

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان
Université Abou Bekr BELKAID – Tlemcen



كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et Sciences de la Terre et de l'Univers
Département de Biologie

Laboratoire de génétique appliquée en agriculture, écologie et santé publique



THESE DE DOCTORAT

Présentée par

KIDOUD BENALI

En vue de l'obtention du

Diplôme de Doctorat 3^{ème} cycle LMD

En Sciences Biologiques, Option : Génétique appliquée

Thème

**Caractérisation morphométrique, génétique de quelques Populations
d'*Apis mellifera* et étude épidémiologique en Algérie**

Soutenu publiquement le 23 Novembre 2025 devant le jury composé de :

Président	GAOUAR Semir Bechir Suheil	Pr	Université de Tlemcen
Examineur 1	MOKHTARI SOULIMANE Nassima	Pr	Université de Tlemcen
Examineur 2	BELYAGOUBI Larbi	Pr	Université de Tlemcen
Examineur 3	TEFIEL Hakim	MCA	Université de Tissemsilt
Examineur 4	MENNANI Achour	MCA	Université de M'sila
Directeur de thèse	ADIDOU-CHAHBAR Nora	Pr	Université de Boumerdes

Année universitaire 2024 - 2025

Dédicaces

En témoignage de son dévouement, de sa patience et de son soutien, je rends hommage à ma mère. Je vous exprime toute ma gratitude et mes sincères remerciements pour son travail.

En souvenir de mon regretté père que je garde précieusement en mon cœur.

Mes respectueuses consœurs

Mes chers frères.

L'ensemble de ma famille

Je tiens à exprimer ma gratitude envers mes camarades, notamment mes amis Mohamed et Hakim, pour leur soutien et leurs encouragements.

À tous ceux qui m'ont apporté leur soutien dans l'élaboration de ce travail,

Remerciements

Avant tout, je rends grâce à Allah, qui m'a accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

J'adresse mes remerciements les plus chaleureux à ma directrice de thèse, **Madame CHAHBAR-ADDIOU Nora**, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université M'hamed Bougara de Boumerdès, pour ses idées enrichissantes, ses conseils précieux. Je lui suis particulièrement reconnaissant d'avoir suivi la réalisation de ce travail avec une grande attention et de m'avoir prodigué des orientations éclairées tout au long de ce parcours.

Je souhaite également exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à **Monsieur GAOUAR Semir Bechir Suheil**, Professeur à l'Université de Tlemcen, pour son accompagnement précieux, ses conseils avisés, ses encouragements constants et la confiance qu'il m'a témoignée. Je le remercie aussi pour l'honneur qu'il me fait de présider le jury de cette thèse.

J'adresse mes remerciements respectueux aux membres du jury, qui ont bien voulu consacrer de leur temps pour évaluer ce travail :

- **Mme MOKHTARI SOULIMANE Nassima**, Professeure à l'Université de Tlemcen ;
- **M. BELYAGOUBI Larbi**, Professeur à l'Université de Tlemcen ;
- **M. TEFIEL Hakim** Maitre de Conférences A
- **M. MENNANI Achour**. Maitre de Conférences A

Ma reconnaissance va également à l'ensemble de l'équipe du **laboratoire de recherche en Physiopathologie et Biochimie de la Nutrition (PpaBioNut)**, ainsi qu'à celle du **laboratoire de Génétique appliquée en Agriculture, Écologie et Santé publique (GenApAgiE)**. Je n'oublie pas mes collègues doctorants et docteurs de l'Université pour leur soutien constant.

Je tiens aussi à remercier tout le staff du **laboratoire de détection des OGM du CRBT Constantine**, dont l'aide précieuse a largement contribué à la réalisation d'une partie importante de ce travail, dans un moment où j'en avais le plus besoin. Je remercie Dieu de m'avoir entouré de personnes aussi dévouées.

Ma gratitude s'adresse également aux **apiculteurs** qui ont accepté de collaborer en fournissant des échantillons et des informations indispensables à l'achèvement de cette recherche.

Enfin, j'exprime mes remerciements les plus sincères à toutes celles et à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Productions scientifiques

Au cours de ma formation à l'université de Tlemcen, j'ai eu l'opportunité de mener diverses recherches scientifiques dans mon axe de recherche et aussi dans d'autres, ce qui m'a permis d'acquérir une expérience précieuse et de publier au niveau international comme montré ci-dessous.

Kidoud, B., Chahbar, A. N., Chahbar, M., Tefiel, H., Khaoula, B., & Gaouar, S. B. S. (2023). First molecular detection and geographical distribution of *Nosema apis* & *Nosema ceranae* in indigenous honey bees reared in Algeria. *Genetics & Biodiversity Journal*, 7(2), 141–150. <https://doi.org/10.46325/gabj.v7i2.343>

BENGHALEM, B., **KIDOUD, B.**, SALAH, Z., CHAHBAR, M., & GAOUAR, S. B. S. (2023). Typology and morphogéométric caractérisation of local bee populations *Apis mellifera intermissa* in the North-West of Algeria. *Genetics & Biodiversity Journal*, 7(2), 12–27. <https://doi.org/10.46325/gabj.v7i2.286>

KHEDIM, R., Abdelhamid, B., HOULALA, I., **KIDOUD, B.**, & GAOUAR, S. S. B. (2024). A Comprehensive Inventory of Wild Bees in Tlemcen (North-West of Algeria). *Genetics & Biodiversity Journal*, 8(2), 99–112. <https://doi.org/10.46325/gabj.v8i2.408>

TABLE DE MATIERE

Liste des figures	I
Liste des tableaux	II
Liste des tableaux	III

1.	Introduction	1
2.	Chapitre I – Revue bibliographique	6
2.1	L’abeille domestique	6
2.2	Classification et groupes évolutifs	6
2.3	Répartition de l’espèce <i>Apis mellifera</i> au Maghreb	8
2.3.1	<i>Apis mellifera intermissa</i>	8
2.3.2	<i>Apis mellifera sahariensis</i>	8
2.4	Morphologie de l’abeille	9
2.4.1	La tête	10
2.4.2	Le thorax	10
2.4.3	Les pattes	10
2.4.4	Les ailes	11
2.4.5	L’abdomen	11
2.5	Biologie de l’abeille domestique	12
2.5.1	Organisation des abeilles dans la colonie	12
2.5.1.1	L’ouvrière	13
2.5.1.2	Le mâle (faux-bourçons) :	14
2.5.1.3	La reine	15
2.5.2	Développement des Différentes Castes d'Abeille domestique	16
2.5.2.1	L'Oeuf	16
2.5.2.2	La Larve	16
2.5.2.3	La Nymphe	17
2.5.2.4	L'Adulte	17
2.6	Les facteurs de risque liés au dépérissement de l’abeille domestique	18
2.7	Principales maladies de l'abeille	19
2.7.1	Varroase	19
2.8	Les virus	20
2.8.1	Description des agents causaux	20
2.9	La nosérose	21
2.9.1	Nosérose de Type A (<i>Nosema apis</i>)	22
2.9.2	Nosérose de Type C (<i>Nosema ceranae</i>)	22
2.9.3	Voies de Transmission	23
2.9.4	Diagnostic	23
2.9.5	Traitement	24
2.10	Loque américaine	24
2.11	Loque européenne	25

2.12	Le couvain plâtré ou Ascosphérose	25
2.13	Les ennemis des abeilles	26
2.13.1	Les oiseaux	26
2.13.2	Les souris	27
2.13.3	Les fourmis	27
2.13.4	Les guêpes	27
2.14	Les pesticides	28
3.	Chapitre II - Matériel et Méthodes	30
3.1	Matériel biologique	30
3.1.1	<i>Apis mellifera intermissa</i> (Abeille tellienne)	30
3.1.2	<i>Apis mellifera sahariensis</i> (Abeille saharienne)	30
3.2	Présentation des sites d'échantillonnage	31
3.2.1	L'enquête de terrain	31
3.2.2	Sites d'échantillonnage pour l'étude de la nosérose.	32
3.2.3	Lieux des prélèvements des échantillons pour l'analyse biométrique et morpho-géométrique	34
3.3	Analyse moléculaire	36
3.3.1	Extraction de l'ADN de <i>Nosema Sp</i>	36
3.3.2	PCR multiplex pour la détection des deux espèces de la <i>Nosema Sp</i> (<i>N.ceranae</i> et <i>N. apis</i>)	36
3.3.3	Visualisation	37
3.4	Analyse morphométriques	37
3.4.1	Mesure des caractères biométrique	37
3.5	Préparation des échantillons	40
3.5.1	La méthode utilisée pour la morpho-géométrie	40
3.5.1.1	Préparation des ailes pour la numérisation	40
3.6	Analyse statistique	42
3.6.1	Techniques d'exploitation statistique des résultats de l'étude de la nosérose	42
3.6.2	Techniques statistiques employées pour les analyses morphométriques	42
3.6.3	L'Indice de diversité de Shanon-Weaver	43
3.6.4	Techniques d'exploitation statistique de l'analyse morpho-géométrique.	43
4.	Chapitre III – Résultats et discussion	46
4.1	L'Enquête sur terrain	46
4.1.1	Profil sociodémographique des apiculteurs	46
4.1.2	Renseignements sur les ruchers	48
4.1.3	Gestion générale des ruchers	49
4.1.4	Situation sanitaire des colonies d'abeilles	56
4.2	Détection moléculaire et distribution géographique de <i>Nosema apis</i>	57
4.2.1	Détection moléculaire	57
4.2.2	Prévalence et répartition géographique de <i>Nosema ceranae</i> et <i>Nosema apis</i>	58
4.3	Analyse morphométrique des populations d' <i>Apis mellifera intermissa</i>	61
4.3.1	Analyse des composantes principales (ACP)	63

4.3.2	Classification ascendante hiérarchique (CAH)	67
4.3.3	Indice de diversité de Shannon et Weaver	73
4.4	La géo-morphométrie des ailes antérieures droites de l'Apis mellifera intermissa	74
4.4.1	Analyse des composants principale (ACP)	74
4.4.2	Les analyses des variantes canoniques	75
4.5	La géo-morphométrie des ailes antérieures droites de l'abeille saharienne	77
4.5.1	Analyse des composants principale (ACP)	77
4.5.2	Les analyses des variantes canoniques	79
5.	Discussion	80
6.	Conclusion générale et perspectives	91
7.	Perspectives	93
	Références bibliographiques	95
	Annexes	
	Résumé	

Liste Des Figures

N°	TITRE	Page
Figure 01	Une carte d'évolution et la répartition géographique des différentes lignées Génétiques d' <i>Apis mellifera</i> .	7
Figure 02	Comparaison phénotypique entre <i>Apis mellifera sahariensis</i> et <i>Apis mellifera intermissa</i> (photo personnel)	9
Figure 03	Cadre de ruche présentant du couvain ouvert et operculé, accompagné d'abeilles ouvrières (photo personnel).	13
Figure 04	Diagramme des différents stades de développement en fonction de l'âge de l'ouvrière en jour	18
Figure 05	Spores de <i>Nosema</i> observées en microscopie	21
Figure 06	La carte d'Algérie avec la localisation des régions prospectées.	32
Figure 07	La carte de l'Algérie indiquant la localisation des sites d'échantillonnage.	33
Figure 08	La carte d'Algérie avec la localisation des échantillons.	34
Figure 09	Caractères morphométriques	39
Figure 10	Positions de 20 points repères qui ont été utilisés pour études morpho-géométriques chez <i>Apis mellifera (intermissa et sahariensis)</i>	41
Figure 11	Distribution des apiculteurs enquêtés selon leur tranche d'âge.	47
Figure 12	Répartition des apiculteurs selon leur niveau d'instruction.	47
Figure 13	Répartition du nombre de colonies par rucher des apiculteurs enquêtés.	48
Figure 14	Type de gestion des ruchers chez les apiculteurs enquêtés.	49
Figure 15	Types de nourrissements stimulants appliqués par les apiculteurs.	49
Figure 16	Durée et fréquence d'administration des nourrissements stimulants par les apiculteurs	50
Figure 17	Périodes de distribution des nourrissements stimulants chez les apiculteurs enquêtés	51
Figure 18	Recours aux nourrissements stimulants en période de pénurie de ressources mellifères.	51
Figure 19	Quantité de sirop distribuée par les apiculteurs enquêtés	52
Figure 20	Taux de protection des ruches contre les intempéries	52
Figure 21	Période de renouvellement des cadres des ruches par les apiculteurs enquêtés	53
Figure 22	Estimation de la production du miel par les apiculteurs enquêtés.	54

Figure 23	Pratiques d'élevage mises en œuvre par les apiculteurs pour l'agrandissement des ruches	55
Figure 24	Période de pertes anormales déclarées par les apiculteurs enquêtés.	55
Figure 25	Gel d'agarose montrant les résultats de l'amplification du gène 16S en utilisant l'amorce Mnapis 224 Pb et Mnceranae 171 Pb.	58
Figure 26	Prévalence des espèces de Nosema dans les ruchers algériens.	60
Figure 27	Représentation graphique de la décomposition de l'inertie totale	64
Figure 28	Plan de distribution des individus selon les régions	65
Figure 29	Cercle de corrélation des variables	66
Figure 30	Dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique	67
Figure 31	Classification ascendante hiérarchique des individus	69
Figure 32	Graphique illustrant la répartition de l'inertie totale.	74
Figure 33	Analyses des composants principaux des 2 axes	75
Figure 34	Positionnements des 20 point de repères sur les 02 premiers axes de l'ACV	76
Figure 35	Représentation graphique des variantes canoniques des axes 1 et 2	76
Figure 36	Graphique illustrant la répartition de l'inertie totale.	78
Figure 37	Analyses des composants principaux des 2 axes	78
Figure 38	Positionnements des 20 point de repères sur le premier axe de l'ACV	79
Figure 39	Représentation graphique des variantes canoniques 1 et 2	79

Liste Des Tableaux

N°	TITRE	Page
Tableau 01	Répartition des localités d'échantillonnage et nombres de colonies analysées.	33
Tableau 02	Caractéristiques et répartition des localités d'échantillonnage et nombres de colonies de l'abeille saharienne analysées	35
Tableau 03	Symptômes signalés par les apiculteurs au cours de l'enquête.	57
Tableau 04	Prévalence des colonies infectées par <i>N. apis</i> , <i>N. ceranae</i> et co-infection (<i>N. apis</i> et <i>N. ceranae</i>) dans les ruchers.	59
Tableau 05	Résultats d'évaluation de la répartition de la nosérose par l'utilisation de la procédure GENMOD du SAS 9.	60
Tableau 06	Les moyennes, l'écart type, la médiane, ainsi que les valeurs minimale et maximale des 17 caractères (en millimètres).	61
Tableau 07	Variance, pourcentage de variance et pourcentage cumulative	64
Tableau 08	Contribution des caractères sur les cinq premières dimensions	66
Tableau 09	Lien des variables étudiés avec la partition	70
Tableau 10	Description des classes par les variables quantitatifs.	71
Tableau 11	ANOVA des mesures morphométriques par région	72
Tableau 12	Indice de Shannon et Weaver H' de chaque caractère étudié	73
Tableau 13	Résultats des distances de Mahalanobis.	77
Tableau 14	Résultats des distances de Mahalanobis entre les groupes	80

Liste Des Abréviations

LP	Longueur de proboscis
FL	Longueur de l'aile
FB	Largeur de l'aile
FE	Longueur de fémur
TI	Longueur de tibia
ML	Longueur de métatarse
MT	Largeur de métatarse
T3	Largeur de tergite 3
LT3	Longueur de tergite3
T4	Largeur de tergite 4
LT4	Longueur de tergite 4
WT	Miroir de cire transversal
WD	Distance entre les miroirs de cire
WL	Longitudinal de miroir de cire
S3	Diamètre longitudinal
T6	Transversal
L6	Longitudinal
ACP	Analyse en composantes principales
CVA	Analyse Variante canonique
ANOVA	Analyse de la variance
CAH	Classification ascendante hiérarchique

FAO	Food Agriculture Organization
CCD	colony collapse disorder
µl	Microlitre
ml	Millilitre
C°	Degré Celsius
Mm	Millimètre
Max	Maximum
Min	Minimum
BLD	Blida
TMC	AinTmouchent
MSC	Mascara
SBA	Sidi Bel Abbes
ORN	Oran
TLM	Tlemcen
CHL	Chlef
GLM	Modèle Linéaire Généralisé
OIE	Office International des Épizooties
SAS	SAS Institute (1982) SAS User's Guide: Statistics. Cary, NC, USA

INTRODUCTION

1. Introduction

L'abeille domestique, *Apis mellifera*, est un insecte social vivant au sein de colonies organisées et harmonieuses, composées de centaines de mâles (bourdons), d'ouvrières femelles stériles assurant les différentes tâches de la colonie, et d'une seule reine. Au-delà de leur importance économique, culturelle et sociale, les abeilles jouent un rôle essentiel dans les écosystèmes terrestres, contribuant au maintien de la biodiversité, à la sécurité alimentaire et à la nutrition (G.Papa et al., 2022).

Elles interviennent également dans l'agriculture en augmentant les rendements des cultures et des semences, et fournissent des produits tels que le miel, la cire et d'autres substances aux propriétés nutritionnelles et médicinales, constituant des sources de nourriture et de revenus de valeur (Bradbear, 2010). La pollinisation par *Apis mellifera* concerne environ 90 % des principales espèces cultivées et des fleurs sauvages dans le monde (Klein et al., 2007).

Malgré cette importance, des effondrements de ruchers sont régulièrement constatés (Oberreiter et Brodschneider, 2020 ; Medina-Flores et al., 2023). Ce phénomène, connu sous le nom de CCD (Colony Collapse Disorder) ou syndrome de l'effondrement des colonies, se caractérise par une disparition soudaine des abeilles dans la ruche, principalement observée dans l'hémisphère Nord (Oldroyd et al., 2007). De telles pertes ont été signalées aux États-Unis (Ellis et Leconte, 2008, 2010 ; Van Engelsdorp et al., 2010), au Canada (Currie et al., 2010), au Japon (Neumann et Carreck, 2010), ainsi que dans le nord et le centre de l'Europe, incluant la Norvège, la Pologne, l'Écosse, l'Angleterre, les Pays-Bas, la Suisse et l'Autriche (Dahle, 2010 ; Topolska et al., 2010 ; Gray et al., 2010 ; Aston, 2010 ; Van der Zee, 2010 ; Charriere et Neumann, 2010 ; Brodschneider et al., 2010). Le pourtour méditerranéen n'est pas épargné, avec des cas rapportés en France, en Italie, en Bulgarie, en Croatie et en Grèce (Chauzat et al., 2010a ; Mutinelli et al., 2010 ; Ivanova et Petrov, 2010 ; Gajger et al., 2010 ; Gallina et Mutinelli, 2010 ; Hatjina et al., 2010).

Les causes du CCD sont multiples. Parmi les facteurs biotiques, on distingue les agents pathogènes, les parasites et l'insuffisance de ressources alimentaires liée à la fragmentation et à la perte des habitats. Les facteurs abiotiques comprennent les changements climatiques et la pollution (Decourtye et al., 2010 ; Neumann et Carreck, 2010 ; Kluser et al., 2011). Certains chercheurs incriminent les virus (Chen et al., 2005 ; Yue et Genersch, 2005 ; Williams et al., 2009 ; Berthoud et al., 2010 ; Carreck et al., 2010a,b ; Martin et al., 2010 ; Zioni et al., 2011 ;

Yanez et al., 2012), d'autres relient le CCD à la nosérose (Aydin et al., 2006 ; Chauzat et al., 2007 ; Higes et al., 2008 ; Paxton, 2010 ; Santrac et al., 2010) ou au *Varroa destructor* (Leconte et Faucon, 2002 ; Carreck et al., 2010b ; Dahle, 2010 ; Martin et al., 2010). La perte de diversité génétique est également avancée comme facteur contributif (Ellis et Leconte, 2008 ; Meixner et al., 2010).

La nosérose, maladie dévastatrice des colonies domestiques, est causée par deux microsporidies du genre *Nosema*, *Nosema apis* et *Nosema ceranae* (Traver & Fell, 2011). Historiquement, *Nosema apis* infestait l'abeille européenne *A. mellifera* (Zander, 1909). Cependant, une nouvelle espèce, *N. ceranae*, initialement décrite chez *A. cerana* (Fries et al., 1996), a été détectée chez *A. mellifera* (Higes et al., 2006). Ces deux espèces peuvent co-infester la même colonie (Martín-Hernández et al., 2007 ; Botías et al., 2013) et sont actuellement signalées sur quatre continents : Europe, Asie, Amérique et Afrique (Martín-Hernández et al., 2007 ; Higes et al., 2009 ; Gisder et al., 2010 ; Chen et al., 2010 ; Yoshiyama et al., 2011 ; Cornelissen et al., 2011 ; Ivgin et al., 2016 ; Emsen et al., 2016 ; Pacini et al., 2016 ; Guerrero-Molina et al., 2016 ; Chahbar et al., 2016 ; Ansari et al., 2017 ; Odnosum, 2017 ; Shumkova et al., 2018 ; Khezri et al., 2018 ; Matović et al., 2020). Une troisième espèce, *N. neumani*, a été récemment décrite en Ouganda (Chemurot et al., 2017).

Les symptômes cliniques diffèrent selon les espèces : *Nosema apis* provoque généralement de la diarrhée (Fries, 1993), tandis que *Nosema ceranae* peut infecter sans signes apparents (Paxton, 2010 ; Higes et al., 2010 ; Maiolino et al., 2014). Les niveaux d'infection varient selon les colonies et les espèces (Chen et al., 2009 ; Mulholland et al., 2012 ; Epilobee et al., 2016 ; Martín-Hernández et al., 2018), et plusieurs différences morphologiques, génomiques et virulentes ont été relevées (Fries et al., 2013 ; Ptaszynska et al., 2014 ; Chen et al., 2013 ; Gómez-Moracho et al., 2014 ; Huang et al., 2013 ; Sinpoo et al., 2018).

La discrimination morphologique entre *Nosema apis* et *Nosema ceranae* reste difficile au microscope optique (Fries et al., 1996), rendant nécessaire l'usage de méthodes moléculaires telles que la PCR multiplex, permettant de détecter les infections à de très faibles niveaux (Weiss & Vossbrinck, 1999 ; Papini et al., 2017). En Algérie, des études récentes ont suggéré que *Nosema ceranae* est l'agent causal principal de la nosérose locale (Chahbar et al., 2016). Cette recherche a pour objectif d'identifier les espèces de *Nosema* présentes en Algérie, de cartographier leur répartition géographique et d'analyser leur association potentielle avec le

phénomène de *Colony Collapse Disorder* (CCD), à l'aide d'un test de PCR multiplex ciblant le gène de l'ARNr 16S.

En parallèle, cette étude aborde la diversité morphométrique des abeilles locales. La capacité d'adaptation de *A. mellifera* à divers environnements a favorisé l'émergence de nombreuses sous-espèces (Hepburn & Radloff, 1998), confinées à l'Ancien Monde : Europe, Afrique, Proche et Moyen-Orient. Au total, 29 sous-espèces géographiques sont reconnues, présentant des caractéristiques écologiques et comportementales distinctes (Ruttner, 1988 ; Engel, 1999 ; Sheppard & Meixner, 2003). Les populations locales d'Algérie, *A. m. intermissa* et *A. m. sahariensis*, ont fait l'objet de quelques études biométriques (Barour et al., 2005 ; Achou, 2007 ; Berkani, 2008 ; Khedim et al., 2023). À l'échelle mondiale, des travaux sur les marqueurs morphométriques ont été réalisés en Europe, Asie, Amérique et Afrique (Ruttner et al., 1978 ; Sinacori et al., 1998 ; Verma et al., 1994 ; Hepburn et al., 2001 ; Radloff et al., 2005a, b ; Tan et al., 2007 ; Andere et al., 2008 ; Bruneau & Vandyck, 2008 ; Seijo & Escuredo, 2009 ; Rajper & Farooqi, 2012 ;).

Les études biométriques ont permis de regrouper les sous-espèces d'abeilles en quatre lignées évolutives (M, C, A, O), fortement structurées géographiquement (Ruttner, 1988). Les abeilles du Nord-Ouest africain sont classées principalement en deux sous-espèces : *A. m. intermissa* et *A. m. sahariensis* (Hepburn & Radloff, 1998), bien qu'une troisième, *A. m. major*, soit signalée dans le Rif marocain (Ruttner, 1975).

La diversité des abeilles est de plus en plus menacée, même au sein de leur aire de répartition naturelle, en raison de divers impacts négatifs liés aux activités humaines, notamment l'usage inapproprié de pesticides et d'herbicides (De La Rúa et al., 2009). Ces pratiques provoquent une réduction de la biodiversité florale, entraînant ainsi une diminution des ressources alimentaires disponibles pour les abeilles (De La Rúa et al., 2009 ; Chahbar et al., 2013).

Dans ce contexte, notre étude a été enrichie par une analyse biométrique classique couplée à une approche de morpho-géométrie alaire, permettant d'établir une base de données de référence sur les races locales. Ces données constituent un outil stratégique pour élaborer un plan de gestion et d'amélioration ciblé, visant la préservation et la conservation in situ des sous-espèces *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis* dans leur habitat naturel.

La présente étude s'articule en trois chapitres principaux. Le premier propose une synthèse bibliographique approfondie sur les abeilles domestiques, en mettant en lumière leur importance écologique et économique ainsi que les principales menaces qui pèsent sur elles.

Le deuxième décrit en détail le matériel et les méthodes utilisés, précisant le matériel biologique, les sites d'échantillonnage et les approches méthodologiques mises en œuvre, notamment l'enquête de terrain auprès des apiculteurs, la détection moléculaire de la nosérose par PCR, ainsi que l'analyse biométrique classique et morpho-géométrique des abeilles. Le troisième chapitre présente et discute les résultats obtenus, portant sur la situation socio-économique des apiculteurs, la prévalence et la distribution de la nosérose, ainsi que la caractérisation morphométrique des populations locales. Enfin, l'étude se conclut par une synthèse générale et des perspectives de recherche visant à préserver et à valoriser les sous-espèces algériennes *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis*.

**Chapitre I –
Revue
Bibliographique**

2. Chapitre I – Revue bibliographique

2.1 L'abeille domestique

L'abeille domestique (*Apis mellifera*) est l'espèce d'abeille la plus largement répandue et exploitée à travers le monde. Originaires d'Afrique, d'Europe et d'Asie occidentale, elles ont été introduites sur tous les continents par l'homme en raison de leur importance agronomique, écologique et économique (Ruttner, 1988). Elles appartiennent à l'ordre des Hyménoptères, qui se distingue par la présence de deux paires d'ailes membraneuses articulées entre elles par des crochets, ainsi que des pièces buccales de type broyeur-lécheur. Elles se caractérisent également par un système nerveux central particulièrement développé et par la fréquence de phénomènes de parthénogenèse, correspondant à la production d'individus sans fécondation.

2.2 Classification et groupes évolutifs

L'abeille domestique *Apis mellifera* occupe une aire géographique très vaste et montre une variabilité morphologique et génétique très structurée. L'aire de répartition naturelle de l'abeille domestique s'étend à l'Afrique, à l'Europe et au Moyen-Orient. Sur le plan taxonomique, *A. mellifera* présente une remarquable diversité intraspécifique, matérialisée par l'existence d'environ trente sous-espèces actuellement reconnues sur des investigations morphométriques, génétiques, écologiques, physiologiques et comportementales (Ruttner 1988; Engel 1999; Sheppard et Meixner, 2003, Meixner et al., 2013).

La répartition géographique de la diversité observée suggère l'existence de 4 lignées évolutives (Figure 01) chez l'abeille, chacune regroupant plusieurs races géographiques: la lignée M (races ouest-méditerranéennes), la lignée A (races africaines), la lignée C (races nord méditerranéennes), et la lignée O (races de Turquie et du Caucase). (Figure 01).

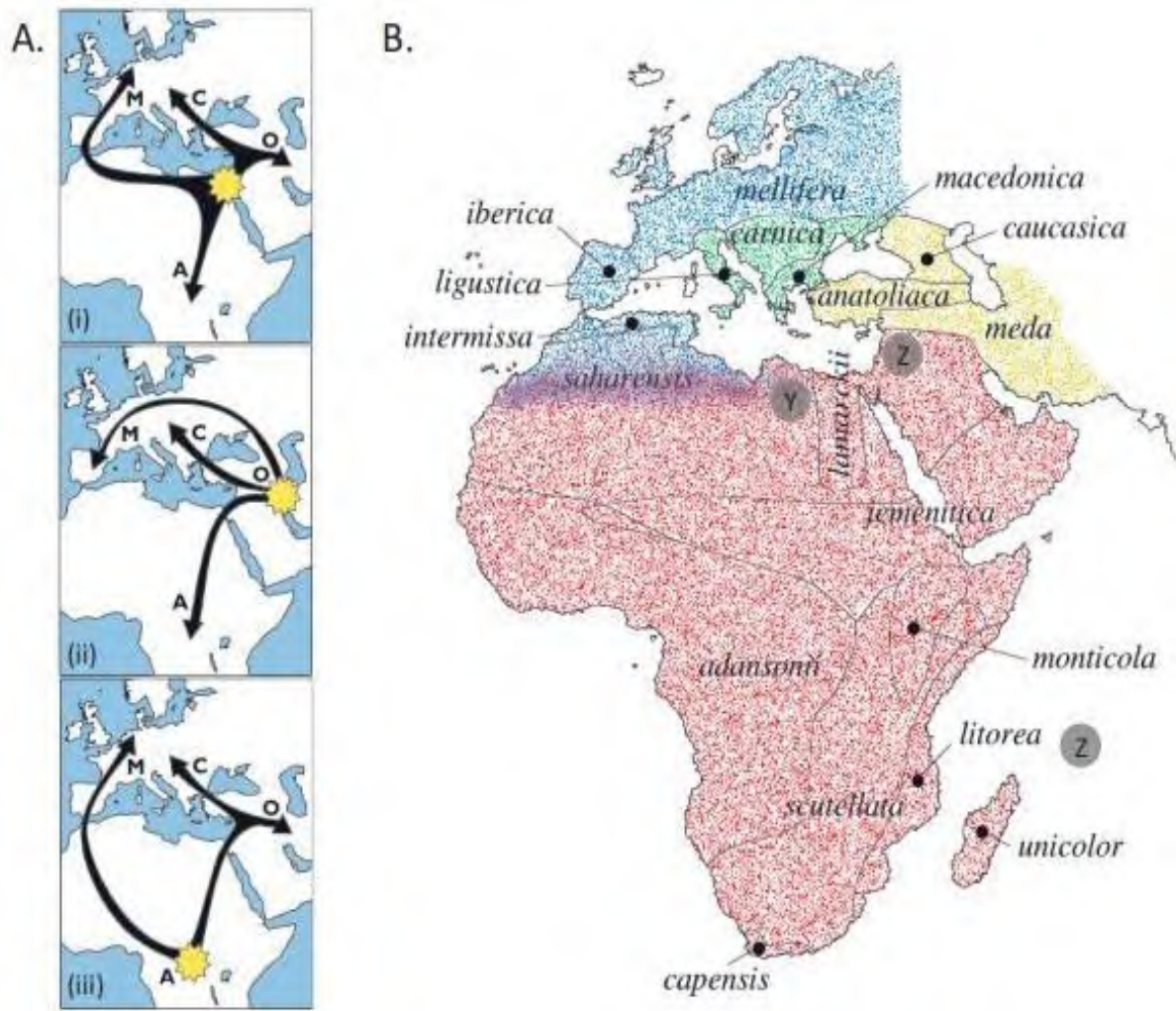


Figure 01 Une carte d'évolution et la répartition géographique des différentes lignées Génétiques d'*Apis mellifera*. (Rouzé, 2020).

Les théories évolutionnistes relatives aux principales lignées suggèrent trois variantes possibles : **i** une expansion à partir du Moyen-Orient suivie de la colonisation de l'Europe par deux voies distinctes, **ii** une expansion depuis le Moyen-Orient entraînant la colonisation de l'Europe par un unique itinéraire septentrional, et **iii** une expansion à partir de l'Afrique conduisant à la colonisation de l'Europe par deux voies distinctes.

Les hypothèses mentionnées précédemment sont fondées sur les recherches de Han et al. (2012). En outre, la répartition de la sous-espèce *Apis mellifera* est représentée à l'aide des lignes M, C, A et O, colorées respectivement en bleu, vert, rouge et jaune. Les types Y et Z, étroitement apparentés aux lignées A et O, sont caractérisés par une variation au niveau de leur ADN mitochondrial. Ces conclusions sont basées sur les études réalisées par Moritz et ses

collègues (2005), en se basant sur les données fournies par Techer et ses collaborateurs (2017) ainsi qu'Alburaki et al. (2013).

2.3 Répartition de l'espèce *Apis mellifera* au Maghreb

La diversité des habitats, des conditions climatiques et de la flore a favorisé l'émergence de diverses sous-espèces ou races géographiques qui sont capables de se reproduire entre elles, chacune présentant des caractéristiques morphologiques et physiologiques adaptées à son environnement spécifique. Selon Ruttner (1988), deux sous-espèces nettement distinctes existent au Maghreb : *Apis mellifera intermissa* (Maa, 1953) et *Apis mellifera sahariensis* (Baldensperger, 1932), tandis que le statut d'une troisième sous-espèce *Apis mellifera major* (Ruttner, 1976) demeure incertain (Ruttner, 1988, Angel et al., 1999). Ces sous-espèces ont d'abord été considérées comme appartenant à la lignée méditerranéenne occidentale (Ruttner, 1988). Cependant, des analyses fondées sur des marqueurs d'ADN mitochondrial ont par la suite confirmé leur appartenance à la lignée africaine (Garnery et al., 1995, Chahbar et al., 2013).

2.3.1 *Apis mellifera intermissa*

Apis mellifera intermissa, communément appelée abeille tellienne, se distingue par sa grande taille, sa coloration généralement sombre, parfois éclaircie sur les tergites abdominaux et le thorax, ainsi que par un tomentum étroit et une pilosité courte (Ruttner, 1975). La longueur moyenne de sa langue est de 6,5 mm (Ruttner, 1975). Cette sous-espèce est largement répandue en Afrique du Nord, notamment le long de la côte méditerranéenne, englobant le Maroc, la Tunisie et l'Algérie (Cornuet et al., 1988 ; Grissa et al., 1990 ; Aglagane et al., 2022 ; Khedher et al., 2022 ; Haider et al., 2025). Elle se caractérise par un comportement agressif, une forte tendance à l'essaimage et une utilisation abondante de la propolis (Ruttner, 1988 ; Ayad et al., 2024). En Algérie, cette abeille présente également des adaptations naturelles, notamment une capacité de résistance aux parasites comme l'acarien *Varroa* (Haider et al., 2025). Plus largement, ses comportements sont influencés à la fois par son patrimoine génétique et par les conditions environnementales (Uzunov et al., 2014).

2.3.2 *Apis mellifera sahariensis*

Apis mellifera sahariensis, décrite par Baldensperger (1924), est une abeille de petite taille, de couleur jaune, caractérisée par un indice cubital élevé. Peu agressive, elle présente une remarquable capacité de résistance aux conditions climatiques extrêmes, notamment la chaleur et la sécheresse, ce qui lui permet de s'adapter aux environnements arides du Sud de l'Algérie et du Maroc (Baldensperger, 1924 ; Haccour, 1960). Son aire de répartition couvre le Sud marocain ainsi que le Sud-Ouest algérien, en particulier les monts des Ksours, Ain El Sefra, Morgrar, Sfissifa, Béchar, Djebel Antar, Djebel Bouarid, Djebel Grouz, Daria l'Hamar et Beni Ounif (Haccour, 1960).

Bien que partageant de nombreux caractères avec *A. mellifera intermissa* (à l'exception de la pigmentation), sa taille et la longueur de sa langue la situent entre cette dernière et les races plus petites d'Afrique occidentale, ce qui a conduit à remettre en cause son autonomie taxonomique (Ruttner, 1975) (Figure 02).

Des études récentes ont affiné la distinction entre *A. m. intermissa* et *A. m. sahariensis*. Abed et al. (2021) ont mis en évidence des différences marquées de morphologie alaire entre les deux races, tandis que Chahbar et al. (2013) ont relevé la fréquence régionale élevée de certains haplotypes mitochondriaux, permettant de différencier clairement ces sous-espèces.



Figure 02 : Comparaison phénotypique entre *Apis mellifera sahariensis* (A) et *Apis mellifera intermissa* (B) (photo personnel)

2.4 Morphologie de l'abeille

L'abeille domestique (*Apis mellifera*) est un invertébré de la famille des Apidae, dont le corps se divise en trois parties distinctes : la tête, le thorax et l'abdomen. Elle possède un exosquelette constitué de chitine, de cutine et de mélanine, dont la pigmentation peut varier du jaune au noir, recouvert d'une fine couche de cire externe. Le corps est également recouvert de poils qui jouent un rôle sensoriel et protecteur.

2.4.1 La tête

La tête de l'abeille est une capsule ovoïde (Le Conte, 2011) qui porte deux grands yeux composés latéraux et trois ocelles situés sur le sommet. Elle est également équipée de deux antennes et de pièces buccales spécialisées, assurant la perception sensorielle, la communication et la manipulation des aliments (Clément, 2010 ; Carreck et al., 2013). Les antennes sont des organes multifonctionnels servant à détecter les odeurs, les phéromones et les vibrations, tandis que les mandibules permettent de manipuler la cire, le pollen et la propolis.

2.4.2 Le thorax

Le thorax constitue la partie centrale et la plus résistante du corps, assurant la locomotion de l'abeille (Riondet, 2013). Il se compose de trois segments principaux : le prothorax, le mésothorax et le métathorax, auxquels s'ajoute un demi-segment dorsal appelé propodéum, relié à l'abdomen (Michener, 1999).

Prothorax : comprend le pronotum (dorsal), le prosternum (ventral) et les propleures (latérales), et porte la première paire de pattes.

Mésothorax : porte la seconde paire de pattes et la première paire d'ailes (antérieures).

Métathorax : porte la troisième paire de pattes (postérieures) et la seconde paire d'ailes (postérieures).

Le thorax abrite des muscles puissants qui actionnent les pattes et les ailes, ainsi que trois paires de stigmates, ou ouvertures respiratoires, pour l'échange gazeux (Le Conte, 2011). Les segments thoraciques sont renforcés par des sclérites, plaques rigides de l'exosquelette qui offrent protection et soutien.

2.4.3 Les pattes

Les trois paires de pattes de l'abeille présentent une structure de base similaire, composée de cinq segments articulés : la coxa, le trochanter, le fémur, le tibia et le tarse. Cependant, elles possèdent des adaptations fonctionnelles spécifiques selon leur position sur le thorax.

Toutes les pattes sont équipées de griffes et de coussinets adhésifs, qui permettent à l'abeille de s'accrocher aux surfaces rugueuses ou lisses, aux autres individus dans la grappe, à l'essaim et à la chaîne cirière. Ces structures facilitent également la manipulation des matériaux de la ruche, tels que la cire, le pollen et la propolis, et contribuent aux activités de toilette (Le Conte, 2011 ; Carreck et al., 2013).

- **Pattes antérieures** : spécialisées pour le nettoyage et la manipulation fine, elles portent le peigne antennaire et des organes sensoriels gustatifs, permettant à l'abeille de nettoyer ses antennes et de détecter des stimuli chimiques dans son environnement (Carreck et al., 2013).
- **Pattes postérieures** : adaptées à la récolte et au transport du pollen et de la propolis, elles possèdent des structures comme les corbeilles à pollen (ou scopae) qui facilitent l'accumulation et le transport du pollen jusqu'à la ruche (Michener, 1999 ; Le Conte, 2011).

2.4.4 Les ailes

Les ailes de l'abeille *Apis mellifera*. Sont des structures membranaires fines renforcées par des nervures chitineuses qui fournissent à la fois rigidité et support pour le vol. Elles jouent également un rôle dans le transport de l'hémolymphe à travers les canaux situés dans les nervures (Free, 1987 ; Michelette & Soares, 1993).

Les ailes antérieures sont plus grandes que les ailes postérieures et sont dotées d'une gouttière sur leur bord postérieur. Cette gouttière permet l'ancrage de crochets appelés *hamuli*, qui bordent l'aile postérieure. Grâce à ce système d'accrochage, les ailes antérieures et postérieures s'alignent dans un même plan pendant le vol, assurant une surface portante stable et efficace (Ruttner, 1988 ; Carreck et al., 2013). Cette architecture membranaire et nervurée, combinée au système des *hamuli*, est essentielle pour la manœuvrabilité et l'efficacité aérodynamique de l'abeille, permettant des vols rapides et précis indispensables à la recherche de nourriture et à la défense de la colonie (Michener, 2007).

2.4.5 L'abdomen

L'abdomen de l'abeille *Apis mellifera* . est une structure segmentée et essentielle, abritant de nombreux systèmes vitaux. Il est recouvert de poils fins et présente une coloration variable, allant du brun au jaune, avec des bandes plus claires situées à la base de chaque segment. Cette coloration varie selon la caste et la sous-espèce, et peut être utilisée pour identifier les races d'abeilles (Michener, 2007 ; Carreck et al., 2013). L'abdomen est constitué de six segments chez l'ouvrière et de sept segments chez le faux-bourdon. Chaque segment est composé de deux plaques principales :

- **Tergites** : plaques dorsales situées sur la face supérieure de l'abdomen.
- **Sternites** : plaques ventrales situées sur la face inférieure de l'abdomen.

Ces plaques sont articulées latéralement par des replis membranaires appelés pleurites, permettant une flexibilité nécessaire aux mouvements de l'abdomen (Free, 1987 ; Ruttner, 1988). Le premier segment abdominal est fusionné au thorax et est appelé propodeum. Ce segment est souvent considéré comme une extension du thorax en raison de sa structure et de sa fonction (Carreck et al., 2013). Le dernier segment abdominal, quant à lui, est appelé *pygidium* ou *telson*. Chez les femelles, ce segment porte l'aiguillon, un organe de défense et de reproduction (Free, 1987 ; Michelette et Soares, 1993).

2.5 Biologie de l'abeille domestique

2.5.1 Organisation des abeilles dans la colonie

Au sein d'une colonie d'abeilles, on peut compter entre 30 000 et 50 000 individus, dont environ 95 % d'ouvrières et 5 % de mâles ou faux-bourdons. Le nombre de ces individus peut fluctuer en fonction des saisons, de la race, des caractéristiques génétiques et de l'âge de la reine, comme l'a souligné Von Frisch en 1977. Ces individus sont issus d'une seule mère, la reine. Cette dernière est entièrement dédiée à la reproduction, comme en atteste son abdomen hypertrophié. Elle peut pondre jusqu'à 2 000 œufs quotidiennement, les mâles haploïdes étant issus de l'ovule non fécondé par parthénogenèse arrhénotoque. Les femelles sont le produit d'œufs fécondés (diploïdes) (Adam et al., 1977). Les abeilles domestiques vivent dans un nid structuré contenant des milliers d'alvéoles hexagonales en cire, offrant ainsi un cadre propice aux interactions sociales entre les individus (Figure 03). Le nid représente également une structure idéale

favorisant l'évolution de la colonie, le développement des larves, ainsi que le stockage du pollen et du miel (Wilson et al., 1971).



Figure 03 : Cadre de ruche présentant du couvain ouvert et operculé, accompagné d'abeilles ouvrières (photo personnel).

2.5.1.1 L'ouvrière

Les ouvrières s'acquittent de toutes les tâches de la ruche en fonction des saisons, des circonstances et du développement de leurs glandes. Le poids des ouvrières peut considérablement fluctuer en fonction de divers facteurs tels que la race, le nombre, l'âge des nourrices et la disponibilité de nourriture. Leur poids varie entre 81 et 152 mg, une plage qui est en accord avec les observations générales et les résultats d'autres études mentionnant un poids d'environ 80 à 292 mg pour une ouvrière adulte (Bouzeraa et al., 2020). Le poids des essaims peut présenter des variations significatives en fonction du volume de miel contenu dans leur jabot, et il est généralement observé que les abeilles européennes sont plus massives que les autres races (Otis, 1982).

Leur durée de vie, dépendante de la saison, semble influencée par le temps de vol et par l'activité de nourrice (Neukirch, 1982). Ainsi, durant la période d'activité de mai à septembre, les abeilles ont un temps de vie moyen de 15 à 38 jours (Remolina et al., 2007), avec un maximum enregistré de 70 jours. Les ouvrières émergeant au printemps et en été ont une durée de vie moyenne d'environ 25 à 35 jours (Kirkwood, 2005 ; HAIDER et al., 2025). La durée de

vie des abeilles ouvrières est déterminée par la durée des périodes passées dans la ruche et la période de butinage (Neukirch, 1982).

De plus, l'activité de butinage est considérée comme la principale cause de la courte durée de vie des ouvrières (Rueppell et al., 2007). La durée de vie peut être influencée par l'exposition aux tâches de nourrissage du couvain (Amdam et al., 2009) et le fardeau des soins aux couvains (Smedal et al., 2009). Les abeilles ouvrières ont un temps de vie beaucoup plus long durant l'hiver, pouvant aller jusqu'à 6 à 8 mois (Kirkwood, 2005 ; Haider et al., 2025) (environ 20 semaines (Remolina et al., 2007)). L'âge du premier vol et le début du butinage sont des facteurs critiques qui déterminent, dans une large mesure, la durée de vie des abeilles (Prado et al., 2020).

2.5.1.2 Le mâle (faux-bourdon) :

Les mâles ont un poids compris entre 240 et 280 mg (Bratu et al., 2022). Les mâles se distinguent par leur taille, leur largeur et leur poids supérieurs à ceux des ouvrières, et ils sont dépourvus de dard. Les drones jouent un rôle crucial dans la reproduction de la colonie (McAfee et al., 2022) et sont également reconnus, tout comme les reines, en tant que fondateurs de la colonie (Ayup et al., 2021). Toutefois, la biologie des mâles est moins documentée et leur comportement est fréquemment moins étudié que celui des reines et des ouvrières (Reyes et al., 2019 ; Ayup et al., 2021; McAfee et al., 2022;). Les mâles quittent principalement la ruche pour s'accoupler, leur unique dessein étant la reproduction (Ayup et al., 2021).

Par le biais d'un mécanisme musculaire, la reine a la capacité de pondre des œufs non fécondés qui engendreront une progéniture exclusivement masculine (Lattorff et al., 2005 ; Gempe et al., 2009 ; Aamidor et al., 2018). Ce processus est désigné sous le terme de parthénogenèse arrhénotoque (Lattorff et al., 2005). Lors de la reproduction entre un mâle haploïde et une reine diploïde, la progéniture héritera de l'ensemble des gènes paternels, représentant ainsi 50% de son patrimoine génétique, et de la moitié des gènes maternels, ce qui correspond à 25% de son patrimoine génétique. La production de mâles est déclenchée par la colonie pendant la période de reproduction, caractérisée par l'abondance des ressources et une population d'ouvrières conséquente (Rangel & Fisher, 2019). Les abeilles ajustent également leur gestion du couvain des mâles et du stockage de miel en fonction des saisons afin d'optimiser la production de mâles (Smith et al., 2015). Pendant la saison printanière, lors de la phase d'accouplement des reines,

les mâles reçoivent des soins et une alimentation adéquate de la part des ouvrières. Durant la saison estivale, ces individus sont habituellement tolérés, cependant, une fois l'automne arrivé, leur existence devient contraignante pour la communauté en raison de la rareté des occasions de reproduction et de la nécessité de préserver les ressources en prévision de l'hiver, ce qui entraîne leur expulsion de la ruche (Smith et al., 2015).

En ce qui concerne la longévité de ces organismes, il existe peu de données précises disponibles selon Page & Peng (2001). La durée de vie des mâles est habituellement courte, particulièrement lorsqu'ils s'accouplent, car la reproduction leur est néfaste et conduit à leur décès peu de temps après l'acte de copulation (Rangel & Fisher, 2019). La survie des abeilles peut aussi être impactée par des éléments externes tels que l'exposition aux pesticides ou aux variations extrêmes de température (McAfee et al., 2022).

2.5.1.3 La reine

Au sein de la colonie, la reine occupe une place unique en tant que seule individu femelle capable de reproduction. Son rôle principal est de pondre les œufs, assurant ainsi la perpétuation de la colonie selon une étude menée par Ndola et al. en 2014. Cette abeille se distingue par sa taille impressionnante qui peut atteindre plusieurs centimètres, ainsi que par son abdomen proéminent qui lui donne une allure imposante. Durant la période de sa croissance en tant que larve, l'abeille se nourrit exclusivement de gelée royale, une substance produite par les abeilles ouvrières. Cette alimentation spécifique contribue à son développement et lui permet d'atteindre un poids adulte variant généralement entre 180 et 200 mg, Comme mis en évidence par Souza et ses collaborateurs en 2013, chez les abeilles africanisées. En général, environ une semaine après avoir éclos, la reine des abeilles s'accouple lors d'un unique vol nuptial avec plusieurs mâles, qui peuvent être au nombre de 6 à 30, selon les études de Khan et al. (2022) et de Taber & Wendel (1958). Pendant toute la période de reproduction de la femelle, elle stocke le sperme dans un organe appelé spermathèque, ce qui lui permet de féconder ses œufs ultérieurement (Lodesani et al., 2004 ; Brutscher et al., 2019). Khan et al., (2022) signalent , que la reine possède une remarquable capacité de pondre jusqu'à 2000 œufs par jour. Ces œufs proviennent de l'accouplement avec différents mâles, ce qui contribue à augmenter la diversité génétique au sein de la colonie.

Le rôle de la reine au sein de la colonie est crucial pour maintenir la cohésion et l'organisation. En effet, la reine produit différentes phéromones, notamment la phéromone mandibulaire, qui joue un rôle majeur dans la régulation du comportement des ouvrières. Ces phéromones permettent de garantir la stabilité de la structure sociale de la colonie, comme le soulignent plusieurs études (Keeling et al., 2003; Bortolotti & Costa, 2014; Traynor et al., 2014). La durée de vie moyenne de la reine se situe généralement entre 1 et 2 ans. Cependant, il a été observé que certains individus ont la capacité de vivre jusqu'à 5 ans, ce qui représente une exception par rapport à la moyenne générale (Page et Peng, 2001).

2.5.2 Développement des Différentes Castes d'Abeille domestique

Le développement des abeilles mellifères (*Apis mellifera*) est une métamorphose complète avec quatre stades : oeuf, larve, nymphe (pupe) et adulte (Ndola et al., 2014 ; Ma et al., 2022). Ce développement est essentiel et spécifique à chaque caste (reine, ouvrière, mâle). (Figure 04).

2.5.2.1 L'Oeuf

Le cycle de vie de l'abeille commence par l'œuf, déposé par la reine au fond d'une cellule de cire. Morphologiquement, l'œuf est blanc, de forme ovale et légèrement incurvée, mesurant entre 1,3 et 1,8 mm de longueur. Il est pondu en position verticale au fond de l'alvéole. Après environ trois jours, il s'incline progressivement, puis la membrane vitelline se dissout, libérant ainsi la larve (Chan & Foster, 2008). À ce stade, le sexe et la caste de l'individu sont déjà déterminés. Les œufs fécondés donnent naissance aux femelles diploïdes, qui pourront devenir soit des ouvrières, soit des reines, tandis que les œufs non fécondés produisent des mâles haploïdes ou faux-bourçons (Ndola et al., 2014 ; Ma et al., 2022).

2.5.2.2 La Larve

La phase larvaire représente une période de croissance rapide, caractérisée par plusieurs mues successives (Weaver, 1957 ; Michelette & Soares, 1993). C'est également à ce stade que se détermine la différenciation des castes chez les femelles, processus influencé principalement par le régime alimentaire (Brouwers, 1984 ; Leimar et al., 2012 ; Ndola et al., 2014 ; Bresnahan et al., 2025).

Larves d'ouvrières : Le stade larvaire des ouvrières dure environ 5 à 6 jours (Michelette & Soares, 1993 ; Chan & Foster, 2008). Leur alimentation évolue au cours du développement : elles reçoivent d'abord une bouillie riche en glucose, puis le fructose devient le sucre prédominant dans leur régime aux stades plus avancés (Brouwers, 1984).

Larves de reines : Contrairement aux ouvrières, elles sont nourries exclusivement et en abondance de gelée royale pendant toute leur phase larvaire. Ce régime, riche en glucose, reste constant tout au long de leur développement et assure leur différenciation en reines (Brouwers, 1984). Le développement de la reine, de l'œuf à l'adulte, est plus rapide que celui des ouvrières et des mâles (Rouzé et al., 2020).

Larves de mâles : Elles reçoivent une alimentation plus riche en miel et en pollen, mais moins abondante en gelée royale que les reines. Leurs besoins en protéines et en sucres diffèrent de ceux des ouvrières (Hrassnigg & Crailsheim, 2005).

2.5.2.3 La Nymphé

Après le stade larvaire, la larve se transforme en nymphé à l'intérieur d'une cellule operculée (Michelette & Soares, 1993; Catays et al., 2016). Ce stade correspond à une phase de métamorphose au cours de laquelle la larve acquiert progressivement les caractéristiques de l'abeille adulte (Michelette & Soares, 1993; Catays et al., 2016).

- La durée de cette transformation varie selon la caste : environ 5 jours pour la reine, 9 jours pour l'ouvrière et 11 jours pour le faux-bourdon (Catays et al., 2016; Rouzé et al., 2020).
- L'évolution de la coloration des yeux et du thorax permet de distinguer les différents stades nymphéaux (Michelette et Soares, 1993).

2.5.2.4 L'Adulte

Après la nymphose, l'abeille adulte émerge de sa cellule. Le cycle de développement complet, de la ponte à l'émergence, dure en moyenne 16 jours pour la reine, 21 jours pour les ouvrières et 24 jours pour les mâles (Ndola et al., 2014; Rouzé et al., 2020). Bien que les ouvrières et les mâles partagent un cycle de vie similaire, ils présentent des différences marquées au niveau de la morphologie, de la physiologie et des comportements sociaux (Ma et al., 2022).

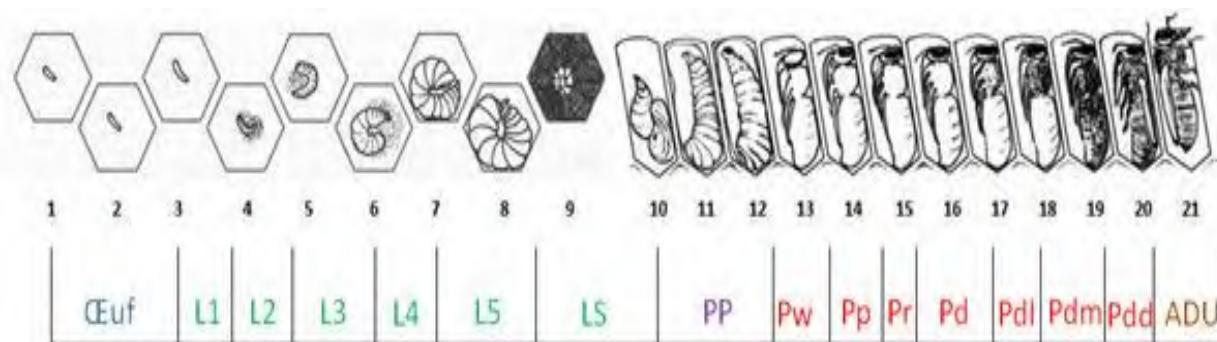


Figure 04: Représentation graphique des divers stades de croissance en relation avec l'âge de l'ouvrière en jours

L1, L2, L3, L4 et L5 = stades larvaires 1, 2, 3, 4 et 5 ; **LS** correspond au processus de redressement de la larve qui est en train de tisser le cocon, tandis que **PP** fait référence à l'immobilisation de la larve une fois le cocon tissé ou à l'étape de prénymphe. **Pw** représente la nymphe aux yeux blancs, tandis que **Pp** désigne la nymphe aux yeux roses. **Pr** désigne une nymphe avec des yeux marron rougeâtre ; **Pd** correspond à une nymphe avec des yeux marron foncé ; **Pdl** se réfère à une nymphe avec des yeux marron foncé et une cuticule claire ; **Pdm** fait référence à une nymphe avec des yeux marron foncé et une cuticule de teinte intermédiaire ; **Pdd** représente une nymphe avec des yeux marron foncé et une cuticule sombre ; **ADU** est l'abréviation utilisée pour désigner l'Ouvrière adulte ou l'imago. (Jay, 1962 ; Rembold et al., 1980).

Le temps de développement d'une reine est le plus court des trois castes et dure seulement 17 jours. Le stade larvaire est effectué en 4,6 jours soit une journée de moins que celui des ouvrières pour un poids final d'environ 250 mg soit plus de 2 fois le poids d'une ouvrière. Les larves de reine se développent dans des cellules spécifiques construites au-dessus des alvéoles d'ouvrières ou sur le côté du cadre. Elles sont plus imposantes que les cellules d'ouvrières et de mâles. Le stade de prénymphe à l'émergence est réalisé en 9,5 jours soit une journée de moins qu'une ouvrière. Une semaine après sa naissance, ses organes sexuels sont matures (Rembold et al., 1980).

2.6 Les facteurs de risque liés au dépérissement de l'abeille domestique

La longévité et la survie de l'abeille domestique (*Apis mellifera*) résultent d'une combinaison complexe de facteurs biologiques, environnementaux et anthropiques. Les différences

naturelles entre castes influencent déjà cette longévité : les reines peuvent vivre plusieurs années, les ouvrières de 15 à 70 jours en été et 170 à 243 jours en hiver, tandis que les mâles dépassent rarement 60 jours (Baldensperger, 1924 ; Haccour, 1960 ; Jong & Jong, 1983 ; Remolina & Hughes, 2008). Cependant, ces durées de vie sont fortement modulées par la qualité de l'alimentation et la diversité des sources nutritives, le miel jouant un rôle central non seulement comme énergie mais aussi comme protecteur contre divers stress (Fernandes et al., 2022 ; Dequenne et al., 2022 ; Corona et al., 2023).

À cette vulnérabilité nutritionnelle s'ajoutent les pressions anthropiques, notamment l'exposition aux pesticides, qui, en synergie avec les parasites tels que *Varroa destructor* et *Nosema ceranae*, réduisent drastiquement la survie des abeilles (Dietemann et al., 2013 ; Botías et al., 2013 ; Alqarni et al., 2019 ; Hristov et al., 2021 ; Christen, 2023 ; Nekoei et al., 2023 ; Encerrado-Manriquez et al., 2024 ; Yamada & Yamada, 2025). Ces menaces biologiques et chimiques sont elles-mêmes amplifiées par les conditions climatiques et environnementales, qui affectent le butinage, la croissance du couvain et la disponibilité des ressources florales. Sécheresse, vagues de chaleur, vents, pluies ou hivers doux influencent la quantité et la qualité du pollen et du nectar, aggravant le stress des colonies (Erhardt & Rusterholz, 1997 ; Lake, 1999 ; Bartomeus et al., 2011 ; Lee, K. 2018 ; Descamps et al., 2018, 2021 ; Takkis et al., 2018 ; Alqarni et al., 2019 ; Alonso-Prados et al., 2021 ; Villagómez et al., 2021 ; Rajagopalan et al., 2024).

En parallèle, les dynamiques sociales au sein de la colonie, comme la taille de la colonie ou l'âge auquel les ouvrières commencent à butiner, modulent également la longévité individuelle et collective (Rueppell et al., 2009 ; Prado et al., 2020). Certaines sous-espèces présentent des mécanismes de résistance qui atténuent l'impact de ces facteurs de stress : *A. m. intermissa* pratique un comportement hygiénique efficace contre *Varroa* (Haider et al., 2025), tandis que *A. m. scutellata* tolère naturellement les infestations sans traitement (Strauss et al., 2015).

Ainsi, le déclin des abeilles résulte d'un enchevêtrement multifactoriel où nutrition, parasites, climat et dynamique sociale interagissent de manière complexe. La compréhension de ces interactions est essentielle pour développer des stratégies permettant de renforcer la résilience des colonies et d'assurer leur survie à long terme (Havard et al., 2019 ; Hristov et al., 2020 ; Gaubert et al., 2023 ; Walsh & Simone-Finstrom, 2024).

2.7 Principales maladies de l'abeille

2.7.1 Varroase

La varroase est une maladie parasitaire affectant à la fois les abeilles adultes et leur couvain, causée par un acarien parasite externe hématophage nommé *Varroa destructor* (Anderson et Trueman, 2000). Le varroa exhibe un dimorphisme sexuel marqué, comme l'a souligné Martin (2003). La femelle, de teinte rouge-brun, présente une morphologie elliptique. En moyenne, sa longueur est de 1,1 mm et sa largeur de 1,7 mm (Boecking et Genersch, 2008). Le mâle Varroa se distingue de la femelle par sa taille réduite, sa coloration blanche, sa morphologie globuleuse et ses pattes dirigées vers l'avant. Il n'est présent que dans les alvéoles lors de la reproduction, et ses chélicères subissent des modifications afin d'injecter les spermatophores (Rosenkranz et al., 2009).

Les manifestations cliniques de la varroase comprennent des anomalies dans le développement des larves et des abeilles (Charrière et al., 2012). La détection d'un couvain irrégulier ou lacunaire, accompagné de nymphes mortes atrophiées sous l'opercule, constitue l'un des principaux indicateurs de la pathologie. Les symptômes observés chez les abeilles adultes sont principalement associés à la présence d'ouvrières présentant des ailes déformées, ainsi que des abeilles traînantes et mortes.

La propagation de la varroase s'effectue à travers divers modes de transmission, allant d'une abeille à une autre, d'une ruche à une autre, voire même d'un rucher à un autre. Cela peut être attribué à divers facteurs, qu'ils soient d'origine naturelle tels que la dérive des abeilles butineuses, l'essaimage et le pillage, ou d'ordre apicole comme la transhumance et les échanges entre apiculteurs. Selon Anderson (1988).

2.8 Les virus

2.8.1 Description des agents causaux

Au cours des dernières années, plusieurs études ont mis en évidence la présence de différents virus au sein des colonies d'abeilles mellifères. Ces découvertes ont été rapportées par plusieurs chercheurs, tels que Loucif-Ayad et al (2013) ; Amakpe et al. (2015), ainsi que Hamiduzzaman et al. (2015). Actuellement, on recense entre 15 et 20 espèces différentes, la majorité d'entre elles étant caractérisées par la présence de virus à ARN tels que les virus Picorna-like et les virus Dicistroviridae, comme mentionné par Vidal-Naquet en 2012.

Selon Miranda et al. (2010), la co-présence de plusieurs virus au sein des colonies d'abeilles a été observée dans différents pays, notamment en France et aux États-Unis. Certains de ces virus sont associés à *Varroa destructor*, reconnu comme vecteur des virus ABPV, DWV et KBV. En Algérie, six virus distincts ont été identifiés, chacun présentant des taux de prévalence variables. D'après Loucif-Ayad et al. (2013), le Virus de la paralysie chronique CBPV est le plus répandu

parmi les apiculteurs, suivi par les virus (Virus de la cellule royale noire) BQCV, (Virus des ailes déformées) DWV, (Virus israélien de la paralysie aiguë) IAPV, (Virus de la paralysie aiguë) ABPV et (Virus du couvain sacciforme) SBV, comme confirmé par les recherches d'Adjlane et al (2015).

2.9 La nosérose

D'après Delbace (2009), la nosérose des abeilles est une pathologie induite par une microsporidie du genre *Nosema* qui affecte le tractus digestif des abeilles adultes. Les trois castes peuvent être touchées par cela. Les microsporidies sont des organismes unicellulaires eucaryotes qui présentent des similitudes avec les champignons. Ce sont des parasites intracellulaires obligatoires présents chez de nombreuses espèces connues, principalement des parasites des poissons et des arthropodes. Pendant la phase végétative, le parasite se multiplie à l'intérieur de l'abeille, tandis qu'à l'étape sporale, il adopte une forme passive et infectieuse qui est responsable de la propagation de la maladie. La spore présente une forme ovoïde avec des dimensions de 6 μm de longueur et 3 μm de largeur. (Figure 05).

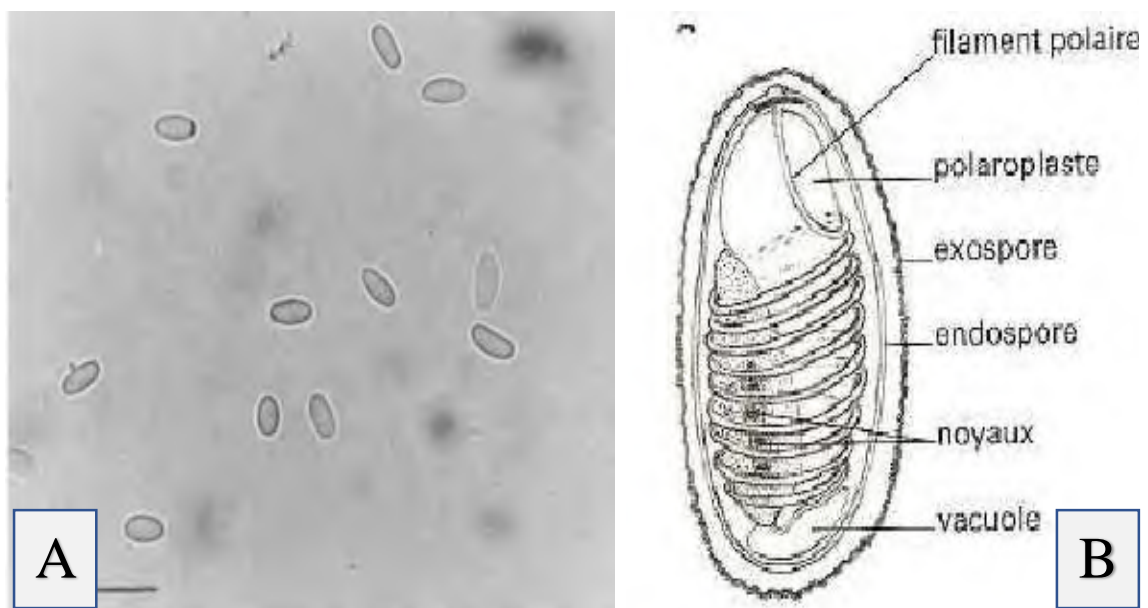


Figure 05 : Spores de *Nosema* observées en microscopie. A: spores selon Fries et al. (1996) ; B: spores de *Nosema* sp. selon Higes et al. (2006).

Historiquement, il est important de noter que *Nosema apis* était l'agent pathogène prédominant qui affectait les abeilles en Europe. Néanmoins, il est important de noter que l'apparition et la diffusion de *Nosema ceranae* ont entraîné des changements significatifs dans l'évolution de la

maladie. En effet, il a été observé que *Nosema ceranae* est actuellement plus largement répandu que *Nosema apis* dans de nombreuses régions du monde, comme le soulignent (Paxton et al., 2007 ; Mazur et Gajda, 2022).

2.9.1 Nosérose de Type A (*Nosema apis*)

Nosema apis est l'espèce la plus anciennement décrite, identifiée il y a plus d'un siècle (MacInnis et al., 2020).

Les symptômes cliniques de l'infection par *Nosema apis* incluent une diminution de la longévité des abeilles infectées et une augmentation de la mortalité pendant l'hiver (Botías et al., 2013). La nosérose A peut provoquer une baisse de la force et de la productivité de la colonie, ainsi qu'une diminution du taux de développement du couvain, notamment pendant la saison printanière (Hassanein, 1953 ; Botías et al., 2013).

2.9.2 Nosérose de Type C (*Nosema ceranae*)

Nosema ceranae, initialement décrite chez l'abeille asiatique *Apis ceranae* (Fries et al., 1996), est devenue un parasite majeur des abeilles européennes (Fries, 2009).

L'infection par *Nosema ceranae* est plus subtile et peut être asymptomatique pendant longtemps (Marín-García et al., 2022). Les symptômes peuvent être discrets et se traduire par des pertes importantes de taille de colonie, d'élevage de couvain et de production de miel (Botías et al., 2013). Des recherches suggèrent que *Nosema ceranae* peut provoquer un stress énergétique (Marín-García et al., 2022), supprimer la réponse immunitaire (Lourenço et al., 2021) et raccourcir la durée de vie des abeilles, entraînant l'effondrement des colonies (Holt et al., 2013). Mais la relation directe avec le syndrome d'effondrement des colonies est encore controversée, avec des études montrant des associations mais pas toujours de causalité directe (vanEngelsdorp et al., 2009, Paxton, 2010). La virulence de *Nosema ceranae* peut différer selon les souches (Dussaubat et al., 2012).

L'infection se produit principalement dans les cellules épithéliales du ventricule des abeilles (Higes et al., 2019 ; Maiolino et al., 2014). Des changements physiologiques et comportementaux ont été observés, tels que l'altération du comportement de butinage et des

niveaux de phéromones (Dussaubat et al., 2013), la diminution des réponses immunitaires et l'augmentation du stress oxydatif (Lourenço et al., 2021 ; Marín-García et al., 2022).

2.9.3 Voies de Transmission

La transmission de *Nosema* s'effectue principalement par l'ingestion de spores (Burnham, 2019).

- **Au sein de la Colonie** : La transmission horizontale est courante par le biais du nettoyage des fèces contaminées (notamment pour *Nosema apis*) (Smith, 2012), ainsi que par la trophallaxie (échange de nourriture) entre les abeilles (Smith, 2012).
- **Entre Colonies** : La propagation peut se faire par la dérive d'abeilles d'une ruche à l'autre (Forfert et al., 2015) ou par le pillage de miel et de pollen contaminés entre colonies (Peck & Seeley, 2019).

2.9.4 Diagnostic

Il est impératif d'établir un diagnostic précis des infections à *Nosema*, car il peut être ardu de différencier les symptômes cliniques, surtout en ce qui concerne *Nosema ceranae* (Mazur & Gajda, 2022).

L'examen microscopique des spores est une technique de diagnostic classique (Mazur & Gajda, 2022). Toutefois, les spores des deux espèces sont indiscernables en microscopie optique (Ptaszyńska et al., 2014) et cette méthode est peu performante pour l'identification des espèces, nécessitant des méthodes moléculaires pour la discrimination (Emsen et al., 2020). La microscopie reste une technique clé mais laborieuse et aisée (McHardy et al., 2013). Sa sensibilité est aussi faible pour les faibles charges parasitaires par rapport aux techniques moléculaires (Truong et al., 2021).

Les méthodes basées sur la PCR sont devenues des outils de diagnostic essentiels pour leur spécificité et leur sensibilité (Carletto et al., 2013). L'amplification par PCR des gènes de l'ARNr permet une discrimination efficace entre *Nosema apis* et *Nosema ceranae* (Carletto et al., 2013), (Burgher-MacLellan et al., 2010). La PCR quantitative (qPCR) offre une détection très sensible, capable de détecter de très faibles quantités d'ADN du parasite (dès 2 copies d'ADN ou 24 spores par abeille) (Truong et al., 2021).

Des protocoles multiplex peuvent identifier les deux espèces simultanément dans le même échantillon, même en présence de quantités différentes de chaque espèce (Carletto et al., 2013).

2.9.5 Traitement

Le contrôle de la nosébose repose principalement sur l'application de bonnes pratiques apicoles et, dans certains cas, sur l'usage de traitements médicamenteux (Iorizzo et al., 2022). La fumagilline, longtemps utilisée comme antibiotique de référence, a vu son efficacité diminuer en raison de résistances, notamment chez *Nosema ceranae* (Huang et al., 2013), et son utilisation est aujourd'hui largement restreinte en raison de problèmes de toxicité, de résidus dans les produits de la ruche et d'effets secondaires (Iorizzo et al., 2022). Face à ces limites, les recherches se tournent vers des alternatives plus sûres, telles que les produits naturels (propolis, extraits végétaux) (Mura et al., 2020 ; Shumkova et al., 2021 ; Naree et al., 2021), l'utilisation de probiotiques (Borges et al., 2021), ainsi que d'autres approches visant à réduire l'infection et à améliorer la santé des colonies (Iorizzo et al., 2022).

2.10 Loque américaine

La loque américaine, initialement identifiée dans l'État de New York, est causée par la bactérie *Paenibacillus larvae* (Heyndrick et al., 1996 ; Ashiralieva & Genersch, 2006). Il s'agit d'un bacille Gram positif, droit ou légèrement incurvé, mesurant 1,5 à 6 µm de long pour environ 0,5 µm de large, et doté de 30 à 35 flagelles vibratiles lui permettant de se déplacer (Alippi et al., 2004). La forme végétative peut se transformer en une spore fusiforme, dépourvue de cils, mesurant 1,1 à 1,9 µm de long pour 0,4 à 0,7 µm de large, seule responsable de la pathogénicité et capable de conserver sa virulence pendant de nombreuses années, résistant aux températures extrêmes et aux agents chimiques (Heyndrick et al., 1996 ; Genersch et al., 2005).

Les symptômes se manifestent principalement sur le couvain operculé : les opercules apparaissent affaissés ou percés, et les larves mortes deviennent filantes ou desséchées sous forme d'écailles, dégageant une forte odeur d'ammoniac. L'examen des cadres révèle une opérculation irrégulière avec des cellules désoperculées et des larves à différents stades, formant un couvain en mosaïque (Fernandez & Coineau, 2007). Des écailles brun foncé à noir, plates et en forme de languette, sont observées à l'intérieur des cellules (Faucon, 1992). Les larves et nymphes infectées se dénaturent et, avec les bactéries, produisent un matériau élastique qui s'étire lorsqu'on insère un cure-dents dans l'alvéole affecté (Prost & Le Conte, 2005).

2.11 Loque européenne

La loque européenne est une maladie infectieuse et contagieuse du couvain des abeilles, généralement moins virulente que la loque américaine (Alippi, 1999). Elle est provoquée principalement par la bactérie *Melissococcus pluton*, tandis que d'autres micro-organismes tels que *Lactobacillus eurydice*, *Paenibacillus alvei*, *Paenibacillus apiarius* et *Enterococcus faecalis* se multiplient secondairement (Bailey, 1963 ; Bailey & Collins, 1982 ; Alippi, 1991). La maladie affecte principalement le couvain avant operculation et les jeunes larves ingèrent les formes encapsulées de la bactérie avec leur nourriture, permettant la prolifération dans l'intestin moyen. Les larves âgées de plus de deux jours et les adultes sont relativement moins sensibles (Bailey & Ball, 1991). Lors d'infection, les larves prennent une coloration jaunâtre et se placent sur la paroi inférieure de la cellule, dégageant une odeur acide caractéristique ; les abeilles nettoyeuses retirent les larves malades, entraînant parfois un couvain lacunaire (McKee et al., 2003). La mortalité survient un à deux jours avant l'operculation. L'émergence de la loque européenne est favorisée par une alimentation insuffisante en pollen, des conditions climatiques défavorables et une colonie affaiblie par *Varroa* ou d'autres facteurs (Delaplane, 1998).

2.12 Le couvain plâtré ou Ascosphérose :

L'Ascosphérose est une maladie qui affecte le couvain des abeilles. Elle est causée par un champignon spécifique appelé *Ascospheera apis*, comme l'a identifié Spiltoir en 1955. Cette maladie peut avoir un impact significatif sur la santé et le développement des colonies d'abeilles. Cette affection est également connue sous le nom de couvain calcifié, couvain dur ou mycose. Le terme "couvain calcifié" fait référence à la formation de couches calcaires sur les parois des vaisseaux sanguins, le "couvain dur" évoque une texture dure et compacte, tandis que le terme "mycose" renvoie à une infection fongique. D'après Bamford et Heath (1989), il est possible d'accéder à toutes les castes de la colonie.

Les larves, âgées de 3 à 4 jours, consomment les spores du champignon en même temps que leur nourriture. Une fois arrivées dans l'intestin, les spores germent et donnent naissance à un mycélium qui se développe progressivement jusqu'à pénétrer les larves. Lorsque les mycéliums mâles et femelles entrent en contact à la surface du substrat, cela conduit à la formation d'un corps de fructification noir renfermant de nouvelles spores, qui représente la forme de résistance

(Guilliford, 1994). Les larves infectées par des champignons, communément appelées momies, prennent une teinte sombre et sont contagieuses (Bailey, 1967).

L'émergence de cette maladie est encouragée par une baisse soudaine de la température et par des niveaux élevés d'humidité (Pederson, 1976 ; Hearth, 1982). Koenig et al (1986) ont montré le refroidissement du couvain est une des causes favorisant l'apparition de la maladie. Selon ces mêmes auteurs, le développement rapide de la colonie au printemps, c'est à dire l'augmentation du ratio couvain-abeille adulte constitue un risque pour le refroidissement du couvain.

Parmi les signes caractéristiques de la maladie, on peut observer des larves momifiées, dures et blanches devant la ruche ou sur la planche d'envol (Thurber, 1979). En ce qui concerne le couvain, il présente une apparence clairsemée, qualifiée de "mosaïque", et non compacte, avec une distribution aléatoire des larves de différents stades de développement. La maladie entraîne également la création d'un amas cotonneux de filaments mycéliens blancs autour des larves, occupant ainsi l'alvéole (Thorstensen, 1976).

2.13 Les ennemis des abeilles

Les abeilles domestiques (*Apis mellifera*) sont confrontées à une diversité d'ennemis naturels et anthropiques qui peuvent affecter la survie des individus, la santé du couvain, la qualité des réserves alimentaires et l'intégrité du matériel de la ruche (Maréchal, 2014 ; Carreck & Ratnieks, 2014). Ces interactions influencent directement la productivité des colonies et leur résilience face aux stress environnementaux (van Engelsdorp & Meixner, 2010). Parmi ces ennemis, on distingue les prédateurs, tels que les oiseaux, les mammifères et les insectes comme les fourmis et les guêpes.

2.13.1 Les oiseaux

Les oiseaux insectivores représentent un prédateur important des abeilles adultes et des larves (Belaid & Bensalem, 2020). Certaines espèces sont capables de pénétrer directement dans les ruches ou de creuser des cavités dans les caisses, provoquant la destruction de matériel vital pour la colonie, notamment les cadres et le miel (Winston, 1987 ; Waring & Waring, 2012). Ces attaques sont particulièrement fréquentes au printemps et en été, périodes de forte densité

des populations d'abeilles et de disponibilité maximale des ressources florales, qui attirent davantage les prédateurs (Goulson, 2003).

En Algérie, plusieurs apiculteurs ont signalé les dégâts causés par le guêpier d'Europe (*Merops apiaster*) sur différentes races d'abeilles, telles que la race tellienne et la race saharienne, entraînant des pertes importantes au niveau des colonies (communication personnelle).

Les impacts de ces attaques ne se limitent pas aux individus consommés ; ils peuvent également provoquer un stress comportemental, réduire l'activité des butineuses et diminuer l'efficacité de la collecte de nectar et de pollen, compromettant ainsi la productivité et la santé globale de la colonie (Winston, 1987; Goulson, 2003).

2.13.2 Les souris

Les souris représentent une menace significative pour les colonies, surtout en période hivernale lorsque les abeilles sont moins actives et concentrées dans la grappe hivernale (Free, 1987 ; Waring & Waring, 2012). Elles sont capables de pénétrer dans les ruches occupées, ronger le bois et endommager les matériaux de nidification, compromettant la protection du couvain et les réserves alimentaires. L'infestation par les souris peut également favoriser l'introduction de pathogènes secondaires et de moisissures, accentuant le déclin de la colonie (Seeley, 1995).

2.13.3 Les fourmis

Bien que généralement considérées comme des nuisibles mineurs, les fourmis peuvent perturber les colonies d'abeilles en modifiant leur comportement et en augmentant le stress (Maréchal, 2014). Leur activité dans les passages et sur les toits de la ruche peut contaminer les surfaces et encourager les déplacements défensifs des abeilles (Ratnieks & Carreck, 2010). Certaines espèces opportunistes se nourrissent du miel ou du couvain lorsque les ressources sont accessibles, aggravant les pertes pour la colonie et perturbant l'organisation sociale (Hölldobler & Wilson, 1990).

2.13.4 Les guêpes

Les guêpes, notamment les espèces sociales comme *Vespula* et *Dolichovespula*, représentent des prédateurs opportunistes des abeilles. Elles s'attaquent principalement aux stocks de nectar et de miel, provoquant des pertes significatives pour la colonie (Goodwin et al., 2006 ; Waring

& Waring, 2012). Certaines guêpes adultes pénètrent dans les ruches pour se nourrir de larves ou de nectar, perturbant l'activité des ouvrières et pouvant provoquer des comportements défensifs exagérés (Maréchal, 2014). Les attaques sont plus fréquentes à la fin de l'été, période où les ressources florales se raréfient et où la compétition pour la nourriture augmente (Schmidt et al., 1992).

Dans l'ensemble, la pression exercée par ces prédateurs physiques peut interagir avec d'autres stress, notamment les maladies, les parasites et les facteurs environnementaux défavorables, accentuant la vulnérabilité des colonies et influençant leur dynamique et leur productivité (van Engelsdorp et al., 2009 ; Genersch, 2010). La compréhension de ces interactions est essentielle pour le développement de stratégies de protection et de gestion durable des ruchers.

2.14 Les pesticides

La variabilité génétique et la structure populationnelle des colonies d'abeilles mellifères en Algérie semblent fortement influencées par des pressions anthropiques, notamment l'utilisation accrue de pesticides et l'introduction de colonies exogènes (Kheira et al., 2020).

Les effets néfastes des pesticides, notamment ceux avec des modes d'action neurotoxiques, ont été démontrés chez les sous-espèces locales *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis*, montrant des perturbations neurophysiologiques qui peuvent impacter les performances comportementales et la résilience des colonies (Chahbar et al., 2014). De plus, l'exposition sublétales à la clothianidine provoque un évitement graduel des sources de nourriture contaminées, avec un gradient d'intensité en fonction des concentrations administrées. L'absence de consolidation mnésique lors d'expositions répétées indique une sensibilité accrue à ce néonicotinoïde et met en évidence des perturbations cumulatives potentielles sur la stabilité des colonies (Girolami et al., 2023).

Par ailleurs, ces études soulignent l'importance d'adopter une approche holistique pour comprendre l'ensemble des stress biotiques et abiotiques qui pèsent sur les colonies d'abeilles en Algérie. Une telle connaissance est indispensable pour comprendre les mécanismes de déclin, améliorer les pratiques apicoles, la qualité des produits de la ruche et assurer la pérennité des services de pollinisation, un pilier du fonctionnement des agroécosystèmes régionaux.

Chapitre II – Matériel et Méthodes

3. Chapitre II - Matériel et Méthodes

Dans ce chapitre, nous présentons tout d'abord l'illustration du matériel biologique utilisé, suivie de la description des différents sites d'échantillonnage retenus pour cette étude. Nous détaillons ensuite la méthodologie adoptée pour l'enquête de terrain auprès des apiculteurs, l'analyse moléculaire visant à détecter la nosémosse et l'analyse morphométrique permettant la caractérisation de nos abeilles. Enfin, nous exposons l'analyse statistique choisie pour exploiter les résultats obtenus.

3.1 Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé se compose des deux races de l'abeille domestique locale, à savoir *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis*.

3.1.1 *Apis mellifera intermissa* (Abeille tellienne)

C'est une grande abeille avec une pigmentation foncée uniforme, parfois avec de nombreux légers éclaircissements sur le scutellum et les tergites abdominaux et. Une longueur moyenne de 6,5 mm de la langue. une pilosité courte; Le tomentum est étroit; avec un indice cubital très variable avec une moyenne de 2,2 mm selon (Ruttner, 1975). Cette race est dite essaimeuse, présente un comportement agressif et une utilisation abondante de la propolis (Ruttner, 1988). Elle est localisée dans le Nord de l'Afrique (Maroc, Tunisie, Algérie), sur la totalité de la côte méditerranéenne (Grissa, et al., 1990 ; Cornuet, et al., 1988).

3.1.2 *Apis mellifera sahariensis* (Abeille saharienne)

L'abeille jaune saharienne a été décrite par Baldensperger (1924). C'est une abeille Peu agressive de petite taille de couleur jaune avec un indice cubital élevé. Elle montre une résistance notable face aux conditions extrêmes de chaleur et de sécheresse climatiques. Sa répartition géographique s'étend sur le sud du Maroc et sur toutes les régions du sud-ouest de l'Algérie. Notamment dans les monts des Ksours, allant à Ain El Sefra, Sfissifa jusqu'au Béchar, Djebel Antar, Djebel Bouarid, Djebel Grouz, Daria l'Hamar et Beni Ounif (Haccour, 1960). La majorité des caractéristiques de cette abeille (à l'exception de la pigmentation) la rendent facile à confondre avec *A. mellifera intermissa*. Leur taille et la longueur de sa langue sont intermédiaires entre cette race et les races plus petites d'Afrique de l'Ouest, ce qui rend l'indépendance de la race en question (Ruttner, 1975).

3.2 Présentation des sites d'échantillonnage

Les points d'échantillonnage pour les enquêtes sur le terrain, les sources de matériel biologique pour l'analyse moléculaire et les lieux de prélèvement d'échantillons pour l'analyse morphologique sont décrits en détail.

3.2.1 L'enquête de terrain

Cette enquête de terrain a pour objectif d'évaluer la santé de l'abeille domestique en recueillant les pratiques et observations des apiculteurs. Elle couvre plusieurs domaines essentiels, tels que les informations générales sur l'apiculteur et son rucher, les méthodes de gestion utilisées, ainsi que les symptômes cliniques et les maladies fréquemment rencontrées. L'enquête examine aussi les facteurs environnementaux susceptibles d'influencer la santé des colonies, tels que l'exposition aux pesticides et la disponibilité des ressources florales. De plus, elle permet de collecter des informations sur les pertes de colonies, les stratégies de prévention et les traitements appliqués. Enfin, les apiculteurs sont invités à fournir leurs recommandations et à exprimer leurs besoins en formation pour améliorer la gestion sanitaire de leurs ruchers.

Le questionnaire a été conçu de manière à garantir l'anonymat des participants et à respecter la confidentialité des données recueillies (Annexe 1).

Le questionnaire a été distribué aux apiculteurs de 15 régions du pays, qui sont : Tlemcen, Aïn Témouchent, Mascara, Chlef, Tissemsilt, Aïn Defla, Tipaza, Alger, Blida, Boumerdès, Bouira, Béjaïa, Constantine, M'Sila et Djelfa (Figure 06) qui représentent une superficie d'environ 130000 Km². De plus, des visites auprès des apiculteurs ont été réalisées afin d'optimiser le taux de réponse et des informations ont aussi été collectées grâce à une observation personnelle lors de chaque visite durant la période d'étude. Nous avons collecté et analysé un total de 69 questionnaires sur un totale de 450 questionnaires distribués.

La très faible participation est due aux apiculteurs qui ne répondent pas à toutes les questions. De plus, quelques apiculteurs refusent même les inspections de leurs ruchers. Une autre contrainte lors de nos déplacements pour interroger les apiculteurs, est l'éloignement des ruchers qui se trouvent dans des lieux reculés des villages et parfois ces emplacements sont inaccessibles par les véhicules.

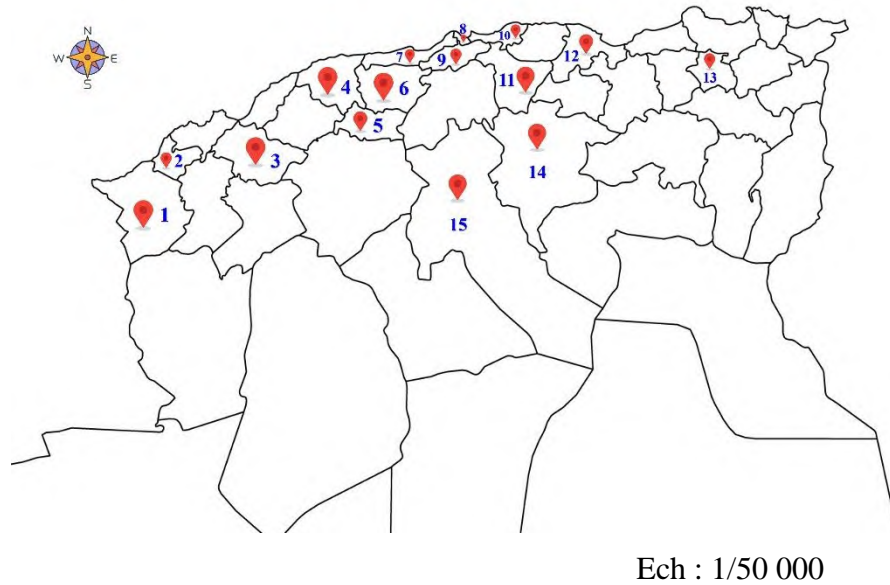


Figure 06 - La carte d'Algérie avec la localisation des régions prospectées.

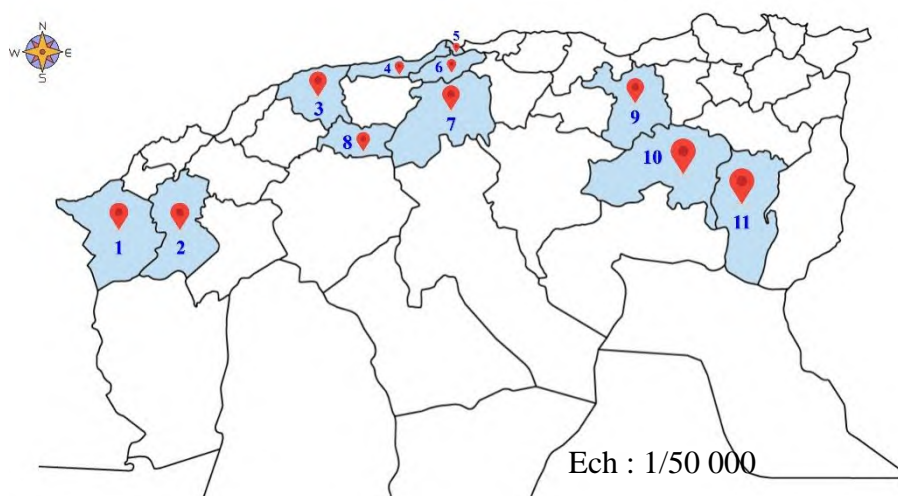
1- Tlemcen ; 2- Ain temouchent ; 3- Mascara ; 4- Chlef ; 5- Tissemsilt ; 6- Ain Defla ; 7- Tipaza ; 8- Alger ; 9- Blida ; 10- Boumerdes ; 11- Bouira ; 12- Bejaia ; 13- Constantine ; 14- M'sila ; 15- Djelfa.

3.2.2 Sites d'échantillonnage pour l'étude de la nosémose.

La procédure d'échantillonnage a porté principalement sur les abeilles naturellement infectées avec 51 échantillons collectés dans 11 wilayas d'Algérie selon les directives de l'Office international des épizooties (2013). Aucune des colonies d'abeilles n'a été traitée contre la Nosémose d'après l'enquête menée par cette étude. Dans chaque ruche, environ 30 abeilles ouvrières adultes ont été sélectionnées au hasard à l'entrée de la ruche ou sur des cadres éloignés du nid à couvain. Les abeilles ont été placées dans un tube Falcon. Les échantillons ont été stockés dans de l'éthanol à 96%. Ensuite conservés à (-20 ° C) jusqu'au moment de l'analyse (Tableau 02 et Figure 07).

Tableau 01 : Répartition des localités d'échantillonnage et nombres de colonies analysées.

Localités	Latitudes	Superficie Km ²	Nb de colonies
Khenchla	35°26'19.9"N	9 811	4
Setif	36°11'51.7"N	6 504	7
Tissemsilt	35°38'05.7"N	3 152	2
Sidi belabess	35°15'44.9"N	9 096	10
Batna	35°17'55.9"N	12 192	4
Medea	36°17'20.5"N	8 866	10
Blida	36°35'30.0"N	1 575	4
Tlemcen	34°56'19.3"N	9 061	3
Tipaza	36°39'07.1"N	1 605	2
Chlef	36°21'11.0"N	4 795	2
Alger	36°42'00.6"N	1 190	3

**Figure 07 : La carte de l'Algérie indiquant la localisation des sites d'échantillonnage.**

1- Tlemcen 2- Sidi Belabess 3- Chlef 4- Tipaza 5- Alger 6- Blida 7- Medea 8- Tissemsilt 9- Setif 10- Batna 11- Khenchla

3.2.3 Lieux des prélèvements des échantillons pour l'analyse biométrique et morpho-géométrique

Pour le travail relatif à la biométrie. L'étude a eu lieu dans la partie nord-ouest de l'Algérie, plus précisément dans les wilayas suivantes : Blida, Chlef, Mascara, Oran, Ain Tmouchent, Sidi Bel Abbes et Tlemcen (Figure 08).

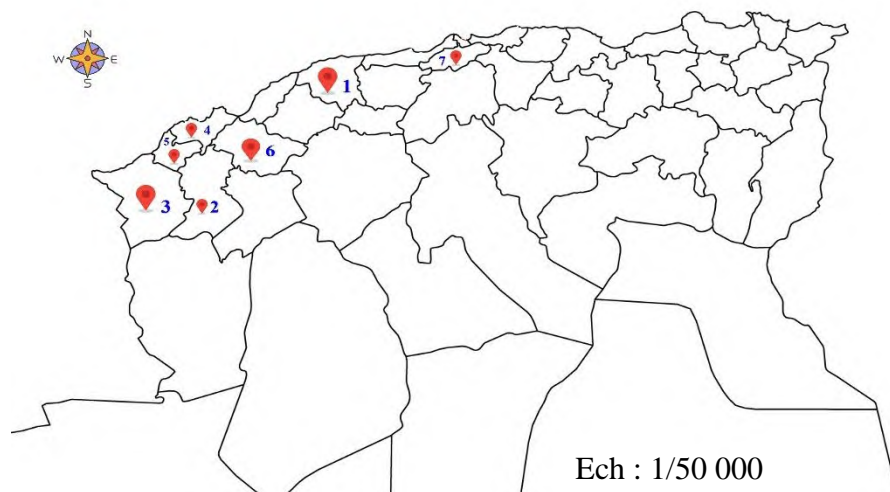


Figure 08 : La carte d'Algérie avec la localisation des échantillons.

La région du nord-ouest se trouve à une latitude de $37^{\circ} 5' 37''$ nord et une longitude de $8^{\circ} 40' 21''$ ouest, couvrant une superficie de 63 050 km². couvrant une étendue de 63 050 km². Trois principales structures paysagères caractérisent cette vaste étendue :

- La région côtière, surplombant la mer méditerranée, comprend les zones montagneuses.
- De nombreuses chaînes de montagnes et bassins intérieurs de l'Atlas tellien : la plaine intérieure de Sidi Bel Abbas et les monts de Tlemcen.
- Région substeppe : Située dans la partie sud de la région.

De même, la région dispose également d'un climat méditerranéen, avec des étés secs, peu ou pas de précipitations et un ciel dégagé. En revanche, cette zone est bien arrosée en hiver. L'échantillonnage de l'abeille saharienne est réalisé pendant la période 2018-2019 provenant de la zone steppe et des zones sahariennes (Tableau 03). Les colonies sont divisées en différentes populations selon la région. La population issu du steppe Bayadh, la population de

la steppe subsahariennes Ain Sefra et la population saharienne (Béchar). Les 08 colonies d'abeilles de la région de Médéa appartiennent à un rucher indépendant établi à des fins de conservation. Les échantillons sont conservés dans l'éthanol absolu à - 20 ° C. jusqu'au moment de l'étude. Selon RUTTNER (1988) 10 à 20 abeilles seraient une dimension suffisante pour une analyse morphométrique et statistique. De ce fait, 10 abeilles par colonie sont prises comme échantillon standard.

Tableau 02 : Caractéristiques et répartition des localités d'échantillonnage et nombres de colonies de l'abeille saharienne analysées

Station	Région	Latitude	Altitude	Nbr d'abeilles par rucher
Tiout 1(Ain Sefra)	Naama	32766928°	1019 m	31
Tiout 1(Ain Sefra)	Naama	32766928°	1019 m	30
Tiout 1(Ain Sefra)	Naama	32766928°	1019 m	28
Tiout 1(Ain Sefra)	Naama	32766928°	1019 m	30
Tiout 1(Ain Sefra)	Naama	32766928°	1019 m	29
Tiout 1(Ain Sefra)	Naama	32766928°	1019 m	30
Tiout 1(Ain Sefra)	Naama	32766928°	1019 m	25
Tiout2 (Ain Sefra)	Naama	32769903°	1020 m	31
Tiout2 (Ain Sefra)	Naama	32769903°	1020 m	41
Tiout2 (Ain Sefra)	Naama	32769903°	1020 m	35
Tiout2 (Ain Sefra)	Naama	32769903°	1020 m	26
Nord de Ain sefra	Naama	32.965757°	1118 m	30
Nord de Ain sefra	Naama	32.965757°	1118 m	32
Nord de Ain sefra	Naama	32.965757°	1118 m	32
Nord de Ain sefra	Naama	32.965757°	1118 m	31
Nord de Ain sefra	Naama	32.965757°	1118 m	31
Nord de Ain sefra	Naama	32.965757°	1118 m	31
Nord de Ain sefra	Naama	32.965757°	1118 m	32
Ben zireg	Bechar	31.911907°	930 m	30
Ben zireg	Bechar	31.911907°	930 m	35
Ben zireg	Bechar	31.911907°	930 m	35
Ben zireg	Bechar	31.911907°	930 m	33
Ben zireg	Bechar	31.911907°	930 m	37
Djebel Medea	Medea	36.227354°	831 m	35
Djebel Medea	Medea	36.227354°	831 m	26
Djebel Medea	Medea	36.227354°	831 m	32

Djebel Medea	Medea	36.227354°	831 m	32
Djebel Medea	Medea	36.227354°	831 m	29
Djebel Medea	Medea	36.227354°	831 m	28
Djebel Medea	Medea	36.227354°	831 m	29
Djebel Medea	Medea	36.227354°	831 m	30

Les échantillons sont conservés dans l'éthanol absolu à - 20 ° C. jusqu'au moment de l'étude.

3.3 Analyse moléculaire

3.3.1 Extraction de l'ADN de *Nosema sp*

L'ADN a été extrait de l'abdomen des d'abeilles selon le protocole de (Higes, et al., 2006). Chaque prélèvement a été macéré dans 1000 µL d'eau distillée. L'homogénat entier a été centrifugé pendant 6 min. à 800g. Le surnageant a ensuite été retiré et le culot remis en suspension dans 5 ml de H₂O. 200 µL de l'homogénat ou du culot remis en suspension ont ensuite été transférés dans un nouveau tube et centrifugés à 14 000 g pendant 2 min. Le surnageant a été retiré et le culot remis en suspension dans 200 µL d'eau oxygéné à 0,3% et incubé à la température ambiante. Pendant 15 min. ensuite on ajoute le tampon de lyse (Tris 100 mM pH 8,0, EDTA 10 mM pH 8,0, SDS à 1%) et 100 mg de billes de verre de 1 mm ont ensuite été ajoutés à chaque échantillon et homogénéisés pendant 3 minutes à une fréquence de 30 dans un tissu lyser (Next Advance, Inc., Averill Park, NY), et ensuite traités avec 80 µL de protéinase K (10 mg / mL) à 70 C pendant 10 min. Après traitement avec la protéinase K, l'acétate d'ammonium à 7,5 M a été ajouté pour la précipitation des protéines, suivi de la précipitation à l'isopropanol 70% et lyophilisation. L'ADN génomique pur a été réhydraté dans du H₂O filtré et désionisé et stocké à 4 ° C.

3.3.2 PCR multiplex pour la détection des deux espèces de la *Nosema sp* (*Nosema ceranae* et *Nosema apis*)

Après l'extraction de l'ADN, les échantillons d'ADN ont été vérifiés par spectrophotométrie (NanoDrop 8000) les résultats sont mentionnés en annexe ensuite les extraits d'ADN ont été soumis à une PCR multiplex (Martin Hernández, et al., 2007; Hamiduzzaman, et al., 2010). Deux types d'amorces ont été utilisées pour le diagnostic de deux espèces de *Nosema*. Les séquences d'amorces utilisées pour amplifier le fragment de 224 pb correspondant au gène ribosomal 16S de *Nosema apis* étaient :

Mnapis-F: 5'-GCATGTCTTTGACGTA CTATG-3 '

Muniv-R: 5'-GACTTAGTAGCCGTCTCTC-3 '

Les séquences d'amorces utilisées pour amplifier le fragment de 143 pb correspondant au gène ribosomal 16S de *Nosema ceranae* étaient :

MnceranaeF : 5'CGTTAAAGTGTAGATAAGATGTT3 '

Muniv-R: 5'-GACTTAGTAGCCGTCTCTC-3 ' (Fries, et al., 2013).

La PCR a été réalisée à l'aide d'un MyCycler T100 thermique (Biometra professionnel) dans un volume réactionnel de 20 µL contenant 1µL d'ADN matrice, 1µl de tampon PCR, 1,5 mM de MgCl₂, 200 µM de chaque dNTP, 0,2 µM de chaque amorce sens et anti sens et 1U de Taq polymérase. Le programme de PCR était de 2 min à 95 °C (dénaturation initiale), 35 cycles de 1 min à 95° C, 1 min à 50 °C et 1 min à 72 °C, et enfin 5 min à 72 °C (extension finale). Les produits de PCR ont été séparés sur des gels d'agarose (1,5%) colorés par un agent intercalant au sybr safe, visualisés et photographiés sur un transilluminateur UV.

La différence de taille entre les deux amplicons des deux espèces nous permet de faire la détection des deux espèces aisément sur gel d'agarose.

3.3.3 Visualisation

Les produits de PCR peuvent être résolus dans une proportion de 1.5% de gel d'agarose avec un marqueur de taille de 100 pb puis visualisé grâce à un transilluminateur U / V. L'analyse moléculaire a été effectuée au sein du laboratoire de détection des organismes génétiquement modifiés (OGM) du Centre de Recherche en Biotechnologie de Constantine.

3.4 Analyse morphométriques

Les paramètres morphométriques mesurés et la préparation des échantillons sont abordés.

3.4.1 Mesure des caractères biométrique

Selon Ruttner (1988), près de 50 caractères morphologiques peuvent être utilisés pour l'étude de la morphométrie des abeilles mellifères. Dans le cadre de ce travail, l'analyse biométrique a porté sur 17 paramètres morphologiques mesurés pour chaque abeille (Ruttner et al., 1978 ; Ruttner, 1988). Ces paramètres comprennent la longueur du proboscis (LP), la longueur du fémur (Fe) et celle du tibia (Ti) (Figure 09). Pour le métatarse, la longueur (ML) et la largeur (MT) ont été relevées. Les dimensions de l'aile antérieure ont également été mesurées, notamment la longueur (FL) et la largeur (FB). D'autres mesures concernent la longueur du troisième sternite (S3), la longueur (WL) et la largeur transversale (WT) du miroir à cire, ainsi que la distance entre les miroirs (WD). Enfin, la longueur (T6) et la largeur (L6) du sixième sternite, ainsi que les longueurs (T3, T4) et les largeurs correspondantes (LT3, LT4) des troisièmes et quatrième tergites, ont été prises en considération (Figure 09).

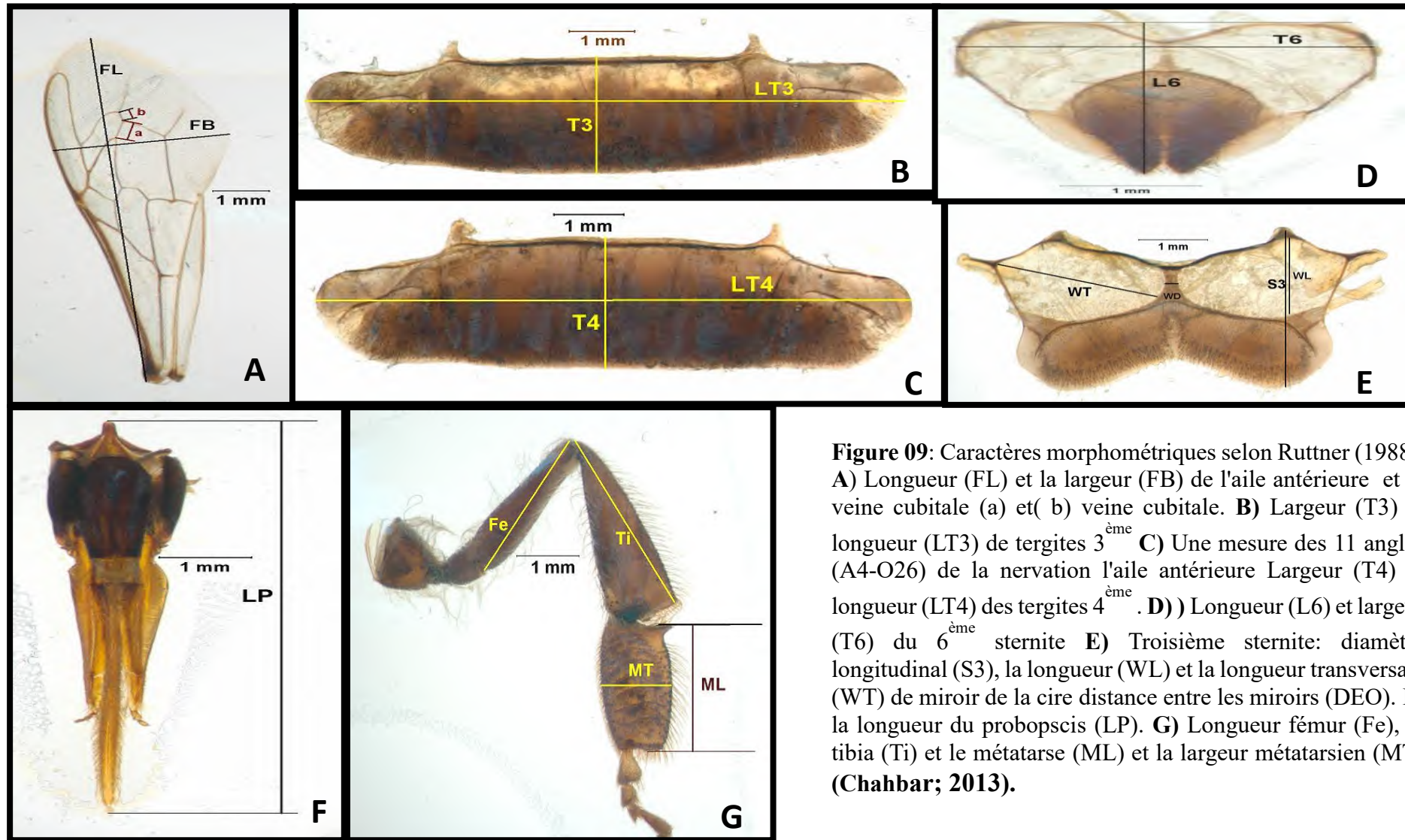


Figure 09: Caractères morphométriques selon Ruttner (1988). **A)** Longueur (FL) et la largeur (FB) de l'aile antérieure et la veine cubitale (a) et (b) veine cubitale. **B)** Largeur (T3) et longueur (LT3) de tergites 3^{ème}. **C)** Une mesure des 11 angles (A4-O26) de la nervation l'aile antérieure Largeur (T4) et longueur (LT4) des tergites 4^{ème}. **D)** Longueur (L6) et largeur (T6) du 6^{ème} sternite **E)** Troisième sternite: diamètre longitudinal (S3), la longueur (WL) et la longueur transversale (WT) de miroir de la cire distance entre les miroirs (DEO). **F)** la longueur du probopscis (LP). **G)** Longueur fémur (Fe), le tibia (Ti) et le métatarse (ML) et la largeur métatarsien (MT) (Chahbar; 2013).

3.5 Préparation des échantillons

La dissection des abeilles est réalisée sous une loupe binoculaire. Chaque abeille est disséquée avec des pinces entomologiques. Les parties disséquées sont les ailes droites antérieures, la patte postérieure droite, le probopscis, les tergites 3 et 4 et les sternites 3 et 6. Ces éléments sont montés sur une lame et recouverts avec un ruban adhésif transparent.

Les mesures des paramètres biométriques ont été réalisées en utilisant un microscope USB. Cet appareil a été connecté à un ordinateur équipé du logiciel d'analyse d'images CoolingTech. Grâce à ce logiciel, toutes les données provenant des images physiques ont été converties en données exploitables.

3.5.1 La méthode utilisée pour la morpho-géométrie

Nous avons utilisé la méthode des points de repères, également appelée landmarks. Cette analyse repose sur un ensemble de coordonnées cartésiennes (en 2D ou 3D) des points de repère, positionnés à des intersections (type I), aux points extrêmes, ou aux points de courbure maxima (type II). Ces derniers sont des points anatomiques homologues, offrant une représentation appropriée de la morphologie et qui peuvent être identifiés de façon constante et fiable (Zelditch et al. 2004). Le bénéfice de cette méthode réside dans son approche basée sur la configuration des objets (Bookstein, 1991). Cette méthode permet d'obtenir toutes les variables qui ne sont pas uniquement liées à la forme (effets de translation, de rotation et d'échelle) via l'utilisation de la superposition procruste (Zelditch et al., 2004).

3.5.1.1 Préparation des ailes pour la numérisation

Lors de la réalisation de l'analyse morpho-géométrique, une étape importante consiste à numériser avec précision les ailes antérieures, puis à procéder à la localisation et le positionnement de 20 points de repère appelés Landmarks (LM) sur ces ailes (Figure 10). Les coordonnées des points-repères renferment des données géométriques précieuses qui permettent de représenter de manière plus concise les formes. De plus, ces données fournissent des résultats plus riches en informations lorsqu'elles sont utilisées dans des analyses statistiques avancées par rapport à l'approche traditionnelle de la morphométrie (Bookstein, 1991).

Les points-repères ont été placés en 2D sur les ailes antérieures droites des abeilles (*Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis*), grâce à l'utilisation de points sur les photos

des ailes échantillonnées. Au total, En tout, 530 ailes ont été capturées en photo avec une échelle de mesure, en veillant à ce que toutes les photos soient prises dans la même orientation et avec le même niveau de grossissement.

Pour chaque abeille ouvrière jaune, une aile droite est coupée à sa base pour la préparer entre deux lames. Au total, 261 ailes d'abeilles ont été numérisées à l'aide d'un microscope stéréoscopique couplé avec un appareil photographique. Elles sont faites en utilisant le dispositif SPOT vue avancée 4.6. SPOT Advanced ver. 4.6. (<http://www.diaginc.com/SpotSoftware/spotadvanced.shtml>).

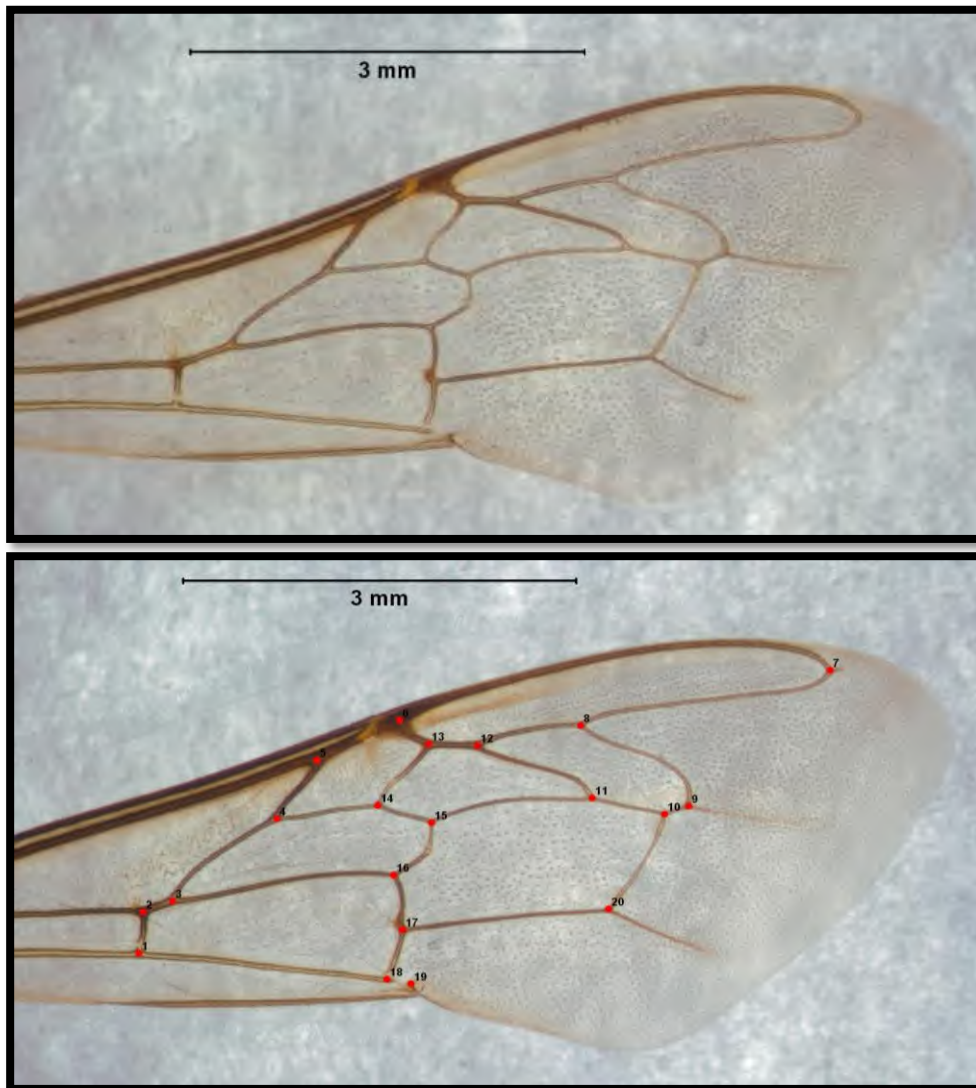


Figure 10 : Positions de 20 points repères qui ont été utilisés pour études morphométriques chez *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis*

Les coordonnées x et y des points repères ont été relevées sur les photographies d'ailes à l'aide du logiciel TPSDig2. Ces coordonnées brutes ont pour référentiel un point arbitraire. Elles ont été alignées par une superposition partielle de Procruste (GLS) grâce au logiciel Morpho J (Klingenberg, 2011).

3.6 Analyse statistique

Les analyses statistiques interviennent autant au niveau de l'étude biométrique, que lors de l'analyse moléculaire et de l'analyse morfo-géométrique.

3.6.1 Techniques d'exploitation statistique des résultats de l'étude de la nosémo

Les analyses statistiques ont été exécutées en utilisant SAS. 9. Sur 51 observations (colonies), la procédure GENMOD du SAS a été utilisée, qui permet de spécifier la distribution binomiale de la variable. Les facteurs fixes sont les régions et les ruchers à l'intérieure des régions. Le facteur variable choisi pour cette analyse est la présence de la maladie. Autrement dit, nous voulons connaître les effets des différentes régions et des différents ruchers à l'intérieure des régions sur la fréquence et la distribution de la maladie à travers le territoire national. La signification a été choisie pour une valeur de $p \leq 0,05$.

3.6.2 Techniques statistiques employées pour les analyses morphométriques

Dans le but d'analyser les caractéristiques biométriques des abeilles qui ont été collectées, une série de mesures a été effectuée pour chaque échantillon afin de calculer la moyenne arithmétique, l'écart type, ainsi que les valeurs minimales et maximales des différents paramètres morphométriques. Pour étudier les différences entre les sites d'échantillonnage, une comparaison des moyennes des paramètres morphométriques a été effectuée en utilisant une analyse de variance à un facteur (ANOVA). En plus de cela, une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée afin de mieux distinguer les différentes régions étudiées. Les tâches calcul ont été réalisées en utilisant l'interface Studio du logiciel R dans sa version 3.5.3.

L'objectif principal de ce type d'analyse est d'étudier dans un premier temps les variations possibles de la morphologie des abeilles collectées. Il est ensuite nécessaire de déterminer en détail leurs caractéristiques morphométriques afin de confirmer l'homogénéité des groupes d'abeilles collectées ou des différences significatives.

3.6.3 L'Indice de diversité de Shanon-Weaver

L'indice de diversité de Shanon-Weaver (H') est une mesure pour évaluer la complexité des communautés biologiques. Il mesure l'information ou l'incertitude liée à prédire l'identité d'un individu choisi au hasard dans une population. Cet indice résume deux aspects clés de la diversité :

La Richesse Spécifique qui est le nombre d'espèces distinctes dans l'échantillon ou la communauté et la répartition de l'abondance des individus entre les espèces. En combinant ces deux aspects, l'indice de Shannon-Weaver est un outil solide pour évaluer la biodiversité et surveiller les évolutions écologiques.

Il est déterminé en utilisant l'équation suivante :

$$H' = - \sum P_i \ln P_i$$

H' : indice de biodiversité de Shannon.

i : une espèce du milieu d'étude.

P : Proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces.

Les analyses biométriques et la géométrie alaire ont été effectuées au sein du laboratoire PPABIONUT « Physiologie, Physiopathologie et Biochimie de la Nutrition » de l'université de Tlemcen.

3.6.4 Techniques d'exploitation statistique de l'analyse morpho-géométrique.

À l'inverse de la morphométrie traditionnelle, les coordonnées des points de repère, prises dans un système d'axes souvent choisi de manière arbitraire, ne se prêtent pas à une utilisation directe. Après avoir enregistré les données et avant de les analyser statistiquement, une étape intermédiaire fera intervenir des logiciels particuliers pour extraire la dimension et pour évaluer les variations de forme entre les objets, que ce soit en les comparant deux à deux ou par rapport à un objet de référence.

Dans le cadre de notre étude, nous avons fait appel à divers logiciels afin de satisfaire à plusieurs objectifs, en particulier la réparation et l'examen des données préalablement à la réalisation des analyses statistiques finales.

Ci-après les divers logiciels que nous avons utilisé dans le cadre de notre analyse morpho-géométrique.

-Tps Util 32 version 1.76 qui permet à convertir les images des ailes antérieures droites à des fichiers textes de format (TPS). –Tps Dig 232 version 1.31, qui permet de réaliser le positionnement des Landmark et après d'importer directement les matrices dans le logiciel Morpho J version 1.06. Et enfin Morpho J version 1.06d. Pour les différents tests utilisés.

La méthode de l'analyse de Procuste est couramment employée en morphométrie géométrique afin de comparer des formes en éliminant les variations attribuables à la position, à l'orientation et à la taille (Klingenberg, 2020). Cette méthode implique principalement l'alignement de multiples configurations de points de repère représentant une forme, en les déplaçant, les faisant pivoter et les redimensionnant de manière optimale pour réduire au minimum les différences entre eux. Les différences résiduelles après cette normalisation sont ensuite expliquées par des variations de forme réelles (Zelditch, et al., 2004).

La mise à l'échelle dans l'analyse de Procuste est essentielle car elle assure que les comparaisons se basent exclusivement sur la forme, en ignorant la taille (Zelditch, et al., 2004). L'analyse de Procuste permet aux chercheurs d'isoler et d'étudier les variations de proportions et de géométrie qui pourraient être dissimulées par des différences de taille globale (Outomuro et Johansson, 2017).

L'analyse de Procuste offre un cadre solide pour la comparaison des formes biologiques en tenant compte de manière rigoureuse des variations non liées à la forme, ce qui en fait un outil essentiel dans le domaine de la recherche morphométrique actuelle.

Afin d'analyser nos échantillons d'ailes d'abeilles, il est nécessaire d'effectuer des transformations géométriques préalables, telles que la superposition Procrustéenne, pour permettre des analyses statistiques visant à caractériser et comparer les formes alaires résultant du positionnement des points-repères. En effet, afin de comparer les conformations alaires plutôt que les distances, il est essentiel d'effectuer un alignement des objets et de calculer leur taille centroïde (Zelditch et al., 2004).

Chapitre III – Résultats et discussion

4. Chapitre III – Résultats et discussion

L'étude des caractéristiques socio-économiques des apiculteurs, de leurs méthodes de travail et des principaux obstacles auxquels ils sont confrontés représente un élément fondamental pour appréhender la dynamique actuelle du secteur apicole et identifier ses potentialités de développement. En effet, le profil socio-démographique des acteurs de la filière, leur niveau de formation, leurs techniques de production, ainsi que les principaux obstacles qu'ils rencontrent, constituent des indicateurs essentiels pour comprendre leur capacité d'adaptation face aux changements économiques, environnementaux et technologiques.

Les informations recueillies dans le cadre de cette enquête offrent ainsi une vision globale et intégrée de la situation des apiculteurs de la région étudiée. Elles permettent de cerner non seulement les spécificités locales, mais aussi les tendances générales qui caractérisent la filière apicole à l'échelle nationale. L'analyse approfondie de ces données vise à mettre en évidence les points forts et les points faibles du système actuel, à identifier les besoins prioritaires des apiculteurs et à proposer, dans la discussion, des orientations stratégiques susceptibles de renforcer la compétitivité et la durabilité de l'apiculture.

4.1 L'Enquête sur terrain

4.1.1 Profil sociodémographique des apiculteurs

L'analyse de la répartition par âge des apiculteurs interrogés met en évidence une prédominance de la tranche 41–51 ans, qui regroupe 34 % des répondants. Les jeunes apiculteurs, âgés de moins de 40 ans, représentent 22,59 % de l'échantillon, traduisant une certaine relève générationnelle mais encore insuffisante pour assurer un renouvellement durable du secteur. À l'inverse, 36,46 % des participants appartiennent à la catégorie des plus de 52 ans, témoignant du poids important des apiculteurs expérimentés dans la filière. La proportion des producteurs âgés de plus de 61 ans reste marginale (7 %), ce qui pourrait indiquer soit un retrait progressif de l'activité à un âge avancé, soit une difficulté à maintenir la pratique apicole au-delà de cet âge (Figure 11). Cette distribution suggère un équilibre relatif entre générations, mais souligne la nécessité de favoriser l'intégration de nouvelles recrues pour assurer la pérennité de l'apiculture locale.

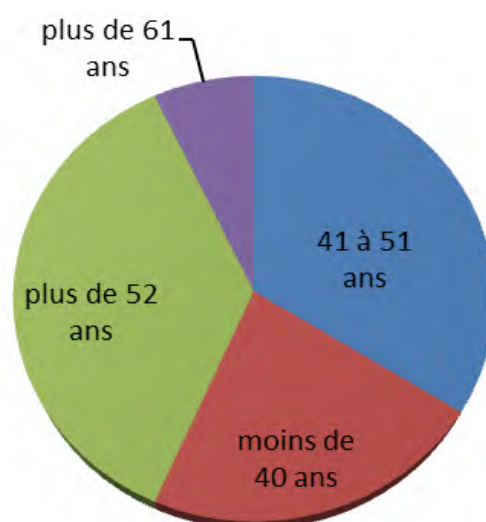


Figure 11 : Distribution des apiculteurs enquêtés selon leur tranche d'âge.

En ce qui concerne le niveau d'instruction des apiculteurs, l'analyse des données révèle que près de la moitié d'entre eux (48,5 %) ont atteint un niveau d'études secondaires, tandis que 24,9 % possèdent un diplôme universitaire. Une proportion plus restreinte, soit 13 %, a suivi un cursus de niveau moyen, alors que 10,5 % se limitent à un niveau primaire et 3 % se déclarent autodidactes (Figure 12). Cette répartition met en évidence que la majorité des apiculteurs disposent d'un bagage éducatif suffisant pour assimiler et appliquer des techniques apicoles modernes. Cependant, la présence d'un faible pourcentage d'apiculteurs peu instruits ou autodidactes pourrait limiter l'adoption de pratiques innovantes et la transmission des connaissances techniques au sein de la communauté apicole.

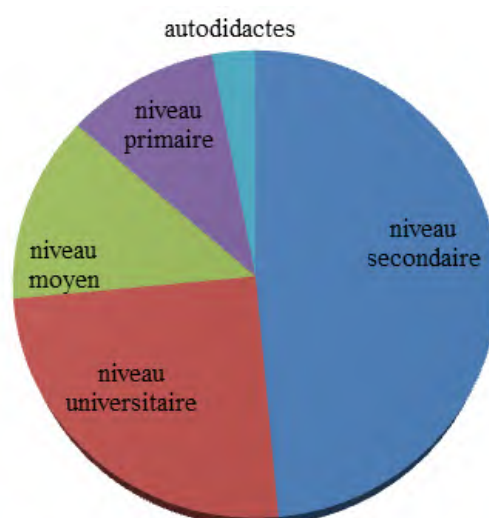


Figure 12 : Répartition des apiculteurs selon leur niveau d'instruction.

4.1.2 Renseignements sur les ruchers

L'analyse des données issues de l'enquête montre que la majorité des apiculteurs (38,7 %) gèrent entre 30 et 100 ruches, tandis qu'une proportion légèrement inférieure (34,2 %) exploite un cheptel compris entre 100 et 200 ruches. Une minorité d'apiculteurs (15,8 %) possède plus de 200 ruches, alors que seulement 11,3 % disposent de moins de 30 ruches. Ces observations suggèrent que l'apiculture en Algérie se pratique majoritairement à une échelle intermédiaire, avec une présence significative de grands producteurs et une représentation relativement limitée des petits exploitants (Figure 13).



Figure 13: Répartition du nombre de colonies par rucher des apiculteurs enquêtés.

Les résultats de l'enquête montrent que 73 % des apiculteurs interrogés pratiquent la transhumance de leurs ruchers, tandis que 27 % gèrent des ruchers sédentaires (Figure 14). La production apicole en Algérie varie considérablement selon les régions, en fonction de facteurs tels que les conditions climatiques, la disponibilité des ressources mellifères et les pratiques apicoles locales. Certaines zones, bénéficiant d'une biodiversité florale plus riche et de conditions climatiques favorables, présentent un potentiel de production plus élevé. La transhumance, qui consiste à déplacer les ruches en fonction des périodes de floraison, permet d'optimiser la récolte de miel et d'assurer une meilleure alimentation aux colonies. Cependant, cette pratique comporte également des risques, car les déplacements fréquents exposent les abeilles à de nouveaux environnements et peuvent favoriser la propagation de maladies. La proximité des colonies et l'exposition à des agents pathogènes présents dans d'autres ruches ou

sur le matériel apicole peuvent ainsi affecter la santé globale des colonies et, par conséquent, la production apicole.

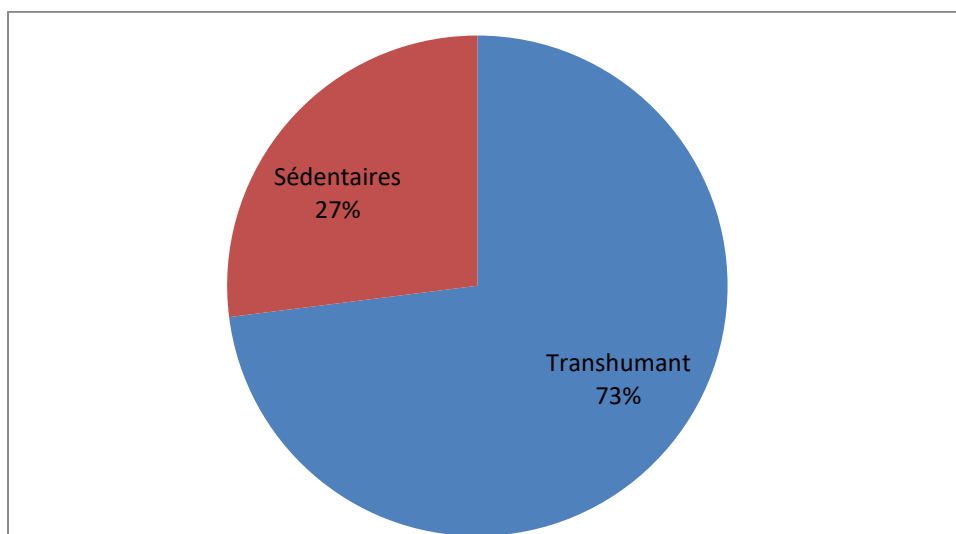


Figure 14 : Type de gestion des ruchers chez les apiculteurs enquêtés.

4.1.3 Gestion générale des ruchers

L'enquête montre que la grande majorité des apiculteurs interrogés (92 %) pratiquent le nourrissage des colonies à l'aide de sirops (à hauteur de 50 % du poids vif), tandis qu'une minorité (08 %) utilise des candi (Figure 15).

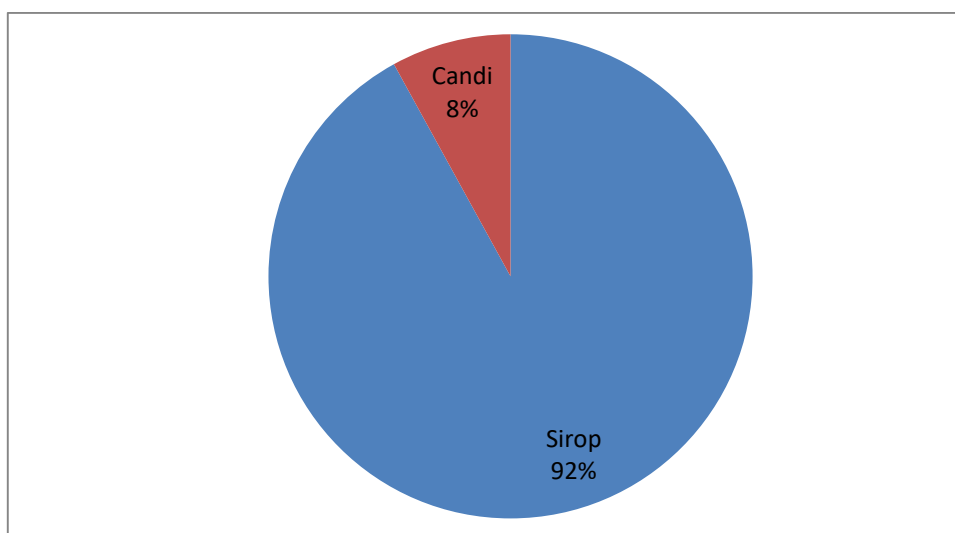


Figure 15 : Types de nourrissements stimulants appliqués par les apiculteurs.

Les résultats présentés ci-dessous illustrent la durée et la fréquence d'administration des nourrissements stimulants par les apiculteurs enquêtés. Il apparaît qu'aucun protocole uniforme n'est appliqué au sein de la population étudiée. Ainsi, une proportion d'apiculteurs (46 %) administre le nourrissement une fois par semaine sur une période de trois mois, tandis que 27 % adoptent cette fréquence pendant quatre mois, 16 % sur un mois, et le reste sur une durée de deux mois (Figure 16).

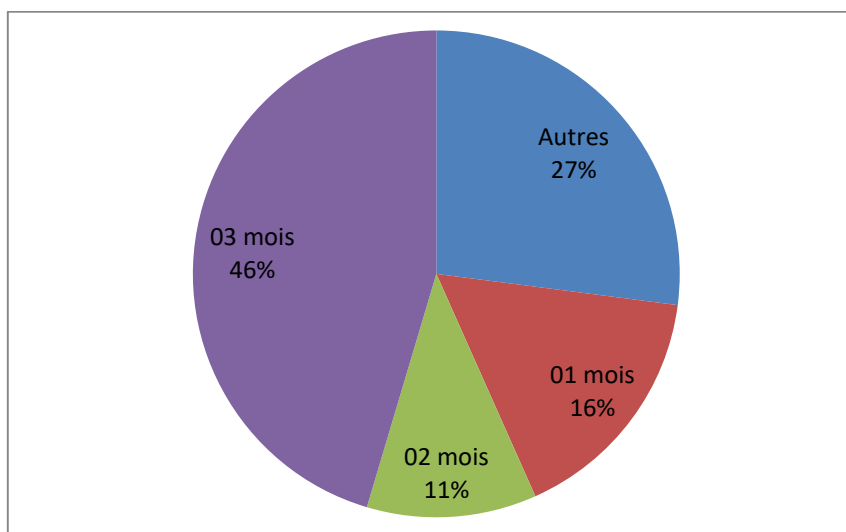


Figure 16 : Durée et fréquence d'administration des nourrissements stimulants par les apiculteurs

Selon les apiculteurs interrogés, l'administration des nourrissements stimulants commence en août et se prolonge jusqu'en décembre, avec un pic d'utilisation observé entre janvier et mars. En revanche, aucune pratique de nourrissement stimulant n'a été signalée au cours du printemps (Figure 17).

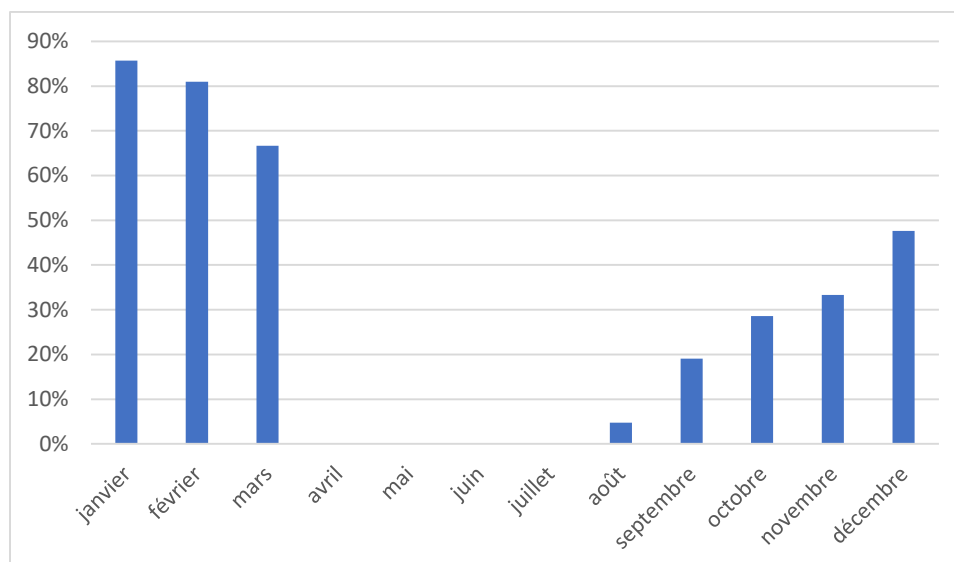


Figure 17 : Périodes de distribution des nourrissements stimulants chez les apiculteurs enquêtés

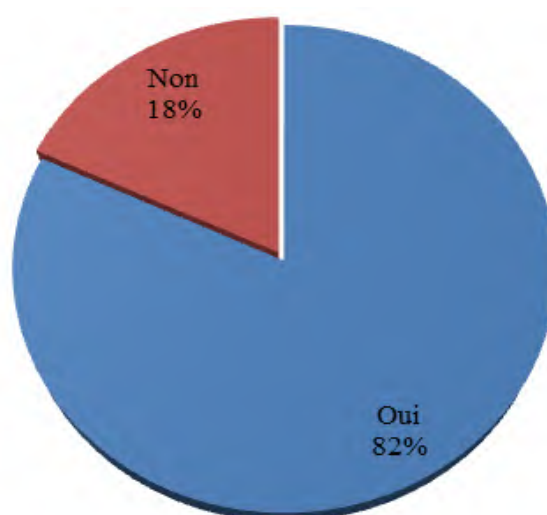


Figure 18 : Recours aux nourrissements stimulants en période de pénurie de ressources mellifères.

Les résultats présentés mettent en évidence le recours au nourrissage en réponse à un déficit en ressources mellifères. Ainsi, 82 % des apiculteurs interrogés déclarent utiliser ce type de nourrissage tout au long de l'année, bien que l'intensité de son application varie. À l'inverse, 18 % des apiculteurs ne pratiquent aucun nourrissage lors des périodes de pénurie (Figure18).

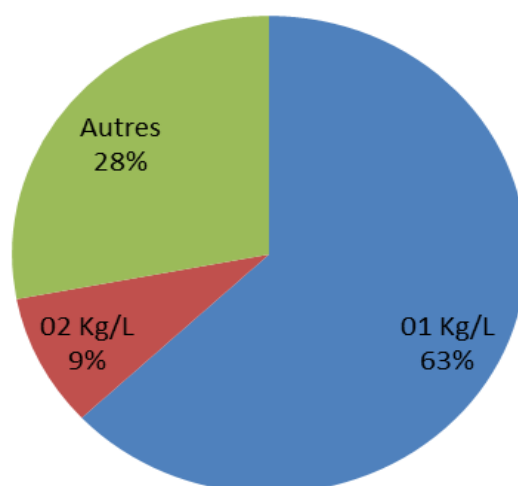


Figure 19 : Quantité de sirop distribuée par les apiculteurs enquêtés

D'après les apiculteurs interrogés, 63 % d'entre eux préparent le sirop selon une proportion d'un kilogramme de sucre pour un litre d'eau (1 kg/L). Seulement 9 % utilisent une concentration de deux kilogrammes de sucre par litre d'eau (2 kg/L). En revanche, 28 % des apiculteurs n'appliquent pas de formule standard pour la préparation du sirop (Figure 19).

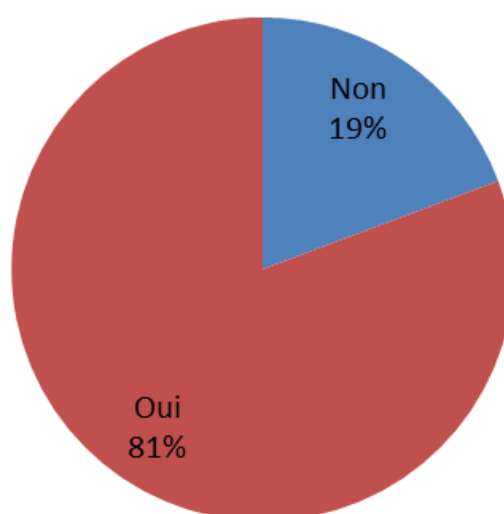


Figure 20 : Taux de protection des ruches contre les intempéries

Les résultats de l'enquête montrent que 81 % des apiculteurs mettent en place des mesures de protection de leurs ruches contre les intempéries et les vents, tandis que 19 % n'adoptent aucune précaution face aux variations météorologiques. Les changements climatiques pourraient provoquer un décalage entre le développement des ressources florales et celui des colonies, impactant la qualité des apports alimentaires ainsi que la vitalité et la résistance des colonies

aux maladies. Par ailleurs, il a été observé que l'ensemble des apiculteurs enquêtés (100 %) procède au renouvellement périodique des cadres de leurs ruches, en se basant sur leur expérience professionnelle et leurs pratiques techniques spécifiques.

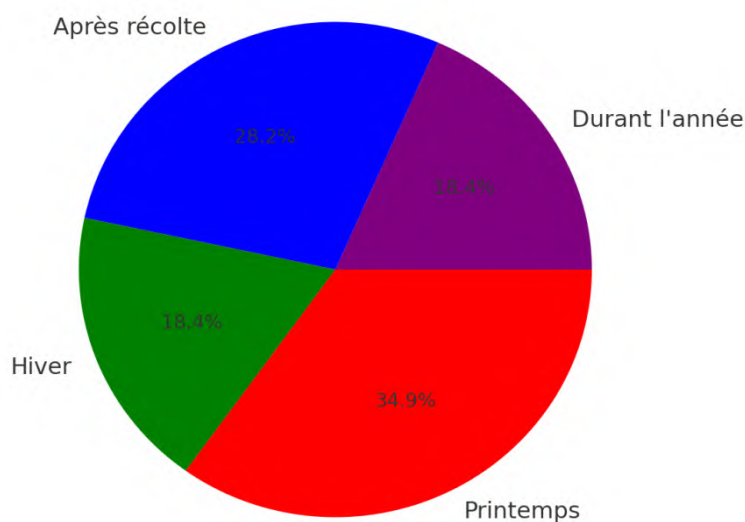


Figure 21 : Période de renouvellement des cadres des ruches par les apiculteurs enquêtés

À partir des réponses des apiculteurs interrogés concernant la période de renouvellement des cadres, les pratiques varient en fonction des stratégies adoptées et de l'expérience de chaque apiculteur. 18,4 % des apiculteurs déclarent remplacer les cadres en hiver. En revanche, 28,2% des apiculteurs ont préféré renouveler leurs cadres immédiatement après sa récolte. Cette période est considérée comme avantageuse car elle marque la fin du cycle de production, permettant de nettoyer la ruche en enlevant les cadres usés et en préparant la colonie pour la saison suivante. Le remplacement à cette période permet également de limiter la présence de pathogènes accumulés au cours de la saison de production.

Une plus grande proportion d'apiculteurs (34,9 %) privilégie le renouvellement printanier, période où la colonie connaît un développement important, avec l'introduction de nouveaux cadres favorisant la dynamique de croissance de la colonie. Le renouvellement printanier assure également un bon état sanitaire de la ruche avant la saison de production.

Enfin, 18,4% des apiculteurs interrogés n'ont pas adopté de période fixe pour le renouvellement des cadres, mais l'ont effectué tout au long de l'année, en fonction de leur pratique technique et de leur expérience professionnelle. Cette approche flexible leur permet d'adapter les

interventions aux besoins spécifiques de la colonie, en tenant compte de facteurs tels que la dynamique du couvain, l'état des cadres et la gestion sanitaire de la ruche.

Ces résultats démontrent la diversité des pratiques apicoles et mettent en évidence l'influence de multiples facteurs tels que les conditions climatiques, les cycles biologiques des abeilles et les stratégies adoptées par les apiculteurs pour assurer la santé et la productivité de leurs ruchers.

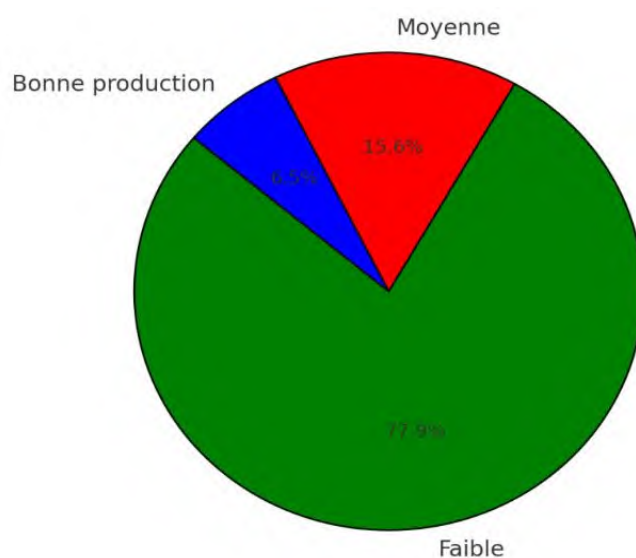


Figure 22 : Estimation de la production du miel par les apiculteurs enquêtés.

Les apiculteurs ont été interrogés sur leur perception de la production de miel par rapport aux années précédentes. Une majorité de 77,9 % estime que la production est faible, 15,6 % la considèrent comme moyenne et seulement 6,5 % la jugent satisfaisante. Ces résultats reflètent les variations annuelles de la productivité et mettent en évidence l'influence des pratiques de gestion et des conditions environnementales sur le rendement des colonies.

L'enquête a montré que les apiculteurs adoptent diverses pratiques d'élevage afin d'augmenter la taille et la productivité de leurs ruches. Ces stratégies incluent notamment le fractionnement des colonies, l'ajout de cadres supplémentaires et le renforcement des populations par le transfert de couvain. Ces méthodes reflètent l'expérience et les techniques spécifiques de chaque apiculteur, visant à optimiser le développement et la santé des colonies. (Figure 23)

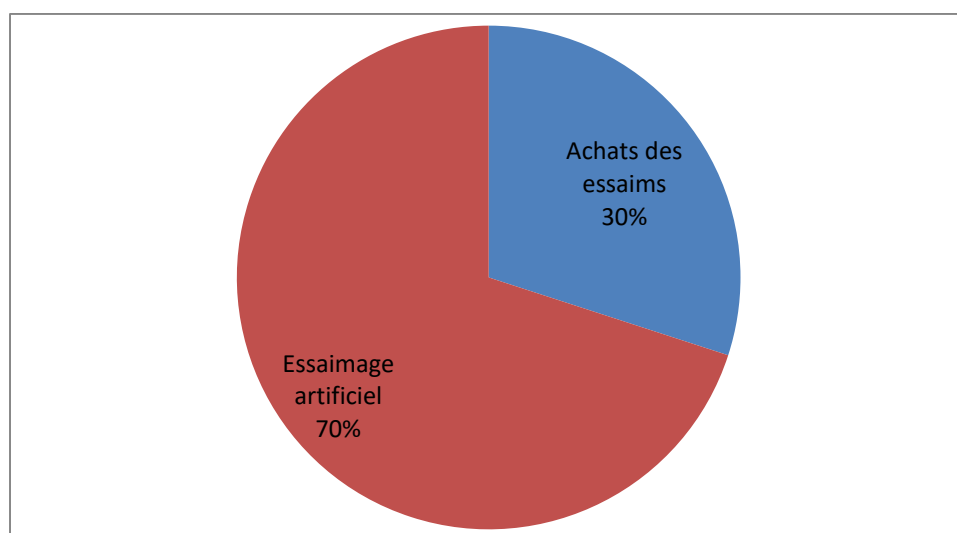


Figure 23 : Pratiques d'élevage mises en œuvre par les apiculteurs pour l'agrandissement des ruches

Les résultats de l'enquête indiquent que la majorité des apiculteurs (69,9 %) pratiquent l'essaimage artificiel pour agrandir leurs ruchers, dont près de la moitié des apiculteurs (49 %) combinent cette pratique avec la vente de ruches. En revanche, seulement 30,1 % des apiculteurs développent leurs ruchers par l'achat d'essaims (Figure 23).

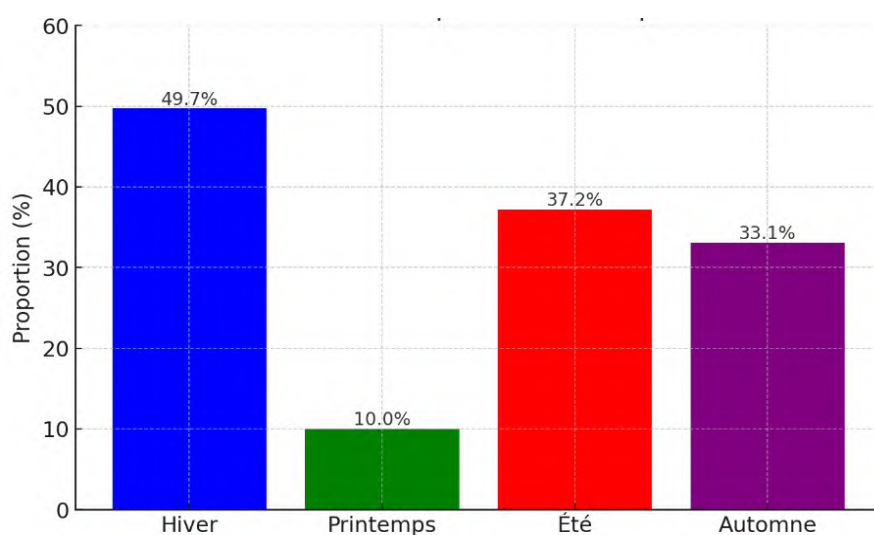


Figure 24 : Période de pertes anormales déclarées par les apiculteurs enquêtés.

Les résultats de l'enquête mettent en évidence les périodes durant lesquelles les apiculteurs enregistrent des pertes anormales de colonies. Ainsi, 49,7 % des pertes surviennent pendant l'hiver, suivies de 37,2 % en été et de 33,1 % en automne. En revanche, seulement 10 % des

apiculteurs constatent des pertes anormales au printemps. Ces observations indiquent que l'hiver et l'été constituent les périodes les plus critiques pour la production apicole (Figure 24).

4.1.4 Situation sanitaire des colonies d'abeilles

Les résultats de l'enquête révèlent que la mortalité devant les ruches constitue le symptôme le plus fréquemment observé par les apiculteurs, avec un taux de 65 %. D'autres signes préoccupants incluent les abeilles mortes présentant la tête enfoncée dans les alvéoles, ainsi que les larves ou nymphes mortes dans le trou de vol, observés respectivement chez 39,5 % et 48,5 % des colonies. Par ailleurs, des comportements agressifs anormaux et des pontes irrégulières ont été signalés dans 41 % et 49 % des cas, reflétant des perturbations significatives de la santé des colonies.

D'autres symptômes préoccupants ont également été observés. Ainsi, des abeilles présentant des ailes déformées, des individus noircis et/ou dépilés, ainsi que des signes de diarrhée ou de traces d'excréments ont été rapportés par 40 % à 50 % des apiculteurs. De plus, la présence d'abeilles mortes dans le champ et d'abeilles tremblantes a été signalée dans 44 % et 35 % des cas respectivement, illustrant la diversité et la fréquence des altérations sanitaires affectant les colonies.

En revanche, une proportion plus faible d'abeilles mortes en grappe, à l'intérieur de la colonie ou au fond de la ruche, a été rapportée, avec une moyenne de 22,5 %. Le cannibalisme constitue le symptôme le moins fréquemment observé, étant signalé par seulement 11,5 % des apiculteurs, sans toutefois être totalement absent.

Dans l'ensemble, ces résultats soulignent la complexité de la situation sanitaire des colonies d'abeilles et mettent en évidence la nécessité de pratiques de gestion adaptées afin de limiter les pertes et de maintenir la vitalité et la productivité des ruches.

Tableau 03 : Symptômes signalés par les apiculteurs au cours de l'enquête.

Symptômes	Moyenne (%)
Mortalité devant les ruches	65%
Abeilles mortes en grappe	22,50%
Abeilles mortes au fond de la ruche	22,50%
Agressivité anormale au rucher	41%
Abeilles noires et/ou dépilées	50%
Abeilles aux ailes déformées	50%
Diarrhées et traces d'excréments	44%
Abeilles mortes dans le champ	44%
Abeilles tremblantes	35%
Larves ou nymphes mortes au trou de vol	48,50%
Abeilles mortes, les têtes enfoncées dans les alvéoles	39,50%
Ponte irrégulière	49%
Présence de la loque (symptômes, comme l'odeur aigre du couvain)	42,50%
Présence du couvain plâtré	40%
Cannibalisme	11,50%

4.2 Détection moléculaire et distribution géographique de *Nosema apis*

Les résultats de la détection moléculaire et distribution géographique ainsi que la prévalence sont abordés.

4.2.1 Détection moléculaire

La nosérose constitue une pathologie majeure affectant les colonies d'abeilles et entraînant d'importantes pertes économiques à l'échelle mondiale. Dans ce contexte, la mise en œuvre de techniques de diagnostic précises et fiables s'avère indispensable. Une PCR multiplex, reposant sur l'utilisation d'amorces spécifiques ciblant *Nosema apis* et *Nosema ceranae*, a été réalisée.

Les analyses ont mis en évidence la présence de *Nosema ceranae* dans 22 échantillons (43,13 %) et de *Nosema apis* dans trois échantillons (5,88 %) (Tableau 04). Il convient de noter la détection de co-infections *Nosema apis* / *Nosema ceranae* (Figure 25), issues de ruchers localisés dans l'ouest algérien.

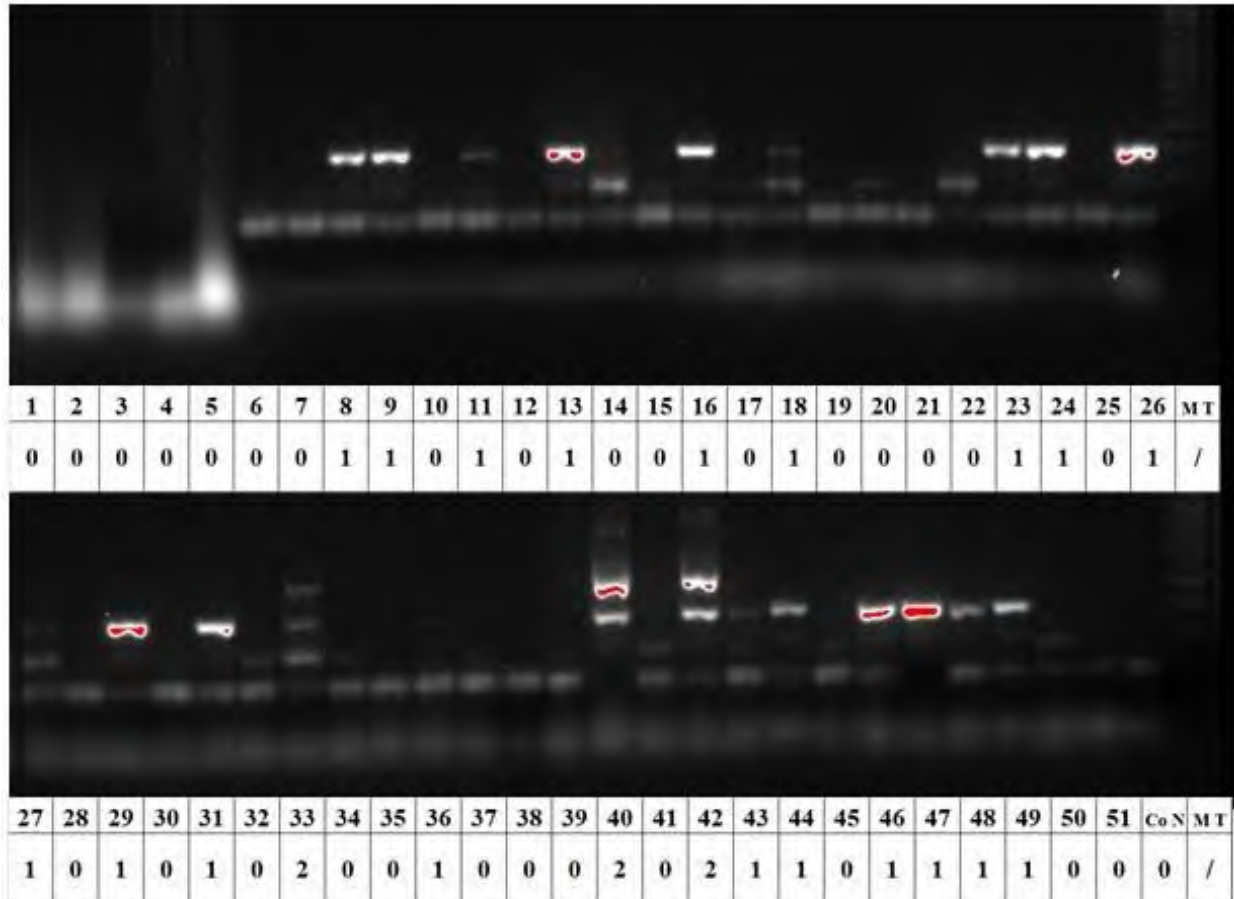


Figure 25 : Gel d'agarose montrant les résultats de l'amplification du gène 16S en utilisant l'amorce Mnapis 224 Pb et Mnceranae 171 Pb.

Ligne MT: marqueur taille ADN 100 pb:

Ligne Co N: aucune amplification dans le contrôle négatif;

Puits 1-51: échantillons d'abeilles domestiques.

4.2.2 Prévalence et répartition géographique de *Nosema ceranae* et *Nosema apis*

Les résultats révèlent que les populations les plus fortement touchées par *Nosema ceranae* proviennent majoritairement des régions centrales de l'Algérie. Une prévalence maximale de

100 % a été observée dans les wilayas de Blida et Chlef, suivie par la Wilaya d’Alger avec 75 % et Médéa avec 66,66 %. Par contre, les prévalences les plus faibles ont été enregistrées dans la région montagneuse de Khenchela (25 %), Sidi Bel Abbès (30 %), Sétif (42,85 %) et Tlemcen (50 %). Aucune infection n’a été détectée dans les wilayas de Batna, Tissemsilt et Tipaza.

Les pratiques apicoles, notamment le commerce des reines et des ouvrières, pourraient constituer des voies potentielles de dissémination de l’infection dans certaines zones du pays. Par ailleurs, la transhumance, largement pratiquée dans les régions centrales, bien qu’elle permette d’optimiser la production de miel et de garantir un apport alimentaire régulier aux colonies, comporte également des risques sanitaires notables.

Tableau 04 : Prévalence des colonies infectées par *Nosema apis*, *Nosema ceranae* et co-infection (*Nosema apis* et *Nosema ceranae*) dans les ruchers.

Région	Nombre d'échantillons recueillis	Nbr d' échantillons positifs <i>Nosema</i>	% d' échantillons positifs <i>Nosema</i>	N. ceranae	N. apis	Co-infection
Tlemcen	10	5	50%	5	1	1
Sidi belabess	10	3	30%	3	2	2
Tipaza	2	\	\	\	\	\
chlef	2	2	100%	2	\	\
Alger	4	3	75%	3	\	\
Blida	3	3	100%	3	\	\
Tissemsilt	2	\	\	\	\	\
Medea	3	2	66.66%	2	\	\
Setif	7	3	42.85%	3	\	\
Batna	4	\	\	\	\	\
Khenchla	4	1	25%	1	\	\
Total	51	22	43.13%	22	3	3

L’analyse de la répartition de la maladie, effectuée à l’aide d’un modèle linéaire généralisé (GLM) avec réponse binaire et distribution binomiale, ajusté via la procédure GENMOD du logiciel SAS 9, a mis en évidence un effet significatif du facteur « région d’étude » ($p < 0,05$) (Tableau 05). Les résultats montrent des variations statistiquement significatives de la fréquence de la maladie entre les régions ($\chi^2 = 22,16$; DF = 10 ; $p = 0,0143$), tandis qu’aucune différence significative n’a été observée entre les différents ruchers au sein d’une même région ($\chi^2 = 21,38$; DF = 13 ; $p = 0,0658$).

Tableau 05 : Résultats d'évaluation de la répartition de la nosérose par l'utilisation de la procédure GENMOD du SAS 9.

Source	Déviance	DDL	Khi 2	Pr > Khi 2
Intercepte	70,2100			
Régions	48,0547	10	22,16	0,0143
Ruchers (régions)	26,6794	13	21,38	0,0658

L'analyse statistique met en évidence que la région constitue un facteur déterminant influençant significativement la fréquence d'apparition de la maladie, suggérant un impact probable des conditions environnementales, climatiques ou des pratiques apicoles spécifiques à chaque zone géographique. En revanche, aucune différence significative n'a été relevée entre les ruchers appartenant à une même région, ce qui laisse supposer une homogénéité des conditions locales et/ou des sources potentielles d'infection à l'intérieur de chaque zone. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par l'analyse de variance via la procédure GLM du logiciel SAS et renforcent l'hypothèse selon laquelle la variabilité spatiale observée est principalement attribuable à des facteurs régionaux plutôt qu'à des différences intra-régionales.

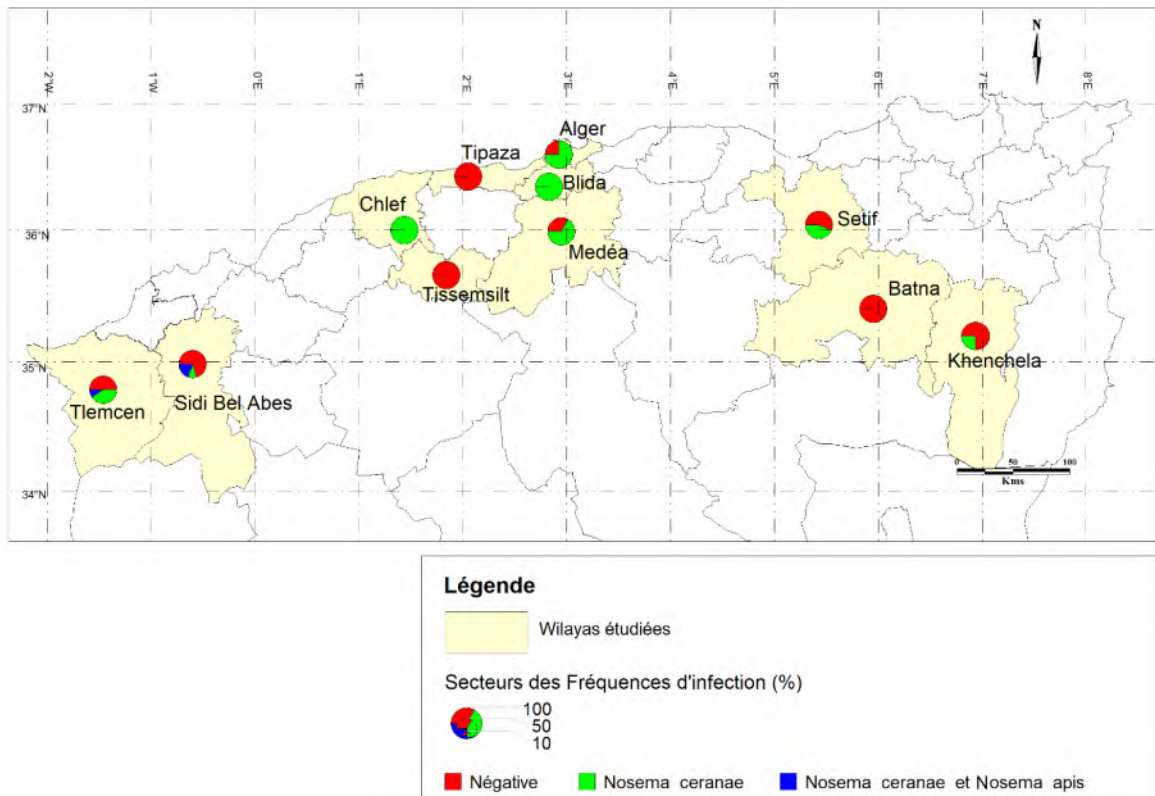


Figure 26 : Prévalence des espèces de *Nosema* dans les ruchers algériens.

Les colonies non infectées par *Nosema* sont représentées en rouge, celles infectées par *Nosema ceranae* en vert, et les colonies présentant une co-infection par différentes espèces de *Nosema* en bleu. Les zones cerclées indiquent la présence ou l'absence ainsi que la fréquence d'infection dans chaque secteur.

4.3 Analyse morphométrique des populations d'*Apis mellifera intermissa*

Afin de mieux caractériser les différentes populations d'abeilles telliennes (*Apis mellifera intermissa*), une étude morphométrique a été conduite. Cette analyse permet d'évaluer la variabilité phénotypique au sein des populations étudiées et d'identifier d'éventuelles différences liées à l'origine géographique ou à d'autres facteurs biologiques.

Les paramètres morphométriques mesurés incluent des traits clés tels que les longueurs du proboscis (LP), du flagelle antennaire (LF), du fémur (Fe) et du tibia (Ti), du métatarse, sa longueur (ML) et sa largeur (MT) la longueur (FL) et la largeur (FB) des ailes antérieures, qui sont reconnus pour leur pertinence dans la discrimination des sous-espèces et l'évaluation de la diversité intra-spécifique. Pour chaque caractère, les valeurs moyennes, l'écart-type ainsi que les extrêmes (minima et maxima) ont été calculés afin de fournir un aperçu statistique complet des variations observées. Ces résultats sont synthétisés dans le Tableau 06.

Tableau 06 : Les moyennes, l'écart type, la médiane, ainsi que les valeurs minimale et maximale des 17 caractères (en millimètres).

Caractère	Moyenne	Ecart-type	Médiane	V Minimale	V Maximale
F L	7,71	0,39	7,72	2,42	8,66
F B	2,57	0,12	2,57	2,18	3,00
F e	2,15	0,32	2,09	1,33	3,09
T i	2,31	0,23	2,36	1,57	2,88
M T	1,01	0,12	1,03	0,57	1,34
M L	1,70	0,23	1,73	1,01	2,28
LT 3	7,38	0,87	7,58	3,84	8,69
T 3	1,82	0,22	1,87	1,17	2,28
LT 4	6,95	0,68	7,10	4,48	8,30
T 4	1,76	0,20	1,81	1,07	2,89

W T	1,90	0,14	1,96	1,05	2,30
W D	0,26	0,82	0,25	0,13	0,66
S 3	2,12	0,49	2,27	0,21	2,75
W L	1,18	0,19	1,15	0,12	2,34
T 6	2,58	0,29	2,64	1,06	3,30
L 6	2,08	0,23	2,13	1,30	2,84
L P	4,46	0,73	4,54	2,37	5,97

L'analyse univariée des 17 caractères morphométriques, résumés dans le tableau 06, met en évidence une certaine homogénéité des dimensions, tout en révélant quelques variations intéressantes.

La longueur moyenne de l'aile antérieure (FL) est de 7,71 mm ($\pm 0,39$), tandis que sa largeur (FB) atteint en moyenne 2,57 mm ($\pm 0,12$). Ces valeurs traduisent une conformation régulière des ailes, avec une faible dispersion, ce qui reflète une bonne stabilité morphologique au sein des échantillons étudiés.

Concernant les pattes postérieures, les mesures montrent une différenciation nette entre les segments : le fémur présente une longueur moyenne de 2,15 mm ($\pm 0,32$), légèrement inférieure à celle du tibia (2,31 mm $\pm 0,23$), alors que le métatarse affiche une largeur moyenne de 1,01 mm ($\pm 0,12$) pour une longueur de 1,70 mm ($\pm 0,23$). Ces proportions confirment l'adaptation fonctionnelle de la patte postérieure, notamment dans le transport du pollen.

L'examen des tergites 3 et 4 révèle des longueurs moyennes de 7,38 mm ($\pm 0,87$) et 6,95 mm ($\pm 0,68$) respectivement, avec des largeurs relativement proches (1,82 mm $\pm 0,22$ et 1,76 mm $\pm 0,20$). Du côté des sternites, le sternite 3 (S3) présente une valeur moyenne de 2,12 mm ($\pm 0,49$), tandis que la largeur totale (WT) est estimée à 1,90 mm ($\pm 0,14$). En revanche, la valeur mesurée pour WD (0,26 mm $\pm 0,82$) indique une forte dispersion, ce qui peut traduire une hétérogénéité marquée ou des difficultés de mesure pour ce caractère. Le paramètre WL atteint quant à lui une moyenne de 1,18 mm ($\pm 0,19$). Pour le sixième sternite, la longueur (L6) et la largeur (T6) enregistrent des valeurs respectives de 2,08 mm ($\pm 0,23$) et 2,58 mm ($\pm 0,29$), confirmant une morphologie plus élargie que longue.

Enfin, la longueur du proboscis (ou langue) se situe en moyenne à 4,46 mm ($\pm 0,73$). Cette valeur, plus variable que celles observées pour d'autres caractères, pourrait refléter des différences individuelles liées à l'adaptation des butineuses aux ressources florales disponibles.

Dans l'ensemble, ces résultats mettent en évidence une bonne stabilité morphométrique pour la majorité des caractères mesurés, avec cependant quelques paramètres présentant une variabilité plus importante (notamment WD et la longueur du proboscis).

4.3.1 Analyse des composantes principales (ACP)

L'ACP a été réalisée afin de réduire la dimensionnalité de données tout en conservant l'essentiel de la variance. Les premiers axes factoriels capturent la majeure partie de l'inertie totale, ce qui reflète une bonne représentation des données dans un espace réduit.

Les deux premiers axes de l'analyse expliquent conjointement 67,14 % de l'inertie totale du jeu de données, ce qui signifie que près des deux tiers de la variabilité globale des individus (ou des variables) sont représentés dans ce plan factoriel. Ce pourcentage est particulièrement élevé, indiquant que le premier plan factoriel constitue une représentation fidèle et pertinente de la structure des données. De plus, cette valeur dépasse largement la valeur de référence de 15,68 %, correspondant à la part moyenne d'inertie par axe, soulignant ainsi la forte significativité de la variance expliquée par ces deux composantes principales.

Compte tenu de ces observations, il apparaît néanmoins pertinent de prendre en considération, dans l'analyse, les dimensions supérieures, à partir de la troisième composante principale, afin de ne pas négliger des sources supplémentaires de variabilité susceptibles d'apporter des informations complémentaires sur la structuration des populations étudiées.

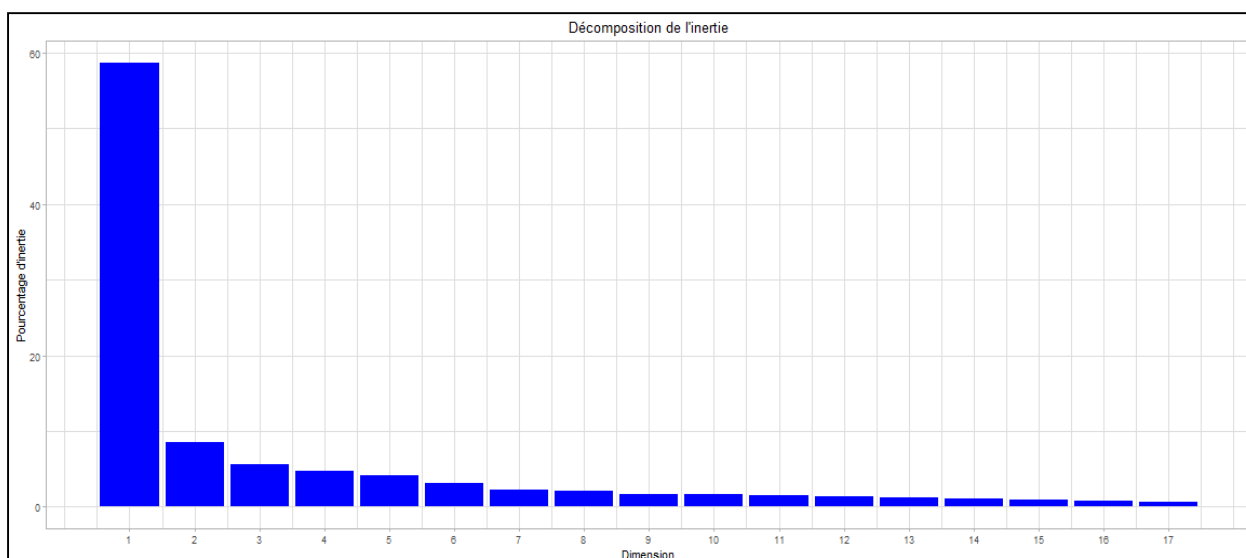


Figure 27 : Représentation graphique de la décomposition de l'inertie totale

L'estimation pertinente du nombre d'axes à examiner recommande de limiter l'analyse à la description des deux premiers axes. Cette constatation suggère que seuls ces axes contiennent une information véritablement pertinente.

Tableau 07 : Variance, pourcentage de variance et pourcentage cumulative

Dimensions	Dim 1	Dim 2	Dim 3	Dim 4	Dim 5	Dim 6	Dim 7	Dim 8
Variance	9,96	1,45	0,96	0,79	0,70	0,52	0,39	0,37
% de var	58,61	8,53	5,66	4,66	4,12	3,07	2,30	2,17
Cumulative %	58,61	67,14	72,80	77,46	81,58	84,65	86,95	89,11

Le plan factoriel met en évidence que les individus étiquetés contribuent de manière significative à la construction des axes. Ces individus sont colorés selon leur appartenance aux différentes modalités de la variable « Région ». Il apparaît clairement que les abeilles provenant des ruchers de Chlef se distinguent des autres populations, ce qui peut s'expliquer par l'absence de pratiques de transhumance chez les apiculteurs locaux. En effet, ces derniers exploitent des ruches transmises de génération en génération, implantées dans une zone caractérisée par des barrières climatiques marquées, limitant efficacement le contact avec d'autres pollinisateurs.

Par ailleurs, aucune introduction de reines étrangères n'a été signalée dans ces ruchers, contribuant ainsi à l'homogénéité et à l'isolement de cette population (Figure 28).

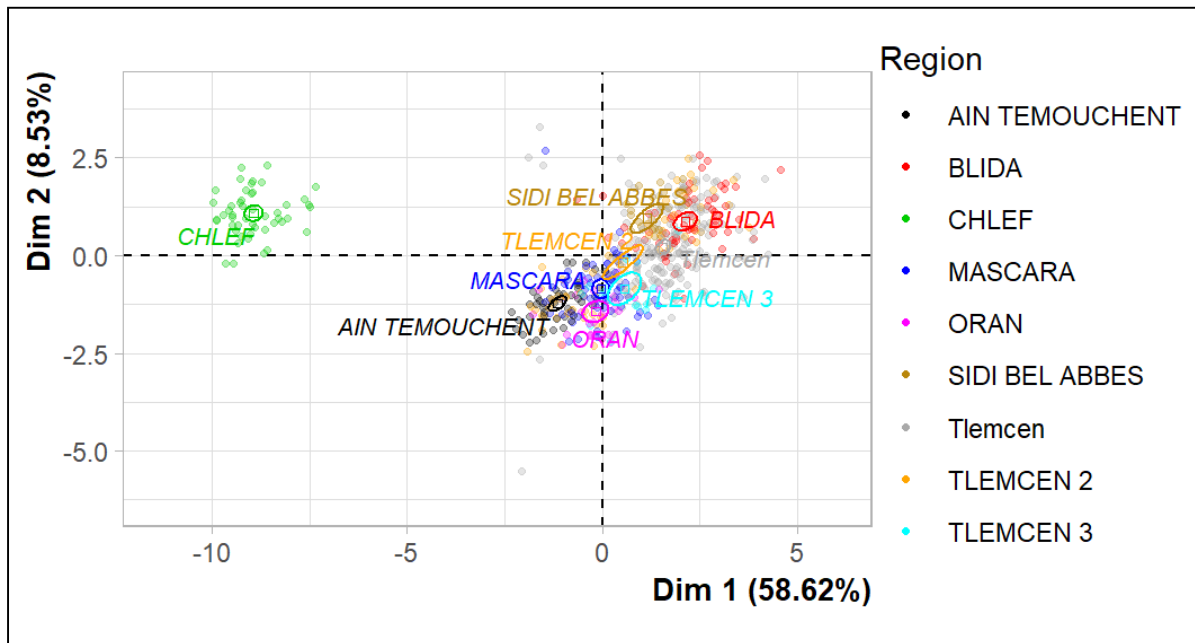


Figure 28: Plan de distribution des individus selon les régions

L'analyse en composantes principales (ACP) des différents caractères morphométriques a été réalisée afin d'identifier d'éventuels regroupements au sein des colonies d'abeilles. Cette analyse met en évidence que les variables libellées, représentées en rouge sur le plan factoriel, contribuent de manière significative à la structuration de l'espace des données.

L'analyse de corrélation révèle que les variables F B, T i, M T, T 3, F L, LT 4, T 4, LT 3, M L et T 6 se situent à proximité du cercle de corrélation, indiquant une forte corrélation avec le premier axe ainsi qu'entre elles, formant ainsi un groupe cohérent. En revanche, les variables W D et F e, positionnées au centre du cercle, présentent une faible corrélation entre elles et avec le groupe précédent. Par ailleurs, la variable W L se distingue vis-à-vis des autres variables, témoignant d'une indépendance relative.

Il est possible de déduire que les variables fortement représentées sur le premier axe partagent vraisemblablement des bases génétiques communes. En revanche, la variable neutre W L présente une particularité génétique marquée, se distinguant nettement des autres variables étudiées.

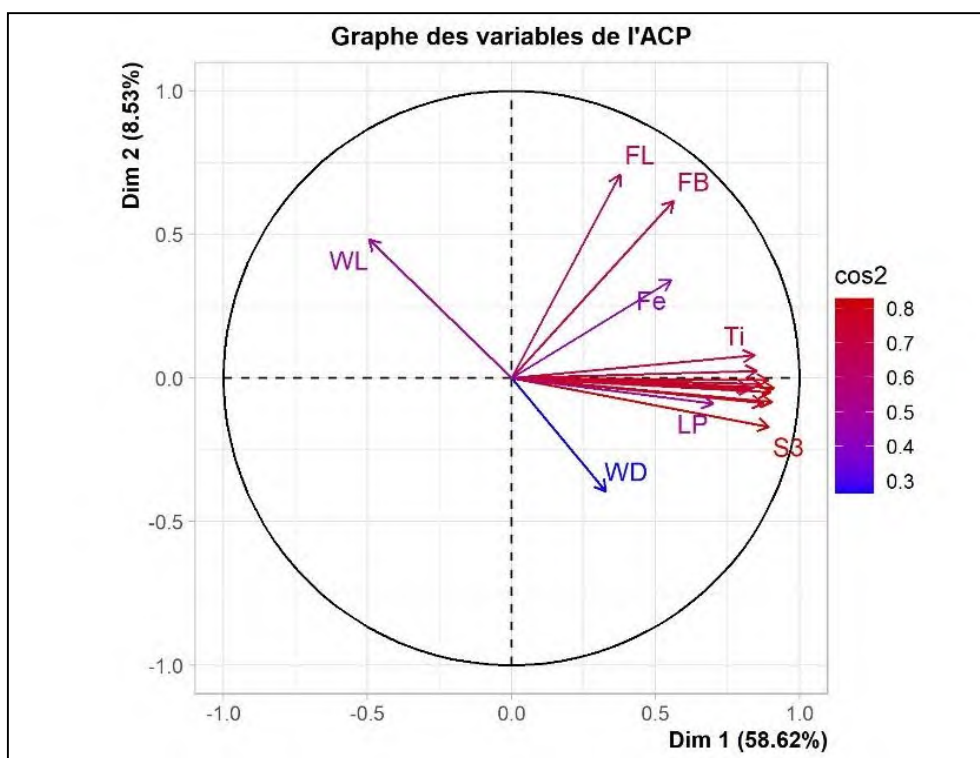


Figure 29: Cercle de corrélation des variables

La contribution des variables sur les cinq dimensions est illustrée dans le tableau 08. On justifie la distance des caractères (F L), (F B), (F e), (W D) et (W L) du cercle de corrélation des variables analysées par leurs contributions sur d'autres dimensions que Dim1 et Dim2. Ils apportent leur contribution, comme suit : dimension : 2, 2, 5, 3 et 3.

Tableau 08 : Contribution des caractères sur les cinq premières dimensions

	Dimension 1	Dimension 2	Dimension 3	Dimension 4	Dimension 5
F L	0,14	0,50	0,07	0,09	0,06
F B	0,32	0,38	0,02	0,00	0,08
F e	0,31	0,12	0,01	0,15	0,35
T i	0,71	0,01	0,00	0,00	0,03
M T	0,73	0,00	0,00	0,01	0,00
M L	0,67	0,00	0,01	0,00	0,00
L T 3	0,82	0,01	0,00	0,01	0,00
T 3	0,81	0,00	0,01	0,03	0,01

LT 4	0,83	0,00	0,00	0,01	0,00
T 4	0,74	0,00	0,00	0,05	0,01
W T	0,79	0,00	0,00	0,02	0,00
W D	0,11	0,16	0,34	0,31	0,08
S 3	0,80	0,03	0,06	0,00	0,00
W L	0,25	0,23	0,32	0,09	0,00
T 6	0,69	0,00	0,09	0,02	0,01
L 6	0,77	0,01	0,00	0,01	0,01
L P	0,49	0,01	0,02	0,00	0,07

4.3.2 Classification ascendante hiérarchique (CAH)

L'analyse en classification ascendante hiérarchique a abouti à l'identification de 4 classes. (Figure 30)

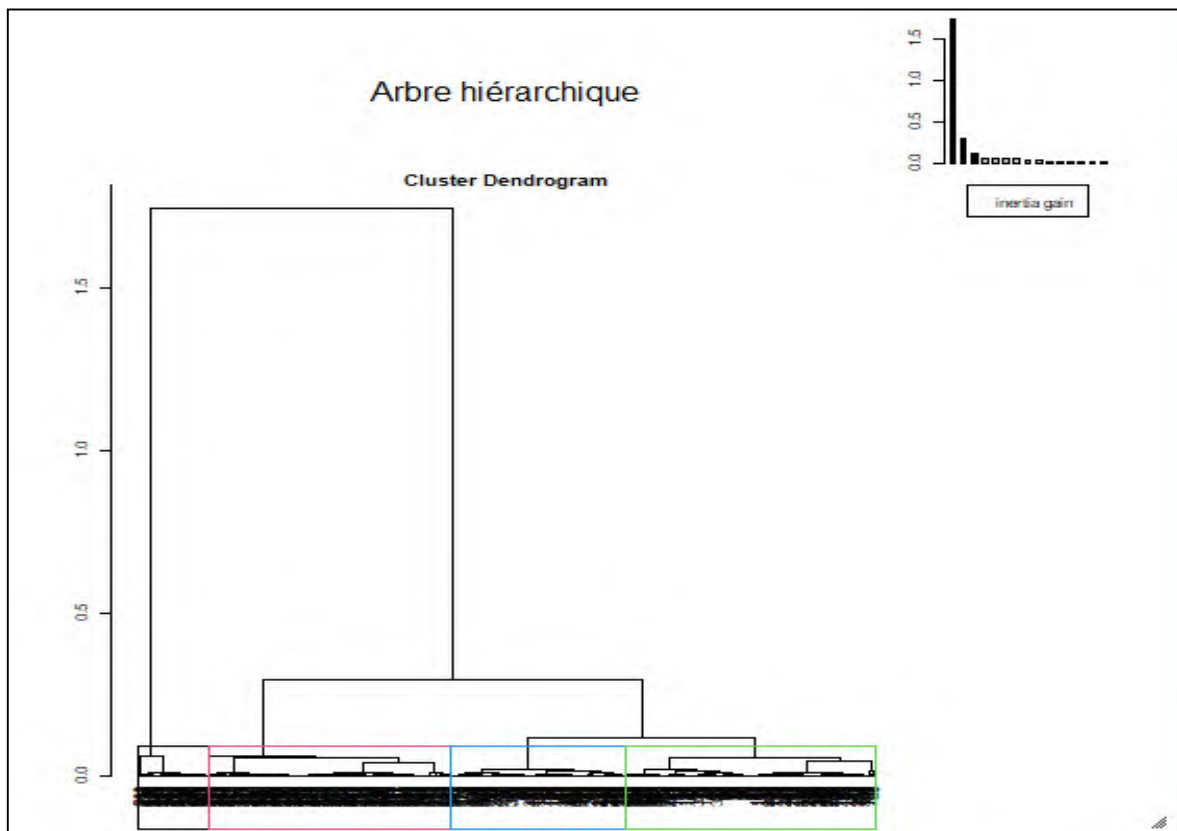


Figure 30 : Dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique

L'analyse menée sur les individus a permis d'identifier quatre groupes distincts. Trois de ces classes apparaissent regroupées, respectivement colorées en rouge, vert et bleu, tandis que la quatrième classe, isolée et représentée en noir, Elle présente des caractéristiques spécifiques qui pourraient être attribuées à plusieurs facteurs, notamment :

- La différenciation d'âge des abeilles.
- Une hétérogénéité génétique au sein des populations.
- La fécondation des reines par plusieurs mâles, favorisant la diversité génétique.
- La tolérance des colonies à l'entrée d'abeilles étrangères dans la ruche

La description détaillée des classes est la suivante :

- **Classe 1 (noire)** : Regroupe les individus issus de la région de Chlef, caractérisés par des valeurs élevées de la variable WL.
- **Classe 2 (rouge)** : Comprend les individus des régions de Mascara, Oran et Ain Temouchent, présentant des valeurs faibles pour les variables FL, FB, Fe, LP, WL, Ti et LT 4, classées de la plus extrême à la moins extrême.
- **Classe 3 (verte)** : Regroupe des individus des régions de Tlemcen 2, Blida et Sidi Bel Abbès, marqués par des valeurs élevées des variables FB, FL, LT 4, L 6, LT 3, Ti, Fe, MT, T 6 et T 3, classées de la plus extrême à la moins extrême.
- **Classe 4 (bleue)** : Correspond aux individus des régions de Tlemcen(1 et 3), caractérisés par de fortes valeurs pour les variables LP, LT 4, Ti, ML, LT 3, T 3, T 4, WT, FL et MT, également classées de la plus extrême à la moins extrême.

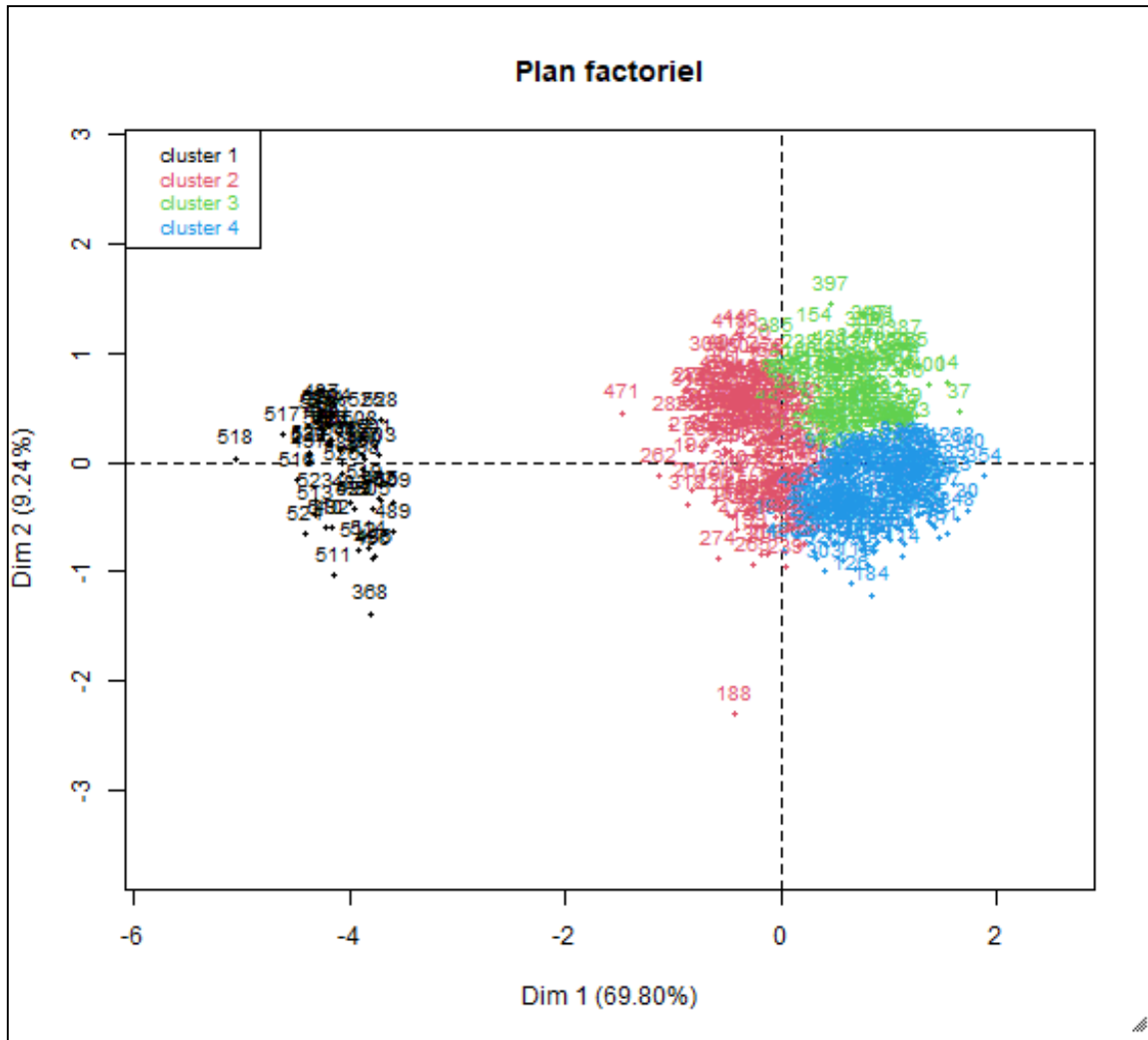


Figure 31 : Classification ascendante hiérarchique des individus

Il apparaît clairement que toutes les variables présentent une association significative avec les classes définies, comme l'indique le tableau 09. L'intensité de cette liaison, mesurée par le coefficient η^2 , correspond au carré du coefficient de corrélation entre chaque variable quantitative et la variable qualitative représentant les classes. Cette mesure permet d'évaluer si la corrélation observée est significativement différente de zéro.

Ce tableau met en évidence les variables qui contribuent le plus efficacement à la discrimination entre les classes, c'est-à-dire celles qui participent activement à la définition de la partition. Parmi celles-ci, la variable longueur du tergite 3 (LT3) se distingue comme le critère le plus discriminant, avec une valeur p extrêmement significative ($P = 1,37 \times 10^{-246}$).

Tableau 09 : Lien des variables étudiés avec la partition

	Eta ²	P value
LT 3	0,89	$1,37 \times 10^{-246}$
LT 4	0,79	$5,40 \times 10^{-177}$
S 3	0,77	$6,26 \times 10^{-169}$
L P	0,75	$1,48 \times 10^{-159}$
T 3	0,74	$5,28 \times 10^{-155}$,
W T	0,73	$2,38 \times 10^{-150}$
L 6	0,71	$2,74 \times 10^{-142}$
T 4	0,67	$3,81 \times 10^{-126}$
M T	0,64	$6,26 \times 10^{-117}$
T I	0,63	$2,33 \times 10^{-112}$
M L	0,61	$7,34 \times 10^{-108}$
T 6	0,58	$4,44 \times 10^{-98}$
F B	0,38	$4,71 \times 10^{-54}$
F L	0,36	$9,11 \times 10^{-50}$
W L	0,34	$1,97 \times 10^{-46}$
F e	0,30	$6,49 \times 10^{-40}$
W D	0,10	$1,01 \times 10^{-11}$

Il convient de souligner que le seuil de signification retenu dans cette étude est de 0,05. Le tableau 10 met en évidence la contribution discriminante des variables étudiées pour chaque classe. En effet, lorsque la valeur du v-test d'un paramètre quantitatif au sein d'une classe est inférieure à -2, cela indique que la moyenne de ce paramètre dans cette classe (Mean in category) est significativement inférieure à la moyenne globale (Overall mean).

Dans notre analyse, la plupart des caractères présentent une valeur du test F inférieure à -2, témoignant d'une valeur en dessous de la normale. À l'exception notable du caractère WL, dont la valeur du v-test est supérieure à -2, indiquant une valeur au-dessus de la normale.

Tableau 10 : Description des classes par les variables quantitatives.

	Test F	Moyenne dans la catégorie	Moyenne globale	Écart-type dans la catégorie	Écart-type global	Valeur p
W L	13,25	1,55	1,19	0,07	0,20	4,59E-40
F L	-3,29	7,55	7,73	0,23	0,40	9,89E-04
W D	-7,28	0,19	0,28	0,04	0,08	3,26E-13
F B	-7,31	2,45	2,58	0,10	0,13	2,70E-13
F e	-8,32	1,78	2,16	0,12	0,34	8,66E-17
L P	-14,60	2,99	4,48	0,42	0,75	2,91E-48
T 6	-16,80	1,89	2,60	0,18	0,31	2,25E-63
T i	-16,98	1,77	2,33	0,05	0,24	1,08E-64
M L	-17,18	1,14	1,72	0,05	0,25	3,71E-66
M T	-17,85	0,68	1,02	0,06	0,14	2,65E-71
T 4	-18,38	1,24	1,78	0,08	0,21	2,02E-75
L 6	-18,95	1,47	2,10	0,10	0,24	4,02E-80
LT 4	-19,13	5,15	6,96	0,18	0,69	1,31E-81
W T	-19,40	1,30	1,91	0,12	0,23	7,22E-84
T 3	-19,41	1,30	1,83	0,05	0,20	5,92E-84
S 3	-20,14	0,77	2,14	0,05	0,50	3,59E-90
LT 3	-21,17	4,84	7,39	0,23	0,89	1,98E-99

III.3.4. Analyse de la variance (ANOVA) de la population étudiée

L'analyse statistique par ANOVA révèle que pour l'ensemble des paramètres morphométriques quantitatifs étudiés, la valeur p est inférieure au seuil de signification fixé à $\alpha = 0,05$. Cela indique l'existence de différences hautement significatives entre les régions considérées concernant tous les caractères mesurés (Tableau 11).

Tableau 11 : ANOVA des mesures morphométriques par région

Caractère	Somme au carré	Moyenne au carré	Valeur de F	Probabilité de F
FL	33,34	4,18	27,21	$< 2 \times 10^{-16}$
FB	3,97	0,50	46,33	$< 2 \times 10^{-16}$
Fe	20,68	2,58	34,08	$< 2 \times 10^{-16}$
Ti	19,76	2,47	113,20	$< 2 \times 10^{-16}$
MT	7,14	0,89	147,00	$< 2 \times 10^{-16}$
ML	21,27	2,66	123,70	$< 2 \times 10^{-16}$
LT 3	371,60	46,45	544,00	$< 2 \times 10^{-16}$
T 3	16,88	2,11	224,30	$< 2 \times 10^{-16}$
LT 4	200,61	25,08	237,60	$< 2 \times 10^{-16}$
T 4	16,82	2,10	152,00	$< 2 \times 10^{-16}$
WT	21,59	2,70	206,80	$< 2 \times 10^{-16}$
WD	0,59	0,07	12,49	$< 2 \times 10^{-16}$
S 3	105,09	13,14	250,00	$< 2 \times 10^{-16}$
WL	7,87	0,98	39,60	$< 2 \times 10^{-16}$
T 6	29,08	3,64	91,18	$< 2 \times 10^{-16}$
L 6	22,43	2,80	171,90	$< 2 \times 10^{-16}$
LP	152,00	19,00	67,99	$< 2 \times 10^{-16}$

Le test post-hoc, ou test de comparaisons multiples de Tukey (Tukey HSD), a été appliqué afin d'identifier les différences significatives entre les régions au regard des paramètres morphométriques étudiés. Les principaux résultats peuvent être résumés comme suit :

- Concernant la longueur de l'aile antérieure droite, une similitude significative est observée entre les régions de Sidi Bel Abbès et Ain Tmouchent, avec une valeur p de 0,99.
- Pour la largeur de l'aile antérieure droite, une ressemblance notable est constatée entre les régions d'Oran et Ain Temouchent, avec une valeur p égale à 1,00.
- En ce qui concerne la longueur du fémur, les régions de Mascara et Ain Temouchent présentent des valeurs similaires, avec une valeur p de 1,00.
- Pour la longueur du tibia et du métatarse, une correspondance significative est relevée entre les régions de Blida et Tlemcen, avec une valeur p également égale à 1,00.

- Pour la largeur du métatarse, une similitude significative est observée entre les régions de Tlemcen et Oran, avec une valeur p de 1,00.
- En ce qui concerne la largeur et la longueur des tergites 3 et 4, une correspondance marquée est notée entre les régions de Sidi Bel Abbès et Tlemcen, avec une valeur p de 1,00.
- Pour la sternite 3, une similarité est relevée entre les régions de Sidi Bel Abbès, Blida et Mascara. Par ailleurs, en ce qui concerne la sternite 6, les régions de Sidi Bel Abbès et Mascara présentent également des valeurs proches pour ce caractère.
- Enfin, la longueur de la langue révèle une ressemblance notable entre les régions de Sidi Bel Abbès, Oran et Mascara, avec une valeur p égale à 1.00.

4.3.3 Indice de diversité de Shannon et Weaver

L'indice de diversité de Shannon et Weaver (H') a été calculé à l'aide du logiciel Excel afin d'évaluer le niveau de diversité au sein de la population étudiée, selon la formule suivante :

$$H' = -\sum p_i \ln(p_i)$$

où p_i représente la proportion de chaque modalité dans la population.

Le taux de diversité obtenu est de 0,85 (Tableau 12), ce qui constitue une valeur relativement élevée, suggérant une diversité génétique notable au sein de la population analysée.

Tableau 12 : Indice de Shannon et Weaver H' de chaque caractère étudié

Paramètres morphométriques	H'
FL	0,91993956
FB	0,99455437
Fe	0,96021913
Ti	1,04676919
MT	0,95464861
ML	0,95650473
LT3	0,94131278
T3	0,96923409

LT4	0,96391679
T4	0,96495101
WT	0,96764113
WD	0,86127968
WL	0,96440087
S3	0,93886017
T6	0,96338451
L6	0,96226715
LP	0,91617293
18	15,32611714
$\Sigma H'$	0,851450952

4.4 La géo-morphométrie des ailes antérieures droites de *Apis mellifera intermissa*

4.4.1 Analyse des composants principale (ACP)

➤ Distribution de l'inertie

Dans l'Analyse en Composantes Principales (ACP), une grande partie des variations est représentée par les deux premiers axes, l'inertie la plus élevée est de 15.50% de variance expliquée par l'axe 1 (Figure 32). Ce résultat ne dispense pas de l'observation de l'inertie expliquée par l'axe 2, qui a une valeur non négligeable de 8,90%.

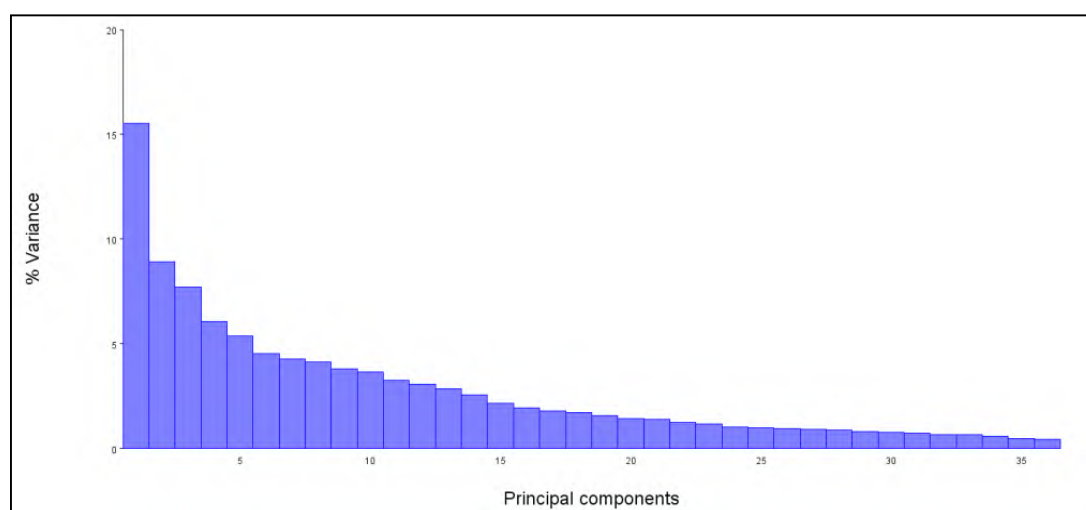


Figure 32 : Graphique illustrant la répartition de l'inertie totale.

➤ Description de l'ACP

L'observation des modifications de la conformation alaire des deux premiers axes de L'ACP indique qu'il existe une ressemblance entre toutes les zones, à l'exception des ailes d'abeilles des régions de Chlef et Oran. On constate généralement cette différence aux niveaux des points de repère 6 , 7 et 13 (Figure 33).

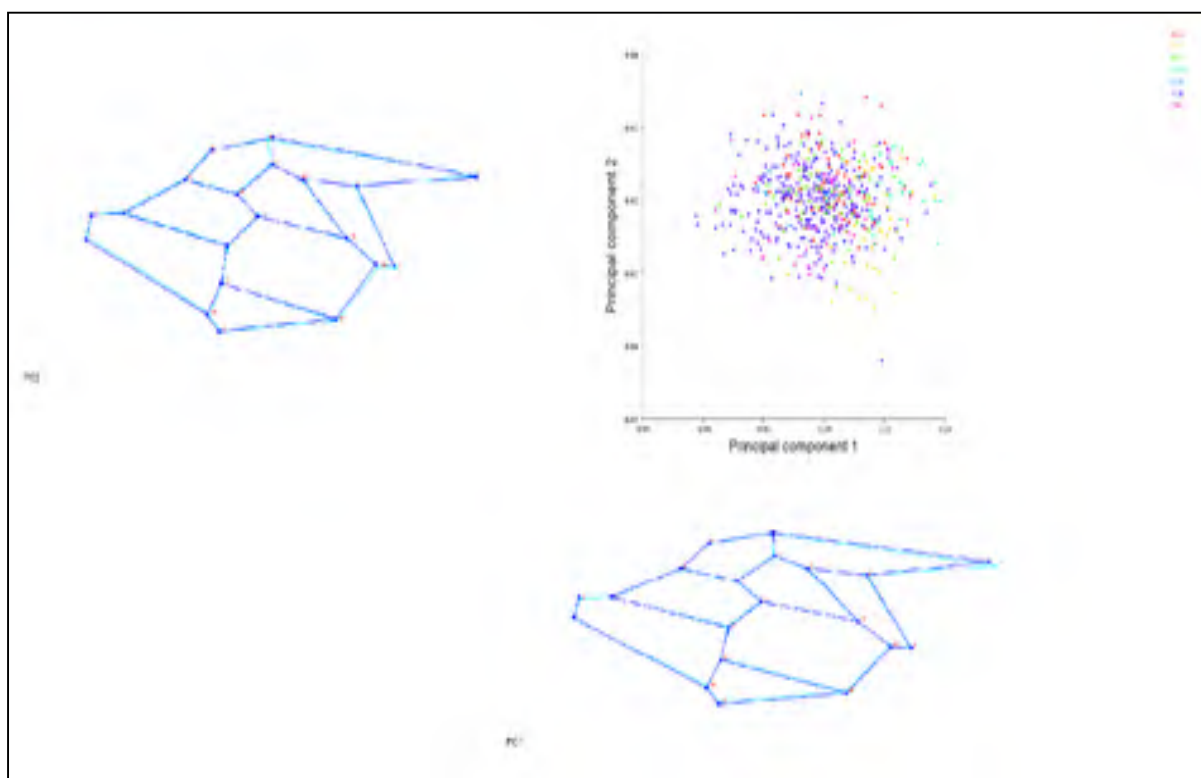


Figure 33 : Analyses des composants principaux des 2 axes

4.4.2 Les analyses des variantes canoniques

Cette étude vise à déterminer la présence d'une similitude dans la répartition des 20 points de repère sur 530 ailes antérieures droites d'abeilles domestiques prélevées dans le nord-ouest de l'Algérie. (Figure 34).

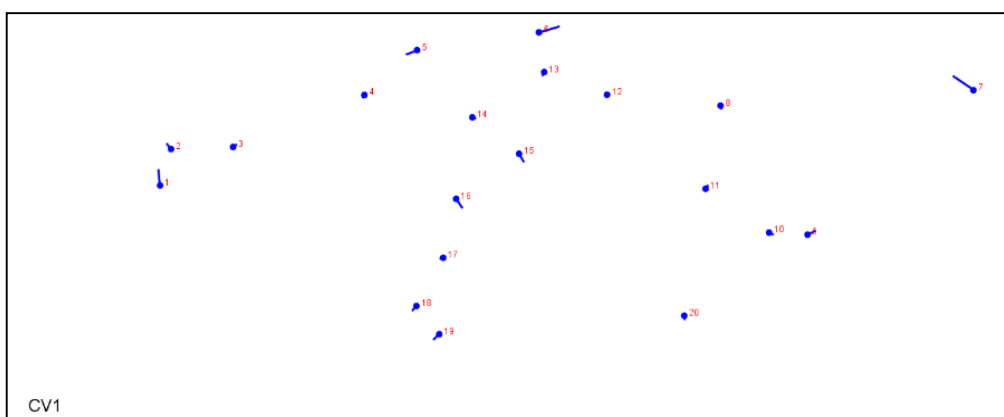


Figure 34 : Positionnements des 20 point de repères sur les 02 premiers axes de l'ACV

L'illustration des variantes canoniques des axes 1 et 2 des 530 ailes montre que 63,60 % de la variation globale est considérée pour notre ensemble de données.

Les analyses des variables canoniques révèlent que la majorité des individus, toutes régions confondues, forment un regroupement central, traduisant une forte homogénéité et une ressemblance marquée entre eux. Toutefois, quelques individus provenant des régions de Chlef, Blida et Oran s'écartent de ce schéma (Figure 35).

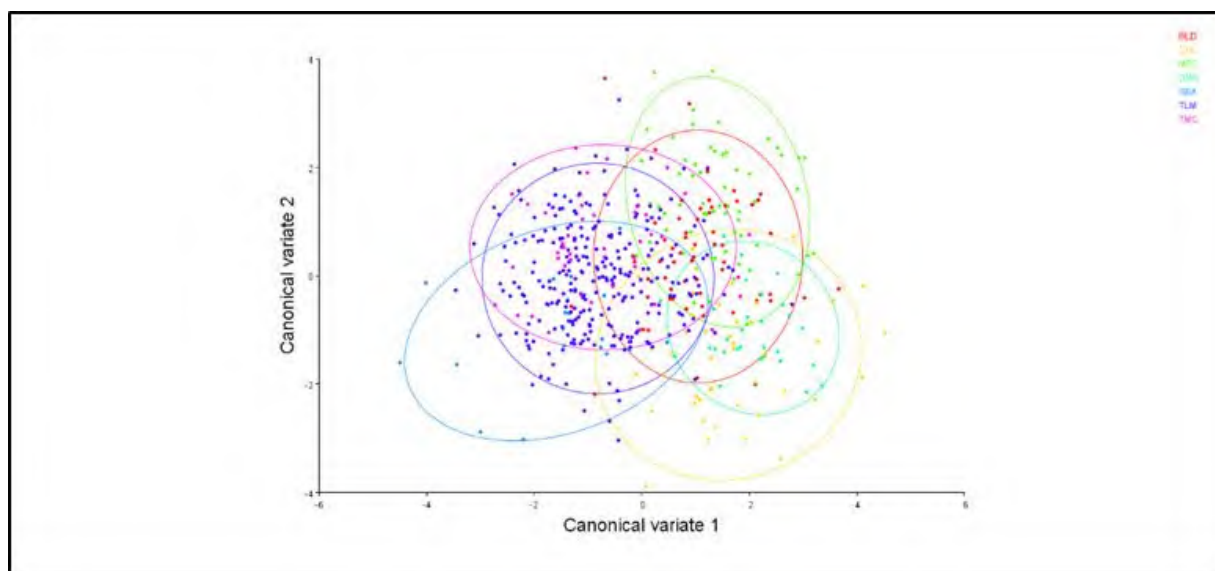


Figure 35 : Représentation graphique des variantes canoniques des axes 1 et 2

➤ **Distance de Mahalanobis (D^2) :**

La distance de Mahalanobis (D^2) a été exploitée afin d'évaluer la similitude entre les groupes d'individus et démontrer que tous les groupes présentent des différences significatives les uns par rapport aux autres, en se basant sur 1000 permutations (Tableau 13).

Tableau 13 : Résultats des distances de Mahalanobis.

	BLD	CHL	MSC	ORN	SBA	TLM
CHL	2,534					
MSC	2,002	3,138				
ORN	3,272	3,318	3,324			
SBA	3,997	4,437	4,412	4,937		
TLM	2,282	3,098	2,764	3,676	2,989	
TMC	2,742	3,480	2,914	4,019	3,698	1,718

Les distances de Mahalanobis calculées par l'analyse canonique discriminante (CVA) entre les six groupes se sont révélées hautement significatives ($p < 0,0001$). La classification des individus dans leurs groupes respectifs met en évidence un faible niveau de mélange entre les populations. Il apparaît toutefois que le groupe d'individus provenant de la région de Tlemcen présente une distance de Mahalanobis nettement plus élevée que celle observée pour les autres groupes, lesquels affichent une forte similarité entre les individus échantillonnés.

4.5 La géo-morphométrie des ailes antérieures droites de l'abeille saharienne

4.5.1 Analyse des composants principale (ACP)

➤ Distribution de l'inertie

La majorité des analyses de variances dans l'ACP sont exprimées par les deux premiers axes, l'inertie la plus élevée est de 19.02% expliquée par l'axe 1 (Figure 36). Ce résultat ne dispensera pas de l'observation de l'inertie expliquée par l'axe 2 et qui est non négligeable soit une valeur de 15.10%. Leur somme globale est de 34.12%, tandis que les axes 3 et 4 expliquent respectivement 10.24%, 8.12% de la variation totale de 52.49.

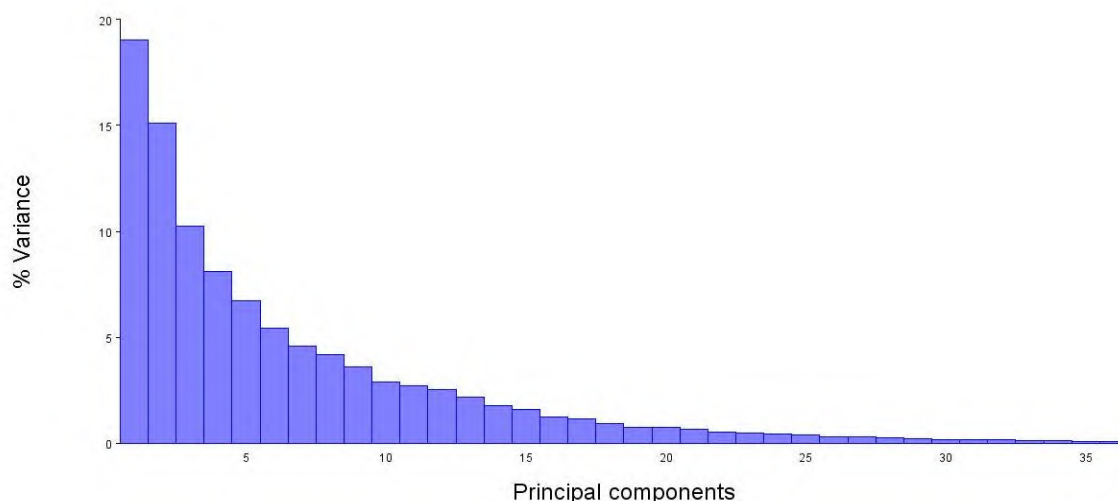


Figure 36 : Graphique illustrant la répartition de l'inertie totale.

➤ **Description de l'ACP**

L'observation des modifications de la conformation alaire des deux axes de L'ACP indique qu'il y a une dissimilarité entre l'ensemble des régions, mis à part les ailes d'abeilles de la région de Bechar (Benzireg) (Figure 37).

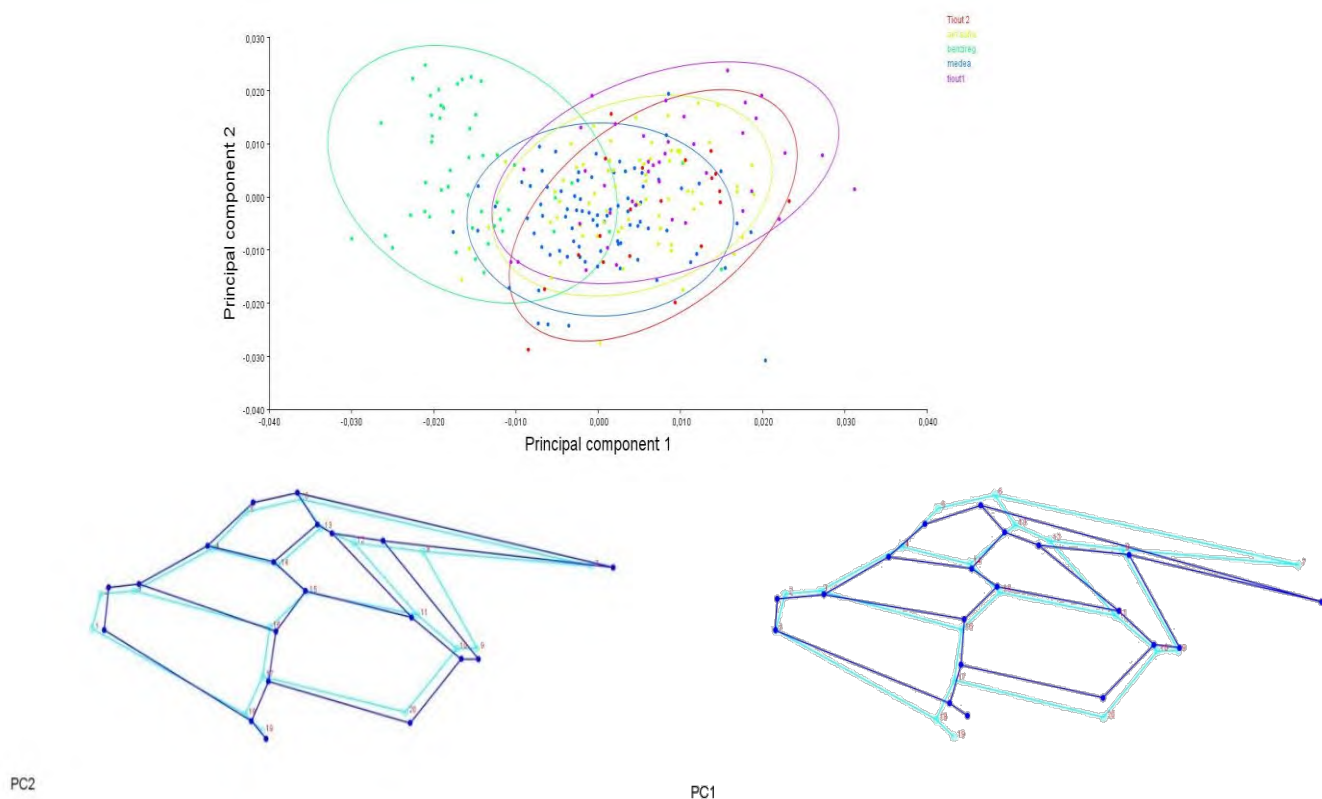


Figure 37 : Analyses des composants principaux des 2 axes

4.5.2 Les analyses des variantes canoniques

Dans cette étude, nous nous intéressons à identifier la présence d’une dissimilarité dans la distribution des 20 points de repères sur 261 ailes antérieures droites des abeilles saharienne échantillonnées (Figure 38).

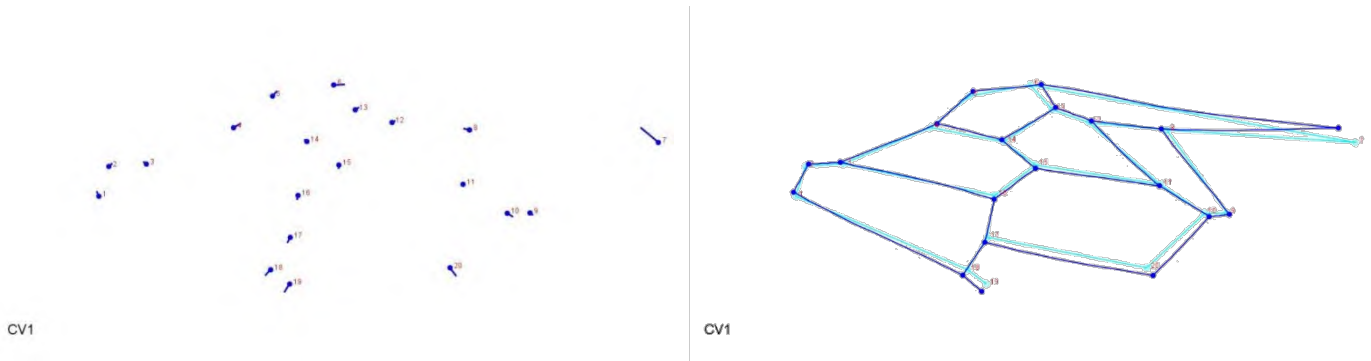


Figure 38 : Positionnements des 20 point de repères sur le premier axe de l'ACV

La représentation graphique des 261 ailes dans le plan [CV1, CV2] montre que 73.47% de la variation totale est prise en compte pour notre jeu de donnée (Figure 39).

Les analyses des variables canoniques informent que l’ensemble de la plupart des individus des régions Tiout 1 et Tiout 2 suggérant une bonne homogénéité et une similarité des individus ainsi pour les régions de Ain Safra et Medea, par contre une dissimilarité importante entre les individus de la région de Bechar et Tiout 1 (Fig 39).

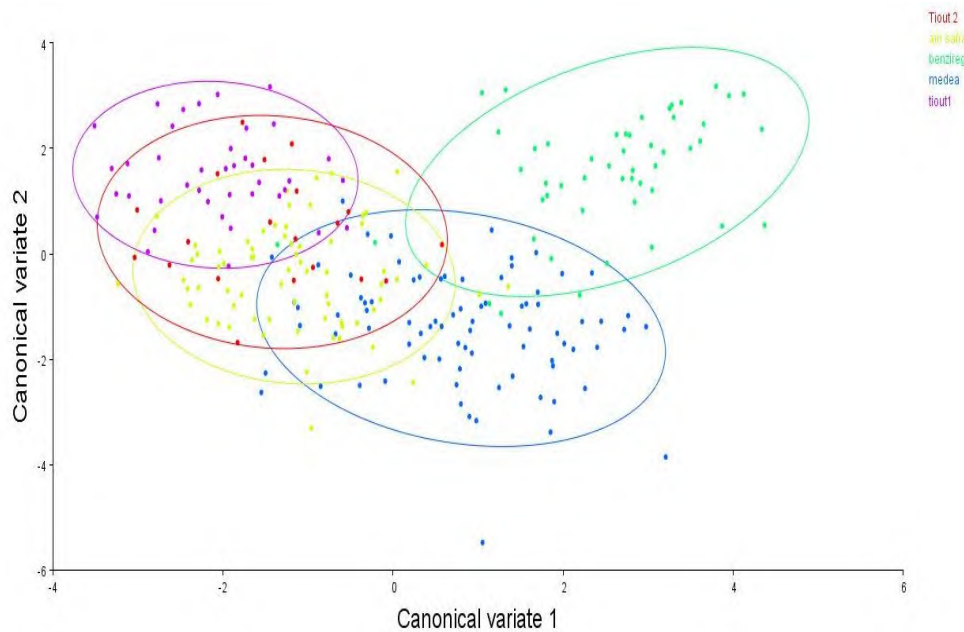


Figure 39 : Représentation graphique des variantes canoniques 1 et 2

➤ **Distance de Mahalanobis (D^2) entre groupes**

La distance de Mahalanobis (D^2) a été exploitée afin d'évaluer la similitude entre les groupes d'individus et démontrer que tous les groupes présentent des différences significatives les uns par rapport aux autres, en se basant sur 1000 permutations.

Tableau 14 : Résultats des distances de Mahalanobis entre les groupes

	Tiout 2	Ain safra	Benzireg	Medea
Ain safra	3,0022			
Benzireg	4,5925	4,334		
Medea	3,4959	3,2306	3,6523	
Tiout1	2,8311	3,5929	4,9611	4,1595

Pour obtenir une meilleure compréhension des taux de similarité et de dissimilarité entre les échantillons, les distances Mahalanobis (D^2) ont été calculées. Dans l'ensemble, les populations ne présentaient pas de différences significatives dans les formes géométriques, à l'exception de points spécifiques. La dissimilarité statistique la plus élevée était entre la localité de Benzireg (Bechar) et Tiout 1 (Naama), avec un score de distance de 4.96. En revanche, les populations les plus proches étaient celles de Ain Safra et de Tiout 2, avec un score de 3.00 (Tableau 14).

5. Discussion

La santé de l'abeille constitue aujourd'hui un enjeu majeur, marqué depuis plus d'une décennie par l'affaiblissement et les pertes récurrentes de colonies. Ces mortalités sont la conséquence d'une combinaison complexe de facteurs environnementaux, pathogènes, chimiques et biologiques, pouvant fragiliser durablement les colonies. C'est dans ce contexte que nous avons entrepris d'étudier les interactions entre différents facteurs affectant la santé de l'abeille domestique locale *Apis mellifera intermissa* et les pertes inexplicables rapportées par les apiculteurs.

Nos résultats montrent que seulement 15,8 % des apiculteurs possèdent plus de 200 ruches, confirmant que l'apiculture en Algérie demeure principalement une activité secondaire, largement pratiquée par des amateurs. Le faible niveau de technicité observé dans cette catégorie d'apiculteurs peut constituer un facteur de vulnérabilité, favorisant l'installation et la

propagation des maladies. Ainsi, la technicité apparaît comme un élément clé dans la gestion sanitaire des ruchers. Par ailleurs, une proportion importante des apiculteurs (70 %) s'appuie uniquement sur l'essaimage artificiel pour agrandir leurs ruchers. Or, cette pratique peut accroître la sensibilité des colonies aux agents pathogènes (Tarpy, 2003 ; Meixner et al., 2010) et faciliter la transmission des maladies (Genersch, 2010).

La transmission des maladies peut suivre deux voies : verticale, de la reine vers sa descendance, généralement moins virulente, ou horizontale, entre individus d'une même colonie ou de colonies différentes. Ce dernier mode est le plus préoccupant (Fries et Camazine, 2001), notamment lorsqu'il est amplifié par la transhumance. Dans notre enquête, 73 % des ruchers prospectés étaient transhumants, confirmant le rôle déterminant de cette pratique dans la diffusion des pathogènes.

Cette étude, menée dans 15 régions d'Algérie (Tlemcen, Aïn Témouchent, Mascara, Chlef, Tissemsilt, Aïn Defla, Tipaza, Alger, Blida, Boumerdès, Bouira, Béjaïa, Constantine, M'sila et Djelfa), met en évidence l'importance des conditions environnementales dans la dynamique des maladies apicoles. Comme l'a signalé le MADR (2017), la productivité apicole varie fortement selon les régions, et les zones à forte production sont souvent associées à une pratique plus intensive de la transhumance (Chahbar, 2017), facteur reconnu pour favoriser la propagation des maladies (Fernandez et Coineau, 2007).

La disponibilité des ressources mellifères influence également la diffusion des pathogènes. Lorsque les ressources sont abondantes, les butineuses parcourent en moyenne 2 km, limitant les contacts entre colonies. En revanche, dans les environnements pauvres, certaines abeilles parcourent plus de 6 à 9 km, augmentant ainsi les risques de transmission. De plus, la localisation du rucher peut créer des microclimats favorables au développement de maladies. Ainsi, un rucher installé à Bouchaoui (Alger) a présenté un taux exceptionnellement élevé (72,72 %) d'infections fongiques (Chahbar, 2017), expliqué par un environnement mal ensoleillé et humide, propice au développement des mycoses (Flores et al., 1996).

Enfin, des facteurs environnementaux indirects peuvent aussi contribuer à la fragilisation des colonies. L'infestation des eucalyptus par le psylle depuis 2011 en Algérie entraîne une forte production de miellat, dont la consommation favorise le développement de pathologies comme la nosérose et certains virus, en raison de sa composition riche en sucres peu digestibles et en sels minéraux (Bruneau, 2006).

Le changement climatique constitue un facteur supplémentaire de déséquilibre, en induisant un décalage entre la phénologie des ressources florales et le cycle biologique des colonies. Ce désajustement affecte directement la disponibilité et la qualité des apports alimentaires, impactant la vitalité et la résistance des abeilles (Potts et al., 2010).

Dans notre enquête, 49,7 % des apiculteurs ont rapporté des pertes anormales durant l'hiver, 37,2 % en été, 33,1 % en automne et seulement 10 % au printemps. Ces résultats concordent avec les données internationales, où les pertes hivernales représentent la période la plus critique. En Europe, les taux de pertes varient entre 6,3 et 21,7 % en 2008-2009, puis entre 8 et 37,8 % en 2009-2010 selon les pays (van der Zee et al., 2012). Aux États-Unis, la période des pertes hivernales s'étale sur six mois (avril–octobre), ce qui complique les comparaisons directes avec l'Europe (Lee et al., 2015).

En Algérie, les pertes hivernales n'ont pas encore fait l'objet d'analyses systématiques, mais nos résultats montrent qu'elles atteignent parfois des niveaux comparables à ceux observés dans certains pays européens ou méditerranéens (Mutinelli et al., 2010 ; Brodschneider et al., 2010 ; Pirk et al., 2014). Néanmoins, d'autres pays présentent des pertes nettement inférieures, comme la Chine (< 5 %) ou la Norvège (~10 %) (Van der Zee et al., 2012). Ces différences régionales confirment que les pertes hivernales ne reflètent pas toujours fidèlement la mortalité annuelle totale. Comme le soulignent Steinhauer et al. (2014), l'évaluation sur l'ensemble de l'année est indispensable pour appréhender correctement l'ampleur des pertes.

Enfin, un point préoccupant révélé par notre enquête est la forte proportion d'apiculteurs ayant observé des symptômes compatibles avec le *Colony Collapse Disorder* (CCD). Ainsi, 65 % rapportent la présence d'abeilles mortes devant les ruches, et 22,5 % la découverte d'abeilles mortes en grappe ou au fond des ruches. Ces observations rejoignent les travaux internationaux qui soulignent que le CCD résulte d'une combinaison de facteurs multiples (Le Conte et al., 2010 ; Soroker et al., 2011 ; Dussaubat et al., 2013 ; Oberreiter et Brodschneider, 2020 ; Medina-Flores et al., 2023). Aux États-Unis, Steinhauer et al. (2014) ont montré que les apiculteurs ayant observé les symptômes du CCD ont subi des pertes nettement plus importantes que ceux qui ne les avaient pas constatés.

En conclusion, l'enquête menée auprès des apiculteurs a permis de mettre en évidence que les pertes de colonies en Algérie résultent d'une combinaison de facteurs multiples : technicité limitée des apiculteurs, recours massif à l'essaimage artificiel, transhumance favorisant la

diffusion des pathogènes, contraintes environnementales locales, effets du changement climatique et apparition de symptômes compatibles avec le CCD. Ces résultats confirment que les colonies algériennes ne sont pas épargnées par les problèmes qui affectent l'apiculture mondiale et soulignent la nécessité d'approches intégrées pour la compréhension et la gestion de ces pertes. Dans ce contexte, l'étude morphométrique des abeilles locales prend toute son importance, car elle permet d'évaluer la diversité et l'adaptation des populations d'*Apis mellifera* face aux pressions sanitaires et environnementales identifiées.

La nosérose est l'une des principales pathologies affectant les colonies d'abeilles mellifères, entraînant d'importantes pertes économiques à l'échelle mondiale. L'utilisation d'outils moléculaires, notamment la PCR multiplex, a permis de détecter *Nosema ceranae* et, dans une moindre mesure, *Nosema apis* au sein des populations d'abeilles étudiées. *Nosema ceranae* a été identifié dans plus de 40 % des échantillons, tandis que *Nosema apis* n'a été observé qu'en faible proportion, toujours en co-infection avec *Nosema ceranae*, confirmant des observations antérieures dans des ruchers de l'ouest algérien (Chahbar et al., 2016). Cette tendance illustre également un phénomène mondial de remplacement progressif de *Nosema apis* par *Nosema ceranae* (Klee et al., 2007 ; Gisder et al., 2010 ; Stevanovic et al., 2011 ; Traver & Fell, 2011 ; Martín-Hernández et al., 2018).

L'analyse spatiale montre que la prévalence de *Nosema ceranae* est particulièrement élevée dans les régions centrales du pays, atteignant 100 % à Blida et Chlef, 75 % à Alger et près de 67 % à Médéa. En revanche, des taux beaucoup plus faibles ont été relevés dans les zones montagneuses ou périphériques (25 à 50 % à Khenchela, Sidi Bel Abbès, Sétif et Tlemcen), et aucune infection n'a été détectée à Batna, Tissemsilt et Tipaza. Ces résultats sont inférieurs à ceux observés dans le nord et le sud de l'Algérie (>90 % et >80 %, respectivement ; Adjlane et al., 2015 ; Menail et al., 2016). Les variations régionales pourraient s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment les pratiques apicoles (commerce de reines, déplacements d'ouvrières) et la transhumance, largement pratiquée dans les régions centrales. Bien qu'elle optimise la disponibilité alimentaire et la production, cette dernière facilite également la propagation des agents pathogènes entre ruchers.

Cette distribution spatiale reflète des dynamiques similaires dans d'autres pays du Maghreb et du Moyen-Orient. Par exemple, au sud-est du Maroc, *Nosema ceranae* n'a été détecté que dans 16,1 % des colonies, avec absence de *Nosema apis* (Aglagane et al., 2023). En Arabie saoudite, 58 % des colonies étaient infectées par *Nosema ceranae*, sans présence de *Nosema apis* (Ansari

et al., 2017). En Turquie, une enquête portant sur 40 provinces et plus de 1 100 ruches a montré une prévalence moyenne de 64,3 % par rucher et 40,5 % par ruche, majoritairement due à *Nosema ceranae*, avec de rares co-infections (Akpınar et al., 2024). D'autres pays méditerranéens rapportent des taux similaires : Italie (42,9–>60 % ; Cilia et al., 2022 ; Bordin et al., 2022) et Espagne (>39 % ; Buendía et al., 2018).

Le climat apparaît comme un facteur majeur de propagation des espèces de *Nosema* (Fries et al., 2010 ; Gisder et al., 2010 ; Gisder et al., 2017). Dans les climats chauds, *Nosema ceranae* est plus compétitif que *Nosema apis*, tandis que dans les climats froids, ses spores sont plus vulnérables (Fries et al., 2010 ; Higes et al., 2010 ; Papini et al., 2017). Les études en laboratoire suggèrent que sa dispersion globale est limitée dans les régions froides, car ses spores tolèrent bien la chaleur et la dessiccation, mais sont sensibles au froid (Gisder et al., 2010 ; Ansari et al., 2017). L'impact des conditions climatiques sur sa distribution sur le terrain reste toutefois mal documenté (Fries et al., 2010).

Les niveaux d'infection modérés observés en Algérie, comparés à certaines régions européennes et du Moyen-Orient, pourraient indiquer que les souches locales de *Nosema ceranae* sont moins virulentes ou que les abeilles locales ont développé une certaine tolérance. Cela rejoint des travaux montrant l'absence de signes cliniques malgré des infections (Higes et al., 2007). Ces différences peuvent résulter d'une combinaison de facteurs : diversité génétique des abeilles, pratiques apicoles, environnement et adaptation de la microflore virale et microsporidienne.

L'analyse statistique confirme que la région géographique est un facteur déterminant de la fréquence d'infection, tandis que les ruchers au sein d'une même zone ne présentent pas de différences significatives, suggérant une homogénéité locale des conditions environnementales et apicoles. Ces observations sont cohérentes avec des études menées dans plusieurs pays méditerranéens (France, Italie, Portugal, Espagne), où la présence de *Nosema ceranae* est corrélée à la vigueur des colonies et au remplacement des reines (Jabal-Uriel et al., 2023).

La thermotolérance de *Nosema ceranae* explique en partie ces tendances : ses spores supportent bien la chaleur et la dessiccation, mais sont fragiles aux basses températures, ce qui favorise son expansion dans les climats chauds du Maghreb et du Moyen-Orient (Ansari et al., 2017 ; Jabal-Uriel et al., 2023). Ces conditions climatiques, associées aux pratiques apicoles telles que

la transhumance et le commerce de matériel apicole, contribuent à façonner la distribution de la nosérose.

Notre étude est la première en Algérie à utiliser des outils moléculaires pour distinguer *Nosema ceranae* de *Nosema apis* chez *Apis mellifera intermissa*, surpassant les limites des diagnostics microscopiques en raison de la similitude morphologique des spores (Chahbar et al., 2016). La prédominance de *Nosema ceranae* dans les ruchers algériens s'inscrit dans une dynamique régionale et mondiale, soulignant la complexité des interactions entre pathogène, climat et gestion apicole. Cette étude met en évidence la nécessité de poursuivre les recherches sur la virulence des souches locales, l'adaptation des abeilles et l'impact des pratiques apicoles afin de développer des stratégies de contrôle adaptées à l'échelle régionale.

Parallèlement, l'étude morphométrique des populations d'abeilles du nord-ouest de l'Algérie a révélé une diversité morphologique et génétique notable. Elle s'est focalisée sur l'analyse des caractères morphométriques de l'abeille domestique *Apis mellifera intermissa* dans le nord-ouest de l'Algérie, en combinant morphométrie classique et morphométrie géométrique. L'analyse morphologique constitue la première étape pour caractériser les populations géographiques d'abeilles mellifères (Ruttner, 1988), et ces approches ont été largement utilisées dans des travaux antérieurs en Algérie (Barour, 2005 ; Bendjedid, 2014 ; Chahbar, 2013 ; Khedim et al., 2023).

Les résultats de la morphométrie classique ont révélé une variabilité morphologique notable au sein des populations étudiées. Pour les 17 caractères mesurés, certaines valeurs moyennes diffèrent de celles rapportées dans d'autres études régionales et internationales. Par exemple, la longueur moyenne de la langue pour *A. m. intermissa* est de $4,46 \pm 0,73$ mm, inférieure aux mesures obtenues par Belaid (2011) ($5,7 \pm 0,47$ mm), Berkani (2005) ($6,38 \pm 0,23$ mm) et Grissa (1990) en Tunisie ($6,40 \pm 0,117$ mm). De même, la longueur totale de la patte et la somme des tergites 3 et 4 sont inférieures aux valeurs observées chez les populations marocaines et dans certaines régions d'Algérie orientale (Barour, 2005). En revanche, la longueur et la largeur des sternites abdominaux sont plus élevées que celles rapportées par Ruttner (1976), Shaibi (2009) et Belaid (2011), ce qui pourrait refléter des variations adaptatives locales ou des influences environnementales spécifiques.

L'analyse en composantes principales (ACP) des caractères morphométriques a permis de distinguer quatre groupes distincts au sein des populations étudiées, illustrant la diversité morphologique existant dans la région.

Concernant la morphométrie géométrique, l'analyse des ailes a montré que les deux premiers axes de l'ACV expliquent 49 % de la variabilité totale de la conformation alaire, légèrement inférieure à celle notée par Barour (2005). L'observation des changements de conformation alaire a révélé une certaine homogénéité parmi la majorité des individus, à l'exception des abeilles provenant des sites d'Oum El Alou et de Chlef, ce qui suggère une variabilité locale significative. Cette diversité alaire reflète la richesse génétique des populations d'*Apis mellifera intermissa* et souligne l'importance de la morphométrie géométrique pour détecter des différences subtiles au sein de populations proches géographiquement.

L'intégration des résultats pathologiques et morphométriques suggère que la diversité génétique des abeilles pourrait influencer leur susceptibilité aux infections par *Nosema*, et que les différences locales en termes de pratiques apicoles et de conditions environnementales contribuent à la répartition spatiale de la nosérose.

La thermotolérance de *Nosema ceranae*, capable de résister à la chaleur et à la dessiccation mais vulnérable au froid, pourrait également expliquer sa prédominance dans les régions chaudes du Maghreb et du Moyen-Orient (Ansari et al., 2017 ; Jabal-Uriel et al., 2023).

Ainsi, cette étude représente une avancée significative pour la compréhension de l'épidémiologie de la nosérose et de la diversité morphologique d'*A. m. intermissa* en Algérie. Elle souligne l'importance de poursuivre les recherches sur la virulence des souches locales, les comportements adaptatifs des abeilles et l'impact des pratiques apicoles (transhumance, commerce de matériel) afin de développer des stratégies de contrôle et de conservation adaptées à l'échelle régionale.

Dans l'ensemble, nos résultats confirment que la morphométrie classique et géométrique sont des outils complémentaires essentiels pour caractériser les populations d'abeilles et évaluer leur diversité génétique. Les variations observées peuvent être attribuées à des facteurs environnementaux, à des pratiques apicoles locales, ainsi qu'à des adaptations biologiques des abeilles aux conditions spécifiques de chaque région. Cette étude fournit ainsi une base solide

pour le suivi, la conservation et la gestion des populations d'*Apis mellifera intermissa* dans le nord-ouest de l'Algérie.

L'analyse des formes en biologie a connu un essor considérable au cours des dernières années grâce au développement de la morphométrie géométrique (MG) (Adams et al., 2004 ; Mitteroecker et Gunz, 2009). Cette approche permet d'évaluer la variation écotypique des populations d'abeilles d'Algérie en lien avec les différences phytogéographiques et environnementales.

Dans notre étude, les analyses ont été basées sur la technique des points-repères (landmarks), l'une des méthodes morphométriques les plus utilisées récemment (Barour, 2012), appliquée aux ailes antérieures d'*Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis*. Cette méthode repose sur la comparaison des configurations des points-repères selon l'équation fondamentale :
Forme = Taille + Conformation.

Nos résultats montrent des différences significatives dans les tailles centroïdes des ailes entre individus, colonies et régions. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) révèle une distribution relativement homogène des individus, sans séparation nette des groupes, conformément aux observations de Ruttner (1988) qui soulignent une forte variabilité intrapopulationnelle chez les abeilles sahariennes, liée aux conditions climatiques extrêmes et aux flux génétiques.

En revanche, l'Analyse Discriminante Canonique (CVA) permet une meilleure distinction des populations, confirmant les conclusions de Boukraa et al. (2013) sur la discrimination des populations algériennes selon leur origine géographique. Des résultats similaires ont été rapportés par Dolati et al. (2013) pour *Apis mellifera meda* en Iran. Nos observations concordent également avec celles de Smith et al. (2020), qui indiquent que l'ACP, en tant que méthode non supervisée, maximise la variance globale sans tenir compte des groupes, alors que la CVA optimise la séparation entre populations, expliquant ainsi la meilleure discrimination observée. Selon Tofilski (2008), la morphométrie géométrique permet de classer les individus avec une précision de 90,6 %, contre 86,3 % pour la morphométrie classique.

Nos analyses révèlent que l'ACP tend à montrer une homogénéité apparente, tandis que la CVA permet une meilleure discrimination entre groupes, confirmant les conclusions de Smith et al. (2020). Cela illustre la complémentarité des approches multivariées et l'intérêt de la

morphométrie géométrique pour étudier des populations à forte variabilité intra-régionale (Tofilski, 2008). Enfin, plusieurs auteurs (Meixner et al., 2011 ; Franck et al., 2001) recommandent de coupler la morphométrie avec des données génétiques afin de consolider la classification et d'évaluer plus finement la structuration des sous-espèces locales. Une telle démarche constitue une perspective essentielle pour l'Algérie, où les abeilles sahariennes et telliennes représentent un patrimoine biologique unique face aux changements globaux.

Cependant, l'interprétation des résultats doit tenir compte des facteurs environnementaux et génétiques. Une analyse plus approfondie intégrant des données climatiques et génétiques permettrait de mieux comprendre la différenciation morphologique des populations sahariennes d'*Apis mellifera*. Meixner et al. (2011) ont montré que le couplage de l'analyse morphométrique avec des approches génétiques permet d'affiner la classification des sous-espèces d'abeilles. De même, Franck et al. (2001) ont suggéré que la morphométrie combinée à l'analyse génétique peut éclairer la phylogéographie des abeilles africaines. Une extension future de cette étude pourrait donc inclure des analyses génétiques pour vérifier si les différences morphologiques observées reflètent des variations génétiques réelles.

Nos résultats mettent en évidence que la santé des colonies en Algérie est compromise par une combinaison de facteurs. Les pertes observées sont notamment liées aux pratiques apicoles (fréquence des nourrissements, transhumance, gestion sanitaire), aux conditions environnementales (ressources mellifères limitées, sécheresse, stress thermique), ainsi qu'aux agents pathogènes comme *Nosema spp.*. Ces résultats rejoignent les observations faites en Tunisie (Haddad et al., 2021) et au Maroc (Arous et al., 2020), où la nosémose est identifiée comme l'un des principaux stress pathogènes compromettant la survie des colonies. Des études menées en Égypte (El-Shemy et al., 2019) et en Iran (Mahmoudi et al., 2022) confirment également que *Nosema ceranae* tend à se substituer progressivement à *Nosema apis*, augmentant la prévalence et l'impact de la maladie dans les climats chauds et secs. À l'échelle mondiale, des travaux réalisés en Espagne (Martín-Hernández et al., 2018) et au Canada (Roberts et al., 2020) confirment que *Nosema ceranae* est désormais le pathogène dominant dans de nombreuses régions, renforçant l'hypothèse d'un phénomène global.

Parallèlement, notre enquête révèle que la mortalité des colonies est aggravée par les conditions locales de transhumance. La mobilité importante des ruches, si elle permet d'exploiter les floraisons successives, favorise aussi la propagation des pathogènes entre colonies, comme le soulignent Gray et al. (2019) en Europe. Ces constats renforcent l'idée que la mortalité apicole

est un phénomène multifactoriel, où la synergie entre maladies, environnement et pratiques humaines joue un rôle déterminant (Goulson et al., 2015 ; Brodschneider et al., 2016).

Au-delà des aspects sanitaires, la diversité et l'adaptation morphologique des abeilles locales apparaissent comme un facteur clé de résilience. C'est dans ce contexte que nous avons mobilisé à la fois la biométrie classique et la morphométrie géométrique. La biométrie classique a été appliquée uniquement à *Apis mellifera intermissa*, tandis que la morphométrie géométrique a porté exclusivement sur *Apis mellifera sahariensis*. Cette dissociation méthodologique résulte de la perte accidentelle des photographies d'ailes de *A. m. intermissa*, ce qui a limité la comparaison directe entre les deux sous-espèces. Néanmoins, les analyses effectuées permettent de mettre en évidence une variabilité morphologique significative entre individus et régions. Ces résultats sont cohérents avec les travaux de Boukraa et al. (2013) en Algérie et de Dolati et al. (2013) en Iran sur *A. m. meda*, qui confirment l'importance des approches morphométriques pour discriminer les populations.

Conclusion générale et perspectives

6 Conclusion générale et perspectives

Cette étude a permis d'apporter une vision globale et intégrée de l'apiculture en Algérie, en combinant l'analyse des pratiques apicoles, l'évaluation sanitaire des colonies et la caractérisation morphométrique des populations locales d'abeilles. Les résultats obtenus confirment que la santé des abeilles et la productivité des ruchers sont le produit d'une interaction complexe entre facteurs environnementaux, pratiques apicoles et caractéristiques biologiques des colonies.

L'enquête réalisée auprès des apiculteurs a montré que l'apiculture en Algérie est majoritairement exercée comme activité secondaire, par un nombre important d'amateurs, ce qui se traduit par un faible niveau de technicité. La tranche d'âge dominante se situe entre 41 et 51 ans, tandis que seulement 22,6 % des apiculteurs ont moins de 40 ans. Concernant le niveau d'instruction, près de la moitié des apiculteurs possède un niveau secondaire, 24,9 % sont titulaires d'un diplôme universitaire, et une minorité reste autodidacte ou peu instruite. Cette répartition met en évidence la nécessité d'un renforcement des programmes de formation et de sensibilisation pour favoriser l'adoption de pratiques modernes et durables.

L'étude des pratiques apicoles a révélé que la majorité des apiculteurs (73 %) pratiquent la transhumance et que 70 % d'entre eux utilisent l'essaimage artificiel pour développer leurs ruchers. Ces pratiques, bien qu'essentielles pour optimiser la production de miel et l'alimentation des colonies, constituent également des vecteurs importants pour la propagation de maladies. La gestion sanitaire est hétérogène : la plupart des apiculteurs pratiquent le nourrissage des colonies avec des sirops ou des candi, mais les protocoles et les fréquences d'application varient considérablement. Le renouvellement des cadres est également réalisé à différentes périodes de l'année, selon l'expérience de chaque apiculteur, ce qui influence la dynamique sanitaire et la vitalité des colonies. Ces observations soulignent que la santé des ruchers dépend autant de la technicité et de l'expérience des apiculteurs que de la qualité de l'environnement et de la disponibilité des ressources mellifères.

Sur le plan sanitaire, la détection par PCR a révélé la présence de *Nosema ceranae* dans 43,13 % des échantillons, avec une co-infection par *Nosema apis* dans 5,88 % des cas, tandis que 56,87 % des échantillons étaient indemnes. La présence de *Nosema apis* uniquement en co-infection suggère une dynamique spécifique de ces microsporidies en Algérie. La répartition géographique et la variabilité des taux d'infection mettent en évidence le rôle du

climat et des conditions environnementales dans la propagation de ces pathogènes. Ces résultats constituent le premier rapport sur la présence et la distribution de *Nosema* en Algérie, offrant une base scientifique pour la surveillance et la gestion des maladies apicoles. Ils suggèrent également que certaines populations locales pourraient présenter une résistance génétique, hypothèse à confirmer par des études de génétique moléculaire approfondies.

L'analyse morphométrique classique et géométrique a permis de caractériser les populations locales d'*Apis mellifera intermissa* et d'*Apis mellifera sahariensis*. Les résultats montrent une variabilité importante des caractères mesurés, en termes de taille et de forme, reflétant l'influence de facteurs biologiques, génétiques et écologiques. La morphométrie géométrique s'est révélée plus efficace que la morphométrie classique pour distinguer les colonies, bien que certaines populations locales restent chevauchantes, soulignant la nécessité d'approches complémentaires pour affiner la classification. Ces données morphométriques constituent un outil précieux pour la conservation des sous-espèces locales et la mise en place de programmes d'amélioration et de sélection adaptés.

Enfin, la synthèse des trois volets de l'étude permet de conclure que la santé et la productivité des colonies algériennes dépendent d'une combinaison de facteurs : pratiques apicoles, environnement local, pathogènes et caractéristiques génétiques des populations. Les pertes observées, particulièrement en hiver et en été, confirment que des stratégies de gestion adaptées sont essentielles pour limiter la mortalité et améliorer la résilience des colonies. Les symptômes compatibles avec le Colony Collapse Disorder (CCD), rapportés par une proportion significative des apiculteurs, soulignent la nécessité de renforcer les programmes de surveillance et d'alerte.

7 Perspectives :

Les résultats de cette étude ouvrent plusieurs axes de recherche et de développement pour l'apiculture en Algérie. Il est essentiel de renforcer les analyses moléculaires et génétiques afin d'identifier les agents pathogènes présents dans les ruchers, d'évaluer la résistance des populations locales et de déterminer les facteurs morphologiques et génétiques associés à une plus grande résilience face aux maladies telles que la varroase et la nosérose. La surveillance des résidus chimiques et des métaux lourds dans les produits de la ruche devra également être intégrée pour garantir leur sécurité sanitaire.

Parallèlement, il est nécessaire de développer et de consolider des programmes de formation et d'accompagnement technique pour améliorer la gestion sanitaire et la productivité des ruchers. La promotion de pratiques apicoles durables, incluant une transhumance raisonnée, un nourrissage équilibré et le renouvellement optimal des cadres, contribuera à limiter la propagation des maladies et à maintenir la santé des colonies.

L'étude souligne également l'importance de constituer une base de données nationale sur la morphométrie, la santé et la productivité des abeilles locales, afin de guider les programmes de conservation et de sélection des sous-espèces *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis*. L'adaptation aux changements climatiques, en tenant compte de leur impact sur la phénologie des plantes mellifères et la nutrition des colonies, constitue un autre volet prioritaire pour anticiper et limiter les perturbations de la production apicole autochtone.

Dans la continuité de l'approche intégrant l'analyse biométrique classique et la morphogéométrie alaire, il est envisagé d'étendre cette investigation par le recours au séquençage complet du génome (Whole Genome Sequencing, WGS) appliqué aux populations locales d'*Apis mellifera intermissa* et d'*Apis mellifera sahariensis*. Une telle démarche permettrait également de documenter les signatures adaptatives associées à leur maintien dans des environnements extrêmes et hétérogènes, notamment dans un contexte marqué par la transhumance, l'intensification de l'apiculture et les changements environnementaux. Les données obtenues seraient susceptibles d'orienter la définition d'unités évolutives pertinentes et de fournir des marqueurs moléculaires utiles à la sélection conservatoire, à la gestion raisonnée des ressources génétiques locales et à la mise en place de stratégies de conservation in situ fondées sur des preuves.

Enfin, la collaboration entre chercheurs, apiculteurs et autorités publiques doit être renforcée pour élaborer des politiques de soutien et de protection des abeilles, favorisant la durabilité et la résilience de l'apiculture algérienne.

Références bibliographiques

Références

- Aamidor SE, Yagound B, Ronai I, Oldroyd BP. Sex mosaics in the honeybee: how haplodiploidy makes possible the evolution of novel forms of reproduction in social Hymenoptera. *Biol Lett.* 2018 Nov 28;14(11):20180670. doi: 10.1098/rsbl.2018.0670. PMID: 30487261; PMCID: PMC6283916.
- Abed, F., Bachir-Bouiadjra, B., Dahloun, 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 Journal of Biological Diversity*, 22(1).
- Achou, M. (2007). *Caractérisation morphométrique, biochimique et moléculaire des populations d'abeilles domestiques de l'est algérien. Effets physiopathologiques de son parasite majeur varroa destructor* (Doctoral dissertation, Annaba).
- Adam J., Rothman E.D., Kerr W.E. and 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: 583 - 896.
- Adams, D. C., Rohlf, F. J. and Slice, D. E., 2004. Geometric morphometrics: Ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology*, 71(1), pp. 5-16.
- Adjlane N. and Haddad N., 2014. The first data on hygienic behavior of *Apis mellifera intermissa* in Algeria. *J. Biol. Earth Sci.*, 4 (1): 1–5.
- Aglagane, A., Carra, E., Ravaioli, V., Er-Rguibi, O., Santo, E., Mouden, E. H. E., ... & Frasnelli, M. (2023). Molecular examination of nosemosis and foulbrood pathogens in honey bee populations from southeastern Morocco. *Apidologie*, 54(4), 42
- Aglagane, A., Tofilski, A., Er-Rguibi, O., Laghzaoui, E. M., Kimdil, L., El Mouden, E. H., ... & Aourir, M. (2022). Geographical variation of honey bee (*Apis mellifera* L. 1758) populations in South-Eastern Morocco: A geometric morphometric analysis. *Insects*, 13(3), 288

- Akpınar, R., Ozan, E., Celik, S., Bayram, Y., Akman, A., Kalayci, G., ... & Karaoglu, S. A. (2024). Prevalence and molecular analysis of some important viruses in honey bee colonies in Türkiye: the status of multiple infections. *Archives of Virology*, 169(9), 173
- 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(1), 117.
- Alippi, A. M., Reynaldi, F. J., López, A. C., De Giusti, M. R., & Aguilar, O. M. (2004). Molecular epidemiology of *Paenibacillus larvae* larvae and incidence of American foulbrood in Argentinean honeys from Buenos Aires province. *Journal of Apicultural Research*, 43(3), 135-143.
- Allipi A.M., 1991. A comparison of laboratory techniques for the detection of significant bacteria of the honeybee, *Apis mellifera*, in Argentina. *J. Apic. Res.*, 30: 75 – 80.
- Allipi A.M., 1999 - Disinfecting with hot paraffin. *Am. Bee. J.*, 139 (9): 657.
- 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.
- Alqarni, A. S., Ali, H., Iqbal, J., Owayss, A. A., & Smith, B. H. (2019). Expression of heat shock proteins in adult honey bee (*Apis mellifera* L.) workers under hot-arid subtropical ecosystems. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7), 1372-1376.
- Amakpe F., De Smet L., Brunain M., Ravoet J., Jacobs F.J., Reybroeck W., Sinsin B. and de Graaf D.C., 2015. Discovery of Lake Sinai virus and an unusual strain of acute bee paralysis virus in West African apiaries. *Apidologie*. doi:10.1007/s13592-015-0372-z
- Amdam, G., Ihle, K. E., & Page, R. (2009). Regulation of honeybee worker (*Apis mellifera*) life histories by vitellogenin. *Hormones, Brain and Behavior Online*, 1003-1027.

- Andere C., Garcia C., Marinelli C., Cepeda R., Rodriguez E.M. and Palacio A., 2008 - Morphometric variables of honeybees *Apis mellifera* used in ecotypes characterization in Argentina. *Ecological Modelling*, 214 : 53 – 58.
- Anderson D.L., 1988 - Pathologist report. *New Zealand Beekeeper*, 199: 12 – 15.
- Anderson D.L. and Trueman J.W., 2000. *Varroa jacobsoni* (Acari : Varroidae) is more than one species. *Experimental and Applied Acarology*, 24 (3): 165-189.
- Ansari, M. J., Al-Ghamdi, A., Nuru, A., Khan, K. A., & Alattal, Y. (2017). Geographical distribution and molecular detection of *Nosema ceranae* from indigenous honey bees of Saudi Arabia. *Saudi journal of biological sciences*, 24(5), 983-991
- Arous, A., Bounoua, A., & Tahar, A. (2020). Prevalence of *Nosema ceranae* and *N. apis* in honey bee colonies in Morocco. *Journal of Apicultural Research*, 59(4), 673-681. <https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1708964>
- Ashiralieva, A., & Genersch, E. (2006). Reclassification, genotypes and virulence of *Paenibacillus larvae*, the etiological agent of American foulbrood in honeybees—a review. *Apidologie*, 37(4), 411-420
- Aston D., 2010 - Honey bee winter loss survey for England, 2007-8. *J. Apic. Res.*, 49 (1): 111- 112.
- Ayad, T., & Hasanein, A. M. (2024). How does Spiritual Leadership Drive Employee Performance in the Hospitality Sector? Unraveling the Role of Affective Commitment. *Geo Journal of Tourism and Geosites*, 53(2), 697-705
- Aydin L., Guelegen E., Cakmake E., Girisgino F. and Well H., 2006 - Relation between *Nosema* and chalkbrood diseases, and its complications for an apiary management model. *Bull. Vet. Inst. Pulawy*, (50): 471 – 475.
- Ayup, MM, Gärtner, P., Agosto-Rivera, JL, Marendy, P., de Souza, P. et Galindo-Cardona, A. (2021). Analyse de l'activité des faux-bourdons des abeilles domestiques pendant la saison des amours dans le nord-ouest de l'Argentine. *Insectes* , 12 (6), 566.
- Bailey L. and Ball B.V., 1991. *Honey Bee Pathology*. Academic Press, London

- Bailey L. and Collins M.D., 1982 - Reclassification of *Streptococcus pluton* (White) in a new genus *Melissococcus*, as *Melissococcus pluton* nom. rev.; Comb. nov. *J. Appl. Bacteriol.*, 53: 215 - 217.
- Bailey L., 1963 - The pathogenicity for honey-bee larvae of microorganisms associated with European foulbrood. *J. Insect Pathol.*, 5: 198 – 205.
- Bailey L., 1967 - The effect of temperature on the pathogenicity of the fungus, *Ascosphaera apis*, for larvae of the honeybee, *Apis mellifera*, pp. 162 - 167, in *Insect Pathology and Microbial Control*. Ed. P.A. Van Der Laan, North Holland publish. comp., Amsterdam, 231 p.
- Baldensperger P. J., 1924 - North African bees. *Bee World* , 5: 175 - 176.
- Baldensperger P. J., 1932. Variétés d'abeilles en Afrique du Nord, Proceedings of the five International Congress on Entomology, Paris, France, 829-839.
- Bamford S. and Heath L.A.F., 1989 - The infection of *Apis mellifera* larvae by *Ascosphaera apis*. *J. Apicult. Res.*, 28: 30 - 35.
- Barour C., Tahar A., Radloff S.E. and Hepburn H.R., 2005. Multivariate analysis of honeybees, *Apis mellifera* Linnaeus (Hymenoptera: Apidae) of the northeastern and southern region of Algeria. *African Entomology*, 13 (1): 17 - 23.
- Barour, C. (2012). *Analyse de la biodiversité des populations d'abeilles mellifères apis mellifera intermissa (buttel-reepen, 1906)(Hymenoptera* (Doctoral dissertation, Annaba)
- Bartomeus, I., Ascher, J. S., Wagner, D., Danforth, B. N., Colla, S., Kornbluth, S., & Winfree, R. (2011). Climate-associated phenological advances in bee pollinators and bee-pollinated plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(51), 20645-20649
- Belaid M., 2011 - Effet du parasitisme par *Varroa destructor* sur les paramètres morphométriques et physiologiques de l'abeille ouvrière, *Apis mellifera* L., dans la région médio-septentrionale d'Algérie. Thèse Doctorat. Ecole nati. sup. agro., El-Harrach., 183p.

- Belaid, T. et Bensalem, S. (2020). Les facteurs entraînant le déclin d'*Apis mellifera* : effets des pesticides sur l'altération des fonctions vitales de l'abeille. Mémoire de master de Biodiversité et Environnement. UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA.73
- 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, 28, 84-95
- Berkani M.L., 2008 - Etude des paramètres de développement de l'apiculture algérienne. Thèse Doctorat, Inst. nati. agro., El Harrach, 227 p.
- Berkani M.L., Ghalem. Z. et Benyoucef M.T., 2005. Contribution à l'étude de l'homogénéité de la race locale, *Apis mellifera intermissa* dans les différentes régions du Nord de l'Algérie. Ann. Inst. nati. agro. El Harrach, 26 (1-2) : 15 – 32.
- Berthoud H., Imdorf A., Haueter M., Radloff S. and Neumann P., 2010 - Virus infections and winter losses of honey bee colonies (*Apis mellifera*). J. Apic. Res., 49 (1): 60 - 65.
- Boecking O. and Genersch E., 2008 - Varroosis-the Ongoing Crisis in BeeKeeping. J. Verbr. Lebensm., 2 : 221 – 228.
- Bookstein, F. L., 1991. Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bordin, F., Zulian, L., Granato, A., Caldon, M., Colamonico, R., Toson, M., ... & Mutinelli, F. (2022). Presence of known and emerging honey bee pathogens in apiaries of Veneto region (Northeast of Italy) during spring 2020 and 2021. *Applied Sciences*, 12(4), 2134
- Borges, G., Orozco, R., Benjet, C., Contreras, E. V., Pérez, A. L. J. E., Cedrés, A. J. P. A., ... & Ayuso-Mateos, J. E. L. (2021). (Internet) Gaming Disorder in DSM-5 and ICD-11: A Case of the Glass Half Empty or Half Full:(Internet) Le trouble du jeu dans le DSM-5 et la CIM-11: Un cas de verre à moitié vide et à moitié plein. The Canadian Journal of Psychiatry, 66(5), 477-484

- Bortolotti, L., & Costa, C. (2014). Chemical communication in the honey bee society. *Neurobiology of chemical communication*.
- Botías, C., Martín-Hernández, R., Barrios, L., Meana, A., & Higes, M. (2013). Nosema spp. infection and its negative effects on honey bees (*Apis mellifera iberiensis*) at the colony level. *Veterinary research*, 44, 1-15
- Boukraa, S., Boukraa, L., & Bouslama, Z. (2013). Morphometric characterization of honey bees (*Apis mellifera intermissa*) in Algeria. *African Journal of Biotechnology*, 12(17), 2258-2264.
- 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). *Biodivers. J*, 11, 7-14.
- Bradbear, N. (2010). Le rôle des abeilles dans le développement rural. Manuel sur la récolte, la transformation et la commercialisation des produits et services dérivés des abeilles. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome
- Bratu, I. C., Igna, V., Simiz, E., Dunea, I. B., & Pătruică, S. (2022). The influence of body weight on semen parameters in *Apis mellifera* drones. *Insects*, 13(12), 1141.
- Bresnahan, S. T., Mahony, S., Anton, K., Harpur, B., & Grozinger, C. M. (2025). Intragenomic conflict associated with extreme phenotypic plasticity in queen-worker caste determination in honey bees (*Apis mellifera*). *Genome Biology*, 26(1), 171
- Brodtschneider R., Moosbeckhofer R. and Crailsheim K., 2010 - Surveys as a tool to record winter losses of honey bee colonies: a two year case study in Austria and South Tyrol. *J. Apicul. Res.*, 49 (1): 23 - 30.
- Brodtschneider, R., Gray, A., van der Zee, R., et al. (2016). Preliminary analysis of loss rates of honey bee colonies during winter 2015/16 from the COLOSS survey. *Journal of Apicultural Research*, 55(5), 375-378. <https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1260240>

- Brouwers, E. V. M. (1984). Glucose/fructose ratio in the food of honeybee larvae during caste differentiation. *Journal of Apicultural Research*, 23(2), 94-101
- Bruneau E. et Vandyck J.M., 2008 – Conserver l’abeille noire. *Abeilles et cie*, 125 (4) : 18 - 22.
- Bruneau E., 2006. Nutrition et malnutrition des abeilles. Biodiversité des plantes, une clé pour l’alimentation et la survie de l’abeille. *Abeille et agriculture*. Académie d’agriculture de France. Séance du 14 juin 2006. Pp :1-10.
- Brutscher, L. M., Baer, B., & Niño, E. L. (2019). Putative drone copulation factors regulating honey bee (*Apis mellifera*) queen reproduction and health: A review. *Insects*, 10(1), 8.
- Büchler, R., Costa, C., Hatjina, F., Andonov, S., Meixner, M. D., Conte, Y. L., ... & Wilde, J. (2014). The influence of genetic origin and its interaction with environmental effects on the survival of *Apis mellifera* L. colonies in Europe. *Journal of Apicultural Research*, 53(2), 205-214
- Buendía, M., Martín-Hernández, R., Ornos, C., Barrios, L., Bartolomé, C., & Higes, M. (2018). Epidemiological study of honeybee pathogens in Europe: The results of Castilla-La Mancha (Spain). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 16(2), e0502. <https://doi.org/10.5424/sjar/2018162-11474>
- Burgher-MacLellan, K. L., Williams, G. R., Shutler, D., MacKenzie, K., & Rogers, R. E. (2010). Optimization of duplex real-time PCR with melting-curve analysis for detecting the microsporidian parasites *Nosema apis* and *Nosema ceranae* in *Apis mellifera*1. *The Canadian Entomologist*, 142(3), 271-283
- Burnham, A. J., McLaughlin, F., Burnham, P. A., & Lehman, H. K. (2019). Local honey bees (*Apis mellifera*) have lower pathogen loads and higher productivity compared to non-local transplanted bees in North America. *Journal of Apicultural Research*, 58(5), 694-701

- Carletto, J., Blanchard, P., Gauthier, A., Schurr, F., Chauzat, M. P., & Ribière, M. (2013). Improving molecular discrimination of *Nosema apis* and *Nosema ceranae*. *Journal of invertebrate pathology*, 113(1), 52-55
- Carreck N. L., Ball B. V. and Martin S. J., 2010a - The epidemiology of cloudy wing virus infections in honey bee colonies in the UK. *J. Apic. Res.*, 49 (1): 66 - 71.
- Carreck N. L., Ball B. V. and Martin S. J., 2010b - Honey bee colony collapse and changes in viral prevalence associated with *Varroa destructor*. *J. Apic. Res.*, 49 (1): 93 - 94.
- Carreck, N. L., & Ratnieks, F. L. (2014). The dose makes the poison: have “field realistic” rates of exposure of bees to neonicotinoid insecticides been overestimated in laboratory studies?. *Journal of Apicultural Research*, 53(5), 607-614.
- Carreck, N. L., Andree, M., Brent, C. S., Cox-Foster, D., Dade, H. A., Ellis, J. D., ... & Van Engelsdorp, D. (2013). Standard methods for *Apis mellifera* anatomy and dissection. *Journal of Apicultural Research*, 52(4), 1-40
- Catays, G. (2016). Contribution à la caractérisation de la diversité génétique de l'abeille domestique *Apis mellifera* en France: cas du locus *csd* de détermination du sexe (Doctoral dissertation, École nationale vétérinaire de Toulouse, France)
- Chahbar M., Tefiel H., Adidou-Chahbar N., Doumandji-Mitiche B. and Gaouar S.B.S., 2016. First spatial distribution of nosemosis (*Nosema* sp.) infected local bee, *Apis mellifera intermissa* in Algeria. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 26(2): 357-363.
- Chahbar N., 2013. Evaluation de la toxicité d'un produit phytopharmaceutique sur les abeilles domestiques locales (*Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis*) et diversité génétique. Thèse Doctorat en Sciences Agronomiques, ENSA, El-Harrach, Alger, Algérie. 223p.
- Chahbar N., Munoz I., Dall'Olivo R., De la Rúa P., Serrano J. and Doumandj S., 2013. Population structure of North African honey bees is influenced by both biological and anthropogenic factors. *Journal of Insect Conservation*, 17 : 385–392.

- CHAHBAR, M. (2017). *Principales maladies et ennemis de l'abeille domestique Apis mellifera L., 1758 en Algérie* (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure agronomique-Khalef Abdellah alias Kasdi Merbah).
- Chan, Q. W., & Foster, L. J. (2008). Changes in protein expression during honey bee larval development. *Genome Biology*, 9(10), R156
- Charriere J. D. and Neumann P., 2010 - Surveys to estimate colony losses in Switzerland. *J. Apic. Res.* 49 (1) : 132 - 133.
- Charriere J.D., Dietemann V., Schafer M, Dianat B., Neumann P. et Galmann P., 2011 - Guide de la santé des abeilles Ed. Centre de recherches apic., Stat. Rech. Agroscope Liebefeld-Posieux, Berne, 36 p.
- Chauzat M.P., Higes M., Martin-Hernandez R., Meanna A., Cougoule N. and Faucon J.P., 2007 - Presence of *Nosema ceranae* in French honey bee colonies. *J. Apic. Res.*, 46 : 127 - 128.
- Chauzat, M. P., Martel, A. C., Zeggane, S., Drajnudel, P., Schurr, F., Clément, M. C., ... & Faucon, J. P. (2010). A case control study and a survey on mortalities of honey bee colonies (*Apis mellifera*) in France during the winter of 2005–6. *Journal of Apicultural Research*, 49(1), 40-51
- Chemurot, M., De Smet, L., Brunain, M., De Rycke, R., & de Graaf, D. C. (2017). *Nosema neumanni* n. sp.(Microsporidia, Nosematidae), a new microsporidian parasite of honeybees, *Apis mellifera* in Uganda. *European journal of protistology*, 61, 13-19
- Chen M., Yang X., Cox-Foster D. and CUI L., 2005 - The role of varroa mites in infections of Kashmir bee virus (KBV) and deformed wing virus (DWV) in honey bees. *Virology*, 342: 141 – 149.
- Chen Y., Evans J.D., Murphy C., Gutell R., Zuker M., Gundensen-Rindal D. and Pettis J.S., 2009. Morphological, molecular, and phylogenetic characterization of *Nosema ceranae*, a microsporidian parasite isolated from the European honey bee, *Apis mellifera*. *J. Eukaryot. Microbiol.*, 56: 142-147.

- Chen, Y. P., & Huang, Z. Y. (2010). *Nosema ceranae*, a newly identified pathogen of *Apis mellifera* in the USA and Asia. *Apidologie*, *41*(3), 364-374
- Chen, Y. P., Pettis, J. S., Zhao, Y., Liu, X., Tallon, L. J., Sadzewicz, L. D., ... & Evans, J. D. (2013). Genome sequencing and comparative genomics of honey bee microsporidia, *Nosema apis* reveal novel insights into host-parasite interactions. *BMC genomics*, *14*(1), 451
- Christen, V. (2023). Different effects of pesticides on transcripts of the endocrine regulation and energy metabolism in honeybee foragers from different colonies. *Scientific Reports*, *13*(1), 1985
- Cilia, G., Flaminio, S., Zavatta, L., Ranalli, R., Quaranta, M., Bortolotti, L., & Nanetti, A. (2022). Occurrence of honey bee (*Apis mellifera* L.) pathogens in wild pollinators in northern Italy. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, *12*, 907489
- Cornelissen, B., Paraíso, A., & van Hoof, R. (2011). Bee diseases new to sub-Saharan Africa found in Benin. In Poster presented at the International Beekeeping Congress. Apimondia. Buenos Aires. Argentina
- Cornuet J. M., Daoudi A., Mohssine E. H. et Fresnaye J., 1988 - Etude biométrique de populations d'abeilles marocaines. *Apidologie*, *19* (4): 355 - 366.
- Corona, M., Branchiccela, B., Alburaki, M., Palmer-Young, E. C., Madella, S., Chen, Y., & Evans, J. D. (2023). Decoupling the effects of nutrition, age, and behavioral caste on honey bee physiology, immunity, and colony health. *Frontiers in Physiology*, *14*, 1149840
- Currie R. W., Pernal S. F. and Guzman-Novoa E., 2010 - Honey bee colony losses in Canada. *J. Apic. Res.*, *49* (1): 104 - 106.
- Dahle B., 2010 - The role of *Varroa destructor* for honey bee colony losses in Norway. *J. Apic. Res.*, *49* (1): 124 - 125.
- De F Michelette, E. R., & Soares, A. E. E. (1993). Characterization of preimaginal developmental stages in Africanized honey bee workers (*Apis mellifera* L.). *Apidologie*, *24*(4), 431-440.

- De Jong, D., & De Jong, P. H. (1983). Longevity of africanized honey bees (Hymenoptera: Apidae) infested by *Varroa jacobsoni* (Parasitiformes: Varroidae). *Journal of Economic Entomology*, 76(4), 766-768
- De la Rúa, P., Jaffé, R., Dall'Olio, R., Muñoz, I., & Serrano, J. (2009). Biodiversity, conservation and current threats to European honeybees. *Apidologie*, 40(3), 263-284
- de Miranda, J. R., Dainat, B., Locke, B., Cordonni, G., Berthoud, H., Gauthier, L., ... & Stoltz, D. B. (2010). Genetic characterization of slow bee paralysis virus of the honeybee (*Apis mellifera* L.). *Journal of General Virology*, 91(10), 2524-2530.
- Decourtye, A., & Devillers, J. (2010). Ecotoxicity of neonicotinoid insecticides to bees. Insect nicotinic acetylcholine receptors, 85-95
- Delaplane K., 1998 - Strictly for the hobbyist: European foulbrood and its control. *Am. Bee. J.*, 138 (10): 736 - 737.
- Delbac, F., Polonais, V. (2008). The Microsporidian Polar Tube and Its Role in Invasion. In: Burleigh, B.A., Soldati-Favre, D. (eds) *Molecular Mechanisms of Parasite Invasion. Subcellular Biochemistry*, vol 47. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-0-387-78267-6_17
- Dequenue, I., Philippart de Foy, J. M., & Cani, P. D. (2022). Developing strategies to help bee colony resilience in changing environments. *Animals*, 12(23), 3396
- Descamps, C., Boubnan, N., Jacquemart, A. L., & Quinet, M. (2021). Growing and flowering in a changing climate: effects of higher temperatures and drought stress on the bee-pollinated species *Impatiens glandulifera* Royle. *Plants*, 10(5), 988
- Descamps, C., Quinet, M., Baijot, A., et al. (2018) Temperature and water stress affect plant–pollinator interactions in *Borago officinalis* (boraginaceae). *Ecology and Evolution* vol. 8, n° 6, p. 3443-3456.
- Dietemann, V., Nazzi, F., Martin, S. J., Anderson, D. L., Locke, B., Delaplane, K. S., ... & Ellis, J. D. (2013). Standard methods for varroa research. *Journal of apicultural research*, 52(1), 1-54

- Dolati, L., Karimzadeh, J., & Shemshad, K. (2013). Morphometric study of honey bee (*Apis mellifera meda*) populations in Iran. *Journal of Apicultural Science*, 57(2), 45-56.
- Dussaubat C., Sagastume S., Gomez-Moracho T., Botias C., Garcia-Palencia P., Martin-Hernandez R., Le Conte Y. and Higes M., 2013. Comparative study of *Nosema ceranae* (Microsporidia) isolates from two different geographic origins. *Veterinary Microbiology*, 162 : 670–678.
- Ellis J.D., Evans J.D. and Pettis J.S., 2010 - Colony losses, managed colony population decline and Colony Collapse Disorder in the United States. *J. Apic. Res.* 49(1): 134 - 136.
- Ellis, M. D., & LeConte, Y. (2008). Mortalités et dépopulations des colonies d'abeilles aux États-Unis
- El-Shemy, A., Hassan, R., & El-Bassiony, M. (2019). Prevalence and distribution of *Nosema ceranae* and *N. apis* in honey bees in Egypt. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 29(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s41938-019-0147-4>
- Emsen, B., De la Mora, A., Lacey, B., Eccles, L., Kelly, P. G., Medina-Flores, C. A., ... & Guzman-Novoa, E. (2020). Seasonality of *Nosema ceranae* infections and their relationship with honey bee populations, food stores, and survivorship in a North American region. *Veterinary sciences*, 7(3), 131
- Emsen, B., Guzman-Novoa, E., Hamiduzzaman, M. M., Eccles, L., Lacey, B., Ruiz-Pérez, R. A., & Nasr, M. (2016). Higher prevalence and levels of *Nosema ceranae* than *Nosema apis* infections in Canadian honey bee colonies. *Parasitology research*, 115, 175-181
- Encerrado-Manriquez, A. M., Pouv, A. K., Fine, J. D., & Nicklisch, S. C. (2024). Enhancing knowledge of chemical exposures and fate in honey bee hives: Insights from colony structure and interactions. *Science of the Total Environment*, 916, 170193.
- Engel, Michael S. (1999). "The Taxonomy of Recent and Fossil Honey Bees (Hymenoptera: Apidae; *Apis*)." *Journal of Hymenoptera Research*, 8(2):165-196. <http://www.pensoft.net/journals/jhr/>

- EPILOBEE Consortium ., Chauzat, M.P., Jacques, A. *et al.* Risk indicators affecting honeybee colony survival in Europe: one year of surveillance. *Apidologie* **47**, 348–378 (2016). <https://doi.org/10.1007/s13592-016-0440-z>
- Erhardt, A., & Rusterholz, H. P. (1997). Effects of elevated CO₂ on flowering phenology and nectar production. *Acta Oecologica*, *18*(3), 249-253
- Faucon J.P., 1992 - Précis de pathologie, connaître et traiter les maladies des abeilles. Ed. Fnosad, Riez, 512 p.
- Fernandez N. et Coineau Y., 2007. Maladies, parasites et autres ennemis de l'abeille mellifère. Ed. Atlantica. 498p.
- Flores, J. M., Ruiz, J. A., Ruz, J. M., Puerta, F., Bustos, M., Padilla, F., & Campano, F. (1996). Effect of temperature and humidity of sealed brood on chalkbrood development under controlled conditions. *Apidologie*, *27*(4), 185-192.
- Forfert, N., Natsopoulou, M. E., Frey, E., Rosenkranz, P., Paxton, R. J., & Moritz, R. F. (2015). Parasites and pathogens of the honeybee (*Apis mellifera*) and their influence on inter-colonial transmission. *PLoS one*, *10*(10), e0140337
- Franck, P., Garnery, L., Celebrano, G., Solignac, M., & Cornuet, J. M. (2001). Hybrid origins of honeybees from Italy (*Apis mellifera ligustica*) and Sicily (*Apis mellifera sicula*). *Molecular Ecology*, *10*(2), 304-316.
- Free, J. B. (1987). Pheromones of social bees (pp. xiii+-218).
- Fries I., 2010. *Nosema ceranae* in European honey bees (*Apis mellifera*). *J. Invertebr. Pathol.*, *103*: 73–79.
- Fries I., Camazine S., 2001. Implications of horizontal and vertical pathogen transmission for honey bee epidemiology. *Apidologie* : *32*: 199-214.
- Fries I., Chauzat M., Chen Y., Doublet V., Genersch E., Gisder S., Higes M., McMahon D.P., Martín-Hernández R., Natsopoulou M., Paxton R.J., Tanner G., Webster T.C. and Williams G.R., 2013. Standard methods for *Nosema* research. *Journal of Apicultural Research*, *52*(1), 28p.

- Fries I., Feng F., Da Silva A., Slemenda S.B. and Pieniasek N.J., 1996. *Nosema ceranae* n. sp. (Microspora, Nosematidae), morphological and molecular characterization of a microsporidian parasite of the Asian honey bee (*Apis cerana*) (Hymenoptera, Apidae). *Eur. J. Protistol.*, 32: 356–365.
- Fries I., Granados R. and Morse R., 1992. Intracellular germination of spores of *Nosema apis* Z. *Apidologie*, 23: 61-70.
- Gajger I. T., Tomljanović. Z. and Petrinc Z., 2010 - Monitorin health status Croatian honey bee colonies and possible reasons for winter losses. *J. Apic. Res.*, 49 (1): 107 - 108.
- Gallina A. and Mutinelli F., 2010 - Sudden deaths and colony population decline in Greek honey bee colonies. *J. Invert. Pathology*, 105: 335 – 340.
- Garnery, L., Mosshine, E. H., Oldroyd, B. P., & Cornuet, J. M. (1995). Mitochondrial DNA variation in Moroccan and Spanish honey bee populations. *Molecular Ecology*, 4(4), 465-472.
- Gaubert, J., Giovenazzo, P., & Derome, N. (2023). Individual and social defenses in *Apis mellifera*: a playground to fight against synergistic stressor interactions. *Frontiers In Physiology*, 14, 1172859
- Gempe, T., Hasselmann, M., Schiøtt, M., Hause, G., Otte, M., & Beye, M. (2009). Sex determination in honeybees: two separate mechanisms induce and maintain the female pathway. *PLoS biology*, 7(10), e1000222.
- Genersch E., 2010. American Foulbrood in honeybees and its causative agent, *Paenibacillus larvae*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 103: 10–19.
- Genersch E., Ashiralieva A. and Fries I., 2005. Strain- and genotype-specific differences in virulence of *Paenibacillus larvae* subsp. *Larvae*, a bacterial pathogen causing American foulbrood disease in honeybees, *Appl. Environ. Microbiol.*, 71:7551–7555.
- 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

Gisder S., Hedtke K., Mockel N., Frielitz M.C., Linde A. and Genersch E., 2010. Five-Year Cohort Study of *Nosema* spp. in Germany: does climate shape virulence and assertiveness of *Nosema ceranae*? *Appl. Environ. Microbiol.*, 76: 3032- 3038.

Gisder, S., Schüler, V., Horchler, L. L., Groth, D., & Genersch, E. (2017). Long-term temporal trends of *Nosema* spp. infection prevalence in Northeast Germany: continuous spread of *Nosema ceranae*, an emerging pathogen of honey bees (*Apis mellifera*), but no general replacement of *Nosema apis*. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 7, 301

Gomez-Moracho, T., Maside, X., Martin-Hernandez, R., Higes, M., & Bartolome, C. (2014). High levels of genetic diversity in *Nosema ceranae* within *Apis mellifera* colonies. *Parasitology*, 141(4), 475-481

Goodwin, R. M., Taylor, M. A., Mcbrydie, H. M., & Cox, H. M. (2006). Drift of *Varroa destructor*-infested worker honey bees to neighbouring colonies. *Journal of Apicultural Research*, 45(3), 155-156.

Goulson, D. (2003). Effects of introduced bees on native ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34(1), 1-26.

Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., & Rotheray, E. L. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347(6229), 1255957. <https://doi.org/10.1126/science.1255957>

Gray A., Peterson M. and Teale A., 2010 - An update on recent colony losses in Scotland from a sample survey covering during 2006- 2008. *J. Apic. Res.*, 49 (1): 129 - 131.

Gray, A., Brodschneider, R., Adjlane, N., et al. (2019). Loss rates of honey bee colonies during winter 2017/18 in 36 countries participating in the COLOSS survey, including effects of forage sources. *Journal of Apicultural Research*, 58(4), 479-485. <https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1615661>

- Grissa, K., Cornuet, J. M., Msadda, K., & Fresnaye, J. (1990). Étude biométrique de populations d'abeilles tunisiennes. *Apidologie*, 21(4), 303-310.
- Guerrero-Molina, C., Correa-Benítez, A., Hamiduzzaman, M. M., & Guzman-Novoa, E. (2016). *Nosema ceranae* is an old resident of honey bee (*Apis mellifera*) colonies in Mexico, causing infection levels of one million spores per bee or higher during summer and fall. *Journal of Invertebrate Pathology*, 141, 38-40
- Guilliford R.B., 1994 - Chalkbrood disease in Victoria. *The Australasian Beekeeper*, 96: 254 - 255
- Haccour P., 1960. Recherche sur la race d'abeille saharienne au Maroc. C.R. Soc. Sci. Nat. Phys. Extrait La Belgique Apicole, 25 (1-2): 13 – 18.
- Haddad, N., Loucif-Ayad, W., & Kamel, N. (2021). Prevalence of *Nosema ceranae* in honey bee colonies in Tunisia. *Journal of Apicultural Science*, 65(1), 101-111. <https://doi.org/10.2478/jas-2021-0009>
- Haider, Y., Adjlane, N., & Haddad, N. (2025). Environmental Impacts and Behavioral Adaptations of Honeybees in Algeria: A Review of *Apis mellifera intermissa* and *Apis mellifera sahariensis* Characteristics. *Insects*, 16(6), 617.
- Hamiduzzaman, M. M., Guzman-Novoa, E., Goodwin, P. H., Reyes-Quintana, M., Koleoglu, G., Correa-Benítez, A., & Petukhova, T. (2015). Differential responses of Africanized and European honey bees (*Apis mellifera*) to viral replication following mechanical transmission or *Varroa destructor* parasitism. *Journal of Invertebrate Pathology*, 126, 12-20
- Han, F., Wallberg, A., & Webster, M. T. (2012). From where did the Western honeybee (*Apis mellifera*) originate?. *Ecology and evolution*, 2(8), 1949-1957.
- Hassanein, M. H. (1953). The influence of infection with *Nosema apis* on the activities and longevity of the worker honeybee. *Annals of Applied Biology*, 40(2), 418-423.
- Hatjina F., Bouga M., Karatasou A., Kontothanasi A., Charistos L., Emmanouil C., Emmanouil N. and Maistros A.D., 2010 - Data on honey bee losses in Greece: a preliminary note. *J. Apic. Res.*, 49 (1): 116 - 118.

- Havard, T., Laurent, M., & Chauzat, M. P. (2019). Impact of stressors on honey bees (*Apis mellifera*; Hymenoptera: Apidae): Some guidance for research emerge from a meta-analysis. *Diversity*, 12(1), 7.
- Heath, L. A. F. (1982). Development of Chalk Brood in a Honeybee Colony: A Review. *Bee World*, 63(3), 119–130. <https://doi.org/10.1080/0005772X.1982.11097876>
- Hepburn H., Hepburn R., Radloff S.E., Verma S. and verma. L.R, 2001 - Morphometric analysis of *Apis cerana* populations in the Southern Himalaya region. *Apidologie*, 32 : 435 – 447.
- Hepburn H.R. and Radloff S.E., 1998 - Honey bees of Africa. Ed. Springer, Berlin, 312 p.
- Heyndrickx, M., Vandemeulebroecke, K., Hoste, B., Janssen, P., Kersters, K., De Vos, P., & Berkeley, R. C. W. (1996). Reclassification of *Paenibacillus* (formerly *Bacillus*) *pulvifaciens* (Nakamura 1984) Ash et al. 1994, a later subjective synonym of *Paenibacillus* (formerly *Bacillus*) *larvae* (White 1906) Ash et al. 1994, as a subspecies of *P. larvae*, with emended descriptions of *P. larvae* as *P. larvae* subsp. *larvae* and *P. larvae* subsp. *pulvifaciens*. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 46(1), 270-279
- Higes M., Garcia-Palencia P., Martín-Hernandez R. and Meana A., 2007. Experimental infection of *Apis mellifera* honeybees with *Nosema ceranae* (Microsporidia). *Journal of Invertebrate Pathology*, 94: 211–217.
- Higes M., Martín R. and Meana A., 2006. *Nosema ceranae*, a new microsporidian parasite in honeybees in Europe. *Journal of Invertebrate Pathology*, 92: 93–95.
- Higes M., Martín-Hernandez R., Botías C. and Meana A., 2009a. The presence of *Nosema ceranae* (Microsporidia) in North African honey bees (*Apis mellifera intermissa*). *Journal of Apicultural Research*, 48: 217–219.
- Higes M., Martín-Hernandez R., Botías C., Bailon E.G., Gonzalez-Porto A.V., Barrios L., Del Nozal M.J., Bernal J.L., Jimenez J.J., Palencia P.G. and Meana A., 2008a. How natural infection by *Nosema ceranae* causes honeybee colony collapse. *Environmental Microbiology*, 10: 2659–2669.

- Higes M., Martín-Hernández R., Garrido B., Palencia P. and Meana A., 2008b. Detection of infective *Nosema ceranae* (Microsporidia) spores in corbicular pollen of forager honeybees. *Journal of Invertebrate Pathology*, 97: 76–78.
- Higes M., Martín-Hernández R., Garrido-Bailón E., González-Porto A.V., García-Palencia P., Meana A., Nozal M.J.D., Mayo R. and Bernal J.L., 2009b. Honeybee colony collapse due to *Nosema ceranae* in professional apiaries. *Environmental Microbiology Reports*, 1: 110–113.
- Higes M., Martín-Hernández R. and Meana A., 2010 - *Nosema ceranae* in Europe: an emergent type C nosemosis;
- Holt, H. L., Aronstein, K. A., & Grozinger, C. M. (2013). Chronic parasitization by *Nosema* microsporidia causes global expression changes in core nutritional, metabolic and behavioral pathways in honey bee workers (*Apis mellifera*). *BMC genomics*, 14(1), 799.
- Hrassnigg, N., & Crailsheim, K. (2005). Differences in drone and worker physiology in honeybees (*Apis mellifera*). *Apidologie*, 36(2), 255-277.
- Hristov, P., Shumkova, R., Palova, N., & Neov, B. (2021). Honey bee colony losses: Why are honey bees disappearing?. *Sociobiology*, 68(1), e5851-e5851
- Huang W.F. and Solter L.F., 2013. Comparative development and tissue tropism of *Nosema apis* and *Nosema ceranae*. *J Invertebr Pathol.*, 113(1):35-41.
- Iorizzo, M., Letizia, F., Ganassi, S., Testa, B., Petrarca, S., Albanese, G., ... & De Cristofaro, A. (2022). Recent advances in the biocontrol of nosemosis in honey bees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Fungi*, 8(5), 424.
- Ivanova E. N. and Petrov P. P., 2010 - Regional differences in honey bee winter losses in Bulgaria during the period 2006-9. *J. Apic. Res.*, 49 (1): 102 - 103.
- Ivgin Tunca R, Oskay D, Gosterit A, Tekin OK. Does *Nosema ceranae* Wipe Out *Nosema apis* in Turkey? *Iran J Parasitol.* 2016 Apr-Jun;11(2):259-264. PMID: 28096862; PMCID: PMC5236105.

- Jay, S. C. (1962). Prepupal and Pupal Ecdyses of the Honeybee. *Journal of Apicultural Research*, 1(1), 14–18. <https://doi.org/10.1080/00218839.1962.11100041>
- Keeling, C. I., Slessor, K. N., Higo, H. A., & Winston, M. L. (2003). New components of the honey bee (*Apis mellifera* L.) queen retinue pheromone. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(8), 4486-4491.
- Khan, K. A., & Ghramh, H. A. (2022). Nutritional efficacy of different diets supplemented with microalga *Arthrospira platensis* (spirulina) in honey bees (*Apis mellifera*). *Journal of King Saud University-Science*, 34(2), 101819
- Khedher, H. B., Braham, M., & Chaieb, I. (2022). The State of the Art of the Tunisian Apidae Fauna (Hymenoptera: Anthophila). *Sociobiology*, 69(3), e8151-e8151.
- KHEDIM, R., Halfaoui, Y. F., Mediouni, R. M., & Gaouar, S. B. S. (2023). Characterization of isolated colonies of honey bees (*Apis mellifera intermissa*), in Northern Algeria by classical morphometry approach. *Genetics & Biodiversity Journal*, 7(2), 163–176. <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
- Khezri, M., Moharrami, M., Modirrousta, H., Torkaman, M., Salehi, S., Rokhzad, B., & Khanbabai, H. (2018, September). Molecular detection of *Nosema ceranae* in the apiaries of Kurdistan province, Iran. In *Veterinary Research Forum* (Vol. 9, No. 3, p. 273)
- Kirkwood, T. B. (2005). Understanding the odd science of aging. *Cell*, 120(4), 437-447.
- Klee J., Besana A.M., Genersch E., Gisder S., Nanetti A., Tam D.Q., Chinh T.X., Puerta F., Ruz J.M., Kryger P., Message D., Hatjina F., Korpela S., Fries I. and Paxton R.J., 2007. Widespread dispersal of the microsporidian *Nosema ceranae*, an emergent pathogen of the western honey bee, *Apis mellifera*. *J. Invertebr. Pathol.*, 96 : 1–10

- Klein, A.-M., et al. (2007) Importance of Pollinators in Changing Landscapes for World Crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274, 303-313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular ecology resources*, 11(2), 353-357.
- Klingenberg, C. P. (2020). Walking on Kendall's shape space: understanding shape spaces and their coordinate systems. *Evolutionary Biology*, 47(4), 334-352
- Kluser S., Neumann P., Chauzat M.P. and Pettis J.S., 2011- UNEP emerging issues: global honey bee colony disorder and other threats to insect pollinators. <http://www.unep.org>. Page consultée le 05 janvier 2013.
- Koenig J., Koeniger N. and Erickson E., 1986 - Effect of type of brood comb on chalk brood disease in honey bee colonies. *J. Apic. Res.*, 25: 58 – 62.
- Lake, J. C., & Hughes, L. (1999). Nectar production and floral characteristics of *Tropaeolum majus* L. grown in ambient and elevated carbon dioxide. *Annals of Botany*, 84(4), 535-541
- Lattorff, H. M. G., Moritz, R. F. A., & Fuchs, S. (2005). A single locus determines thelytokous parthenogenesis of laying honeybee workers (*Apis mellifera capensis*). *Heredity*, 94(5), 533-537
- le Conte Y. et Faucon J.-P., 2002 – Les maladies de l'abeille domestique. *Le Courrier de la Nature, Spécial Abeilles*, 196: 28 - 32.
- Le Conte Y., Ellis M. and Ritter W., 2010. Varroa mites and honey bee health : can Varroa explain part of the colony losses?. *Apidologie*, 41 : 353-363.
- Le Conte, Y., Brunet, J. L., McDonnell, C., Dussaubat, C., & Alaux, C. (2011). Interactions between risk factors in honey bees. In *Honey Bee Colony Health* (pp. 215-222). CRC Press.
- Lee K.V., Steinhauer N., Rennich K., Wilson M.E., Tarpy D.R., Caron D.M., Rose R., Delaplane K.S., Baylis K., Lengerich E.J., Pettis J., Skinner J.A., Wilkes J.T.,

- Sagili R. And Vanengelsdorp N., 2015. A national survey of managed honey bee 2013–2014 annual colony losses in the USA. *Apidologie*, 46: 292–305.
- Lee, K. (2018). Improving the health and survivorship of commercial honey bee colonies.
- Leimar, O., Hartfelder, K., Laubichler, M. D., & Page Jr, R. E. (2012). Development and evolution of caste dimorphism in honeybees—a modeling approach. *Ecology and evolution*, 2(12), 3098-3109.
- Lodesani, M., Balduzzi, D., & Galli, A. (2004). A study on spermatozoa viability over time in honey bee (*Apis mellifera ligustica*) queen spermathecae. *Journal of apicultural research*, 43(1), 27-28.
- Loucif-Ayad W., Chefrour A., Algharibeh M. and Haddad N., 2013. First detection of deformed wing virus of honeybees in Algeria. *Phytoparasitica*, 41 : 445–447.
- Lourenço, A. P., Guidugli-Lazzarini, K. R., de Freitas, N. H., Message, D., Bitondi, M. M., Simões, Z. L., & Teixeira, É. W. (2021). Immunity and physiological changes in adult honey bees (*Apis mellifera*) infected with *Nosema ceranae*: The natural colony environment. *Journal of Insect Physiology*, 131, 104237.
- Ma, B., Ma, C., Li, J., & Fang, Y. (2022). Revealing phosphorylation regulatory networks during embryogenesis of honey bee worker and drone (*Apis mellifera*). *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 10, 1006964.
- Maa, T.C 1953. An inquiry into the systematics of the tribus Apidini or honeybees (Hym). *Treubia* 21 : 525-640.
- MacInnis, D. J., Morwitz, V. G., Botti, S., Hoffman, D. L., Kozinets, R. V., Lehmann, D. R., ... & Pechmann, C. (2020). Creating boundary-breaking, marketing-relevant consumer research. *Journal of Marketing*, 84(2), 1-23.
- Mahmoudi, H., Asadi, R., & Nazari, M. (2022). Epidemiology of *Nosema ceranae* in honey bee colonies in Iran: distribution and risk factors. *Journal of Invertebrate Pathology*, 191, 107747. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2022.107747>

- Maiolino, P., Iafigliola, L., Rinaldi, L., De Leva, G., Restucci, B., & Martano, M. (2014). Histopathological findings of the midgut in European honey bee (*Apis Mellifera* L.) naturally infected by *Nosema* spp. *Vet. Med. Anim. Sci*, 2(4), 10-7243.
- Maréchal, J., Bogaert, J., & Mahy, G. (2014, December). Green structures as ecosystem services providers in urban adaptation strategies to flooding. In *BEES Christmas Market*.
- Marín-García, P. J., Peyre, Y., Ahuir-Baraja, A. E., Garijo, M. M., & Llobat, L. (2022). The role of *Nosema ceranae* (Microsporidia: Nosematidae) in honey bee colony losses and current insights on treatment. *Veterinary Sciences*, 9(3), 130.
- Martin S.J., Ball B.V. and Carreck N.L., 2010 - Prevalence and persistence of deformed wing virus (DWV) in untreated or acaricide-treated *Varroa destructor* infested honey bees (*Apis mellifera*) colonies. *J. Apic. Res.*, 49: 72-79.
- Martín-Hernández R, Meana A, Prieto L, Salvador AM, Garrido-Bailón E, Higes, M (2007) Outcome of colonization of *Apis mellifera* by *Nosema ceranae*. *Appl Environ Microbiol* 73: 6331–6338
- Martín-Hernández, R., Bartolomé, C., Chejanovsky, N., Le Conte, Y., Dalmon, A., Dussaubat, C., & Higes, M. (2018). *Nosema ceranae* in *Apis mellifera*: a 12 years postdetection perspective. *Environmental microbiology*, 20(4), 1302-1329.
- Matović K, Vidanović D, Manić M, Stojiljković M, Radojičić S, Debeljak Z, Šekler M, Ćirić J (2020) Twenty-five-year study of *Nosema* spp in honeybees (*Apis mellifera*) in Serbia. *Saudi J Biol Sci* 27: 518–523
- Mazur, E. D., & Gajda, A. M. (2022). Nosemosis in honeybees: a review guide on biology and diagnostic methods. *Applied Sciences*, 12(12), 5890
- McAfee, A., Metz, B. N., Milone, J. P., Foster, L. J., & Tarpy, D. R. (2022). Drone honey bees are disproportionately sensitive to abiotic stressors despite expressing high levels of stress response proteins. *Communications biology*, 5(1), 141.

- McHardy IH, Wu M, Shimizu-Cohen R, Couturier MR, Humphries RM. 2014. Detection of Intestinal Protozoa in the Clinical Laboratory. *J Clin Microbiol* 52:.
- Mckee B.A., Djordjevic S.P., Goodman R.D. and Hornitzky M.A., 2003 - The detection of *Melissococcus pluton* in honey bees (*Apis mellifera*) and their products using a hemi-nested PCR. *Apidologie*, 34 : 19 - 27.
- Medina-Flores, CA., López-Carlos, M., Carrillo-Muro, O., Gray, A. (2023). Honey Bee Colony Losses in Mexico's Semi-Arid High Plateau for the Winters 2016–2017 to 2021–2022. *Insects*, 14(5), 453.
- Meixner M. D., Costa C. Kryger, P., Hatjina F., Bouga M., Ivanova E. and Büchler R., 2010 - Conserving diversity and vitality for honey bee breeding. *J. Apic. Res.*, 49 (1): 85 - 92.
- 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.
- Meixner, M. D., Pinto, M. A., Bouga, M., Kryger, P., Ivanova, E., & Fuchs, S. (2011). Standard methods for characterising subspecies and ecotypes of *Apis mellifera*. *Journal of Apicultural Research*, 50(1), 1-28. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.50.1.01>
- Menail, A. H., Piot, N., Meeus, I., Smagghe, 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
- Ministère de l'agriculture et du développement rural
- Mitteroecker, P., & Gunz, P. (2009). Advances in geometric morphometrics. *Evolutionary biology*, 36, 235-247.

- Moritz, R. F., Härtel, S., & Neumann, P. (2005). Global invasions of the western honeybee (*Apis mellifera*) and the consequences for biodiversity. *Ecoscience*, 12(3), 289-301.
- Mulholland, G. E., Traver, B. E., Johnson, N. G., & Fell, R. D. (2012). Individual variability of *Nosema ceranae* infections in *Apis mellifera* colonies. *Insects*, 3(4), 1143-1155.
- Mura, A., Pusceddu, M., Theodorou, P., Angioni, A., Floris, I., Paxton, R. J., & Satta, A. (2020). Propolis consumption reduces *Nosema ceranae* infection of European honey bees (*Apis mellifera*). *Insects*, 11(2), 124.
- Mutinelli F., Costa C., Lodesani M., Baggio A., Medrzycki P., Pormato G. and Porrini C., 2010 - Honey bee colony losses in Italy. *J. Apic. Res.*, 49 (1): 119 - 120.
- Naree, S., Ellis, J. D., Benbow, M. E., & Suwannapong, G. (2021). The use of propolis for preventing and treating *Nosema ceranae* infection in western honey bee (*Apis mellifera* Linnaeus, 1787) workers. *Journal of Apicultural Research*, 60(5), 686-696.
- Nekoei, S., Rezvan, M., Khamesipour, F., Mayack, C., Molento, M. B., & Revainera, P. D. (2023). A systematic review of honey bee (*Apis mellifera*, Linnaeus, 1758) infections and available treatment options. *Veterinary Medicine and Science*, 9(4), 1848-1860.
- Neukirch, A. (1982). Dependence of the life span of the honeybee (*Apis mellifica*) upon flight performance and energy consumption. *Journal of Comparative Physiology*, 146(1), 35-40.
- Neumann P. and Carreck L. N., 2010 - Honey bee colony losses. *J. Apic. Res.*, 49 (1): 1 - 6.
- Oberreiter, H., & Brodschneider, R. (2020). Austrian COLOSS survey of honey bee colony winter losses 2018/19 and analysis of hive management practices. *Diversity*, 12(3), 99.
- Odnosum H.V. (2017) Distribution of the *Nosema ceranae* (*Microspora*, *Nosematidae*) in the Apiaries in Ukraine. *Vestnik zoologii* 51(2):161–166.

- OIE. 2013. Chapter 2.2.4 Nosemosis of honey bees. In: (OIE.) Office international des épizooties, Manual of standards for diagnostic test and vaccines 2014. volume 1, Paris, France, 6. <http://www.oie.int>
- Oldroyd B.P., 2007 - What's Killing American Honey Bees? PLoS Biol., 5 (6): e168.
- Otis, G. W., McGinley, R. J., Garling, L., & Malaret, L. (1982). Biology and systematics of the bee genus *Crawfordapis* (Colletidae, Diphaglossinae). *Psyche: A Journal of Entomology*, 89(3-4), 279-296.
- Outomuro, D., & Johansson, F. (2017). A potential pitfall in studies of biological shape: does size matter?. *Journal of Animal Ecology*, 86(6), 1447-1457
- Pacini A, Mira A, Molineri A, Giacobino A, Cagnolo NB, Aignasse A, Zago L, Izaguirre M, Merke J, Orellano E, Bertozzi E (2016) Distribution et prévalence de *Nosema apis* et *N. ceranae* dans les écorégions tempérées et subtropicales d'Argentine. *J Inverteb Pathol* 141 : 34– 37
- Page R.E. and Peng C.Y., 2001. Aging and development in social insects with emphasis on the honey bee, *Apis mellifera* L. *Experimental Gerontology*, 36 : 695-711.
- Papa, G., Maier, R., Durazzo, A., Lucarini, M., Karabagias, I. K., Plutino, M., ... & Negri, I. (2022). The honey bee *Apis mellifera*: An insect at the interface between human and ecosystem health. *Biology*, 11(2), 233
- Papini R, Mancianti F, Canovai R, Cosci F, Rocchigiani G, Benelli G, Canale A (2017) Prevalence of the microsporidian *Nosema ceranae* in honeybee (*Apis mellifera*) apiaries in Central Italy. *Saudi J Biol Sci* 24(5):979–982
- Paxton R. J., 2010 - Does infection by *Nosema ceranae* cause “Colony Collapse Disorder” in honey bees (*Apis mellifera*)? *J. Apic. Res.* 49 (1): 80 - 84.
- Paxton R.J., Klee J., Korpela S. and Fries I., 2007. *Nosema ceranae* has infected *Apis mellifera* in Europe since at least 1998 and may be more virulent than *Nosema apis*. *Apidologie*, 38(6): 558-565.

- Peck, D. T., & Seeley, T. D. (2019). Mite bombs or robber lures? The roles of drifting and robbing in *Varroa destructor* transmission from collapsing honey bee colonies to their neighbors. *PloS one*, 14(6), e0218392.
- Pederson K., 1976 - Chalkbrood: Possible methods of control, and the effect of additional heat. *Birokteren*, 92 :18 – 22.
- Pirk C.W.W., Human H., Crewe R.M. and VanEngelsdorp D., 2014. A survey of managed honey bee colony losses in the Republic of South Africa—2009 to 2011. *J. Apic. Res.*, 53(1): 35–42.
- Posho Ndola, B. (2014). ETAT DE LIEU DE LA FILIERE APICOLE EN REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO ET EVALUATION DES CAPACITES POLLINISATRICES DES ABEILLES DOMESTIQUES (*Apis mellifera adansonii*, L.) SUR LA CULTURE DE MELON AFRICAINE (*Cucumeropsis mannii* Naudin) A KISANGANI.
- Potts SG., Biesmeijer J.C., Kremen C., Neumann P., Schweiger O. and Kunin W.E., 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and evolution*, 25 (6).
- Prado, A., Requier, F., Crauser, D., Le Conte, Y., Bretagnolle, V., & Alaux, C. (2020). Honeybee lifespan: the critical role of pre-foraging stage. *Royal Society open science*, 7(11), 200998.
- Prost J.P. et Le conte Y., 2005 - Apiculture : connaître l'abeille, conduire le rucher. Ed. Lavoisier, Tec & Doc, Paris, 698 p.
- Ptaszynska AA, Borsuk G, Mullenko W, Demetraki-Paleolog J(2014) Differentiation of *Nosema apis* and *Nosema ceranae* spores under Scanning Electron Microscopy (SEM). *J ApicRes* 53: 537–544
- Radolff S.E, Hepburn R. and Fuchs S., 2005 a - The morphometric affinities of *Apis cerana* of the Hindou Kush and Himalayan regions of Western Asia. *Apidologie*, 36 : 25 - 30.

- Rajagopalan, K., DeGrandi-Hoffman, G., Pruett, M., Jones, V. P., Corby-Harris, V., Pireaud, J., ... & Northfield, T. D. (2024). Warmer autumns and winters could reduce honey bee overwintering survival with potential risks for pollination services. *Scientific Reports*, 14(1), 5410.
- Rajper N. and Farooqi S.R., 2012 – Morphometric and genetic diversity of honeybee population in district Khairpur, Pakistan. 5th European Conference of Apidology. 3-7th September 2012, Halle an der Saale, p. 247.
- Rangel, J., & Fisher, A. (2019). Factors affecting the reproductive health of honey bee (*Apis mellifera*) drones—A review. *Apidologie*, 50(6), 759-778.
- Ratnieks, F. L., & Carreck, N. L. (2010). Clarity on honey bee collapse?. *Science*, 327(5962), 152-153.
- Rembold, H.; Kremer, J.-P.; Ulrich, G. M., 1980 a: Characterization of postembryonic developmental stages of the female castes of the honey bee, *Apis mellifera* L. *Apidologie* 11, 29–38.
- Remolina, S. C., & Hughes, K. A. (2008). Evolution and mechanisms of long life and high fertility in queen honey bees. *Age*, 30(2), 177-185.
- Remolina, S. C., Hafez, D. M., Robinson, G. E., & Hughes, K. A. (2007). Senescence in the worker honey bee *Apis mellifera*. *Journal of insect physiology*, 53(10), 1027-1033
- Reyes, M., Crauser, D., Prado, A., & Le Conte, Y. (2019). Flight activity of honey bee (*Apis mellifera*) drones. *Apidologie*, 50(5), 669-680.
- Riondet J., 2013. *Le rucher durable*. Ed. ulmer. Paris. pp. 271.
- Roberts, K. E., Hughes, W. O. H., & Evison, S. E. F. (2020). The impact of parasite spillover from managed bees on wild bees at a global scale. *Parasitology*, 147(10), 1183-1196. <https://doi.org/10.1017/S0031182020000942>
- Rosenkranz P., Frey E., Odemer R., Mougel F., Solignac M. and Locke B., 2009 - Variance of the reproduction of the parasitic mite *Varroa destructor* and its significance for

host resistance at the individual level. 41th. Congress Apimondia, 15 - 20 september 2009, Montpellier, p. 97.

Rouzé, R. (2020). Impacts et interactions de la microsporidie *Nosema ceranae* et d'insecticides neurotoxiques sur la santé de l'abeille domestique, *Apis mellifera* (Doctoral dissertation, Université Clermont Auvergne [2017-2020])

Rueppell, O., Bachelier, C., Fondrk, M. K., & Page Jr, R. E. (2007). Regulation of life history determines lifespan of worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *Experimental gerontology*, 42(10), 1020-1032

Ruttner F., 1975 – Les races d'abeilles de l'Afrique. 25ème Congrès internati. apicult. Apimondia, Grenoble, pp. 347 - 367.

Ruttner F., 1988 - Biogeography and taxonomy of honey bees. Ed. Springer, Berlin, 284 p.

Ruttner R., Tassencourt L. and Louveaux J., 1978 - Biometrical-statistical analysis of the geographic variability of *Apis mellifera*. *Apidologie*, 9 (4), 363 - 381.

Ruttner, F. (1976). Isolated populations of honeybees in Australia. *Journal of Apicultural Research*, 15(3-4), 97-104

Santrac V., Granato A. and Mutinelli F., 2010 - Detection of *Nosema ceranae* in *Apis mellifera* from Bosnia and Herzegovina. *J. Apic. Res.*, 49 (1): 100 – 101.

Schmid-Hempel, P. (1992). B. Hölldobler, EO Wilson (1990):“The Ants” Springer, Berlin, 732 pp. DM 198.—. *Journal of Evolutionary Biology*, 5(1), 169-171

Schmidt, J. O., & Thoenes, S. C. (1992). Criteria for nest site selection in honey bees (Hymenoptera: Apidae): preferences between pheromone attractants and cavity shapes. *Environmental entomology*, 21(5), 1130-1133.

Seeley, T. D. (1995). The foraging abilities of a colony.

Seijo M.C. and Escuredo O., 2009 – Morphometrics study of bee colonies from NW of Spain. Congress Apimondia, 15-20 september 2009, Union nati. apicult. Franç. (U.n.a.f.) Montpellier, p. 95.

- Shaibi T., Fuchs S. and Moritz R. F.A., 2009 - Morphological study of honeybees (*Apis mellifera*) from Libya. *Apidologie*, 40 : 97 – 105.
- Sheppard, W. S., & Meixner, M. D. (2003). *Apis mellifera pomonella*, a new honey bee subspecies from Central Asia. *Apidologie*, 34(4), 367-375
- Shumkova R, Neov B, Sirakova D, Georgieva A, Gadjev D, Teofanova D, Radoslavov G, Bouga M, Hristov P (2018) Molecular detection and phylogenetic assessment of six honeybee viruses in *Apis mellifera* L. colonies in Bulgaria. *PeerJ* 6:e5077 <https://doi.org/10.7717/peerj.5077>
- Shumkova, R., Balkanska, R., & Hristov, P. (2021). The herbal supplements NOZEMAT HERB® and NOZEMAT HERB PLUS®: An alternative therapy for *N. ceranae* infection and its effects on honey bee strength and production traits. *Pathogens*, 10(2), 234.
- Sinacori A. Rinderer T.E., Lancaster V. and Sheppard W.S., 1998 – A morphological assessment of *Apis mellifera* from Palermo, Italy. *Apidologie*, 29: 481- 490
- Sinpoo C, Paxton RJ, Disayathanoowat T, Krongdang S, Chantawannakul P (2018) Impact of *Nosema ceranae* and *Nosema apis* on individual worker bees of the two host species (*Apis cerana* and *Apis mellifera*) and regulation of host immune response. *J Insect Physiol* 105:1–8
- Smedal B, Brynem M, Kreibich CD, Amdam GV (2009) Brood pheromone suppresses physiology of extreme longevity in honeybees (*Apis mellifera*). *J. Exp. Biol.* 212, 3795–3801.
- Smith, M. L. (2012). The honey bee parasite *Nosema ceranae*: transmissible via food exchange?.
- Smith, M. L., Ostwald, M. M., & Seeley, T. D. (2015). Adaptive tuning of an extended phenotype: honeybees seasonally shift their honey storage to optimize male production. *Animal Behaviour*, 103, 29-33.

- Smith, M. L., Toth, A. L., & Ostiguy, N. (2020). Morphometric differentiation of honey bee populations: a comparison of traditional and geometric methods. *Apidologie*, 51(2), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00725-3>
- Soroker V., Hetzroni A., Yakobson B., David D., David A., Voet H., Slabezki Y., Efrat H., Levski S., Kamer Y., Klinberg E., Zioni N., Inbar S. and Chejanovsky N., 2011. Evaluation of colony losses in Israel in relation to the incidence of pathogens and pests. *Apidologie*, 42 : 192–199.
- Souza, D., Bezzera-Laure, M., Francoy, T. & Gonçalves, L. (2013). Évaluation expérimentale de la qualité reproductive des reines d'abeilles africanisées (*Apis mellifera*) en fonction du poids corporel à l'émergence. *Genetics and Molecular Research* 12(4), 5382-5391.
- Spiltoir C.F., 1955 - Life cycle of *Ascospaera apis* (*Pericystis apis*). *Am. J. Botany*, 42 (6): 501 - 508.
- Steinhauer N.A., Rennich K., Wilson M.E., Caron D.M., Lengerich E.J., et al., 2014. A national survey of managed honey bee 2012–2013 annual colony losses in the USA: results from the Bee Informed Partnership 2012–2013. *J. Apic. Res.*, 53(1): 1–18.
- Stevanovic J, Stanimirovic Z, Genersch E, Kovacevic S R, Ljubenkovic J, Radakovic M, Aleksic N (2011) Dominance of *Nosema ceranae* in honey bees in the Balkan countries in the absence of symptoms of colony collapse disorder. *Apidologie* 42: 49
- Strauss, U., Pirk, C. W., Crewe, R. M., Human, H., & Dietemann, V. (2015). Impact of *Varroa destructor* on honeybee (*Apis mellifera scutellata*) colony development in South Africa. *Experimental and Applied Acarology*, 65(1), 89-106.
- Taber III, S., & Wendel, J. (1958). Concerning the number of times queen bees mate. *Journal of Economic Entomology*, 51(6), 786-789.

- Takkis, K., Tscheulin, T., & Petanidou, T. (2018). Differential effects of climate warming on the nectar secretion of early-and late-flowering Mediterranean plants. *Frontiers in Plant Science*, 9, 874.
- Tan K., Hepburn H. R., Radloff S.E., Fuchs S., Fan X., Zhang L. and Yang M., 2008 - Multivariate morphometric analysis of the *Apis cerana* of China. *Apidologie*, 39 : 343 – 353.
- Tarpy D.R., 2003. Genetic diversity within honey bee colonies prevents severe infections and promotes colony growth. *Proceedings of the royal society of london B270*, pp : 99-103.
- Techer, M. A., Clémencet, J., Simiand, C., Turpin, P., Garnery, L., Reynaud, B., & Delatte, H. (2017). Genetic diversity and differentiation among insular honey bee populations in the southwest Indian Ocean likely reflect old geographical isolation and modern introductions. *Plos One*, 12(12), e0189234.
- Thorstensen K., 1976 - Chalkbrood, a fungal disease of honeybees. *Birokteren*, 92: 14 - 17.
- Thurber, P. F. (1979). CHALK BROOD. *American Bee Journal*, 119(8), 605.
- Tofilski, A. (2008). Using geometric morphometrics and standard morphometry to discriminate three honeybee subspecies. *Apidologie*, 39(5), 558-563. <https://doi.org/10.1051/apido:2008037>
- Topolska G., Gajda A., Pohorecka K., Bober A., Kasprzak S., et al., 2010. Winter colony losses in Poland. *J. Apic. Res.*, 49 (1): 126–128.
- Traver B E, Fell R D (2011) Prevalence and infection intensity of *Nosema* in honeybee (*Apis mellifera* L) colonies in Virginia . *J InvertebrPathol* 107: 43–49
- Traynor, K. S., Le Conte, Y., & Page, R. E. (2014). Queen and young larval pheromones impact nursing and reproductive physiology of honey bee (*Apis mellifera*) workers. *Behavioral ecology and sociobiology*, 68(12), 2059-2073.

- Truong, A. T., Sevin, S., Kim, S., Yoo, M. S., Cho, Y. S., & Yoon, B. (2021). Rapidly quantitative detection of *Nosema ceranae* in honeybees using ultra-rapid real-time quantitative PCR. *Journal of veterinary science*, 22(3), e40.
- Uriel, C. J. (2023). *Epidemiología de la nosemosis tipo C: influencia de factores bióticos y abióticos en el desarrollo de la infección* (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).
- Van Der Zee R., 2010. Colony losses in the Netherlands. *J. Apic. Res.*, 49(1): 121–123.
- Van Der Zee R., Pisa L., Andonov S., Brodschneider R., Charriere J.D., et al., 2012. Managed honey bee colony losses in Canada, China, Europe, Israel and Turkey, for the winters of 2008–9 and 1009–10. *J. Apic. Res.*, 51(1) : 100–114.
- Van Engelsdorp D, Meixner MD (2010) A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. *J Invertebr Pathol* 103: S80-S95. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.06.011>.
- Verma L.R., Mattu V.K. and Daly H.V., 1994 - Multivariate morphometrics of the Indian honeybee in the northwest Himalayan region. *Apidologie*, 25: 203-223.
- Vidal-Naquet N., 2012. Les maladies de l'abeille domestique d'élevage, *Apis mellifera* L. *Bulletin ed l'académie vétérinaire de France*, Tome 165, N°4.
- Villagomez, G. N., Nürnberger, F., Requier, F., Schiele, S., & Steffan-Dewenter, I. (2021). Effects of temperature and photoperiod on the seasonal timing of Western honey bee colonies and an early spring flowering plant. *Ecology and Evolution*, 11(12), 7834-7849.
- Walsh, E. M., & Simone-Finstrom, M. (2024). Current honey bee stressor investigations and mitigation methods in the United States and Canada. *Journal of Insect Science*, 24(3), 19.
- Waring, A., & Waring, C. (2010). *Get Started in Beekeeping: A practical, illustrated guide to running hives of all sizes in any location*. Hachette UK

- Weaver, N. (1957). Effects of larval age on dimorphic differentiation of the female honey bee. *Annals of the Entomological Society of America*, 50(3), 283-294.
- Weiss, L. M., & Vossbrinck, C. R. (1999). Molecular biology, molecular phylogeny, and molecular diagnostic approaches to the microsporidia. *The microsporidia and microsporidiosis*, 129-171.
- Williams G.R., Rogers R.E.L., Kalkstein A.L., Taylor B.A., Shutler D. and Ostiguy N., 2009 - Deformed wing virus in western honey bees (*Apis mellifera*) from Atlantic Canada and the first description of an overtly-infected emerging queen. *J. Invertebr. Pathol.*, 101: 77 – 79.
- Wilson W.T., 1971 - Resistance to American foulbrood in honey bees XI. Fate of *Bacillus* larvae spores ingested by adults. *J. Invertebr. Pathol.*, 17: 247 – 255.
- Winston M.L., 1987. *The Biology of the Honey Bee*. University Press, Cambridge.
- Yamada, T., & Yamada, Y. (2025). Neonicotinoids and Varroa mites force the extending of longevity in a bee colony during overwintering to forget. *Scientific Reports*, 15(1), 28149.
- Yanez O., Jaffe R., Jarosch A., Fries I., Mortiz R.F.A., Paxton R.J. and De Mirinda J.R., 2012 - Deformed wing virus and drone mating flights in the honey bee (*Apis mellifera*): implications for sexual transmission of a major honey bee virus. *Apidologie*, 43 : 17 - 30.
- Yoshiyama M. and Kimura K., 2011. Distribution of *Nosema ceranae* in the European honeybee, *Apis mellifera* in Japan. *Journal of Invertebrate Pathology*, 106: 263–267.
- YUE C. and GENERSCH E., 2005 - RT - PCR analysis of deformed wing virus in honeybees (*Apis mellifera*) and mites (*Varroa destructor*). *J. Gen. Virol.*, 86: 3419 - 3424.
- Zander E., 1909. Tierische Parasiten als Krankheitserreger bei der Biene. *Münchener Bienenzeitung*, 31: 196–204.

Zelditch, M.L., Swiderski, D.L., Sheets, H.D. and Fink, W.L. 2004. Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer. Elsevier Academic Press, New York, USA.

Zioni N., Soroker V. and Chejanosky N., 2011 - Replication of Varroa destructor virus 1 (VDV-1) and a Varroa destructor virus 1–deformed wing virus recombinant (VDV-1–DWV) in the head of the honey bee. *Virology*, 417: 106 – 112.

Annexes

Questionnaire

1) Renseignements concernant l'apiculteur

- Apiculteur (Nom, Prénom) : pas obligatoire

- Age :

- Le niveau d'instruction :

Primaire moyen secondaire universitaire autodidacte

- Profession : pas obligatoire

- Commune :

- Téléphone : pas obligatoire

- Email : pas obligatoire

2- Renseignements concernant le rucher

- Commune du rucher :

- wilaya :

- Nombre de colonies du rucher

Moins de 30 ruches De 30 à 100 ruches De 100 à 200 ruches Plus de 200

- Rucher : Sédentaire Transhumant

- Environnement du rucher : Forêt Champ cultivé Verger Jardin Autre

- Endroit : Ensoleillé Obscur Autre

3) conduite générale du rucher

- Depuis quand vous vous êtes engagés dans l'élevage des abeilles?

- Utilisez-vous des nourrissements stimulants ? Oui Non

A quelle période de l'année ?

.....

Quelle est la durée, la dose et la fréquence de la distribution

.....

.....

- Sous quelle forme ? Sirop Candie

- Quels sont les ingrédients de sirop ou candie distribué ?

- avez-vous alterné entre un nourrissage à base de sirop et un autre à base de candie?
Oui Non

- Utilisez-vous des nourrissements quand il y aura eu le manque en ressources mellifères ?

Oui Non

A quelle période de l'année ?

Quelle est la durée, la dose et la fréquence de la distribution

.....

- Sous quelle forme ? Sirop Candie

- Quels sont les ingrédients de sirop ou candie distribué ?

-avez-vous alterné entre un nourrissage à base de sirop et un autre à base de candie?

Oui Non

- Protégez-vous vos colonies contre les intempéries? Oui Non

Si oui, quels sont les moyens ?

.....

- Renouvelez -vous régulièrement les cadres de vos ruches ? Oui Non

si oui, a quelle période et dans quel cas ?

.....

- Comment estimez-vous la production du miel cette année comparativement aux années précédentes ? Une bonne production Moyenne Faible

- Pratiquez-vous la transhumance : Oui Non

Indiquez le lieu et la période de transhumance

.....

- vous faite la vente des essaims ? Oui Non

- est ce que vous acheter des essaims pour agrandir votre rucher ? Oui Non

- ou bien vous basez sur l'essaimage artificiel pour l'agrandir ? Oui Non

4) Situation sanitaire des colonies d'abeilles

- Avez- vous observé des pertes anormales durant la période s'étendant de 2013 à 2014 ?

Oui Non

- Nombre de colonies perdues :

En 2013 :

En 2014 :

Durant quelle période en 2013 :

Durant quelle période en 2014 :

- Symptômes observés dans le rucher :

1/ abeille adulte

Mortalité devant les ruches Oui Non

Abeilles mortes en grappe Oui Non

Abeilles mortes au fond de la ruche Oui Non

Agressivité anormale au rucher Oui Non

Abeilles noires et/ou dépilées Oui Non

Abeilles aux ailes déformées Oui Non

Diarrhées et traces d'excréments Oui Non

Abeilles mortes dans le champ Oui Non

Abeilles tremblantes Oui Non

2/ Signes observés sur le couvain :

Larves ou nymphes mortes au trou de vol Oui Non

Les abeilles mortes, les têtes enfoncées dans les alvéoles Oui Non

Ponte irrégulière Oui Non

Présence de la loque (symptômes, comme l'odeur aigre du couvain) Oui Non

Présence du couvain plâtré Oui Non

Cannibalisme Oui Non

- Avez-vous demandé à faire des analyses pour les mortalités ? Oui Non

Date des prélèvements :

Qui a réalisé les prélèvements ?.....

- Prélèvements pour analyses :

Abeilles Couvain Pollens Cires Végétaux

- Résultats :.....

- Ruchers voisins aussi touchés : Oui Non même symptômes : Oui Non

- Distance entre les ruchers :

- Traitement phytosanitaire suspect:

Culture :surface: moins de 5 Hectares de 5 à 10 de 10 à 20

plus de 20

Distance entre le rucher et la culture :

Avez-vous une idée sur les produits phytosanitaires utilisés dans le verger en voisinage :

Oui Non

Si oui, quels sont ces produits ?.....

La lutte contre les maladies :

- Au niveau de votre (vos) rucher (s) avez – vous traité annuellement vos colonies contre

Varroa depuis qu'il est apparu dans votre rucher ? Oui Non

- A quel moment ?

Au printemps A l'automne En hiver En été

- Molécules (s) utilisée (s) et formulation :

- Fluvalinate : Sous forme de lanière Apistan

Inserts artisanaux au Klartan

- Fluméthrine : Sous forme de lanière Bayvarol
- Amitraze : Sous forme de lanière Apivar

Inserts artisanaux au Taktic

- Thymol : Sous forme d'Apiguard
- Autre (le préciser) :

- Avez – vous procédé à des alternances de médicaments : Oui Non

si oui, comment

Avez – vous constaté une baisse d'efficacité du traitement utilisé ?

- A base de fluvalinate Oui Non

- A base de fluméthrine Oui Non

- A base d'amitraze Oui Non

- Inserts artisanaux au Klartan

- Inserts artisanaux au Taktic

- Thymol

- Si oui depuis combien d'années ?

.....

Avez-vous évalué cette baisse d'efficacité à la base des : observations des abeilles

observations de l'activité des abeilles analyses au laboratoire

- Comment alors avez – vous procédé :

Alternance Changement de molécule Augmentation de dose Augmentation de la fréquence des traitements Sans changer de molécule en augmentant la fréquence des traitements et la durée de chaque traitement

Utilisez-vous d'autres moyens de lutte contre les maladies suivantes :

La loque américaine :

Le produit utilisé :

Durant quelle période de l'année ?

Comment avez-vous l'utilisé ?

La loque européenne :

Le produit utilisé :.....

Durant quelle période de l'année ?.....

Comment avez-vous l'utilisé ?.....

La nosémose :

Le produit utilisé :.....

Durant quelle période de l'année ?.....

Comment avez-vous l'utilisé ?.....

Le couvain plâtré :

Le produit utilisé :.....

Durant quelle période de l'année ?.....

Comment avez-vous l'utilisé ?.....

L'acariose :

Le produit utilisé :.....

Durant quelle période de l'année ?.....

Comment avez-vous l'utilisé ?.....

La fausse teigne :

Dans le stock :

Le produit utilisé :.....

Durant quelle période de l'année ?.....

Comment avez-vous l'utilisé ?.....

Dans la ruche :

Le produit utilisé :.....

Durant quelle période de l'année ?.....

Comment avez-vous l'utilisé ?.....

Le frelon :

Le produit utilisé :.....

Durant quelle période de l'année ?.....

Comment avez-vous l'utilisé ?.....

Les fourmis :

Le produit utilisé :.....

Durant quelle période de l'année ?.....

Comment avez-vous l'utilisé ?.....

Comment avez-vous procédé dans le cas d'intoxication des abeilles par les produits phytosanitaires ?

Fermer les ruches Oui Non

Déplacer les ruches Oui Non

La durée de la fermeture des ruches ?.....

استبيان

استبيان بين النحالين بهدف جمع بعض البيانات الأساسية من أجل تقديم فهم أفضل عن تربية النحل في شمال الجزائر.

نرجو تعاونكم من خلال الإجابة على هذا الاستبيان. نحيطكم علما ان جميع إجاباتكم ستكون سرية؛ أعضاء فريق البحث فقط يمكنهم الاضطلاع عليها. كما انه سيتم نشر الإحصائيات الإجمالية فقط والتي لا تحدد اسم الجامعة. نشكركم مسبقا على تعاونكم.

(1) معلومات تخص النحال:

- الاسم، اللقب : (ليس إجباري)

- السن:

- المستوى التعليمي: ابتدائي متوسط ثانوي جامعي

- المهنة: (ليس إجباري)

- البلدية:

- الهاتف: (ليس إجباري)

- البريد الإلكتروني:

(2) معلومات تخص المنحل:

- بلدية تواجد المنحل:

- الولاية:

- عدد الصناديق في المنحل: اقل من 30 من 30 إلى 100 100 إلى 200 أكثر من 200

- المنحل: ثابت يرحل

- مكان تواجد المنحل: غابة حقل حديقة أشجار مثمرة مكان آخر

- خصائص المنحل: مشمش تحت الظل مقابل الرياح الموسمية القوية

- بعيد عن مهب الريح - آخر

(3) الطريقة المنتهجة في التربية:

- منذ متى بدأت في تربية النحل:

- هل تستعمل التغذية المحفزة: نعم لا

* إذا نعم:

- في أي شهر من السنة:

- كم تستمر مدة التغذية:

- على أي شكل تقدم التغذية: محلول معجون (كوندي)

- هل تتناوب بين تغذية بالمحلول السكري و بالكوندي: نعم لا

- ما هي مكونات الغذاء المقدم:

- كم مرة يقدم الغذاء خلال مرحلة التغذية:

- هل تستعمل التغذية في حالة قلة المراعي: نعم لا

* إذا نعم:

- في أي شهر من السنة:

- كم تستمر مدة التغذية:

- على أي شكل تقدم التغذية: محلول معجون (كوندي)

- هل تتناوب بين تغذية بالمحلول السكري و بالكوندي: نعم لا

- ما هي مكونات الغذاء المقدم:

- كم مرة يقدم الغذاء خلال مرحلة التغذية:

- هل تقي المنحل ضد التقلبات الجوية: نعم لا

- الطريقة المستعملة للوقاية ضد التقلبات الجوية:

- هل تجدد بانتظام إطارات الصناديق: نعم لا

- بأي طريقة:

- في أي مدة من السنة:

- كيف تقدر إنتاج العسل في هذه السنة مقارنة بالسنة الماضية: إنتاج جيد إنتاج متوسط إنتاج قليل

قليل

- هل تستعمل الترحال: نعم لا

* إذا نعم:

- أين مكان الترحال:

- في أي شهر من السنة:

- هل تبيع مجموعات النحل: نعم لا

- هل تشتري مجموعات النحل لتكثير عدد الصناديق: نعم لا

- ام تكتفي بتقسيم الصناديق خاصتك: نعم لا

(4) معلومات خاصة بصحة النحل:

- هل تلقيت نقص في عدد الصناديق في المدة الزمنية الممتدة من 2018 إلى 2020: نعم لا

- عدد الصناديق الضائعة:

• في 2018 :

• في 2019 :

• في 2020 :

- في أي شهر لاحظت نقص الصناديق:

• في 2018 :

• في 2019 :

• في 2020 :

- ظواهر ملاحظة:

1/ في النحل:

• نحل ميت أمام المدخل: نعم لا

• نحل ميت بمجموعات: نعم لا

• نحل ميت داخل الصندوق: نعم لا

• نحل مضطرب (عنيف): نعم لا

• نحل له أجنحة غير طبيعية: نعم لا

• إسهال: نعم لا

• نحل ميت داخل الحقل أو البستان: نعم لا

• نحل يرعش: نعم لا

2/ في الحضنة:

- يرقانات ميئة أمام المدخل: نعم لا
- نحل ميت داخل الصندوق(رؤوسه داخل الخلايا السداسية): نعم لا
- عدم انتظام وضع البيض في الحضن: نعم لا
- علامة تعفن الحضنة (مثل الرائحة): نعم لا
- تكلس الحضنة: نعم لا
- هل قمت بالتحاليل المخبرية للنحل: نعم لا

- تاريخ اخذ العينات:

- أين قمت بالتحاليل:

- تحاليل على : الحضنة حبوب الطلع الشمع النحل النباتات

- نتيجة التحاليل: ايجابية (مريضة) سلبية

- هل يوجد منحل بجوار منحل: نعم لا

- هل قام بنفس الشيء الذي قمت به (التحاليل): نعم لا

- هل كانت النتائج نفسها: نعم لا

- هل لوحظت نفس الظواهر: نعم لا

- المسافة بين منحلك و المنحل المجاور له: قريبة بعيدة آخر

- هل لديك فكرة عن المواد المستعملة في مكافحة أمراض أو أعداء النباتات في الحقل المجاور للمنحل: نعم لا

- ما هي هذه المواد:

- نوع الأشجار المجاورة للمنحل:

- مساحة البستان أو الحقل: اقل من 5 هكتار من 5 إلى 10 هكتار من 10 إلى 20 هكتار أكثر من 20 هكتار

- المسافة بين المنحل و البستان أو الحقل: قريبة بعيدة آخر

(5) الوقاية من الأمراض:

- هل كافحت قراد النحل (varroa) منذ ظهوره في منحلك: نعم لا

- في أي شهر من السنة (الفصل):

- المادة المستعملة في مكافحة قراد النحل:

- فليفالينات (ايبستون) : fluvalinate : sous forme de lanier Apistan - نعم - لا
- طلارتان : insert artisanaux au Klartan - نعم - لا
- فليميثرين (بايفارول) : Flumethrine : sous forme de lanier Bayvarol - نعم - لا
- اميتراس (ايفار) : Amitraze : sous forme de lanier Apivar - نعم - لا
- تاكتيك : insert artisanaux au Taktic - نعم - لا
- ثيمول (ايبقارد) : Thymol : sous forme Apiguard - نعم - لا
- مادة أو طريقة أخرى: - نعم - لا

- اسم المادة و/ أو ما هي هذه الطريقة:

- هل استعملت عدة مواد بالتناوب: - نعم - لا

* إذا نعم:

- كيف:

- هل لاحظت نقص فعالية مادة مستعملة في المكافحة: - نعم - لا

• ايبستون Apistan - نعم - لا

• طلارتان Klartan - نعم - لا

• بايفارول Bayvarol - نعم - لا

• ايفار Apivar - نعم - لا

• تاكتيك insert artisanaux au Takti - نعم - لا

• ايبقارد Apiguard - نعم - لا

- ماذا اعتمدت في ملاحظتك: - النظر إلى النحل مباشرة - ملاحظة نشاط النحل - التحاليل المخبرية

- منذ متى لاحظت ذلك: - أول استعمال - ثاني استعمال - ثالث استعمال - أكثر من ثلاثة استعمالات

- كيف وضعت الحل لنقص الفعالية:

- تناوب في استعمال المواد - تغيير المادة نهائياً - رفع تركيز المادة

- رفع عدد التدخلات بدون تغيير المادة - رفع عدد التدخلات مع رفع مدة كل تدخل

- ما هي وسائل مكافحة الأمراض أو الأعداء التالية:

1/ مرض تعفن الحضنة الأمريكي la loque americaine

• المادة المستعملة:

- كيفية التدخل:.....
- في أي مرحلة من السنة:.....

2/ مرض تعفن الحضنة الاوربي la loque europeenne

- المادة المستعملة:.....
- كيفية التدخل:.....
- في أي مرحلة من السنة:.....

3/ مرض النوزيما la nosérose

- المادة المستعملة:.....
- كيفية التدخل:.....
- في أي مرحلة من السنة:.....

4/ مرض تكلس الحضنة le couvain plâtre

- المادة المستعملة:.....
- كيفية التدخل:.....
- في أي مرحلة من السنة:.....

5/ مرض الاكارين l'acariose

- المادة المستعملة:.....
- كيفية التدخل:.....
- في أي مرحلة من السنة:.....

6/ دودة الشمع الكبرى la fausse teigne

- * في الصندوق:
- المادة المستعملة:.....
- كيفية التدخل:.....
- في أي مرحلة من السنة:.....

* خلال تخزين الإطارات:

- المادة المستعملة:.....
- كيفية التدخل:.....
- في أي مرحلة من السنة:.....

7/ الدبور le frelon

- المادة المستعملة:
- كيفية التدخل:
- في أي مرحلة من السنة:

les fourmis /8 النمل

- المادة المستعملة:
- كيفية التدخل:
- في أي مرحلة من السنة:

- كيف تتصرف في حالة تسمم النحل بالمواد المستعملة في مكافحة أمراض أو أعداء النباتات:

- ترحيل الصناديق: - نعم - لا
- غلق الصناديق: - نعم - لا

- مدة الغلق:

شكرا

Tableau 01 : Analyses des composants principales GA intermissa

	Eigenvalues	% Variance	Cumulative %
1	0,000166	15,51	15,51
2	0,000095	8,91	24,43
3	0,000083	7,72	32,14
4	0,000065	6,06	38,20
5	0,000058	5,39	43,58
6	0,000049	4,54	48,12
7	0,000046	4,29	52,42
8	0,000044	4,12	56,54
9	0,000041	3,81	60,34
10	0,000039	3,66	64,00
11	0,000035	3,26	67,26
12	0,000033	3,06	70,33
13	0,000030	2,83	73,16
14	0,000027	2,57	75,72
15	0,000023	2,16	77,88
16	0,000021	1,95	79,83
17	0,000019	1,80	81,63
18	0,000019	1,73	83,37
19	0,000017	1,57	84,93
20	0,000015	1,42	86,36
21	0,000015	1,40	87,75
22	0,000013	1,25	89,00
23	0,000012	1,15	90,15
24	0,000011	1,03	91,18
25	0,000010	0,98	92,16
26	0,000010	0,95	93,11
27	0,000010	0,90	94,01
28	0,000009	0,88	94,89
29	0,000009	0,82	95,71
30	0,000008	0,77	96,48
31	0,000008	0,72	97,19
32	0,000007	0,67	97,86
33	0,000007	0,64	98,50
34	0,000006	0,57	99,07
35	0,000005	0,48	99,55
36	0,000005	0,45	100,00

Tableau 02 : Analyse des variantes canoniques GA intermissa

	Eigenvalues	% Variance	Cumulative %
1	1,307448	45,18	45,18
2	0,531996	18,38	63,56
3	0,385971	13,34	76,90
4	0,311924	10,78	87,68
5	0,205472	7,10	94,78
6	0,151015	5,22	100,00

Tableau 03 : Analyses des composants principales GA sahariensis

	Eigenvalues	% Variance	Cumulative %
1.	0,00012964	19,025	19,025
2.	0,00010291	15,103	34,127
3.	0,00006982	10,247	44,374
4.	0,00005534	8,122	52,496
5.	0,00004586	6,73	59,226
6.	0,00003711	5,446	64,672
7.	0,00003117	4,574	69,246
8.	0,00002855	4,19	73,436
9.	0,00002465	3,617	77,054
10.	0,00001961	2,878	79,932
11.	0,00001854	2,721	82,653
12.	0,00001722	2,528	85,181
13.	0,00001496	2,195	87,376
14.	0,00001212	1,779	89,155
15.	0,00001094	1,606	90,76
16.	0,00000832	1,221	91,981
17.	0,00000778	1,142	93,124
18.	0,00000617	0,905	94,029
19.	0,00000519	0,761	94,79
20.	0,00000502	0,736	95,527
21.	0,00000439	0,644	96,17
22.	0,00000353	0,518	96,689
23.	0,00000339	0,498	97,186
24.	0,00000303	0,444	97,631
25.	0,00000254	0,372	98,003
26.	0,0000022	0,323	98,326
27.	0,00000215	0,316	98,642
28.	0,00000167	0,246	98,888
29.	0,00000139	0,204	99,091
30.	0,00000128	0,187	99,279
31.	0,00000118	0,173	99,451
32.	0,00000112	0,164	99,615
33.	0,00000079	0,117	99,732
34.	0,00000071	0,104	99,836
35.	0,00000057	0,084	99,92
36.	0,00000055	0,08	100

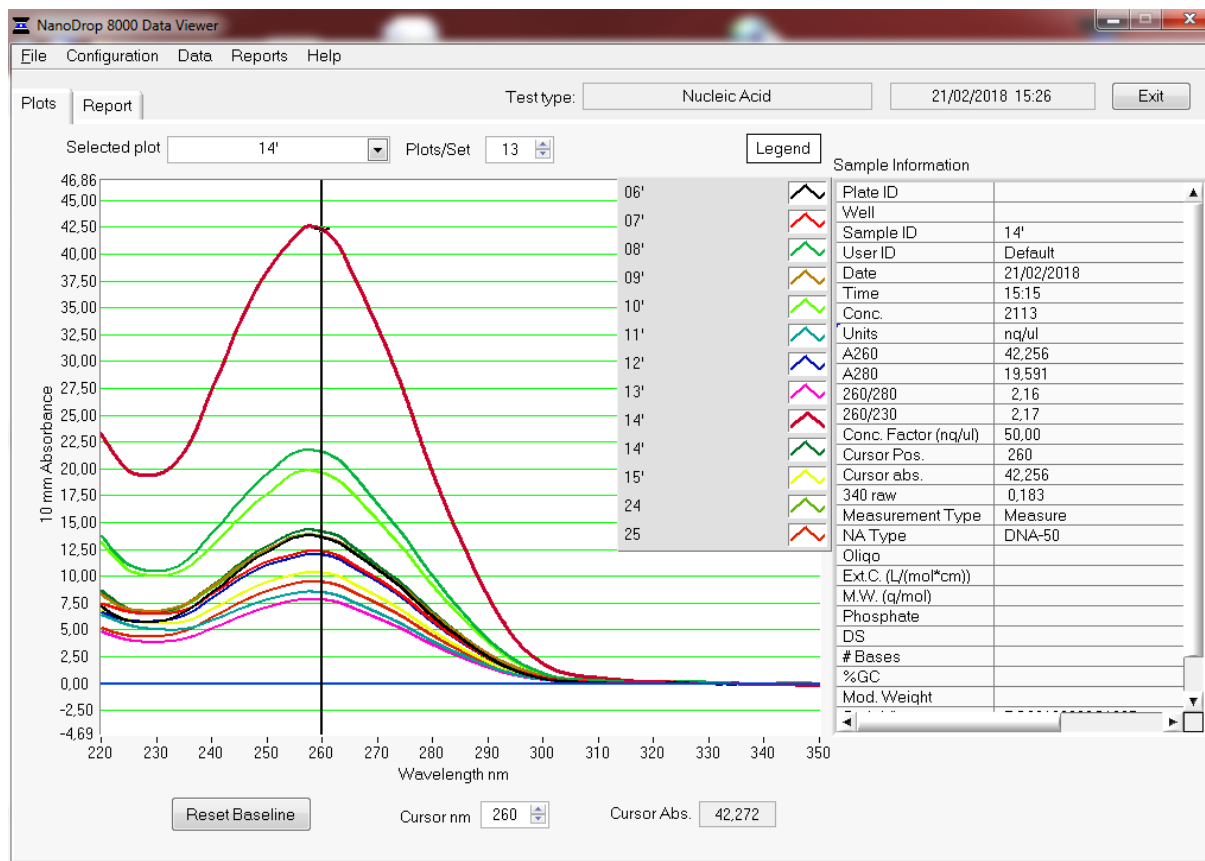
Tableau 04 : Analyse des variantes canoniques GA sahariensis

	Eigenvalues	% Variance	Cumulative %
1.	2,65288071	46,63	46,63
2.	1,52748995	26,849	73,479
3.	1,18494346	20,828	94,307
4.	0,3238692	5,693	100

Tableau 05 : Contrôle de qualité ADN Concentration et ratios A260/A280 et A260/A230

Sample ID	User ID	Conc.	260/280	260/230
1	Default	117,9	1,68	0,65
2	Default	129,1	1,8	0,78
3	Default	129,7	1,73	0,76
4	Default	93,19	1,75	0,59
5	Default	102,5	1,87	0,81
06'	Default	1041	1,34	1,64
07'	Default	1191	1,72	0,96
08'	Default	1562	1,65	0,96
09'	Default	1144	1,77	0,82
10'	Default	1870	1,55	0,8
11'	Default	1125	1,81	0,87
12'	Default	1444	1,61	0,85
13'	Default	1063	1,77	0,83
14'	Default	967,3	1,73	0,79
15'	Default	1793	1,68	0,94
16'	Default	520,7	1,81	1,09
17	Default	518,2	1,85	1,24
18	Default	736,5	1,95	1,4
19	Default	231,2	1,86	0,94
20	Default	340,4	1,93	1,16
21	Default	1295	1,77	1,18
22	Default	530,5	1,7	0,94
23	Default	708,5	1,8	0,81
24	Default	1210	1,74	0,85
25	Default	1145	1,43	0,81
26''	Default	764,7	1,93	1,26
27''	Default	1173	1,97	1,27
28''	Default	1025	1,98	1,35
29''	Default	1050	1,98	1,31
30''	Default	1019	1,93	1,24
31''	Default	1242	1,94	1,16
32''	Default	823,9	1,82	1,07
33''	Default	1638	1,91	1,21
34''	Default	1628	1,90	1,19
34''	Default	1721	1,88	1,19
35''	Default	893,2	1,90	1,18
36''	Default	827,8	1,88	1,28
37''	Default	934,1	1,83	1,22
38''	Default	573,3	1,87	1,31
39''	Default	469,2	1,94	1,42
40''	Default	432,5	1,96	1,34
41''	Default	573,8	1,78	1,19
42''	Default	441,3	1,96	1,38
43''	Default	658,8	1,87	1,27
44''	Default	91,24	1,85	0,79
45''	Default	434,1	1,95	1,26
46''	Default	427,2	2,04	1,66
47''	Default	332,7	2,00	1,34
48''	Default	611,8	1,80	1,26
49''	Default	269,5	1,89	0,93
50''	Default	642,4	1,94	1,42
51''	Default	279,3	1,87	0,96

Figure 05 : Contrôle de qualité ADN Concentration et ratios A260/A280 et A260/A230



الملخص بالعربية

تهدف هذه الدراسة أساساً إلى جمع المعلومات من النحالين في مختلف مناطق الجزائر باستخدام استبيان، بالإضافة إلى الكشف عن مرض النوزوموسا بواسطة تفاعل البلمرة المتسلسل (PCR) لتقدير انتشار هذا المرض. كما دمجت الدراسة التحليل البيومتري الكلاسيكي مع التحليل المورفو-الهندسي لتأسيس قاعدة بيانات حول سلالات النحل المحلية. الهدف النهائي هو اقتراح خطة إدارة وتحسين مناسبة للحفاظ على السلالتين الجزائريتين *Apis mellifera* و *Apis mellifera intermissa* و *sahariensis* ضمن بيئتهما الطبيعية.

أظهرت نتائج الاستبيان أن 22.59% من النحالين تقل أعمارهم عن 40 سنة، مما يشير إلى أن فئة صغيرة فقط تنتمي إلى الفئة العمرية المثالية لتنفيذ برامج تطوير قطاع النحل على المستوى الوطني. فيما يخص المستوى التعليمي، فإن حوالي نصف النحالين (48.5%) حاصلون على التعليم الثانوي، و 24.9% يحملون شهادة جامعية. إن انخفاض نسبة النحالين الجامعيين يشكل عائقاً أمام تطوير هذا القطاع، حيث أن غالبية النحالين هواة، مما ينعكس على محدودية المهارات التقنية لديهم.

كشفت تحاليل PCR عن وجود *Nosema apis* و *Nosema ceranae* في العينات المحللة. من بين 51 عينة، كانت 22 عينة (43.1%) إيجابية لـ *Nosema ceranae*، بما في ذلك ثلاث عينات (5.9%) مصابة بالعدوى المشتركة مع *Nosema apis*. أما 29 عينة المتبقية (56.9%) فكانت خالية من العدوى. لوحظت عدوى *Nosema apis* فقط في حالات العدوى المشتركة مع *Nosema ceranae*، خاصة في مناطق الغرب. ويُعتبر المناخ عاملاً مؤثراً في انتشار أنواع *Nosema sp*. تمثل هذه الدراسة أول تقرير عن كشف مستوى انتشار *Nosema ceranae* و *Nosema apis** وتوزيعهما في الجزائر، وتشير النتائج إلى احتمال وجود مقاومة جينية لدى النحل المحلي لهذه الميكروبورديا، وهو ما يتطلب دراسات إضافية في علم الوراثة الجزيئي لتأكيد ذلك.

أظهرت الدراسة المورفومترية للنحل، بناءً على 17 قياساً، وجود معايير متوسطة مع تباين في الشكل والحجم. قد يعود هذا التباين إلى عوامل بيولوجية وبيئية واجتماعية، بما في ذلك اختلاف أعمار النحل، التباين الجيني، والتسامح مع دخول النحل الأجنبي إلى المستعمرات. كما أظهرت التحليلات المورفو-الهندسية كفاءة أكبر من التحليلات الكلاسيكية في التمييز بين المستعمرات، رغم عدم قدرتها على تمييز خمس مجموعات محلية من *Apis mellifera sahariensis* بسبب تداخل منحنيات التركيز.

الكلمات المفتاحية: الجزائر، *Apis mellifera*، تربية النحل، صحة المستعمرات، *Nosema*، PCR، التحليل البيومتري، التحليل المورفو-الهندسي.

Abstract

The main objectives of this study were to collect information from beekeepers across various regions of Algeria using a questionnaire and to detect *Nosema* infections by PCR to assess the prevalence of this disease. Additionally, the study combined classical biometrics and geometric morphometrics to establish a database on local bee races. The ultimate goal is to propose an appropriate management and improvement plan to preserve and conserve the Algerian subspecies *Apis mellifera intermissa* and *Apis mellifera sahariensis* in their natural habitats. Survey results revealed that 22.59% of beekeepers are under 40 years old, indicating that only a minority belong to the ideal age group for implementing national beekeeping development programs. Regarding educational level, nearly half (48.5%) of beekeepers have secondary education, and 24.9% hold a university degree. The relatively low proportion of university-educated beekeepers represents a constraint for the development of the sector. Most beekeepers are amateurs, resulting in limited technical expertise.

PCR analysis detected *Nosema apis* and *Nosema ceranae* in the analyzed samples. Out of 51 samples, 22 (43.1%) tested positive for *Nosema ceranae*, including three (5.9%) co-infected with *Nosema apis*. The remaining 29 samples (56.9%) were free from *Nosema* infection. *Nosema apis* infections were observed only in co-infection with *Nosema ceranae*, primarily in the western regions. Climate appears to influence the spread of *Nosema* species. This study constitutes the first report on the detection, contamination level, and distribution of *Nosema ceranae* and *Nosema apis* in Algeria. The findings suggest potential genetic resistance of local

Apis mellifera populations to these microsporidia, requiring further molecular genetic studies for confirmation.

Morphometric analysis of bees, based on 17 measurements, established average standards and revealed variability in size and shape. This variation may be due to biological, ecological, and social factors, including bee age differences, genetic heterogeneity, and tolerance to foreign bees entering colonies. Geometric morphometrics proved more effective than classical morphometrics for distinguishing colonies, although it did not differentiate the five local populations of *Apis mellifera sahariensis* due to overlapping concentration ellipses.

Keywords: Algeria, *Apis mellifera*, Beekeeping, Colony health, *Nosema*, PCR, Morphometrics, Geometric morphometrics.

Résumé

Cette étude a pour objectifs principaux de collecter des informations auprès des apiculteurs de différentes régions d'Algérie à l'aide d'un questionnaire, et de détecter la nosérose par PCR afin d'évaluer la prévalence de cette maladie. Par ailleurs, l'étude combine une analyse biométrique classique et une analyse morpho-géométrique pour constituer une base de données sur les races d'abeilles locales. L'objectif final est de proposer un plan de gestion et d'amélioration visant à préserver et conserver les sous-espèces algériennes *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis* dans leur biotope naturel.

L'enquête auprès des apiculteurs révèle que 22,59 % d'entre eux ont moins de 40 ans, indiquant que seule une minorité appartient à la tranche d'âge idéale pour la mise en œuvre de programmes nationaux de développement du cheptel apicole. Concernant le niveau d'instruction, près de la moitié des apiculteurs (48,5 %) disposent d'un niveau secondaire et 24,9 % d'un diplôme universitaire. Le faible nombre d'apiculteurs universitaires constitue une contrainte supplémentaire pour le développement de la filière. La majorité des apiculteurs étant des amateurs, leur niveau de technicité demeure limité.

Les résultats de la PCR ont permis de détecter *Nosema apis* et *Nosema ceranae* dans les échantillons analysés. Sur les 51 échantillons, 22 (43,1 %) étaient positifs à *Nosema ceranae*, dont trois (5,9 %) présentaient une co-infection avec *Nosema apis*. Les 29 échantillons restants (56,9 %) étaient indemnes d'infection. L'infection par *Nosema apis* a été observée uniquement en co-infection avec *Nosema ceranae*, principalement dans les ruchers de l'ouest du pays. Le climat apparaît comme un facteur influençant la propagation des espèces de *Nosema*. Il s'agit du premier rapport sur la détection de *Nosema ceranae* et *Nosema apis* en Algérie, ainsi que sur leur niveau de contamination et leur répartition. Ces résultats suggèrent une possible résistance génétique des populations locales d'*Apis mellifera* à ces microsporidies, nécessitant toutefois des recherches complémentaires en génétique moléculaire pour confirmation.

L'étude morphométrique des abeilles, basée sur 17 mesures, a permis de définir des standards moyens et de révéler une certaine variabilité en termes de forme et de taille. Cette différenciation pourrait résulter de facteurs biologiques, écologiques et sociaux, tels que les différences d'âge, l'hétérogénéité génétique et la tolérance à l'entrée d'abeilles étrangères dans les colonies. Néanmoins, l'analyse morpho-géométrique n'a pas permis de distinguer les cinq populations locales d'*Apis mellifera sahariensis* en raison du chevauchement des ellipses de concentration. Cependant, cette approche s'est montrée plus efficace que la morphométrie classique pour différencier les colonies.

Mots-clés : Algérie, *Apis mellifera*, Apiculture, Santé des colonies, *Nosema*, PCR, Morphométrie, Morphométrie géométrique.

الملخص بالعربية

تهدف هذه الدراسة أساساً إلى جمع المعلومات من النحالين في مختلف مناطق الجزائر باستخدام استبيان، بالإضافة إلى الكشف عن مرض النوزموسا بواسطة تفاعل البلمرة المتسلسل (PCR) لتقدير انتشار هذا المرض. كما دمجت الدراسة التحليل البيومتري الكلاسيكي مع التحليل المورفو-الهندسي لتأسيس قاعدة بيانات حول سلالات النحل المحلية. الهدف النهائي هو اقتراح خطة إدارة وتحسين مناسبة للحفاظ على السلالتين الجزائريتين *Apis mellifera intermissa* و *Apis mellifera sahariensis* ضمن بيئتهما الطبيعية.

أظهرت نتائج الاستبيان أن 22.59% من النحالين تقل أعمارهم عن 40 سنة، مما يشير إلى أن فئة صغيرة فقط تنتمي إلى الفئة العمرية المثالية لتنفيذ برامج تطوير قطاع النحل على المستوى الوطني. فيما يخص المستوى التعليمي، فإن حوالي نصف النحالين (48.5%) حاصلون على التعليم الثانوي، و 24.9% يحملون شهادة جامعية. إن انخفاض نسبة النحالين الجامعيين يشكل عائقاً أمام تطوير هذا القطاع، حيث أن غالبية النحالين هواة، مما ينعكس على محدودية المهارات التقنية لديهم.

كشفت تحاليل PCR عن وجود *Nosema apis* و *Nosema ceranae* في العينات المحللة. من بين 51 عينة، كانت 22 عينة (43.1%) إيجابية لـ *Nosema ceranae*، بما في ذلك ثلاث عينات (5.9%) مصابة بالعدوى المشتركة مع *Nosema apis*. أما 29 عينة المتبقية (56.9%) فكانت خالية من العدوى. لوحظت عدوى *Nosema apis* فقط في حالات العدوى المشتركة مع *Nosema ceranae*، خاصة في مناطق الغرب. ويُعتبر المناخ عاملاً مؤثراً في انتشار أنواع *Nosema sp* تمثل هذه الدراسة أول تقرير عن كشف مستوى انتشار *Nosema apis* و *Nosema ceranae** وتوزيعهما في الجزائر، وتشير النتائج إلى احتمال وجود مقاومة جينية لدى النحل المحلي لهذه الميكروسبورديا، وهو ما يتطلب دراسات إضافية في علم الوراثة الجزيئي لتأكيد ذلك.

أظهرت الدراسة المورفومترية للنحل، بناءً على 17 قياساً، وجود معايير متوسطة مع تباين في الشكل والحجم. قد يعود هذا التباين إلى عوامل بيولوجية وبيئية واجتماعية، بما في ذلك اختلاف أعمار النحل، التباين الجيني، والتسامح مع دخول النحل الأجنبي إلى المستعمرات. كما أظهرت التحليلات المورفو-الهندسية كفاءة أكبر من التحليلات الكلاسيكية في التمييز بين المستعمرات، رغم عدم قدرتها على تمييز خمس مجموعات محلية من *Apis mellifera sahariensis* بسبب تداخل منحنيات التركيز.

الكلمات المفتاحية: الجزائر، *Apis mellifera*، تربية النحل، صحة المستعمرات، *Nosema*، PCR، التحليل البيومتري، التحليل المورفو-الهندسي.

Abstract

The main objectives of this study were to collect information from beekeepers across various regions of Algeria using a questionnaire and to detect *Nosema* infections by PCR to assess the prevalence of this disease. Additionally, the study combined classical biometrics and geometric morphometrics to establish a database on local bee races. The ultimate goal is to propose an appropriate management and improvement plan to preserve and conserve the Algerian subspecies *Apis mellifera intermissa* and *Apis mellifera sahariensis* in their natural habitats.

Survey results revealed that 22.59% of beekeepers are under 40 years old, indicating that only a minority belong to the ideal age group for implementing national beekeeping development programs. Regarding educational level, nearly half (48.5%) of beekeepers have secondary education, and 24.9% hold a university degree. The relatively low proportion of university-educated beekeepers represents a constraint for the development of the sector. Most beekeepers are amateurs, resulting in limited technical expertise.

PCR analysis detected *Nosema apis* and *Nosema ceranae* in the analyzed samples. Out of 51 samples, 22 (43.1%) tested positive for *Nosema ceranae*, including three (5.9%) co-infected with *Nosema apis*. The remaining 29 samples (56.9%) were free from *Nosema* infection. *Nosema apis* infections were observed only in co-infection with *Nosema ceranae*, primarily in the western regions. Climate appears to influence the spread of *Nosema* species. This study constitutes the first report on the detection, contamination level, and distribution of *Nosema ceranae* and *Nosema apis* in Algeria. The findings suggest potential genetic resistance of local *Apis mellifera* populations to these microsporidia, requiring further molecular genetic studies for confirmation.

Morphometric analysis of bees, based on 17 measurements, established average standards and revealed variability in size and shape. This variation may be due to biological, ecological, and social factors, including bee age differences, genetic heterogeneity, and tolerance to foreign bees entering colonies. Geometric morphometrics proved more effective than classical morphometrics for distinguishing colonies, although it did not differentiate the five local populations of *Apis mellifera sahariensis* due to overlapping concentration ellipses.

Keywords: Algeria, *Apis mellifera*, Beekeeping, Colony health, *Nosema*, PCR, Morphometrics, Geometric morphometrics.

Résumé

Cette étude a pour objectifs principaux de collecter des informations auprès des apiculteurs de différentes régions d'Algérie à l'aide d'un questionnaire, et de détecter la nosérose par PCR afin d'évaluer la prévalence de cette maladie. Par ailleurs, l'étude combine une analyse biométrique classique et une analyse morpho-géométrique pour constituer une base de données sur les races d'abeilles locales. L'objectif final est de proposer un plan de gestion et d'amélioration visant à préserver et conserver les sous-espèces algériennes *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis* dans leur biotope naturel.

L'enquête auprès des apiculteurs révèle que 22,59 % d'entre eux ont moins de 40 ans, indiquant que seule une minorité appartient à la tranche d'âge idéale pour la mise en œuvre de programmes nationaux de développement du cheptel apicole. Concernant le niveau d'instruction, près de la moitié des apiculteurs (48,5 %) disposent d'un niveau secondaire et 24,9 % d'un diplôme universitaire. Le faible nombre d'apiculteurs universitaires constitue une contrainte supplémentaire pour le développement de la filière. La majorité des apiculteurs étant des amateurs, leur niveau de technicité demeure limité.

Les résultats de la PCR ont permis de détecter *Nosema apis* et *Nosema ceranae* dans les échantillons analysés. Sur les 51 échantillons, 22 (43,1 %) étaient positifs à *Nosema ceranae*, dont trois (5,9 %) présentaient une co-infection avec *Nosema apis*. Les 29 échantillons restants (56,9 %) étaient indemnes d'infection. L'infection par *Nosema apis* a été observée uniquement en co-infection avec *Nosema ceranae*, principalement dans les ruchers de l'ouest du pays. Le climat apparaît comme un facteur influençant la propagation des espèces de *Nosema*. Il s'agit du premier rapport sur la détection de *Nosema ceranae* et *Nosema apis* en Algérie, ainsi que sur leur niveau de contamination et leur répartition. Ces résultats suggèrent une possible résistance génétique des populations locales d'*Apis mellifera* à ces microsporidies, nécessitant toutefois des recherches complémentaires en génétique moléculaire pour confirmation.

L'étude morphométrique des abeilles, basée sur 17 mesures, a permis de définir des standards moyens et de révéler une certaine variabilité en termes de forme et de taille. Cette différenciation pourrait résulter de facteurs biologiques, écologiques et sociaux, tels que les différences d'âge, l'hétérogénéité génétique et la tolérance à l'entrée d'abeilles étrangères dans les colonies. Néanmoins, l'analyse morpho-géométrique n'a pas permis de distinguer les cinq populations locales d'*Apis mellifera sahariensis* en raison du chevauchement des ellipses de concentration. Cependant, cette approche s'est montrée plus efficace que la morphométrie classique pour différencier les colonies.

Mots-clés : Algérie, *Apis mellifera*, Apiculture, Santé des colonies, *Nosema*, PCR, Morphométrie, Morphométrie géométrique.