management of *Varroa destructor*, which continues to pose one of the most significant challenges in the field of beekeeping.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to the Department of Agronomy, Faculty of Science, and the M'hamed Bougara University of Boumerdes for providing the research facilities used throughout this work and their general and long-term support of the metrological research. Thanks to all the beekeepers who took the time to respond to this survey, which made this study possible. In addition, we are grateful to the anonymous reviewers for their helpful contributions to an earlier version of the manuscript.

REFERENCES

- Abebe, W. (2007). *Determinants of adoption of improved box hive in Atsbi Wemberta District of Eastern Zone, Tigray Region*. (PhD Thesis). Haramaya University.
- Adjlane, N., Habbi-Cherifi, A., Haddad, N., & A. Baz. (2018). Prevalence of acariosis in honeybee colonies of *Apis mellifera intermissa* in Algeria. *Journal of Entomological Research*, 42(4), 451- 54.
- Adjlane, N., Doumandji, S. E. & Haddad, N. (2013). *Varroa destructor* resistance to fluvalinate in Algeria. *Trends Entomol*, 12, 123-25.
- Aizen, Marcelo A. & Lawrence D. Harder. (2009). The global stock of domesticated honey bees is growing slower than agricultural demand for pollination. *Current biology*, 19(11), 915- 18.
- Alemu, T., Eyassu, S. & Amessalu, B. (2015). Postharvest handling, opportunities and constraints to honey production in northern Ethiopia. *Livestock Research for Rural Development*, 27(5).
- Aynalem, A. T. & Zeleke, M. Z. (2017). Study on the beekeeping situation, the level of beekeepers knowledge concerning local honeybee subspecies, their productive characteristics, and behavior in Eastern Amhara Region, Ethiopia. *Advances in Agriculture*, 2017.
- Berhe, A., Abebe, A. & Delenasaw, Y. (2016). Community perception on beekeeping practices, management, and constraints in Termaber and Basona Werena districts, central Ethiopia. *Advances in Agriculture*, 2016.
- Bihonegn, A. & B. Desalegn. (2021). Beekeeping production system, challenges, and opportunities in selected districts of South Wollo Zone, Amhara, Ethiopia. *Advances in Agriculture*, 2021, 1-10.
- Cavallin, P., Guy, R., & Mickael, H. (2019). Maîtriser l'impact de l'apiculture sur les insectes butineurs. *Espaces Naturels*, (65), 51-52.
- Cebotari, V. & Ion, B. (2022). Conservation and valorisation of bee species *apis mellifera carpatica* in context climate change. *Scientific Papers: Series D, Animal Science-The International Session of Scientific Communications of the Faculty of Animal Science*, 65(1).
- Cebotari, V., Toderaş, I., Buzu, I. & Olga, P. (2013). Invasion of the *Varroa jacobsoni* parasite in *Apis mellifera* *Carpatica* bee families. *Invazia parazitului Varroa jacobsoni în familiile de albine Apis mellifera Carpatica*. *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei, Ştiinţele vieţii*, 4- 13.
- Chahbar, M., Tefiel, H., Adidou-Chahbar, N., Doumandji-Mitiche, B. & Gaouar, S. B. S. (2016). First spatial distribution of nosemosis (*Nosema* sp) infected local bee, *Apis mellifera intermissa* L. in Algeria. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 26(2), 357-363.
- Dahmane, A. (2020). *Apis mellifera* keeping in mila district from Algeria; colony management and varroa destructor control practices. *Mellifera*, 20(2), 1-17.
- Dupre, L., Agnes F., & Alphantery, P. (2021). *Abeilles. le sacrifice des pollinisateurs*.
- Farrugia, D., Martin-Hernandez, R. & Zammit Mangion, M. (2022). Beekeeping in Malta: A Review of Current Practices, Trends and Challenges. *Bee World*, 99(4), 131-138. Doi: 10.1080/0005772X.2022.2113231.

- Faugère, E., et Dorothée, D. (2019). *La circulation des connaissances dans les exploitations apicoles françaises*. Les Editions la Discussion.
- Faugère, E., et Dorothée, D. (2021). Abeilles, apiculteur·trice·s et varroa: cohabiter en temps de crises ». *Anthropologie & Santé. Revue internationale francophone d'anthropologie de la santé*, (22).
- Genersch, E. (2010). American Foulbrood in honeybees and its causative agent, *Paenibacillus larvae*. *Journal of invertebrate pathology*, 103, p. S10-19.
- Habbi-Cherifi, A., Adjlane, N., Medjdoub-Bensaad, F. & Haddad, N. (2019). Dynamics of the population Varroa destructor at the Level of Local Bee Colonies *Apis mellifera intermissa* in the North Central of Algeria. *Mellifera*, 19(2), 33-42.
- Stephan, J. G., Miranda, J. R. de & Forsgren, E. (2020). American foulbrood in a honeybee colony: spore-symptom relationship and feedbacks between disease and colony development. *BMC ecology*, 20(1), 1-14.
- Klein, A. M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C. & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303-313.
- Louveaux, J. (1974). The Bee and the Environment. *Bee World*, 55(4), 150-152.
- Mushonga, B., Landouard, H., Gervais, H., Kandiwa, E., Alaster, S., & Basiamisi, V. E. S. (2019). Characterization of the beekeeping value chain: challenges, perceptions, limitations, and opportunities for beekeepers in Kayonza District, Rwanda. *Advances in Agriculture*, 2019, 1-9.
- Sperandio, G., Simonetto, A., Carnesecchi, E., Costa, C., Hatjina, F., Tosi, S. & Gilioli, G. (2019). Beekeeping and honey bee colony health: A review and conceptualization of beekeeping management practices implemented in Europe. *Science of the Total Environment*, 696, 133795.
- Downs, S. G. & Ratnieks, F. L. W. (2000). Adaptive shifts in honey bee (*Apis mellifera* L.) guarding behavior support predictions of the acceptance threshold model. *Behavioral Ecology*, 11(3), 326-333.

STATEMENT

South Florida Journal of Development, ISSN 2675-5459, hereby declares that the article entitled Results of the nationale survery on algerian beekeeping (breeding practices, health situation) authored by Yamina Haider, Nouredine Adjlane, Nizar Haddad , was published in v.5, n.11, of 2024.

The journal is online, and the articles can be found by accessing the link:

<https://ojs.southfloridapublishing.com/ojs/index.php/jdev/issue/view/117>

DOI: <https://doi.org/10.46932/sfjdv5n11-019>

As it is an expression of the truth, we sign this statement.

Curitiba, November 18, 2024.

Editorial Team

