



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Université Abou Baker Belkaid, Tlemcen
Faculté de Science de la Nature et de la Vie et de la Terre et de l'Univers

Département de Biologie

Mémoire de fin d'étude
En vue d'obtention du Diplôme de Master

Option : Génétique

Thème

**Caractérisation des colonies isolées d'abeilles domestiques
(*Apis mellifera intermissa*), dans le nord Algérien par
morphométrie classique et géométrie allaires.**

Présenté par :

KORSO TLEMSANI Meroua

Soutenu le : **Lundi 19 Juin 2023**, devant le jury composé de :

GAOUAR S.B.S	Président	Pr. à l'Université de Tlemcen
MOKHTARI NEE SOULIMANE. N	Examinatrice	Pr. à l'Université de Tlemcen
LOUKIDI. B	Encadrante	Pr. à l'Université de Tlemcen
MEDIOUNI. R	Co-encadrant	Dr. à l'Université de Tlemcen

Année universitaire 2022/2023

Remerciement

Tout d'abord, nous exprimons notre gratitude envers Dieu le Tout-Puissant pour nous avoir accordé la santé et guidé tout au long de ce travail.

Nous sommes reconnaissants envers notre Professeur **GAOUAR Semir Bechir Suheil** pour son humble expertise scientifique, sa détermination et ses compétences. Nous vous remercions sincèrement, Monsieur, de nous avoir conseillés et soutenus tout au long de notre parcours académique.

Nous adressons nos chaleureux remerciements à Mme **MOKHTARI NEE SOULIMANE Nassima** d'avoir accepté de faire partie de notre jury et d'avoir examiné ce modeste travail.

Nous tenons à remercier spécialement Mme **LOUKIDI Bouchra**, professeur du département de Biologie à l'université d'Abou Bakr Belkaid-Tlemcen, pour son encadrement, sa direction et son soutien tout au long de ces derniers mois, qui ont permis d'atteindre la finalité de ce travail.

Nous exprimons notre vive reconnaissance envers le Docteur **MEDIOUNI Rida** pour l'intérêt qu'il a porté à notre travail, sa contribution scientifique, ses critiques constructives et sa présence constante à nos côtés.

Nous voulons aussi exprimer notre profonde gratitude à Mme **TRIQUI Chahinez**, merci pour votre dévouement et votre présence sans faille à nos côtés tout au long de ces trois dernières années.

Nous remercions également tous les apiculteurs qui nous ont généreusement accueillis dans leurs exploitations, en particulier **Mr. MOUSSI Nabil** de Biskra et **Mr. Ali** de Tébessa.

Nous remercions aussi l'étudiante **KEBILI Wafa** pour son aide et sa petite touche qu'elle a ajoutée dans la rédaction de notre résumé.

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à **mes parents** qui ont toujours été là pour moi, qui m'ont soutenu et encouragé à avancer merci d'avoir cru en moi.

À **mes beaux-parents** qui ont toujours été présents pour me soutenir et m'accompagner depuis mon jeune âge.

À **mon mari** pour son soutien, sa présence, son dévouement et son amour.

À **mes sœurs** Faiza et Cherifa, mes confidentes, mes piliers sur lesquelles je peux toujours compter, merci d'être toujours là pour moi. Et À **ma belle-sœur** Naila pour son aide et sa présence.

À **mon frère** Habib et **mes beaux-frères** Toufik, Mehdi, Moulay et Rayane, merci pour votre présence et votre bonne humeur.

À **mes nièces** Nourhene, Yasmine et Lyna. À **mon neveu** Osman pour votre présence et votre joie de vivre.

À **ma copine** Meriem et **mes amies** Meriem, Nihad et Yasmina, votre amitié m'a aidé à tenir bon et à accomplir ce que j'ai réalisé au cours de ces dernières années.

Et enfin, à mes princesses, mes filles, merci Ines pour ta présence, ta joie de vivre, tes sourires et tes rires. C'est en te regardant que j'arrive à avancer et à aller de l'avant. Merci à toi, Sophia, de m'avoir accompagnée avec tes coups et ta présence en moi tout au long de cette année. Nous nous retrouverons dans un monde meilleur, inch'Allah.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à ce modeste travail et que j'ai omis de citer, vous vous reconnaissez, j'en suis sûr.

Meroua

Résumé :

La caractérisation des abeilles est une étape essentielle pour une meilleure gestion et durabilité des systèmes de production apicole. Ce travail vise à identifier les éventuelles races et écotypes d'abeilles mellifères dans le nord de l'Algérie en utilisant différentes approches. Pour cela, nous avons d'abord procédé à une caractérisation morphologique en utilisant la morphométrie classique. Nous avons échantillonné une dizaine d'abeilles ouvrières dans 30 ruches par exploitation apicole, réparties dans 12 localités différentes, afin d'avoir un échantillon représentatif. Nous avons mesuré 14 paramètres morphométriques à l'aide d'outils de laboratoire. Les analyses statistiques ont révélé une variation biogéographique au sein des colonies d'abeilles mellifères dans le nord de l'Algérie. Ces résultats ont permis de distinguer différentes populations locales. Parallèlement, nous avons réalisé une caractérisation géo-morphométrique en utilisant la géométrie alaire, qui met en évidence le potentiel géotechnique de production des populations d'abeilles. L'objectif final de cette étude est de caractériser la race locale d'abeille domestique dans un contexte génétique, afin de mettre en place un plan de conservation et une gestion durable appropriés.

Mot clés : *apis mellifera Intermissa*, abeilles domestiques, caractérisation morphométrique, morphométrie, géométrie allaires, conservation, diversité.

ملخص :

تعد توصيف النحل خطوة أساسية لتحسين إدارة واستدامة أنظمة إنتاج النحل. يهدف هذا العمل إلى تحديد السلالات والأنواع المحتملة لعسل النحل في شمال الجزائر باستخدام مناهج مختلفة. لهذا الغرض، قمنا أولاً بتوصيف مورفولوجي باستخدام المورفومتريا التقليدية. قمنا بأخذ عينة من عشرات النحل العاملة من 30 خلية نحل في 12 موقعا مختلفا لضمان الحصول على عينة ممثلة. قمنا بقياس 14 معاملا مورفولوجيا باستخدام أدوات المختبر. أظهرت التحاليل الإحصائية تباينا في الجغرافيا الحيوية داخل مستعمرات النحل العسل في شمال الجزائر. سمحت هذه النتائج بتمييز مستعمرات محليين مختلفين. في الوقت نفسه، قمنا بتوصيف جيومورفومتري بواسطة هندسة الأجنحة التي تبرز الإمكانات الجيوتقنية لإنتاج سكان النحل. الهدف النهائي لهذه الدراسة هو توصيف السلالة المحلية للنحل المستأنس في سياق وراثي لتطوير خطة للحفاظ على هذا النحل وإدارته بشكل مستدام ومناسب.

الكلمات المفتاحية: النحل، دراسة مورفومترية، التحليل الإحصائي، المحافظة، التنوع البيولوجي

Abstract:

Characterizing bees is a crucial step for better management and sustainability of beekeeping systems. This work aims to identify possible races and ecotypes of honeybees in northern Algeria using different approaches. To achieve this, first we carried out a morphological characterization using classical morphometry. We sampled about ten worker bees from 30 beehives per beekeeping operation, distributed in 12 different localities, to obtain a representative sample. We measured 14 morphometric parameters using laboratory tools. Statistical analyses revealed biogeographic variation within honeybee colonies in north Algeria, allowing the differentiation of different local populations. Additionally, we performed a geo-morphometric characterization using wing geometry, which highlights the geotechnical production potential of bee populations. The ultimate objective of this study is to characterize the local race of domesticated honey bees in a genetic context, in order to establish an appropriate conservation and sustainable management plan.

Keywords: *Apis mellifera intermissa*, honey bees, morphometric characterization, morphometry, wing geometry, conservation, diversity.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°1 Classification d'Apis mellifera d'apres (Le Conte, 2004)	7
Tableau N°2 Répartition des taches selon l'âge des ouvrières (Richards et al., 2003)	20
Tableau N°3 Situation climatique et géographique des régions étudiées.....	34
Tableau N°4 Liste des caractères morphologiques classiques étudiées	43
Tableau N°5 Description morphologique des 13points de repère choisis pour une aile antérieure d'une abeille ouvrière (Barour et al., 2011).....	46
Tableau N°6 Outils informatiques nécessaire à notre étude.....	47
Tableau N°7 Résultats d'analyse descriptive	50
Tableau N°8 Analyse de la variance selon les régions.....	61
Tableau N°9 Classification du paramètre LP.....	62
Tableau N°10 Classification du paramètre Fe par rapport aux régions	63
Tableau N°11 Caractérisation du paramètre Ti dans les wilayas étudiées	65
Tableau N°12 Classification du paramètre MT dans les stations étudiées.....	67
Tableau N°13 Classification de ML dans les wilayas étudiées.....	68
Tableau N°14 Classification de T3 parmi les stations étudiées	70
Tableau N°15 Classification du paramètre LT3 dans les différentes stations étudiées.....	72
Tableau N°16 Classification du paramètre T4 dans les stations étudiées	73
Tableau N°17 Classification des groupes par rapport aux moyennes dans les wilayas étudiées	75
Tableau N°18 Classification des groupes par rapport à leur moyenne pour WT.....	76
Tableau N°19 Classification des groupes pour le paramètre WL	78
Tableau N°20 Classification des groupes pour le paramètre T6	79
Tableau N°21 Classification des groupes pour le caractère 6.....	80
Tableau N°22 Corrélation entre les paramètres étudiés	82
Tableau N°23 Pourcentage d'inertie de chaque composante de l'ACP	84
Tableau N°24. Indice de Shannon and Weaver de chaque caractère étudié par rapport à chaque wilaya	89
Tableau N°25 Analyse des variations de conditionnement et de déformation à travers les axes d'ACP.	92
Tableau N°26 Classification des zones par rapport a l'analyse discriminantes	94
Tableau N°27 Taux de précision validé par l'analyse discriminante de linéaire	95

LISTE DES FIGURES

Figure N°1 Principales répartition géographiques des lignées d' <i>Apis Mellifera</i> dans le monde (Franck et al., 2000).	8
Figure N°2 Répartition des deux sous-espèces d'apis mellifera en Algérie	9
Figure N°3 <i>Apis mellifera intermissa</i> « tellienne » (photo originale)	10
Figure N°4 <i>Apis Mellifera Sahariensis</i> « Sahariennes » (Chahbar Nora, 2020)	10
Figure N°5 Bénéfices apportés par <i>A. mellifera</i> dans la production agricole (Papa et al., 2022a)	15
Figure N°6 Liste des espèces de pollinisateurs connus (Klein et al., 2007).....	16
Figure N°7 Les différentes castes d'abeille domestique (Keller, 2003).....	18
Figure N°8 Cycle de développement de chaque caste (Lacube & Sinier, 2013)	23
Figure N°9 Anatomie externe de l'abeille domestique (Kerbastard Nicolas et al., 2020)	25
Figure N°10 Déterminisme sexuelle chez l'abeille domestique	31
Figure N°11 Situation géographique et climatique de la zone d'étude.....	35
Figure N°12 Combinaison.....	36
Figure N°13 L'enfumeur (photo original, janvier 2023)	37
Figure N°14 La ruche (photo original, avril 2023)	37
Figure N°15 Tubes de prélèvement (photo originale, aout 2022).....	38
Figure N°16 Pinces souples (Original).....	38
Figure N°17 Lame (Original)	39
Figure N°18 Lamelle (Original)	39
Figure N°19 Loupe (Original).....	40
Figure N°20 Microscope digital (Original)	40
Figure N°21 Nervation allaire de l'abeille domestique <i>Apis mellifera</i> (Barour et al., 2011)...	44
Figure N°22 Les points de repères pris sur l'aile droite postérieure d'une abeille domestique (photo original).....	45
Figure N°23 Variation du caractère LP parmi les colonies étudiées.....	51
Figure N°24 Variation de paramètre Fe dans les colonies étudiées	51
Figure N°25 La variation du paramètre Ti dans les colonies étudiées	52
Figure N°26 Variation du paramètre MT dans les colonies étudiées.....	53
Figure N°27 Variation du paramètre ML au sein des colonies étudiées	53
Figure N°28 Variations du paramètre T3 dans les colonies étudiées	54
Figure N°29 Variation du paramètre LT3 dans les colonies étudiées	55

Figure N°30 Variation du paramètre T4 dans les colonies étudiées	55
Figure N°31 Variation du paramètre LT4 dans les colonies étudiées	56
Figure N°32 Variation du paramètre WT dans les colonies étudiées.....	57
Figure N°33 Variation du paramètre WD dans les colonies étudiées	57
Figure N°34 Variation du paramètre WL dans les colonies étudiées.....	58
Figure N°35 Variations du paramètre T6 dans les colonies étudiées	59
Figure N°36 Variation du paramètre L6 dans les colonies étudiées	59
Figure N°37 Variations des moyennes dans les colonies étudiées	63
Figure N°38 Variation des moyennes de Fe dans les régions étudiées	64
Figure N°39 Variation des moyennes dans les stations étudiées	66
Figure N°40 Variation des moyennes dans les colonies étudiées	68
Figure N°41 Variation des moyennes du paramètre ML dans les colonies étudiées	69
Figure N°42 Variation des moyennes de T3 dans les stations étudiées	71
Figure N°43 Variation des moyennes de LT3 dans les colonies étudiées.....	73
Figure N°44 Variations des moyennes de T4 dans les stations étudiées.....	74
Figure N°45 Variation du paramètre LT4 dans les stations étudiées	76
Figure N°46 Variance des moyennes de WT dans les colonies étudiées	77
Figure N°47 Variation des moyennes de ML dans les colonies étudiées	78
Figure N°48 Variation des moyennes de T6 dans les stations étudiées	80
Figure N°49 Variation des moyennes de L6 dans les stations étudiées	81
Figure N°50 Les différentes corrélations entre les caractères étudiés.....	83
Figure N°51 Représentation graphique des paramètres morphologique dans le plan des composantes D'ACP	85
Figure N°52 Représentation du graphe de point de nuage par la méthode d'AC	87
Figure N°53 Classification ascendante hiérarchique en fonction de la distance moyenne chez les populations d'abeille étudiées	88
Figure N°54 Classification des groupes d'abeilles selon l'analyse discriminantes linéaire ...	93
Figure N°55 Carte thermique de la distribution des précisions de classification géo morphométrique par région.....	96
Figure N°56 Graphes des algorithmes pour la détermination des clusters.....	97
Figure N°57 Dispersion des stations en trois groupes selon la k-mean	97
Figure N°58 Résultats de la K-mean représenter en histogrammes	98
Figure N°59 Structure témoin avec six Clusters	99
Figure N°60 Structure de la silhouette de la K-mean avec 3 groupes.....	99

LISTE DES ABREVEATIONS

- **ACP** L'Analyse en Composantes Principales
- **ADN** acide désoxyribonucléique
- **AJC** Avant Jésus Christ
- **ANOVA** Analyse de la variance
- **ARNm** Acide Ribonucléique Messenger
- **CSD** Complementary Sex Determination
- **E. standard** Erreur standard
- **E. Type** Ecart type
- **FAO** Food and Agriculture Organization
- **FEM** Female enriched in males
- **FE** Longueur de fémur
- **L6** Transversal de tergite 6
- **LP** Mangue de proboscis
- **LT3** Longitudinale de tergite 3
- **LT4** Longitudinale de tergite 4
- **Max** Maximal
- **MIN** Minimal
- **ML** Longueur de métatarse
- **Mm** Millimètres
- **MRJP's** Major Royal Jelly Proteins
- **MT** Largeur de métatarse
- **Ti** Longueur de tibia
- **WD** Distance entre le miroir de cire
- **WT** Transversal de miroir de cire
- **WL** Longitudinal de miroir de cire
- **UPGMA** Unweighted pair group method with arithmetic mean
- **T3** Largeur de tergite 3
- **T4** Largeur de tergite 4
- **T6** Longitudinal de tergite 6

TABLE DES MATIERES

Remerciement	
Dédicaces	
Liste des tableaux	
Listes des figures	
Listes des abréviations	
Introduction générale.....	2
I. CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	4
I.1. Généralité sur l'abeille domestique.....	5
II.1. Présentation de la taxonomie de l'abeille domestique.....	6
II.2. Caractères zoo-toniques.....	7
II.2.1. Répartition des principales races d' <i>apis mellifera</i> dans le monde :	7
II.2.1.1. Répartition géographique	7
II.2.1.2 Répartition génétique.....	8
II.2.1.3. Répartition des principales races d' <i>Apis mellifera</i> en Algérie	9
III. Rôles environnementaux	11
III.1. La production	11
III.2 la pollinisation	14
III.3. La bio-indication	17
IV. Organisation sociale chez l'abeille domestique	17
IV.1. La reine	18
IV.2. Les mâles ou les faux bourdons	18
IV.3. Les ouvrières	19
V. Cycle de vie de l'abeille domestique.....	20
VI. Le développement annuel de la colonie d' <i>Apis mellifera</i>	23
VII. La morphologie externe de l'abeille domestique.....	24
VII.1. La tête	25
VII.2. Le thorax	26
VII.3. L'abdomen.....	28
VIII. Communication et orientation	28
VIII.1. Communication par trophallaxie	28
VIII.2. Communication via les phéromones	28
VIII.3. La communication sonore	29
VIII.4. Communication par la danse	29

IX. Les particularités génétiques chez l'abeille domestique	29
IX.1. Le déterminisme sexuel	30
IX.2. Le génome mitochondrial	32
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES	
I. Présentation de la zone d'étude.....	34
II. Caractérisation	36
II.1 Sur le terrain	36
II.2 Au laboratoire	37
III. Méthodologie adoptée	41
III.1. Le prélèvement et la conservation des échantillons d'abeilles	41
III.2. Approche morphométrique.....	41
III.2.1. Morphométrie classique	42
III.2.2. La morphométrie géométrie	44
IV. Outils informatiques pour l'évaluation morphométrique et géométrique des caractéristiques des abeilles domestiques	46
V. L'analyse statistique des données.....	48
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION.	
I. Résultat des analyses pour la morphométrie classique	50
I.1. Résultats des analyses descriptives	50
I.2. Analyse de la variance (ANOVA) selon les régions	60
I.3. Résultat de la corrélation entre les différents paramètres	81
I.4. Analyses multivariées	84
I.4.1. Analyse en composante variées (ACP).....	84
I.5. Classification ascendante hiérarchique (CAH).....	87
I.6 Indice de Shannon and Weaver de chaque caractère étudié par rapport à chaque wilaya ..	88
II. Résultat des analyses pour la morphométrie géométrique	91
II.1. Tendance globale de la forme	91
II.1.1. Analyse en composantes principale (ACP)	91
II.1.2. L'analyse discriminante linéaire (LDA).....	93
II.1.3. Carte thermique de la distribution	95
II.1.4. Partitionnement des données par K-mean	96
III. Discussion	101
Conclusion Générale et Perspectives	106
Références bibliographiques	107

INTRODUCTION GENERALE

I. Introduction générale :

L'abeille est un insecte d'une importance capitale, notamment sa forme domestique *Apis mellifera*, qui a été exploitée depuis des temps anciens pour ses multiples produits tels que le miel, la cire, la gelée royale, le pollen, la propolis et même l'apis toxine (Biri, 1999). Ces produits de la ruche sont reconnus, non seulement pour leur valeur économique, mais aussi pour leurs bienfaits sur la santé humaine. L'abeille joue également un rôle essentiel dans l'équilibre environnemental en assurant le processus de pollinisation, indispensable à la reproduction des plantes, la production de fruits et de graines, et donc à la préservation du monde végétal (Ollerton et al., 2011).

Malgré son rôle déterminant pour l'humanité, en particulier dans la pollinisation des plantes angiospermes, l'abeille a longtemps été négligée dans les programmes de développement agricole, alors même qu'elle contribue activement à leur succès. En Algérie, deux sous-espèces d'abeilles, *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis* les plus répandues, ont connu une diminution drastique de leurs populations, principalement en raison de l'utilisation non contrôlée de pesticides par les agriculteurs (Franck et al., 2000). Actuellement, l'Algérie prend conscience de l'importance du développement du secteur apicole en encourageant les agriculteurs pour cette activité.

A la lumière de ces données, nous nous sommes intéressés à l'abeille domestique *Apis Mellifera Intermissa* vue sa disponibilité au nord de l'Algérie en particulier, et en Afrique du nord en générale. Pour ce faire, notre recherche se concentre sur la caractérisation morphologique par le biais de la morphométrie classique et de la géo-morphométrie. Cette approche nous permettra d'obtenir une meilleure compréhension de la diversité des abeilles dans la région et de développer des stratégies de gestion adaptées pour assurer la durabilité des systèmes de production apicole.

L'objectif de cette étude est de comprendre les particularités morphologiques de l'abeille qui lui permettent de s'adapter fonctionnellement à son environnement. Nous souhaitons également déterminer la diversité des lignées évolutives et évaluer le potentiel zootechnique des sous-espèces locales, en particulier *Apis mellifera intermissa*, dans leurs habitats naturels respectifs. En établissant un plan de gestion approprié, nous visons à préserver et à conserver ces sous-espèces d'abeilles algériennes. Dans cette étude, nous utiliserons la caractérisation géo-morphométrique, en particulier la géométrie allaire, pour mettre en évidence le potentiel zootechnique des populations d'abeilles étudiées. En combinant ces approches, nous espérons

obtenir des informations précieuses pour améliorer la gestion et la conservation de ces sous-espèces d'abeilles en Algérie.

Chapitre I

Synthèse Bibliographique

II. Généralités sur l'abeilles domestique :

L'abeille domestique, existe depuis des millénaires (100 000 à 200 000 ans), son ancêtre était surement un insecte africain (Bradbear, 2011). Elle se caractérise par un niveau élevées de développement social (Bradbear, 2011). Elle vie en grande communauté, pouvant aller jusqu'à 80 000 individus dirigés par une seule reine (Michez, 2007), c'est pour cela qu'elles ont fait l'objet de plusieurs études qui ont démontré leurs comportement social (Robinson et al., 1997).

La répartition de l'abeille domestique s'est faites sur une aire indigène vaste qui compte l'Afrique, la majeure partie de l'Europe et le Moyen-Orient et cela sous l'influence de nombreux facteurs extrinsèques (Düttmann et al., 2022).

On peut citer,

- Des facteurs météorologiques, tel que la chaleur et l'humidité.
- Des facteurs nutritionnels, exemple la disponibilité d'eau et de nourriture (verger, terre agricole... etc.) ainsi que,
- Des facteurs paysagers qui se manifestent par des caractères physiques, tel que, les couleurs, l'emplacement des fleurs et des arbres...etc. Qui s'incarnent dans la capacité de déplacement des abeilles. (Requier et al., 2017).

On peut compter 29 sous-espèces reconnues et décrites sur des bases de caractères morphologiques, comportementales, écologiques ainsi que la répartition géographique (Düttmann et al., 2022; Ruttner, 1988).

Les abeilles domestiques ont longtemps été utilisées pour leur production de miel ; qui était auparavant la seule source de sucre. De plus, pour la production de la propolis, la gelée royale et la cire d'abeilles (Bommarco et al., 2012; Bradbear, 2011).

Les abeilles contribuent à la pollinisation des végétaux. Effectivement, elles contribuent à un tiers du consommable de l'être humain et pollinisent 84% des plantes nécessaires à la vie (Bommarco et al., 2012; Bradbear, 2011) et cela grâce à leur mécanisme olfactif (Riley et al., 2005; Menzel & Müller, 1996; Sandoz et al., 1995).

Les antennes jouent un rôle primordial pour l'odorat des abeilles. Les données de leur environnement sont perçues et récoltées grâce à ces dernières. De plus, l'abeille localise une

odeur en utilisant des informations olfactives. Cela est appelé le sens olfactif topochimique. Il est très développé chez *Apis Mellifera* (Mogily et al., 2020).

II.1. Présentation de la taxonomie de l'abeille domestique :

Les abeilles sont classées selon un système hiérarchique appelé la taxonomie. Cette classification est basée sur les relations évolutives entre les espèces, communément appelée « phylogénie ».

La faune d'abeille actuelle remonte à la période de crétacé (période jurassique) qui est de plus de 70 millions d'années AJC.

Les abeilles font partie de l'embranchement Arthropode, de la classe des insectes et de l'ordre des hyménoptères qui compte plus de 100 000 espèces d'abeilles, de guêpes, de fourmis et de mouche à scie. Ces dernières, comptent dans leurs colonies des mâles issus d'œufs non fécondés et subissent des métamorphoses complètes. On peut reconnaître à ce jour 10 espèces d'abeilles du genre *Apis* qui représente une infime fraction des espèces existantes soit un pourcentage de 0.1% (Gupta, 2014). On peut les regrouper en trois groupes distincts : les abeilles géantes, les abeilles naines et les abeilles nichantes dans les cavités. Ces résultats, ont été obtenus grâce à des analyses basées sur l'ADN nucléaires et les marqueurs mitochondriaux (Raffiudin & Crozier, 2007).

Tableau 1. Classification d'*apis mellifera* d'après le Conte

Rang de classification	Dénomination
Règne	Animal
Embranchement	Arthropodes
Classe	Insectes
Ordre	Hyménoptères
Famille	Apidés
Genre	Apis
Espèce	Apis mellifera
Sous-espèce	Apis mellifera intermissa Apis mellifera sahariensis

II.2. Caractères zoo-toniques :

Les abeilles mellifères sont des insectes sociaux qui présentent plusieurs caractères zootoniques tel que la productivité, la docilité, la résistance aux maladies, la longévité...etc., autrement dit des caractères sélectionnés par l'homme pour répondre à des besoins spécifiques dans l'apicultures. Cependant il convient de noter que ces caractères peuvent varier en fonction de la région géographique et des pratiques apicoles local(Khedidji et al., 2022).

II.2.1. Répartition des principales races d'*apis mellifera* dans le monde :

II.2.1.1. Répartition géographique (Figure 1) :

Les abeilles nous ont montré leurs grandes capacités d'adaptation et se sont installés presque partout dans le monde (**Figure 1**), dans des régions aux climat froid, aux températures basses et aux hivers longs et rigoureux à des régions sous les tropiques où les températures sont généralement élevées et des hivers presque absents (Gupta, 2014).

De même, les sous espèces de l'abeille mellifères, se sont toutes réparties naturellement en Afrique, l'Europe et bien même en Asie occidentale (Ruttner, 1988).

II.2.1.2 Répartition génétique

D'abord les abeilles mellifères ont été divisé en trois grandes lignées par morphométrie traditionnelle (A, M, C), ensuite en complétant la morphométrie par des données moléculaires ultérieurs, d'où, une autre lignée a fait son apparition (A, M, C, O). Par ailleurs, grâce à des données moléculaires plus récentes, une autre lignée c'est manifestée, ce qui nous fais en tout cinq lignée (A, M, C, O, Y) et environ une trentaine de sous-espèces (Ilyasov et al., 2020).

- La lignée O : dites Orientales qui existent principalement en Asie avec sept races.
- La lignée M : dites Méditerranéennes occidentales qui regroupe cinq races.
- La lignée A : dites Africaines qui comptent huit races.
- La lignées C : longent l'Europe centrale et l'Europe de l'est avec cinq races elle est dite méditerranéennes septentrionales.(Aglagane et al., 2022)
- La lignée Y : existante en Afrique du Nord-Est(Alburaki et al., 2013)



Figure 1. Principales répartition géographique des lignées d'*Apis Mellifera* dans le monde (Franck et al., 2000).

II.2.1.3. Répartition des principales races d'*Apis mellifera* en Algérie (Figure 2) :

En vue de la grande diversité de la flore et du climat algérien, nous avons pu constater la présence de deux sous espèces de la race d'abeille indigène plus au moins liée géographiquement : *Apis Mellifera Intermissa* et *Apis Mellifera sahariensis*.(Rebiai & Lanez, 2015)

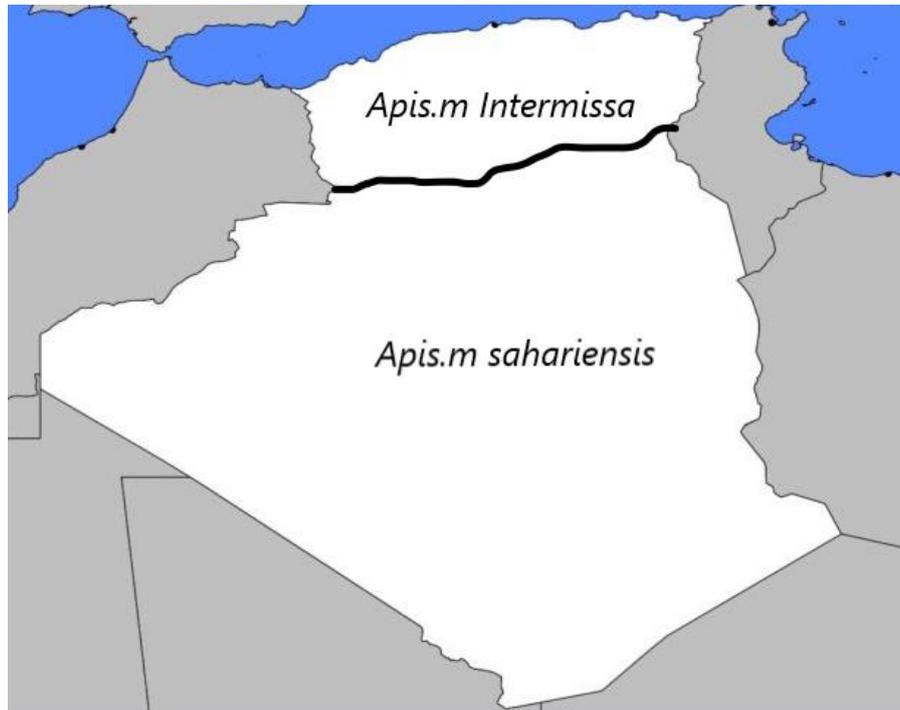


Figure 2. Répartition des deux sous-espèces d'apis mellifera en Algérie

- *Apis Mellifera Intermissa* :

Appelé communément « abeille tellienne » (**Figure 3**), son spectre de répartition est limité à tout le nord-africain par la méditerranée. Connue pour son agressivité et son essaimage, cette petite abeille noire élève plus de cent reines à chaque période printanière, et parfois même automnale ce qui aide à rétablir le nombre de colonies perdu estimée à plus de 80% de l'ensemble des colonies (Bendjedid & Achou, 2014)



Figure 3. *Apis mellifera intermissa* « tellienne » (photo originale)

- *Apis Mellifera Sahariensis* (Figure 4) :

Apis mellifera sahariensis également appelé l'abeille saharienne a été découverte dans le sud-est du Maroc et l'Ouest de l'Algérie par Philipp Baldensoerger au début du XIXe siècle. Ses premiers anneaux sont jaunes, très larges et bordés d'un trait noir, le troisième est plus étroit et les deux derniers sont noir.

En raison de sa douceur, de sa forte adaptation aux conditions climatiques difficiles (-6°C à $+50^{\circ}\text{C}$) et de sa productivité, en effet elles peuvent butinés a plus de huit kilomètres de leur ruche, cette abeille a été recommander pour l'apiculture. (Aglagane et al., 2022; Okuyama et al., 2018; Bendjedid & Achou, 2014)



Figure 4. *Apis Mellifera Sahariensis* « Sahariennes » (Chahbar Nora, 2020)

III. Rôles environnementaux :

L'abeille est un insecte protégé car, sur le plan écologique, elle est considérée comme bioindicateur, du fait de la haute sensibilité qu'elle porte à l'environnement qui l'entoure. (Floyd et al., 2020)

Cela se manifeste sur plusieurs aspects, en premier lieu, elle joue un rôle économique important en tant que productrice du miel, de gelée royale, de propolis...etc. Ceci, grâce à l'apiculture, et en apportant un accroissement quantitatif et qualitatif à l'agriculture.

III.1. La production :

La production d'une large gamme de produits est exclusive à cet insecte. Ce qui fait croître l'intérêt des humains envers l'apiculture, essentiellement pour la production du miel, cette dernière est estimée à 220 000 tonnes en France. (Chauzat et al., 2013), et de 3000 tonnes en Algérie en 2019 selon la FAO. Il est à noter que la production du miel reste modeste en Algérie par rapport à d'autres pays producteurs. Néanmoins, il est réputé pour ses saveurs et ses qualités.

Cependant, le miel n'est pas l'unique produit que l'abeille nous procure mais on peut en compter aussi la cire, la gelée royale, la propolis, et du venin.

- La cire :

La cire d'abeille est principalement composée d'alcane, d'acides gras, d'esters à longue chaîne et d'oligo-composés tel que gluconate de zinc. Elle est sécrétée à partir de glandes cireuses qu'on retrouve au niveau de l'abdomen d'une abeille adulte âgée de douze à dix-huit jours.

Cette substance est manipulée pour construire le nid qui permet la thermorégulation, l'élevage du couvain ainsi que le stockage de nourriture. (Luo et al., 2021; Svečnjak et al., 2019; Fratini et al., 2016)

Son utilisation remonte au paléolithique principalement pour la chasse, puis elle a été utilisée en cosmétique, pour des rituels et pour l'imperméabilité des meubles en néolithique ainsi qu'en médecine en Égypte ancienne. Actuellement cette substance est utilisée dans l'industrie alimentaire. Des études sont en cours pour son utilisation comme agent gélifiant (Hao et al., 2022; Sarkisyan et al., 2021)

- La propolis :

Utilisé principalement pour la construction et l'adaptation de leur nid, la propolis appelée aussi « colle d'abeille » est une substance résineuse collectée sur les plantes, les arbres, les bourgeons et les exsudats de plantes transformée en présence d'enzymes d'abeille. (Damodaran, 2021; Sandoz et al., 1995)

La composition de la propolis reste très complexe ; trois cent composants ont été identifiés et cela est dû à sa dépendance de la source végétale et de la source florale locale, ce qui rend sa standardisation compliquée. Néanmoins, elle est composée de 30 % de cire, 50 % de résine et de baume végétal, 10 % d'huiles essentielles et aromatiques, 5 % de pollen et d'autres composants (Papa et al., 2022; Anjum et al., 2019; Burdock, 1998).

La propolis présente également des activités antivirales, antifongiques et antiparasitaires d'où son utilisation dans le domaine de la santé, de la prévention de maladie, en biopharmacie et en bio-cosmétique (Papa et al., 2022; Gekker et al., 2005; Salomao et al., 2004; Sforcin et al., 2001).

La propolis fait même son entrée à grand pat dans l'industrie alimentaire en effet des études sont menées pour l'introduire en tant que bio-conservateur pour les jus de fruits (Chang et al., 2021).

- La gelée royale :

C'est la nourriture qui règle la distinction entre les femelles reproductrices (les reines) et non reproductrices (les ouvrières) elle est sécrétée par des glandes mandibulaires et hypopharyngées. (Papa et al., 2022; Weaver, 1957). Sa composition est de : 60 à 70 % d'eau, de 9 à 18 % de protéines, de 7 à 18 % de sucres simples et de 3 à 8 % de lipides (Melliou & Chinou, 2005), elle contient aussi des oligo-éléments, vitamines B5 et B6 et des traces de vitamine C des nucléotides, des acides aminés et d'autres composants. Concernant les protéines MRJPs sont les protéines majeures en effet c'est des protéines sécrétées par les abeilles (Uversky et al., 2021).

La gelée royale a un grand impact sur le maintien des fonctions biologiques de l'homme, tel que la durée de vie, l'immunité et la mémoire (Guo et al., 2021). Ainsi que des propriétés biologiques et pharmaceutiques telles que les effets anti-hypertenseur, anti-inflammatoires, anti-cancéreux, oestrogénique et eutrophiques (Ahmad et al., 2020).

- Le venin :

Secréter par une glande à venin située sur l'abdomen de l'abeille. Cette toxine naturelle a été longtemps utilisé pour immobiliser les proies puis elle est devenue un moyen de défense contre les attaques(Baracchi et al., 2011).

Cette toxine naturelle et précieuse est constituée de molécules organiques simples, de peptides, de protéines et d'autres éléments bioactifs. En effet son prix varie entre 30\$ et 300 \$ le gramme(Papa et al., 2022; Scaccabarozzi et al., 2021).

Il est vrai que le venin est utilisé depuis mille à trois mille ans avant notre ère en médecine traditionnelle actuellement connu sous le nom d'apithérapie(Zhang et al., 2018). Récemment il a été proposer comme thérapie neuroprotectrice prometteuse pour les maladies auto immune (Khalil et al., 2015).

- Le miel :

Elaborer à partir de sécrétion de parties vivantes de fleurs, ou même d'excrétion d'insecte suceurs de plantes. Le miel est une solution de sucre saturé, constituer d'acides organiques, d'acides aminés, d'enzymes, de protéines, de minéraux, de composés phénoliques, de composés volatiles et de vitamines. Néanmoins sa composition reste dépendante de son origine botanique et géographique(Seraglio et al., 2021).

Au paravent le miel était l'intérêt principale de l'apiculteur, longtemps considéré comme nutriment en tant que principale source de sucre, de médicament et de pommade pour la cicatrisation. Cette croyance s'est perpétuée et à donner naissance à une nouvelle branche de médecine traditionnelle actuellement appeler apithérapie qui s'est développer et traite différentes maladies grâce aux produits de la ruche(Mandal & Mandal, 2011).

- Le pollen :

Qualifier d'aliment miracle ou aussi d'aliment parfait. Le pollen est accumuler sur les pattes postérieure des abeilles lors de leur butinage, en forme de pelote.(Topitzhofer et al., 2021; Judd et al., 2020)

Le pollen renferme 30 % à 55 % de glucides, de 25 % à 30 % de protides, de 1 % à 20 % de lipides et, pour le reste, des vitamines et des minéraux. Il contient aussi de petites quantités d'antioxydants et de substances immunostimulantes.(Topitzhofer et al., 2021)

III.2 la pollinisation :

La pollinisation par les insectes fait partie des services rendus gratuitement par les écosystèmes, c'est l'un des moteurs les plus important de la biodiversité(Fleming & Muchhala, 2008).

Le rôle des abeilles dans les écosystèmes et l'agroécosystème devient de plus en plus évident ce qui nous permet de dire que les abeilles sont le groupe le plus important des polinisateurs(Földesi et al., 2021; Ollerton et al., 2011). en effet, on peut l'estimer par une moyenne de 16% pour les espèces floral et 5% pour les espèces végétales(Hung et al., 2018).

La richesse et la diversité d'un écosystème est aussi liées à celle des plantes à fleurs et pour estimer cela il n'y a pas de meilleurs moyens que celui de la richesse en pollen. En effet, c'est un aspect qui relie *Apis Mellifera* à la biodiversité(Birks et al., 2016). On peut aussi souligner que grâce à ce rôle de polinisateur, les abeilles assurent la conservation et la diversités génétiques des sous-espèces végétales locales, ainsi que leurs rôles écologiques (Requier et al., 2019; Hung et al., 2018).

D'autre part, 80% des services de pollinisation agricoles mondiaux, sont attribuer à *Apis Mellifera* ce qui fais d'eux le polinisateur le plus précieux au monde, et ceci, depuis l'antiquité (Breeze et al., 2011; Ollerton et al., 2011; Williams et al., 1991).

De ressentés études ont démontré que grâce à ces insectes, le rendement (**Figure 5**) des avocatiers et du kiwi augmente en présence d'abeille de 80% à 90% (Pardo & Borges, 2020).

On peut noter que les abeilles et les guêpes sauvage (**Figure 6**), ont aussi un rôle dans la pollinisation mais qui reste minime par rapport à celui des abeilles domestiques (Liu et al., 2020; Klein et al., 2007).

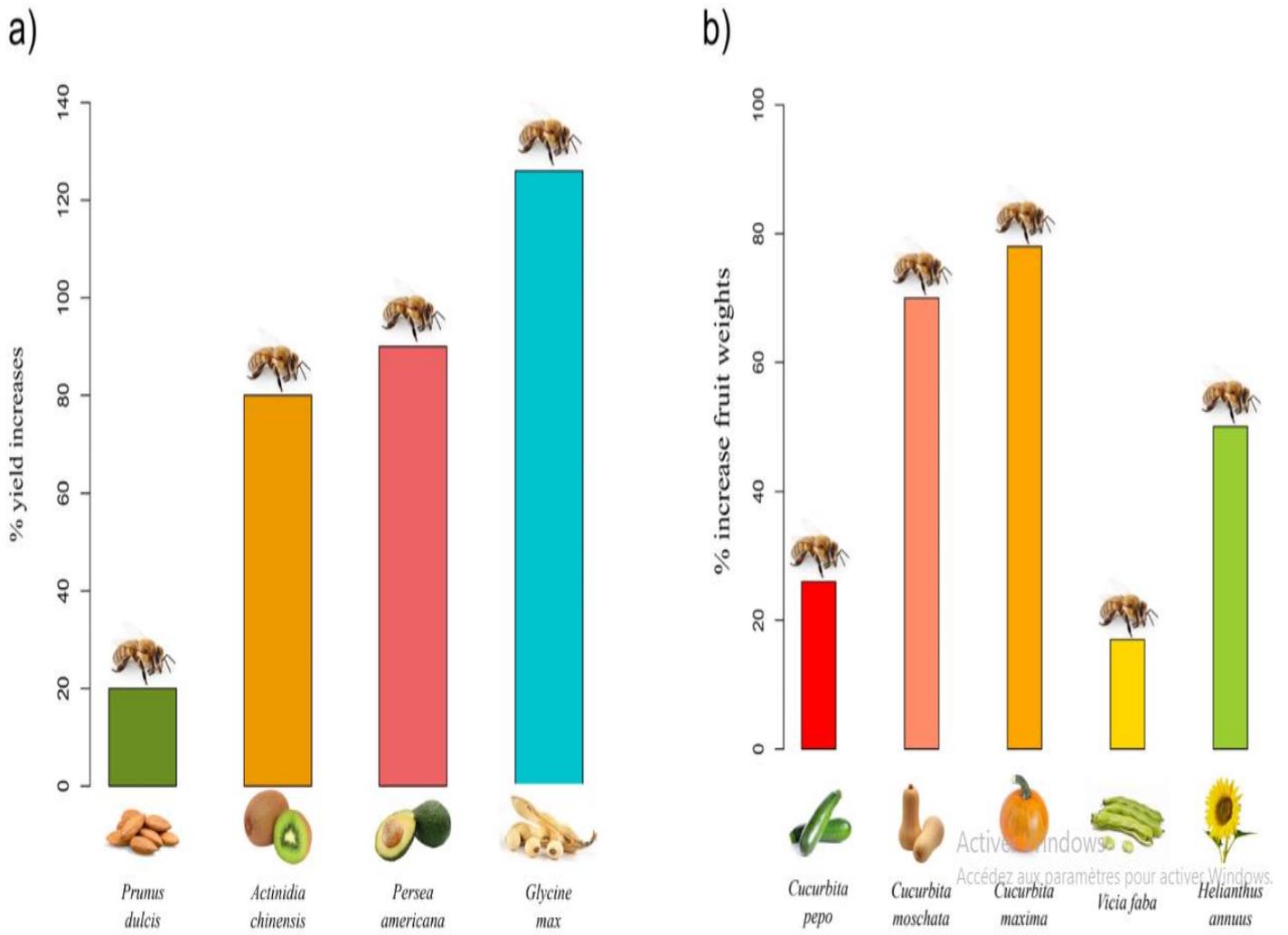


Figure 5. Bénéfices apportés par *A. mellifera* dans la production agricole (Papa et al., 2022a)

Groupes de pollinisation des hyménoptères	Espèces
Abelle	<i>Apis cerana</i> Fabr., <i>A. dorsata</i> Fabr., <i>A. florea</i> Fabr. et <i>A. mellifera</i> L.
Abelles sans dard	<i>Melipona favosa</i> Fabr., <i>M. subnitida</i> Ducke, <i>M. quadrifasciata</i> Lepelletier, <i>Nanotrigona perilampoides</i> Cresson, <i>N. testaceicornis</i> Lepelletier, <i>Trigona cupira</i> Sm., <i>T. iridipennis</i> Smith, <i>T. (Leptotrigona) terminata</i> Smith, <i>T. (Tetragonula) minangkabau</i> Sakagami, <i>T. toracica</i> Smith et <i>Scaptotrigona depilis</i> Moure.
Bourdons	<i>Bombus affinis</i> Cresson, <i>B. californicus</i> F. Smith, <i>B. hortorum</i> L., <i>B. hypnorum</i> L., <i>B. impatiens</i> Cresson, <i>B. lapidarius</i> L., <i>B. (Thoracobombus) pascuorum</i> Scop., <i>B. sonorinus</i> L., <i>B. terrestris</i> L. et <i>B. vosnesenskii</i> Radoszkowski.
Abelles solitaires	<i>Arregilla chlorocyanea</i> Cockerell, <i>A. (Zonaregilla) holmesi</i> Rayment, <i>Andrena lieda</i> Cam., <i>Anthophora pilipes</i> Fabr., <i>Centris tarsata</i> Smith, <i>Creightorella frontalis</i> Fabr., <i>Habropoda laboriosa</i> Fabr., <i>Halictus tripartitus</i> Cockerell, <i>Megachile (Delomegachile) addenda</i> Cresson, <i>M. rotundata</i> Fabr., <i>Osmia aglaia</i> Sandhouse, <i>O. cornifrons</i> Radoszkowski, <i>O. cornuta</i> Latreille, <i>O. lignaria lignaria</i> Say, <i>O. lignaria propinqua</i> Cresson, <i>O. ribifloris</i> Cockerell, <i>Peponapis limularis</i> Cockerell, <i>P. pruinosa</i> Say, <i>Pithitis smaragdula</i> Fabr., <i>Xylocopa (Zonohirsuta) dejeanii</i> Lepelletier, <i>Xylocopa frontalis</i> Oliver et <i>Xylocopa suspecta</i> Moure.
guêpes	Guêpes figues (par exemple, <i>Blastophaga psenes</i> L.), <i>Tiphia vernalis</i> Rohwer

Figure 6. Liste des espèces de pollinisateurs connus (Klein et al., 2007).

III.3. La bio-indication :

Un autre rôle notable est attribué à l'abeille, grâce à sa structure morphométrique et les produits fournis par cet insecte on peut le qualifier de biocapteur complet, bioindicateur et bioaccumulateur au même moment(Edo et al., 2021; Bargańska et al., 2016). Il entre en contact avec un grand nombre de polluant grâce à une distance de butinage de plus de trois kilomètres couvrant ainsi un spectre de 100 kilomètres carré environ(Couvillon & Ratnieks, 2015).

On peut retrouver les traces des polluants sur le corps des abeilles (larves et adultes) ou dans les produits fournis (miel, cire...). Ces derniers peuvent s'accumuler en plusieurs façon, pendant le vol (pollution de l'air), recherche de nourriture (pollution de terre, végétaux et même d'eau)(Papa et al., 2021; González-Alcaraz et al., 2020; Zaric et al., 2018).

En zones rurales les abeilles sont obligées de se nourrir des espèces cultivées et de ce fait elles deviennent le meilleur bioindicateur des produits phytosanitaires(de Oliveira et al., 2016). En effet elles mettent en évidence en temps réel la mauvaise gestion éventuelle des pesticides et des produits toxique(Zioga et al., 2020).

De plus, de tout ce qui est noté en haut, *Apis Mellifera* nous offre plein d'avantage par rapport à d'autres systèmes de surveillance, en voici en réénumérer cela :

- Aucun impact environnemental.
- Coup d'achat et d'entretien limité.
- Echantillonneurs fiable.
- Collecte simultanée.
- Biocapteur autonome.
- Possibilité de prouver la pénétration des polluant dans la chaîne alimentaire(Parmar et al., 2016).

IV. Organisation sociale chez l'abeille domestique :

Comme les autres insectes eusociaux, les abeilles peuvent être divisées en plusieurs castes : la reine, les ouvrières et les faux-bourdons(Chan et al., 2006) (**Figure 7**). Ces derniers ont différentes fonctions, chaque caste a un rôle bien défini cela est dû à leurs différences **morphologiques**.

On peut observer une cohésion social exemplaire qui est dû à l'émission des phéromones.



Figure 7. Les différentes castes d'abeille domestique (Keller, 2003).

IV.1. La reine :

La reine pèse entre cent-cinquante et trois-cent milligrammes et compte deux cent à quatre cent ovaires elle possède aussi une spermathèque bien développée, des mandibules avec encoche, et une tête arrondie (A. De Souza et al., 2015).

La reine est la seule femelle reproductrice de la colonie, on peut en dénombrer trois sortes de reines :

Une reine fécondée : une abeille qui est capable d'engendrer une descendance après avoir effectué son vol de fécondation.

Une reine vierge : n'est pas capable d'engendrer de descendance et n'a pas encore effectué son vol de fécondation.

Une reine bourdonneuse : donne naissance qu'à des mâles, elle pond des œufs non fécondés (Chan et al., 2006).

IV.2. Les mâles ou les faux bourdons :

C'est la seule caste masculine des abeilles. Facilement reconnaissable à son abdomen épais et émoussé à la fin en forme de balles, ainsi qu'à sa tête et son thorax qui sont plus développés que ceux des castes féminines.

Stimulé par des abeilles travailleuses les mâles participent à la trophallaxie par des signaux de vibration, ils participent aussi à la thermorégulation de la ruche. Mais ils ont particulièrement

retenu l'attention grâce à leur comportement d'accouplement en dehors du nid ; en s'accouplant avec une reine à quinze, quarante mètres environs dans les aires(Reyes et al., 2019).

IV.3. Les ouvrières :

C'est des femelles non reproductrices qui effectuent toutes les tâches de la ruche et qui sont spécialisées dans la récolte du nectar et du pollen(Wang et al., 2021).

L'ouvrière pèse environ cinquante à cent dix milligrammes possède des mandibules lisses, une tête triangulaire, deux à douze ovarioles et un thorax moins développé que celui de la reine est cela est dû à l'absence ou la présence de seulement une spermathèque vestigiale(A. De Souza et al., 2015).

Cette dernière est dotée de grandes capacités d'adaptation physiologique, comportementale, et se spécialise en fonction de son âge (**Tableau 2**).

Tableau 2. Répartition des tâches selon l'âge des ouvrières (Richards et al., 2003).

Rôle	Nombre de jours de vie	Les tâches
Nettoyeuse	Du 1 ^{er} au 3 ^{ème} jour	-Nettoyage des alvéoles des cadres pour qu'elle accueille du couvain, du pollen ou du nectar.
Nourrices	Du 3 ^{ème} au 9 ^{ème} jour	-Production de la gelée royale ou de la gelée nourricière. -Nourrir les larves ouvrières avec de la gelée nourricière et du pollen. - Nourrir les larves de moins de trois jours et la reine avec de la gelée royale.
Magasinières	Du 9 ^{ème} au 12 ^{ème} jour	-Recueillir le nectar et le pollen rapporté par les butineuses. -effectuent des échanges trophallactique pour transformer le nectar en miel.
Maçonnes	Du 11 ^{ème} au 15 ^{ème} jour	-Bâtissent les cellules qui forme les rayons de la ruche.
Ventileuses	Du 7 ^{ème} au 21 ^{ème} jour	-Régulation de la température et de l'humidité de la colonie aux seins de la ruche.
Gardiennes	Du 15 ^{ème} au 26 ^{ème} jour	-Surveille et contrôle l'entrée de la ruche. -Secrètent une phéromone de danger qui entrainera un comportement de défense ou d'attaque.
Butineuses	Du 20 ^{ème} jour à la mort	-effectuent des vols de reconnaissance un moment qualifié de « soleil d'artifice ». -Récolte du nectar, pollen, miellat, eau et propolis.

V. Cycle de vie de l'abeille domestique :

En effet après la maturation sexuelle de la reine elle part s'accoupler pendant un vol nuptial avec environs quinze faux-bourçons, puis elle revient et commence à pendre intensément trois jours après son vol on peut en dénombrer milles cinq cent à deux milles œufs par jours pour

atteindre quarante milles à soixante milles individus pendant l'été et le printemps(Winston, 1991).

L'abeille a des stades de développement très distinct, le temp de ces derniers varie par rapport à chaque caste ; vingt-quatre jours pour les mâles, vingt et un jours pour les ouvrières et les reines sont les plus rapides avec quinze à seize jours (**Figure 8**).

On peut donc dire quelle subie une métamorphose très complète, elle passe d'œufs à adulte en passant par larve puis nymphe(Philippe, 2007).

-L'œuf : L'œufs ressemble à un minuscule grain de riz, il est blanc et mesure entre 1 et 18 millimètres et environs 0.5 millimètres de large et pèse entre 0.12 et .022 milligrammes. Les œufs sont pondus dans des cellules de cire hexagonales dans la zone du couvain de rayon. Au bout de trois jours l'œufs éclot.

Un œuf fécondé donne naissance à l'une des castes féminines et s'il ne l'est pas il donnera naissance à un faux-bourdon

La taille, le poids et le temp de développement varient selon la race, la lignée et même selon les conditions climatiques(Pernal, 2021).

-Larve : Appeler aussi « couvain couvert » elles sont blanches et pondent en forme de C.

Les larves sont constamment nourries d'abord par de la gelée royale puis par du miel et du pollen excepté les futures reines qui ne change pas leur régime alimentaire et continue d'être nourrie par de la gelée royale(Clément, 2011).

La larve mue à 5 reprises et devient mille cinq cent fois plus grosse.

Au 9e jour, l'alvéole est operculée par un petit bouchon de cire. Les derniers jours du stade larvaire sont consacrés à la construction d'un cocon.

Le temps que passe les abeilles sous forme de larve varie par rapport à la caste on en compte 6.5 jours pour les mâles, 6 jours pour les ouvrières et 5.5 jours pour les reines (Clément, 2018).

-Nymphe : Ou encor « couvain operculé » ce stade dur douze jours chez les ouvrières, huit jours chez les reines et quatorze jours et demis chez les faux-bourçons c'est le dernier avant le stade adulte.

Le thorax, les pattes, les yeux, l'abdomen, la tête et les pièces buccales ont les mêmes caractéristiques que chez l'adulte, la couleur des cuticules détermine l'âge de la puppe cette dernière devient de plus en plus foncé au fil des jours (Haber et al., 2019).

-Adulte : Le développement interne se poursuit dans les huit à dix jours après la naissance. Le développement des organes reproducteurs quant à lui continu chez les reines et les faux-bourçons.

A l'émergence le poids moyen chez les ouvrières est de quatre-vingt et un à cent cinquante milligrammes, les faux-bourçons de cent quatre-vingt-seize à deux cents vingt-cinq milligrammes et de cent soixante-dix-huit à deux cent quatre-vingt-douze milligrammes chez les reines(Adam, 2010).

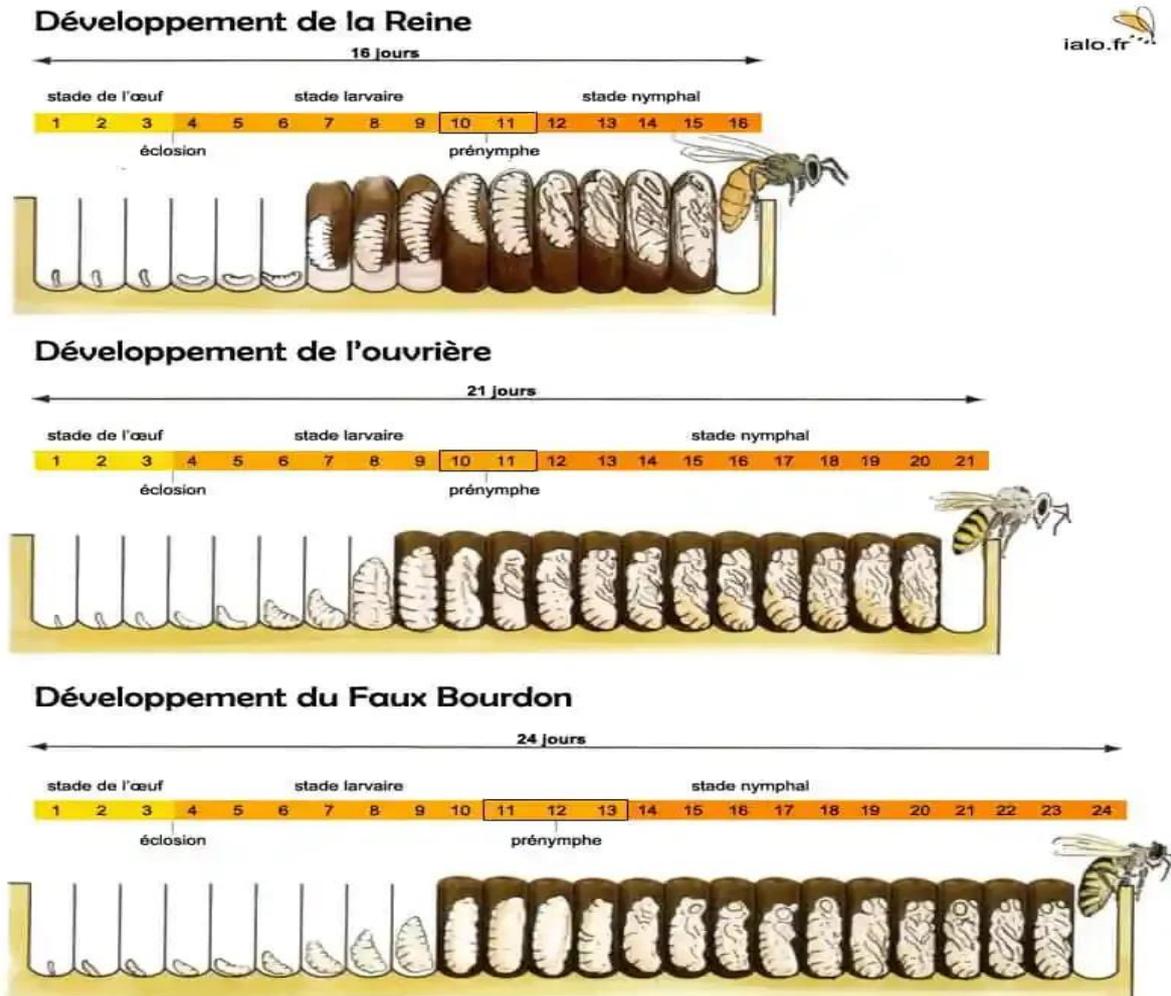


Figure 8. Cycle de développement de chaque caste (Lacube & Sinier, 2013).

VI. Le développement annuel de la colonie d'*Apis mellifera* :

Le développement annuel d'*Apis mellifera*, ou l'abeille domestique occidentale, dépend de plusieurs facteurs et varie selon les saisons et les conditions locales, mais il est généralement caractérisé par une augmentation du nombre d'abeilles au printemps et en été, suivie d'une diminution en automne et en hiver (Page & Peng, 2001).

Voici les principales phases du développement annuel d'une colonie d'abeilles :

1. Hiver : La colonie d'abeilles se regroupe dans la ruche et utilise des réserves de miel pour survivre pendant l'hiver dites aussi phase hivernale (Page et al., 2006).

2. Début du printemps ou encore phase pré vernal : La reine commence à pondre des œufs et la colonie commence à se développer en nombre d'abeilles (Page et al., 2006).
3. Printemps : Le nombre d'abeilles dans la colonie augmente rapidement et la colonie se prépare pour la saison de récolte du nectar et du pollen communément appelé la phase vernal (Page et al., 2006).
4. Été : La colonie atteint souvent sa taille maximale avec un grand nombre d'abeilles ouvrières, des faux-bourçons et de la reine. Les abeilles ouvrières récoltent activement le nectar et le pollen pour nourrir la colonie. Dites aussi phase estivale (Page et al., 2006).
5. Automne : La ponte de la reine diminue, le nombre d'abeilles diminue et la colonie se prépare pour l'hiver en stockant des réserves de miel. C'est la phase estivo-automnal (Page et al., 2006).

VII. La morphologie externe de l'abeille domestique (Figure 09) :

Le corps de l'abeille est subdivisé en plusieurs segments. On en distingue donc 3 parties :

Les organes sensoriels sont contenus dans la première partie qui est la tête. Ensuite vient le thorax qui contient trois paires de pattes dans la partie inférieure et deux paires d'ailes dans la partie supérieure et enfin l'abdomen qui contient la majeure partie des organes internes (Genersch et al., 2013)

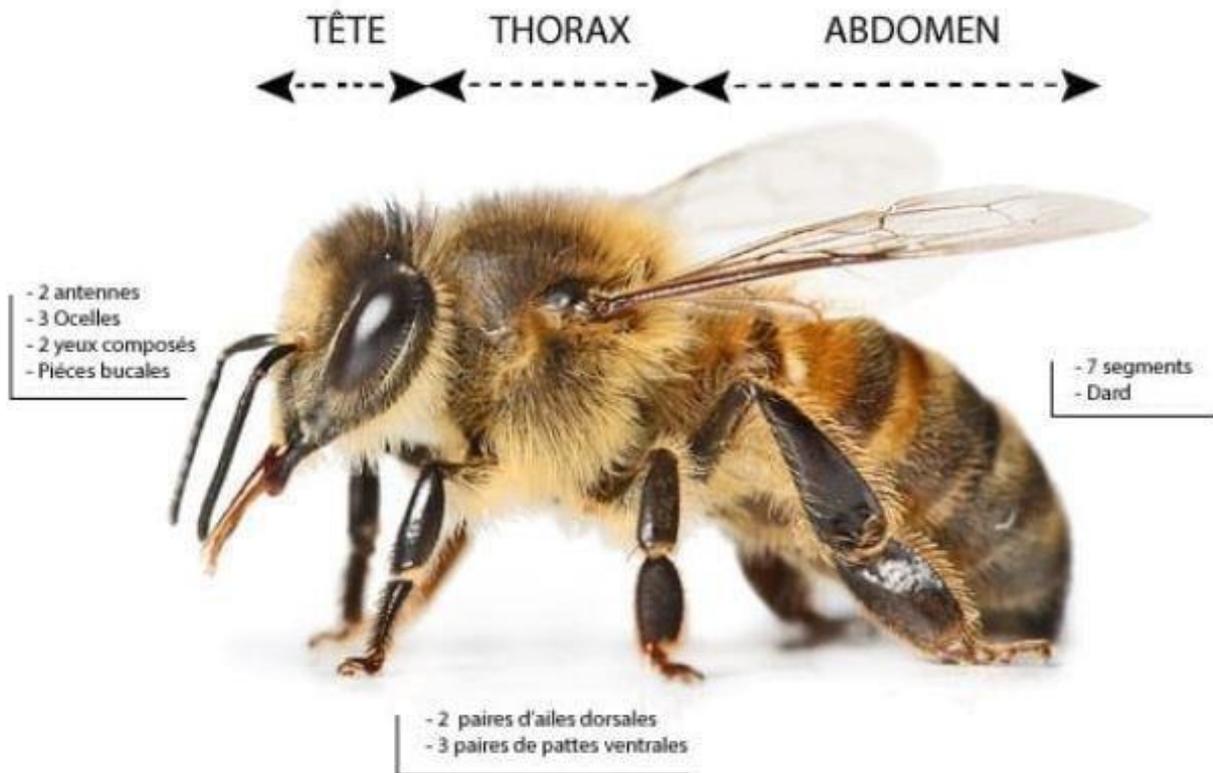


Figure 9. Anatomie externe de l'abeille domestique (Kerbastard Nicolas et al., 2020).

VII.1. La tête :

La tête a des fonctions importantes telles que la perception sensorielle, la manipulation et l'ingestion. Elle mesure environ un millimètre cube et abrite près d'un million de cellules nerveuses réparties dans différentes régions liées aux sens, à la navigation, au contrôle moteur et à la mémoire.(Kerbastard Nicolas et al., 2020)

- **Les ocelles :** Ce sont des lentilles permettant de capter la lumière sans pour autant détecter D'image. Elles proviennent de l'épaississement de l'exosquelette. Elles aident les abeilles à maintenir l'équilibre et leur orientation dans l'espace(Kerbastard Nicolas et al., 2020).
- **Les yeux :** Les gros yeux composés sont constitués de milliers de facettes appelées ommatidies. Chaque ommatidie contient une lentille qui focalise la lumière sur des cellules photoréceptrices appelées les cellules rétiniennes. Ces cellules convertissent ensuite la lumière en impulsions électriques qui sont transmises au cerveau de l'abeille pour être interprétées en images(Quendolo, 2016).

- **Les antennes :** Ce sont des organes sensoriels complexes qui leur permettent de percevoir et de communiquer avec leur environnement, de trouver des sources de nourriture et de maintenir l'organisation de leur colonie. Elles contiennent 10 segments pour les abeilles femelles et 11 segments pour les mâles (Spürgin & Tattevin, 2010).

Les antennes des abeilles contiennent de nombreux récepteurs sensoriels, tels que des récepteurs olfactifs, tactiles et gustatifs, qui leur permettent de percevoir les odeurs, les vibrations, les sons et les goûts de leur environnement. Ainsi qu'elles s'en servent pour communiquer entre elles (Spürgin & Tattevin, 2010).

- **L'appareil buccal :**

De type mâcheur suceur et est constitué de plusieurs pièces. La mobilité de ces dernières est assurée par un système musculo-ligamentaire (Kerbastard Nicolas et al., 2020).

Composé de plusieurs parties, notamment :

- Le proboscis : l'abeille l'utilise pour lécher le nectar des fleurs et pour récupérer le pollen. La langue est formée de plusieurs segments qui peuvent être repliés et rangés sous la tête de l'abeille.
- Les mandibules : les mandibules de l'abeille sont utilisées pour couper et façonner la cire des rayons de miel et pour manipuler les fleurs pendant la collecte de nectar et de pollen.
- Les maxilles : les maxilles de l'abeille sont utilisées pour manipuler les grains de pollen et pour les transporter vers les paniers de pollen situés sur les pattes arrière de l'abeille.
- Le labium : le labium est utilisé pour manipuler le nectar et le pollen et pour les transporter vers la bouche de l'abeille (Kerbastard Nicolas et al., 2020; Quendolo, 2016; Thomson et al., 2015).

VII.2. Le thorax :

Le thorax de l'insecte est composé de trois parties distinctes : le prothorax, qui est la première partie et porte la première paire de pattes, le mésothorax qui est la deuxième partie et porte la première paire d'ailes et la deuxième paire de pattes, et enfin le métathorax, qui est la troisième partie et qui complète le thorax. Le métathorax porte les deuxièmes paires d'ailes et la troisième paire de pattes (Danforth et al., 2013).

L'articulation entre le thorax et l'abdomen de l'abeille est assurée par un rétrécissement nommé le pédoncule, ce qui confère une grande mobilité à l'abeille. Le pédoncule est une région

traversée par les vaisseaux sanguins, l'œsophage et la chaîne nerveuse ganglionnaire (Wright et al., 2013).

- **Les pattes :**

Les pattes de l'abeille sont des organes essentiels pour sa survie et son comportement social. Les abeilles possèdent six pattes, chacune étant composée de plusieurs segments et terminée par une griffe. Les pattes de l'abeille ont plusieurs fonctions, notamment :

- La collecte de pollen et de nectar dans les fleurs ;
- Le nettoyage de leur corps et de la ruche ;
- La régulation de la température de la ruche ;
- La communication avec les autres abeilles à travers des danses et des vibrations.

Les pattes de l'abeille ont également des poils qui leur permettent de transporter le pollen qu'elles ont collecté sur leur corps. Les abeilles ont également des glandes situées sur leurs pattes qui sécrètent des substances utilisées pour marquer les fleurs et la ruche, ainsi que pour communiquer avec les autres abeilles. (Eimanifar et al., 2018; Kerbastard Nicolas et al., 2020)

- **Les ailes :**

Des organes très importants pour la survie et le comportement des abeilles.

Les abeilles comptent deux paires d'ailes membraneuses, reliées entre elles par des crochets appelés hamuli. Les ailes sont soutenues par des nervures qui leur donnent une structure rigide.

Les ailes de l'abeille ont plusieurs fonctions importantes, notamment :

- Permettre aux abeilles de voler pour chercher de la nourriture, du pollen et de l'eau ;
- Aider à réguler la température de la ruche en ventilant l'air chaud à l'extérieur ;
- Jouer un rôle dans la communication, car les abeilles peuvent produire des vibrations en battant leurs ailes à une fréquence spécifique pour communiquer avec les autres abeilles.

Les ailes d'*Apis mellifera* sont également un sujet d'intérêt pour la recherche en raison de leur capacité à générer des forces aérodynamiques et des mouvements complexes pour aider les abeilles à voler et à naviguer dans leur environnement (García et al., 2022; Oleksa et al., 2023).

VII.3. L'abdomen :

L'abdomen de l'abeille est la partie postérieure de son corps, située après le thorax, Il est composé de plusieurs segments qui sont mobiles les uns par rapport aux autres. Ces sept segments sont constitués d'une partie dorsale la « tergite » et d'une partie ventrale la « sternite ». Ces derniers sont flexibles entre eux, ce qui confère à l'abeille son agilité et sa facilité à se déplacer.

L'abdomen est également responsable de la production et du stockage de la cire, il est également l'emplacement de nombreux organes vitaux, tels que les glandes à venin, les glandes à cire, les glandes à nectar et les organes reproducteurs. Les abeilles femelles ont un dard situé à l'extrémité de leur abdomen, qu'elles peuvent utiliser pour se défendre contre les prédateurs ou les intrus de la ruche(Dietemann, 2013; Winston & Katz, 1982).

VIII. Communication et orientation :

Laisser du miel sur une table ne tardera pas à attirer les abeilles, en l'espace de quelques heures à quelques jours. Dès qu'une abeille découvre la source, elle revient inlassablement et d'autres abeilles la rejoignent rapidement. Avec le temps, des dizaines voire même des centaines d'abeilles se rassembleront pour collecter le miel. En suivant leur trajectoire, on se rend compte qu'elles proviennent toutes de la même ruche (Frisch & Dalcq, 2011).

En vue de cette observation, les abeilles nous laissent penser qu'elles communiquent entre elles. Non seulement, en échangeons des informations sur leur environnement mais aussi sur la localisation.

VIII.1. Communication par trophallaxie :

La trophallaxie est un terme grec qui désigne le transfert de nourriture d'un individu à un autre au sein de nombreux hyménoptères. Lorsqu'un individu régurgite de la nourriture provenant de son jabot social, cette nourriture passe à un autre individu qui doit être nourri, par exemple, les ouvrières nourrissent la reine. La trophallaxie est principalement utilisée par les butineuses pour communiquer des informations sur la nature et la qualité de la nourriture. L'abondance de la ressource est également indiquée par un jabot bien rempli(Waring & Waring, 2014) .

VIII.2. Communication via les phéromones :

Les abeilles communiquent également via des phéromones, des substances chimiques spécifiques qui jouent un rôle crucial dans leur communication sociale. Les phéromones sont

libérées par différentes glandes dans le corps de l'abeille et sont détectées par les autres membres de la colonie. Elles transmettent des informations importantes, telles que l'identification de la reine, la disponibilité de nourriture, l'emplacement des sources de nourriture, la signalisation d'alarme en cas de danger, et bien plus encore. Les phéromones permettent aux abeilles de coordonner leurs activités et de maintenir l'harmonie au sein de la colonie (Kerbastard Nicolas et al., 2020; Winston, 1993).

VIII.3. La communication sonore :

Les abeilles utilisent le son comme moyen de communication, émettant des vibrations à partir de leur thorax pour transmettre des informations. Ces vibrations sont transmises à travers les rayons de la ruche et perçues par les abeilles grâce à des récepteurs situés sur leurs pattes et leurs antennes. La communication sonore permet aux abeilles de gérer la complexité de leur société. Par exemple, la reine nouvellement éclosée émet un son pour localiser et éliminer les autres reines non écloses. Les ouvrières utilisent également des sons lors des danses pour indiquer des sources de nourriture ou des sites de nidification. Les vibrations coordonnées avec la danse permettent de transmettre des informations sur l'orientation et l'enthousiasme de la source. Lorsque la colonie est attaquée, les ouvrières émettent des vibrations bourdonnantes pour intimider l'agresseur. La communication sonore est ainsi un moyen important pour les abeilles de maintenir l'organisation et la défense de la colonie (Quendolo, 2016; Waring & Waring, 2014).

VIII.4. Communication par la danse :

Les abeilles utilisent la danse comme moyen de communication pour indiquer la localisation de sources de nourriture ou de sites de nidification. Les danses sont exécutées par les ouvrières et leur intensité permet de convaincre d'autres abeilles de se joindre à elles. En 1967, Karl von Frisch a observé pas moins de 800 chorégraphies différentes chez les abeilles (Goulson, 2010; Frisch & Dalcq, 2011; Quendolo, 2016).

IX. Les particularités génétiques chez l'abeille domestique :

L'abeille domestique (*Apis mellifera*) présente plusieurs particularités génétiques importantes. Parmi elles :

- Polymorphisme des castes : Les abeilles ont un système de reproduction unique où les mâles sont issus d'œufs non fécondés et les femelles sont issues d'œufs fécondés.

- Communication chimique : Les abeilles utilisent des phéromones pour communiquer entre elles, ce qui leur permet de réguler la division du travail, de reconnaître la reine et de s'orienter dans l'espace.
- Système de reconnaissance de la reine : Les ouvrières reconnaissent la reine grâce à des signaux chimiques spécifiques, ce qui maintient l'harmonie dans la colonie.
- Tolérance aux maladies : Certaines lignées d'abeilles domestiques ont développé une meilleure résistance génétique aux maladies et parasites, ce qui est crucial pour la santé des colonies.
- Plasticité comportementale : Les abeilles peuvent ajuster leur comportement en fonction des changements environnementaux, grâce à des mécanismes génétiques qui leur permettent de s'adapter rapidement.

IX.1. Le déterminisme sexuel :

Le déterminisme du sexe chez de nombreux hyménoptères est un phénomène particulier qui dépend du nombre d'allèles présents à un ou plusieurs locus de détermination du sexe (Crozier & Pamilo, 1996). Si les individus possèdent deux allèles différents pour au moins l'un de ces loci, ils se développeront en femelles. Dans le cas contraire (un seul allèle), ils se développeront en mâles.

Chez l'abeille domestique, le déterminisme du sexe concerne uniquement un seul locus. Ainsi, les œufs non fécondés haploïdes sont hémizygotés pour ce locus spécifique et se développent toujours en mâles par un processus appelé parthénogenèse arrhénotoque. Les mâles haploïdes ont 16 chromosomes distincts. En revanche, les œufs diploïdes peuvent donner naissance tant à des mâles qu'à des femelles et comportent 32 chromosomes.

Cependant, les mâles diploïdes, s'ils ne sont pas dévorés à l'état larvaire par les ouvrières, sont généralement stériles (Cook & Crozier, 1995; Krieger et al., 1999), ce qui représente un fardeau pour la colonie. La proportion de mâles diploïdes dans ces populations est généralement faible et résulte souvent de croisements consanguins (Pamilo et al., 1994). Cette augmentation de la proportion de mâles diploïdes entraîne une diminution du taux de croissance des colonies et de leur taille, pouvant même conduire à l'extinction complète d'une colonie dans les cas extrêmes. Pour limiter ce risque, la sélection naturelle a favorisé un grand nombre d'allèles pour les gènes du déterminisme du sexe (Beye et al., 2003).

Comme mentionné précédemment, le système de détermination du sexe chez les abeilles les rend particulièrement sensibles à la consanguinité. De plus, un gène primaire appelé gène CSD (Complementary Sex Determination), situé sur le chromosome 3, a été identifié chez l'abeille domestique comme un facteur déterminant complémentaire du sexe (Beye et al., 2003). Ce gène présente une polymorphie chez toutes les abeilles et peut être présent en un seul exemplaire (chez les mâles haploïdes) ou en double hétérozygote (chez les femelles diploïdes) (Gempe et al., 2009). Des études de knock-down ont démontré que le gène *Am-tra2* est nécessaire pour l'épissage des ARNm femelles dans les individus femelles productives et les individus mâles non productifs. Nous suggérons que les protéines Am-Tra2 jouent un rôle essentiel dans la régulation de l'épissage du pré-ARNm femelle, en collaboration avec les protéines Csd hétéroalléliques et/ou les protéines Fem, contribuant ainsi à la voie du développement femelle (Nissen et al., 2012).

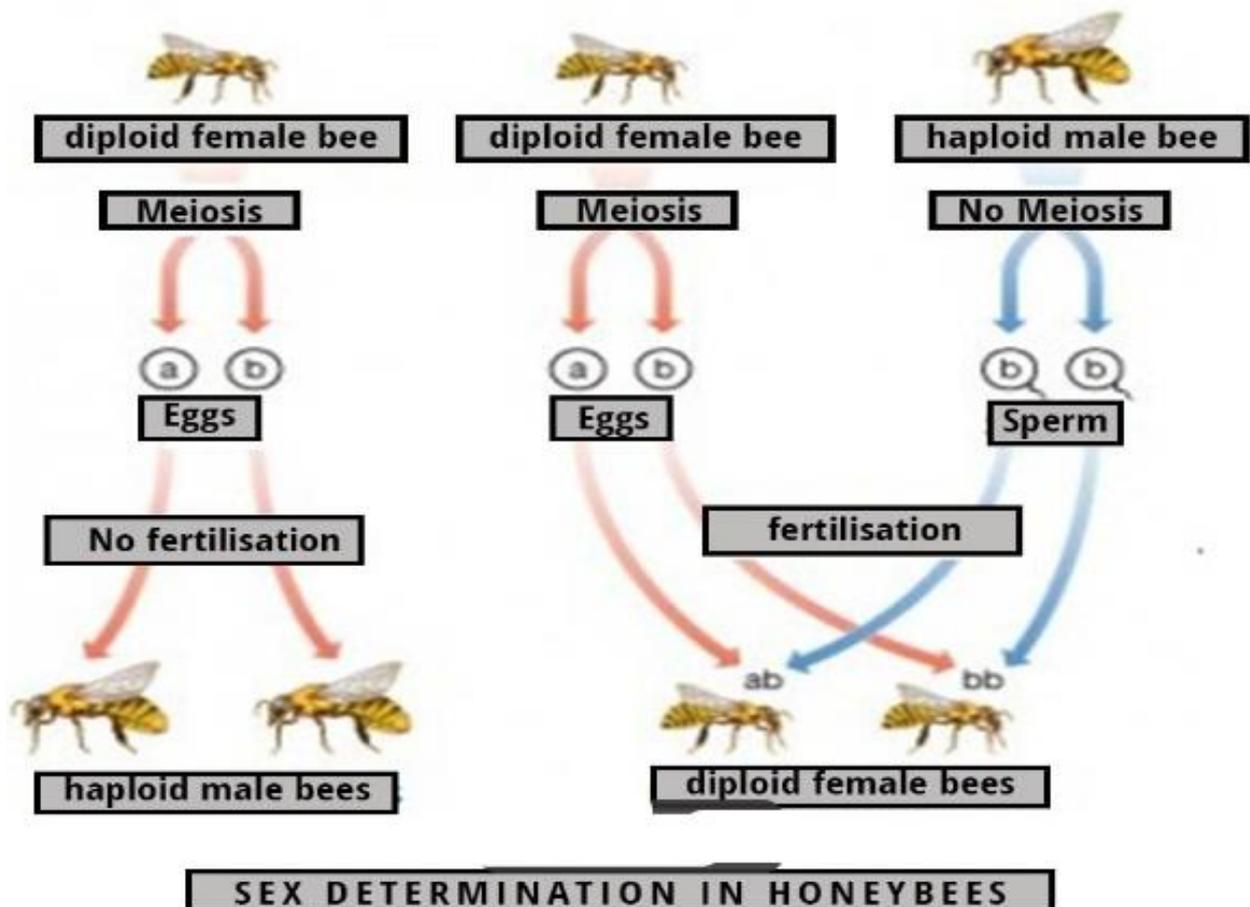


Figure 10. Déterminisme sexuelle chez l'abeille domestique.

IX.2. Le génome mitochondrial :

Le génome mitochondrial de l'abeille est une petite molécule d'ADN circulaire qui est transmis uniquement par la mère. Il est responsable de la production d'ARN et de protéines nécessaires au fonctionnement des mitochondries, les centrales énergétiques des cellules. Le génome mitochondrial de l'abeille est relativement petit par rapport au génome nucléaire et contient un ensemble spécifique de gènes liés à la production d'énergie. Son séquençage a permis de mieux comprendre l'histoire évolutive des abeilles et leur diversité génétique. De plus, des études sur le génome mitochondrial ont été utilisées pour étudier les relations de parenté entre différentes populations d'abeilles et pour comprendre les mécanismes de résistance aux maladies (Garnery et al., 1992; Hu et al., 2014; Okuyama et al., 2018).

Chapitre II

Matériels et méthodes

I. Présentation de la zone d'étude :

Les échantillons d'abeilles, ont été prélevés tout au long de la saison automnale et jusqu'à la fin de la saison estivale, de fin août à fin octobre. Ils ont été collectés dans différentes régions du Nord de l'Algérie afin de couvrir un large spectre géographique, comprenant plusieurs étages bioclimatiques (**Tableau 3**).

Il convient de souligner, que le climat joue un rôle crucial dans la dynamique d'une ruche. En plus de cela, d'autres facteurs tels que la sécheresse, les précipitations, la pression atmosphérique, le froid, le vent et l'humidité exercent également une forte influence sur la santé des abeilles.

Ainsi, cette approche permet de prendre en compte la diversité des conditions environnementales et des écosystèmes dans la région étudiée.

Tableau 3. Situation climatique et géographique des régions étudiées.

La région	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Etage bioclimatique	Pays	Température (°C)
Tlemcen	2264	34.87	1.31	Subhumide	Algérie	15~20°C
Oran	500	35.69	0.64	Subhumide	Algérie	17~22°C
Sidi Bel Abbés	1500	35.20	0.63	Subhumide	Algérie	16~20°C
Biskra	500	34.86	5.73	Aride	Algérie	22~25°C
Batna	1400	35.55	6.17	Semi-aride	Algérie	14~18°C
Msila	1200	35.70	4.54	Semi-aride	Algérie	16~20°C
El Oued	300	33.36	6.86	Aride	Algérie	20~25°C
Laghouat	1000	33.80	2.88	Semi-aride	Algérie	18~22°C
Touggourt	150	33.09	6.06	Aride	Algérie	20~25°C
Tébessa	1000	35.40	8.11	Semi-aride	Algérie	16~20°C
Ouargla	200	31.94	5.32	Aride	Algérie	23~27°C
Tiaret	1400	35.37	1.31	Semi-aride	Algérie	16~20°C

Les étages bioclimatiques des wilayas étudiées varient du subhumide à l'aride. Les températures varient de 15°C à 27°C, tandis que l'altitude varie de 2 264 m à Tlemcen, avec une altitude basse de 150 m à Touggourt, Ouargla et El Oued (**Figure 11**).

Les régions de Tlemcen, Oran et Sidi Bel Abbés se caractérisent par un climat subhumide, avec des températures annuelles allant de 15°C à 22°C. L'étage bioclimatique semi-aride englobe les wilayas de Batna, Msila, Laghouat, Tébessa et Tiaret, qui affichent une gamme de températures annuelles allant de 14°C à 22°C. En ce qui concerne les régions de Biskra, El Oued, Touggourt et Ouargla, elles présentent un climat aride avec des températures annuelles très élevées allant de 20°C à 27°C (**Figure 11**).

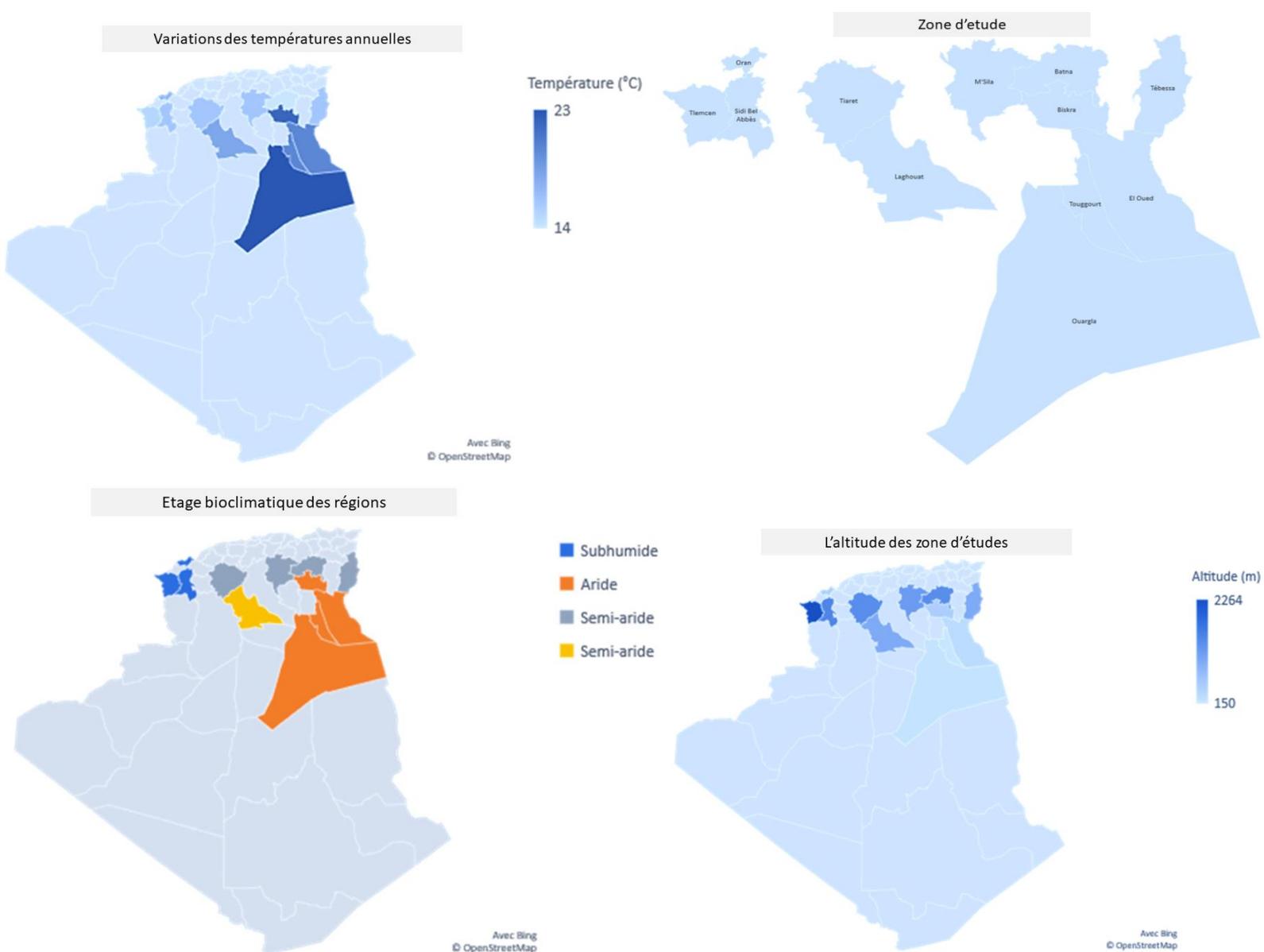


Figure 11. Situation géographique et climatique de la zone d'étude.

II. Caractérisation :

Pour mener à bien notre étude, nous avons utilisé le matériel approprié tant au laboratoire que sur le terrain.

II.1 Sur le terrain :

- La vareuse, le voile, et les gants :

Font partie de l'équipement de base de l'apiculteur pour assurer sa protection lors de ses interventions avec les abeilles. La vareuse est une combinaison spéciale qui recouvre tout le corps. Le voile est un filet qui se fixe à la vareuse et qui protège le visage et le cou de l'apiculteur des piqûres. Enfin, les gants, généralement en cuir ou en latex, sont portés pour protéger les mains des piqûres d'abeilles. Ces équipements permettent à l'apiculteur de travailler en toute sécurité. **(Figure 12)**



Figure 12. Combinaison

- L'enfumoir :

L'enfumoir est un outil essentiel utilisé par les apiculteurs lors de leurs interventions dans les ruches. Il s'agit d'un appareil qui produit de la fumée, généralement à partir de combustibles naturels comme de la sciure de bois ou de la paille. **(Figure 13)**

L'objectif principal de l'enfumoir est de calmer les abeilles. La fumée agit en déclenchant un comportement de défense naturel chez les abeilles, les incitant à se nourrir davantage. Cela permet à l'apiculteur de travailler plus facilement et en réduisant le risque de piqûres. L'enfumoir doit être utilisé avec précaution et de manière appropriée pour ne pas stresser excessivement les abeilles.



Figure 13. L'enfumoir (photo original, janvier 2023).

-La ruche :

La ruche est le lieu de vie des abeilles. Elle est composée de cadres qui permettent aux abeilles de se développer, ainsi que d'un toit et d'un couvre-cadres pour les protéger (**Figure 14**).



Figure 14. La ruche (photo original, avril 2023)

II.2 Au laboratoire :

- Les tubes de prélèvement :

Servent à stocker les échantillons collecter pour pouvoir les transporter au laboratoire.



Figure 15. Tubes de prélèvement (photo originale, aout 2022)

- **L'éthanol absolu (99.6%) :**

Utiliser pour la conservation des échantillons.

- **La pince souple :**

La pince souple est utilisée au laboratoire pour la dissection des abeilles. Cet outil spécialisé est conçu pour saisir délicatement les parties de l'abeille lors de l'opération de dissection, permettant d'analyser et d'étudier en détail les différentes structures anatomiques de l'insecte.



Figure 16. Pinces souples (Original).

- **Les lames :**

Des petites lames en verre, utiliser comme surface pour y déposer les parties disséquées des abeilles, pour une éventuelle observation.



Figure 17. Lame (Original).

- **Les lamelles :**

Une plaque carrée, mince en verre qui sert à protéger les parties anatomiques de l'abeilles qui ont été mises sur la lame.



Figure 18. Lamelle (Original)

- **La loupe :**

Instrument au grossissement de 10 à 100 fois et qui permet l'observation en relief d'une image observée.



Figure 19. Loupe (Original).

- **Le microscope digital USB :**

La loupe USB 3600X est un outil précieux utilisé pour réaliser des captures d'images et faciliter la mensuration.



Figure 20. Microscope digital (Original).

III. Méthodologie adoptée :

Pour mener à bien notre étude nous avons suivie plusieurs étapes successives :

III.1. Le prélèvement et la conservation des échantillons d'abeilles :

Des sorties sur le terrain ont été planifiées de juillet à novembre afin de procéder à l'échantillonnage des abeilles. L'objectif était de collecter des échantillons provenant de zones présentant une activité apicole importante. Au total, environ 300 échantillons ont été prélevés de manière aléatoire à partir de colonies d'abeilles isolées dans 12 régions du nord de l'Algérie.

Dans cette étude, seules les ouvrières ont été collectées, car les mâles ne sont pas représentatifs au sein d'une colonie d'abeilles en raison de leur statut haploïde. Les échantillons ont été euthanasiés en plongeant les abeilles dans des tubes contenant de l'éthanol absolu à 90 %. Ensuite, ces tubes ont été conservés à une température (-20°C) jusqu'à leur manipulation ultérieure. Ces mesures permettent de préserver la qualité des échantillons et de garantir leur intégrité pour des analyses ultérieures.

III.2. Approche morphométrique :

L'approche morphométrique a été utilisée dans cette étude pour analyser la morphologie des abeilles, en mesurant et en analysant leurs caractéristiques physiques telles que leur taille, leur forme et leurs proportions. Le protocole établi par le zoologiste Ruttner (Ruttner, 1988) a été suivi, ce qui a permis de disséquer les abeilles et de monter les spécimens entre lames et lamelles. Des outils spécifiques, tels qu'une loupe USB 3600X, ont été utilisés pour capturer des images détaillées des abeilles, facilitant ainsi la mesure précise des différentes caractéristiques morphologiques à l'aide du logiciel Coolingtech.

Les données morphométriques obtenues ont été analysées pour décrire et comparer les variations de morphologie entre les différentes populations d'abeilles étudiées, en l'occurrence l'abeille domestique *Apis mellifera Intermissa*. Ces informations permettent de mieux comprendre les différences génétiques, écologiques et évolutives entre les populations, ainsi que d'évaluer l'impact de certains facteurs environnementaux sur la morphologie des abeilles.

Cette étude est aussi connue sous le nom de l'analyse morpho métrique, et comporte deux méthodes :

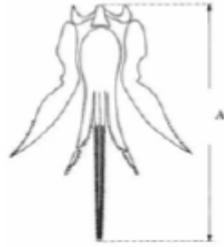
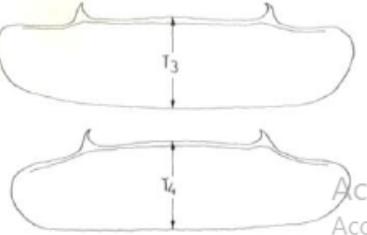
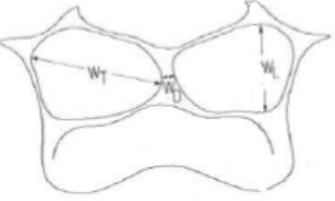
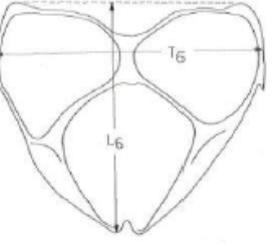
III.2.1. Morphométrie classique :

Les mesures effectuées sur les ouvrières ont été préalablement décrites par Fresnaye (1981). Environ 14 caractères morphologiques ont été sélectionnés en fonction de leur capacité discriminante et de leur importance biologique (Cornuet & Fresnaye, 1989).

Les mesures sont obtenues en convertissant les données physiques des images en données scientifiques exploitables, exprimées en millimètres (mm), à l'aide du logiciel Coolingtech.

Pour mieux vous expliquer, voici un tableau qui regroupe l'ensemble des paramètres que nous avons étudiés.

Tableau 04. Liste des caractères morphologiques classiques étudiées

N°	Caractères morphologique mesuré	Auteur	Figure
01	Longueur du proboscis étiré (LP)	Alpatov.1948 citée par (Berezin & Mitrofanov, 2022)	
02-05	La patte postérieure (Longueur Fémur (Fe) + Longueur Tibia (Ti) + Longueur Métatarse (ML) + Largeur (MT))	Alpatov.1948 citée par(Berezin & Mitrofanov, 2022)	
06-09	Diamètre (Longueur + Largeur) du Tergite 03 et Tergite 04	Alpatov.1948 citée par(Berezin & Mitrofanov, 2022)	
10-12	Diamètre + la distance entre les miroirs de Cires du sternite 03	(Ruttner, 1988)	
13-14	Diamètre (Longueur + Largeur) du sternite 06	(Ruttner, 1988)	

III.2.2. La morphométrie géométrie :

Cette nouvelle méthode minutieuse se manifeste d'abord par la numérisation des ailes antérieures droites. Ensuite, elle implique le positionnement 19 points de repères (LM) (**Figure 21**) répartis en trois types. Le premier type (type I) désigne l'intersection des veines alaires, le deuxième type (type II) concerne les courbures d'une structure liée aux processus morphogénétiques locaux, et le dernier type (type III) représente les points extrêmes. Les coordonnées de ces points de repères fournissent une représentation précise des formes des ailes.

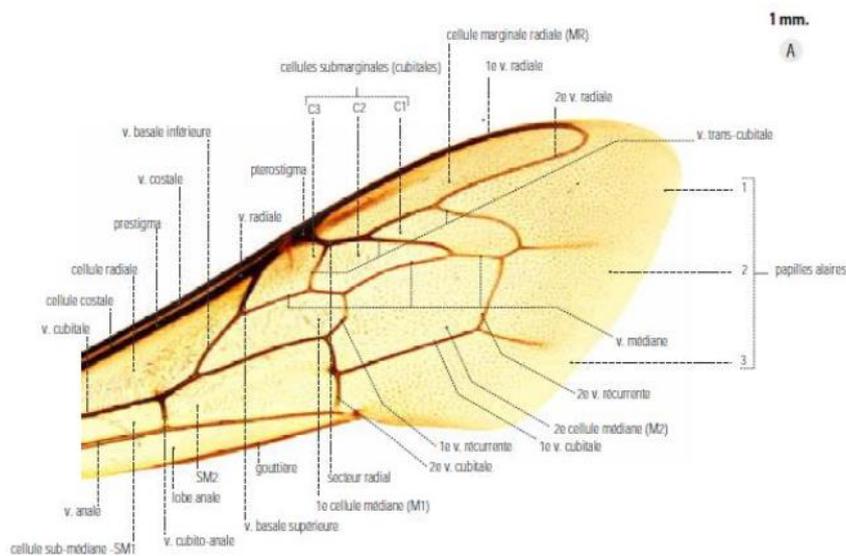


Figure 21. Nervation allaire de l'abeille domestique *Apis mellifera* (Barour et al., 2011).

L'analyse morphométrique géométrique allaire permet d'utiliser ces coordonnées pour déterminer la forme des ailes en établissant des relations géométriques entre les points de repères homologues et en les comparant. Cette approche permet ainsi de quantifier les différences de forme des ailes entre les individus et de les étudier au niveau des populations d'abeilles domestiques (**Figure 22**).

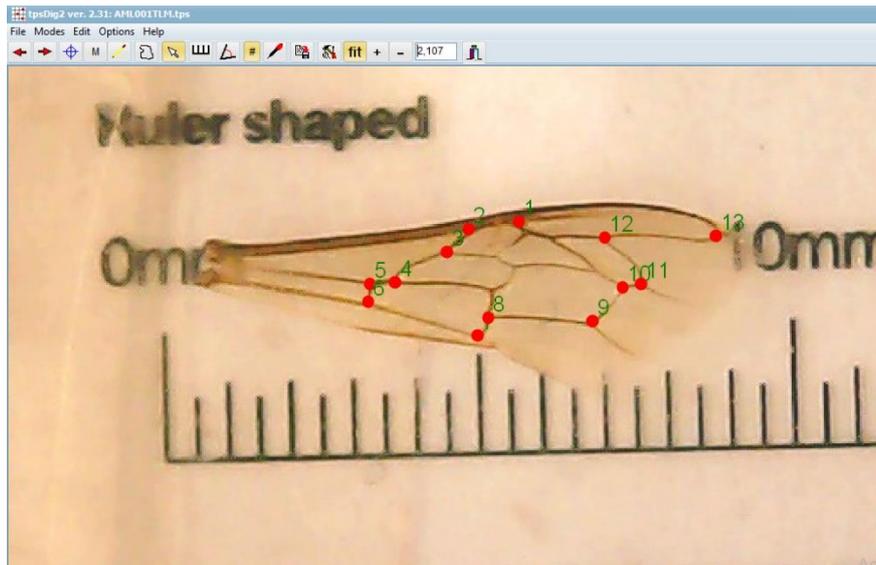


Figure 22. Les points de repères pris sur l'aile droit postérieure d'une abeille domestique (photo original)

Grace a la définitions de (Bookstein, 1991) Bookstein et la description détaillé de (Barour Choukri, 2012) notre choix de point de repère (**Figure 22**) a étai porter sur les suivants réénumérés dans le tableau ci-dessous :

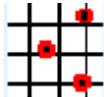
Tableau 05. Description morphologique des 13 points de repère choisis pour une aile antérieure d'une abeille ouvrière (Barour et al., 2011).

N°LM	Description morphologique	Type selon (Bookstein, 1991)
LM 1	Intersection de secteur radial avec la 2 ^{ème} veine trans-cubitale	Type I
LM 2	Intersection de la veine radiale avec de la veine basale supérieure	Type I
LM 3	Intersection de la veine basale supérieure avec la veine médiane	Type I
LM 4	Intersection de la veine cubitale avec la veine basale inférieure	Type I
LM 5	Intersection de la veine cubitale avec la veine cubito-anale	Type I
LM 6	Intersection de la veine anale avec la veine cubito-anale	Type I
LM 7	Intersection de la veine anale avec la 2 ^{ème} veine cubitale	Type I
LM 8	Intersection de la 2 ^{ème} veine cubitale et la 2 ^{ème} veine récurrente	Type I
LM 9	Intersection de la 1 ^{ère} veine cubitale avec la 2 ^{ème} veine récurrente	Type I
LM 10	Intersection de la veine médiane avec la 2 ^{ème} veine récurrente	Type I
LM 11	Intersection de la 1 ^{ère} veine trans-cubitale avec la veine médiane	Type I
LM 12	Intersection de la 2 ^{ème} veine radiale avec la 1 ^{ère} veine trans-cubitale	Type I
LM 13	Courbure maximale de la veine radiale au niveau de la cellule marginale radiale	Type I

IV. Outils informatiques pour l'évaluation morphométrique et géométrique des caractéristiques des abeilles domestiques :

Après cela, la prochaine étape de cette méthode nécessite l'utilisation de logiciels spécialisés (**Tableau 06**). À partir d'une numérisation, ces logiciels extraient le paramètre de taille ainsi que les autres paramètres décrivant les variations de conformation

Tableau 6. Outils informatiques nécessaire à notre étude.

Logiciel	Description	Usage du programme
<i>Coolingtech</i>	Ce logiciel offre des fonctionnalités avancées permettant de capturer des images détaillées des spécimens, et de les analyser en utilisant des techniques de traitement d'image. Il permet également d'effectuer des mesures précises des dimensions et des formes, en utilisant des repères spécifiques et des points de référence définis.	-Numérisation des différentes parties de l'abeilles domestique. - Permet de prendre des mesures précises en morphométrie classique.
<i>TpsUtil32</i> version 1.76 	-La manipulation des coordonnées des points de repère (LM) est effectuée en utilisant leurs extensions d'origine. Des fichiers sont créés pour établir des liens entre les points de repère, et l'ordre des individus étudiés est géré dans le processus.	- Traitement des fichiers de mesures sous formats TPS
<i>TpsDig232</i> version 1.31 	- Digitalisation des LM Suivant les nervures alaires et leur intersections	
<i>Past3</i> version 1.0.0.0 		
<i>Morpho J</i> version 1.06. 	- Langage informatique et environnement de travail pour l'analyse de données et présentation graphique.	- Modélisation et visualisation des ailes d'abeilles
<i>R</i> i386 4.1.0 		

V. L'analyse statistique des données :

Pour déterminer les caractéristiques biométriques des abeilles collectées, différentes mesures ont été prises, notamment la moyenne arithmétique, l'écart-type, et les valeurs minimales et maximales des paramètres morphométriques. Ces paramètres ont été comparés entre les différents sites de prélèvement à l'aide d'une analyse de variance à un facteur (ANOVA). L'ANOVA permet de comparer les moyennes de plusieurs populations en utilisant des échantillons aléatoires, simples et indépendants. Des tests post-hoc, tels que le test de Tukey-HSD, ont également été utilisés pour identifier les groupes similaires.

En outre, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée. L'ACP est une méthode exploratoire et descriptive qui permet d'interpréter une matrice de données sans structure préalablement définie. Elle ne fait aucune distinction entre les variables et les individus à priori. Il convient de noter que le facteur d'échelle joue un rôle important dans cette analyse.

Ainsi qu'une analyse Discriminante Linéaire (LDA) est une technique sophistiquée de classification et de réduction de dimensionnalité. Son objectif principal est de trouver une combinaison linéaire optimale des caractéristiques qui permet de maximiser la séparation entre différentes classes. Cette méthode repose sur des hypothèses importantes, telles que l'homogénéité des variances, la normalité des distributions et la linéarité des relations entre les variables.

La technique K-mean est une technique aveugle elle nécessite une intervention par d'autres méthodes (algorithmes) tel que :

1. Gap statics
2. Elbow
3. Silhouette plot.

Qui font en sorte de nous déterminer le nombre de cluster avec lesquels on doit travailler.

Le lancement de la k-mean a été mis en évidence selon deux critères qui sont :

1000 itérations (Bootstrap)

Deux cluster aléatoires initial et un nombre maximal de cluster égale à 10

Chapitre III

Résultats et discussion

I. Résultat des analyses pour la morphométrie classique :

I.1. Résultats des analyses descriptives :

Tableau 7. Résultats d'analyse descriptive.

Paramètres	Min	Max	Moyenne	Médiane	Variance	E.T	E.S
LP	3.939	7.319	5.30003	5.3115	0.464963	0.681882	0.039108
Fe	1.855	3.685	2.734319	2.674	0.125148	0.353763	0.020289
Ti	2.346	3.733	3.015934	3.0275	0.051511	0.226960	0.013017
MT	1.048	2.747	1.245480	1.229	0.018144	0.134702	0.007725
ML	1.468	3.143	2.087355	2.0645	0.055578	0.235750	0.013521
T3	1.114	2.629	2.210378	2.2	0.020434	0.142949	0.008198
LT3	7.229	10.175	9.010648	9.029	0.258179	0.508179	0.029142
T4	1.745	2.571	2.150740	2.143	0.017682	0.132976	0.007626
LT4	6.857	10.658	8.450407	8.429	0.274761	0.524177	0.030063
WT	1.469	2.594	2.036805	2.0315	0.037673	0.194095	0.011132
WD	0.057	2	0.318197	0.314	0.029359	0.171347	0.009827
WL	0.945	1.829	1.406661	1.4215	0.020027	0.141518	0.008116
T6	2.086	3.611	3.223990	3.2355	0.038387	0.195603	0.011237
L6	2.143	6.686	2.578467	2.571	0.081874	0.286136	0.016411

- **Etude du paramètre LP :**

Nous avons observé des valeurs extrêmes pour le paramètre LP (**Tableau 7**). La valeur minimale de 3,939 a été enregistrée à El Oued, tandis que la valeur maximale de 7,319 a été observée à Ouargla. La moyenne de ce paramètre est de $5,30003 \pm 0,681882$. Parmi les régions, Tiaret, Batna et Biskra se distinguent comme étant parmi les plus performantes en termes de médiane (**Figure23**).

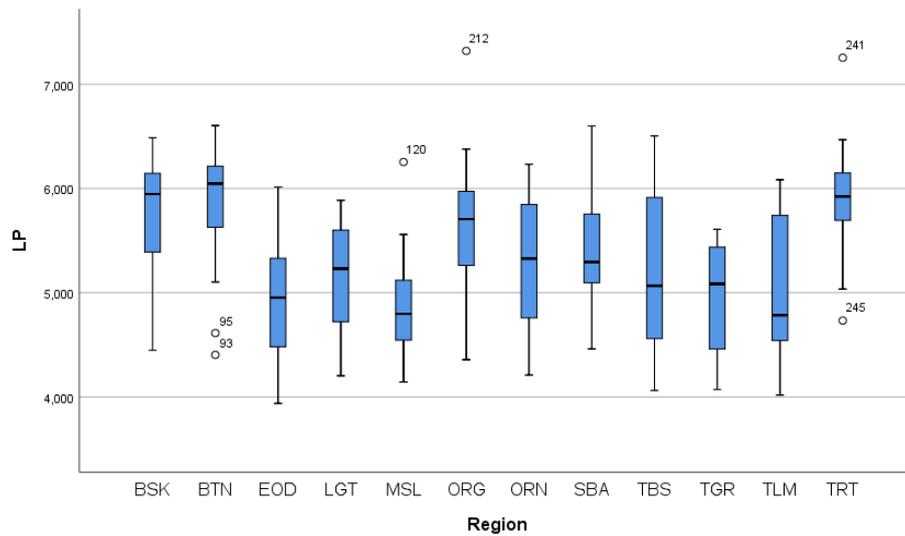


Figure23. Variation du caractère LP parmi les colonies étudiées.

- **Etude du paramètre Fe :**

Pour le paramètre Fe (**Tableau 7**), nous avons observé une valeur minimale de 1,855 à El Oued et une valeur maximale de 3,685 à Tlemcen. La moyenne de ce paramètre est de $2,734319 \pm 0,353763$. Les régions les plus performantes en termes de ce paramètre en termes de médiane sont Biskra, Msila, Sidi Bel Abbes et Tlemcen (**Figure24**).

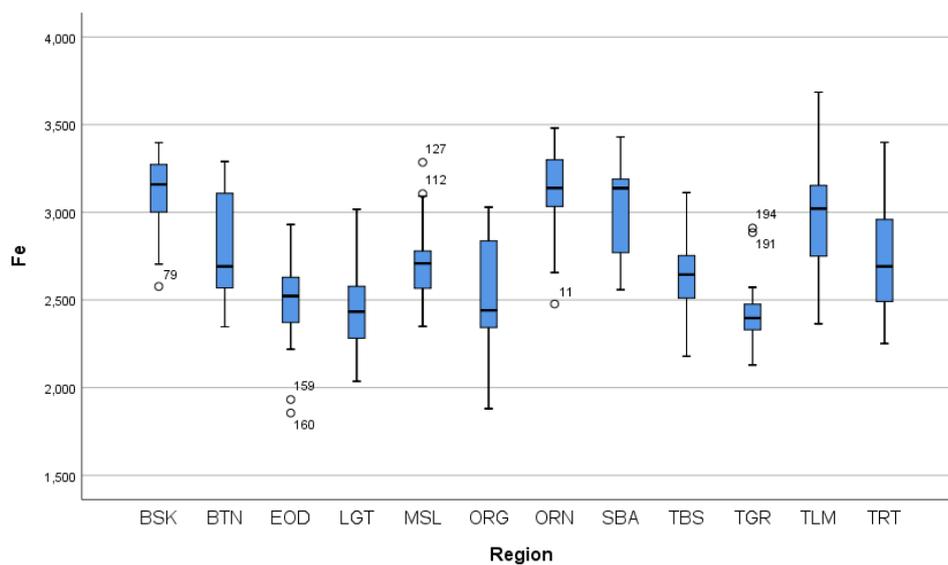


Figure24. Variation de paramètre Fe dans les colonies étudiées.

- **Etudes du paramètre Ti :**

Nous avons observé une valeur minimale de 2,346 mm pour le paramètre Ti à El Oued (**Tableau 7**), ainsi qu'une valeur maximale de 3,733 mm à Oran. La moyenne de ce paramètre a été calculée à $3,015934 \pm 0,226960$. Batna, Biskra, Sidi Bel Abbés et Tiaret se distinguent comme les wilayas les plus performantes en termes de médiane pour ce paramètre (**Figure25**).

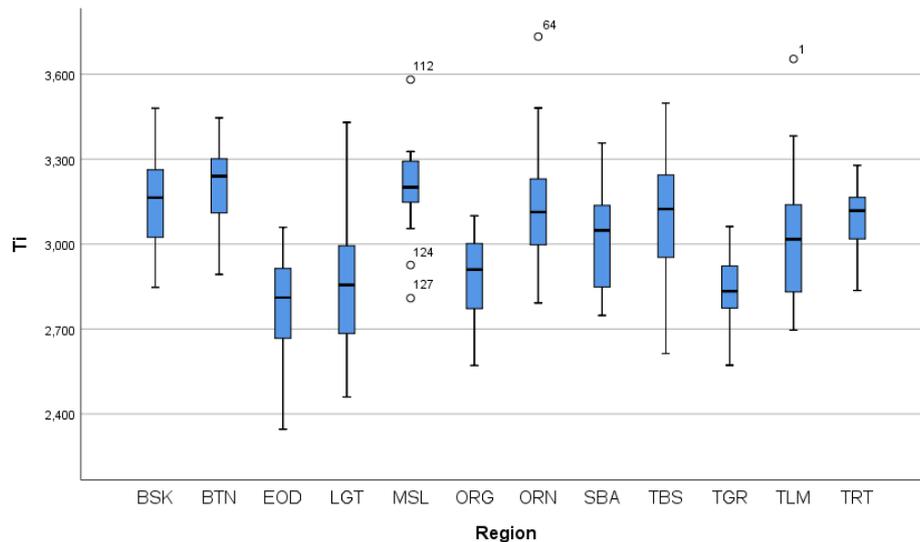


Figure25. La variation du paramètre Ti dans les colonies étudiées.

- **Etude du paramètre MT :**

Nous avons observé des valeurs extrêmes pour le paramètre MT (**Tableau7**). La valeur minimale de 1.048 a été enregistrée à El Oued, tandis que la valeur maximale de 2.747 a été observée à Touggourt. La moyenne de ce paramètre est de 1.245480 ± 0.134702 . Parmi les régions, Touggourt, Msila, Tlemcen et Ouargla se distinguent comme étant parmi les plus performantes en termes de médiane (**Figure 26**).

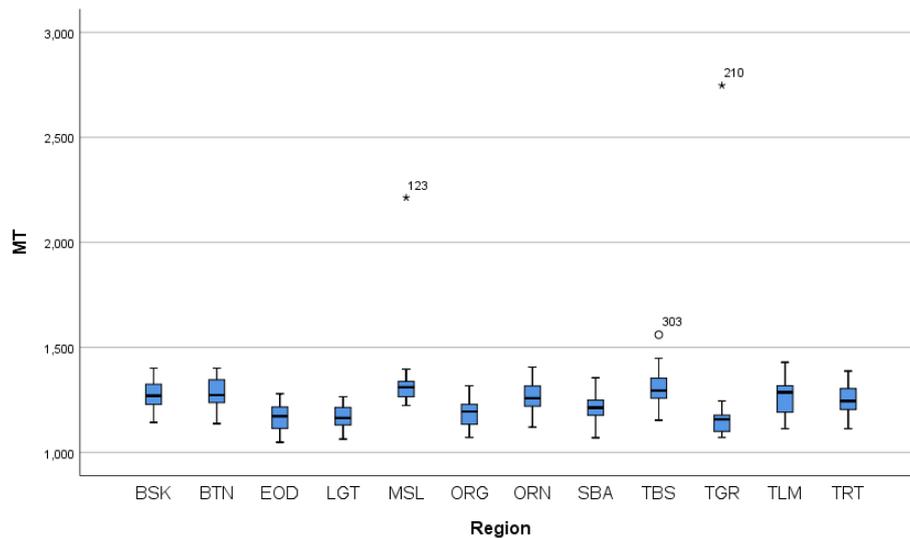


Figure26. Variation du paramètre MT dans les colonies étudiées.

- **Etudes du paramètre ML :**

Pour ce paramètre (**Tableau7**), nous avons pu observer une valeur minimale de 1,468 à Batna, ainsi qu'une valeur maximale de 3,143 à El Oued. La moyenne calculée est égale à 2,087355 +/- 0,235750. En ce qui concerne les régions les plus performantes en termes de médiane, nous avons noté Ouargla, Batna et Msila (**Figure 27**).

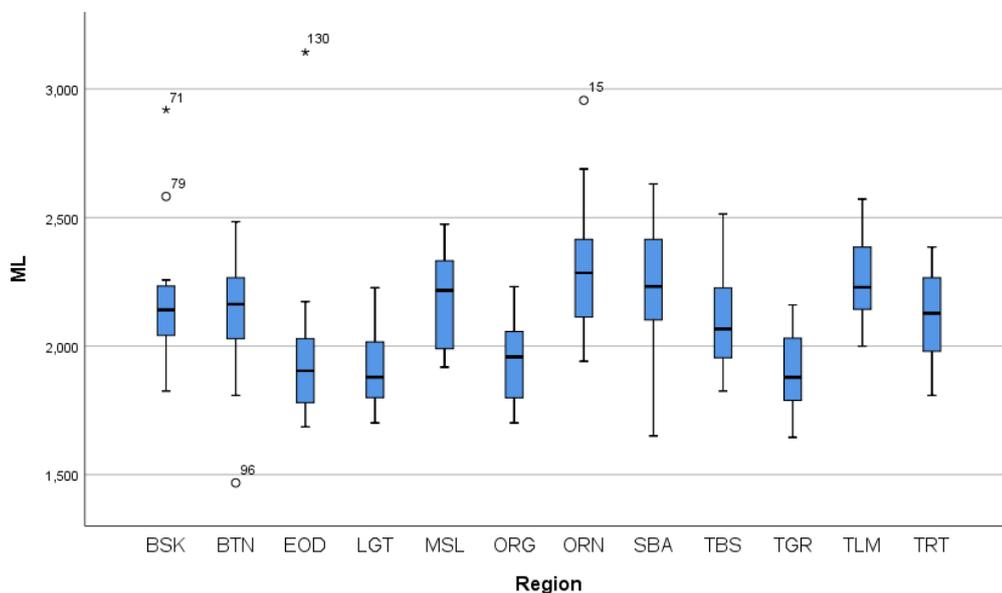


Figure27. Variation du paramètre ML au sein des colonies étudiées.

- **Etudes du paramètre T3 :**

Pour le paramètre T3 (**Tableau 7**), nous avons observé une valeur minimale de 1.114 à Ouargla et une valeur maximale de 2.629 à Oran. La moyenne de ce paramètre est de 2.210378+/- 0.142949. Les régions les plus performantes en termes de médiane sont Biskra, Oran, Sidi Bel Abbas et Msila (**Figure28**).

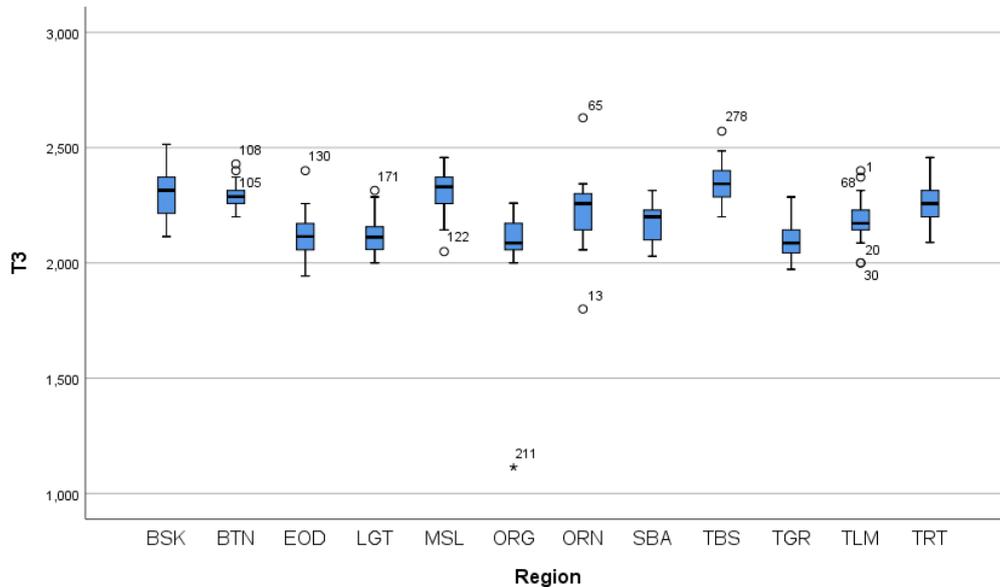


Figure28. Variations du paramètre T3 dans les colonies étudiées.

- **Etude du paramètre LT3 :**

En ce qui concerne le paramètre LT3 (**Tableau 7**), nous avons pu constater une valeur minimale de 7,229 à El Oued, ainsi qu'une valeur maximale de 10,175 à Tébessa. La moyenne, avec un écart type, est égale à 9,010648 +/- 0,508179. On peut désigner Tlemcen, Batna, Laghouat et Msila comme les wilayas les plus performantes en termes de médiane pour ce paramètre (**Figure 29**).

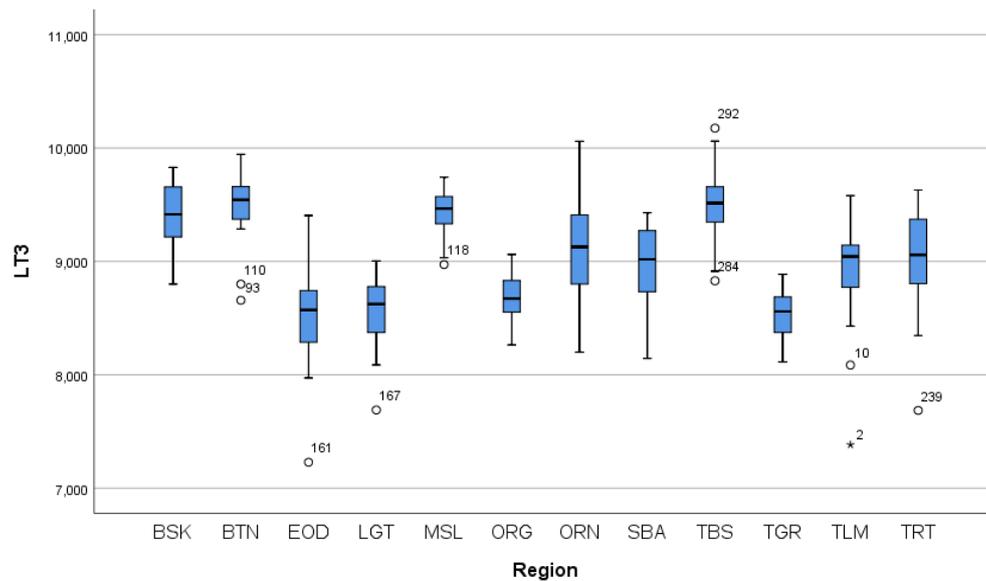


Figure29. Variation du paramètre LT3 dans les colonies étudiées.

- **Etude du paramètre T4 :**

En ce qui concerne le paramètre T4 (**Tableau 7**), qui représente le diamètre de la tergite 4, nous avons noté une valeur minimale de 1,745 à Ouargla, ainsi qu'une valeur maximale de 2,571 à Oran. La moyenne a été calculée à 2,150740 +/- 0,132976. Il est remarquable que Tébessa, Tiaret et Touggourt sont les régions les plus performantes en termes de médiane pour T4 (**Figure 30**).

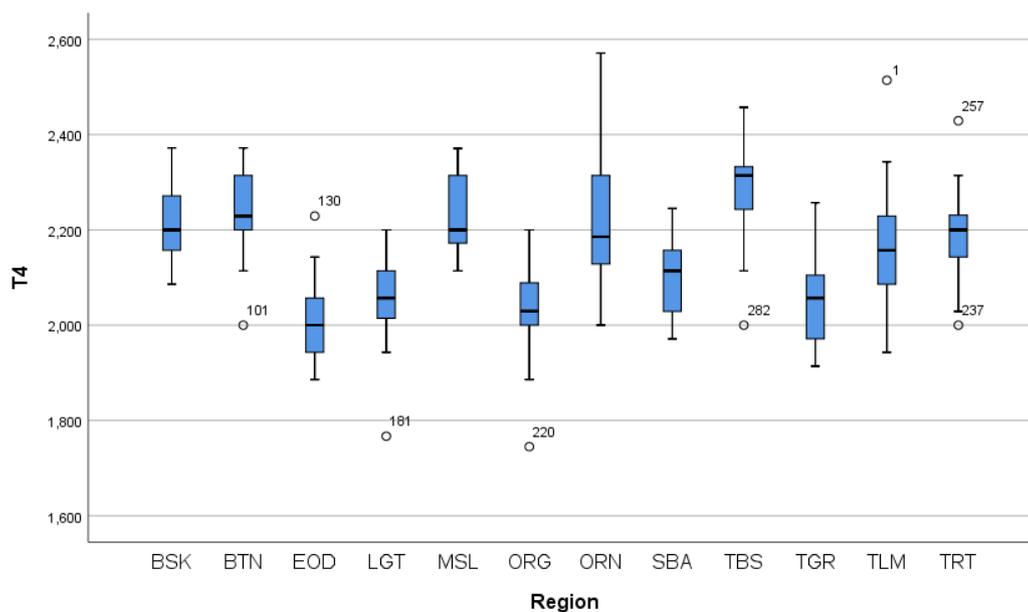


Figure30. Variation du paramètre T4 dans les colonies étudiées.

- **Etudes du paramètre LT4 :**

Le paramètre LT4 représente la longueur de la tergite 4 (**Tableau 7**). Les valeurs de ce paramètre varient entre une valeur minimale de 6,857 à Tlemcen et une valeur maximale de 10,658 dans la même wilaya. La moyenne calculée est égale à 8,450407 +/- 0,524177. On notera que Tébessa, Biskra, Batna et Tiaret sont les régions les plus performantes en termes de médiane pour ce paramètre (**Figure 31**).

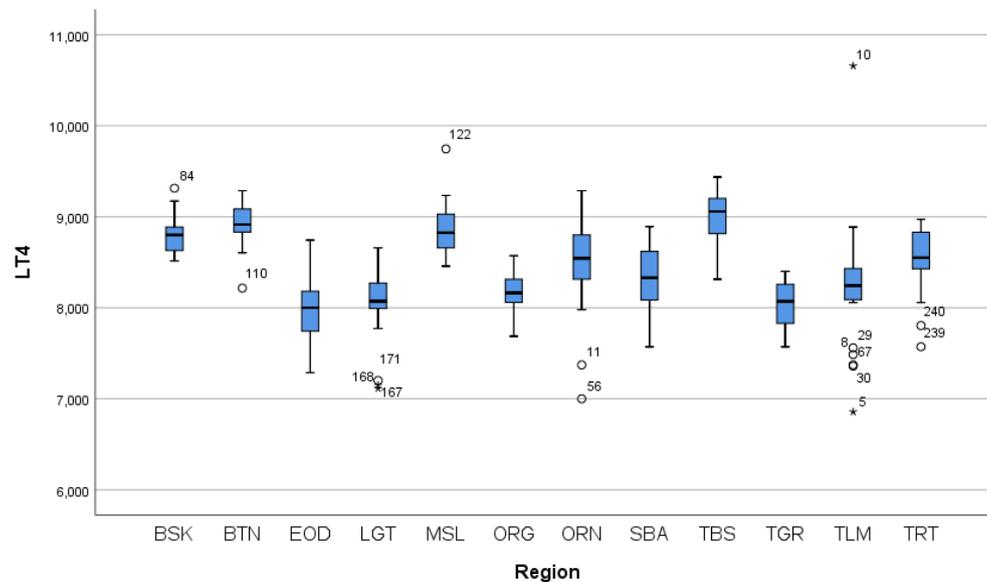


Figure31. Variation du paramètre LT4 dans les colonies étudiées.

- **Etude du paramètre WT :**

Les valeurs de WT varient entre une valeur minimale de 1,469 à Tébessa et une valeur maximale de 2,594 à Tiaret (**Tableau 7**). La moyenne calculée est de 2,036805 +/- 0,194095. Il est intéressant de noter que les régions les plus faibles en termes de médiane pour ce paramètre sont El Oued, Biskra et Touggourt (**Figure 32**).

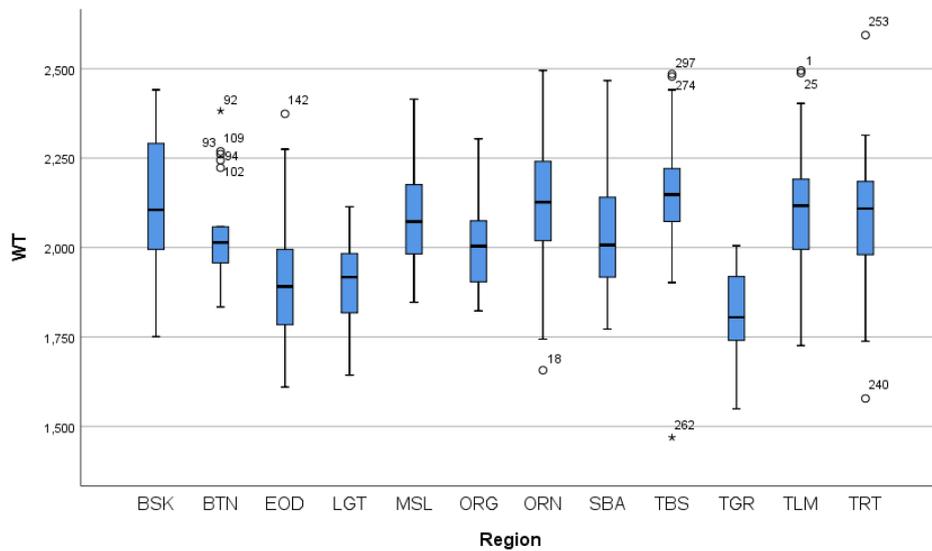


Figure32. Variation du paramètre WT dans les colonies étudiées.

- **Etude du paramètre WD :**

En ce qui concerne le paramètre WD (**Tableau 7**), nous avons observé une valeur minimale de 0,057 à El Oued et une valeur maximale de 2 à Touggourt et Ouargla. La moyenne calculée est de 0,318197 +/- 0,171347. Nous pouvons remarquer qu'El Oued et Batna sont les régions les moins performantes pour ce paramètre en termes de médiane (**Figure 33**).

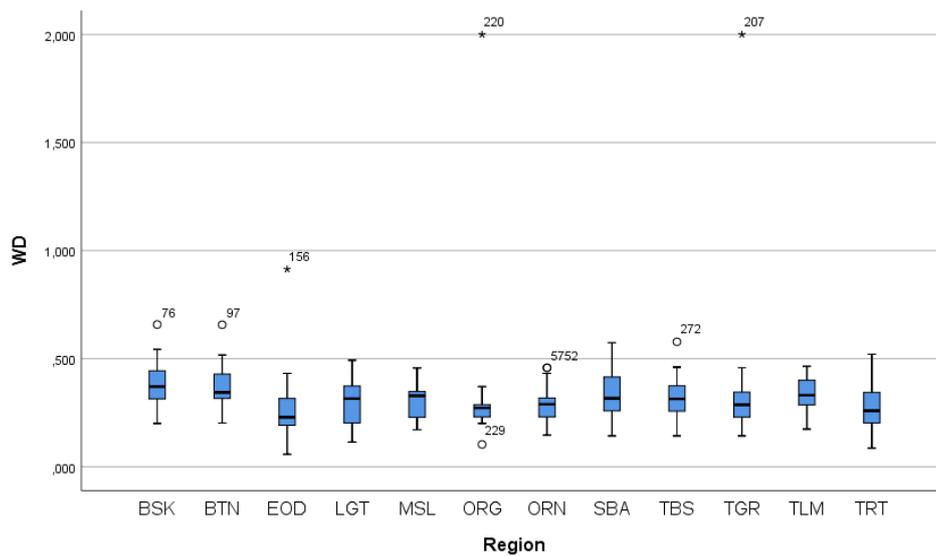


Figure33. Variation du paramètre WD dans les colonies étudiées.

- **Etude du paramètre WL :**

Nous avons observé des valeurs extrêmes pour le paramètre WL (**Tableau 7**). La valeur minimale de 0.945 a été enregistrée à Biskra, tandis que la valeur maximale de 1.829 a été observée à Sidi Bel Abbès. La moyenne de ce paramètre est de 1.406661 ± 0.141518 . Parmi les régions, Tiaret, Msila, Batna et Touggourt se distinguent comme étant parmi les plus performantes en termes de médiane (**Figure 34**).

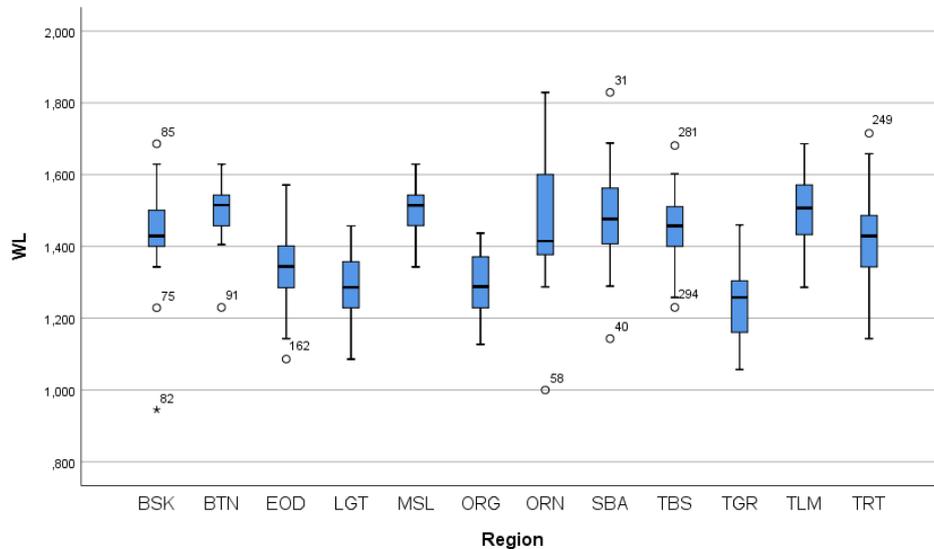


Figure34. Variation du paramètre WL dans les colonies étudiées.

- **Etude du paramètre T6 :**

Le paramètre T6 représente la largeur de la sternite 6. Ses valeurs (**Tableau 7**) varient dans un intervalle allant de 2,086 enregistrée à Laghouat à une valeur de 3,611 enregistrée à Tébessa. La moyenne calculée est égale à $3,223990 \pm 0,195603$. Il est à noter que Touggourt, Ouargla et Tébessa font partie des régions les plus faibles en termes de cette médiane de paramètre (**Figure 35**).

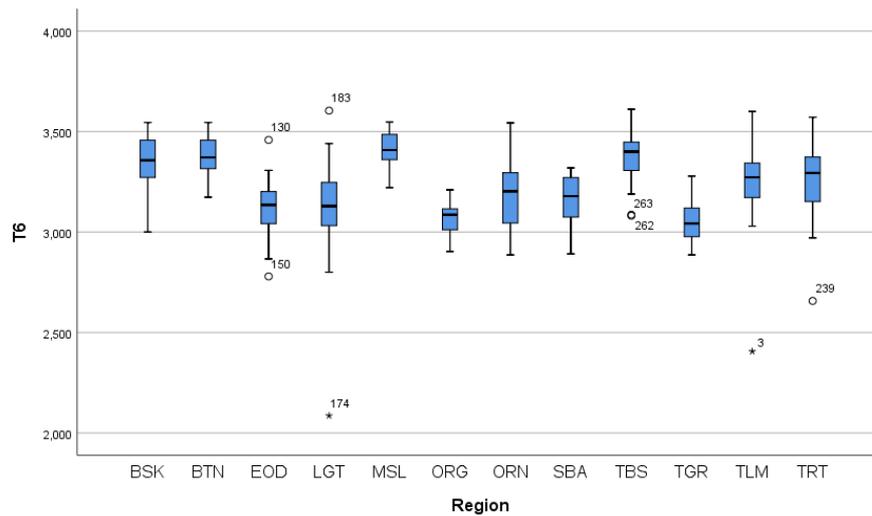


Figure35. Variations du paramètre T6 dans les colonies étudiées.

- **Etude du paramètre L6 :**

Nous avons observé des valeurs extrêmes pour le paramètre L6 (**Tableau 7**), qui représente la longueur de la sternite 6. Une valeur minimale de 2,2 a été enregistrée à El Oued, tandis qu'une valeur maximale de 6,686 a été enregistrée à Oran. La moyenne est de 2,578467 +/- 0,286136. Nous avons noté les médianes les plus faibles dans les régions suivantes : Touggourt, Ouargla, Tlemcen et Msila (**Figure 36**).

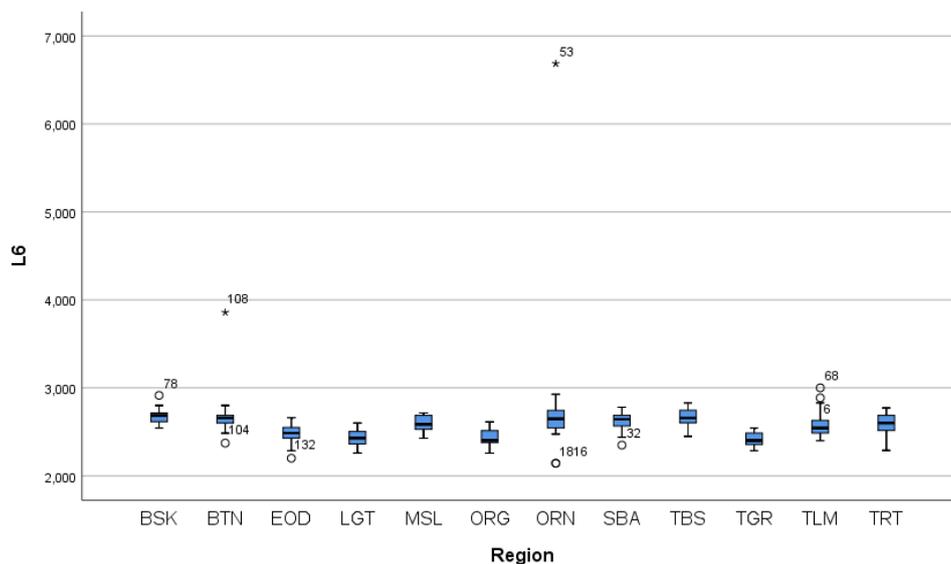


Figure36. Variation du paramètre L6 dans les colonies étudiées.

I.2. Analyse de la variance (ANOVA) selon les régions :

Le résultat de l'Analyse de la variance en fonction des régions a montré des p values très significatif, égale à 0.0001 à part le paramètre de la distance entre les miroirs de cire (WD) qui est considéré autant que non significatif (P value=0.378)

La suite de test statistique a été renforcé par une série de Post hoc selon le modèle de Tukey HSD (Honest Significant Difference)

Tableau8. Analyse de la variance selon les régions.

Paramètres	SC	DDL	Moyenne des carrés	F	SIG
LP	35.959	11	3.269	9.097	0.000
Fe	17.815	11	1.620	23.523	0.000
Ti	6.045	11	0.550	16.780	0.000
MT	0.933	11	0.085	5.428	0.000
ML	5.628	11	0.512	13.325	0.000
T3	2.626	11	0.239	19.552	0.000
LT3	43.583	11	3.962	33.393	0.000
T4	2.747	11	2.5	27.931	0.000
LT4	43.710	11	3.974	29.343	0.000
WT	3.048	11	0.277	9.669	0.000
WD	0.347	11	0.032	1.079	0.378
WL	2.217	11	0.202	15.279	0.000
T6	4.352	11	0.396	15.871	0.000
L6	3.986	11	0.362	5.082	0.000

- **Etude du paramètre LP :**

Le traitement des données statistiques par un test d'ANOVA a un seul facteur a montré une P value significative $p=0.0001$ suivie par une valeur de Fisher importante, égale à 9.097 (**Tableau 8**)

Tableau9. Classification du paramètre LP.

Région	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
Msila	4.88971		
El Oued	4.93121		
Touggourt	4.95625		
Tlemcen	5.02504		
Laghouat		5.10964	
Tébessa		5.14233	
Oran			5.30867
Sidi Bel Abbés			5.36445
Ourgla			5.66450
Biskra			5.73975
Batna			5.85057
Tiaret			5.87468
Signification	0.212	0.065	0.054

L'analyse post hoc de Tukey révèle l'existence de 3 groupes pour les stations similaires (**Tableau 9**). Le premier groupe comprend Msila, El Oued, Touggourt et Tlemcen, avec une P. Value de 0,212 et des moyennes variantes entre 4,88978 et 5,02504. Laghouat et Tébessa forment le deuxième groupe, avec une P. Value de 0,065 et des moyennes variantes entre 5,10964 et 5,14233. Le troisième groupe comprend Oran, Sidi Bel Abbés, Ouargla, Biskra, Batna et Tiaret, avec une P. Value de 0,054 et des moyennes variantes entre 5,30867 et 5,87468 (**Voir tableau 9**).

En ce qui concerne la région la plus distincte, on peut remarquer que El Oued se distingue particulièrement avec une P. Value très significative.

Ces différences peuvent être due à l'adaptation a flore local, a une coévolution avec les plantes, à la génétique et sélection naturelle et même aux conditions environnementales.

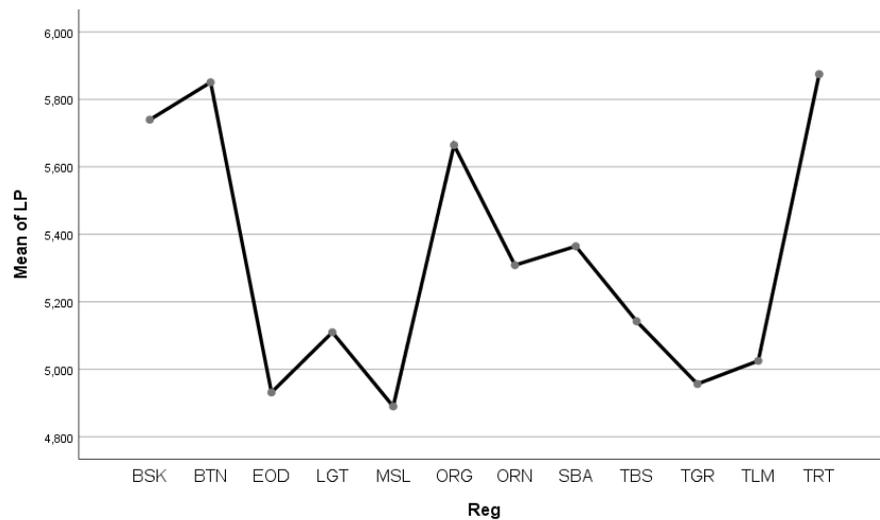


Figure37. Variations des moyennes dans les colonies étudiées.

- Etudes du paramètre Fe :

Pour la longueur du fémur le test ANOVA à monter une P. Value significative =0.0001 et une Valeur de ficher de 23.523 (Tableau 8)

Tableau10. Classification du paramètre Fe par rapport aux régions.

Région	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
Touggourt	2.42250				
Laghouat	2.45146				
El Oued		2.51445			
Ouargla		2.51862			
Tébessa			2.63067		
Msila			2.72389		
Tiaret			2.74204		
Batna				2.79276	
Sidi Bel Abbés				3.02875	
Tlemcen				3.03819	
Oran					3.10775
Biskra					3.10895
Signification	0.210	0.113	0.596	0.059	0.996

Le test post hoc de Tukey a permis de distinguer 5 groupes similaires (**Tableau 10**). Les résultats sont les suivants :

Le premier groupe est représenté par les wilayas de Touggourt et Laghouat, avec des moyennes allant de 2.42250 à 2.45146 et une P. Value de 0.210.

Le deuxième groupe comprend les régions d'El Oued et Ouargla, avec des moyennes de 2.51445 et 2.51862 et P. Value de 0.113.

Le troisième groupe est composé des wilayas de Tébessa, Msila et Tiaret, avec une P. Value 0.596 et un intervalle de moyennes allant de 2.63067 à 2.74204.

Le quatrième groupe est représenté par les stations de Batna, Sidi Bel Abbés et Tlemcen, avec des moyennes allant de 2.79276 à 3.03819 et P. Value égale à 0.059.

Enfin, le cinquième groupe regroupe les régions d'Oran et Biskra, avec une P-value très significative de 0.996.

On peut noter que, Tlemcen, Oran Sidi Bel Abbés et Biskra sont les régions les plus distingués par rapport a ce caractère.

La différenciation de ce paramètre peut être influer par la génétique, l'adaptation environnemental, l'interaction avec d'autres espèces, l'isolement géographique et les facteurs démographiques.

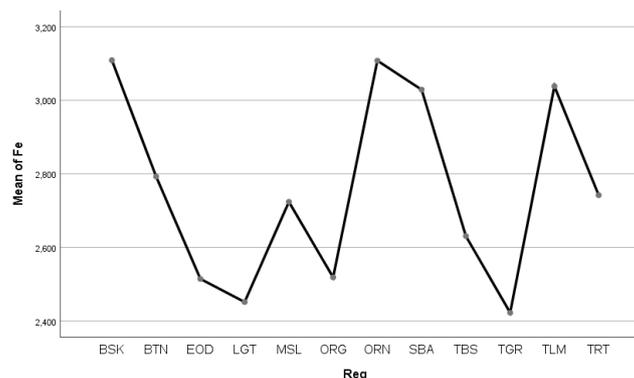


Figure38. Variation des moyennes de Fe dans les régions étudiées.

- Etude du paramètre Ti :

Le paramètre Ti représente la longueur du tibia, le teste d'ANOVA affiche une différence hautement significative avec une P. Value égale à 0.0001. Ainsi qu'un taux de variabilité très élevée et cela par rapport a la valeur de ficheur qui est égale à 16.780 (**Tableau 8**).

Tableau11. Caractérisation du paramètre Ti dans les wilayas étudiées.

Région	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5	Groupe 6
El Oued	2.80748					
Touggourt	2.83165					
Laghouat		2.84850				
Ouargla		2.87162				
Sidi Bel Abbés			3.01660			
Tlemcen			3.03131			
Tiaret				3.09452		
Tébessa				3.09728		
Oran					3.13913	
Biskra					3.15240	
Msila						3.19739
Batna						3.21486
Signification	0.986	0.063	0.099	0.286	0.071	0.478

Le test post hoc de Tukey a révélé la présence de six groupes distincts parmi les régions étudiées (**Tableau 11**), chaque groupe étant composé de deux wilayas.

Le premier groupe présente la P-value la plus significative ($\alpha=0.986$), ce qui indique une forte similarité entre El Oued et Touggourt, ce qui est confirmé par leurs moyennes respectives de 2.80748 et 2.83165.

Le deuxième groupe est formé de Laghouat et Ouargla, avec des moyennes de 2.84850 et 2.87162 respectivement, et une P-value de 0.063.

Le troisième groupe regroupe Sidi Bel Abbés et Tlemcen, avec une P-value de 0.099, et des moyennes respectives de 3.01660 et 3.03131.

Le quatrième groupe est constitué de Tiaret et Tébessa, avec des moyennes de 3.09452 et 3.09728, et une P-value de 0.286.

Le cinquième groupe est composé d'Oran et Biskra, avec des moyennes de 3.13913 et 3.15240, et une P-value de 0.071.

Enfin, le sixième groupe présente une P-value hautement significative ($\alpha=0.478$), avec des moyennes variantes entre 3.19739 et 3.21486.

Avec une P. Value très hautement significatives on peut dire que El Oued est la région la plus distingué par rapport à ce paramètre.

Ce caractère peut être influencé par, la génétique, l'environnement, la nutrition et l'interaction social.

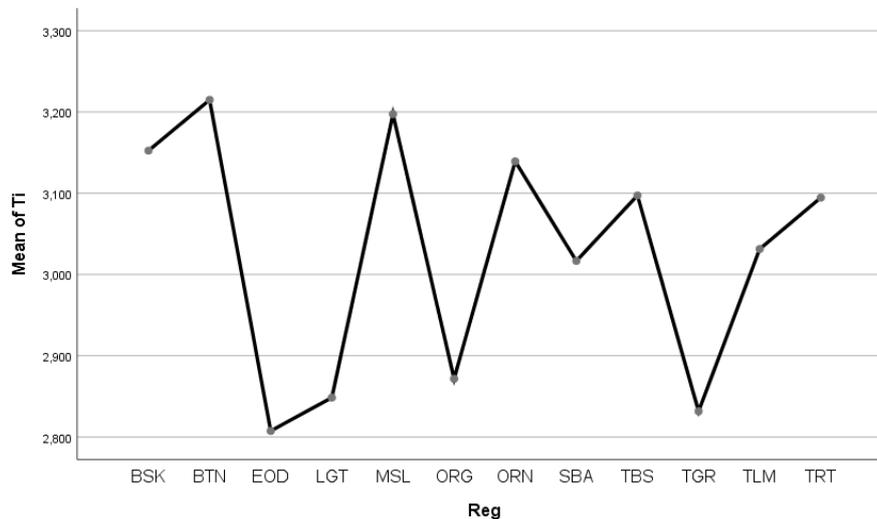


Figure39. Variation des moyennes dans les stations étudiées.

- Etude du paramètre MT :

Le traitement des données statistiques par un test ANOVA a révélé une P. Value très significatif ($\alpha = 0.0001$) et une valeur de F de 5.428 ce qui nous amène à dire que la variabilité de la largeur du métatarse est très élevée dans les régions étudiées (**Tableau 8**).

Tableau12. Classification du paramètre MT dans les stations étudiées.

Région	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
Laghouat	1.16771		
El Oued	1.16873		
Ouargla	1.18888		
Sidi Bel Abbés		1.21755	
Touggourt		1.22630	
Tiaret		1.25588	
Oran		1.26483	
Tlemcen		1.26519	
Biskra			1.27950
Batna			1.28400
Tébessa			1.30840
Msila			1.34961
Signification	0.063	0.335	0.288

Le test post hoc de type Tukey a révélé la présence de trois groupes similaires (**Tableau 12**) parmi les régions étudiées. Le premier groupe comprend les wilayas de Laghouat, El Oued et Ouargla, avec une P-value significative de $\alpha = 0.063$. Les moyennes correspondantes varient de 1.16771 à 1.18888. Le deuxième groupe présente la P-value la plus significative parmi les trois groupes, soit 0.335, avec des moyennes variantes entre 1.21755 et 1.26519. Les stations incluses dans ce groupe sont Sidi Bel Abbés, Touggourt, Tiaret, Oran et Tlemcen. En ce qui concerne le troisième groupe, nous avons observé des moyennes comprises entre 1.27950 et 1.34961 pour les régions de Biskra, Batna, Tébessa et Msila, avec une P-value de 0.288.

Tébessa et Tiaret sont les régions les plus distingués par une P. Value très hautement significatives.

Ce caractère peut être influencé par, la génétique, l'environnement, la nutrition et la santé et le stress.

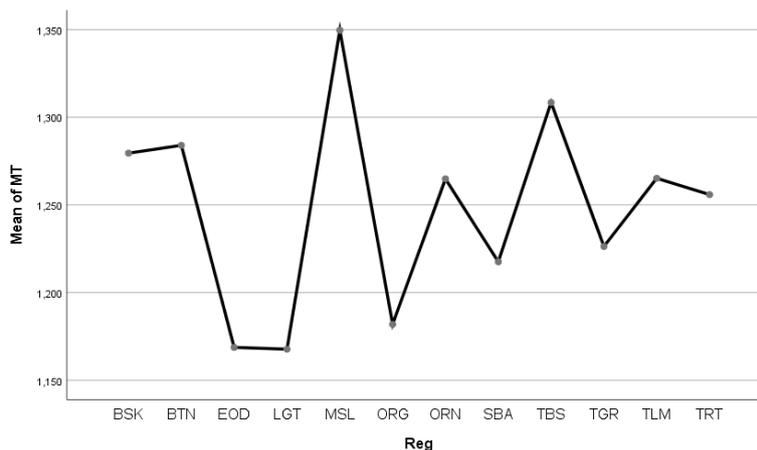


Figure40. Variation des moyennes dans les colonies étudiées.

- Variation du paramètre ML :

Le teste statistique ANOVA a révélé une forte variabilité en ce qui concerne la longueur du métatarse et cela par rapport à la valeur de ficheur qui est égale à 13.325, la P. Value de ce caractère est égale à 0.0001 (**Tableau 8**)

Tableau13. Classification de ML dans les wilayas étudiées.

Région	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
Touggourt	1.89510		
Laghouat	1.89729		
Ouargla	1.93246		
El Oued	1.94200		
Tébessa		2.10626	
Tiaret		2.10852	
Batna			2.13119
Biskra			2.17400
Msila			2.18506
Sidi Bel Abbés			2.24320
Tlemcen			2.25150
Oran			2.28954
Signification	1.000	0.085	0.059

L'analyse post hoc de Tukey révèle l'existence de 3 groupes distincts (**Tableau 13**) parmi les stations étudiées. Le premier groupe est composé de Touggourt, Laghouat, Ouargla et El Oued,

avec une P-value très significative ($\alpha=1$) et des moyennes variant de 1.89510 à 1.94200. Le deuxième groupe est représenté par Tébessa et Tiaret, avec une P-value de 0,085 et des moyennes respectives de 2.10626 et 2.10852. Enfin, le troisième groupe comprend Batna, Biskra, Msila, Sidi Bel Abbés, Tlemcen et Oran, avec une P-value de 0,059 et des moyennes variant de 2.13119 à 2.28954. **(Voir tableau 13).**

Par observation on peut dire que Laghouat et Touggourt sont les stations les plus distingués.

En plus de la génétique, l'environnement et la nutrition on peut aussi additionner l'élevage sélectif et les facteurs écologiques dans les paramètres qui influent ce paramètre.

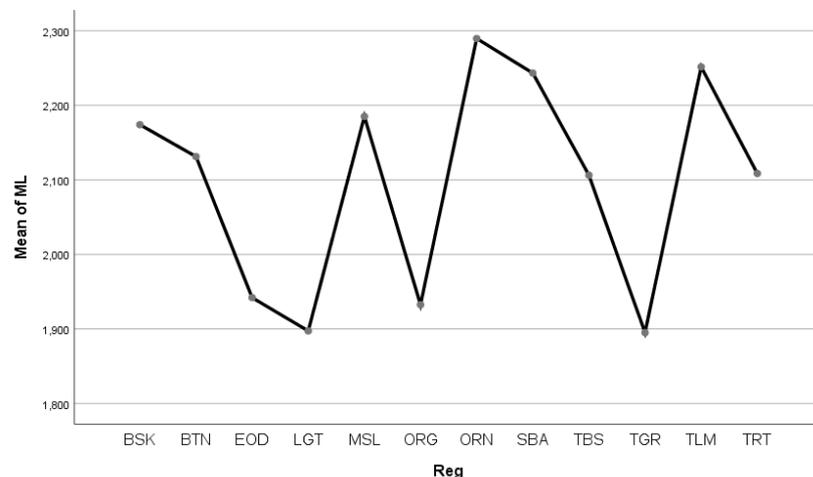


Figure41. Variation des moyennes du paramètre ML dans les colonies étudiées.

- Etude du caractère T3 :

En ce qui concerne la largeur du tergite 3, le test statistique ANOVA à révéler une P. Value très hautement significative ($\alpha=0.0001$), et une valeur de ficheur élevée ($F=19.552$) **(Tableau 8).**

Tableau14. Classification de T3 parmi les stations étudiées.

Région	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5	Groupe 6
Ouargla	2.07504					
Touggourt	2.10310					
El Oued		2.10912				
Laghouat		2.12343				
Sidi Bel Abbés			2.17080			
Tlemcen			2.18800			
Oran				2.22633		
Tiaret				2.26340		
Batna					2.30100	
Biskra					2.30175	
Msila						2.30478
Tébessa						2.34237
Signification	0.114	0.253	0.062	0.146	0.372	0.361

L'analyse post hoc de Tukey a révélé la présence de six groupes distincts parmi les régions étudiées (**Tableau 14**), chaque groupe étant composé de deux wilayas. Le premier groupe, composé de Ouargla et Touggourt, présente une P-value significative, ce qui indique une forte similarité entre ces deux régions. Leurs moyennes respectives de 2.07504 et 2.10310 confirment cette similarité. Le deuxième groupe est formé d'El Oued et Laghouat, avec des moyennes de 2.10912 et 2.12343 respectivement, et une P-value de 0.253. Sidi Bel Abbés et Tlemcen constituent le troisième groupe, avec une P-value de 0.062 et des moyennes respectives de 2.17080 et 2.18800. Le quatrième groupe est constitué d'Oran et Tiaret, avec des moyennes de 2.22633 et 2.26340, et une P-value significative de 0.146. Le cinquième groupe est composé de Batna et Biskra, avec des moyennes de 2.30100 et 2.30175, et une P-value de 0.372. Enfin, le sixième groupe présente une P-value hautement significative ($\alpha=0.361$), avec des moyennes variantes entre 2.30478 et 2.34237.

On peut dire que Sidi Bel Abbés se distingue parmi ces régions avec une P. Value très hautement significative.

La variation de la largeur de la tergite 3 chez les abeilles peut être influencée par plusieurs facteurs, tels que la génétique, l'environnement, la nutrition et les interactions sociales. Ces facteurs interagissent de manière complexe pour influencer le développement et la morphologie des abeilles. De plus, les hormones peuvent également jouer un rôle dans la différenciation de ce caractère. Il est important de noter que la recherche scientifique est en cours pour mieux comprendre les mécanismes sous-jacents à ces variations et déterminer l'importance relative de chaque facteur dans la détermination de la largeur de la tergite 3 chez les abeilles.

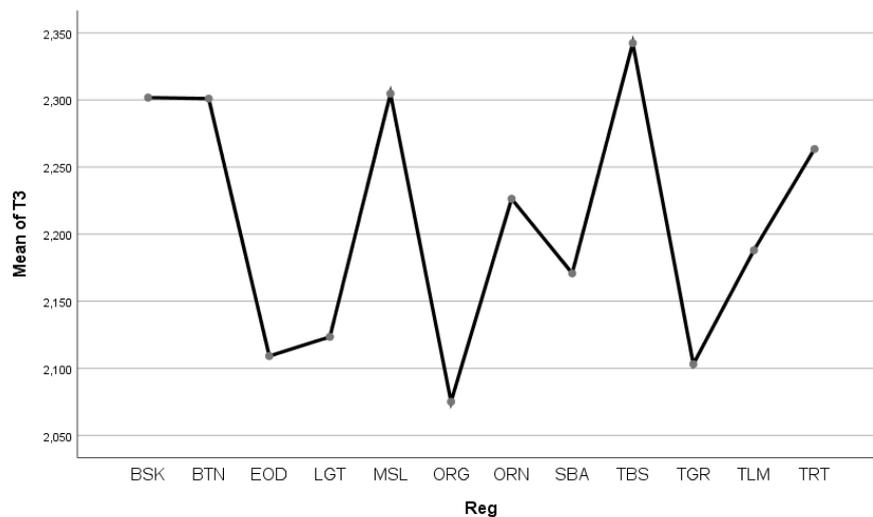


Figure42. Variation des moyennes de T3 dans les stations étudiées.

- Etude du paramètre LT3 :

Le traitement des données statistique par ANOVA à montrer une forte variabilité dans la longueur du tergite 3 chez les abeilles étudiées la valeur de ficher a indiqué 33.393 appuyer par une P. Value très hautement significative ($\alpha=0.0001$) (**Tableau 8**).

Tableau15. Classification du paramètre LT3 dans les différentes stations étudiées.

Région	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
El Oued	8.51506				
Touggourt	8.52975				
Laghouat	8.56114				
Ouargla		8.70004			
Sidi Bel Abbés		8.93290			
Tlemcen		8.93492			
Tiaret			9.01680		
Oran			9.12446		
Biskra				9.41515	
Msila				9.42539	
Batna					9.48267
Tébessa					9.51774
Signification	0.784	0.069	0.743	0.107	0.997

Le test post hoc nous a permis de distinguer cinq groupes distincts (**Tableau 15**).

Le premier groupe, constitué d'El Oued, Touggourt et Laghouat, présente une P-value hautement significative. Leurs moyennes varient dans un intervalle de 8.5114 à 8.51506. Le deuxième groupe, composé de Ouargla, Sidi Bel Abbés et Tlemcen, présente des moyennes allant de 8.70004 à 8.93492. Sa P-value est significative, égale à 0.069. Le troisième groupe présente un taux de similarité hautement significatif ($\alpha=0.743$). Les moyennes pour les wilayas de Tiaret et Oran sont respectivement de 9.01680 et 9.12446. Le quatrième groupe a une P. Value significative et des moyennes respectives égale à 9.41515 et 9.42539 pour les régions de Biskra et Msila. Enfin, le cinquième groupe, comprenant les wilayas de Batna et Tébessa, présente une P-value très hautement significative. Les moyennes se situent entre 9.48267 et 9.51774.

Tiaret et Tlemcen sont les stations les plus distincts avec une P. Value très hautement significative.

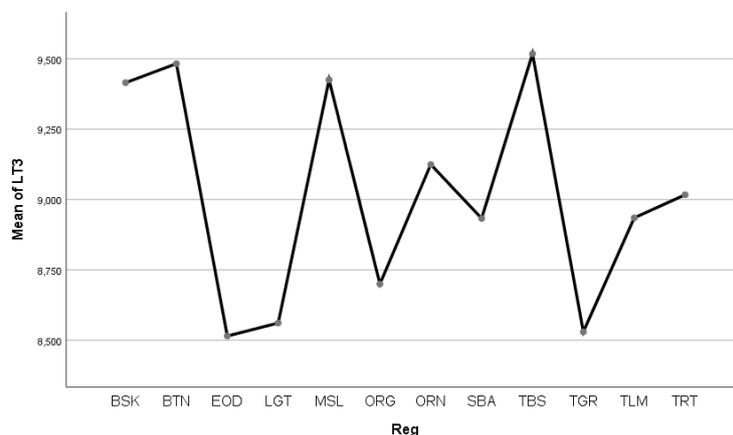


Figure43. Variation des moyennes de LT3 dans les colonies étudiées.

- Etude du paramètre T4 :

L'analyse statistique des données, réalisée à l'aide de l'ANOVA, a révélé une importante variabilité dans la longueur du tergite 4 parmi les abeilles étudiées. La valeur du facteur de variance a été mesurée à 27,931, ce qui est soutenu par une P-value très hautement significative ($\alpha=0.0001$). Cela indique qu'il existe des différences significatives dans la longueur du tergite 3 entre les individus observés (**Tableau 8**).

Tableau16. Classification du paramètre T4 dans les stations étudiées.

Région	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4
El Oued	2.00924			
Ouargla	2.03912			
Touggourt	2.04765			
Laghouat	2.06254			
Sidi Bel Abbés		2.09450		
Tlemcen		2.15927		
Tiart			2.19804	
Oran			2.21321	
Biskra			2.21860	
Msila				2.23444
Batna				2.23667
Tébessa				2.28228
Signification	0.083	0.430	0.172	0.091

À la suite du test post hoc, nous avons identifié quatre groupes distincts (**Tableau 16**). Le premier groupe est constitué d'El Oued, Ouargla, Touggourt et Laghouat, avec une P-value significative. Leurs moyennes se situent dans une plage allant de 2.00924 à 2.06254. Le deuxième groupe est composé de Sidi Bel Abbés et Tlemcen, avec des moyennes de 2.09450 et 2.15927 respectivement. Sa P-value est hautement significative, atteignant 0.430. Le troisième groupe présente un niveau de similarité significatif ($\alpha=0.172$). Les moyennes des régions de Tiaret, Oran et Biskra sont respectivement de 2.19804, 2.21321 et 2.21860. Enfin, le quatrième groupe regroupe les wilayas de Msila, Batna et Tébessa, avec une P-value très significative. Les moyennes se situent entre 2.23444 et 2.28228.

Sidi Bel Abbés se distingue par une P. Value très hautement significative.

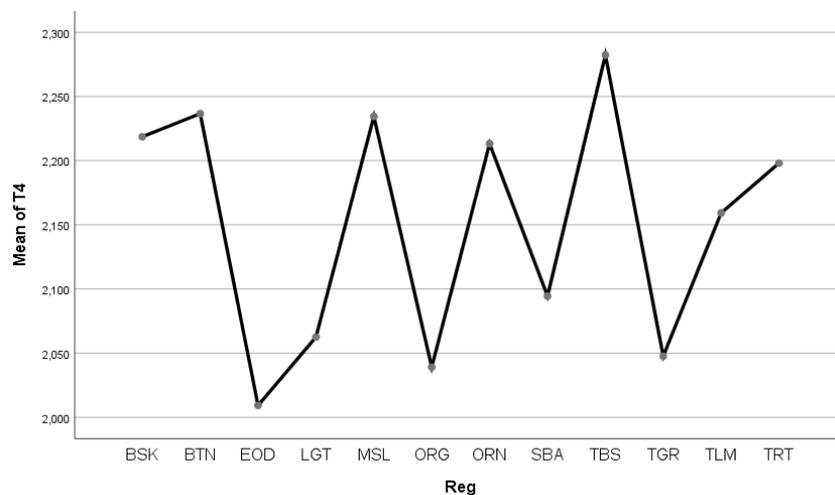


Figure44. Variations des moyennes de T4 dans les stations étudiées.

- Etude du paramètre LT4 :

L'analyse statistique des données à l'aide d'un test d'ANOVA à un seul facteur a révélé une P-value très hautement significative de $p=0.0001$, accompagnée d'une valeur de Fisher élevée de 29.343 ce qui nous pousse à dire qu'il y a une forte variabilité pour la longueur de du tergite 4. (**Tableau 8**)

Tableau17. Classification du paramètre LT4 dans les wilayas étudiées.

Région	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
El Oued	7.96742				
Laghouat	8.03079				
Touggourt	8.04200				
Ouargla		8.15400			
Tlemcen		8.24200			
Sidi Bel Abbés			8.31590		
Oran			8.49233		
Tiaret				8.53304	
Biskra				8.80905	
Msila					8.87650
Batna					8.91810
Tébessa					9.00705
Signification	0.053	0.070	0.214	0.120	0.782

Cinq groupes distincts ont été observés grâce au test de Tukey HSD (**Tableau 17**). Le premier groupe est composé d'El Oued, Laghouat et Touggourt, avec une P-value significative, et des moyennes variant de 7.96742 à 8.04200. Le deuxième groupe comprend les deux wilayas de Ouargla et Tlemcen, avec une P-value significative. Le troisième groupe présente une P-value hautement significative de 0.214, et regroupe les wilayas de Sidi Bel Abbés et Oran. Le quatrième groupe se compose de Biskra et Msila, avec une P-value significative. Enfin, le cinquième groupe présente une P-value très hautement significative ($p=0.782$) et est constitué de Msila, Batna et Tébessa.

On peut noter que Tlemcen se distingue par une P. Value très hautement significative.

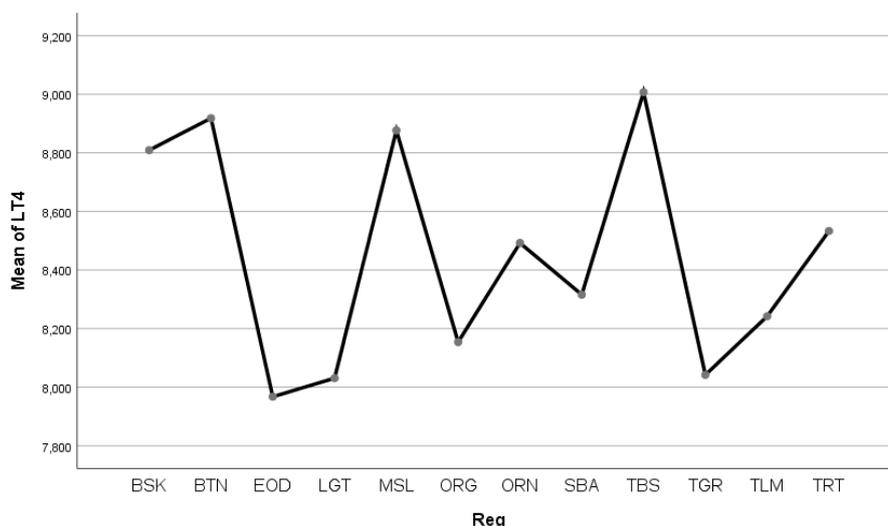


Figure45. Variation du paramètre LT4 dans les stations étudiées.

- Etude du paramètre WT :

Le traitement des données statistique par ANOVA à montrer une forte variabilité dans le largeur des miroirs de cire chez les abeilles étudiées la valeur de ficher a indiqué 33.393 appuyer par une P. Value très hautement significative ($\alpha=0.0001$) (**Tableau 8**)

Tableau18. Classification des groupes par rapport a leur moyenne pour WT.

Région	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
Touggourt	1.81720		
Laghouat	1.90275		
El Oued	1.91870		
Ouargla		2.00769	
Sidi Bel Abbés		2.04435	
Batna		2.04767	
Tiaret			2.08248
Msila			2.08694
Oran			2.10808
Tlemcen			2.10958
Biskra			2.12730
Tébessa			2.15226
Signification	0.641	0.125	0.128

Le test de Tukey (**Tableau 18**) a révélé une similarité entre les wilayas de Touggourt, Laghouat et El Oued, avec une P-value très hautement significative, et des moyennes variant de 1.81720 à 1.91870. Le deuxième groupe est composé de Ouargla, Sidi Bel Abbés et Batna, avec une P-value significative de 0.125. Enfin, les wilayas de Tiaret, Msila, Oran, Tlemcen, Biskra et Tébessa forment le troisième groupe, avec une P-value significative de 0.128, et des moyennes qui varient dans un intervalle allant de 2.08248 à 2.15226.

Par observation on peut dire que Touggourt se distinct par une P. Value très hautement significative.

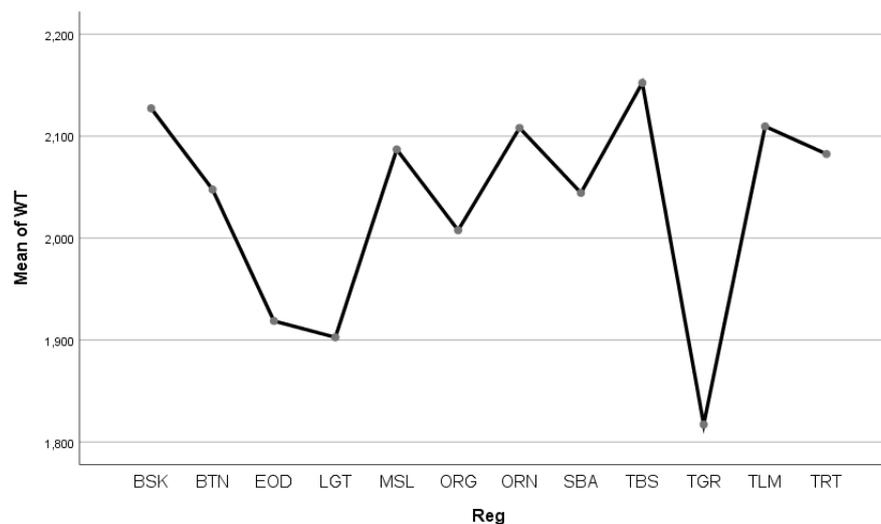


Figure46. Variance des moyennes de WT dans les colonies étudiées.

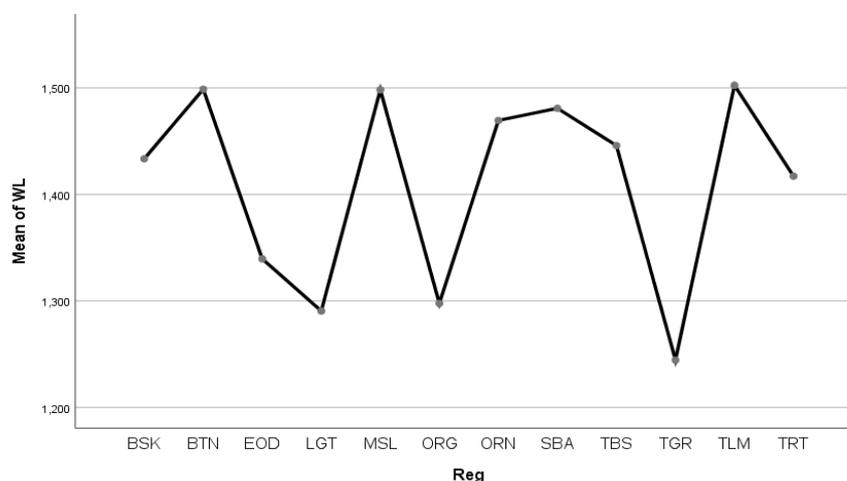
- Etude du paramètre WL :

Le test statistique d'ANOVA à révéler une forte variation en ce qui concerne la longueur des miroirs de cire de la sternite 3, on a pu noter une P. Value très hautement significative ($\alpha=0.0001$) et une valeur de ficheur égale à 15.279 (**Tableau 8**).

Tableau 19. Classification des groupes pour le paramètre WL.

Région	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
Touggourt	1.24445		
Laghouat	1.29057		
Ouargla	1.29765		
El Oued		1.33948	
Tiaret		1.41712	
Biskra		1.43345	
Tébessa			1.44586
Oran			1.46946
Sidi Bel Abbés			1.48085
Msila			1.49822
Batna			1.49881
Tlemcen			1.50238
Signification	0.160	0.065	0.302

Le test de Tukey a révélé la présence de 3 groupes distincts (**Tableau 19**). Le premier groupe est composé de Touggourt, Laghouat et Ouargla, avec une P-value hautement significative ($\alpha=0.160$). El Oued, Tiaret et Biskra forment le deuxième groupe, avec une P-value de 0.065. Le troisième groupe présente une P-value très hautement significative égale à 0.302, et les moyennes varient entre 1.44586 et 1.50238 pour les stations de Tébessa, Oran, Sidi Bel Abbés, Msila, Batna et Tlemcen.

**Figure47. Variation des moyennes de ML dans les colonies étudiées.**

- **Etudes du paramètre T6 :**

Le test d'ANOVA a montré une forte variabilité dans la largeur du sternite 6 avec une P. Value très hautement significatives, et une valeur de ficheur égale à 15.871 (**Tableau 8**).

Tableau20. Classification des groupes pour le paramètre T6

Région	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4
El Oued	3.05130			
Ouargla	3.07050			
Touggourt	3.10743			
Laghouat		3.12606		
Sidi Bel Abbés		3.16850		
Tlemcen		3.17742		
Tiart			3.23888	
Oran			3.24544	
Biskra			3.34035	
Msila				3.37471
Batna				3.37621
Tébessa				3.40211
Signification	0.201	0.107	0.111	0.971

Le test de Tukey a révélé la présence de 4 groupes distincts (**Tableau 20**). Le premier groupe est composé d'El Oued, Ouargla et Touggourt, avec une P-value hautement significative ($\alpha=0.0001$). Laghouat et Sidi Bel Abbés forment le deuxième groupe, avec une P-value de 0.107. Le troisième groupe présente une P-value égale à 0.111, et les moyennes varient entre 3.23888 et 3.34035 pour les stations de Tiaret, Oran et Biskra. Enfin, le quatrième groupe affiche une P-value très hautement significative ($\alpha=0.971$) et des moyennes allant de 3.37471 à 3.40211.

On pourra noter une P. Value hautement significative pour la station de Touggourt ce qui fait qu'elle se distingue par rapport aux autres stations.

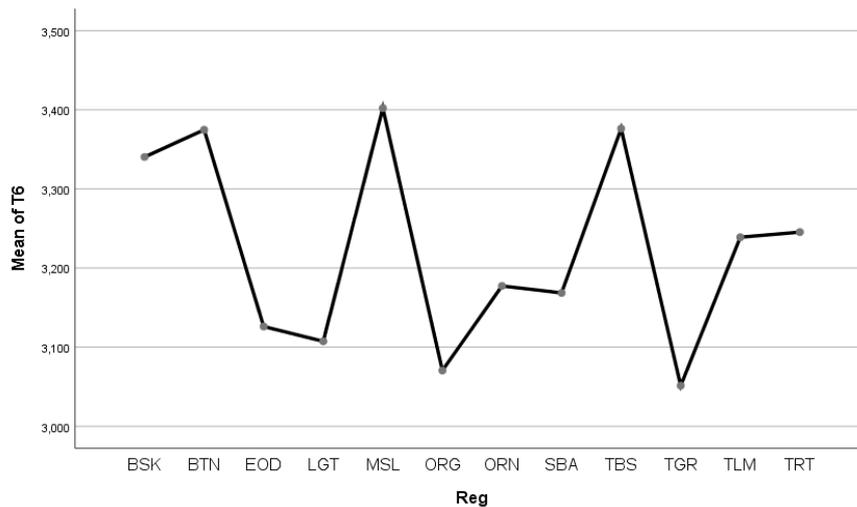


Figure48. Variation des moyennes de T6 dans les stations étudiées.

- Etude du paramètre L6 :

Le teste ANOVA à montrer une très forte variabilité dans le paramètre L6 qui est la longueur de la sternite 6. La P. Value est très hautement significative $\alpha=0.0001$ et une valeur de ficheur de 5.082 (Tableau 8).

Tableau 21. Classification des groupes pour le caractère 6.

Région	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4
El Oued	2.41225			
Ouargla	2.43023			
Touggourt	2.43104			
Laghouat		2.47579		
Sidi Bel Abbés		2.58792		
Tlemcen		2.58917		
Tiart			2.58958	
Oran			2.61645	
Biskra			2.66628	
Msila				2.67745
Batna				2.69281
Tébessa				2.78933
Signification	0.050	0.065	0.180	0.279

Le test de tukey a révélé quatre groupes distincts constituer chacun de 3 wilayas différentes (**Tableau 21**). Effectivement, le premier groupe est constitué d'El Oued, Ouargla et Touggourt qui affichent une P. Value significative de 0.050. Le second groupe compte les régions de Laghouat Sidi Bel Abbès et Tlemcen $\alpha=0.065$. Tiaret, Oran et Biskra constituent le troisième groupe qui affiche des moyennes entre 2.58958 et 2.66628 et une P. Value égale à 0.180. Le dernier groupe affiche la P. Value la plus élevée $\alpha=0.279$.

On peut dire que les wilayas de Ouargla, Touggourt et Laghouat sont les plus régions distinguées.

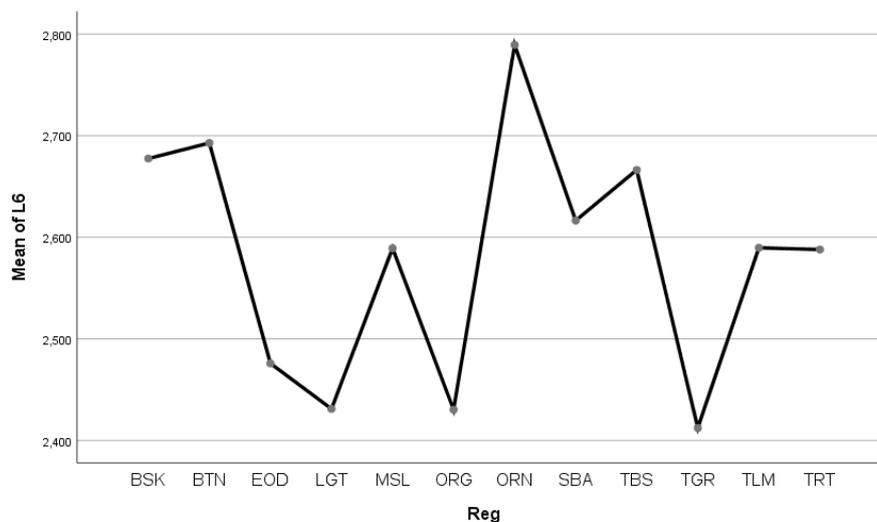


Figure49. Variation des moyennes de L6 dans les stations étudiées.

I.3. Résultat de la corrélation entre les différents paramètres :

Le test de corrélation est une approche précieuse pour comprendre et quantifier les relations entre les variables (**Tableau22**).

Tableau 22. Corrélation entre les paramètres étudiés.

Corrélation	LP	Fe	Ti	MT	ML	T3	LT3	T4	LT4	WT	WD	WL	T6	L6
LP														
Fe	0.138													
Ti	0.186	0.345												
MT	0.077	0.163	0.241											
ML	0.064	0.382	0.389	0.146										
T3	0.111	0.211	0.428	0.270	0.352									
LT3	0.172	0.265	0.539	0.382	0.397	0.515								
T4	0.126	0.226	0.524	0.368	0.339	0.664	0.609							
LT4	0.129	0.242	0.479	0.340	0.343	0.531	0.684	0.571						
WT	0.122	0.248	0.307	0.183	0.257	0.349	0.377	0.408	0.436					
WD	-	0.054	0.014	-	0.018	-	0.042	-	-	-				
	0.034			0.018		0.017		0.079	0.016	0.018				
WL	0.070	0.359	0.455	0.267	0.357	0.345	0.455	0.405	0.348	0.370	-			
											0.050			
T6	0.126	0.204	0.392	0.346	0.296	0.473	0.512	0.441	0.526	0.331	0.048	0.3.12		
L6	0.086	0.225	0.261	0.146	0.197	0.247	0.307	0.289	0.306	0.2	0.022	0.308	0.260	

Le traitement des données par un test de corrélation de Pearson a montré des corrélations fortement positive ($r = +0.6$) (**Tableau 22**) entre les paramètres statistiques de la largeur du tergite 3 et la largeur du tergite 4 avec un taux égal à 0.664. Ainsi que pour la longueur de la sternite 3 et la largeur de la tergite 4 avec un taux égal à 0.609, La corrélation a aussi été observée entre la largeur de tergite 3 et la longueur de tergite 4 avec un taux égal à 0.684. Il est connu que ces paramètres sont généralement contrôlés par le compartiment anatomique de l'abdomen alors que d'autres types de corrélations ont été signalés ($r < +0.6$) appelés aussi des corrélations intermédiaires entre la longueur du tergite 4 et la largeur du sternite 6 avec un taux de 0.526, on peut aussi citer une corrélation entre la largeur du tergite 4 et sa longueur avec un taux égal à 0.571, nous avons pu observer une corrélation intermédiaire entre la longueur du tibia et la longueur du tergite 4 avec un taux égal à 0.479, nous pouvons aussi constater une corrélation entre la longueur du tibia et la longueur du métatarse avec un taux à 0.389, ainsi qu'entre la longueur du fémur la longueur du métatarse avec un taux égal à 0.382. Ces paramètres sont contrôlés par le compartiment de l'abdomen et celui des pattes. Nous pouvons aussi noter des corrélations faibles à très faibles. Par exemple la corrélation entre la largeur du miroir de cire de tergite 3 et la longueur de sternite 6 avec un taux égal à 0.2 ces paramètres

sont contrôlés par l'abdomen. Et une corrélation très faible entre la longueur du proboscis et la largeur du tergite 3 avec un taux de 0.111.

Il faut signaler qu'un groupe de corrélations ont été classé comme non significatif (P. Value > 5%) et donc ces modèles ne sont pas aptes pour une interprétation statistique parmi ces modèles on a la distance entre les miroirs de cire et la longueur du métatarse ($r=0.018$). la longueur du proboscis et la distance entre les miroirs de cire avec une P. Value = 0.555 et entre la longueur du tergite 4 et la distances entre les miroirs de cire de tergite 3 avec $\alpha=0.783$. On peut dire qu'il y a une indépendance entre ces paramètres. (**Figure 50**)

Généralement les coefficients les plus élevés ont été signalé entre LT3 et LT4 ($\alpha=0.0001$) alors que les plus faible ont été signalé entre WD et LT4 ($\alpha=0.783$)

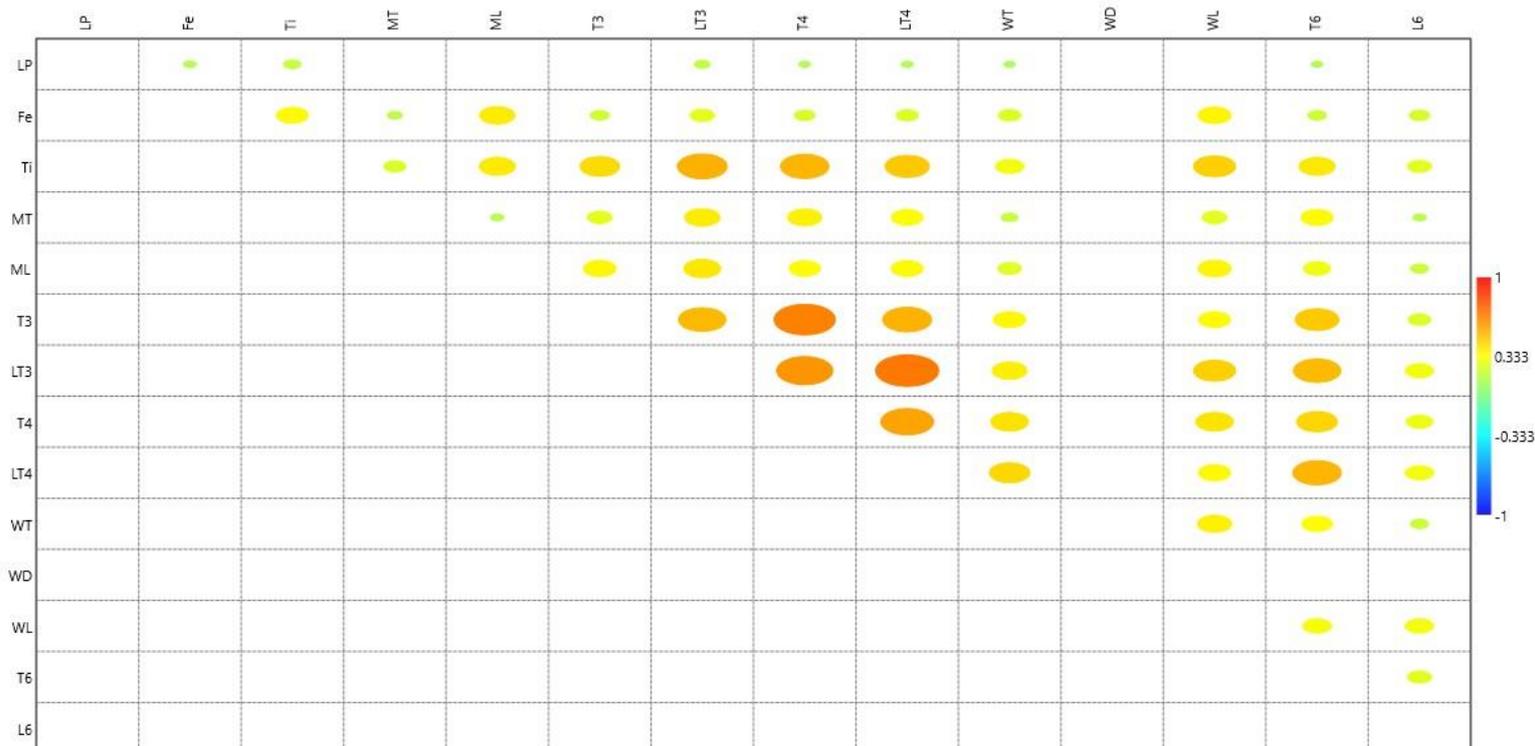


Figure50. Les différentes corrélations entre les caractères étudiés.

I.4. Analyses multivariées :

I.4.1. Analyse en composante variées (ACP) :

L'analyse en Composante Principale a dégagé 44.62% en termes d'information ou d'inertie entre les deux premières dimensions (PC1 et PC2) dont PC1 couvre 36.43% alors que PC2 représente 8.19% (**Tableau 23**).

Tableau23. Pourcentage d'inertie de chaque composante de l'ACP

Composante	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
L'inertie (%)	36.43	8.194	7.382	6.949	6.026	5.902
Cumule de l'inertie (%)	36.43	44.623	52.005	58.954	64.979	70.882

Le model statistique propose 2 groupes de variables homogènes (**Figure 51**), le premier est caractérisé par les facteurs (MT, T3, LT3, T4, LT4, WT, T6) qui cible principalement les tergites 3 et 4, sternite 6, la largeur du miroir de cire. Ce groupe domine le coté positive de la 1ere dimension (PC1), le deuxième est caractérisé par les facteurs (Ti, ML, Fe, WL, L6) qui cible la patte postérieure, La longueur du miroir de cire du tergite 3. Ce dernier est localisé sur le flanc négative de la 2eme dimension (PC2).

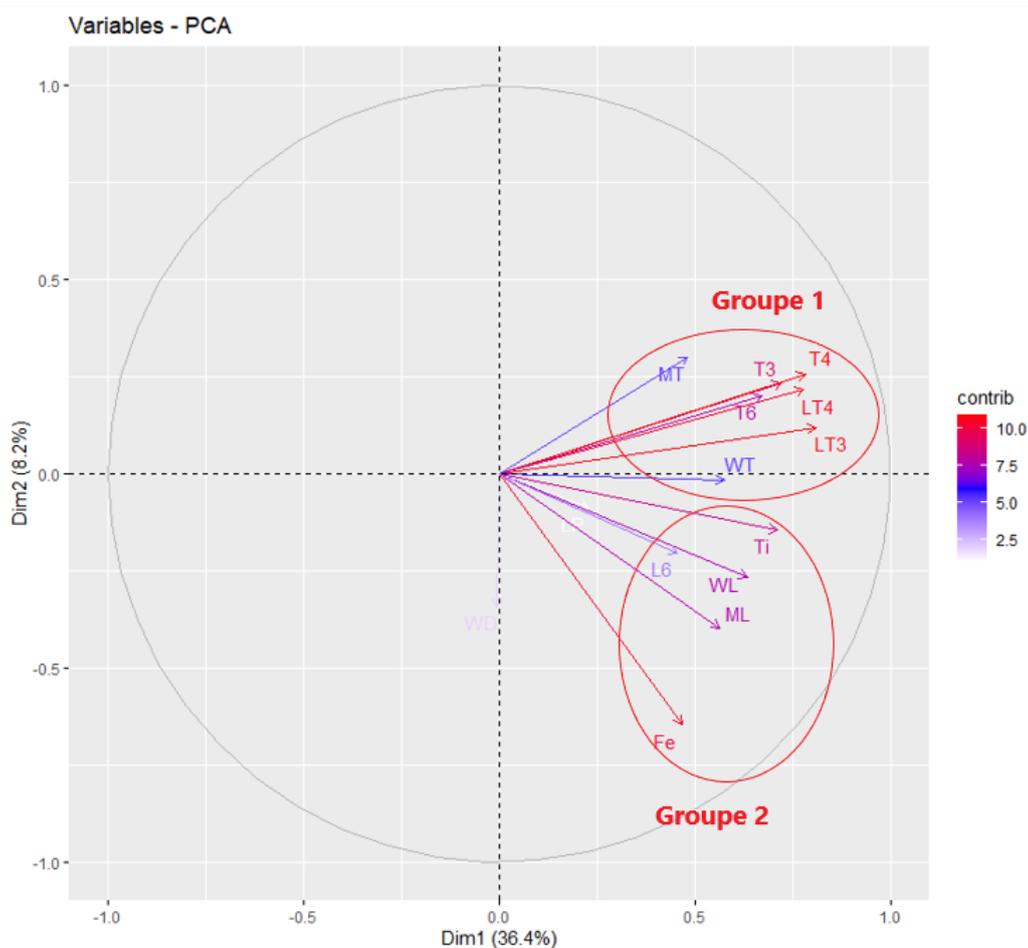


Figure 51. Représentation graphique des paramètres morphologique dans le plan des composantes D'ACP.

Le graphique des points du nuage, présenté dans la (**Figure 52**), complète l'Analyse en Composantes Principales qui nous permet de comprendre le comportement des observations étudiées en fonction de leurs localisation géographique et de leurs performances par rapport aux groupes de variables. Dans notre cas, il semble que le modèle statistique propose au moins trois catégories distinctes d'abeilles, chacune dominée par un type spécifique de paramètres.

Groupe I : Il est localisé du côté positif de la fonction multivariée, avec une inertie de 1,5 unité et de 5 unités sur l'axe des X. Les abeilles vivant à Batna et Msila partagent un comportement de butinage dans des endroits montagneux, tandis que celles de Tébessa se caractérisent par une transhumance. Ainsi, pendant quelques mois de l'année, les abeilles de Tébessa sont exposées à un environnement montagneux, ce qui pourrait expliquer leurs similarités morphologiques.

Groupe II : Ce groupe est situé à l'opposé du premier groupe, affichant une localisation de -0,5 unité d'inertie et -5 unités d'inertie sur l'axe des X « côté négatif de la fonction multivariée ». Les stations qui composent ce groupe sont essentiellement des villes désertiques, avec un climat aride à semi-aride. Les abeilles se sont donc adaptées à un environnement spécifique avec des espèces florales particulières à ces régions.

Groupe III : Ce groupe regroupe les villes de Tlemcen, Oran, Sidi Bel Abbés et Biskra. Ces localités sont positionnées sur un axe allant de 1,250 unité d'inertie à 5 unités d'inertie sur l'axe des X, et de 0 unité d'inertie à -2,5 unités d'inertie sur l'axe des Y. La présence de Biskra dans ce groupe peut s'expliquer par le fait que plusieurs apiculteurs ont fait l'acquisition d'essaims côtiers afin d'accroître les populations d'abeilles dans cette région.

Il est particulièrement notable que les régions de Batna, Msila et Tébessa sont considérées comme les plus développées en termes de caractéristiques physiques, notamment les sternites et les tergites. En revanche, les spécimens d'El Oued, Laghouat, Touggourt et Ouargla présentent la forme physique la plus petite en ce qui concerne les conditions anatomiques mentionnées.

Il est également très remarquable que les spécimens de Sidi Bel Abbés, Biskra, Tlemcen et Oran possèdent les tibias et les fémurs les plus grands parmi les pattes postérieures droites.



Figure52. Représentation du graphe de point de nuage par la méthode d'ACP.

I.5. Classification ascendante hiérarchique (CAH) :

L'analyse a généré un dendrogramme de type "UPGMA", basé principalement sur des distances euclidiennes et utilisant un algorithme de calcul avec plus de 1000 unités de Bootstrap. Les distances sont calculées en fonction des moyennes entre les centroïdes de chaque groupe (ou "cluster") et les points du nuage (ou "squatter") (**Figure 53**).

Le modèle statistique a identifié quatre groupes homogènes (clusters) avec une distance unitaire de 15. Les spécimens d'Oran, Sidi Bel Abbés et Tlemcen ont été regroupés dans le même cluster en raison de leur similarité de performance, étant assez proches les uns des autres. Les spécimens de Tiaret, Batna et Biskra ont montré une grande homogénéité et se sont distingués statistiquement. Les spécimens de Msila et Tébessa ont également été regroupés dans le même cluster en raison de leur ressemblance géographique et écologique, ce qui est logique. Les spécimens d'Ouargla, El Oued, Laghouat et Touggourt ont été regroupés dans des clusters presque identiques.

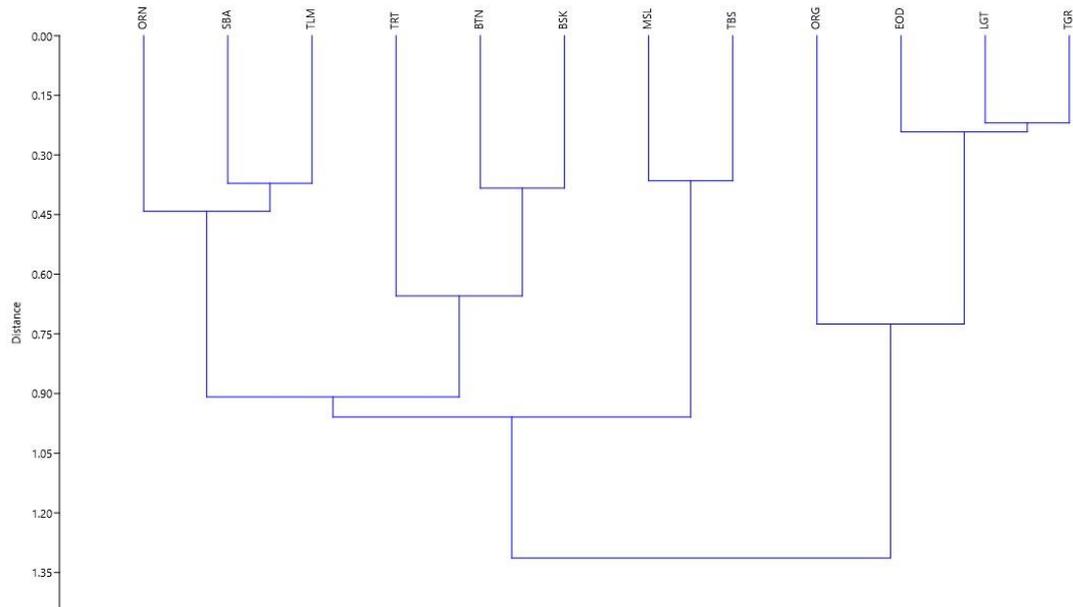


Figure53. Classification ascendante hiérarchique en fonction de la distance moyenne chez les populations d'abeille étudiées.

I.6. Indice de Shannon et Weaver :

Le taux de H' obtenue égale à 0.47 dans la wilaya de Tébessa. Qui est considéré comme la valeur la plus importante enregistrée. Les taux dans les autres wilayas varient entre 0.25 et 0.46 (**Tableau 24**). Cet indice est relativement élevé à Tébessa ce qui est probablement le reflet d'une diversité génétique importante et l'absence d'une pression sélective très significative, et moins important dans les autres régions.

Tableau 24. Indice de Shannon and Weaver de chaque caractère étudié par rapport à chaque wilaya.

Wilayas	LP		FE		Ti		Mt		MI		T3		LT3		T4		LT4	
	IP	IS																
Bskr	0.255	0.161	0.224	0.161	0.260	0.187	0.255	0.184	0.260	0.187	0.246	0.178	0.235	0.170	0.245	0.177	0.223	0.161
Btn	0.257	0.194	0.269	0.194	0.244	0.176	0.264	0.190	0.276	0.200	0.232	0.167	0.242	0.175	0.260	0.187	0.234	0.170
EOD	0.369	0.258	0.358	0.258	0.346	0.250	0.350	0.253	0.355	0.256	0.362	0.261	0.321	0.231	0.327	0.236	0.323	0.233
Lght	0.319	0.226	0.313	0.226	0.321	0.232	0.315	0.227	0.300	0.213	0.321	0.232	0.285	0.204	0.316	0.230	0.300	0.213
Msl	0.234	0.171	0.237	0.171	0.222	0.160	0.206	0.150	0.236	0.170	0.231	0.167	0.217	0.157	0.224	0.161	0.208	0.150
Orgl	0.312	0.213	0.296	0.213	0.301	0.216	0.312	0.225	0.300	0.216	0.291	0.210	0.290	0.207	0.292	0.210	0.275	0.200
Orn	0.309	0.183	0.253	0.183	0.300	0.215	0.300	0.215	0.276	0.200	0.302	0.218	0.300	0.216	0.300	0.216	0.303	0.220
SBA	0.263	0.168	0.232	0.168	0.270	0.193	0.261	0.190	0.251	0.181	0.252	0.181	0.250	0.180	0.260	0.187	0.264	0.200
TBS	0.459	0.320	0.443	0.320	0.450	0.330	0.416	0.300	0.466	0.336	0.365	0.263	0.400	0.285	0.384	0.277	0.371	0.270
Tgrt	0.245	0.056	0.227	0.163	0.234	0.170	0.243	0.175	0.240	0.173	0.243	0.175	0.221	0.160	0.246	0.177	0.224	0.162
Tlm	0.322	0.210	0.292	0.210	0.327	0.236	0.323	0.233	0.290	0.207	0.318	0.230	0.317	0.228	0.315	0.227	0.316	0.230
Trt	0.292	0.222	0.317	0.229	0.300	0.215	0.312	0.225	0.315	0.227	0.300	0.215	0.315	0.227	0.284	0.205	0.308	0.222

Wilayas	Wt		WD		WL		T6		L6		Moy nnes	
	IP	IS	IP	IS								
Bskr	0.261	0.190	0.253	0.183	0.263	0.200	0.255	0.184	0.234	0.170	0.250	0.180
Btn	0.280	0.201	0.266	0.192	0.253	0.190	0.252	0.182	0.260	0.190	0.256	0.185
EOD	0.366	0.264	0.372	0.270	0.372	0.270	0.365	0.263	0.350	0.252	0.353	0.254
Lght	0.314	0.226	0.343	0.247	0.306	0.220	0.335	0.241	0.300	0.216	0.313	0.225
Msl	0.245	0.177	0.244	0.176	0.222	0.160	0.210	0.151	0.241	0.174	0.227	0.164
Orgl	0.322	0.232	0.304	0.219	0.280	0.201	0.268	0.193	0.277	0.200	0.300	0.210
Orn	0.300	0.215	0.304	0.219	0.300	0.210	0.305	0.220	0.300	0.215	0.300	0.211
SBA	0.264	0.190	0.266	0.200	0.261	0.190	0.250	0.180	0.261	0.190	0.260	0.184
TBS	0.430	0.310	0.470	0.338	0.460	0.330	0.400	0.290	0.430	0.308	0.424	0.305
Tgrt	0.216	0.155	0.235	0.170	0.224	0.161	0.231	0.170	0.221	0.160	0.221	0.151
Tlm	0.321	0.231	0.321	0.231	0.303	0.220	0.302	0.217	0.320	0.231	0.313	0.224
Trt	0.316	0.230	0.316	0.230	0.313	0.226	0.315	0.230	0.310	0.224	0.308	0.223

II. Résultat des analyses pour la morphométrie géométrique :

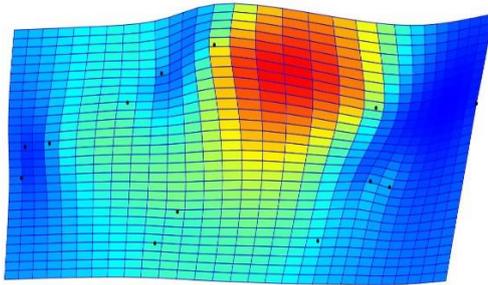
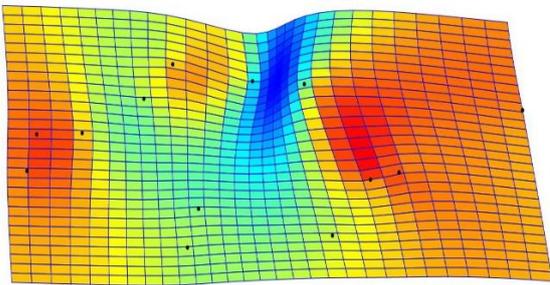
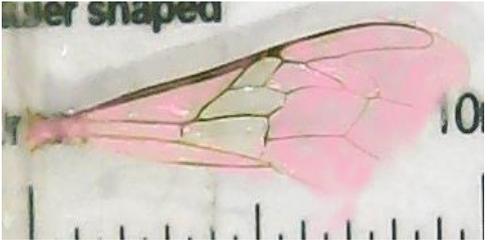
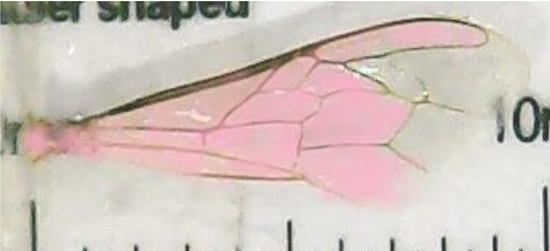
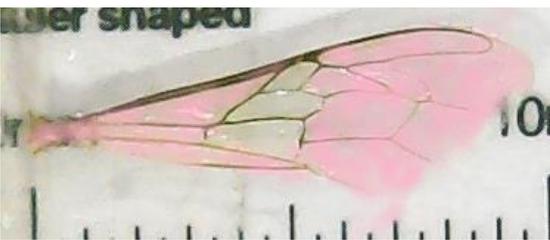
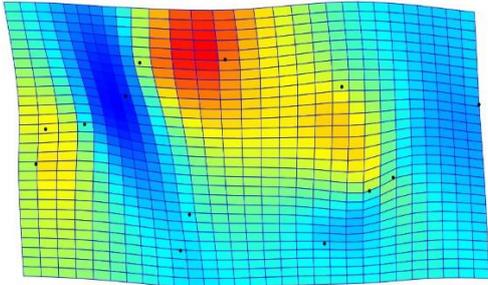
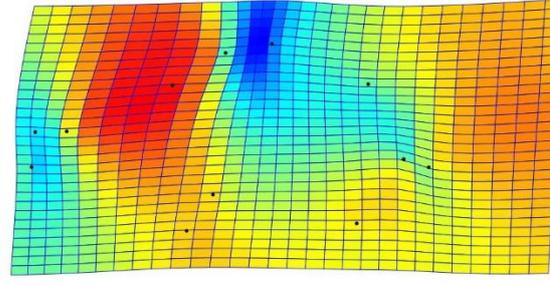
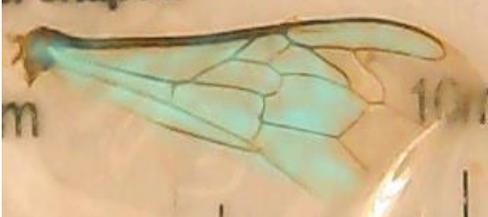
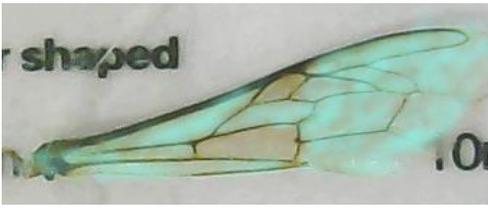
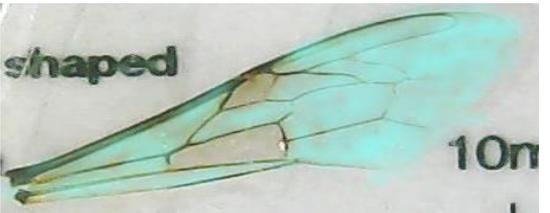
II.1. Tendance globale de la forme :

II.1.1. Analyse en composantes principale (ACP) :

Le tableau de conditionnement, présenté dans le (**Tableau 25**), offre une opportunité de détecter les déformations qui se produisent au fur et à mesure des variations des valeurs d'inertie dans le cadre de l'ACP Géométrique (Analyse en Composantes Principales).

Il est intéressant de noter que la première composante principale de l'analyse en composantes principales (ACP), PC1, est principalement responsable des contractions et des décontractions des parties terminales des nervures des ailes des abeilles, ainsi que de la partie centrale plus exactement de la cellule submarginale C3, la cellule médiane M1 et la cellule sub-médiane SM2. En revanche, la deuxième composante principale de l'ACP, PC2, est principalement associée aux parties terminales des nervures, aux pterostigmat, à la veine radiale et à la veine basale supérieure, qui déterminent les tendances de concavité ou de convexité des ailes.

Tableau 25. Analyse des variations de conditionnement et de déformation à travers les axes d'ACP.

	Variance a (-0.1) unité de déformation	Variance a (0.1) unité de déformation
PC1 (Géométrique)		
Anatomie Equivalente	 	 
PC2 (Géométrique)		
Anatomie Equivalente	 	 

II.1.2. L'analyse discriminante linéaire (LDA) :

Afin de différencier les populations étudiées, une analyse discriminante est appliquée (**Figure 54**).

En utilisant la LDA, le modèle statistique démontre une inertie de 80,85 % pour le premier axe et de 7,05 % pour le deuxième axe, totalisant ainsi 87,9 % d'inertie. De plus, grâce à ce test statistique, trois groupes distincts ont été détectés. Le groupe 1 est principalement dominé par les populations de Tébessa, Tiaret, Touggourt, El Oued, Ouargla et Laghouat. Le groupe 2, quant à lui, comprend des spécimens de Tlemcen, Oran, Sidi Bel Abbés et Biskra. Enfin, le troisième groupe est composé exclusivement des spécimens de Batna et Msila.

Cette analyse discriminante permet donc de mettre en évidence les différences significatives entre les populations étudiées, en les regroupant de manière distincte selon leurs caractéristiques. Elle offre ainsi une meilleure compréhension de la variabilité et de la structure des données observées.

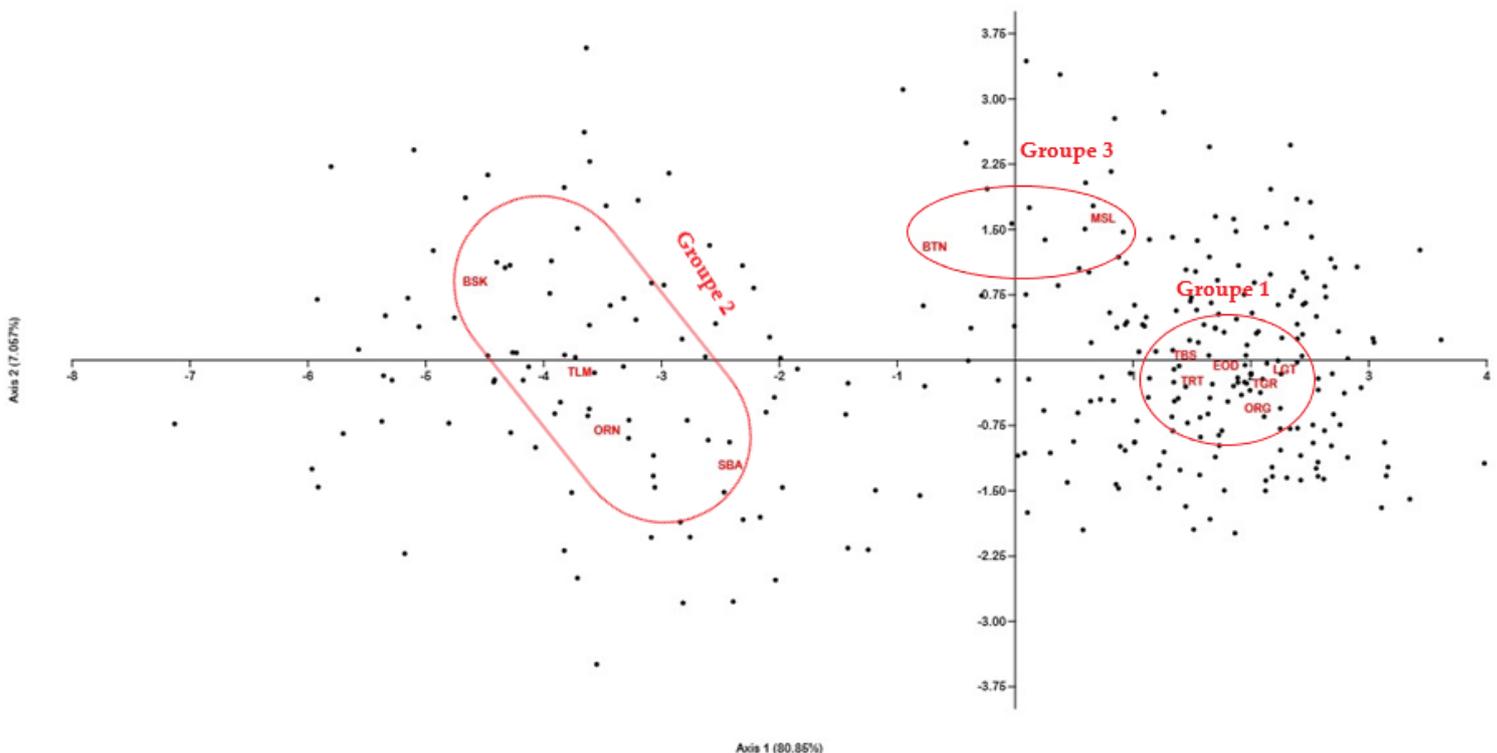


Figure 54. Classification des groupes d'abeilles selon l'analyse discriminantes linéaire.

Le modèle de l'analyse de discriminante a été complété par un tableau de classification (**Tableau 26**), basé sur les zones d'études.

Tableau 26. Classification des zones par rapport à l'analyse discriminantes.

	TLM	ORN	SBA	BSK	BTN	MSL	EOD	LGT	TGR	ORL	TBS	TRT	Total
Tlemcen	15	5	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	26
Oran	6	12	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	24
Sidi Bel Abbés	2	1	13	2	1	0	0	0	0	0	0	1	20
Biskra	0	0	2	18	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Batna	2	1	0	1	8	3	3	0	0	1	2	0	21
Msila	0	0	0	0	2	14	1	0	0	0	1	0	18
El Oued	0	0	0	0	0	0	20	2	2	3	5	1	33
Laghouat	0	0	0	0	0	1	4	10	5	3	1	4	28
Touggourt	0	0	0	0	0	1	2	3	9	1	3	1	20
Ouargla	0	0	0	0	0	1	1	5	3	14	2	0	26
Tébessa	0	0	0	0	1	5	7	3	4	2	17	5	44
Tiaret	0	0	0	0	0	1	5	3	1	1	2	12	25
Total	25	19	21	27	12	26	43	26	24	25	33	24	305

Le modèle a réussi à caractériser correctement 53,11% de l'ensemble de la population étudiée (**Tableau 27**), avec des taux de précision élevés observés dans certaines régions. Biskra se distingue avec un taux de précision de 90%, suivi de près par Msila avec un taux de précision de 77,77%. Sidi Bel Abbés affiche également un taux de précision de 65%, tandis qu'El Oued atteint 60,6% de précision. En revanche, les régions présentant une fiabilité moindre en termes de caractéristiques géo morphométriques sont Laghouat, avec un taux de précision de 35,71%, Batna avec un taux de précision de 38,09%, et Tébessa avec un taux de précision de 39,63%.

Tableau 27. Taux de précision validé par l'analyse discriminante de linéaire.

Régions	Effectif	Effectif validé	Taux de précision	Pourcentage de taux de précision
Tlemcen	26	15	0.57	57.69%
Oran	24	12	0.5	50%
Sidi Bel Abbés	20	13	0.65	65%
Biskra	20	18	0.9	90%
Batna	21	8	0.38	38.09%
Msila	18	14	0.77	77.77%
El Oued	33	20	0.60	60.6%
Laghouat	28	10	0.35	35.71%
Touggourt	20	9	0.45	45%
Ouargla	26	14	0.54	54.84%
Tébessa	44	17	0.39	39.63%
Tiaret	25	12	0.48	48%
Total	305	162	0.53	53.11%

II.1.3. Carte thermique de la distribution :

Le modèle statistique a réussi à discriminer trois ensembles distincts (**Figure 55**). Le premier ensemble est constitué des villes d'Oran, Tlemcen, Biskra et Sidi Bel Abbas. Le deuxième ensemble regroupe les wilayas de Msila, El Oued, Laghouat et Ouargla. Enfin, les régions de Tébéssa, Tiaret, Touggourt et Batna sont regroupées dans le troisième et dernier ensemble.

De plus, le modèle statistique a également distingué quatre points sur l'axe des X (X9, X10, X11, X12, X13) et leur position sur l'axe Y (Y9, Y10, Y11, Y12, Y13). Ces points définissent les diamètres des deux papilles alaires situées dans la zone terminale des ailes des abeilles.

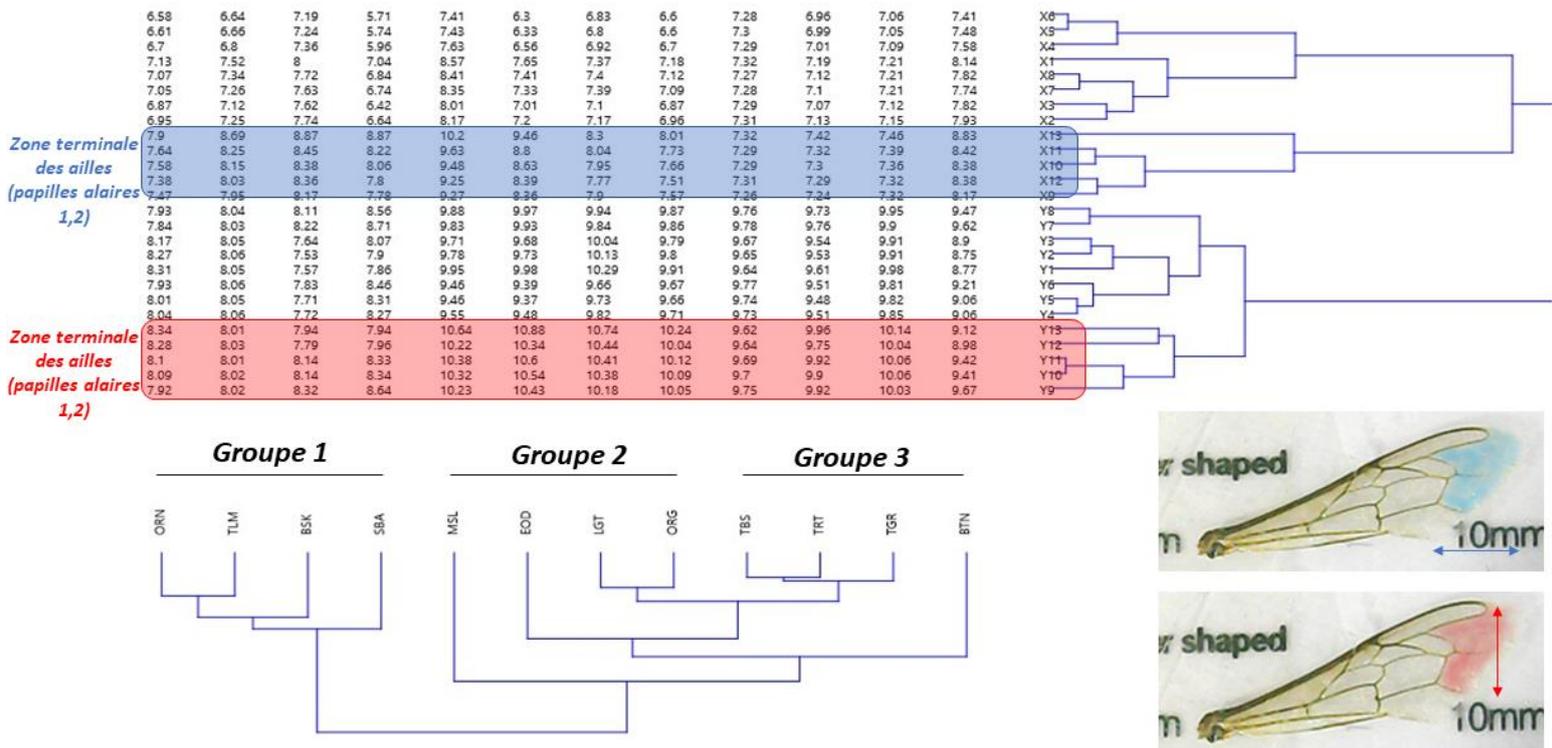


Figure 55. Carte thermique de la distribution des précisions de classification géo morphométrique par région.

II.1.4. Partitionnement des données par Kmean :

Nous avons commencé par déterminer le nombre de clusters avec les algorithmes de gap statistics, Elbow et silhouette blot (Figure 56).

Gap statistics et Elbow ont proposer trois clusters sauf silhouette blot qui en a proposer 2.

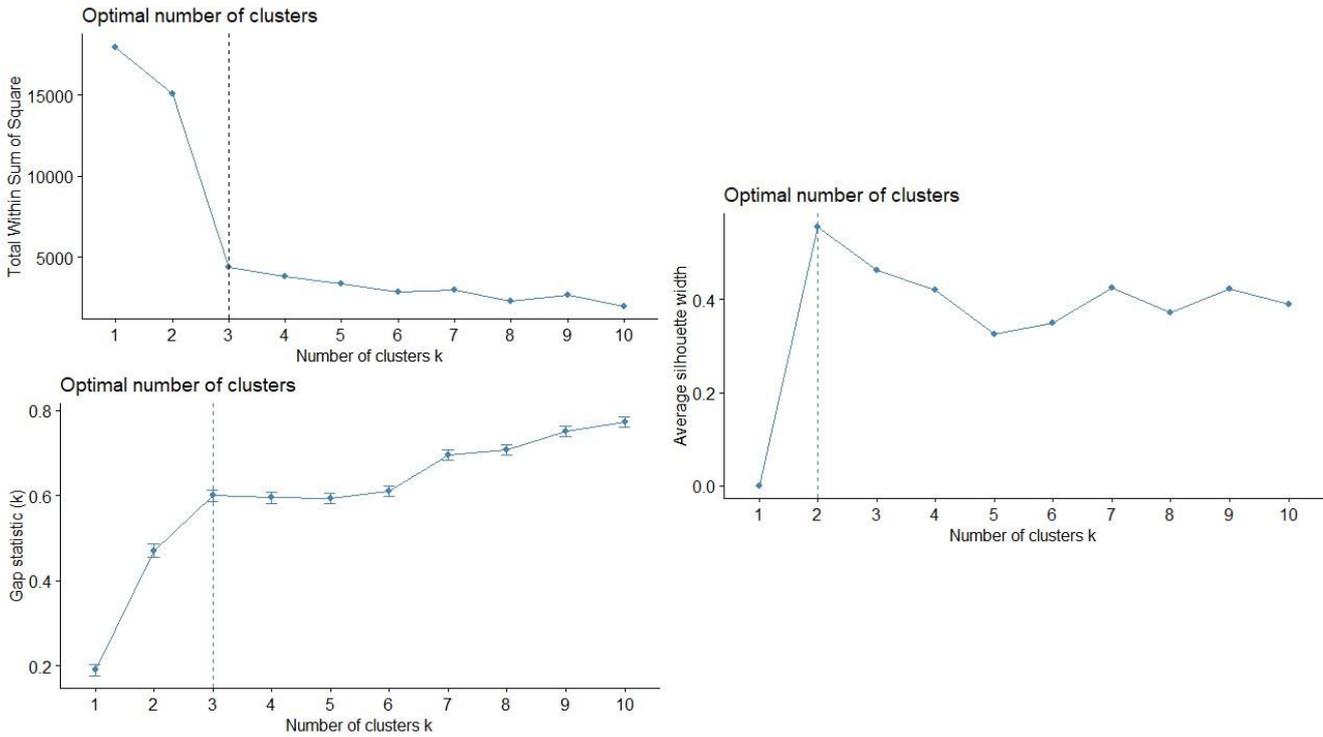


Figure 56. Graphes des algorithmes pour la détermination des clusters

En ce qui concerne la K-mean on a obtenue 3 clusters (**Figure 57**), avec un chevauchement ce qui rend l'interprétation compliqué. Donc on ne peut pas déterminer exactement les stations étudiées qui constituent chaque cluster.

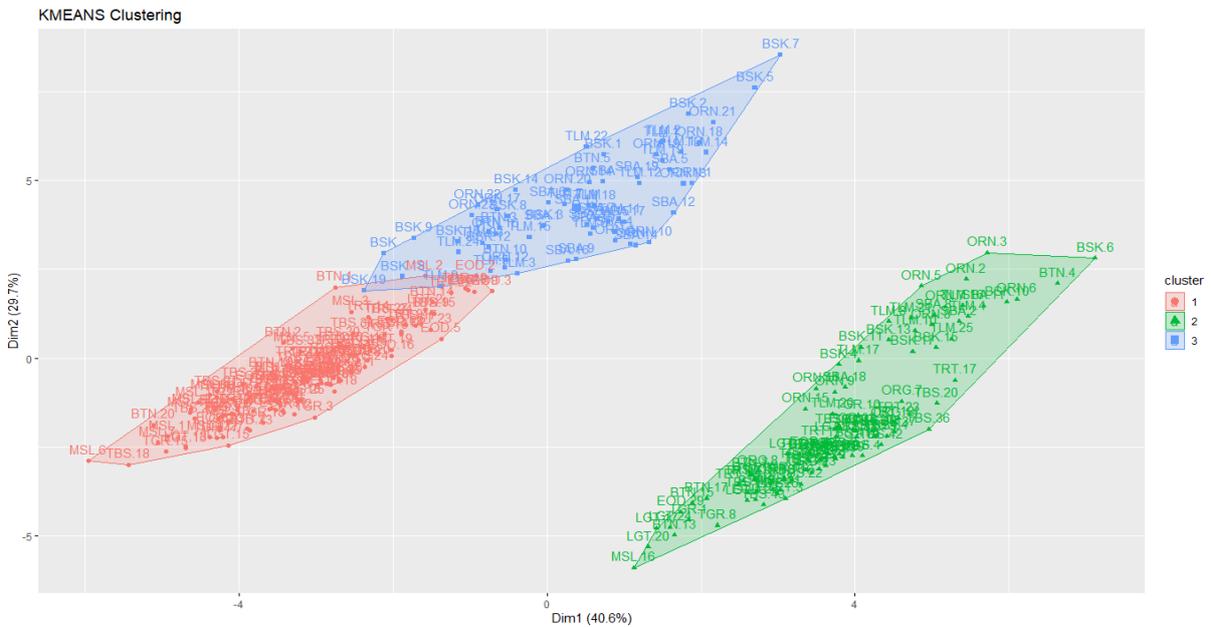


Figure 57. Dispersion des stations en trois groupes selon la k-mean.

Pour avoir une meilleure vue sur les résultats obtenues nous sommes passés par un autre modèle statistique qui est présenté dans ce graphique d'histogrammes (**Figure 58**)

La k-mean a proposé trois clusters différents. Le premier cluster est représenté par 28 profils d'El Oued et 22 profils de Tébessa.

Cluster two domine par 22 profils (ID= 265, 267, 269, 272, 274, 279, 282, 283, 285, 286, 287, 295, 297, 298, 299, 300, 301, 303, 304, 305) de Tébessa différents de ceux présents dans le premier groupe avec un mélange de bruit qu'on n'a pas pris en considération.

Cluster three est un cluster équilibré entre Biskra, Sidi Bel Abbés, Oran et Msila.

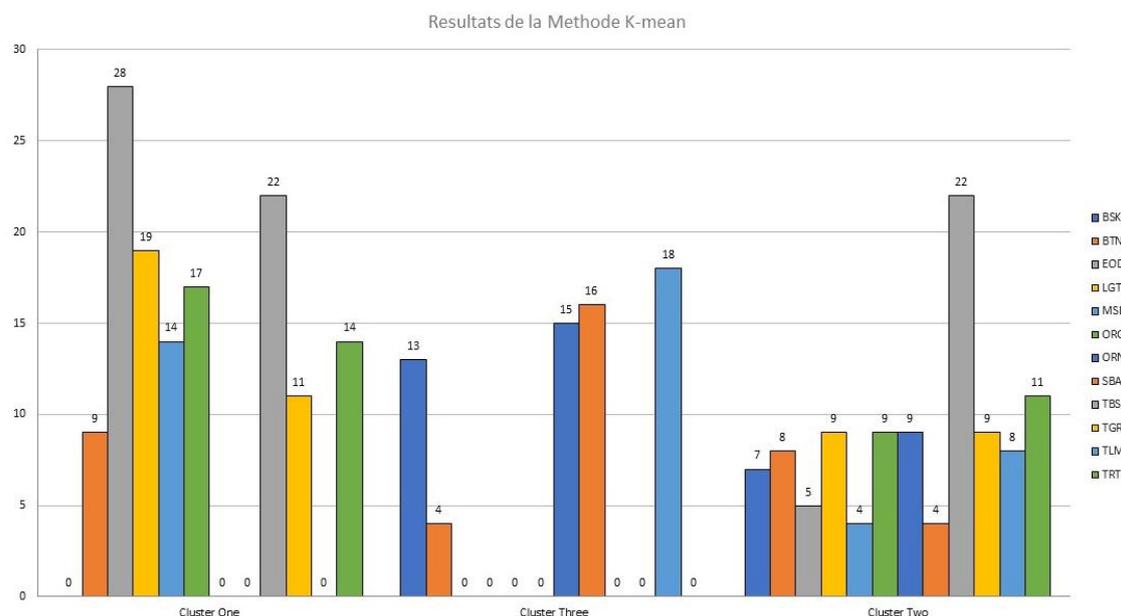


Figure 58. Résultats de la K-mean représentés en histogrammes.

Nous vous proposons une simulation selon $K=6$ (6 clusters) qu'on considère en tant que structure témoin (**Figure 59**).

La méthode a proposé énormément de bruit donc on ne peut pas considérer que cette structure a un impact significatif sur l'interprétation des données. On peut remarquer plusieurs mismatches.

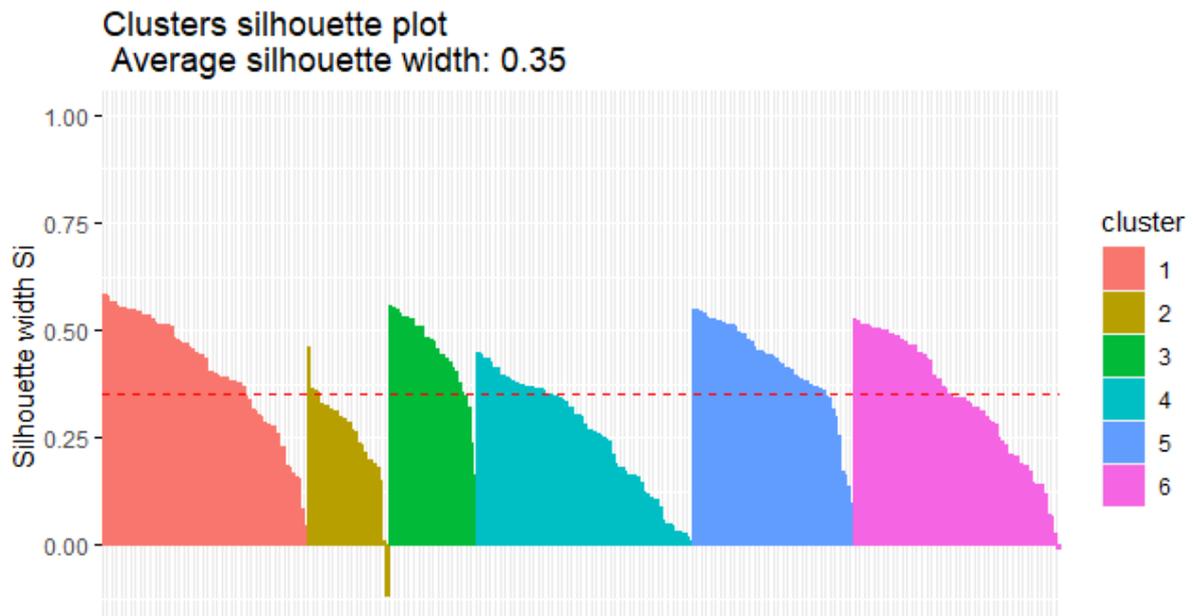


Figure 59. Structure témoin avec six Clusters.

Après réduction du nombre de cluster a 3 ($K=3$) (**Figure 60**), on peut observer 52% des datas sont classer d'une façon robuste. On obtient une structure très solide et bien compresser qui démontre très peu voire pas du tout de mis matches qui sont considérer comme bruit.

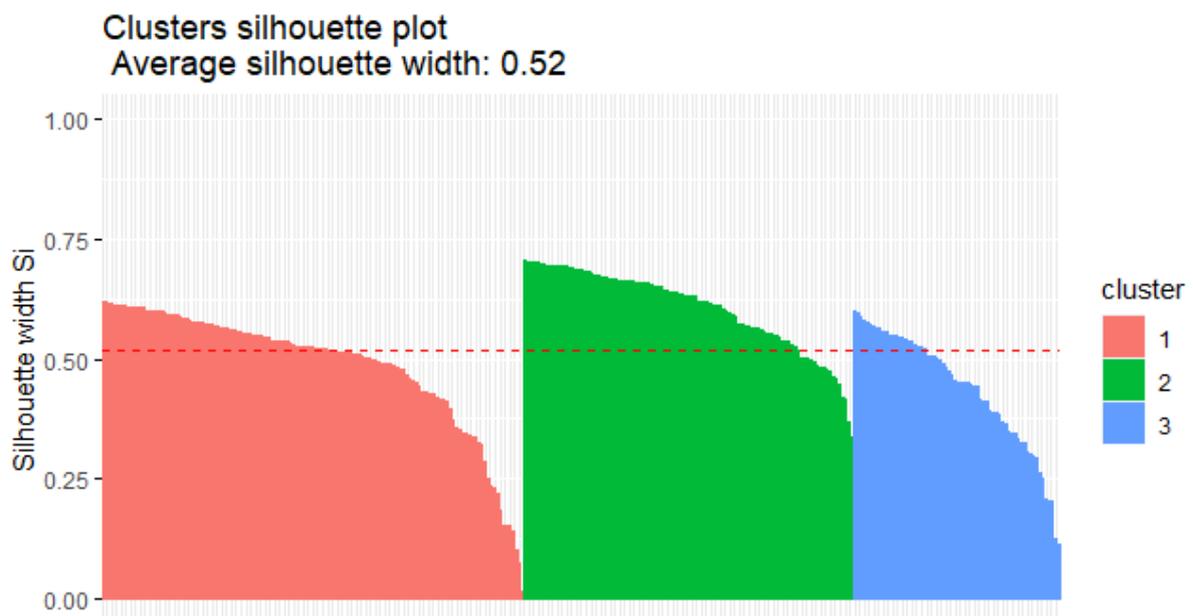


Figure 60. Structure de la silhouette de la K-mean avec 3 groupes.

Discussion

III. Discussion :

Des variations significatives ont été observées au sein des populations d'*Apis Mellifera Intermissa* collectées en Algérie. Dans une première étape, on adopte une approche morphologique basée sur l'analyse de la morphométrie classique selon (Ruttner, 1988). Les valeurs enregistrées mettent en évidence ces différences au sein des colonies isolées étudiées de l'*Apis Mellifera* algérienne. Ces légères variations peuvent partiellement être attribuées aux différentes méthodes de travail utilisées. La variabilité au sein de chaque groupe régional étudié est suffisamment importante pour rendre difficile la distinction entre les colonies appartenant à l'un ou l'autre de ces groupes. Ces variations pourraient être en accord avec l'adaptation au climat et à la flore locale. Cependant, elles restent de faible amplitude, bien que significatives au niveau des moyennes, ce qui nous permet la détection des colonies appartenant à ces différents écotypes.

Nos résultats ont montré une longueur de 5.30mm au niveau de la taille du proboscis comparé à celle mesurée en 2020 par (Ghanem et al.) qui est de 4.47mm de la même espèce.

De plus, les travaux de (Assielou et al., 2019) montrent une taille de 4.88mm de la même espèce en Côte d'Ivoire.

On remarque que la taille moyenne des pattes postérieures complètes (7,837 mm) est supérieure à celle déduite par (Assielou et al., 2019) en Côte d'Ivoire, qui mesurait 7,38 mm, ainsi qu'à celle notée par (Ruttner, 1988) en Afrique, qui était de 7,49mm.

Les mesures moyennes de la largeur des tergites 3 et 4 sont respectivement de $2,21 \pm 0,1429$ et de $2,15 \pm 0,1329$. De plus, la valeur moyenne de ce même paramètre était de $1,61 \pm 0,4$ mm dans la région du nord-ouest en 2020, ce qui est inférieur à la valeur notée par Ruttner (1988) en Europe pour la même espèce, qui était de 3,8 mm.

La longueur moyenne des tergites 3 (LT3) et 4 (LT4) est de 9,01 mm et de 8,45 mm respectivement, avec un écart-type de 0,5081 et 0,5141mm. Ces valeurs sont légèrement inférieures à celles enregistrées par (Chahbar.N, 2013) chez les abeilles du sud de l'Algérie.

En ce qui concerne le diamètre du sternite 3, la valeur moyenne est de 2,03 mm pour le WT, 0,31 mm pour le WD et 1,40 mm pour le WL. Ces valeurs moyennes du 3ème sternite abdominal sont légèrement inférieures à celles notées par (Chahbar.N, 2013) sur les populations algériennes, mais supérieures à celles enregistrées par (Ruttner, 1988).

Les valeurs moyennes de la longueur (L6) et de la largeur (T6) du 6ème sternite sont respectivement de $2,57 \pm 0,28$ mm et de $3,22 \pm 0,19$ mm. Quant à celles mesurées par (Chahbar N, 2013), elles sont légèrement supérieures 3mm pour L6 et 3.48mm pour la T6.

Dans le cadre de la comparaison des ruches des 12 régions en fonction des 14 paramètres morphologiques étudiés, une analyse de variance à un facteur de classification modèle fixe (ANOVA) a été réalisée. Ce test a révélé des différences hautement significatives ($\alpha=0.0001$) pour les moyennes de toutes les variables biométriques, à l'exception de la distance entre les miroirs de cire (WD). Suite à cela, des tests de corrélation de Pearson ont été effectués, mettant en évidence des corrélations fortement positives, des corrélations intermédiaires, des corrélations faibles et très faibles. Il est également important de souligner que des corrélations non significatives ont été enregistrées, ce qui signifie que ces modèles ne peuvent pas être interprétés statistiquement. Ces résultats mettent en évidence les relations complexes entre les différentes dimensions morphologiques des abeilles, en mettant en évidence l'influence des compartiments de l'abdomen et des pattes sur la quantité de production des abeilles. Les pattes servent à récolter le nectar et le pollen, tandis que l'abdomen, en particulier certains sternites, sont impliqués dans le stockage, la transformation et la sécrétion de ces substances. Par exemple, le pollen est stocké temporairement dans certains sternites, comme on peut aussi noter un deuxième rôle attribué à ces derniers qui est la sécrétion de la cire.

Par ailleurs, l'analyse en Composante Principale (ACP) a permis de dégager 70,88% d'information ou d'inertie à travers les six premières dimensions (PC1 à PC6). La composante PC1 représente 36,43% de cette information, tandis que PC2 représente 8,194%. Ces six composantes reflètent au mieux l'information apportée par les 14 variables biométriques initiales.

Nous avons également réalisé une analyse hiérarchique qui a permis de générer un dendrogramme de type "UPGMA" en utilisant un algorithme de calcul avec plus de 1000 unités de Bootstrap. Ce dendrogramme est basé sur des distances euclidiennes et calcule les distances entre les centroïdes de chaque groupe ("cluster") et les points du nuage ("squatter"). À partir de cette analyse, quatre groupes homogènes ont été identifiés, avec une distance unitaire de 15.

Ces résultats révèlent des similarités et des différences entre les groupes de spécimens des différentes régions étudiées, en mettant en évidence des regroupements basés sur des critères de performance et des facteurs géographiques et écologiques. Cette information peut être précieuse pour comprendre la diversité et la distribution des abeilles dans les différentes régions

et peut avoir des implications pour la gestion et la conservation de ces populations.

En outre, l'analyse morpho-géométrique des configurations alaires peut servir de méthode fiable pour différencier les sous-espèces d'abeilles. Elle présente également des avantages par rapport à la morphométrie classique. Dans leur étude, (Kandemir et al., 2011) ont souligné que l'analyse morpho-géométrique des motifs de la nervation des ailes antérieures, peut être un outil utile pour étudier la biodiversité des abeilles mellifères.

Par ailleurs, les travaux de Rattanawanee et al., 2012, ont également suggéré que l'analyse morpho-géométrique des ailes peut être utilisée comme une première étape d'analyse, en réservant l'analyse moléculaire pour les cas douteux.

L'utilisation des mesures de taille (size) et de conformation (shape) dans notre étude est justifiée. L'intérêt d'utiliser des données indépendantes de la taille du corps pour caractériser les différentes races biogéographiques d'*Apis mellifera* a été souligné par (Ruttner et al., 1978) et (Barour Choukri, 2012).

Pour conforter notre étude, nous avons procédé à plusieurs types d'analyses unies et multi variées. Les tests et les méthodes statistiques utilisées sont essentiellement : les composantes principales ACP, l'analyse discriminante, une Heat-map. Et la K-means.

L'analyse en composantes principales permet de comprendre les variations géométriques des ailes des abeilles et met en évidence les régions clés de l'aile qui influencent ces variations. Ces informations peuvent être utiles pour étudier la fonctionnalité des ailes, l'adaptation des abeilles à leur environnement et les différences entre les espèces ou les populations d'abeilles.

L'analyse discriminante appliquée dans le but de différencier les populations étudiées a donné des résultats significatifs. Le modèle statistique utilisant la LDA a démontré une inertie de 80,85 % pour le premier axe et de 7,05 % pour le deuxième axe, ce qui représente au total 87,9 % d'inertie. Grâce à cette analyse, trois groupes distincts ont été identifiés.

Cette analyse discriminante, permet donc de mettre en évidence les différences significatives entre les populations étudiées en les regroupant de manière distincte selon leurs caractéristiques morphométriques. Elle offre ainsi une meilleure compréhension de la variabilité et de la structure des données observées.

Ces résultats soulignent l'existence de variations significatives entre les populations étudiées, avec une capacité de classification relativement élevée pour certaines régions, mais des performances moins précises pour d'autres. Ces observations peuvent avoir des implications

importantes pour la compréhension de la diversité des abeilles mellifères dans les différentes régions et pour la mise en place de stratégies de gestion et de conservation adaptées à chaque population.

Le modèle statistique, la Heat-map a réussi à discriminer trois ensembles distincts parmi les régions étudiées. Les villes d'Oran, Tlemcen, Biskra et Sidi Bel Abbés forment le premier ensemble, les wilayas de Msila, El Oued, Laghouat et Ouargla constituent le deuxième ensemble, tandis que Tébessa, Tiaret, Touggourt et Batna sont regroupées dans le troisième ensemble. De plus, le modèle a identifié des points spécifiques représentant les diamètres des papilles alaires sur les ailes des abeilles. Ces résultats indiquent des différences significatives entre les ensembles et suggèrent que les dimensions des papilles alaires peuvent servir de marqueurs pour différencier et étudier les sous-espèces d'abeilles. Des études complémentaires, telles que des analyses moléculaires, sont nécessaires pour confirmer ces résultats.

En outre nous avons réalisé une analyse de K-mean qui a démontré la présence de trois groupes différents, premier représenté essentiellement par El oued et Tébessa. Le deuxième domine par Tébessa et le troisième est considéré comme groupes équilibrés, si on observe bien on peut noter qu'il y a une répartition géographique par rapport à ces stations. On peut remarquer une répartition longitudinale dans le premier cluster entre Ouargla, Sidi Bel Abbés, Tiaret, Touggourt, Msila, Laghouat et Batna. Et une distribution latitudinale par rapport au troisième cluster avec les stations suivantes Biskra, Sidi Bel Abbés, Tlemcen et Oran.

Les résultats de l'analyse morpho-géométrique mettent en évidence la capacité de différenciation des populations régionales d'abeilles, basée sur les conformations alaires de leurs abeilles ouvrières. Ces résultats soulignent une caractéristique qui n'a pas été mentionnée dans l'étude antérieure menée par (Barour Choukri, 2012). Ainsi, les caractéristiques de la nervation alaire offrent un potentiel intéressant pour discriminer et étudier la diversité des populations d'abeilles régionales (Masaquiza et al., 2023).

Conclusion générale

Conclusion générale :

Cette étude vise à identifier l'abeille domestique tellienne présente dans le nord de l'Algérie, connue scientifiquement sous le nom d'*Apis Mellifera Intermissa*. Pour ce faire, nous avons débuté sur le terrain en collectant des échantillons, soit environ 305 abeilles, provenant de 12 wilayas différentes du nord algérien. Dans un premier temps, nous avons utilisé une approche de morphométrie classique en mesurant 14 paramètres anatomiques des abeilles. Ensuite, nous avons adopté une approche géométrique ciblant principalement les ailes des abeilles. De plus, nous avons réalisé des tests spécifiques à l'aide de logiciels appropriés pour étudier les variations de tailles et de formes de ces critères. Nos résultats ont montré des différences significatives pour presque tous les paramètres, des différences hautement significatives pour la longueur du proboscis, la taille de la patte postérieure droite, les diamètres des tergites 3 et 4, les diamètres des sternites 3 et 6 et pour certains compartiments de l'aile droite, et non significatives pour le paramètre de la distance entre les miroirs de cire. Ces variations peuvent être dues à l'âge des abeilles, aux facteurs climatiques et environnementaux, à la variation de la flore mellifère, à une hétérogamie induite par l'apiculteur lui-même, à la tolérance d'autres abeilles étrangères ayant accès à des ruches différentes, ainsi qu'à une hétérogénéité génétique.

Perspectives :

Étant donné l'importance du rôle de l'*Apis mellifera intermissa*, les résultats de cette étude contribueront à l'élargissement de la base de données sur une population d'abeilles domestiques plus vaste. Ce travail modeste devrait être poursuivi dans le but d'approfondir notre connaissance sur les ressources apicoles des régions de l'ouest et du sud. Ainsi qu'on devrait s'approfondir sur l'influence de l'environnement avec un test de Régression linéaire multiple, à travers des changements des compartiments anatomiques qu'on corrèle avec des facteurs environnementaux pour comprendre les effets de ces derniers (longitude, latitude, et l'altitude) sur nos insectes.

Il est essentiel d'étendre les recherches sur le cheptel apicole dans le domaine de la génétique, ce qui permettra d'établir des plans appropriés pour la gestion et l'amélioration de la production apicole nationale, tant en termes de qualité que de quantité. De plus, il est crucial de préserver les souches d'abeilles locales et de conserver les sous-espèces d'abeilles algériennes (*Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis*) dans leur habitat naturel.

Références Bibliographiques

- A. De Souza, D., Wang, Y., Kaftanoglu, O., De Jong, D., V. Amdam, G., S. Gonçalves, L., & M. Francoy, T. (2015). Morphometric Identification of Queens, Workers and Intermediates in In Vitro Reared Honey Bees (*Apis mellifera*). *PLOS ONE*, *10*(4), e0123663.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123663>
- Adam. (2010). *Ma méthode d'apiculture : Avec 35 photographies* (4e éd). le Courrier du livre.
- Aglagane, A., Tofilski, A., Er-Rguibi, O., Laghzaoui, E.-M., Kimdil, L., El Mouden, E. H., Fuchs, S., Oleksa, A., Aamiri, A., & Aourir, M. (2022). Geographical Variation of Honey Bee (*Apis mellifera* L. 1758) Populations in South-Eastern Morocco: A Geometric Morphometric Analysis. *Insects*, *13*(3), 288. <https://doi.org/10.3390/insects13030288>
- Ahmad, S., Campos, M. G., Fratini, F., Altaye, S. Z., & Li, J. (2020). New Insights into the Biological and Pharmaceutical Properties of Royal Jelly. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(2), 382. <https://doi.org/10.3390/ijms21020382>
- Alburaki, M., Bertrand, B., Legout, H., Moulin, S., Alburaki, A., Sheppard, W., & Garnery, L. (2013). A fifth major genetic group among honeybees revealed in Syria. *BMC Genetics*, *14*(1), 117.
<https://doi.org/10.1186/1471-2156-14-117>
- Anjum, S. I., Ullah, A., Khan, K. A., Attaullah, M., Khan, H., Ali, H., Bashir, M. A., Tahir, M., Ansari, M. J., Ghramh, H. A., Adgaba, N., & Dash, C. K. (2019). Composition and functional properties of propolis (bee glue) : A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *26*(7), 1695-1703.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.08.013>
- Assielou, B. A., Wandan, E. N., Abo, K., & Marcel, I. B. (2019). Caractérisation Morphométrique des Abeilles Mellifères Elevées dans le Centre de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal ESJ*, *15*(6). <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n6p155>
- Baracchi, D., Francese, S., & Turillazzi, S. (2011). Beyond the antipredatory defence : Honey bee venom function as a component of social immunity. *Toxicon*, *58*(6-7), 550-557.
<https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2011.08.017>

- Bargańska, Ž., Ślebioda, M., & Namieśnik, J. (2016). Honey bees and their products : Bioindicators of environmental contamination. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 46(3), 235-248. <https://doi.org/10.1080/10643389.2015.1078220>
- Barour, C., Tahar, A., & Baylac, M. (2011). Forewing Shape Variation in Algerian Honey Bee Populations of *Apis mellifera intermissa* (Buttel-Reepen, 1906) (Hymenoptera : Apidae): A Landmark-Based Geometric Morphometrics Analysis. *African Entomology*, 19(1), 11-22. <https://doi.org/10.4001/003.019.0101>
- Barour Choukri. (2012). *Analyse de la Biodiversité des Populations d'Abeilles Mellifères Apis mellifera intermissa (Buttel-Reepen, 1906) (Hymenoptera : Apidae) dans le Nord Algérien : Morphométrie Moderne Basée sur la Configuration des Points Repères (Landmarks)*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4750.8003>
- 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. <https://doi.org/10.12816/0027832>
- Berezin, A., & Mitrofanov, D. (2022). Measurement of the Exterior of Bees : Comparison of Methods. *The 2nd International Electronic Conference on Diversity (IECD 2022) – New Insights into the Biodiversity of Plants, Animals and Microbes*, 27. <https://doi.org/10.3390/IECD2022-12373>
- Beye, M., Hasselmann, M., Fondrk, M. K., Page, R. E., & Omholt, S. W. (2003). The Gene *csd* Is the Primary Signal for Sexual Development in the Honeybee and Encodes an SR-Type Protein. *Cell*, 114(4), 419-429. [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(03\)00606-8](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(03)00606-8)
- Biri, M. (1999). *Le grand livre des abeilles : L'apiculture moderne* ([Nouv. éd. mise à jour]). De Vecchi.
- Birks, H. J. B., Felde, V. A., Bjune, A. E., Grytnes, J.-A., Seppä, H., & Giesecke, T. (2016). Does pollen- assemblage richness reflect floristic richness? A review of recent developments and future

- challenges. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 228, 1-25.
<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2015.12.011>
- Bommarco, R., Marini, L., & Vaissière, B. E. (2012). Insect pollination enhances seed yield, quality, and market value in oilseed rape. *Oecologia*, 169(4), 1025-1032.
<https://doi.org/10.1007/s00442-012-2271-6>
- Bookstein, F. L. (1991). *Morphometric tools for landmark data : Geometry and biology*. Cambridge University Press.
- Bradbear, N. (2011). *Rôle des abeilles dans le développement rural : Manuel sur la récolte, la transformation et la commercialisation des produits et services dérivés des abeilles*. FAO.
- Breeze, T. D., Bailey, A. P., Balcombe, K. G., & Potts, S. G. (2011). Pollination services in the UK : How important are honeybees? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 142(3-4), 137-143.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.020>
- Burdock, G. A. (1998). Review of the biological properties and toxicity of bee propolis (propolis). *Food and Chemical Toxicology*, 36(4), 347-363. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(97\)00145-2](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(97)00145-2)
- Chan, Q. W. T., Howes, C. G., & Foster, L. J. (2006). Quantitative Comparison of Caste Differences in Honeybee Hemolymph. *Molecular & Cellular Proteomics*, 5(12), 2252-2262.
<https://doi.org/10.1074/mcp.M600197-MCP200>
- Chang, Z. Q., Leong, W., & Chua, L. S. (2021). Statistical approach to reveal propolis as a potential biopreservative for fruit juices. *Future Foods*, 4, 100051.
<https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100051>
- Chauzat, M.-P., Cauquil, L., Roy, L., Franco, S., Hendriks, P., & Ribière-Chabert, M. (2013). Demographics of the European Apicultural Industry. *PLoS ONE*, 8(11), e79018.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079018>
- Clément, H. (2011). *Les bons gestes de l'apiculteur*. Rustica éd.
- Clément, H. (2018). *Le traité « Rustica » de l'apiculture*. « Rustica » éditions.

- Cook, J. M., & Crozier, R. H. (1995). Sex determination and population biology in the hymenoptera. *Trends in Ecology & Evolution*, *10*(7), 281-286. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(95\)90011-X](https://doi.org/10.1016/0169-5347(95)90011-X)
- Couvillon, M. J., & Ratnieks, F. L. W. (2015). Environmental consultancy : Dancing bee bioindicators to evaluate landscape "health". *Frontiers in Ecology and Evolution*, *3*.
<https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00044>
- Crozier, R. H., & Pamilo, P. (1996). *Evolution of social insect colonies : Sex allocation and kin selection*. Oxford University Press.
- Damodaran, T. (2021). Propolis. In *Nutraceuticals* (p. 795-812). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821038-3.00046-X>
- Danforth, B. N., Cardinal, S., Praz, C., Almeida, E. A. B., & Michez, D. (2013). The Impact of Molecular Data on Our Understanding of Bee Phylogeny and Evolution. *Annual Review of Entomology*, *58*(1), 57-78. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153633>
- de Oliveira, R. C., Queiroz, S. C. do N., da Luz, C. F. P., Porto, R. S., & Rath, S. (2016). Bee pollen as a bioindicator of environmental pesticide contamination. *Chemosphere*, *163*, 525-534.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.022>
- Dietemann, V. (Éd.). (2013). *Standard methods for Apis mellifera research*. Internat. Bee Research Assoc.
- Düttmann, C., Flores, B., Sheleby-Elías, J., Castillo, G., Rodriguez, D., Maggi, M., & Demedio, J. (2022). Africanized honeybee population (*Apis mellifera* L.) in Nicaragua : Forewing length and mitotype lineages. *PLOS ONE*, *17*(4), e0267600.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267600>
- Edo, C., Fernández-Alba, A. R., Vejsnæs, F., van der Steen, J. J. M., Fernández-Piñas, F., & Rosal, R. (2021). Honeybees as active samplers for microplastics. *Science of The Total Environment*, *767*, 144481. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144481>

- Eimanifar, A., Brooks, S. A., Bustamante, T., & Ellis, J. D. (2018). Population genomics and morphometric assignment of western honey bees (*Apis mellifera* L.) in the Republic of South Africa. *BMC Genomics*, *19*(1), 615. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-4998-x>
- Fleming, T. H., & Muchhala, N. (2008). Nectar-feeding bird and bat niches in two worlds : Pantropical comparisons of vertebrate pollination systems. *Journal of Biogeography*, *35*(5), 764-780. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01833.x>
- Floyd, A. S., Mott, B. M., Maes, P., Copeland, D. C., McFrederick, Q. S., & Anderson, K. E. (2020). Microbial Ecology of European Foul Brood Disease in the Honey Bee (*Apis mellifera*) : Towards a Microbiome Understanding of Disease Susceptibility. *Insects*, *11*(9), 555. <https://doi.org/10.3390/insects11090555>
- Földesi, R., Howlett, B. G., Grass, I., & Batáry, P. (2021). Larger pollinators deposit more pollen on stigmas across multiple plant species—A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, *58*(4), 699-707. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13798>
- Franck, P., Garnery, L., Solignac, M., & Cornuet, J.-M. (2000). Molecular confirmation of a fourth lineage in honeybees from the Near East. *Apidologie*, *31*(2), 167-180. <https://doi.org/10.1051/apido:2000114>
- Fratini, F., Cilia, G., Turchi, B., & Felicioli, A. (2016). Beeswax : A minireview of its antimicrobial activity and its application in medicine. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, *9*(9), 839-843. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2016.07.003>
- Frisch, K. von, & Dalcq, A. (2011). *Vie et moeurs des abeilles*. A. Michel.
- García, C. A. Y., Rodrigues, P. J., Tofilski, A., Elen, D., McCormak, G. P., Oleksa, A., Henriques, D., Ilyasov, R., Kartashev, A., Bargain, C., Fried, B., & Pinto, M. A. (2022). Using the Software DeepWings© to Classify Honey Bees across Europe through Wing Geometric Morphometrics. *Insects*, *13*(12), 1132. <https://doi.org/10.3390/insects13121132>

- Garnery, L., Cornuet, J. M., & Solignac, M. (1992). Evolutionary history of the honey bee *Apis mellifera* inferred from mitochondrial DNA analysis. *Molecular Ecology*, 1(3), 145-154.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-294x.1992.tb00170.x>
- Gekker, G., Hu, S., Spivak, M., Lokensgard, J. R., & Peterson, P. K. (2005). Anti-HIV-1 activity of propolis in CD4+ lymphocyte and microglial cell cultures. *Journal of Ethnopharmacology*, 102(2), 158-163. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.05.045>
- 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000222>
- Genersch, E., Gisder, S., Hedtke, K., Hunter, W. B., Möckel, N., & Müller, U. (2013). Standard methods for cell cultures in *Apis mellifera* research. *Journal of Apicultural Research*, 52(1), 1-8.
<https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.1.02>
- González-Alcaraz, M. N., Malheiro, C., Cardoso, D. N., Prodana, M., Morgado, R. G., van Gestel, C. A. M., & Loureiro, S. (2020). Bioaccumulation and Toxicity of Organic Chemicals in Terrestrial Invertebrates. In J. J. Ortega-Calvo & J. R. Parsons (Éds.), *Bioavailability of Organic Chemicals in Soil and Sediment* (Vol. 100, p. 149-189). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/698_2020_511
- Goulson, D. (2010). *Bumblebees : Behaviour, ecology, and conservation* (2nd ed). Oxford University Press.
- Guo, J., Wang, Z., Chen, Y., Cao, J., Tian, W., Ma, B., & Dong, Y. (2021). Active components and biological functions of royal jelly. *Journal of Functional Foods*, 82, 104514.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104514>
- Gupta, R. K. (2014). Taxonomy and Distribution of Different Honeybee Species. In R. K. Gupta, W. Reybroeck, J. W. van Veen, & A. Gupta (Éds.), *Beekeeping for Poverty Alleviation and Livelihood Security* (p. 63-103). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9199-1_2

- Haber, M., Mishyna, M., Itzhak Martinez, J. J., & Benjamin, O. (2019). Edible larvae and pupae of honey bee (*Apis mellifera*) : Odor and nutritional characterization as a function of diet. *Food Chemistry*, 292, 197-203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.041>
- Hao, P., Lou, X., Tang, L., Wang, F., Chong, Z., & Guo, L. (2022). Solvent-free fabrication of slippery coatings from edible raw materials for reducing yogurt adhesion. *Progress in Organic Coatings*, 162, 106590. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106590>
- Hu, P., Lu, Z.-X., Haddad, N., Noureddine, A., Loucif-Ayad, W., Wang, Y.-Z., Zhao, R.-B., Zhang, A.-L., Guan, X., Zhang, H.-X., & Niu, H. (2014). Complete mitochondrial genome of the Algerian honeybee, *Apis mellifera intermissa* (Hymenoptera : Apidae). *Mitochondrial DNA*, 1-2. <https://doi.org/10.3109/19401736.2014.963815>
- Hung, K.-L. J., Kingston, J. M., Albrecht, M., Holway, D. A., & Kohn, J. R. (2018). The worldwide importance of honey bees as pollinators in natural habitats. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1870), 20172140. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2140>
- Ilyasov, R. A., Lee, M., Takahashi, J., Kwon, H. W., & Nikolenko, A. G. (2020). A revision of subspecies structure of western honey bee *Apis mellifera*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(12), 3615-3621. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.08.001>
- Judd, H. J., Huntzinger, C., Ramirez, R., & Strange, J. P. (2020). A 3D Printed Pollen Trap for Bumble Bee (*Bombus*) Hive Entrances. *Journal of Visualized Experiments*, 161, 61500. <https://doi.org/10.3791/61500>
- Kandemir, İ., Özkan, A., & Fuchs, S. (2011). Reevaluation of honeybee (*Apis mellifera*) microtaxonomy : A geometric morphometric approach. *Apidologie*, 42(5), 618-627. <https://doi.org/10.1007/s13592-011-0063-3>
- Keller, L. (2003). Behavioral plasticity : Levels of sociality in bees. *Current Biology*, 13(16), R644-R645. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(03\)00571-2](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(03)00571-2)
- Kerbastard Nicolas, Rapior, S., Nangou, A., & Meissonnier, C. (2020). *DES ABEILLES, DES HUMAINS ET DU MIEL / Bee, Human and Honey*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17566.89923>

- Khalil, W. K. B., Assaf, N., ElShebiney, S. A., & Salem, N. A. (2015). Neuroprotective effects of bee venom acupuncture therapy against rotenone-induced oxidative stress and apoptosis. *Neurochemistry International*, *80*, 79-86. <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2014.11.008>
- Khedidji, H., Abderrahmani, K., Oulebsir-Mohandkaci, H., Ladjali-Mohammedi, K., & Mohammedi, A. (2022). Effects of Pollen Deprivation in Groups of Tellian (*Apis mellifera intermissa*) and Saharan (*Apis mellifera sahariensis*) Honey Bees under Controlled Conditions. *Insects*, *13*(8), 727. <https://doi.org/10.3390/insects13080727>
- Klein, A.-M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *274*(1608), 303-313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Krieger, M. J. B., Ross, K. G., Chang, C. W. Y., & Keller, L. (1999). Frequency and origin of triploidy in the fire ant *Solenopsis invicta*. *Heredity*, *82*(2), 142-150. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6884600>
- Lacube, J., & Sinier, M. (2013). *L'abc de l'apiculture*. « Rustica » éd.
- Liu, R., Chen, D., Luo, S., Xu, S., Xu, H., Shi, X., & Zou, Y. (2020). Quantifying pollination efficiency of flower-visiting insects and its application in estimating pollination services for common buckwheat. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *301*, 107011. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107011>
- Luo, X., Dong, Y., Gu, C., Zhang, X., & Ma, H. (2021). Processing Technologies for Bee Products : An Overview of Recent Developments and Perspectives. *Frontiers in Nutrition*, *8*, 727181. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.727181>
- Mandal, M. D., & Mandal, S. (2011). Honey : Its medicinal property and antibacterial activity. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *1*(2), 154-160. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(11\)60016-6](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(11)60016-6)

- Masaquiza, D., Ferrán, M. O., Guamán, S., Naranjo, E., Vaca, M., Curbelo, L. M., & Arenal, A. (2023). Geometric Morphometric Analysis of Wing Shape to Identify Populations of *Apis mellifera* in Camagüey, Cuba. *Insects*, *14*(3), 306. <https://doi.org/10.3390/insects14030306>
- Melliou, E., & Chinou, I. (2005). Chemistry and Bioactivity of Royal Jelly from Greece. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*(23), 8987-8992. <https://doi.org/10.1021/jf051550p>
- Menzel, R., & Müller, U. (1996). Learning and Memory in Honeybees : From Behavior to Neural Substrates. *Annual Review of Neuroscience*, *19*(1), 379-404. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.19.030196.002115>
- Michez, D. (2007). La nouvelle classification des abeilles (Hymenoptera, Apoidea, Apiformes) ou la chute de l'abeille mellifère (*Apis mellifera* L.) de son piédestal. *Osmia*, *1*, 23-26. <https://doi.org/10.47446/OSMIA1.7>
- Mogily, S., VijayKumar, M., Sethy, S. K., & Joseph, J. (2020). Characterization of the olfactory system of the giant honey bee, *Apis dorsata*. *Cell and Tissue Research*, *379*(1), 131-145. <https://doi.org/10.1007/s00441-019-03078-8>
- Nissen, I., Müller, M., & Beye, M. (2012). The *Am-tra2* Gene Is an Essential Regulator of Female Splice Regulation at Two Levels of the Sex Determination Hierarchy of the Honeybee. *Genetics*, *192*(3), 1015-1026. <https://doi.org/10.1534/genetics.112.143925>
- Okuyama, H., Hill, J., Martin, S. J., & Takahashi, J. (2018). The complete mitochondrial genome of a Buckfast bee, *Apis mellifera* (Insecta : Hymenoptera: Apidae) in Northern Ireland. *Mitochondrial DNA Part B*, *3*(1), 338-339. <https://doi.org/10.1080/23802359.2018.1450660>
- Oleksa, A., Căuia, E., Siceanu, A., Puškadija, Z., Kovačić, M., Pinto, M. A., Rodrigues, P. J., Hatjina, F., Charistos, L., Bouga, M., Prešern, J., Kandemir, İ., Rašić, S., Kusza, S., & Tofilski, A. (2023). Honey bee (*Apis mellifera*) wing images : A tool for identification and conservation. *GigaScience*, *12*, giad019. <https://doi.org/10.1093/gigascience/giad019>
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, *120*(3), 321-326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>

- Page, R. E., & Peng, C. Y.-S. (2001). Aging and development in social insects with emphasis on the honey bee, *Apis mellifera* L. *Experimental Gerontology*, *36*(4-6), 695-711.
[https://doi.org/10.1016/S0531-5565\(00\)00236-9](https://doi.org/10.1016/S0531-5565(00)00236-9)
- Page, R. E., Scheiner, R., Erber, J., & Amdam, G. V. (2006). The Development and Evolution of Division of Labor and Foraging Specialization in a Social Insect (*Apis mellifera* L.). In *Current Topics in Developmental Biology* (Vol. 74, p. 253-286). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0070-2153\(06\)74008-X](https://doi.org/10.1016/S0070-2153(06)74008-X)
- Pamilo, P., Sundström, L., Fortelius, W., & Rosengren, R. (1994). Diploid males and colony-level selection in *Formica* ants. *Ethology Ecology & Evolution*, *6*(2), 221-235.
<https://doi.org/10.1080/08927014.1994.9522996>
- Papa, G., Capitani, G., Capri, E., Pellecchia, M., & Negri, I. (2021). Vehicle-derived ultrafine particulate contaminating bees and bee products. *Science of The Total Environment*, *750*, 141700.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141700>
- Papa, G., Maier, R., Durazzo, A., Lucarini, M., Karabagias, I. K., Plutino, M., Bianchetto, E., Aromolo, R., Pignatti, G., Ambrogio, A., Pellecchia, M., & Negri, I. (2022). The Honey Bee *Apis mellifera* : An Insect at the Interface between Human and Ecosystem Health. *Biology*, *11*(2), 233.
<https://doi.org/10.3390/biology11020233>
- Pardo, A., & Borges, P. A. V. (2020). Worldwide importance of insect pollination in apple orchards : A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *293*, 106839.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106839>
- Parmar, T. K., Rawtani, D., & Agrawal, Y. K. (2016). Bioindicators : The natural indicator of environmental pollution. *Frontiers in Life Science*, *9*(2), 110-118.
<https://doi.org/10.1080/21553769.2016.1162753>
- Pernal, S. F. (2021). The Social Life of Honey Bees. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, *37*(3), 387-400. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2021.06.012>
- Philippe, J.-M. (2007). *Le guide de l'apiculteur* (Nouvelle éd.). Edisud.

- Quendolo, D. (2016). *Les abeilles : Biologie et comportement*. Éditions Frison-Roche.
- Raffiudin, R., & Crozier, R. H. (2007). Phylogenetic analysis of honey bee behavioral evolution. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 43(2), 543-552.
<https://doi.org/10.1016/j.ympev.2006.10.013>
- Rattanawanee, A., Chanchao, C., & Wongsiri, S. (2012). Geometric morphometric analysis of giant honeybee (*Apis dorsata* Fabricius, 1793) populations in Thailand. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 15(4), 611-618. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2012.07.001>
- Rebiai, A., & Lanez, T. (2015). Chemical composition and antioxidant activity of *Apis mellifera* bee pollen from northwest Algeria. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 4(2), 155.
<https://doi.org/10.4314/jfas.v4i2.5>
- Requier, F., Garnery, L., Kohl, P. L., Njovu, H. K., Pirk, C. W. W., Crewe, R. M., & Steffan-Dewenter, I. (2019). The Conservation of Native Honey Bees Is Crucial. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(9), 789-798. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.04.008>
- Requier, F., Odoux, J.-F., Henry, M., & Bretagnolle, V. (2017). The carry-over effects of pollen shortage decrease the survival of honeybee colonies in farmlands. *Journal of Applied Ecology*, 54(4), 1161-1170. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12836>
- Reyes, M., Crauser, D., Prado, A., & Le Conte, Y. (2019). Flight activity of honey bee (*Apis mellifera*) drones. *Apidologie*, 50(5), 669-680. <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00677-w>
- Richards, M. H., von Wettberg, E. J., & Rutgers, A. C. (2003). A novel social polymorphism in a primitively eusocial bee. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(12), 7175-7180. <https://doi.org/10.1073/pnas.1030738100>
- Riley, J. R., Greggers, U., Smith, A. D., Reynolds, D. R., & Menzel, R. (2005). The flight paths of honeybees recruited by the waggle dance. *Nature*, 435(7039), 205-207.
<https://doi.org/10.1038/nature03526>
- Robinson, G. E., Fahrbach, S. E., & Winston, M. L. (1997). Insect societies and the molecular biology of social behavior. *BioEssays*, 19(12), 1099-1108. <https://doi.org/10.1002/bies.950191209>

- Ruttner, F. (1988). *Biogeography and Taxonomy of Honeybees*. Springer Berlin Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-72649-1>
- Ruttner, F., Tassencourt, L., & Louveaux, J. (1978). BIOMETRICAL-STATISTICAL ANALYSIS OF THE GEOGRAPHIC VARIABILITY OF APIS MELLIFERA L. I. Material and Methods. *Apidologie*, 9(4), 363-381. <https://doi.org/10.1051/apido:19780408>
- Salomao, K., Dantas, A. P., Borba, C. M., Campos, L. C., Machado, D. G., Aquino Neto, F. R., & Castro, S. L. (2004). Chemical composition and microbicidal activity of extracts from Brazilian and Bulgarian propolis. *Letters in Applied Microbiology*, 38(2), 87-92.
<https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2003.01458.x>
- Sandoz, J. C., Roger, B., & Pham-Delègue, M. H. (1995). Olfactory learning and memory in the honeybee : Comparison of different classical conditioning procedures of the proboscis extension response. *Comptes Rendus de l'Academie Des Sciences. Serie III, Sciences de La Vie*, 318(7), 749-755.
- Sarkisyan, V., Sobolev, R., Frolova, Y., Malinkin, A., Makarenko, M., & Kochetkova, A. (2021). Beeswax Fractions Used as Potential Oil Gelling Agents. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 98(3), 281-296. <https://doi.org/10.1002/aocs.12451>
- Scaccabarozzi, D., Dods, K., Le, T. T., Gummer, J. P. A., Lussu, M., Milne, L., Campbell, T., Wafujian, B. P., & Priddis, C. (2021). Factors driving the compositional diversity of Apis mellifera bee venom from a Corymbia calophylla (marri) ecosystem, Southwestern Australia. *PLOS ONE*, 16(6), e0253838. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253838>
- Seraglio, S. K. T., Schulz, M., Brugnerotto, P., Silva, B., Gonzaga, L. V., Fett, R., & Costa, A. C. O. (2021). Quality, composition and health-protective properties of citrus honey : A review. *Food Research International*, 143, 110268. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110268>
- Sforcin, J. M., Fernandes Júnior, A., Lopes, C. A. M., Funari, S. R. C., & Bankova, V. (2001). Seasonal effect of brazilian propolis on Candida albicans and Candida tropicalis. *Journal of Venomous Animals and Toxins*, 7(1), 139-144. <https://doi.org/10.1590/S0104-79302001000100009>

- Spürgin, A., & Tattevin, M.-A. (2010). *Guide de l'abeille l'homme et l'abeille, biologie de l'abeille, apiculture et miel*. Delachaux et Niestlé.
- Svečnjak, L., Chesson, L. A., Gallina, A., Maia, M., Martinello, M., Mutinelli, F., Muz, M. N., Nunes, F. M., Saucy, F., Tipple, B. J., Wallner, K., Waś, E., & Waters, T. A. (2019). Standard methods for *Apis mellifera* beeswax research. *Journal of Apicultural Research*, 58(2), 1-108.
<https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1571556>
- Thomson, J. D., Draguleasa, M. A., & Tan, M. G. (2015). Flowers with caffeinated nectar receive more pollination. *Arthropod-Plant Interactions*, 9(1), 1-7. <https://doi.org/10.1007/s11829-014-9350-z>
- Topitzhofer, E., Lucas, H., Carlson, E., Chakrabarti, P., & Sagili, R. (2021). Collection and Identification of Pollen from Honey Bee Colonies. *Journal of Visualized Experiments*, 167, 62064.
<https://doi.org/10.3791/62064>
- Uversky, V. N., Albar, A. H., Khan, R. H., & Redwan, E. M. (2021). Multifunctionality and intrinsic disorder of royal jelly proteome. *PROTEOMICS*, 21(6), 2000237.
<https://doi.org/10.1002/pmic.202000237>
- Wang, M., Xiao, Y., Li, Y., Wang, X., Qi, S., Wang, Y., Zhao, L., Wang, K., Peng, W., Luo, G.-Z., Xue, X., Jia, G., & Wu, L. (2021). RNA m6A Modification Functions in Larval Development and Caste Differentiation in Honeybee (*Apis mellifera*). *Cell Reports*, 34(1), 108580.
<https://doi.org/10.1016/j.celrep.2020.108580>
- Waring, C., & Waring, A. (2014). *Abeilles : Tout savoir sur l'apiculture*. Artémis éditions.
- Weaver, N. (1957). Effects of Larval Age on Dimorphic Differentiation of the Female Honey Bee1. *Annals of the Entomological Society of America*, 50(3), 283-294.
<https://doi.org/10.1093/aesa/50.3.283>
- Williams, I. H., Corbet, S. A., & Osborne, J. L. (1991). Beekeeping, Wild Bees and Pollination in the European Community. *Bee World*, 72(4), 170-180.
<https://doi.org/10.1080/0005772X.1991.11099101>

- Winston, M. L. (1991). *The biology of the honey bee* (1. Harvard Univ. Press paperback ed). Harvard Univ. Press.
- Winston, M. L. (1993). *La biologie de l'abeille* (G. Lambermont, Trad.). Frison Roche Nauwelaerts.
- Winston, M. L., & Katz, S. J. (1982). Foraging differences between cross-fostered honeybee workers (*Apis mellifera*) of European and Africanized races. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 10(2), 125-129. <https://doi.org/10.1007/BF00300172>
- Wright, G. A., Baker, D. D., Palmer, M. J., Stabler, D., Mustard, J. A., Power, E. F., Borland, A. M., & Stevenson, P. C. (2013). Caffeine in Floral Nectar Enhances a Pollinator's Memory of Reward. *Science*, 339(6124), 1202-1204. <https://doi.org/10.1126/science.1228806>
- Zaric, N. M., Deljanin, I., Ilijević, K., Stanisavljević, L., Ristić, M., & Gržetić, I. (2018). Assessment of spatial and temporal variations in trace element concentrations using honeybees (*Apis mellifera*) as bioindicators. *PeerJ*, 6, e5197. <https://doi.org/10.7717/peerj.5197>
- Zhang, S., Liu, Y., Ye, Y., Wang, X.-R., Lin, L.-T., Xiao, L.-Y., Zhou, P., Shi, G.-X., & Liu, C.-Z. (2018). Bee venom therapy : Potential mechanisms and therapeutic applications. *Toxicon*, 148, 64-73. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2018.04.012>
- Zioga, E., Kelly, R., White, B., & Stout, J. C. (2020). Plant protection product residues in plant pollen and nectar : A review of current knowledge. *Environmental Research*, 189, 109873. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109873>

Résumé :

La caractérisation des abeilles est une étape essentielle pour une meilleure gestion et durabilité des systèmes de production apicole. Ce travail vise à identifier les éventuelles races et écotypes d'abeilles mellifères dans le nord de l'Algérie en utilisant différentes approches. Pour cela, nous avons d'abord procédé à une caractérisation morphologique en utilisant la morphométrie classique. Nous avons échantillonné une dizaine d'abeilles ouvrières dans 30 ruches par exploitation apicole, réparties dans 12 localités différentes, afin d'avoir un échantillon représentatif. Nous avons mesuré 14 paramètres morphométriques à l'aide d'outils de laboratoire. Les analyses statistiques ont révélé une variation biogéographique au sein des colonies d'abeilles mellifères dans le nord de l'Algérie. Ces résultats ont permis de distinguer différentes populations locales. Parallèlement, nous avons réalisé une caractérisation géomorphométrique en utilisant la géométrie alaire, qui met en évidence le potentiel géotechnique de production des populations d'abeilles. L'objectif final de cette étude est de caractériser la race locale d'abeille domestique dans un contexte génétique, afin de mettre en place un plan de conservation et une gestion durable appropriés.

Mot clés : *Apis mellifera Intermissa*, abeilles domestiques, caractérisation morphométrique, morphométrie, géométrie allaires, conservation, diversité.

ملخص :

تعد توصيف النحل خطوة أساسية لتحسين إدارة واستدامة أنظمة إنتاج النحل. يهدف هذا العمل إلى تحديد السلالات والأنواع المحتملة لعسل النحل في شمال الجزائر باستخدام مناهج مختلفة. لهذا الغرض، قمنا أولاً بتوصيف مورفولوجي باستخدام المورفومتريا التقليدية. قمنا بأخذ عينة من عشرات النحل العاملة من 30 خلية نحل في 12 موقعا مختلفا لضمان الحصول على عينة ممثلة. قمنا بقياس 14 معاملا مورفولوجيا باستخدام أدوات المختبر. أظهرت التحاليل الإحصائية تبايناً في الجغرافيا الحيوية داخل مستعمرات النحل العسل في شمال الجزائر. سمحت هذه النتائج بتمييز مستعمرات محليين مختلفين. في الوقت نفسه، قمنا بتوصيف جيومورفومتري بواسطة هندسة الأجنحة التي تبرز الإمكانات الجيوتقنية لإنتاج سكان النحل. الهدف النهائي لهذه الدراسة هو توصيف السلالة المحلية للنحل المستأنس في سياق وراثي لتطوير خطة للحفاظ على هذا النحل وإدارته بشكل مستدام ومناسب.

الكلمات المفتاحية: النحل، دراسة مورفومترية، التحليل الإحصائي، المحافظة، التنوع البيولوجي

Abstract:

Characterizing bees is a crucial step for better management and sustainability of beekeeping systems. This work aims to identify possible races and ecotypes of honeybees in northern Algeria using different approaches. To achieve this, first Evel carried out a morphological characterization using classical morphometry. We sampled about ten worker bees from 30 beehives per beekeeping operation, distributed in 12 different localities, to obtain a representative sample. We measured 14 morphometric parameters using laboratory tools. Statistical analyses revealed biogeographic variation within honeybee colonies in north Algeria, allowing the differentiation of different local populations. Additionally, we performed a geomorphometric characterization using wing geometry, which highlights the geotechnical production potential of bee populations. The ultimate objective of this study is to characterize the local race of domesticated honey bees in a genetic context, in order to establish an appropriate conservation and sustainable management plan.

Keywords: *Apis mellifera intermissa*, honey bees, morphometric characterization, morphometry, wing geometry, conservation, diversity.