

RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union – Discipline – Travail

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**Institut National Polytechnique
Félix HOUPHOUËT-BOIGNY
de Yamoussoukro**

N° d'ordre : 069 / 2020



École Doctorale Polytechnique

THÈSE

Pour l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE FÉLIX HOUPHOUËT-BOIGNY

Mention : Sciences Agronomiques

Spécialité : Biologie Animale

Option : Entomologie

Thème :

**CARACTÉRISATION MORPHOMÉTRIQUE DES
ABEILLES MELLIFFIQUES ÉLEVÉES EN CÔTE
D'IVOIRE**

Présentée et soutenue publiquement le 02 Octobre 2020 par

ASSIELOU Brou Aubin

JURY

M. ADOUBY Kopoin	Professeur Titulaire, INP-HB	Président
M. WANDAN Eboua Narcisse	Maître de Conférences, INP-HB	Co-directeur de thèse
M. ABO Kouabenan	Maître de Conférences, INP-HB	Co-directeur de thèse
M. TIHO Seydou	Professeur Titulaire, UNA	Rapporteur
Mme OUALI N'GORAN S.-W M.	Maître de Conférences, UFHB	Rapporteur
M. SORO Senan	Maître de Conférences, UJLoG	Examinateur

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE..... vi

REMERCIEMENTS vii

LISTE DES FIGURES ix

LISTE DES TABLEAUX xii

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS xiii

RÉSUMÉ..... xv

ABSTRACT xvi

INTRODUCTION..... 1

PREMIÈRE PARTIE : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE 4

CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS SUR LES ABEILLES 5

1.1. Systématique des abeilles..... 5

1.2. Morphologie externe des abeilles..... 9

1.2.1. Tête..... 10

1.2.1.1. Yeux..... 11

1.2.1.2. Antennes 11

1.2.1.3. Appareil buccal..... 11

1.2.2. Thorax 12

1.2.2.1. Pattes..... 12

1.2.2.2. Ailes..... 13

1.2.3. Abdomen..... 14

1.3. Organisation sociale des abeilles 14

1.3.1. Caste de la reine 14

1.3.2. Caste des mâles 15

1.3.3. Caste des ouvrières..... 15

1.4. Évolution des abeilles..... 16

1.5. Dynamique des populations d'abeilles.....	17
1.6. Maladies et parasites de l'abeille <i>Apis mellifera</i>	19
1.6.1. Bactéries.....	19
1.6.2. Virus.....	20
1.6.3. Protozoaires.....	20
1.6.4. Acariens	20
1.7. Apiculture dans le monde et en Côte d'Ivoire	21
1.8. Relations zones de végétation et sélection des abeilles.....	22
CHAPITRE 2 : IMPORTANCE DE LA MORPHOMÉTRIE DES ABEILLES	25
2.1. Morphométrie classique	25
2.1.1. Méthode de l'indice cubital.....	26
2.1.2. Méthode des cinq caractères	26
2.1.3. Méthode "abeille par abeille" analyse par ordinateur	26
2.1.4. Analyse des quarante-et-un caractères morphologiques	27
2.2. Morphométrie géométrique.....	27
2.2.1. Historique.....	27
2.2.2. Principe	27
2.2.3. Méthode	28
2.2.3.1. Calcul de la taille centroïde de l'aile.....	28
2.2.3.2. Superposition Procruste.....	29
DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES	32
CHAPITRE 3 : MATÉRIEL	33
3.1. Zone d'étude.....	33
3.1.1. Zone Centre.....	34
3.1.2. Zone Ouest	36
3.1.3. Zone Nord	37
3.2. Matériel biologique	38

3.3. Matériel technique.....	39
3.3.1. Matériel de collecte.....	39
3.3.2. Matériel de laboratoire.....	39
CHAPITRE 4 : MÉTHODES	41
4.1. Enquête.....	41
4.2. Prospection et collecte des échantillons d'abeilles	42
4.3. Préparation des échantillons.....	42
4.4. Analyse morphométrique classique des abeilles.....	45
4.4.1. Choix et description des caractères biométriques	45
4.4.2. Mesure des abeilles	51
4.4.3. Analyse statistique des données de morphométrie classique.....	51
4.5. Analyse morphométrique géométrique des abeilles	52
4.5.1. Sélection des ailes	52
4.5.2. Numérisation des ailes	55
4.5.3. Choix et positionnement des landmarks	56
4.5.4. Analyse statistique des données de morphométrie géométrique.....	58
4.5.4.1. Méthodes et tests statistiques.....	58
4.5.4.2. Logiciel R	59
TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS.....	60
CHAPITRE 5 : CARACTÉRISTIQUES DE L'APICULTURE	61
5.1. Caractéristiques des apiculteurs	61
5.2. Productivité des ruches	62
5.2.1. Types de ruches.....	62
5.2.2. Production de miel par ruche	64
5.3. Connaissance des abeilles	66
5.4. Problèmes rencontrés par les apiculteurs	67
CHAPITRE 6 : CARACTÈRES MORPHOMÉTRIQUES CLASSIQUES DES ABEILLES	69

6.1. Caractères morphométriques des populations d'abeilles	69
6.1.1. Corps des abeilles.....	69
6.1.1.1. Longueur du corps des abeilles	69
6.1.1.2. Longueur de la langue	74
6.1.1.3. Coloration du deuxième tergite	74
6.1.1.4. Tomentum du quatrième tergite	75
6.1.1.5. Pilosité du cinquième tergite	76
6.1.2. Pattes postérieures.....	77
6.1.2.1. Largeur du métatarse	77
6.1.2.2. Longueur de la patte	78
6.1.3. Ailes	78
6.1.3.1. Longueur de l'aile antérieure	78
6.1.3.2. Largeur de l'aile antérieure	79
6.1.3.3. Longueur de l'aile postérieure.....	80
6.1.3.4. Largeur de l'aile postérieure	81
6.1.3.5. Transgression discoïdale	81
6.1.3.6. Indice cubital	82
6.2. Comparaison des caractéristiques (moyennes) des abeilles par l'analyse de la variance .	83
6.2.1. Comparaison inter-localités des caractéristiques moyennes des abeilles du Centre de la Côte d'Ivoire.....	83
6.2.2. Comparaison inter-localités des caractéristiques moyennes des abeilles du Nord de la Côte d'Ivoire.....	84
6.2.3. Comparaison inter-localités des caractéristiques moyennes des abeilles de l'Ouest de la Côte d'Ivoire.....	85
6.2.4. Comparaison inter-zones des caractéristiques morphométriques des abeilles collectées dans les trois zones phytogéographiques.....	87
6.3. Matrice de corrélation des paramètres biométriques.....	88
6.4. Analyse en Composantes Principales.....	91

6.4.1. Analyse du nuage de points-variables.....	91
6.4.2. Analyse du nuage de points-localités.....	94
6.5. Classification hiérarchique.....	98
CHAPITRE 7 : CARACTÈRES MORPHO-GÉOMÉTRIQUES DES ABEILLES	99
7.1. Recherche de valeurs aberrantes	99
7.2. Superposition procruste.....	99
7.3. Variabilités liées à la taille des ailes antérieures des abeilles	100
7.3.1. Variation des tailles centroïdes des ailes entre les colonies dans les différentes régions.....	101
7.3.2. Variation des tailles centroïdes des ailes entre les sites d'échantillonnage (localités) dans les différentes régions	102
7.3.3. Variation des tailles centroïdes des ailes entre les régions dans les trois zones phytogéographiques	103
7.4. Variabilités liées à la forme des ailes antérieures entre les sites d'échantillonnage dans les différentes régions	105
7.5. Analyse en Composantes Principales.....	105
QUATRIÈME PARTIE : DISCUSSION.....	109
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	119
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	123
ANNEXES	140

DÉDICACE

A Dieu tout puissant

A mon père ASSIELOU Boa

A ma mère ASSAMOA Gnanda

A ma fiancée AYENON Koussou Danielle Fallonne

Et à toi ma fille ASSIELOU Affoua Elya Keren

REMERCIEMENTS

Cette thèse est le résultat de quatre ans de travail au Laboratoire des Sciences agronomiques et génie rurale de l'Institut National Polytechnique Félix HOUPHOUËT-BOIGNY (INP-HB) de Yamoussoukro. Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à cette expérience aussi enrichissante qu'intéressante.

Je tiens, tout d'abord, à remercier Monsieur YAO Kouassi Benjamin, Professeur Titulaire à l'INP-HB, Directeur de l'École Doctorale Polytechnique (EDP), ainsi que tout son personnel, pour avoir autorisé mon inscription en thèse.

Mes sincères remerciements vont à l'endroit de Monsieur WANDAN Eboua Narcisse, Maître de Conférences à l'INP-HB, mon Co-Directeur de thèse, qui m'a soutenu, encouragé et offert l'opportunité de travailler avec lui sur ce sujet d'intérêt scientifique. Sa patience, sa rigueur et son efficacité m'ont permis d'effectuer le travail dans les meilleures conditions possibles. Sa gentillesse, son humanisme, me resteront comme un modèle à suivre.

Je tiens à remercier Monsieur ABO Kouabenan, Maître de Conférences à l'INP-HB, mon Co-Directeur de thèse, qui n'a jamais manqué de me rappeler aux bons moments, la rigueur scientifique nécessaire à l'accomplissement du travail de recherche et de rédaction. Merci pour la qualité de vos corrections et vos relectures minutieuses tout au long de l'élaboration de ce travail.

Merci également à Monsieur Brou Yao Casimir, Maître de Conférences à l'INP-HB, Directeur de l'Unité Mixte de Recherche et d'innovation des Sciences Agronomiques et de Génie Rural (UMRI 28), pour son appui institutionnel et scientifique durant ces quatre années et pour son appui constant au plan scientifique afin que ce mémoire soit au niveau requis par l'EDP.

Je remercie Monsieur ADJA Nahoulé Armand, Maître-Assistant à l'INP-HB, Responsable du Laboratoire d'Entomologie dans lequel j'ai effectué mes manipulations et pour ses conseils qui m'ont été d'une grande utilité.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à Monsieur ADOUBY Kopoin, Professeur Titulaire à l'INP-HB, qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse et pour ses critiques pertinentes pour l'amélioration de ce travail de recherche.

Merci à Monsieur TIHO Seydou, Professeur Titulaire à l'Université Nangui Abrogoua (UNA) et à Madame OUALI née N'GORAN San-Whouly Mauricette, Maître de Conférences à l'Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB), pour avoir accepté d'être rapporteurs de ce manuscrit et pour leur participation à mon jury de thèse. En évaluant ce mémoire de Thèse, des observations pertinentes et des suggestions judicieuses apportées ont contribué à l'amélioration dudit mémoire dans le fond comme dans la forme.

À Monsieur SORO Senan, Maître de Conférences à l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG), j'exprime mes sincères remerciements pour avoir accepté d'évaluer et de participer au jury de soutenance de cette Thèse.

Je suis reconnaissant à l'endroit de Monsieur IRITIÉ Bruno Marcel, Assistant à l'INP-HB, pour m'avoir enseigné les bases de l'apiculture, ainsi que pour ses conseils et pour la lecture de ce document avant sa soumission au conseil scientifique.

Je remercie aussi Monsieur ZOH Bi Irié Casimir, Maître de Conférences à l'INP-HB, pour m'avoir appris les bases des analyses statistiques avec le logiciel R.

Je n'oublie pas de remercier Monsieur DANHO Mathias, Maître de Conférences à l'INP-HB, pour ses conseils, ses critiques, ses suggestions et surtout ses diverses contributions pour l'orientation et l'amélioration de mes travaux.

Je remercie Monsieur BENIE Sahou Isidore, Technicien au Laboratoire d'Entomologie, pour avoir mis à ma disposition tout le matériel nécessaire pour l'observation et l'identification des abeilles.

Je tiens à remercier tous les apiculteurs pour leur disponibilité et leur collaboration lors des missions sur le terrain pour la collecte des échantillons et pour l'hébergement dont j'ai pu bénéficier gracieusement.

Je dis un grand merci à Messieurs YAO Kouadio Esaïe, Assistant à l'INP-HB et KOUADIO Houphouët, Doctorant à l'UNA. Travailler à vos côtés fut une joie et un honneur pour moi.

Je dis un grand merci à toute ma famille et à mes amis pour leur soutien moral, financier et matériel.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Aire de répartition des neuf espèces d’abeilles du genre *Apis*..... 6

Figure 2 : Anatomie générale d’une abeille ouvrière (*Apis mellifera* L.) 10

Figure 3 : Vue de face de la tête d’une abeille ouvrière..... 10

Figure 4 : Organisation des pattes de l’ouvrière 13

Figure 5 : Les trois castes d’une colonie d’abeilles 16

Figure 6 : Visualisation du concept de la taille centroïde calculée à partir des trois points
repères d’un triangle équilatéral 29

Figure 7 : Les étapes de la superposition Procruste 31

Figure 8 : Carte de la Côte d’Ivoire montrant les localités de prélèvement des échantillons
d’abeilles dans les différentes zones phytogéographiques 34

Figure 9 : Vue d’un paysage de savane dans le Centre de la Côte d’Ivoire..... 36

Figure 10 : Vue d’une chaîne de montagnes à l’Ouest de la Côte d’Ivoire 37

Figure 11 : Vue d’une zone de savane dans le Nord de la Côte d’Ivoire..... 38

Figure 12 : Vue d’un rucher dans le département de Ferkessédougou 38

Figure 13 : Dispositif de mesure des caractères morphométriques..... 40

Figure 14 : Dispositif de répartition des abeilles permettant d’éviter une sélection
involontaire des abeilles 45

Figure 15 : Langue (ou proboscis) d’une ouvrière..... 46

Figure 16 : Patte postérieure d’une ouvrière 47

Figure 17 : Aile antérieure d’une ouvrière 48

Figure 18 : Coloration d’une ouvrière..... 48

Figure 19 : Tomentum d’une ouvrière 49

Figure 20 : Pilosité d’une ouvrière..... 49

Figure 21 : Composantes de l’indice cubital de l’aile antérieure d’une ouvrière 50

Figure 22 : Transgression discoïdale..... 51

Figure 23 : Nervation de l’aile antérieure d’une abeille ouvrière *Apis mellifera*..... 54

Figure 24 : Anormalités de la nervation de l’aile antérieure chez *Apis mellifera*..... 54

Figure 25 : Quelques exemples de nervations anormales de l’ailes antérieure chez *Apis
mellifera*..... 55

Figure 26 : Emplacement des 19 points-repères sur l’aile antérieure droite d’une ouvrière .. 58

Figure 27 : Ancienneté des apiculteurs dans l’activité apicole 61

Figure 28 : Apiculteur portant une tenue d'apiculteur	62
Figure 29 : Nombre de ruches exploitées par région	63
Figure 30 : Types de ruches exploités	63
Figure 31 : Principaux produits de la ruche	64
Figure 32 : Fréquence d'exploitation des produits de la ruche	65
Figure 33 : Rendements moyens en litres de miel par ruche en une année	65
Figure 34 : Fréquences des types d'abeilles rencontrés par les apiculteurs	66
Figure 35 : Abeille jaune	67
Figure 36 : Abeille noire	67
Figure 37 : Fréquences relatives de la longueur des abeilles des trois zones géographiques .	69
Figure 38 : Fréquences relatives de la longueur de la langue des abeilles des trois zones géographiques.....	74
Figure 39 : Fréquences relatives de la coloration des abeilles des trois zones géographiques	75
Figure 40 : Fréquences relatives du tomentum des abeilles des trois zones géographiques...	76
Figure 41 : Fréquences relatives de la pilosité des abeilles des trois zones géographiques....	77
Figure 42 : Fréquences relatives de la largeur du métatarse des abeilles des trois zones géographiques.....	77
Figure 43 : Fréquences relatives de la longueur de la patte des abeilles des trois zones géographiques.....	78
Figure 44 : Fréquences relatives de la longueur des ailes antérieures des abeilles des trois zones géographiques.....	79
Figure 45 : Fréquences relatives de la largeur des ailes antérieures des abeilles des trois zones géographiques.....	80
Figure 46 : Fréquences relatives de la longueur des ailes postérieures des abeilles des trois zones géographiques	80
Figure 47 : Fréquences relatives de la largeur des ailes postérieures des abeilles des trois zones géographiques.....	81
Figure 48 : Fréquences relatives de la transgression discoïdale des abeilles des trois zones géographiques.....	82
Figure 49 : Fréquences relatives de l'indice cubital des abeilles des trois zones géographiques.....	83
Figure 50 : Représentation graphique des variables quantitatives et quantitatives supplémentaires dans le cercle des corrélations dans le plan factoriel 1-2	93

Figure 51 : Représentation graphique des points moyens des localités dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP des localités d'échantillonnage	96
Figure 52 : Représentation graphique des points moyens par zone géographique dans les plans factoriels de l'ACP.....	97
Figure 53 : Dendrogramme de regroupement des localités échantillonnées.....	98
Figure 54 : Courbe de distribution cumulative des distances entre les individus et la forme moyenne de l'échantillon.....	99
Figure 55 : Résultats de la superposition procruste des coordonnées des points-repères.....	100
Figure 56 : Variation inter coloniale des tailles centroïdes des colonies de la zone du Centre	101
Figure 57 : Variation inter coloniale des tailles centroïdes des colonies de la zone du Nord	101
Figure 58 : Variation inter coloniale des tailles centroïdes des colonies de la zone de l'Ouest.....	102
Figure 59 : Variation inter-localités des tailles centroïdes des colonies du Centre.....	102
Figure 60 : Variation inter-localités des tailles centroïdes des colonies du Nord.....	103
Figure 61 : Variation inter-localités des tailles centroïdes des colonies de l'Ouest.....	103
Figure 62 : Représentation graphique des tailles centroïdes des populations régionales d'abeilles de Côte d'Ivoire	104
Figure 63 : Diagramme présentant le pourcentage de variance des axes de l'ACP.....	105
Figure 64 : Représentation graphique des individus dans les plans factoriels de l'ACP à partir des résidus procrustes	106
Figure 65 : Représentation graphique des individus dans les plans factoriels de l'Analyse Canonique.....	108

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Répartition originelle des sous-espèces d'abeilles <i>Apis mellifera</i>	8
Tableau 2 : Répartition des échantillons d'abeilles collectés	44
Tableau 3 : Liste des caractères morphologiques mesurés chez les abeilles	46
Tableau 4 : Description anatomique des 19 points-repères utilisés pour une aile antérieure d'abeille.....	57
Tableau 5 : Principales bibliothèques utilisées sous R pour l'exploration, la vérification et l'analyse statistique des données.....	59
Tableau 6 : Moyennes et écarts-types des paramètres morphologiques mesurés sur les populations d'abeilles issues de la zone Centre	70
Tableau 7 : Moyennes et écarts-types des paramètres morphologiques mesurés sur les populations d'abeilles issues de la zone Nord	71
Tableau 8 : Moyennes et écarts-types des paramètres morphologiques mesurés sur les populations d'abeilles issues de la zone Ouest	72
Tableau 9 : Synthèse des moyennes et écarts-types des paramètres mesurés sur les populations d'abeilles issues des différentes zones phytogéographiques de la Côte d'Ivoire.....	73
Tableau 10 : Comparaison inter-localités des moyennes des paramètres biométriques (ANOVA) de la zone géographique Centre.....	84
Tableau 11 : Comparaison inter-localités des moyennes des paramètres biométriques (ANOVA) de la zone géographique Nord	85
Tableau 12 : Comparaison inter-localités des moyennes des paramètres biométriques de la zone géographique Ouest.....	86
Tableau 13 : Comparaison inter-zones phytogéographiques des moyennes des paramètres..	88
Tableau 14 : Matrice des corrélations linéaires entre les variables morphométriques	90
Tableau 15 : Valeurs propres et pourcentages de variation expliquée par les composantes principales et pourcentages cumulés	92
Tableau 16 : Corrélations entre les variables morphométriques et les axes principaux et contribution de chaque variable à la construction des axes principaux.....	93
Tableau 17 : Corrélations entre les localités et les composantes principales.....	95
Tableau 18 : Comparaisons inter-régions des moyennes des TC pour les facteurs “Région”, “Rucher” et “Colonie” pour les abeilles échantillonnées dans les trois zones..	104

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

Aa	: Aile antérieure
ACP	: Analyse en Composantes Principales
ANOVA	: Analysis Of Variance (Analyse de la variance)
Ap	: Aile postérieure
APV	: Acute Paralysis Virus
CFA	: Communauté Française d’Afrique
Col	: Coloration
CPV	: Chronic Paralysis Virus
CVA	: Canonical Variates Analysis (Analyse Canonique)
EDP	: École Doctorale Polytechnique
FAO	: Food and Agriculture Organization of the United States (Organisation des Nations unies pour l’alimentation et l’agriculture)
Fe	: Fémur
FIRCA	: Fonds interprofessionnel pour la recherche et le conseil agricoles
GPA	: Generalized Procrustes Analysis (Analyse Procruste Généralisée)
GPS	: Global Positioning System (Système de Positionnement Global)
IA	: Index cubital A
IB	: Index cubital B
IC	: Indice Cubital
INP-HB	: Institut National Polytechnique Félix HOUPHOUËT-BOIGNY
La	: Langue
MANOVA	: Multivariate Analysis Of Variance (Analyse multivariée de la variance)
MC	: Morphométrie classique
Me	: Métatarse
MEF	: Ministère de l’Économie et des Finances
MG	: Morphométrie géométrique

Pil	: Pilosité
PR	: Point-repère
TC	: Taille centroïde
TD	: Transgression discoïdale
Ti	: Tibia
Tom	: Tomentum
UFHB	: Université Félix Houphouët-Boigny
UJLoG	: Université
UMRI	: Unité Mixte de Recherche et d'innovation
UNA	: Université Nangui Abrogoua

RÉSUMÉ

Une seule sous-espèce d'abeilles mellifiques, *Apis mellifera adansonii*, a été décrite pour toute l'Afrique Occidentale et Centrale. Les données de la littérature concernant les caractéristiques des abeilles mellifiques présentes en Côte d'Ivoire sont moins nombreuses que chez les sous-espèces européennes. La présente étude caractérise la diversité morphologique et approfondit les connaissances sur la sous-espèce locale d'abeilles mellifiques grâce à deux approches : l'approche morphométrique classique et l'approche morphométrique géométrique basée sur la configuration des points-repères situés sur les ailes à partir d'un échantillon de 1 620 abeilles ouvrières de la sous-espèce *Apis mellifera adansonii* collecté au Centre, au Nord et à l'Ouest de la Côte d'Ivoire. La morphométrie classique indique que, malgré les diversités de formes et de couleurs observées au sein des colonies, les abeilles collectées constituent un groupe assez homogène. Ces résultats sont confirmés par la morphométrie géométrique qui analyse la conformation des ailes des abeilles après l'extraction de la taille centroïde. Les résultats permettent d'observer des variations importantes dans les populations d'abeilles mais indiquent une absence de différenciation géographique au sein des colonies collectées.

Mots clés : *Apis mellifera adansonii*, morphométrie, points-repères, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

A single honeybee subspecies, *Apis mellifera adansonii*, has been describe from all of West and Central Africa. The data in the literature concerning the characteristics of honeybees present in Côte d'Ivoire are less numerous than in European subspecies. The present study characterizes the morphological diversity and deepens the knowledge on the local subspecies of honeybees thanks to two approaches : the classic morphometric approach and the geometric morphometric approach based on the configuration of the landmarks located on the wings, from a sample of 1,620 worker bees of the subspecies *Apis mellifera adansonii* collected in the Center, North and West of Côte d'Ivoire. Classical morphometry indicates that despite the diversity shapes and colors observed within the colonies, the collected bees constitute a fairly homogeneous group. These results are confirmed by geometric morphometry, which analyze the conformation of bee wings after extraction of the centroid size. The results make it possible to observe significant variations in the bee populations but indicate an absence of geographical differentiation within the colonies collected.

Key words: *Apis mellifera adansonii*, bees, Côte d'Ivoire, landmark, morphometry

INTRODUCTION

L'abeille (*Apis mellifera*) est un insecte social vivant en colonies. Elle joue un rôle capital dans le maintien de l'équilibre des écosystèmes terrestres. Ses actions impactent les revenus des populations rurales du monde entier. En effet, environ 75% de la production agricole mondiale dépend des pollinisateurs dont le plus important est l'abeille. L'importance de l'activité des abeilles touche aussi le domaine environnemental. Les abeilles assurent la pérennité de nombreuses espèces végétales (Kearns *et al.*, 1998 ; Klein *et al.*, 2007).

En apiculture, sont commercialisés, les produits de la ruche, en particulier le miel, la cire et la gelée royale et plus accessoirement le pollen et la propolis. Par ailleurs, par son aire de répartition très importante et du fait de son caractère haplodiploïdique et polyandrique, l'abeille présente un intérêt scientifique certain. Comme tout insecte social, une complexité de comportement dans les activités à l'intérieur comme à l'extérieur de la ruche sont observés. C'est pour cela qu'elle peut être considérée comme l'un des meilleurs modèles d'étude sur l'évolution des insectes.

La variabilité de forme de l'abeille a surtout été étudiée en utilisant la morphométrie. La morphométrie a été, pendant longtemps, le seul moyen de décrire la diversité génétique de l'abeille et demeure une méthode favorite dans l'étude des abeilles (Diniz-Filho *et al.*, 1999 ; Hepburn *et al.*, 2000 ; Tilde *et al.*, 2000 ; Amssalu *et al.*, 2004). La première classification moderne des abeilles, basée sur la morphométrie, fut donnée par Michener en 1944. Cette connaissance des populations d'abeilles a connu des progrès grâce à des analyses moléculaires par Danforth *et al.* (2006a) et Danforth *et al.* (2006b). Selon ces auteurs, les abeilles appartiennent à la famille des Apidae qui regroupe trois sous-familles qui sont les Xylocopinae, les Nomadinae et les Apinae. Elle compte près de 20 000 espèces à travers le monde (Rasmont *et al.*, 1995 ; Michener, 2007).

Malgré la diversité au sein des abeilles, les abeilles mellifiques les plus connues et utilisées en apiculture appartiennent à l'espèce *Apis mellifera* (Segeren *et al.*, 1996). Les grandes qualités de production d'*Apis mellifera* ont justifié son utilisation par les apiculteurs dans toutes les régions du monde. Elle se trouve maintenant en Asie, où elle cohabite avec les autres espèces du genre *Apis*, ainsi qu'en Amérique et en Australie où elle a été importée par les colons (Le Conte et Navajas, 2008). L'abeille *Apis mellifera* compte 26 sous-espèces pouvant être

regroupées en quatre lignées évolutives : M pour les abeilles de l'Europe de l'Ouest, A pour les abeilles africaines, C pour les abeilles du Centre et du Nord de l'Europe, et la lignée O en Turquie et dans le Caucase (Ruttner *et al.*, 1978 ; Ruttner, 1988). L'existence de ces lignées a été confirmée par des études de l'ADN mitochondrial de cet insecte (Estoup *et al.*, 1995 ; Garnery *et al.*, 1998 ; Franck *et al.*, 2000). Les sous-espèces européennes d'*Apis mellifera* sont plus productives que celles de l'Asie ou de l'Afrique. En effet, ces dernières vivent sous le climat doux des régions tropicales et ne sont pas contraintes d'amasser de grandes quantités de nourriture car elles trouvent des fleurs toute l'année pour subvenir à leurs besoins (Ruttner, 1988). Au contraire, les sous-espèces européennes d'*Apis mellifera* ont évolué vers une stratégie de récolte et de stockage du miel pour pouvoir passer l'hiver.

Latreille (1804) a décrit *Apis mellifera adansonii* comme la seule sous-espèce d'abeilles mellifiques pour toute l'Afrique de l'Ouest et du Centre, du Sénégal au Congo. Ses résultats sont corroborés par ceux de Ruttner (1981). Cependant, les travaux de ce dernier se sont basés sur seulement une centaine d'échantillons pour toute l'Afrique de l'Ouest. En outre, l'étude réalisée par Hounkpè *et al.* (2007) sur les abeilles du Nord du Bénin indique que celles-ci appartiennent à la sous-espèce *Apis mellifera adansonii*, avec la présence de deux différentes formes d'abeilles mellifères : l'une jaune, plus petite et l'autre noire et plus grande. De plus, l'étude des caractéristiques morphométriques de l'abeille *Apis mellifera adansonii*, au Nord-Est du Bénin, suggère l'existence d'autres sous-espèces autres que *Apis mellifera adansonii* (Paraïso *et al.*, 2011). De ces constats, il ressort que les abeilles mellifères d'Afrique occidentale sont mal connues. L'étude de leur morphologie et des régions qu'elles occupent est à peine ébauchée (Gadbin *et al.*, 1979). En effet, contrairement aux abeilles européennes, dont les caractéristiques et la répartition géographique sont connues avec précision, l'inventaire des sous-espèces d'*Apis mellifera* du continent africain, ainsi que leur répartition géographique, restent encore incomplets (Morse et Hooper, 1985).

Des données existent sur la sous-espèce locale *Apis mellifera adansonii* présente en Afrique de l'Ouest (Gadbin *et al.*, 1979 ; Paraïso *et al.*, 2011 ; Kelomey *et al.*, 2016 ; Paraïso *et al.*, 2017). Mais à ce jour, les recherches n'ont pas encore concerné les écotypes présents en Côte d'Ivoire. Peu d'études ont été menées en vue de déterminer les différentes sous-espèces d'abeilles ainsi que d'éventuelles différenciations phytogéographiques au sein de ces races présentes. Au plan morphologique, très peu de données permettent de caractériser avec précision les différentes sous-espèces locales. Au niveau génétique, le constat est le même avec très peu d'études publiées (Franck *et al.*, 2001 ; Szalanski et Magnus, 2010).

De ces constats, les principales questions qui ressortent sont :

- (i) Existe-t-il plusieurs écotypes d'abeilles mellifiques en Côte d'Ivoire ?
- (ii) Ces écotypes sont-ils fonction du zonage agro-écologique ?

C'est pour répondre à ces questions que ces travaux ont été initiés, avec pour objectif général, de connaître la diversité morphologique des populations d'abeilles mellifiques dans trois régions phytogéographiques d'apiculture de la Côte d'Ivoire.

Spécifiquement, il s'est agi de :

- déterminer les caractéristiques morphométriques classiques des abeilles mellifiques dans trois régions phytogéographiques d'apiculture de la Côte d'Ivoire ;
- déterminer les caractéristiques morphométriques géométriques des abeilles mellifiques dans trois régions phytogéographiques d'apiculture de la Côte d'Ivoire ;
- identifier d'éventuelles variations de ces écotypes d'abeilles en fonction du zonage agro-écologique.

Il résulte de toutes ces investigations un manuscrit qui est structuré en quatre grandes parties.

La première partie fait la synthèse bibliographique qui comporte deux chapitres. Le premier chapitre est relatif aux **Généralités sur l'abeille** traitant de l'évolution et de l'origine de l'abeille, de la dynamique des populations d'abeilles, de l'organisation sociale, des maladies et des parasites de l'abeille. Le second chapitre aborde **l'importance de la morphométrie des abeilles** qui définit la biométrie et présente les différentes méthodes d'analyse biométrique.

La deuxième partie, composée de deux chapitres, est relative **au matériel et aux méthodes** utilisés pour atteindre les objectifs de ce travail. Dans cette partie, le matériel biologique utilisé, les différentes méthodes morphométriques et statistiques utilisées pour l'analyse de la variation des paramètres morphologiques sont présentées de façon détaillée.

La troisième partie traite des résultats relatifs à l'enquête et aux analyses morphométriques obtenus sur les abeilles ouvrières. Il s'agit dans cette dernière section des analyses de morphologie classique et de morphologie géométrique de la conformation des ailes antérieures.

La quatrième partie concerne la discussion de l'ensemble des résultats morphométriques obtenus.

PREMIÈRE PARTIE :
SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS SUR LES ABEILLES

1.1. Systématique des abeilles

Il existe de nombreuses espèces d'abeilles, connues et exploitées par l'homme depuis bien longtemps. Ce n'est que récemment qu'a été établie une classification basée non seulement sur les caractères physiques et la répartition géographique mais également sur la phylogénie (Toullec, 2008).

C'est Linnaeus (1758), médecin et botaniste suédois, qui décrit pour la première fois et donna le nom *Apis mellifera* à l'abeille occidentale en 1758. Le terme *mellifera* vient du latin « *mellis* » miel et « *ferre* » porter et signifie qu'elle « porte du miel ». Il fut proposé au XIX^e siècle simultanément, par Kirby (1802) et Latreille (1802), une première classification globale pour les abeilles au sens large. Michener (1944) proposa par la suite, grâce à de nombreuses observations, la première classification moderne des abeilles dans sa thèse de doctorat. Cette classification évoluera, par la suite, grâce à des analyses moléculaires (Danforth *et al.*, 2006a ; Danforth *et al.*, 2006b).

Les abeilles sont des insectes sociaux appartenant à la superfamille des Apoïdea et à l'ordre des Hyménoptères qui comprend, à ce jour, 198 000 espèces réparties en 91 familles. La superfamille des Apoïdea regroupe près de 20 000 espèces réparties en sept familles : Colletidae, Andrenidae, Halictidae, Melittidae, Megachilidae, Anthrophoridae et Apidae (Michener, 2000). La famille des Apidae regroupe toutes les abeilles eusociales dont l'abeille domestique et comprend trois sous-familles qui sont les Xylocopinae, les Nomadinae et les Apinae. Cette dernière contient de nombreuses tribus dont celle des Apini qui regroupe les abeilles sociales parfois appelées abeilles à miel « vraies », caractérisées par la présence d'organes de collecte du pollen (brosse à pollen, corbeille à pollen, etc.) (Ruttner, 1988 ; Michener, 2007). Ces abeilles sociales vivent en colonie et se partagent les tâches, ce qui se traduit par une différence morphologique marquée entre la reine et les ouvrières. La sous famille des Apinae comprend un seul genre, le genre *Apis* (abeilles proprement dites) réparti en plusieurs espèces. Le nombre d'espèces d'abeilles mellifères diffère selon les auteurs. Originellement, quatre espèces d'abeilles du genre *Apis* ont été décrites : les abeilles asiatiques (*Apis florea*, *Apis dorsata*), l'abeille orientale (*Apis cerana*) et l'abeille occidentale (*Apis mellifera*) (Le Conte, 2002).

C'est seulement durant ces 15 dernières années que de nouvelles espèces d'abeilles mellifères ont été identifiées. Michener a nommé 11 espèces du genre *Apis* qui se répartissent en trois groupes (Michener, 2007 ; Le Conte et Navajas, 2008 ; FAO, 2010) :

- les abeilles “naines” : *Apis florea* Fabricius et *Apis andreniformis* Smith ;
- les abeilles “géantes” : *Apis dorsata* Fabricius, *Apis laboriosa* Smith, *Apis binghami* et *Apis breviligula* ;
- les abeilles “cavitaires” : *Apis mellifera* Linnaeus, *Apis cerana* Fabricius, *Apis koschevnikovi* Enderlein, *Apis nuluensis* Tingek, *Apis nigrocincta* Smith.

Cependant, il est probable que *Apis binghami* et *Apis breviligula* soient des sous-espèces d'*Apis dorsata* (Le Conte, 2002). Toutes les espèces d'abeilles du genre *Apis* sont répertoriées dans les zones tropicales du Sud-Est asiatique à l'exception de *Apis mellifera* (Figure 1) (Ruttner, 1988).

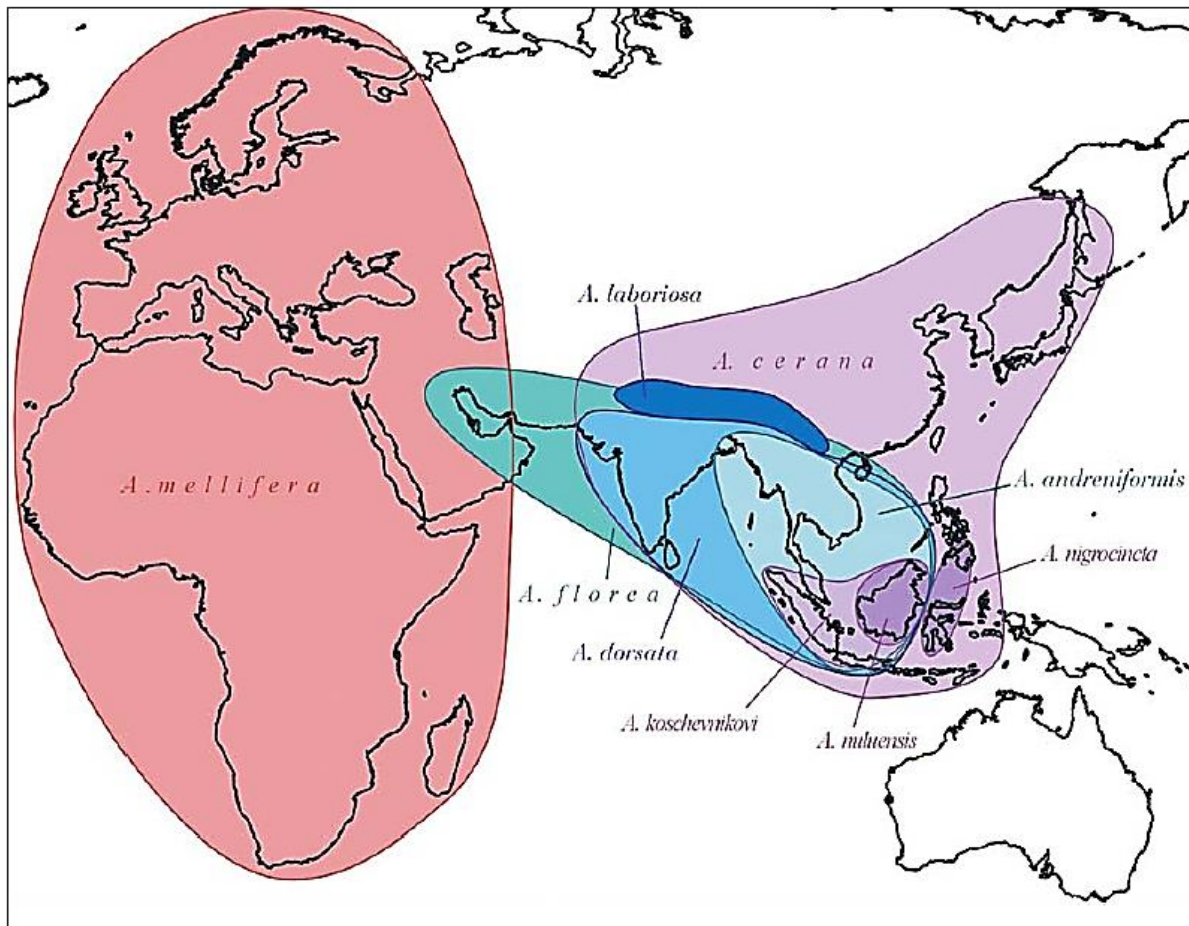


Figure 1 : Aire de répartition des neuf espèces d'abeilles du genre *Apis*

(Franck *et al.*, 2000 ; Le Conte et Navajas, 2008)

Les espèces d'abeilles mellifères ont deux modes de nidification. Ces modes de nidification déterminent leur aptitude à être placées dans des ruches fabriquées par l'homme. Certaines espèces font des nids constitués d'une série de rayons parallèles, alors que d'autres espèces nidifient dans un simple rayon. Les espèces qui construisent une série de rayons parallèles, nidifient normalement dans des cavités. Ce comportement leur permet de faire leur nid dans des ruches réalisées par l'homme, ce qui élargit donc les possibilités de conservation et d'élevage de ces abeilles. Les espèces qui construisent des nids composés d'un seul rayon nidifient habituellement en milieu ouvert. Elles ne peuvent pas être placées dans des ruches et ce comportement de nidification à partir d'un seul rayon ne permet pas de pratiquer l'apiculture, même si le miel et les autres ressources produites par ces espèces sont récoltés par certaines sociétés (FAO, 2010).

Parmi les espèces d'abeilles mellifiques, *Apis mellifera* est la plus répandue dans le monde et la plus utilisée en apiculture du fait de ses grandes potentialités pour la récolte du miel (Le Conte et Navajas, 2008). Elle a une aire de répartition naturelle qui s'étend de l'Afrique à l'Europe et à l'Asie centrale. Cependant, suites aux importations dues notamment aux migrations humaines, *Apis mellifera* est actuellement présente dans le monde entier (Bertrand, 2013). Face à la grande diversité de climats et d'habitats, la sélection naturelle a abouti en une différenciation d'*Apis mellifera* en plusieurs sous-espèces adaptées chacune à son milieu. Une sous-espèce peut se définir comme «un ensemble d'individus ayant en commun certains caractères et une histoire évolutive à une échelle plus faible que celle de l'espèce» (Lherminier et Solignac, 2000).

Trente sous-espèces de *Apis mellifera* ont été recensées sur la base de critères morphologiques, génétiques, écologiques et biologiques (Ruttner, 1988 ; Sheppard et Meixner, 2003 ; Meixner *et al.*, 2011 ; Meixner *et al.*, 2013) (Tableau 1).

Apis mellifera adansonii est une sous-espèce largement répartie en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale. Sa morphologie varie selon les milieux où elle vit. *Apis mellifera adansonii* est caractérisée par une petite taille et un poids moyen de 85 mg. Elle construit 1000 à 1050 alvéoles au dm^2 correspondant en moyenne à 4,7 mm de diamètre par alvéole (Ndola, 2015).

Tableau 1 : Répartition originelle des sous-espèces d'abeilles *Apis mellifera* (Ruttner, 1988)

Aires géographiques	Espèces	Sous-espèces
Asie centrale	<i>Apis mellifera</i>	<i>pomonella</i> (Sheppard and Meixner, 2003)
		<i>anatoliaca</i> (Maa, 1953)
Proche- orient	<i>Apis mellifera</i>	<i>adami</i> (Ruttner, 1975)
		<i>cypria</i> (Pollmann, 1879)
		<i>syriaca</i> (Buttel-Reepen, 1906)
		<i>meda</i> (Skorikov, 1929)
		<i>caucasica</i> (Gorbatchev, 1916)
Afrique tropicale	<i>Apis mellifera</i>	<i>armeniaca</i> (Skorikov, 1929)
		<i>lamarckii</i> (Cockerell, 1906)
		<i>yemenitica</i> (Ruttner, 1975)
		<i>litorea</i> (Smith, 1961)
		<i>scutellata</i> (Lepeletier, 1836)
		<i>adansonii</i> (Latreille, 1804)
		<i>monticola</i> (Smith, 1961)
		<i>capensis</i> (Escholtz, 1821)
		<i>unicolor</i> (Latreille, 1804)
		<i>major</i> (Ruttner, 1978)
Afrique du nord	<i>Apis mellifera</i>	<i>sahariensis</i> (Baldensperger, 1924)
		<i>intermissa</i> (Buttel-Reepen, 1906)
		<i>major</i> (Ruttner, 1978)
Europe	<i>Apis mellifera</i>	<i>iberiensis</i> (Goetze, 1964)
		<i>mellifera</i> (Lineus, 1758)
		<i>sicula</i> (Montagano, 1911)
		<i>ligustica</i> (Spinola, 1806)
		<i>cecropia</i> (Kiesenwetter, 1860)
		<i>macedonica</i> (Ruttner, 1987)
		<i>carnica</i> (Pollmann, 1879)
		<i>ruttneri</i> (Sheppard, 1997)
		<i>sypria</i> (Pollmann, 1979)
		<i>remipes</i> (Gerstaecker, 1862)

La position systématique de l'espèce *Apis mellifera* selon Adam (2010a) est la suivante :

Règne : Animal

Embranchement : Arthropodes

Sous-embranchement : Mandibulates ou Antennates

Classe : Insectes

Sous-classe : Ptérygotes

Ordre : Hyménoptères

Sous-ordre : Apocrites

Infra-ordre : Aculéates

Super-famille : Apoïdea

Famille : Apidae

Sous-famille : Apinae

Tribu : Apini

Genre : *Apis*

Espèce : *Apis mellifera* (Linnaeus)

Sous-espèce : *Apis mellifera adansonii*

1.2. Morphologie externe des abeilles

L'abeille est couverte d'une peau protectrice appelée *exosquelette*, pourvue de soies et de poils robustes. Cet exosquelette est formé de trois couches : la cuticule, l'épiderme et la membrane basale. Ces trois couches donnent à l'abeille une souplesse et une robustesse. L'exosquelette confère à l'insecte sa rigidité et permet l'ancrage des muscles. Il le protège des intempéries et des prédateurs (Biri, 1999).

Du point de vue morphologique, le corps de l'abeille se divise en trois parties : la tête, le thorax et l'abdomen (Figure 2).

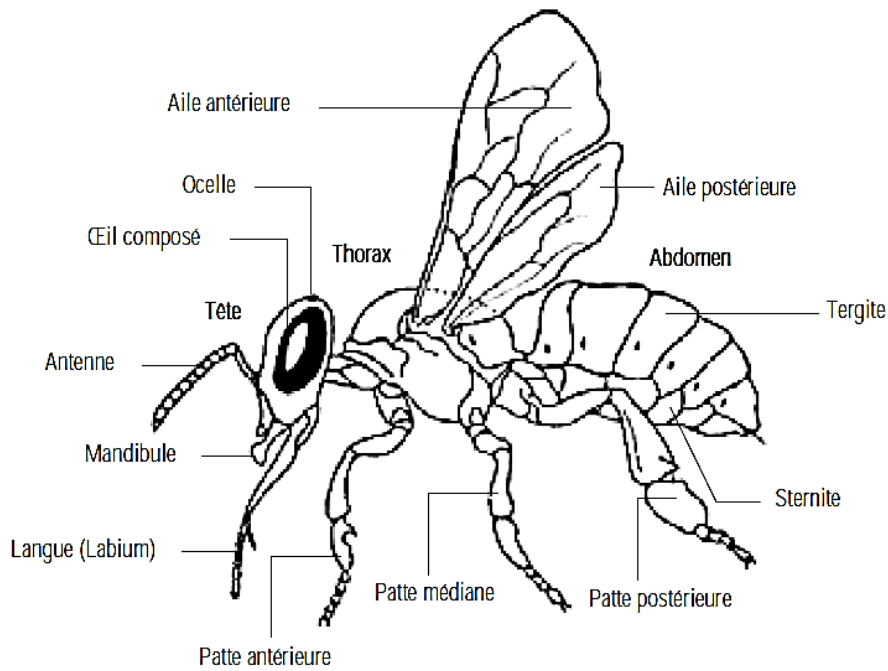


Figure 2 : Anatomie générale d'une abeille ouvrière (*Apis mellifera* L.) (Blackistone, 2009)

1.2.1. Tête

La tête est de forme ovoïde chez la reine, plus ou moins triangulaire ou sub-pyramidale chez l'ouvrière et arrondie chez le mâle. Elle comporte les pièces buccales, les yeux, les antennes et les poils sensitifs (Figure 3) (Biri, 1999).

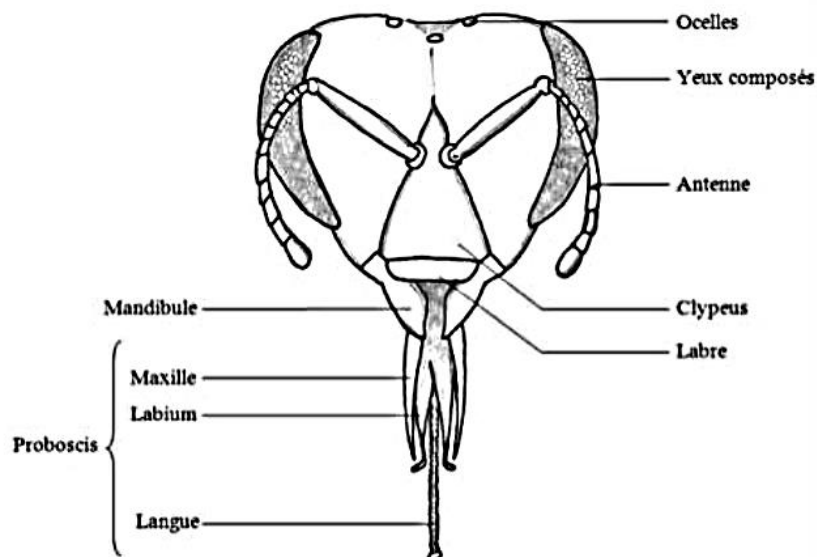


Figure 3 : Vue de face de la tête d'une abeille ouvrière (Lequet, 2010)

1.2.1.1. Yeux

Les abeilles possèdent deux yeux composés à facettes sur les côtés de la tête et trois yeux simples ou ocelles formant un triangle sur le haut de la tête (Biri, 1999 ; Jean-Prost et Le Conte, 2005)

Les yeux composés sont constitués chacun d'une juxtaposition d'un très grand nombre d'yeux élémentaires appelés facettes ou ommatidies. Ils sont compris entre 4 000 et 8 000 par œil. Chacune de ces ommatidies agit comme un récepteur visuel indépendant et la somme des informations de chaque facette permet, après réunion au sein du nerf optique, la reconstitution d'une image (Perrelet, 1970). Ces yeux procurent à l'abeille une très bonne vision à longue distance et lui permettent d'orienter son vol par rapport au soleil car elle est sensible à la lumière polarisée (Gribakin, 1969 ; Backhaus, 1993).

Les yeux simples ou ocelles ne permettent pas, quant à eux, de former des images mais agissent comme des récepteurs de la lumière et de l'obscurité. Ces différences de clarté que perçoit l'abeille lui permettent d'orienter son vol et de changer de direction au besoin. C'est notamment grâce aux ocelles que les butineuses se rendent compte qu'il se fait tard et qu'il est temps de rentrer à la ruche avant la nuit (Schricker, 1965).

1.2.1.2. Antennes

Les abeilles possèdent une paire d'antennes segmentées dressée entre les yeux. Ces antennes représentent en fait le nez de l'abeille. Chacune d'entre elles est constituée d'un flagelle comprenant 11 articles (mâles) ou 10 articles (reine et ouvrière) attaché à un scape par le pédicelle de la base. Le rôle olfactif des antennes fut découvert en 1967 par Karl Von Frish. Les antennes sont de véritables organes sensoriels qui assurent entre autres l'ouïe et l'odorat. Ils permettent de capter les variations d'humidité, de température, ou encore le niveau de dioxyde de carbone dans l'atmosphère (Jean-Prost et Le Conte, 2005).

1.2.1.3. Appareil buccal

L'appareil buccal des abeilles domestiques est de type broyeur-lécheur. Il est composé d'un labre qui ferme la cavité buccale vers l'avant sous le clypeus, de deux mandibules qui ferment

la cavité buccale sur les côtés et du proboscis ou trompe qui ferme la cavité buccale vers l'avant (Adam, 2010b).

Le proboscis est quant à lui constitué de maxilles, de palpes labiaux et de la langue (ou glosse). Il forme un ensemble mobile et extensible, replié sous la tête au repos et étendus lorsque l'abeille prélève un liquide et qui sert à butiner en pompant le nectar dans le calice des fleurs. La longueur de la langue permet de distinguer les races d'abeilles (Adam, 2010a).

Les mandibules, puissantes, ont de multiples fonctions, telles que la préhension de matières solides, le travail de la cire, la récolte et le travail de la propolis et la défense contre les ennemis de moindre taille (Winston, 1993 ; Adam, 2010a).

1.2.2. Thorax

Le thorax est constitué de trois segments soudés.

- Le **prothorax**, très réduit, porte la première paire de pattes (pattes antérieures).
- Le **mésothorax** porte la deuxième paire de pattes (pattes médianes ou mésothoraciques). Ce segment thoracique est le plus développé et le plus puissant. Il contient les muscles alaires destinés à faire vibrer les ailes antérieures.
- Le **métathorax** porte la troisième paire de pattes (pattes postérieures ou métathoraciques). Ce dernier est réduit ainsi que la paire d'ailes qu'il porte (Snodgrass, 1956).

Il porte les éléments locomoteurs de l'abeille : trois paires de pattes et deux paires d'ailes membraneuses (Snodgrass, 1956 ; Winston, 1993 ; Biri, 1999).

1.2.2.1. Pattes

Il y a trois paires de pattes (antérieures, médianes et postérieures) sur le thorax, soit une paire par segment thoracique. La paire de pattes postérieure est spécialisée dans la récolte de pollen avec, notamment, une corbeille à pollen située sur face externe du tibia et bordée de soies raides, le peigne, qui maintient la pelote de pollen dans la corbeille à pollen. Toutes les pattes présentent la même construction de base. Elles sont très mobiles et se composent de cinq articles :

- la hanche ou coxa ;
- le trochanter ou cuisse ;

- le fémur ;
- le tibia ;
- le tarse divisé en cinq articles.

L'article terminal du tarse porte deux griffes entre lesquelles se trouve un coussinet. Ce dernier sert à l'adhésion sur les surfaces lisses, tandis que les griffes permettent l'accrochage aux surfaces rugueuses (Figure 4) (Jean-Prost, 1977 ; Biri, 1999).

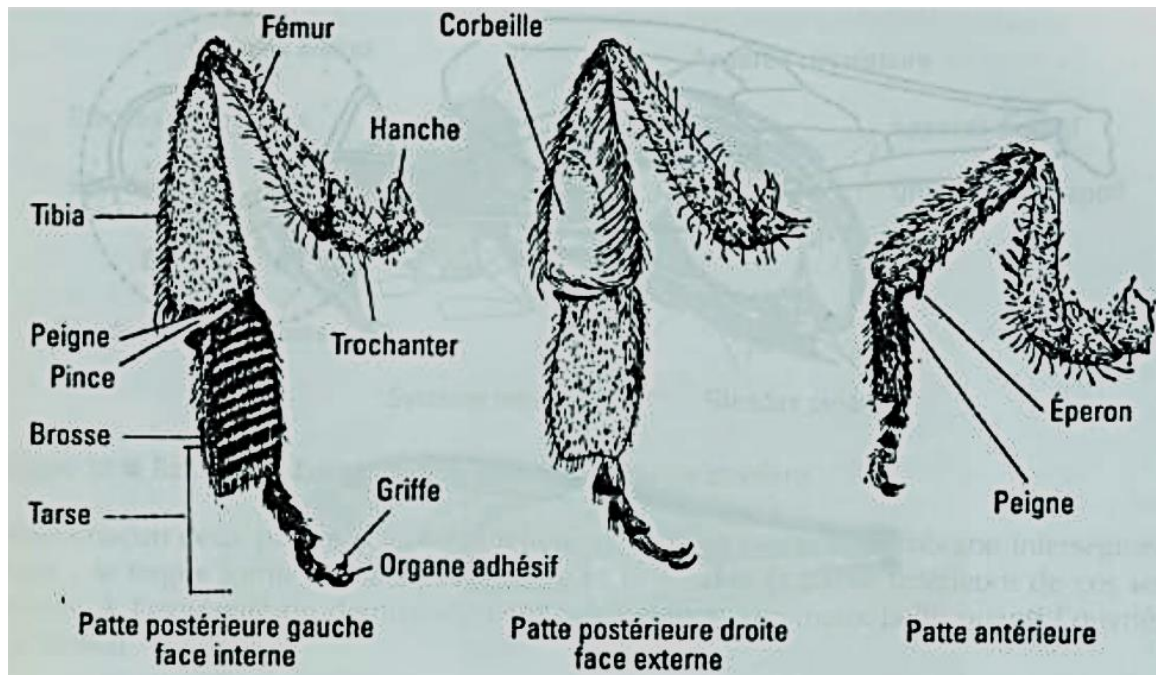


Figure 4 : Organisation des pattes de l'ouvrière (Jean-Prost et Le Conte, 2005)

1.2.2.2. Ailes

Les ailes ne sont pas des appendices vrais comme les pattes. Ce sont de fines excroissances du squelette qui ont été substantiellement modifiées pour le vol. Leur fonction principale est donc la locomotion aérienne. Elles servent également à l'aération de la ruche et à la dissémination de phéromones (Winston, 1993 ; Dessart, 1994).

Les ailes antérieures et postérieures sont reliées entre elles par 20 crochets fins situés en bordure des ailes postérieures. Elles sont actionnées par des muscles alaires verticaux et longitudinaux. La forme de certaines cellules formées par les veines alaires permet de différencier les races d'abeilles (Adam, 2010b).

1.2.3. Abdomen

L'abdomen est formé de sept segments visibles contenant les organes viscéraux (Jean-Prost, 1987 ; Catays, 2016). Sur les côtés de chaque segment se trouvent deux orifices trachéens ou stigmates, qui servent à la respiration (Biri, 1999). La coloration du troisième segment « 2^e anneau visible » de l'abdomen, ainsi que la longueur des poils du sixième segment « 5^e anneau visible » sont utilisées comme caractères pour différencier les races et les sous races (écotypes) d'abeilles (Jean-Prost, 1987). Le dernier anneau de l'abdomen, sauf chez les faux-bourçons, possède un aiguillon qui est une arme de défense et d'attaque (Winston, 1993 ; Biri, 1999).

1.3. Organisation sociale des abeilles

L'abeille domestique *Apis mellifera* est un insecte social qui vit en colonie de 20 000 à 40 000 individus (Page et Peng, 2001). La structuration sociale de la colonie repose sur une organisation en castes. Une caste est un groupe d'individus de morphologie identique ou ayant le même âge, et qui accomplissent une tâche spécifique, par exemple la reproduction (Winston, 1987). On distingue trois castes : la reine, les mâles et les ouvrières (Catays, 2016).

1.3.1. Caste de la reine

La reine (Figure 5A) est la seule femelle fertile de la colonie (Winston, 1993). Dans ses premiers jours de vie, elle s'accouple à l'extérieur de la ruche, avec 6 à 30 mâles successivement (Oldroyd et Crozier, 1996). Le sperme est stocké dans une poche appelée spermathèque et est utilisé durant toute la vie de la reine. Les œufs sont pondus au fond d'une alvéole de cire. La reine peut pondre jusqu'à 2 000 œufs par jour pendant une vie de 3 à 5 ans (Page et Peng, 2001). La reine se reconnaît par son abdomen développé et son thorax plus volumineux que celui des ouvrières. Elle est incapable de récolter elle-même sa nourriture parce qu'elle est totalement dépourvue d'organes spécialisés tels que les mandibules dentelées et les organes de récolte du pollen (Louveau, 1985). Ce sont donc les ouvrières qui lui fournissent les pollens et les nectars. La reine règne sur le nid et est entourée par des courtisanes. Les phéromones produites par celle-ci sont captées par les ouvrières ; contrôlant ainsi leurs comportements et apportant une glu sociale qui maintient la vie de l'abeille (Winston, 1993).

1.3.2. Caste des mâles

Les mâles (Figure 5C) encore appelés faux-bourçons ont pour rôle fondamental d'assurer la fécondation de la reine vierge lors du vol nuptial (Hrassnigg et Crailsheim, 2005). Ils participent également à la thermorégulation de la ruche en brassant l'air avec leurs ailes. De par leur présence, ils produisent de la chaleur et aident à réchauffer le couvain (Harrison, 1987). Ils sont soignés et nourris par les ouvrières (Jean-Prost et Le Conte, 2005). Par contre, ils se nourrissent des réserves sans participer aux autres activités de la ruche. Pour cette raison, dès que la colonie prépare son entrée en hibernation, les mâles sont soit chassés, soit tués pour limiter la consommation de la ruche (Morse *et al.*, 1967 ; Page et Peng, 2001). Ce sont des individus dont la particularité est d'être issus d'œufs non fécondés et haploïdes (parthénogénèse).

1.3.3. Caste des ouvrières

La caste des ouvrières (Figure 5B) est la caste la plus importante de la colonie. Les ouvrières sont des femelles stériles et ne jouent donc pas de rôle dans la reproduction. Leur fonctionnement ovarien est bloqué par les phéromones produites par la reine. Les ouvrières présentent ainsi des organes reproducteurs atrophiés. À la différence des mâles, le déterminisme de la caste chez les femelles est lié au régime alimentaire. N'importe quelle larve issue d'un œuf fécondé peut être élevée en reine, si elle est nourrie par les ouvrières avec de la gelée royale (Beetsma, 1979 ; Wilde et Beetsma, 1982). Toutes les fonctions, exceptée la reproduction, sont remplies par les ouvrières. Leurs rôles sont variables et sont fonction de leur âge d'où le concept de "polyéthisme d'âge" (Ohashi *et al.*, 2000).

Au cours de leur vie, les ouvrières réalisent d'abord des activités à l'intérieur du nid avant de passer à des tâches à l'extérieur. Les jeunes abeilles qui émergent de leurs cellules sont incapables de voler et de piquer (Winston, 1987). Elles consacrent donc les premiers instants de leur vie à l'acquisition de ces habiletés. Elles restent cantonnées au nid, où elles assurent la construction des rayons, le nettoyage des cellules et l'alimentation des larves, de la reine et des mâles. Ces activités sont effectuées en moyenne jusqu'au 16^{ème} jour (Dessart, 1994). Enfin, les ouvrières les plus âgées effectuent les tâches à l'extérieur du nid à savoir la défense de la colonie et le butinage (Moore *et al.*, 1987 ; Giray *et al.*, 2000).

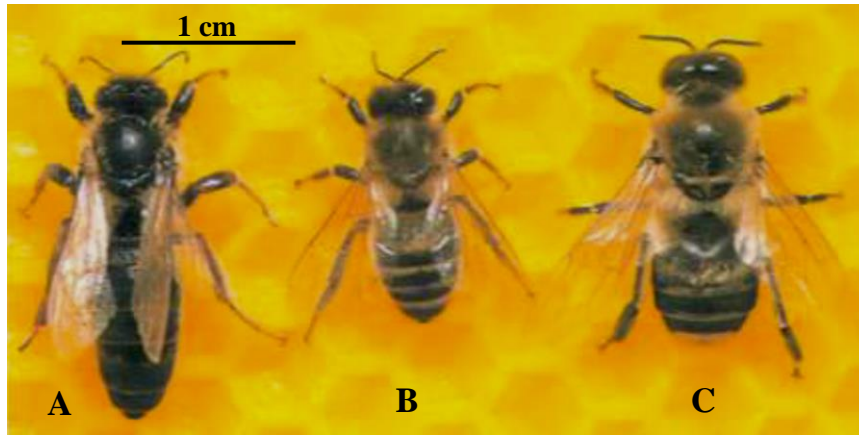


Figure 5 : Les trois castes d'une colonie d'abeilles (Adam, 2010b)

A : la reine, B : l'ouvrière et C : le faux-bourdon

1.4. Évolution des abeilles

L'apparition des abeilles sur la terre a eu lieu bien avant celle des Hommes. En effet, les hommes modernes, sous la forme *Homo sapiens*, seraient apparus il y a 100 000 à 200 000 ans, tandis que les premières abeilles seraient apparues pendant le Crétacé, il y a entre 145 et 66 millions d'années (Grimaldi, 1999). Ces estimations sont basées sur l'étude de fossiles. Le plus vieux d'entre eux fut trouvé dans une mine d'ambre du Nord de la Birmanie en 2006. Il s'agit de *Melittosphex burmensis* dont l'âge a été estimé à environ 80 millions d'années (Poinar et Danforth, 2006). L'analyse de sa morphologie indique qu'il appartenait à une famille d'insectes Apoïdea collecteurs de pollen ayant disparu de nos jours. Cette abeille possédait des caractères propres aux abeilles mais également des traits typiques des guêpes. Cela conforte l'hypothèse selon laquelle abeilles et guêpes auraient un ancêtre commun.

L'ancêtre des abeilles serait probablement un insecte africain. En effet, avec le séquençage de l'intégralité du génome de l'abeille en 2006, de nouveaux marqueurs de l'ADN génomique ont été identifiés. Ceux-ci ont permis d'émettre l'hypothèse selon laquelle *Apis mellifera* serait originaire d'Afrique (Whitfield, 2006 ; Michez, 2007). Cette lignée Africaine (lignée A) aurait permis la mise en place de trois lignées évolutives vers l'Eurasie, au cours de trois vagues de migration : une migration vers l'Europe, via le détroit de Gibraltar, à l'origine de la lignée M (Ouest Européenne) et deux migrations vers l'Est, à l'origine des lignées C (Nord Méditerranéenne) et O (Orientale) (Ruttner, 1988 ; Whitfield, 2006). Aujourd'hui, cinq lignées évolutives sont répertoriées, avec une nouvelle lignée : la lignée Y décrite par Franck *et al.*

(2000) en étudiant des microsatellites de l'ADN mitochondrial. La lignée Y comprend la sous-espèce *Apis mellifera jemenitica* et *Apis mellifera simensis*. Ces lignées ont subi des pressions de sélection différentes (conditions climatiques, agents pathogènes, prédateurs, parasites) et se sont adaptées à leurs milieux. Ce qui a conduit à une adaptation des espèces et à l'apparition de sous-espèces. Celles-ci ont une variabilité génétique mais peuvent se reproduire entre elles et ainsi se métisser entre sous-espèces (Toullec, 2008). Une sous-espèce peut être divisée en écotypes. On appelle écotype une population d'abeilles d'une sous-espèce donnée qui a évolué différemment dans une région précise. Un écotype, quand il se déplace d'un biotope à un autre, garde son particularisme (Kerr *et al.*, 1982).

L'aire de répartition naturelle de l'abeille domestique s'étend à l'Afrique, à l'Europe et au Moyen-Orient mais suites aux importations dues notamment aux migrations humaines, *Apis mellifera* est, actuellement, présente dans le monde entier. Sur le continent américain, les abeilles du genre *Apis* étaient à l'origine absentes, malgré l'existence d'autres tribus comme les mélipones (abeilles sans dard). Pour des soucis de productivité, l'abeille domestique *Apis mellifera* y a été importée par des colons européens à partir du XVII^e siècle. En 1956, quelques reines d'*Apis mellifera scutellata*, d'origine africaine, fut importées au Brésil. Ces dernières se sont très bien acclimatées au climat tropical et ont colonisé progressivement le continent, jusqu'aux États-Unis, mais leurs croisements avec des abeilles européennes ont engendré des hybrides très agressifs, appelés « abeilles africanisées » ou « abeilles tueuses » (Kerr *et al.*, 1982).

1.5. Dynamique des populations d'abeilles

Une colonie d'abeille est constituée de l'ensemble des individus peuplant une ruche. Cette appellation trouve son équivalent en écologie dans le terme de « Population », mais reste ambiguë, dans la mesure où une abeille isolée est incapable de survie. C'est pour cette raison qu'on se réfère souvent au concept de « Super organisme » pour décrire l'état de dépendance d'une abeille vis-à-vis de sa colonie (Wilson, 1975 ; Moritz et Southwick, 1992).

Une colonie d'abeille est monogyne, c'est-à-dire qu'elle ne contient qu'une reine, mère de tous les autres individus. Selon la saison et le climat, la colonie comporte 15 000 à 16 000 ouvrières et 0 à 6 000 mâles, appelés faux bourdons (Büchler *et al.*, 1992). Les abeilles fournissent un effort important pour la collecte du nectar, sa transformation et sa maturation en miel. Une fois

le nectar stocké, dans les alvéoles de cire, il fournira l'énergie indispensable à la survie de la colonie durant les périodes de disette (Vandame, 1996).

L'évolution de la reine suit un cycle. Du cinquième au quinzième jour après sa naissance et par un temps calme et chaud, la reine effectue une ou plusieurs sorties de repérage suivies d'un ou de plusieurs vols de fécondation (Ruttner, 1956). Elle est par la suite fécondée par plusieurs mâles (6 à 30 faux-bourçons). La reine stocke le sperme des mâles dans une spermathèque, afin de l'utiliser durant sa vie, au rythme d'un spermatozoïde lors de chaque ponte. Un mécanisme musculaire permet à la reine de choisir de pondre un œuf fécondé (diploïde), qui se développera en une femelle, ou un œuf non fécondé (haploïde), qui se développera en un mâle (mécanisme de parthénogenèse arrhénotoque). La reine étant fécondée successivement par plusieurs mâles, la population d'abeilles est divisée en sous-populations de sœurs, appelées « fratries ». La question reste de savoir si les comportements de gardiennage ou d'élevage du couvain sont dirigés de façon sélective vers les diverses fratries (Vandame, 1996). La quantité de sperme s'épuise au cours de la 3^e année, il convient alors de changer les reines à la fin de la 2^e année (Oldroyd et Crozier, 1996). Des conditions climatiques extrêmes peuvent aussi provoquer un arrêt total de la ponte de la reine, ce qui entraîne une chute importante de la population de la ruche (Vandame, 1996).

La vie adulte d'une ouvrière est rythmée par diverses activités requérant progressivement une maturation plus importante du système nerveux, mais dont la succession est définie par les besoins de la colonie et les contraintes ou opportunités de l'environnement, dans une certaine plasticité comportementale (Giray et Robinson, 1994). La durée de vie d'une ouvrière est directement corrélée à l'effort fourni. En effet, lorsque les réserves accumulées dans les muscles du vol des butineuses sont épuisées, celles-ci sont incapables de synthétiser de nouveaux glycogènes et meurent (Neukirch, 1982). La vie d'une ouvrière peut être divisée en plusieurs grandes phases.

Pendant les cinq premiers jours de sa vie, l'ouvrière assure le nettoyage de la ruche. Du cinquième au quinzième jour, les glandes cirières entrent en activité, ce qui permet à l'ouvrière de construire de nouveaux rayons et d'operculer le couvain, puis de travailler à la défense de la colonie. Du quinzième au vingtième jour, elle effectue quelques vols d'orientation et de suivi de danses des butineuses. C'est à partir du vingtième jour qu'elle sort de la ruche pour butiner. L'activité de butinage requiert des capacités développées du système nerveux, afin de pouvoir interpréter les signaux de l'environnement et communiquer avec les autres abeilles butineuses, et seules les plus âgées des abeilles sont capables de s'y appliquer (Zhang *et al.*, 1995).

1.6. Maladies et parasites de l'abeille *Apis mellifera*

La ruche est propice aux maladies. En effet, c'est un milieu confiné et abritant un grand nombre d'individus. Par ailleurs, une température et une humidité élevées ainsi que des échanges continus de nourriture et de contact entre individus constituent des conditions favorables au développement des maladies.

Les agents biologiques les plus couramment impliqués dans les mortalités de colonies d'abeilles sont des parasites (*Varroa destructor*, *Acarapis woodi*, *Tropilaelaps clerae*), des protozoaires (*Nosema apis* et *Nosema ceranae*), des bactéries (loques américaine et européenne) et des virus (virus de la paralysie aiguë, virus de la paralysie chronique, virus des ailes déformées, etc.) (Cox-Foster *et al.*, 2007).

1.6.1. Bactéries

Parmi les bactéries pathogènes qui attaquent le couvain, on peut citer la loque américaine, causée par *Bacillus larvae*. *Bacillus larvae* a le pouvoir de sporuler quand les conditions pour sa multiplication ne sont pas remplies. La transmission dans la ruche se fait par l'intermédiaire des spores à l'occasion des échanges de nourriture entre les abeilles adultes puis entre les nourrices et les larves (Medori et Colin, 1982). La loque américaine est une maladie grave et très contagieuse présente dans le monde entier. Elle est la plus sévère des maladies du couvain de l'abeille domestique et peut entraîner la mort de la colonie engendrant ainsi des pertes économiques considérables (Jean-Prost et Le Conte, 2005).

La loque européenne est, quant à elle, causée par *Melissicoccus pluton*, en association avec d'autres bactéries. Cette bactérie s'attaque exclusivement au couvain non operculé, donc ayant moins de 5 jours. Les individus infectés peuvent parfois survivre, ils seront simplement sous-développés à la naissance à cause de leur mauvaise alimentation (Forsgren, 2010). Un apport de pollen extérieur est généralement suffisant pour permettre aux colonies de surmonter la maladie, bien que des pertes importantes aient été signalées par le passé (Jean-Prost et Le Conte, 2005). Les seuls traitements efficaces actuellement contre ces protozoaires et ces loques sont les antibiotiques, mais la présence de résidus dans le miel fait que ceux-ci sont prohibés. En effet, l'ingestion de miel contenant ces résidus peut présenter des effets toxiques chez le consommateur.

1.6.2. Virus

Un certain nombre de virus ont été observés chez le genre *Apis*. Certains sont présents de façon latente et quelque fois en grande quantité chez les abeilles, sans provoquer de signes notables (Tentcheva *et al.*, 2004). Pour des raisons encore inconnues, ces virus peuvent devenir très pathogènes pour les abeilles, entraînant des tremblements et une paralysie reconnaissable à l'entrée de la colonie. On peut citer les virus de la paralysie chronique (CPV) ou aiguë (APV). Ces virus peuvent être transmis par *Varroa destructor*. Certains sont transmis horizontalement des adultes malades aux couvains lors des contacts de trophallaxie ou verticalement via le sperme du mâle ou via les œufs de la reine (Boecking et Genersch, 2008). L'infection virale peut entraîner des anomalies physiques chez les adultes telles que les déformations des ailes (Marcangeli *et al.*, 1992), la réduction de la capacité du vol et de la longévité des ouvrières (Amdam *et al.*, 2004).

1.6.3. Protozoaires

Nosema apis est une microsporide, qui attaque la paroi de l'intestin moyen chez l'abeille adulte. La maladie peut évoluer de façon inapparente ou se manifester par un affaiblissement de la colonie pouvant conduire à la mort. L'infestation des colonies est latente. La maladie apparaît essentiellement au début du printemps après des hivers longs et humides : les abeilles, empêchées de sortir, laissent tomber dans la ruche les excréments qui constituent une source de contagion pour les autres abeilles. *Nosema cerana* est une autre espèce de microsporide, proche de *Nosema apis* (Fries *et al.*, 1996). Elle parasite *Apis cerana* et passa sur *Apis mellifera* au cours d'échanges de matériel génétique. Elle a été identifiée aussi en Europe (Fries *et al.*, 1996 ; Higes *et al.*, 2006). Les signes qu'elle induit chez l'abeille sont différents de ceux causés par *Nosema apis*. Ce parasite est considéré comme responsable d'importantes dépopulations d'abeilles en Espagne (Higes *et al.*, 2006).

1.6.4. Acariens

Acarapis woodi est un parasite microscopique qui ne peut vivre en dehors des trachées des abeilles *Apis mellifera* et *Apis cerana*. Il se loge et se reproduit dans les trachées respiratoires

des jeunes ouvrières âgées de moins de 9 jours qu'il finit par étouffer (Medori et Colin, 1982 ; Sammataro *et al.*, 2000). Il ne constitue plus, actuellement, un fléau pour l'apiculture mondiale.

Apis mellifera est aussi parasitée par *Varroa destructor* qui détruit les colonies d'*Apis mellifera* dans le monde entier, à l'exception de l'Australie où il n'est pas encore présent. Il est une raison majeure évoquée par les scientifiques pour expliquer la mortalité des abeilles en général (Rey, 2012). Parasite originaire de l'abeille asiatique *Apis cerana*, il a été transféré sur l'abeille européenne, *Apis mellifera*, au milieu du siècle dernier au cours d'échanges de matériel génétique entre de nombreux pays (Oldroyd, 1999). Sans traitement approprié, les colonies parasitées meurent au bout de deux à trois ans. Ces acariens contribuent à diminuer les réponses immunitaires de l'abeille et favorisent le développement de viroses (Gregory *et al.*, 2005). Ils sont aussi des vecteurs actifs dans la transmission de virus et de bactéries (Yang et Cox-Foster, 2005).

Ces parasites sont devenus résistants aux molécules acaricides utilisées par les apiculteurs pour les contrôler (Milani, 1999). La découverte récente de colonies d'abeilles pouvant tolérer des infestations importantes de *Varroa destructor* dans plusieurs parties du monde notamment aux États-Unis (Harbo et Harris, 2005) et en Europe (Le Conte *et al.*, 2007) permettra de faire face à ce fléau. Bien qu'il n'y ait pas d'étude et de statistiques, les colonies d'*Apis mellifera* semblent moins menacées par des pathologies en Afrique en comparaison à d'autres régions du Monde (Dietemann *et al.*, 2009).

1.7. Apiculture dans le monde et en Côte d'Ivoire

L'apiculture est une branche de l'agriculture qui a pour objet d'élever des abeilles dans le but d'obtenir de manière rentable des produits de la ruche (Catays, 2016). Les produits de la ruche sont divers et variés. Le plus connus d'entre eux est le miel. Il est reconnu pour ses qualités gustatives d'une part et médicales d'autre part (Kus *et al.*, 2014). Il y a également la cire qui est prisée en cosmétologie, pour la fabrication de bougies ou encore de produits d'entretien. La gelée royale est un autre de ces produits, au même titre que le pollen ou la propolis.

La production mondiale de miel, en 2007, était estimée à 1 517 524 tonnes. La Chine est le premier producteur mondial de miel avec 367 219 tonnes produites en 2007, soit 24,2% de la production mondiale. L'Afrique entière représente, quant à elle, à peine 11% de la production mondiale de miel, avec 166 253 tonnes produites en 2007 (Meneau, 2010). Il est cependant important de noter que la production mondiale de miel est très difficilement quantifiable. En

effet, elle est liée à une variation annuelle de la production dans une zone géographique mais aussi au référencement des apiculteurs qui peut être très faible dans les pays en voie de développement. En Afrique, par exemple, plus de la moitié des pays (30) ne possèdent pas de statistiques pour le miel. Les principaux pays africains producteurs de miel sont la Tanzanie, le Madagascar, l'Angola et l'Éthiopie pour l'Afrique tropicale et l'Égypte et le Maroc pour le Nord du continent.

En Côte d'Ivoire, l'activité apicole est une pratique exercée depuis la nuit des temps par les ruraux à travers la cueillette de miel et plus récemment en élevage (Iritie *et al.*, 2014). La plupart des apiculteurs pratiquent également l'agriculture. Ceux-ci, au nombre de 250 environ sur le territoire, détiennent près de 12 000 ruches pour une production estimée à un milliard de Francs CFA par an (MEF, 2008). Trois types de produits sont commercialisés par les apiculteurs. Il s'agit du miel, de la cire et du pollen. Le miel est largement utilisé dans les ménages comme compléments alimentaires et en industrie cosmétique et constitue une source de revenus pour les apiculteurs. Pour la plupart de ces apiculteurs, l'activité apicole constitue une activité secondaire. Elle demeure une activité essentiellement extensive, même si on peut observer une apiculture intensive pratiquée par une minorité dans certaines zones (Ohoueu *et al.*, 2017).

Dans le but de vulgariser les techniques apicoles modernes et contrôler la production de miel, différentes structures et organisation ont été mises en place. Il s'agit de la plateforme nationale apicole, de la Fédération Nationale des Apiculteurs de Côte d'Ivoire et du Bureau Interafricain des Ressources Animales de l'Union Africaine.

1.8. Relations zones de végétation et sélection des abeilles

Au-delà de la fourniture en produits de la ruche qui régaler les papilles ou entretiennent la santé, l'abeille est surtout fondamentale pour l'Homme à travers le service de pollinisation qu'elle lui rend (Barth, 1985). Environ 75% des cultures destinées à l'alimentation humaine sont dépendantes des insectes pollinisateurs, dont l'abeille domestique est le principal représentant (Klein *et al.*, 2007). En effet, des études réalisées sur des champs absolument vierges de pollinisateurs (Bartomeus *et al.*, 2014) ont montré qu'en présence de ceux-ci, les rendements étaient améliorés de 18 à 71% selon l'espèce cultivée. L'activité d'une abeille butineuse est remarquable. Pour remplir son jabot de nectar pour la production de miel, une abeille doit visiter plus de 1 000 fleurs. A l'échelle de la colonie, cela représente plus d'un million de fleurs visitées en une journée. En outre, une abeille peut stocker jusqu'à 500 000

grains de pollen sur une seule de ses pattes postérieures, ce qui donne une idée de la quantité de fleurs qu'elle est susceptible de polliniser (Toullec, 2008).

Le déclin des pollinisateurs est susceptible d'engendrer un déclin des plantes sauvages car 80% d'entre elles sont directement dépendantes de leur travail (Potts *et al.*, 2010). C'est particulièrement vrai pour les espèces qui nécessitent obligatoirement une pollinisation croisée (Aguilar *et al.*, 2006). Bien qu'il y ait de nombreuses façons pour une plante de pallier à une faible pollinisation (par exemple l'auto-fécondation), elles ne peuvent compenser à long terme une diminution chronique de ce service (Bond, 1994).

En général, une ouvrière reste fidèle à une fleur donnée durant un ou plusieurs jours ; et elle récolte et transporte 100 fois plus de nectar que la quantité dont elle a besoin pour elle-même. Les abeilles sont très sélectives dans leur choix ; elles privilégient les sommets très fleuris des frondaisons proches des ruches où elles recherchent les gros fournisseurs de nectar parmi les espèces melittophiles de préférence (Lobreau-Callen et Damblon, 1994).

En zone humide forestière, de nombreux arbres présentent de grandes fleurs colorées odoriférantes produisant de grandes quantités de nectar au cours des deux saisons. Le degré de sélectivité des abeilles vis-à-vis de la flore ne paraît être influencé que par la morphologie florale, la phénologie et les facteurs climatiques les conditionnant ainsi que par la longueur de la langue (Lobreau-Callen et Damblon, 1994).

Les abeilles vivant dans des milieux perturbés, défrichés, cultivés et fortement anthropisés sont parfaitement capables de s'adapter à toutes ces transformations. Ainsi en Côte d'Ivoire, la déforestation au profit des cultures de rente (cacao, palmier à huile, hévéa, coton, anacarde, etc.), vivrières (manioc, igname, maïs, mil, riz, etc.) et fruitiers (mangue, citrus, etc.) a conduit progressivement une substitution de la forêt par une flore spontanée. Dans ces conditions, les abeilles butinent toutes les strates fleuries et ont alors un comportement totalement opposé à celui qu'elles auraient normalement à la même saison. Il semble donc que ces différences de comportement des abeilles liées à la production de nectar soient liées à la structure de la végétation. On peut donc dire que le degré de sélectivité de l'abeille mellifère dans ses activités d'affouragement est intimement lié à la structure de la végétation et donc au climat.

La longueur différentielle de la langue semble être corrélée à la morphologie des fleurs butinées et à la quantité de nectar sécrété. Les abeilles à la langue longue visitent les petites et grandes fleurs et les inflorescences denses produisant de grandes quantités de nectar. Par contre, les abeilles ayant une langue courte préfèrent les petites fleurs et inflorescences avec de faibles

quantités de nectar. La longueur de la langue marque une préférence pour les frondaisons les plus élevées des strates arborées ou arbustives (Lobreau-Callen et Damblon, 1994).

En Côte d'Ivoire, d'après les travaux de Aké-Assi (2002), la flore est riche de 3 853 espèces. Concernant les plantes mellifères, leur inventaire est pour l'instant encore très limité. Les premiers inventaires ont été réalisés par Lobreau-Callen *et al.* (1986). Les inventaires réalisés récemment dans la zone de transition forêt-savane ont révélé une richesse de 121 espèces végétales ligneuses, regroupées en 103 genres et 45 familles (Coulibaly *et al.*, 2013). Celles faites par Iritié *et al.* (2014) dans le Centre de la Côte d'Ivoire ont permis d'identifier 160 plantes mellifères appartenant à 47 familles. Parmi elles, les Leguminosae (15%) et les Euphorbiaceae (7%) étaient majoritaires. Ohoueu *et al.* (2017) ont trouvé que la flore mellifère était plus riche dans le Centre (109 espèces regroupées en 98 genres) que dans le Nord (71 espèces regroupées en 67 genres). Ces résultats démontrent une variation de la flore mellifère en fonction des régions en Côte d'Ivoire.

Malheureusement, les changements globaux observés, liés aux activités humaines dont les défrichements agricoles et l'exploitation forestière, ont actuellement des conséquences dramatiques sur la biodiversité, de manière directe mais également par des disparitions d'espèces en cascade, consécutives de la modification des réseaux d'interaction (FAO, 1981). Il faut signaler par ailleurs, que toutes les plantes ne sont pas mellifères ; certaines ont la capacité d'attirer les insectes pollinisateurs à cause de la diversité floristique importante (couleur, forme et parfum) qui facilite la pollinisation (Alphandéry, 1992).

CHAPITRE 2 : IMPORTANCE DE LA MORPHOMÉTRIE DES ABEILLES

La morphométrie repose sur l'analyse des variations de formes et de leurs covariations avec d'autres variables (Bookstein, 1991). Elle revêt une importance considérable, elle est à la base de tout programme de développement apicole (Canas et Bosacoma, 1989). On désigne par le terme morphométrie, l'application de méthodes mathématiques, en particulier statistiques à la description et à l'analyse des données recueillies sur des caractères biologiques (Anonyme, 1970).

Aujourd'hui la morphométrie dite traditionnelle ou classique (MC) basée sur des mesures de distances entre points plus ou moins homologues sur des organismes ou leurs parties se distingue de la morphométrie géométrique (MG) qui considère la forme de façon indépendante de la taille en tant que conformation géométrique.

2.1. Morphométrie classique

Plusieurs méthodes d'analyse biométrique ont été décrites par Fresnaye (1981). Leurs utilisations reposent essentiellement sur divers paramètres. Ainsi, le choix de la méthode d'analyse doit être en rapport avec la finalité du projet, la précision des analyses et le temps de réalisation. Les méthodes les plus simples coutent moins de temps et fournissent des résultats limités contrairement aux méthodes complexes qui exigent un temps long, mais confèrent des informations plus précises.

Les moyens de réalisation des analyses dirigent aussi le choix des méthodes. C'est ainsi que certains programmes comportant des analyses multifonctionnelles exigent l'emploi d'outils informatiques. Parmi ces méthodes il y a la méthode de l'indice cubital, la méthode de cinq caractères, la méthode des cinq caractères analysés par ordinateur, la méthode "*abeille par abeille*" analysée par ordinateur, l'analyse des 41 caractères morphologiques, etc.

2.1.1. Méthode de l'indice cubital

Cette méthode consiste en un calcul de la moyenne de l'indice cubital sur une trentaine d'abeilles. C'est une méthode très simple mais sujette à d'importantes erreurs. Le fait de condenser deux variables (index A et index B) en une seule entraîne une perte d'information qui pourrait être intéressante pour une étude de discrimination (Tomassone et Fresnaye, 1971).

2.1.2. Méthode des cinq caractères

Les différents caractères à mesurer sont les suivants :

- indice cubital ;
- coloration du deuxième tergite ;
- pilosité du cinquième tergite ;
- tomentum ;
- longueur de la langue.

Les caractères suscités sont les plus utilisés en Europe. L'emploi de cette méthode nécessite du matériel d'optique à savoir une loupe binoculaire ou monoculaire et un micromètre oculaire. Cette méthode renseigne sur la race et l'hybridation et peut être utilisée dans un programme de sélection. Elle a été proposée par Tomassone et Fresnaye (1971). Ils ont montré l'existence de plusieurs écotypes au sein d'une population d'abeilles. Louis et Lefèvre (1971) ont abouti à une discrimination des colonies d'abeilles appartenant à diverses races et écotypes. Cornuet *et al.* (1975) ont classé et discriminé, grâce à cette méthode, huit races d'abeilles et trois hybrides interraciaux. Cette méthode statistique appliquée à diverses populations d'*Apis mellifera mellifera* a fourni une discrimination qui reflète assez bien la discrimination en écotype, fondée sur des observations écologiques.

2.1.3. Méthode "abeille par abeille" analyse par ordinateur

Les caractères utilisés sont ceux de la méthode des cinq caractères. Les mesures obtenues sont traitées par ordinateur. La possibilité de discrimination parfaite des populations d'écotypes différents et partiellement des populations de même écotype ont été évaluées.

2.1.4. Analyse des quarante-et-un caractères morphologiques

Cette méthode a été utilisée par Ruttner *et al.*, (1978). Les mesures ont été effectuées abeille par abeille, les analyses sont traitées par ordinateur. L'interprétation de ces résultats durant l'examen biométrique suppose l'utilisation d'une source de comparaison comme celles de Fresnaye (1981).

2.2. Morphométrie géométrique

2.2.1. Historique

La morphométrie géométrique (MG) est récente et a commencé avec les progrès des statistiques. Elle remonte au début des années 1980 avec la généralisation des procédures généralisées apparue une dizaine d'année plus tard. L'utilisation de la méthode des plaques minces remonte à 1989, mais ne s'est répandue qu'au début des années 1990. Elle marque un changement profond, une révolution, liée à la prise en compte de la géométrie des objets. Les caractères étudiés ne sont plus une collection plus ou moins disparate de mesures, mais un ensemble de points-repères homologues, caractérisés par leurs coordonnées (Rohlf et Marcus, 1993).

La morphométrie géométrique est une partie de la biométrie et a pour but d'étudier la variation de la géométrie des formes biologiques et ses covariations avec d'autres variables ou des facteurs biologiques (Bookstein, 1991). Dans ce sens, la MG permet d'analyser des variations morphologiques à partir des coordonnées cartésiennes de points repères homologues ou points remarquables ou landmarks, après élimination de toutes variations ne se rapportant pas à la forme à savoir le positionnement, l'orientation et la taille (Adams, 1999).

Analyser la variabilité des formes en termes de relations spatiales entre points homologues ouvre de nouveaux champs d'application à la morphométrie dans le cadre de la systématique, notamment dans l'analyse et la définition des caractères phylogénétiques et leurs états.

2.2.2. Principe

Au contraire des distances utilisées en morphométrie classique, les coordonnées des points-repères, relevées dans un système d'axes le plus souvent arbitraire, ne peuvent être utilisées

telles. Une étape intermédiaire, faisant appel à des techniques spécifiques, s'intercale entre l'étape de l'enregistrement des données et celle de leur exploitation statistique. Ces logiciels permettent d'extraire le paramètre de taille et de calculer des coordonnées résiduelles ou des paramètres décrivant les différences de conformations entre objets pris deux à deux, ou entre chaque objet et un objet de référence. Ce dernier correspond, le plus souvent, à l'objet moyen ou objet "consensus". Une dernière étape, postérieure aux traitements statistiques et faisant également appel à des logiciels spécifiques, permet de visualiser les différences de conformation correspondant aux différences statistiques observées. Il est ainsi possible de visualiser les variations de conformation associées à des composantes principales, à des axes discriminants, aux allométries, aux différences entre objets moyens, non pas par la seule interprétation de colonnes de chiffres, mais directement par l'observation bi ou tridimensionnelle des changements correspondants dans la géométrie des objets (Baylac, 1996). Ces étapes intermédiaires ont pour but explicite ou implicite de superposer les objets afin de les rendre comparables.

La morphométrie géométrique capture la forme d'un objet en se basant sur les coordonnées cartésiennes de points repères homologues après élimination de toutes variations ne se rapportant pas à la forme à savoir le positionnement, l'orientation et la taille (Adams, 1999). En d'autres termes, la morphométrie géométrique est l'étude de la forme d'un objet. La forme peut se définir selon Slice *et al.* (1996) comme étant la propriété géométrique d'un objet invariant lors d'une translation, d'une rotation ou d'une mise à l'échelle.

Needham décrit la forme par l'équation : **Form = Size + Shape**. Cette dernière est traduite en français par Boitard et Lefebvre selon la formule **Forme = Taille + Conformation** (Barour, 2012).

2.2.3. Méthode

2.2.3.1. Calcul de la taille centroïde de l'aile

Les objets, représentés par les coordonnées bidimensionnelles des points repères, doivent être ramenés à la même échelle. Lors de ce processus de normalisation des données, la distance entre chaque point est inchangée, c'est le principe d'isométrie. Le paramètre de taille individuelle est extrait à ce moment-là de l'analyse. Il correspond à la taille centroïde définie par Gower (1975).

La taille d'un objet est définie de manière unique par la taille centroïde sur l'ensemble des points-repères. La taille centroïde d'un objet correspond à la racine carrée de la somme des carrés des distances entre son centre de gravité et chacun de ses points repères (Figure 6). Elle se calcule en déterminant le centre de gravité (centroïde) d'une forme (dans notre cas d'un triangle) définie par ses points homologues (landmarks numérotés de 1 à 3) et en déterminant la distance entre chacun de ces points et le centroïde. Une fois la taille quantifiée, elle peut être exclue afin de se concentrer sur la conformation.

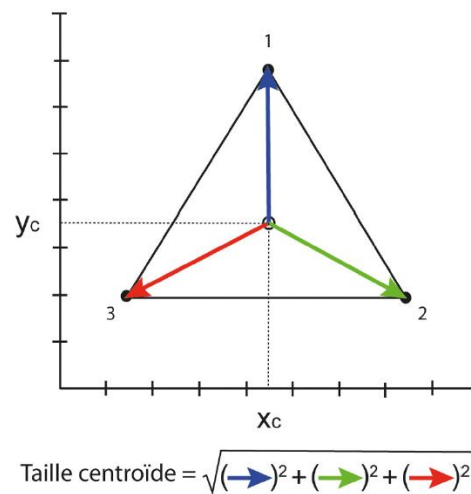


Figure 6 : Visualisation du concept de la taille centroïde calculée à partir des trois points repères d'un triangle équilatéral

Les distances entre le centre de gravité du triangle et les points repères 1 à 3 figurées par des flèches de couleurs sont les distances utilisées pour calculer la taille centroïde selon la formule décrite en dessous sous le triangle (Zelditch *et al.*, 2012).

2.2.3.2. Superposition Procruste

À la différence des distances utilisées en morphométrie classique, les coordonnées des points-repères utilisées en morphométrie géométrique ne peuvent être exploitées directement. En effet, ces coordonnées dépendent de la taille, de l'orientation et du positionnement de l'objet. Il est donc nécessaire de recourir à une étape intermédiaire d'alignement des conformations géométriques avant toute analyse statistique.

La méthode utilisée dans ce travail, permettant d'affranchir le paramètre taille, est celle de la **Superposition Procruste** ou **Generalized Procrustes Analysis** (GPA) (Bookstein, 1991). Celle-ci permet de comparer des objets biologiques (les ailes d'abeilles dans notre cas) qui diffèrent par leur

position, leur orientation et leur taille. Ainsi, les méthodes de morphométrie géométrique ont donc pour but :

- de définir la forme des ailes par la relation géométrique entre les coordonnées des points-repères homologues ;
- de comparer la forme des ailes après élimination de la taille, rotation et translation.

L'Analyse Procruste Généralisée ou superposition Procruste ramène les configurations des points-repères de tous les spécimens dans un système de coordonnées commun dans lequel les différences de coordonnées entre points repères reflètent les différences entre les formes (Slice, 2007). Elle se compose de trois étapes de transformation qui sont **la translation**, **la normalisation** et **la rotation**, permettant d'éliminer toutes les variations qui ne sont pas liées à la forme de l'aile (figure 7).

- **Translation**

Cette étape consiste en une translation qui permet de superposer les objets à comparer en faisant coïncider leur centre de gravité. Pour se faire, le centre de gravité de la figure géométrique, délimitée par des points repères, est déterminé. Ce point encore appelé centroïde, sert de point de base pour la superposition des différentes formes à comparer.

- **Normalisation**

La normalisation ou mise à l'échelle vise une mise à l'échelle de toutes les conformations à partir de la taille centroïde comme unité de taille de sorte qu'elles aient la même taille. Toutes les configurations de points-repères sont standardisées avec une taille centroïde de 1. La mise à l'échelle se fait en divisant chaque coordonnée par la taille centroïde de la conformation. Cette étape supprime les effets de taille tout en conservant intégralement les proportions des objets.

- **Rotation**

Cette dernière étape consiste à effectuer une rotation de toutes les configurations par rapport au centroïde commun afin de leur donner une orientation dans laquelle la somme des carrés des écarts entre les points repères est minimale (Klingenberg, 2010).

De manière générale, après normalisation, les translations et les rotations sont répétées jusqu'à ce que l'ajustement par les moindres carrés de l'ensemble des objets par rapport à un objet consensus (lui-même est recalculé à chaque étape) atteigne un seuil fixé à l'avance. Goodall (1991 ; 1995)

donne une synthèse exhaustive des approches Procrustes. Les procédures de Gower (1975) et de Rohlf et Slice (1990) sont valables quelles que soient les dimensions de l'espace d'origine et s'appliquent donc indifféremment à des objets bidimensionnels ou tridimensionnels.

Les résultats de la superposition sont exprimés par le « consensus » et les « résidus Procrustes ». Le consensus représente la conformation moyenne de l'objet étudié, pour tout l'échantillon. Les résidus Procrustes sont les variables de conformation, c'est-à-dire les différences entre les coordonnées des points repère de la structure étudiée, après superposition avec les coordonnées homologues du consensus. Les résidus Procrustes définissent la conformation de chaque objet.

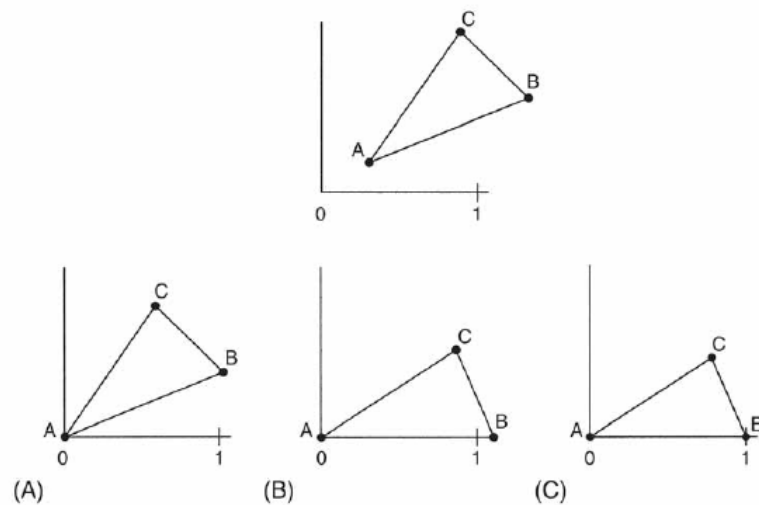


Figure 7 : Les étapes de la superposition Procruste

A : Translation ; B : Rotation ; C : Mise à l'échelle (Zelditch *et al.*, 2004).

DEUXIÈME PARTIE :
MATÉRIEL ET
MÉTHODES

CHAPITRE 3 : MATÉRIEL

3.1. Zone d'étude

Dans le cadre de l'étude de la diversité des abeilles mellifiques de la Côte d'Ivoire, l'échantillonnage a été réalisé dans neuf des 31 régions. Dans ces régions, huit localités ont été visitées pour l'échantillonnage. Ces localités couvrent trois grandes zones phytogéographiques de la Côte d'Ivoire (Figure 8). La première se situe au Centre de la Côte d'Ivoire dans le « V Baoulé », zone de transition entre la forêt et la savane. La deuxième concerne la zone montagneuse à l'Ouest quand la troisième se localise dans la zone savanicole du Nord. Les localités visitées sont les suivantes.

- Dans le Centre de la Côte d'Ivoire, les localités échantillonnées sont celles de Yamoussoukro (Yobouekro et Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB)), de Kouassi-kouassikro (Kouassi-kouassikro et Lengbe-kouassikro), de Toumodi (N'Guessankro), de Dimbokro (Soungassou), de Tiassalé (Singrobo), de Bongouanou (N'Drikro) et de M'Batto
- Dans le Nord, il s'agit des localités de Korhogo, de Karakoro, de Ferkessédougou et de Bouna.
- À l'Ouest les localités visitées sont celles de Séguéla (Forona et Oussougoula), de Biankouma et de Man (Man et Dainé).

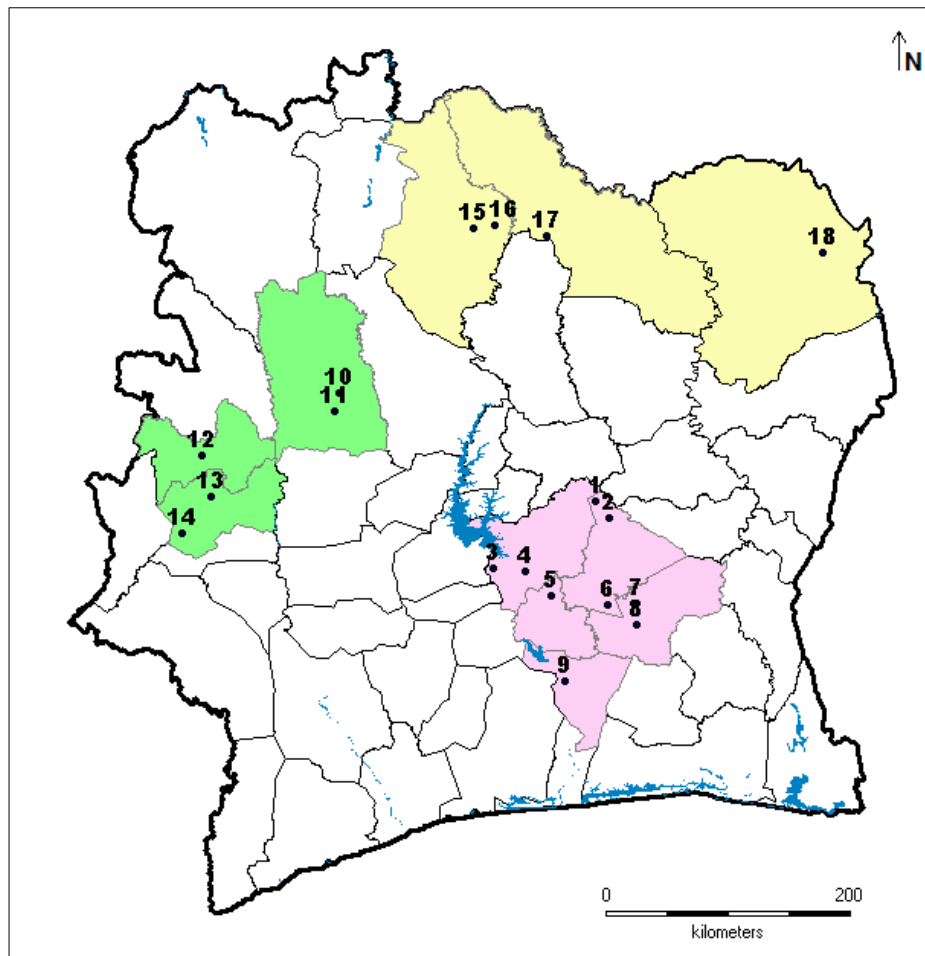


Figure 8 : Carte de la Côte d'Ivoire montrant les localités de prélèvement des échantillons d'abeilles dans les différentes zones phytogéographiques

Zone Centre : 1 : Kouassi-Kouassikro ; 2 : Lengbè-Kouassikro ; 3 : Yobouekro ; 4 : INP-HB ; 5 : N'Guessankro ; 6 : Soungassou ; 7 : N'Drikro ; 8 : M'Batto ; 9 : Singrobo. Zone Ouest : 10 : Forona ; 11 : Oussougoula ; 12 : Biankouma ; 13 : Man ; 14 : Dainé. Zone Nord : 15 : Korhogo, 16 : Karakoro, 17 : Ferkessédougou ; 18 : Bouna.

3.1.1. Zone Centre

La zone du Centre concernée par cette étude s'étend du « V Baoulé » (Tiassalé, Toumodi, Yamoussoukro) à la région du N'Zi Comoé. Le climat de cette zone est de type guinéen. Il comporte deux saisons de pluies et deux saisons sèches (Monnier, 1978).

La région du N'Zi Comoé est située au-dessus de la zone de transition forêt-savane du V-Baoulé au Centre-Est de la Côte d'Ivoire. Le relief est monotone et est constitué d'un plateau légèrement incliné de direction Nord-Sud, d'altitude moyenne supérieure à 150 m, avec de faibles dénivelés dans le Sud de la région situé entre les 6^e et 7^e parallèles. La végétation est

constituée de lambeaux de forêts mésophiles et de larges mailles de savanes séparées par des forêts galeries. Progressivement, l'influence de la zone de savane arborée se développe et la forêt naturelle devient clairsemée. La forêt dégradée devient de plus en plus l'élément dominant de cette végétation. Le régime climatique est caractérisé par des précipitations moyennes mensuelles variant entre 1 200 et 1 500 mm (FAO, 2005). Ce régime climatique est défini par quatre saisons : deux saisons de pluies (Mars - Juin, Septembre - Octobre) et deux saisons sèches (Juillet - Août, Novembre - Février). L'agriculture est dominée par les cultures de rente (cacao, café, hévéa, anacarde, etc.) qui occupent 50% de la superficie totale cultivée. Les cultures vivrières sont constituées par le riz pluvial, l'igname, le manioc, le maïs, et la banane plantain. Les cultures maraîchères et fruitières y sont aussi pratiquées (FAO, 2009).

Le District de Yamoussoukro (Toumodi, Yamoussoukro) présente un relief constitué de plaines et de plateaux étagés dont l'altitude varie entre 200 et 500 m, séparés les uns des autres par un talus de faible hauteur (10 à 30 m). Le réseau hydrographique essentiellement composé de la Marahoué et du N'Zi, deux affluents du Bandama qui appartiennent au régime équatorial de transition atténué, intermédiaire entre le régime tropical de transition et le régime équatorial de transition (Girard *et al.*, 1971). Le climat est caractérisé par une saison sèche qui s'étend de novembre à Mars, avec une température de 25,8°C. La saison des pluies est marquée par deux maxima pluviométriques, l'un en Juin et l'autre en Octobre avec une pluviométrie de l'ordre de 1 145,6 mm (Eldin, 1971). L'agriculture constitue la source principale de revenus des populations. Le café et le cacao constituent les principales cultures de rente avec ces dernières années une intrusion de l'hévéaculture qui a été stoppée par la chute des cours. La banane plantain, le manioc, le maïs, et le riz (irrigué et pluvial) sont les principales cultures vivrières. Cette région devient de plus en plus le grenier des citoyens avec le développement de la culture de manioc pour la confection de l'attieké (Mendez del Villar *et al.*, 2017) (Figure 9).



Figure 9 : Vue d'un paysage de savane dans le Centre de la Côte d'Ivoire

3.1.2. Zone Ouest

La zone montagneuse de l'Ouest est marquée par une série de bas plateaux. Ces plateaux s'enchaînent par endroits avec des zones très accidentées aux contours variant entre des pentes moyennes et des altitudes dépassant parfois les 1 000 m (Figure 10). Les sommets les plus élevés se situent entre 1 077 et 1 752 m. La plupart des versants des montagnes sont abrupts et fracturés. Les vallées encaissées sont exposées à un risque élevé d'érosion (Avenard, 1971). La Région bénéficie d'un climat adoucissant et pluvieux et est couverte par une forêt sempervirente (Guillaumet et Adjanooun, 1971). Cette forêt disparaît de plus en plus au profit des cultures pérennes, de l'exploitation forestière et de l'urbanisation. Le relief est caractérisé par une ondulation alternée et cadencée des montagnes et dépressions de différences pouvant atteindre les 1 000 m avec des écologies diversifiées présentant des aptitudes culturelles variées. Le potentiel agricole demeure important avec une écologie diversifiée comprenant des zones montagneuses, des plaines, des plateaux et des bas-fonds offrant ensemble des possibilités de production végétale très diversifiée et la pratique des cultures d'exportation mais aussi des cultures vivrières (FAO, 2009).



Figure 10 : Vue d'une chaîne de montagnes à l'Ouest de la Côte d'Ivoire

3.1.3. Zone Nord

L'ensemble de la zone Nord est sous l'influence d'un climat tropical humide du type subsoudanien caractérisé par deux saisons : une saison sèche de novembre à mars et une saison pluvieuse d'avril à octobre. Une pluviométrie annuelle variant entre 800 mm et 1 200 mm de pluies est enregistrée. La pluviométrie constitue le facteur climatique prépondérant (Barachette *et al.*, 1965 ; Sinaly, 1978). L'hygrométrie moyenne est comprise entre 65 et 70%. La durée moyenne annuelle de l'insolation est de 2 500 heures, la moyenne mensuelle étant d'environ 250 heures en saison sèche contre près de 140 heures pendant les mois de juillet et août (les plus arrosés).

La FAO (1997) classifie les sols dans la zone du Nord comme des acrisols. Ces sols sont en général peu humifères et de fertilité moyenne. Le relief se présente généralement comme un plateau faiblement ondulé avec des sommets de 300 m à 400 m d'altitude (Avenard, 1971).

La végétation se compose de forêts claires, de formations savanicoles, de galeries forestières, et d'îlots de forêts qui servent de bois sacrés à proximité des villages (Monnier, 1978). Mises à part les cultures vivrières, la culture du coton est la plus développée. Elle est complétée par l'anacarde, les cultures fruitières et le maraîchage. Les cultures vivrières sont constituées essentiellement du maïs, de l'igname, du mil et du sorgho (Figure 11) (Léon, 1983 ; Camara, 1984 ; FIRCA, 2010).



Figure 11 : Vue d'une zone de savane dans le Nord de la Côte d'Ivoire

3.2. Matériel biologique

Le matériel biologique est constitué d'abeilles mellifères collectées dans différents ruchers (Figure 12) appartenant à trois grandes zones phytogéographiques de la Côte d'Ivoire. Selon Latreille (1804), la sous-espèce d'abeilles mellifères qui a été décrite en Afrique occidentale subsaharienne est *Apis mellifera adansonii*.



Figure 12 : Vue d'un rucher dans le département de Ferkessedougou

3.3. Matériel technique

3.3.1. Matériel de collecte

Le matériel d'échantillonnage utilisé sur le terrain est composé des éléments suivants :

- une combinaison d'apiculteur composée d'un accoutrement, d'une paire de gants et de bottes pour la protection contre les piqûres des abeilles ;
- des bocaux en verre numérotés, pour la conservation des abeilles collectées sur le terrain ;
- de l'alcool absolu (95°) pour la conservation des échantillons d'abeilles ;
- un GPS (Garmin GPSMAP 64) pour l'enregistrement des coordonnées des sites de prélèvement pour leur repérage sur une carte ;
- un appareil photographique (Sony Cybershot).

3.3.2. Matériel de laboratoire

Le matériel utilisé au laboratoire pour la conservation et les mesures morphométriques se compose comme suit :

- un congélateur pour la conservation des bocaux contenant les abeilles au-delà d'un délai de 48 h ;
- une loupe binoculaire « Motic DM143 Séries » utilisée pour les mesures des caractères morphologiques suivants : longueur de l'abeille, longueur et largeur des ailes droites antérieure et postérieure, longueur de la patte postérieure, longueur du proboscis (Figure 13A) ;
- un microscope optique « AmScope » pour la détermination de la coloration, du tomentum, de la pilosité, de l'indice cubital et de la transgression discoïdale (Figure 13B) ;
- des pinces pour l'ablation des ailes droites antérieures et postérieures, l'étirement de la langue et des segments de l'abdomen (observation de la coloration, du tomentum, de la pilosité) ;
- des épingles fines et pointues, indispensables pour la fixation des abeilles sans les altérer durant la série de mensurations ;
- une plaque de polyester, utilisée comme support de maintien de l'insecte ou de ses parties à l'aide d'épingles.

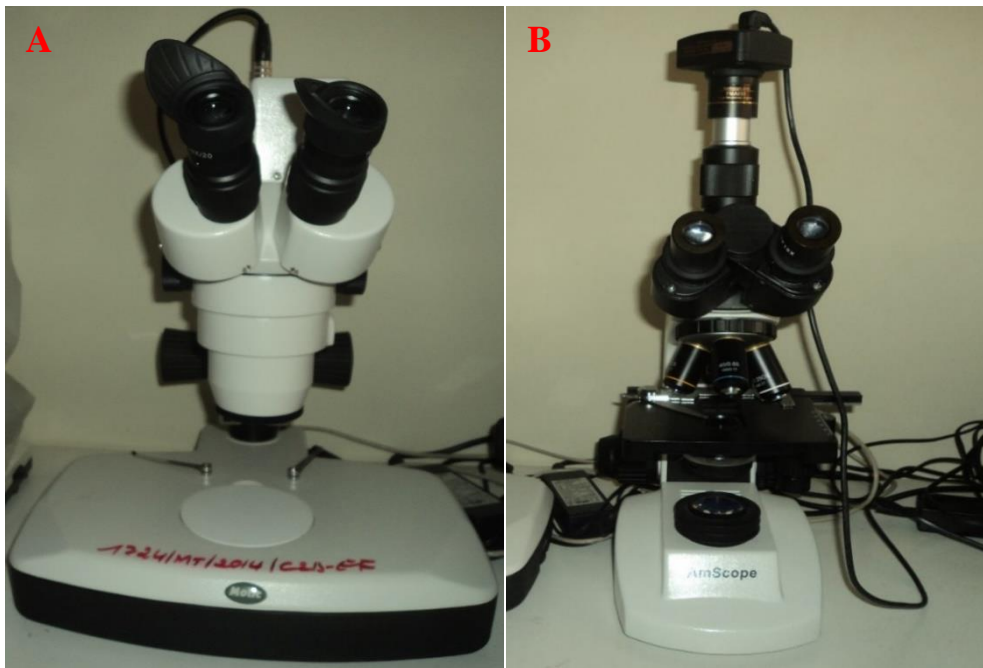


Figure 13 : Dispositif de mesure des caractères morphométriques

A : Loupe binoculaire Motic DM143 Série, B : Microscope optique AmScope

CHAPITRE 4 : MÉTHODES

4.1. Enquête

Une enquête a été menée auprès des apiculteurs avec pour objectif de dégager les principales caractéristiques de la filière apicole ivoirienne. Cette enquête a permis de recueillir des informations sur les apiculteurs, leurs activités d'élevage et leurs connaissances sur les abeilles qu'ils exploitent. Celle-ci a été réalisée à partir d'une base de données d'apiculteurs venus des différentes zones apicoles du territoire ivoirien et ayant participé à des formations aux techniques de piégeage des essaims d'abeilles organisées par le Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles (FIRCA). Ceux-ci étaient au nombre de 36 apiculteurs. Cependant, selon leur collaboration et leur disponibilité, 31 apiculteurs ont été interrogés. En effet, certains d'entre eux étaient réticents quant à la participation à l'enquête.

Les apiculteurs ont été interrogés grâce à une fiche d'enquête, présentée en annexe, élaborée à cet effet. Le questionnaire aborde quatre grands thèmes.

- **Profil de l'apiculteur**

Ce thème renferme les questions liées à l'identité de l'apiculteur, au niveau de formation (professionnel ou amateur), à l'ancienneté dans l'activité apicole et à l'organisation de la filière apicole.

- **Productions**

Il s'agit ici d'analyser les moyens de production et les quantités de miel produites ainsi que les autres produits de la ruche.

- **Connaissance des abeilles**

Ce thème est relatif au niveau de connaissance des apiculteurs sur les abeilles qu'ils exploitent et aux moyens qu'ils utilisent pour les reconnaître.

- **Problèmes rencontrés**

Cette partie a permis d'acquérir des informations relatives aux maladies et parasites des abeilles, aux contraintes environnementales, financières et autres problèmes rencontrés par les apiculteurs.

4.2. Prospection et collecte des échantillons d'abeilles

L'échantillonnage a été effectué sur une période de deux ans, de 2015 à 2017. Les abeilles collectées proviennent de 54 ruches installées dans 18 ruchers appartenant aux trois grandes régions phytogéographiques précédemment décrites. Dans chaque rucher, trois à quatre ruches ont été visitées, selon la disponibilité du matériel biologique et la bonne volonté des apiculteurs, pour la collecte des abeilles (Tableau 2). Les ruches ont été ouvertes et les abeilles ouvrières ont été aléatoirement prélevées sur les cadres afin d'éviter la collecte d'abeilles provenant d'autres ruches. Au total 1 620 ouvrières, réparties dans 30 ruches de la zone Centre, 10 ruches de la zone Nord et 14 ruches de la zone Ouest, ont été collectées. Après leur collecte, les abeilles de chaque ruche ont été mises dans des bocaux étiquetés contenant de l'éthanol absolu (95%). L'immersion dans l'éthanol permet de tuer et de conserver les abeilles collectées. Celles-ci sont par la suite transportées au laboratoire pour y être conservées au congélateur à -20 °C jusqu'au moment de leur utilisation (Rúa *et al.*, 2003). Dans le but de supprimer un éventuel effet du dimorphisme sexuel, tous les spécimens étudiés doivent être du même sexe. Les femelles étant les plus représentées dans une population d'abeilles, les abeilles collectées lors de l'étude sont toutes des ouvrières (Toullec, 2008). En effet, les mâles ne sont présents, dans la colonie, que durant les périodes où les ressources alimentaires sont importantes et sont chassés ou tués pendant les périodes de disette, pour limiter la consommation de la ruche (Dechaume-Moncharmont, 2003).

4.3. Préparation des échantillons

Avant d'effectuer les mesures sur les abeilles, les bocaux sont sortis du congélateur afin de permettre leur décongélation lente et complète. Des échantillons prélevés au rucher, trente (30) abeilles ont été extraits de chaque bocal pour les mesures au laboratoire. Afin d'éviter une sélection orientée qui influencerait la composition de l'échantillon destiné aux mesures, les abeilles mortes ont été étalées de manière homogène sur un disque de papier de 25 cm de diamètre, divisé en huit secteurs égaux subdivisés eux-mêmes en deux sous-secteurs (Figure 14) (Fresnaye, 1981). Chaque bocal contenant les abeilles d'une ruche est vidé au-dessus du cercle afin qu'elles se répartissent de façon égale sur les secteurs du cercle. Les abeilles d'un secteur du disque sont alors extraites et leurs organes sont prélevés pour les mesures jusqu'à l'obtention du nombre nécessaire. Les 30 abeilles choisies au hasard pour chaque site sont placées dans des boîtes de pétri numérotées de 1 à 30 afin d'éliminer tout risque d'interversion des mesures entre

abeilles. Toutes les abeilles sont prises selon la procédure expérimentale dite abeille par abeille (Fresnaye, 1981). Toutes les mesures sont faites successivement sur les différents organes à mesurer et notées sur une fiche d'analyse confectionnée à cet effet.

Tableau 2 : Répartition des échantillons d'abeilles collectés

Nombre de colonies	Nombre d'abeilles	Ruchers	Localités	Zones	Longitude	Latitude	
4	120	N'Drikro	Bongouanou		-4,407654°	6,654395°	
1	30	M'Batto			-4,409166°	6,493611°	
4	120	Soungassou	Dimbokro		-4,622132°	6,633623°	
3	90	Kouassi-kouassikro	Kouassi-kouassikro	Centre	-4,713597°	7,411008°	
3	90	Lengbe-Kouassikro				-4,606652°	7,283425°
4	120	Singrobo	Tiassalé		-4,930403°	6,075834°	
4	120	N'Guessankro	Toumodi		-5,034226°	6,701054°	
4	120	INP-HB	Yamoussoukro		-5,228529°	6,886443°	
3	90	Yobouékro			-5,4616°	6,9126°	
2	60	Bouna	Bouna		-3,032777°	9,239722°	
2	60	Ferkessédougou	Ferkessédougou	Nord	-5,074578°	9,370725°	
3	90	Korhogo	Korhogo			-5,611358°	9,42281°
3	90	Karakoro				-5,4518°	9,447565°
3	90	Biankouma	Biankouma		-7,61877°	7,74079°	
2	60	Daine	Man	Ouest	-7,547012°	7,171388°	
3	90	Man				-7,547012°	7,44344°
3	90	Oussougoula	Séguéla		-6,642515°	8,070955°	
3	90	Forona			-6,600499°	8,201282°	

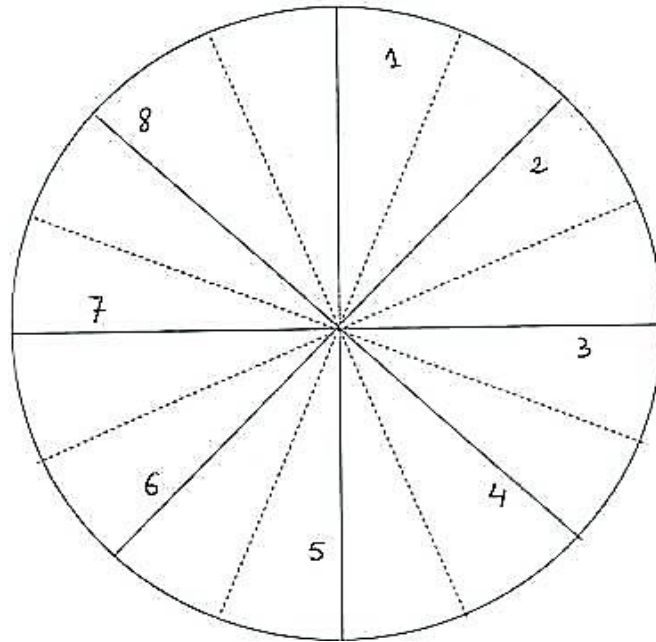


Figure 14 : Dispositif de répartition des abeilles permettant d'éviter une sélection involontaire des abeilles (Fresnaye, 1981)

4.4. Analyse morphométrique classique des abeilles

4.4.1. Choix et description des caractères biométriques

De nombreux caractères morphologiques sont utilisés en biométrie pour discriminer des populations d'abeilles (Alpatov, 1929 ; Goetze, 1964 ; Fresnaye, 1981 ; Ruttner, 1988). Tous ces caractères ne présentent pas le même intérêt ni la même simplicité d'utilisation. Il est certes utile d'analyser suffisamment de critères discriminatoires, mais il est également indispensable que le temps requis par les analyses reste dans les limites des possibilités matérielles des utilisateurs. Des caractères, peut-être plus discriminants, auraient pu être utilisés dans cette étude. Pourtant, la multiplication des mesures aurait rendu l'étude trop lourde, sans pour autant garantir de meilleurs résultats. Les caractères morphologiques mesurés dans cette étude sont au nombre de 18 (Tableau 3). Ils ont été sélectionnés du fait de leur pouvoir discriminant et de leur signification biologique (Fresnaye, 1965 ; Toullec, 2008).

- **Longueur de l'abeille**

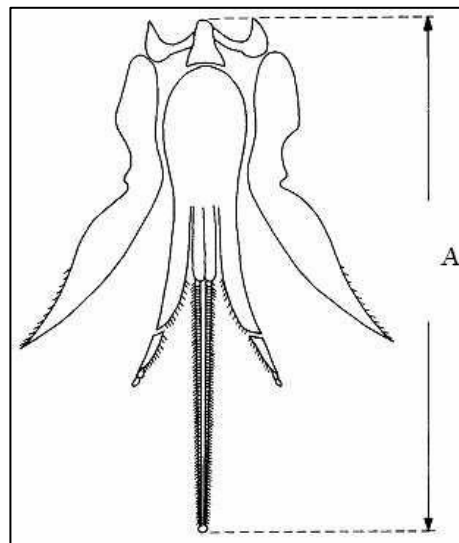
Elle a été utilisée selon la méthode proposée par Paraïso *et al* (2011).

Tableau 3 : Liste des caractères morphologiques mesurés chez les abeilles

N°	Caractères morphologiques	Références	Auteurs	Figures
1	Longueur de l'abeille	LoAb		-
2	Longueur du fémur	LoFe	Alpatov (1929)	16
3	Longueur du tibia	LoTi	Alpatov (1929)	16
4	Longueur du métatarse	LoMe	Alpatov (1929)	16
5	Largeur du métatarse	LaMe	Alpatov (1929)	16
6	Longueur de la patte postérieure	LoPa	Alpatov (1929)	16
7	Longueur de la langue	LoLa	Alpatov (1929)	15
8	Longueur de l'aile antérieure	LoAA	Alpatov (1929)	17
9	Largeur de l'aile antérieure	LaAA	Alpatov (1929)	17
10	Longueur de l'aile postérieure	LoAP		-
11	Largeur de l'aile postérieure	LaAP		-
12	Transgression discoïdale	TD		22
13	Longueur de la veine A	IA	Alpatov (1929)	21
14	Longueur de la veine B	IB	Alpatov (1929)	21
15	Indice cubital	IC	Alpatov (1929)	21
16	Coloration	Col	Goetze (1964)	18
17	Tomentum	Tom	Goetze (1964)	19
18	Pilosité	Pil	Goetze (1964)	20

- **Longueur de la langue ou proboscis**

C'est un bon caractère racial qu'il faut mesurer correctement (Cornuet *et al.*, 1988 ; Hepburn *et al.*, 2000). Sa mesure nécessite la décapitation préalable de l'abeille qui est ensuite épinglée sur une plaque en polystyrène de façon à ce que sa face interne soit visible en position horizontale (Figure 15).

**Figure 15** : Langue (ou proboscis) d'une ouvrière (Ruttner, 1988)

- **Longueur du fémur (Fe), Longueur du tibia (Ti), Longueur (ML) et Largeur (MT) du métatarse, Longueur de la patte postérieure droite (Fe + Ti + ML)**

La taille de patte postérieure affecte la capacité de récolte du pollen. En effet, les corbeilles à pollen sont situées au niveau des pattes postérieures de l'abeille (Mattu et Verma, 1984). De même, la production du miel est positivement corrélée avec la longueur de la patte postérieure et plus particulièrement avec la longueur de la corbeille au niveau du tibia (Szabo et Lefkovich, 1988). Pour effectuer les mesures, les pattes postérieures droites ont été disséquées et montés entre lame et lamelle (Figure 16).

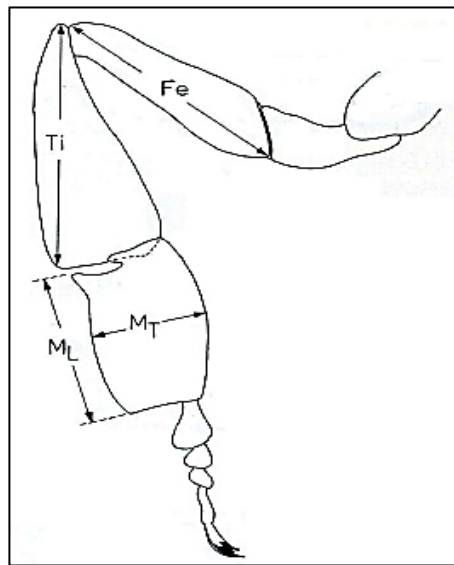


Figure 16 : Patte postérieure d'une ouvrière (Ruttner, 1988)

Fe : Longueur du fémur, Ti : Longueur du tibia, ML : Longueur du métatarse, MT : Largeur du métatarse.

- **Longueur et Largeur des ailes antérieure et postérieure droites**

La taille de l'aile influence, d'une part, le vol des abeilles et, d'autre part, la quantité de pollen qui peut être récoltée par l'abeille (Tilde *et al.*, 2000 ; Abdellatif *et al.*, 2015) (Figure 17).

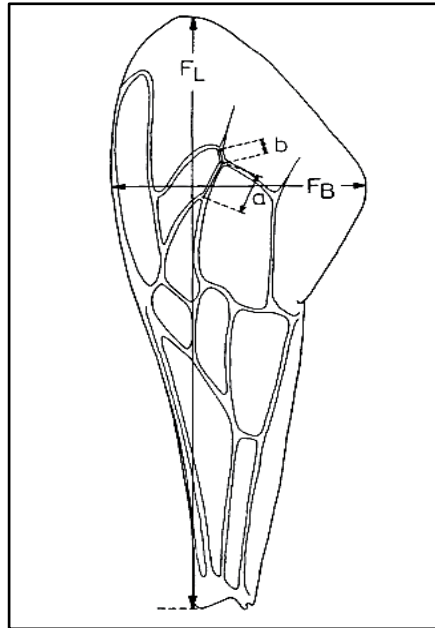


Figure 17 : Aile antérieure d'une ouvrière (Ruttner, 1988)

FL : Longueur de l'aile antérieure, FB : Largeur de l'aile antérieure, a : Longueur veine cubitale a, b : Longueur veine cubitale b.

- **Coloration (Col)**

La coloration ou largeur de la bande jaune sur le deuxième tergite, varie selon les races, du jaune au noir avec, entre les deux extrêmes, tous les intermédiaires possibles (Cornuet *et al.*, 1975 ; Cornuet *et al.*, 1978 ; Fresnaye, 1981). Pour sa mesure, les abeilles sont fixées sur leur face ventrale. Le deuxième tergite, toujours engagé sous le premier, est étiré. La largeur de la bande jaune se trouvant à l'extrémité supérieure du deuxième tergite est mesurée. Cette bande jaune peut être absente chez les races noires pour lesquelles aucune mesure ne pourra être faite. Dans le cas où la bande jaune existe, elle se présentera sous deux allures différentes : soit droite, soit curviligne (Figure 18).

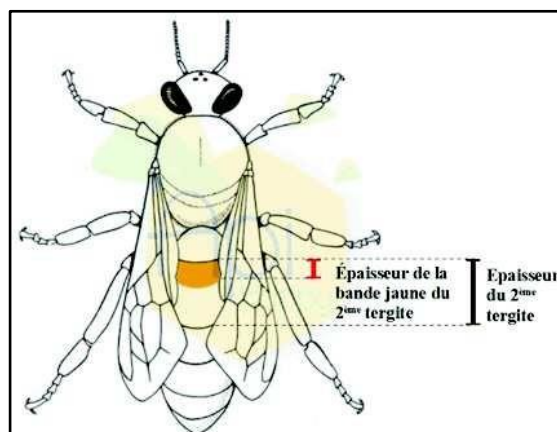


Figure 18 : Coloration d'une ouvrière (Ruttner, 1988)

- **Tomentum (Tom)**

Le tomentum est la largeur de la zone pileuse ou bandes feutrées sur le quatrième tergite abdominal (Figure 19). Il a été mesuré à la loupe binoculaire en maintenant l'abeille sur sa face ventrale. Le corps est étiré pour mettre en évidence le 4^e tergite sur lequel on mesure la largeur du tomentum (Fresnaye, 1981 ; Bouguerra, 2006).

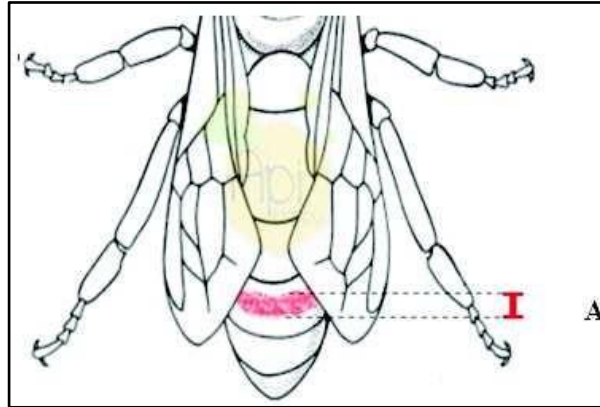


Figure 19 : Tomentum d'une ouvrière (Ruttner *et al.*, 1978)

A : Largeur de la bande pileuse sur le 4^e tergite

- **Pilosité (Pil)**

La pilosité est la longueur moyenne des poils sur le cinquième tergite (Figure 20). Sa mesure se fait sur le reste du corps de l'abeille (abdomen et thorax), démunie des pattes et des ailes. Le corps est épinglé de profil de telle sorte que les poils du cinquième tergite à mesurer soient parallèles aux graduations du micromètre.

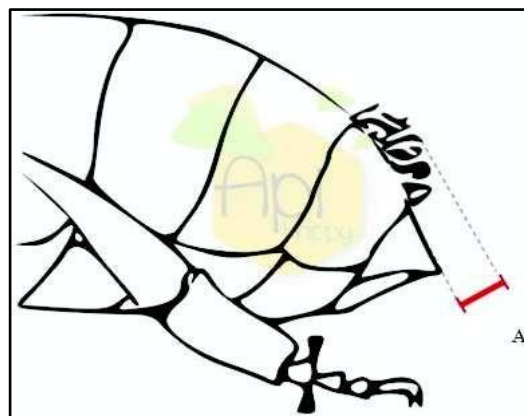


Figure 20 : Pilosité d'une ouvrière (Ruttner *et al.*, 1978 ; Ruttner, 1988)

A : Longueur des poils sur le 5^e tergite

- **Indice cubital (IC)**

L'indice cubital se rapporte à la structure de l'aile antérieure de l'ouvrière. Il est déterminé par le rapport entre la longueur des deux portions de nervures formant un angle obtus à la base de la troisième cellule cubitale de l'aile antérieure droite des abeilles (segments A et B) (Figure 21). Cet indice qui est le rapport A/B , permet de définir une race ou son taux d'hybridation (Gadbin *et al.*, 1979 ; Paraiso *et al.*, 2011 ; Abdellatif *et al.*, 2015). Pour mesurer la longueur de ces deux angles, on sépare les ailes antérieures droites de chaque abeille et on les met dans de l'alcool éthylique légèrement sucré. Après cela, les ailes sont disposées avec des pinces très fines sur les lames. L'alcool s'évapore et le sucre permet de fixer les ailes. La longueur des segments A et B est déterminée à l'aide du microscope Amscope via le logiciel AmScope 3.7.

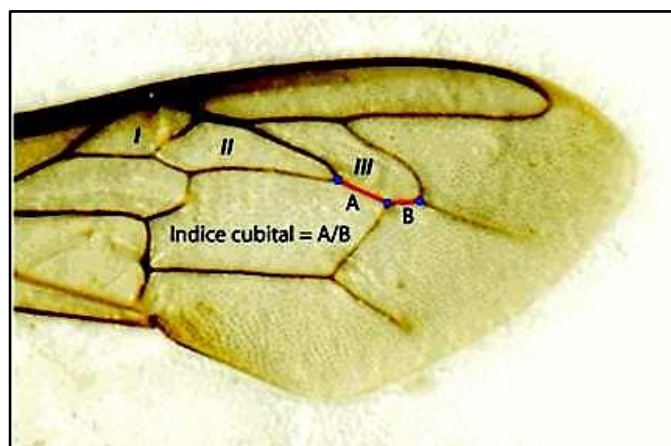


Figure 21 : Composantes de l'indice cubital de l'aile antérieure d'une ouvrière (Ruttner *et al.*, 1978)

I : Première cellule cubitale, II : Deuxième cellule cubitale, III : Troisième cellule cubitale, A : Veine cubitale A, B : Veine cubitale B.

- **Transgression discoïdale (TD)**

Elle se mesure également au niveau de l'aile antérieure. L'angle inférieur droit de la cellule discoïdale (située en dessous des cellules cubitales), formé par la jonction de trois nervures est dénommé le "point discoïdal". La transgression discoïdale est déterminée en mesurant l'angle formé par la perpendiculaire au grand axe de la cellule radiale, passant par l'angle supérieur de la troisième cellule cubitale et le point discoïdal. Lorsque le point discoïdal se trouve vers l'extrémité de l'aile, la transgression discoïdale est positive (+) ; lorsqu'il se trouve vers le point d'attache de l'aile sur le thorax, elle est négative (-) et lorsque le trait passe exactement sur le point discoïdal, la transgression discoïdale est nulle (Cornuet *et al.*, 1975 ; Fresnaye, 1981 ; Toullec, 2008) (Figure 22).

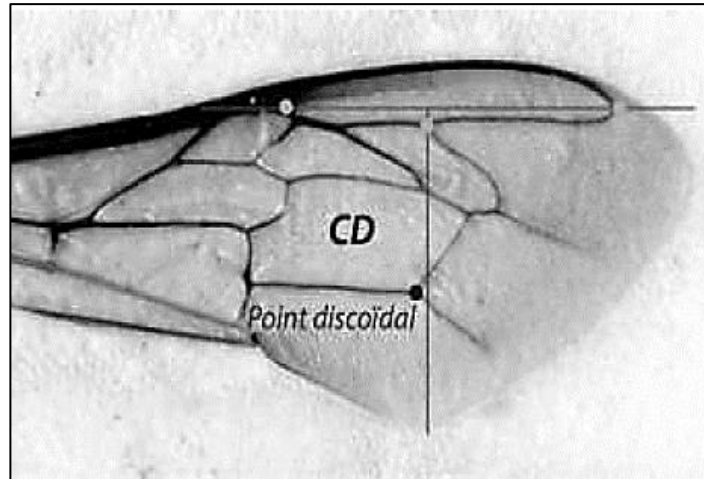


Figure 22 : Transgression discoïdale (Ruttner *et al.*, 1978 ; Ruttner, 1988)

CD : Cellule discoïdale

4.4.2. Mesure des abeilles

Les mesures biométriques ont été effectuées à l'aide d'une loupe binoculaire de marque Motic via le logiciel Motic Images Plus 2.0 pour la longueur de l'abeille, la longueur et la largeur des ailes droites antérieures et postérieures, la longueur de la patte postérieure, la longueur du proboscis. Le grossissement utilisé dans ce cas est 1X et 2X. Pour la coloration, le tomentum, la pilosité, l'indice cubital et la transgression discoïdale, un microscope AmScope muni d'une caméra, aidé du logiciel AmScope 3.7 avec un grossissement 10X, a été utilisé. Toutes les mesures sont exprimées en mm à l'exception de l'indice cubital qui est sans unité et de la transgression discoïdale qui est exprimé en degré.

4.4.3. Analyse statistique des données de morphométrie classique

L'objectif des analyses statistiques est de rechercher dans un premier temps, une éventuelle variation morphologique au sein des abeilles échantillonnées et de déterminer leurs caractéristiques biométriques afin de vérifier s'il y a une homogénéité au sein des populations d'abeilles. Les différentes colonies d'abeilles étudiées ont été caractérisées par leurs statistiques élémentaires : moyennes, écarts-types et histogrammes pour chacun des caractères morphométriques. Le test statistique de l'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur au seuil de 5% a été utilisé pour tester la signification statistique des différences observées entre les

moyennes de chaque paramètre au sein et entre les colonies, les régions et les zones géographiques. Ces tests sont complétés par les tests post-hoc de Tukey.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été utilisée pour rechercher éventuellement des groupes de ruches homogènes et les groupes de variables les qualifiant. L'ACP consiste à réduire le nombre de variables initiales en de nouvelles variables qui sont des combinaisons linéaires des variables d'origines, statistiquement indépendantes les unes des autres : les composantes principales (CP) ou axes (Zelditch *et al.*, 2004). Les composantes principales sont classées par ordre de valeur propre décroissante. Ainsi, les premières composantes principales, représentant un pourcentage significatif de la variation totale de l'échantillon, sont retenues.

La classification hiérarchique a également été utilisée dans le but de fournir des groupes de spécimens. C'est une méthode agglomérative qui utilise la procédure du lien simple et la distance carrée de Pearson pour classifier les colonies en classes aussi homogènes que possible. Les analyses ont été effectuées avec le langage statistique et graphique R version 3.5.1.

4.5. Analyse morphométrique géométrique des abeilles

Pour cette étude, les mêmes abeilles utilisées lors de la méthode morphométrique classique ont été utilisées.

4.5.1. Sélection des ailes

Parmi les organismes dont les formes sont les plus diversifiées, la palme revient sans commune mesure aux insectes ptérygotes (Perrard, 2012). Une aile d'insecte est une structure aplatie formée d'un réseau de nervures supportant une membrane composée de deux couches tégumentaires accolées (Figure 23). Les nervures sont des conduits sclérifiés assurant la circulation de l'hémolymphe et souvent le passage de nerfs ou de trachées entre ces deux membranes (Chapman, 1998). La nervation d'une aile détermine partiellement sa rigidité et sa flexibilité et de nombreux patrons de nervation se distinguent parmi les différents groupes d'insectes (Combes et Daniel, 2003). Cette nervation alaire est depuis longtemps considérée comme une structure homologue à travers les différents groupes d'abeilles tant que le patron de nervation demeure identifiable entre les taxons (Comstock et Needham, 1898 ; Hamilton, 1972). Le patron de la nervation alaire est donc une structure quasi plane composée d'éléments

homologues que sont les différentes nervures. Cette structure est propice aux études morphométriques notamment en morphométrie géométrique 2D (Wright *et al.*, 1907). La nervation alaire a donc été sélectionnée pour tester son rôle de marqueur dans la caractérisation des abeilles mellifères.

Les ailes ont été sélectionnées en vue d'avoir, d'une part, un degré de précision de mesure très élevé, et d'autre part, avoir une meilleure détermination de la forme d'aile. Avant de procéder à la numérisation des ailes, l'état des ailes a été examiné et vérifié avant même leur préparation entre lame et lamelle. Les ailes dont les mesures ne sont pas utilisables ou de bonne qualité ont été éliminées. Les cas d'anormalités sont les ailes mal formées, abîmées, sales, déchirées ou présentant des nervures creuses (Figures 24 et 25).

- Les ailes mal formées sont le plus souvent des ailes d'ouvrières dont l'extension et la maturation n'étaient pas achevées. Leur coloration est beaucoup plus pâle avec un durcissement de la cuticule. Elles correspondent également à des ailes plus ou moins atrophiées, mal étalées ou trop fragiles.
- Les ailes abîmées sont fréquentes chez les ouvrières âgées. Celles-ci sont mesurables tant que la découpe n'atteint pas une portion de nervure portant l'un des points-repères. En général, seule la marge postérieure de l'aile est découpée.
- Les ailes sales résultent en général de la présence de nectar ou de toute autre substance déposée sur la surface de l'aile. Optiquement, les points-repères peuvent être soit estompés et insuffisamment précis, soit complètement masqués.
- Les ailes déchirées au moment de la préparation. On peut les utiliser tant que la déchirure ne provoque pas le déplacement d'un ou de plusieurs points-repères.
- Les nervures creuses, fortement contrastées avec notamment le centre clair et la marge des nervures très sombres peuvent poser des problèmes lors de la mesure (Barour, 2012).

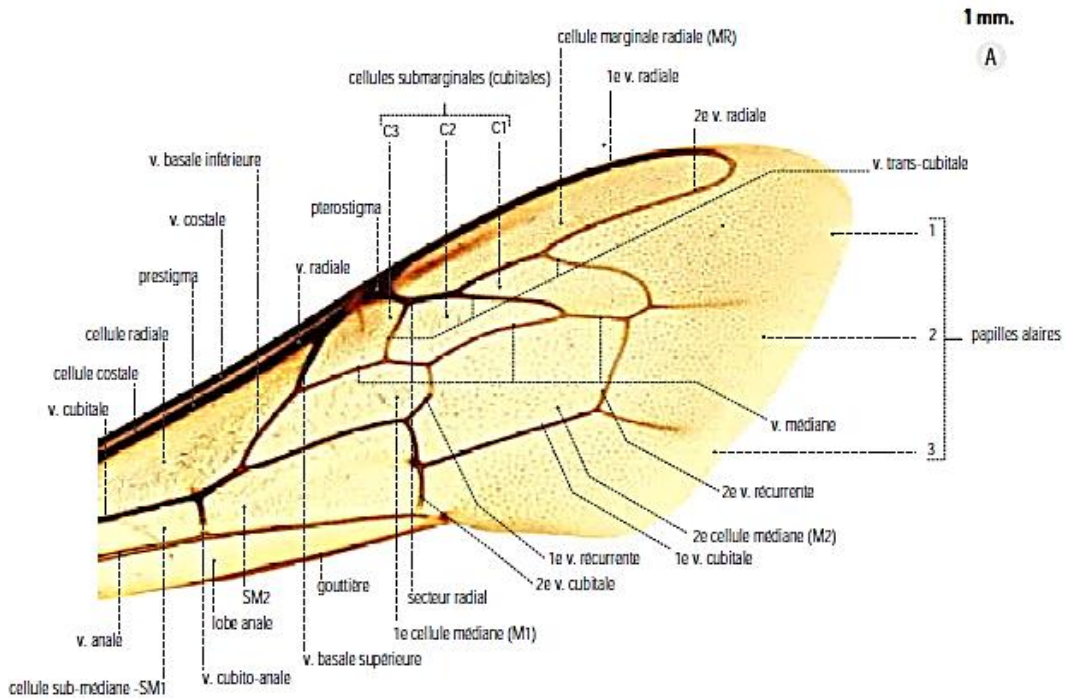


Figure 23 : Nervation de l'aile antérieure d'une abeille ouvrière *Apis mellifera* (Barour, 2012)

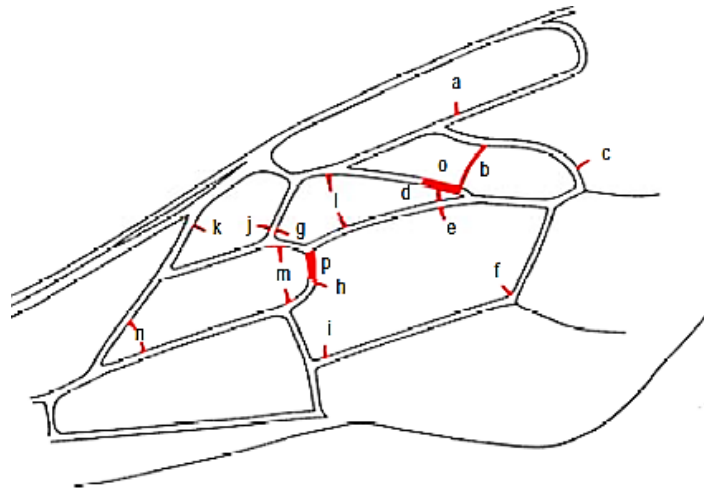


Figure 24 : Anormalités de la nervation de l'aile antérieure chez *Apis mellifera*

Les anomalies de (a) à (n) sont des veines additionnelles, de (o) à (p) sont des veines perdues (montrées en ligne rouge épaisse), et (l), (m) et (n) sont des éperons avec des longueurs différentes formant parfois des cellules fermées (Smith *et al.*, 1997).

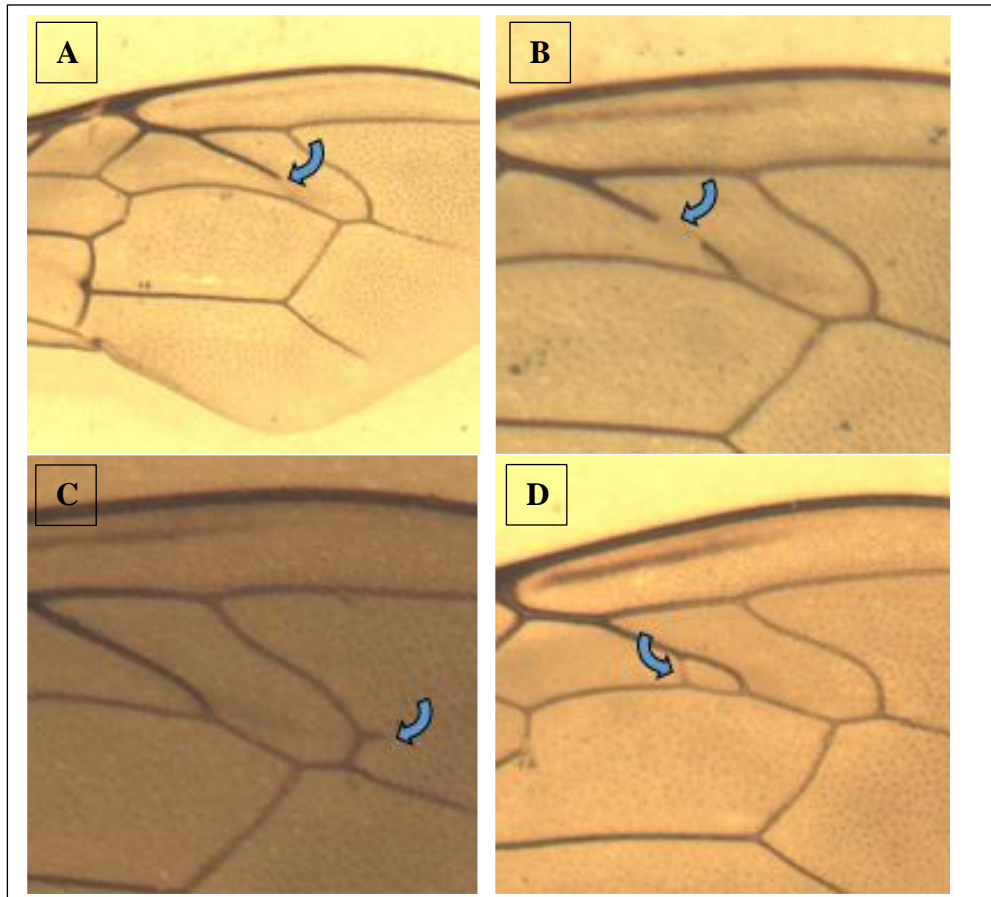


Figure 25 : Quelques exemples de nervations anormales de l'ailes antérieure chez *Apis mellifera*

A et B : Veine trans-cubitale interrompue, C et D : Veines additionnelles

4.5.2. Numérisation des ailes

Cette étude a été menée sur les mêmes individus utilisés lors de l'analyse morphométrique classique ; le choix des abeilles a suivi la même procédure de sélection que dans la morphométrie classique. Les ailes droites antérieures (AA) de 30 ouvrières par colonie ont été disséquées puis montées entre lame et lamelles dans une goutte d'eau distillée utilisée comme milieu de montage afin de les aplanir et d'éviter un biais dû à leur déformation. Les images ont été prises à l'aide d'une loupe binoculaire Motic DM143 séries au grossissement 2X avec la résolution maximale de 2 0148 x 1 536.

Chaque image d'aile a été enregistrée sous le format de fichier image JPEG dans des dossiers distincts de sorte que chaque dossier ne comporte que les images des ailes des abeilles provenant d'une même colonie. Cette disposition permet de mieux organiser les données et de faciliter leur traitement.

Les clichés obtenus ont ensuite été compilés dans des fichiers tps à l'aide du logiciel tpsUtil (Rohlf, 2015). Ce fichier est indispensable pour la digitalisation des points repère avec le logiciel TpsDig2. Le logiciel crée un fichier tps pour l'ensemble des images d'un même dossier c'est-à-dire pour une même colonie.

4.5.3. Choix et positionnement des landmarks

La méthode morphométrique géométrique (MG) utilisée dans le cadre de cette étude est celle des points repères. La MG permet de comparer des formes biologiques à partir de la collecte d'informations concernant la localisation de ces points repères ou landmarks. Dix-neuf landmarks ont été retenus dans le cadre de cette étude. Ceux-ci correspondent à des points anatomiques homologues, fournissant une représentation adéquate de la morphologie, et sont identifiables de façon répétée et fiable sur différents individus et dont la disposition renseigne sur la forme biologique des organismes (Rohlf et Slice, 1990 ; Bookstein, 1991 ; Zelditch *et al.*, 2004).

Un point-repère est décrit par un ensemble de coordonnées : x et y, si l'objet étudié est en deux dimensions (2D) ; x, y et z s'il est décrit en trois dimensions (3D). Concernant les ailes d'abeilles, chaque point repères est défini en 2D. Leur position est indiquée sur la figure 26, et une description de chacun d'eux est présentée dans le tableau 4.

La digitalisation des landmarks a été effectuée sur chacune des images d'aile d'abeille obtenue lors de la numérisation. Les points-repères ont été positionnés manuellement sur chaque image au format « tps » avec un pointeur de souris d'ordinateur grâce au logiciel **tpsDig2** version 2.22 (Rohlf, 2015). Dans le cadre de cette étude, les point-repères ont été digitalisés dans le même ordre de 1 à 19.

Le logiciel tpsDig2 crée un fichier contenant des lignes distinctes contenant les coordonnées x et y de chaque point repère, le nom de la prise de vue et le nombre de points-repères digitalisés pour chaque aile. La visualisation de ces informations a été possible grâce au logiciel Notepad++ version 6.9.1.

Une fois la digitalisation terminée, les fichiers tps obtenus comportant les coordonnées des points-repères ont été analysés avec le logiciel MorphoJ. L'effet opérateur et l'erreur de mesure sont bien connus en biologie. Les données morphométriques sont particulièrement sensibles à l'effet opérateur. En effet, chaque opérateur réalise ses mesures avec une marge d'erreur qui lui

est propre et place les points-repères en fonction de critères personnels. Pour ces raisons, les mesures effectuées sur toutes les ailes ont été réalisées par la même personne afin d'éliminer tout effet opérateur et pour que les résultats ne soient pas biaisés. En ce qui concerne l'effet de l'erreur de mesures, nous avons procédé par une série de tests morpho-géométriques pour le quantifier afin que l'on puisse s'assurer que la variabilité biologique qui est obtenue est supérieure à celle de l'erreur de mesure. Pour tester la reproductibilité du positionnement des PR, ceux-ci ont été placés deux fois sur les ailes de 30 abeilles appartenant à une même colonie. La mesure de l'erreur a été déterminée à l'aide d'une analyse de variance multivariée (MANOVA).

Tableau 4 : Description anatomique des 19 points-repères utilisés pour une aile antérieure d'abeille (Bookstein, 1991)

PR	Description anatomique	Type
1	Intersection de la veine radiale avec la veine basale supérieure	Type 1
2	Intersection de la veine basale supérieure avec la veine médiane	Type 1
3	Intersection de la veine cubitale avec la veine basale inférieure	Type 1
4	Intersection de la veine cubitale avec la veine cubito-anale	Type 1
5	Intersection de la veine anale avec la veine cubito-anale	Type 1
6	Intersection de la veine anale avec la 2 ^e veine cubitale	Type 1
7	Intersection de la 2 ^e veine cubitale et la 2 ^e veine récurrente	Type 1
8	Intersection de la veine cubitale avec la 1 ^{ère} veine récurrente	Type 1
9	Intersection de la veine médiane avec la 1 ^{ère} veine récurrente	Type 1
10	Intersection de la 3 ^e veine trans-cubitale avec la veine médiane	Type 1
11	Intersection de secteur radial avec la 3 ^e veine trans-cubitale	Type 1
12	Intersection de secteur radial avec la 2 ^e veine trans-cubitale	Type 1
13	Intersection de la veine radiale avec la 2 ^e veine trans-cubitale	Type 1
14	Intersection de la 2 ^e veine radiale avec la 1 ^{ère} veine trans-cubitale	Type 1
15	Courbure maximale de la veine radiale au niveau de la cellule marginale radiale	Type 2
16	Intersection de la veine trans-cubitale avec la veine médiane	Type 1
17	Intersection de la veine médiane avec la 2 ^e veine récurrente	Type 1
18	Intersection de la veine médiane avec la 2 ^e veine trans-cubitale	Type 1
19	Intersection de la veine cubitale avec la 2 ^e veine récurrente	Type 1

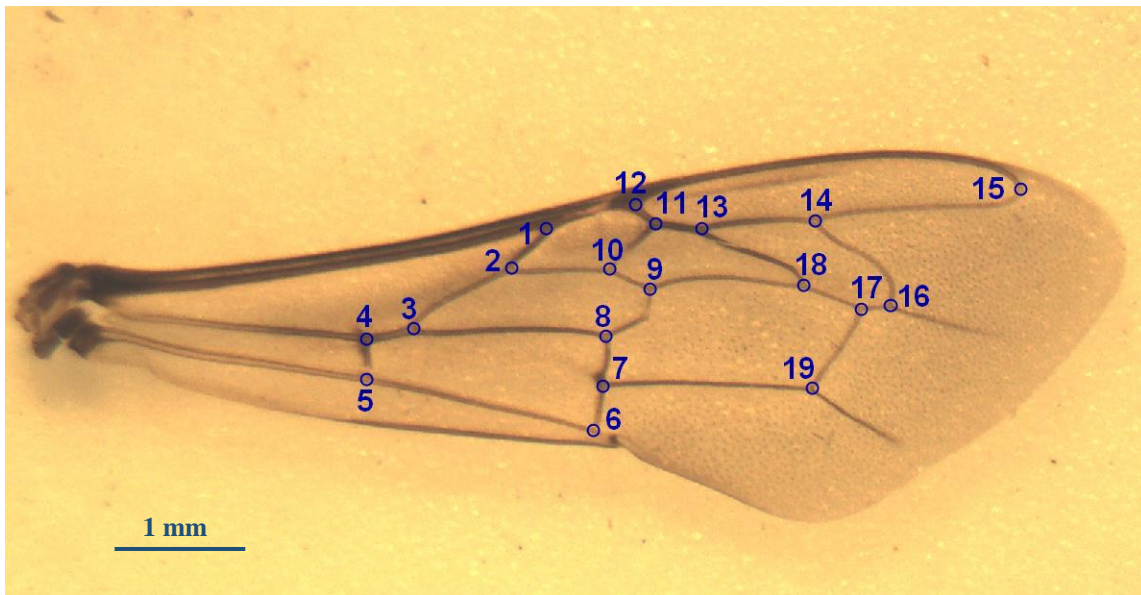


Figure 26 : Emplacement des 19 points-repères sur l'aile antérieure droite d'une ouvrière

4.5.4. Analyse statistique des données de morphométrie géométrique

4.5.4.1. Méthodes et tests statistiques

La première étape réalisée avec le logiciel MorphoJ est la vérification des données puis l'élimination du jeu de données des données aberrantes. En effet, il est possible que des erreurs d'inattention se glissent lors de la digitalisation des landmarks notamment la digitalisation de landmarks inter-changés.

Après la superposition Procruste, les données au format « txt » ont été exportées vers Excel pour finalement être exportées dans R pour les analyses statistiques. Différents types tests statistiques uni-, bi- et multivariées ont été utilisés pour l'analyse des données. Les tests et les méthodes statistiques utilisés sont :

- **des graphiques** tels que les boxplots, les histogrammes, les diagrammes de dispersion, grâce à la qualité du graphisme du logiciel R ;
- **les variances** pour identifier les points-repères ou les régions des ailes qui ont une grande variabilité sur l'ensemble des abeilles mesurées ;
- **l'analyse de la variance (ANOVA)** à un et à deux critères de classification a été utilisée pour la comparaison des moyennes des tailles centroïdes alaires entre colonies, ruchers et régions afin de mettre en évidences les sources de variabilité ainsi que les interactions entre les facteurs considérés ;

- **les corrélations simples** pour modéliser l'amplitude des relations entre les tailles centroïdes des ailes antérieures et les coordonnées géographiques des sites de prélèvement ;
- **l'Analyse en Composante Principale (ACP)** des résidus procrustes permet de visualiser et décrire les changements de conformation pour chaque groupe d'abeilles séparément, dans l'espace des composantes principales ;
- **l'Analyse de la Variance Multivariée (MANOVA)** pour tester l'interaction des principaux facteurs entre eux ;
- **l'Analyse Canonique (CVA)** qui permet de maximiser les séparations entre les différents groupes d'individus.

4.5.4.2. Logiciel R

Le logiciel libre R a été utilisé pour les analyses statistiques. C'est à la fois un langage informatique et un environnement de travail : les commandes sont exécutées grâce à des instructions codées dans un langage relativement simple, les résultats sont affichés sous forme de texte et les graphiques sont visualisés directement dans une fenêtre qui leur est propre. Il permet de manipuler les données, de tracer des graphiques et de faire des analyses statistiques sur ces données.

Pour les analyses statistiques, plusieurs bibliothèques statistiques et graphiques ont été utilisées en fonction des objectifs fixés. Le tableau 5 présente la liste des packages utilisés.

Tableau 5 : Principales bibliothèques utilisées sous R pour l'exploration, la vérification et l'analyse statistique des données

Packages	Descriptions
Geomorph	Analyse morphométrique sous R
Corrplot	Tableau de corrélation
Rcmdr	R Commander
Factoextra	Visualisation des résultats de l'ACP
FactoMineR	Analyses multivariées
Ade4	Analyse des données écologiques
Cluster	Cluster analyse

TROISIÈME PARTIE :

RÉSULTATS

CHAPITRE 5 : CARACTÉRISTIQUES DE L'APICULTURE

5.1. Caractéristiques des apiculteurs

Au total, 31 apiculteurs, répartis dans 12 régions, ont été interrogés au cours de cette enquête. Ces apiculteurs sont tous professionnels. En effet, ils ont bénéficié d'une formation en apiculture. Ils ont une connaissance des techniques apicoles, à savoir l'utilisation de tenue apicole (Figure 28), d'enfumoir, de lève-cadres, de ruches modernes et des ruchettes pour le transvasement des colonies. A cela, s'ajoute la maîtrise des pratiques apicoles telles que le choix du site d'installation des ruches, le piégeage des essaims d'abeilles mellifères, le suivi des ruches, la récolte, l'extraction, le conditionnement et le stockage du miel, etc.

L'ancienneté des apiculteurs dans l'activité apicole varie de 2 à 32 ans. Ainsi, 21,05 % de ces apiculteurs ont commencé l'apiculture il y a moins de 5 ans, alors que 21,05% l'ont démarrée il y a 5 à 10 ans, 21,05% il y a 10 à 15 ans, 26,32% il y a 15 à 20 ans, 5,26% il y a 20 à 25 ans et 5,26% l'ont débuté il y a plus de 25 ans (Figure 27).

Il ressort de cette enquête que 47,36% des apiculteurs pratique l'apiculture comme activité principale contre 52,63% des apiculteurs l'exerçant comme activité secondaire. Pour ces derniers, l'activité principale exercée est l'agriculture.

La plupart des apiculteurs interviewés (78,94%) sont propriétaires des ruches qu'ils exploitent tandis que les autres (21,05%) ne le sont pas. De tous les apiculteurs, 73,68% sont organisés en coopératives qui ont pour but de faciliter la production et la commercialisation du miel.

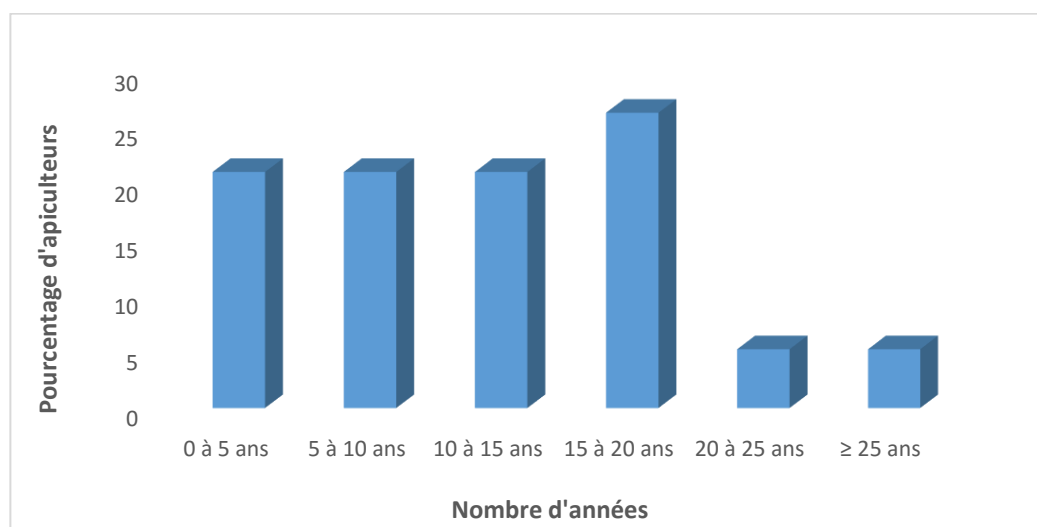


Figure 27 : Ancienneté des apiculteurs dans l'activité apicole



Figure 28 : Apiculteur portant une tenue d'apiculteur

5.2. Productivité des ruches

5.2.1. Types de ruches

Les apiculteurs ayant fait l'objet de cette enquête disposent de 1 225 ruches au total, avec une moyenne de 56 ruches par apiculteur. Le plus grand nombre de ruches a été recensé dans la région du Tchologo dans le Nord de la Côte d'Ivoire où un apiculteur détenait à lui seul 200 ruches. Le nombre de ruches le moins important a été enregistré dans la région du Bounkani (Figure 29). Le nombre minimum de ruches était de 5 par apiculteur.

Le nombre moyen de ruches colonisées par les abeilles est de 66,72%. De nombreux cas de désertion des ruches par les abeilles sont également signalés. Le taux de désertion des ruches est de 7,2%.

La pratique de l'apiculture moderne se rencontre dans toutes les régions ayant fait l'objet de l'étude avec l'utilisation de ruches à cadres mobiles. Les ruches modernes utilisées sont principalement la ruche kenyane (60%), la ruche Langstroth (28%) et exceptionnellement la ruche Iritié (4%) (Figure 30). Dans quelques rares cas (8%), des ruches traditionnelles sont exploitées pour l'apiculture. Façonnées avec différents matériaux locaux, les ruches traditionnelles sont faites en bois ou en béton. Elles sont inspirées des ruches modernes,

modifiées afin d'augmenter la capacité de production ou de réduire les coûts de fabrication. La ruche en béton a la propriété de résister aux intempéries et aux termites. Elle a été mise en place par un apiculteur du département de Ferkessédougou. Cependant, son poids plus lourd la rend difficilement déplaçable.

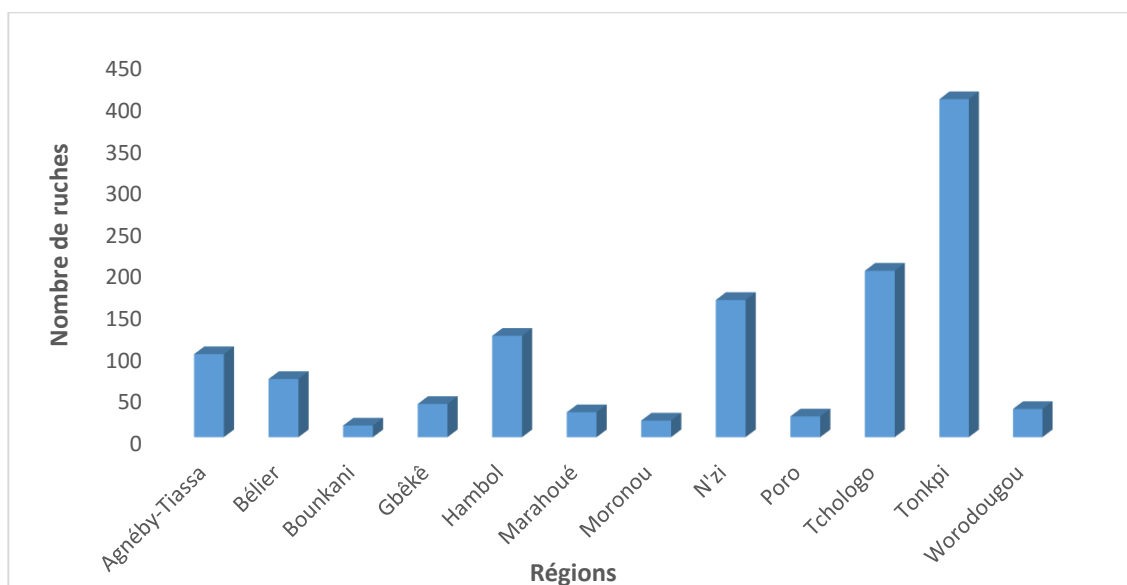


Figure 29 : Nombre de ruches exploitées par région



Figure 30 : Types de ruches exploités

A : Ruche kenyane, B : Ruche Langstroth, C : Ruche Iritié, D : Ruche en béton.

5.2.2. Production de miel par ruche

L'apiculture ivoirienne permet de produire essentiellement du miel, les autres productions étant occasionnelles. Seuls quinze apiculteurs (48,39%) produisent de la cire, quatre apiculteurs la propolis (12,9%), trois du pollen (9,68%), un seul, la gelée royale (3,23%) et aucun apiculteur ne récolte le venin d'abeille (0%) (Figure 31 et 32).

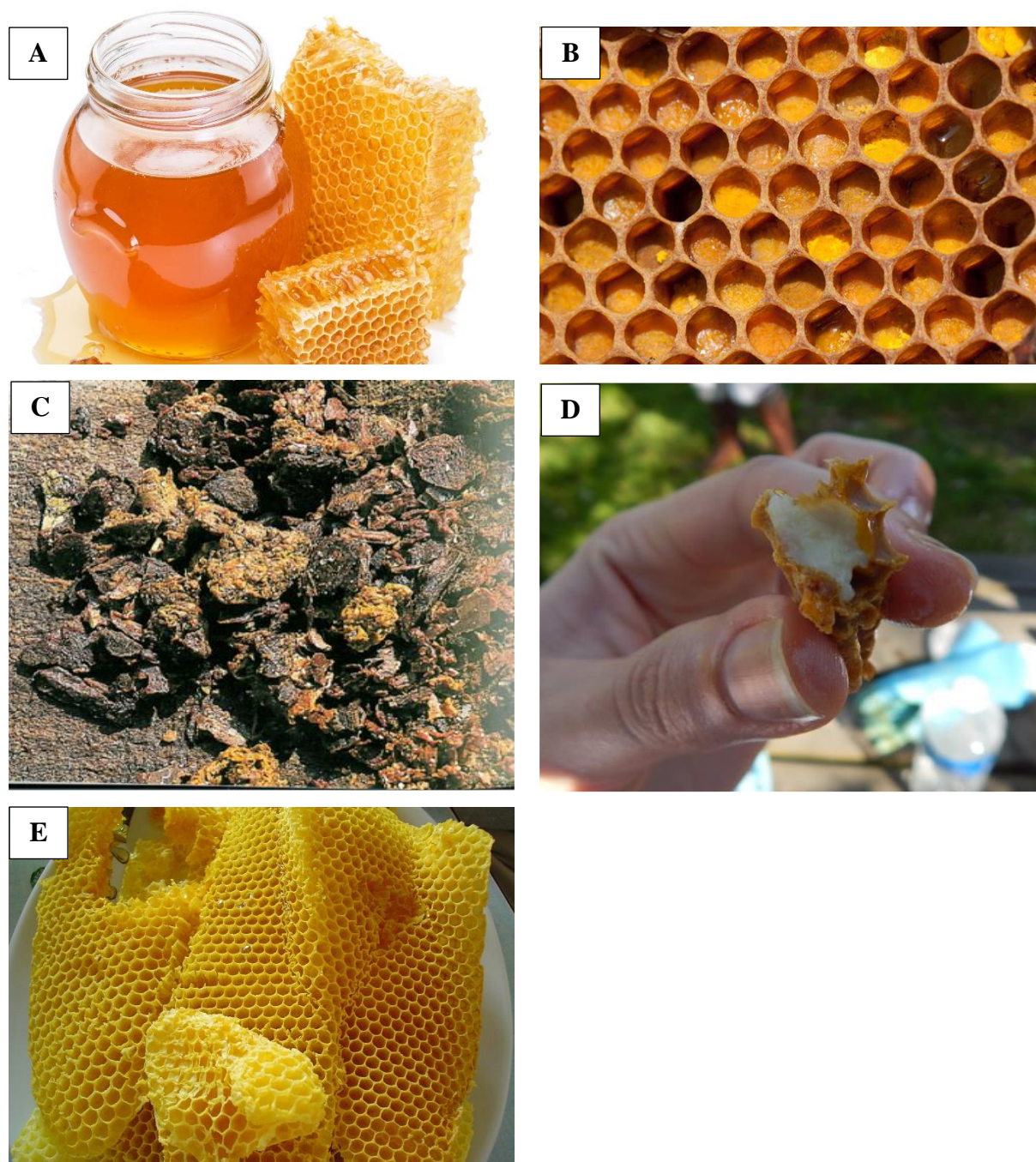


Figure 31 : Principaux produits de la ruche

A : Miel, B : Pollen à l'intérieur des gâteaux de cire, C : Propolis, D : Gelée royale à l'intérieur d'une cellule royale, E : Cire. Source (Sauvager, 2014 ; Catays, 2016)

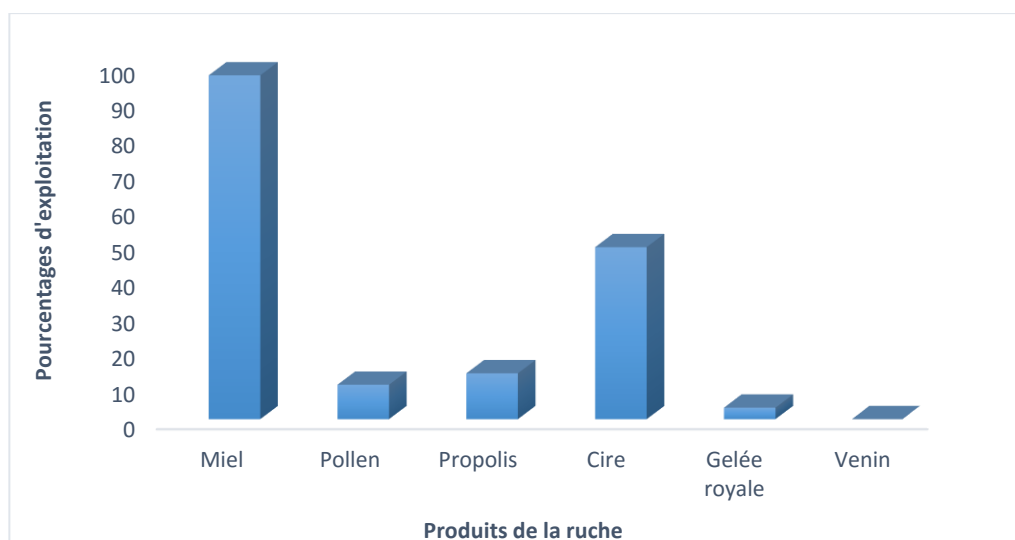


Figure 32 : Fréquence d’exploitation des produits de la ruche

Les niveaux de production de miel déclarés par les apiculteurs interrogés sont très variables d’un apiculteur à l’autre : ils vont d’une production nulle (0 litres) à plus de 25 litres par ruche en une récolte. La quantité moyenne de miel récoltée par ruche est de $12,83 \pm 6,14$ litres en une année (Figure 33).

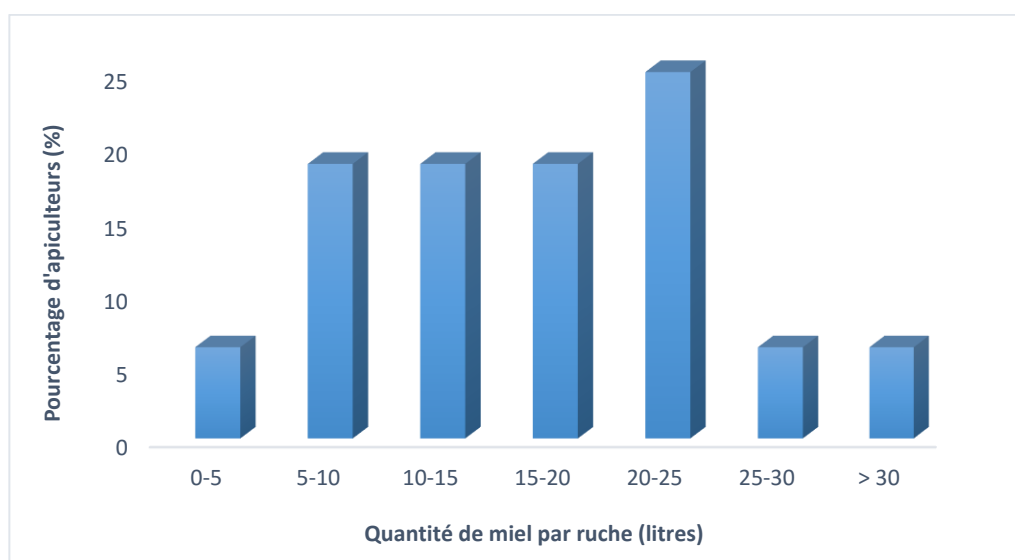


Figure 33 : Rendements moyens en litres de miel par ruche en une année

5.3. Connaissance des abeilles

D'après l'enquête de terrain relative au type d'abeilles colonisant les ruches, la majorité des apiculteurs (79%) affirme rencontrer deux types d'abeilles. Par contre, 11%, 5% et 5% affirment rencontrer respectivement trois types, quatre types et un seul type d'abeilles dans leurs ruchers (Figure 34). Les critères utilisés par ceux-ci pour identifier leurs abeilles sont : la couleur, la taille, l'agressivité et la productivité.

Concernant la couleur, deux types d'abeilles sont principalement décrits. Il s'agit de l'abeille à couleur jaune et l'abeille noire (Figure 35 et 36). L'abeille jaune est décrite comme étant de petite taille, moins agressive et plus productrice. Quant à l'abeille noire, elle est plus grande, plus agressive et moins productrice de miel. Dans une moindre mesure, un type d'abeille de couleur rouge ou orange est décrit par certains apiculteurs (16,66%). Concernant leurs préférences, les apiculteurs préfèrent unanimement l'abeille jaune du fait de sa productivité et de sa faible agressivité contrairement à l'abeille noire. Cependant, la description de chacune de ces abeilles peut différer d'un apiculteur à un autre.

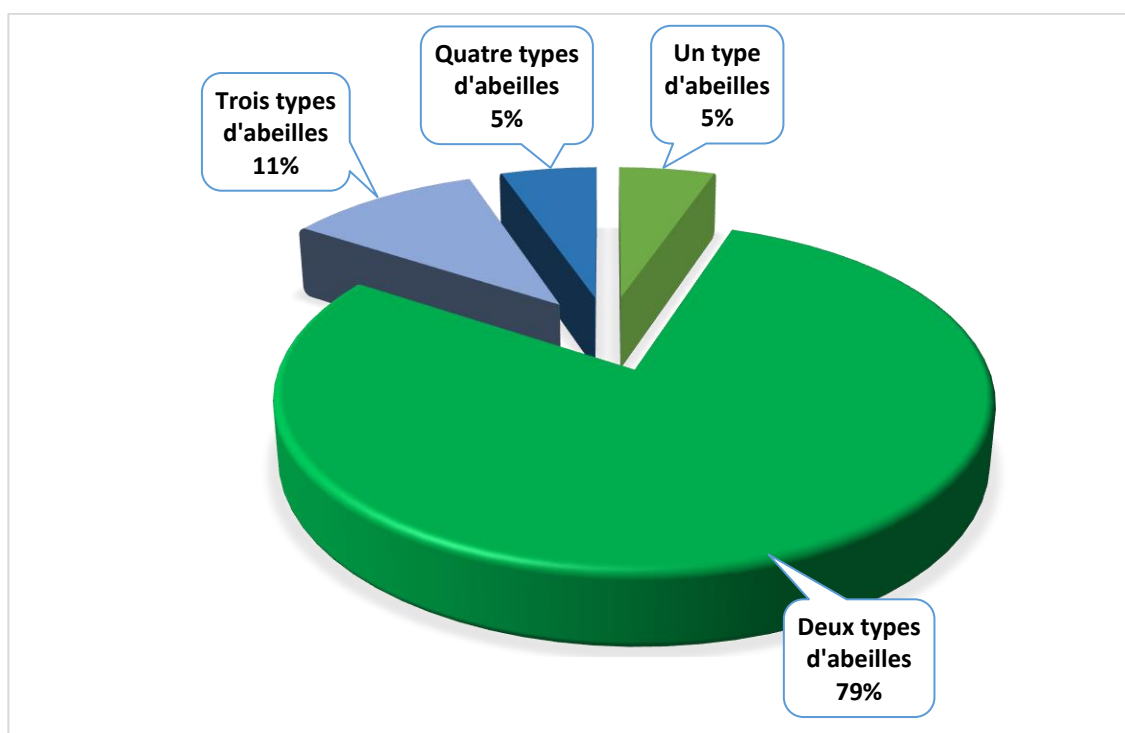


Figure 34 : Fréquences des types d'abeilles rencontrés par les apiculteurs

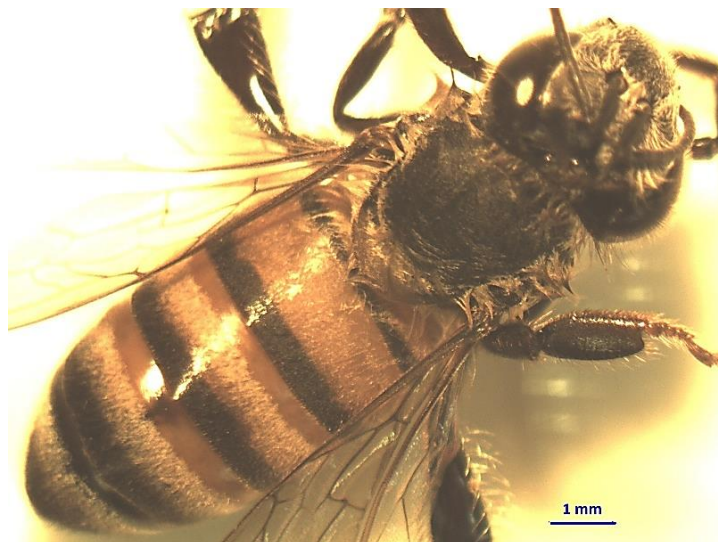


Figure 35 : Abeille jaune



Figure 36 : Abeille noire

5.4. Problèmes rencontrés par les apiculteurs

La plupart des apiculteurs (88,88%) ont signalé la présence d'arthropodes, ennemis naturels des abeilles. Cependant, certains (11,11%) n'ont remarqué la présence d'aucun ennemi des abeilles. Selon les apiculteurs, ces ennemis provoqueraient une baisse de la production de miel, voire dans le pire des cas, la désertion de la ruche par les abeilles. Parmi les arthropodes, ennemis des abeilles, figurent les fourmis (*Ecophylla longinoda*), les termites (*Trinervitermes sp*), les guêpes (*Belonogaster juncea*), le petit coléoptère des ruches (*Aethina tumida*), le sphinx tête de

mort (*Acherontia atropos*) et la fausse teigne (*Galleria mellonella*). Les apiculteurs sont également confrontés à d'autres problèmes tels que les feux de brousse, le vol, le pillage et la destruction des ruches par les bœufs ou la promiscuité des agriculteurs.

Les apiculteurs sont également confrontés à de nombreuses contraintes financières les empêchant d'acquérir le matériel d'élevage. À cela, s'ajoute le problème d'acquisition des colonies d'abeilles. En effet, ils ne comptent que sur les essaimages naturels pour augmenter leurs cheptels. Pourtant, ces essaimages ne se font pas à tout moment de l'année.

CHAPITRE 6 : CARACTÈRES MORPHOMÉTRIQUES CLASSIQUES DES ABEILLES

6.1. Caractères morphométriques des populations d'abeilles

6.1.1. Corps des abeilles

6.1.1.1. Longueur du corps des abeilles

Les longueurs des abeilles mesurées dans la zone du Centre se situent entre 10,97 et 13,6 mm. Ces valeurs se situent entre 11,85 et 12,83 mm pour les abeilles prélevées dans le Nord. Par contre, dans la zone de l'Ouest, ces valeurs sont comprises entre 11,49 et 13,56 mm. Les écarts-types se situant entre 0,39 et 1,18 mm, indiquent que les longueurs des abeilles sont fortement dispersées (Tableaux 6, 7, 8 et 9).

La distribution des fréquences de la longueur des abeilles est similaire dans le Centre et dans l'Ouest du pays. Par contre, dans le Nord du pays, 12,11% des abeilles ont une longueur comprise entre 11,5 et 12 mm ; 12,22% ont une longueur comprise entre 12 et 12,5 mm et 14,22% ont une longueur comprise entre 12,5 et 13 mm (Figure 37). De manière générale, 57,44%, 61,66% et 49,76% des abeilles issues respectivement des régions du Centre, du Nord et de l'Ouest, ont des longueurs comprises entre 12 et 14 mm.

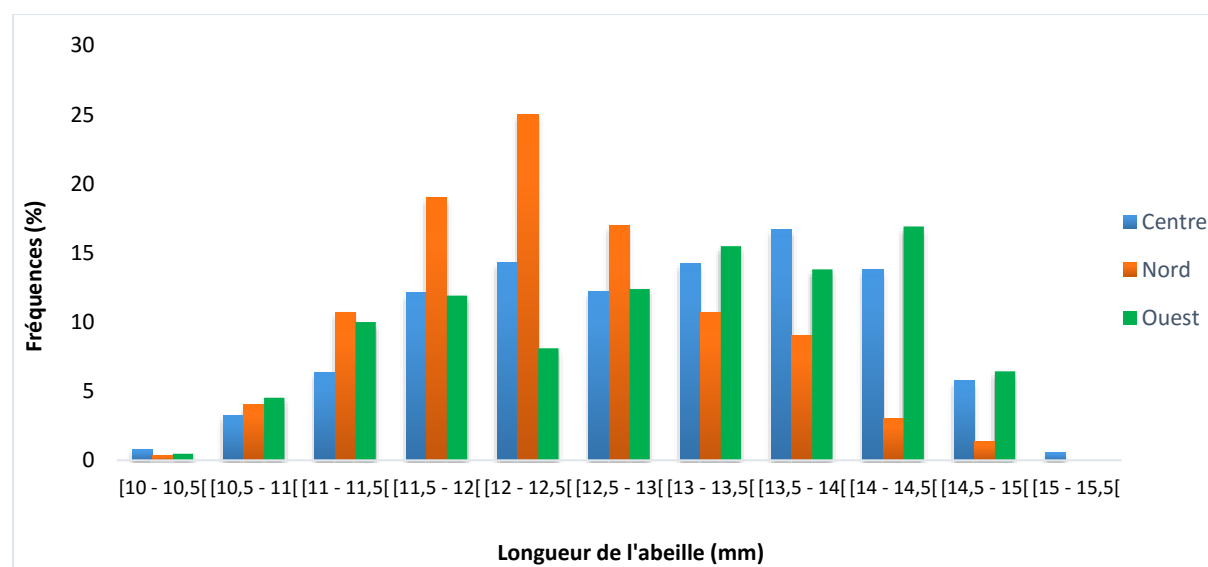


Figure 37 : Fréquences relatives de la longueur des abeilles des trois zones géographiques

Tableau 6 : Moyennes et écarts-types des paramètres morphologiques mesurés sur les populations d'abeilles issues de la zone Centre

Paramètres	INP-HB	Kouassikro	Lkouassikro	M'Batto	N'Drikro	N'Guesskro	Singrobo	Soungassou	Yobouekro
Longueur abeille	13,2 ± 1,18	12,3 ± 0,75	13,15 ± 0,86	10,97 ± 0,39	13,51 ± 0,89	12,83 ± 0,9	12,09 ± 0,84	13,43 ± 0,86	13,6 ± 0,92
Largeur métatarse	1,18 ± 0,07	1,14 ± 0,04	1,14 ± 0,04	1,15 ± 0,03	1,16 ± 0,03	1,14 ± 0,03	1,17 ± 0,03	1,19 ± 0,08	1,15 ± 0,04
Longueur patte	7,33 ± 0,26	7,35 ± 0,18	7,4 ± 0,25	7,28 ± 0,2	7,52 ± 0,19	7,42 ± 0,2	7,52 ± 0,18	7,47 ± 0,47	7,42 ± 0,19
Longueur langue	5,28 ± 0,21	5,27 ± 0,18	5,32 ± 0,19	5,24 ± 0,11	5,53 ± 0,13	5,32 ± 0,2	5,32 ± 0,19	5,24 ± 0,15	5,32 ± 0,18
Longueur AA	8,94 ± 0,26	8,88 ± 0,15	8,99 ± 0,25	8,81 ± 0,16	8,94 ± 0,18	9,03 ± 0,18	9,07 ± 0,16	8,93 ± 0,2	9,07 ± 0,22
Largeur AA	2,96 ± 0,07	2,93 ± 0,07	2,95 ± 0,1	2,97 ± 0,06	2,96 ± 0,07	2,97 ± 0,07	2,98 ± 0,06	2,94 ± 0,06	2,96 ± 0,08
Longueur AP	6,14 ± 0,19	6,14 ± 0,14	6,21 ± 0,22	6,09 ± 0,2	6,16 ± 0,17	6,21 ± 0,15	6,23 ± 0,14	6,17 ± 0,16	6,21 ± 0,18
Largeur AP	1,67 ± 0,06	1,63 ± 0,05	1,67 ± 0,06	1,64 ± 0,05	1,66 ± 0,04	1,67 ± 0,05	1,67 ± 0,05	1,68 ± 0,05	1,68 ± 0,05
Transgression	-2,16 ± 1,85	-1,55 ± 2,19	-2,14 ± 1,83	-2 ± 1,23	-1,89 ± 2,03	-1,73 ± 1,7	-1,15 ± 2,11	-1,49 ± 1,58	-3,62 ± 2,01
Indice cubital	2,28 ± 0,41	2,46 ± 0,52	2,19 ± 0,39	2,86 ± 0,43	2,4 ± 0,38	2,15 ± 0,34	2,31 ± 0,37	2,4 ± 0,34	2,31 ± 0,38
Coloration	1,52 ± 0,15	1,56 ± 0,08	1,62 ± 0,11	1,43 ± 0,11	1,57 ± 0,08	1,63 ± 0,09	1,58 ± 0,13	1,65 ± 0,08	1,62 ± 0,18
Tomentum	1,32 ± 0,12	1,29 ± 0,08	1,27 ± 0,1	1,25 ± 0,05	1,32 ± 0,07	1,24 ± 0,13	1,32 ± 0,06	1,16 ± 0,15	1,34 ± 0,12
Pilosité	0,23 ± 0,03	0,22 ± 0,02	0,23 ± 0,02	0,23 ± 0,02	0,22 ± 0,02	0,22 ± 0,02	0,24 ± 0,02	0,22 ± 0,02	0,22 ± 0,03

Les valeurs représentent les moyennes et les écarts-types de chaque paramètre en mm à l'exception de la transgression discoïdale qui est exprimée en degré (°) et de l'Indice cubital qui est sans unité.

AA : Aile antérieure, AP : Aile postérieure.

Tableau 7 : Moyennes et écarts-types des paramètres morphologiques mesurés sur les populations d'abeilles issues de la zone Nord

Paramètres	Bouna	Ferkessedougou	Karakoro	Korhogo
Longueur de l'abeille	11,85 ± 0,68	12,15 ± 0,71	12,46 ± 1	12,83 ± 0,76
Largeur du métatarse	1,14 ± 0,03	1,2 ± 0,21	1,14 ± 0,03	1,14 ± 0,04
Longueur de la patte	7,38 ± 0,15	7,51 ± 0,26	7,39 ± 0,14	7,35 ± 0,16
Longueur de langue	5,17 ± 0,25	5,36 ± 0,33	5,32 ± 0,21	5,31 ± 0,19
Longueur de l'aile antérieure	8,82 ± 0,15	9,01 ± 0,18	8,99 ± 0,12	8,97 ± 0,16
Largeur de l'aile antérieure	2,93 ± 0,1	3 ± 0,09	2,95 ± 0,06	2,95 ± 0,07
Longueur de l'aile postérieure	6 ± 0,13	6,18 ± 0,14	6,19 ± 0,13	6,16 ± 0,14
Largeur de l'aile postérieure	1,65 ± 0,05	1,73 ± 0,07	1,67 ± 0,05	1,67 ± 0,05
Transgression discoïdale	-2,25 ± 1,72	-1,67 ± 1,88	-1,26 ± 1,36	-1,96 ± 1,46
Indice cubital	2,14 ± 0,3	2,12 ± 0,31	2,44 ± 0,37	2,24 ± 0,31
Coloration	1,55 ± 0,06	1,57 ± 0,08	1,57 ± 0,09	1,5 ± 0,07
Tomentum	1,24 ± 0,08	1,34 ± 0,1	1,31 ± 0,08	1,3 ± 0,09
Pilosité	0,22 ± 0,02	0,22 ± 0,02	0,22 ± 0,02	0,21 ± 0,02

Les valeurs représentent les moyennes et les écarts-types de chaque paramètre en mm à l'exception de la transgression discoïdale qui est exprimée en degré (°) et de l'Indice cubital qui est sans unité.

AA : Aile antérieure, AP : Aile postérieure.

Tableau 8 : Moyennes et écarts-types des paramètres morphologiques mesurés sur les populations d'abeilles issues de la zone Ouest

Paramètres	Biankouma	Dainé	Forona	Man	Oussougoula
Longueur de l'abeille	13,56 ± 0,96	11,49 ± 0,62	12,81 ± 0,94	13,55 ± 0,94	12,75 ± 1
Largeur du métatarse	1,16 ± 0,03	1,15 ± 0,03	1,13 ± 0,04	1,16 ± 0,04	1,14 ± 0,03
Longueur de la patte	7,44 ± 0,16	7,73 ± 0,18	7,4 ± 0,19	7,55 ± 0,13	7,31 ± 0,18
Longueur de langue	5,48 ± 0,23	5,46 ± 0,26	5,35 ± 0,22	5,53 ± 0,14	5,26 ± 0,19
Longueur de l'aile antérieure	8,92 ± 0,19	8,96 ± 0,12	9 ± 0,13	9,05 ± 0,12	8,87 ± 0,15
Largeur de l'aile antérieure	2,97 ± 0,08	2,92 ± 0,05	2,96 ± 0,05	2,95 ± 0,06	2,92 ± 0,06
Longueur de l'aile postérieure	6,22 ± 0,19	6,16 ± 0,12	6,26 ± 0,15	6,23 ± 0,12	6,07 ± 0,14
Largeur de l'aile postérieure	1,68 ± 0,05	1,65 ± 0,06	1,67 ± 0,06	1,67 ± 0,04	1,63 ± 0,05
Transgression discoïdale	-1,91 ± 1,48	-1,52 ± 1,64	-2,06 ± 1,52	-3,34 ± 1,87	-1,89 ± 1,46
Indice cubital	2,37 ± 0,31	2,27 ± 0,47	2,36 ± 0,37	2,26 ± 0,41	2,3 ± 0,36
Coloration	1,55 ± 0,08	1,59 ± 0,09	1,58 ± 0,08	1,59 ± 0,05	1,58 ± 0,07
Tomentum	1,33 ± 0,06	1,28 ± 0,06	1,33 ± 0,07	1,33 ± 0,06	1,31 ± 0,06
Pilosité	0,23 ± 0,02	0,23 ± 0,02	0,22 ± 0,02	0,24 ± 0,02	0,23 ± 0,02

Les valeurs représentent les moyennes et les écarts-types de chaque paramètre en mm à l'exception de la transgression discoïdale qui est exprimée en degré (°) et de l'Indice cubital qui est sans unité.

AA : Aile antérieure, AP : Aile postérieure.

Tableau 9 : Synthèse des moyennes et écarts-types des paramètres mesurés sur les populations d'abeilles issues des différentes zones phytogéographiques de la Côte d'Ivoire

Paramètres	Centre	Nord	Ouest
Longueur de l'abeille	12,95 ± 1,1	12,39 ± 0,89	12,93 ± 1,15
Largeur du métatarse	1,16 ± 0,05	1,15 ± 0,1	1,15 ± 0,04
Longueur de la patte	7,43 ± 0,27	7,4 ± 0,19	7,47 ± 0,22
Longueur de langue	5,32 ± 0,2	5,29 ± 0,25	5,41 ± 0,23
Longueur de l'aile antérieure	8,98 ± 0,21	8,95 ± 0,17	8,96 ± 0,16
Largeur de l'aile antérieure	2,96 ± 0,07	2,96 ± 0,08	2,95 ± 0,06
Longueur de l'aile postérieure	6,18 ± 0,17	6,14 ± 0,15	6,19 ± 0,16
Largeur de l'aile postérieure	1,67 ± 0,05	1,68 ± 0,06	1,66 ± 0,05
Transgression discoïdale	-1,92 ± 2	-1,75 ± 1,61	-2,19 ± 1,71
Indice cubital	2,33 ± 0,41	2,25 ± 0,35	2,31 ± 0,38
Coloration	1,58 ± 0,11	1,54 ± 0,08	1,57 ± 0,07
Tomentum	1,28 ± 0,12	1,3 ± 0,09	1,32 ± 0,06
Pilosité	0,22 ± 0,02	0,21 ± 0,02	0,23 ± 0,02

Les valeurs représentent les moyennes et les écarts-types de chaque paramètre en mm à l'exception de la transgression discoïdale qui est exprimée en degré (°) et de l'Indice cubital qui est sans unité.

AA : Aile antérieure, AP : Aile postérieure.

6.1.1.2. Longueur de la langue

La longueur de la langue des abeilles échantillonnées dans le Centre de la Côte d'Ivoire est comprise entre 5,24 et 5,53 mm (Tableau 6). Cette longueur varie entre 5,17 et 5,36 mm pour le Nord. Par contre, elle se situe entre 5,26 et 5,53 mm dans l'Ouest (Tableaux 7 et 8). Les écarts-types varient pour leur part de 0,11 et 0,33 mm.

Une dispersion plus importante pour les mesures de la longueur de la langue est observée pour les trois zones d'étude (Figure 38). De manière générale celles-ci présentent la même allure pour toutes les régions. Au total, 31,5% des abeilles dans le Centre ont une longueur comprise entre 5,2 et 5,4 mm contre un pourcentage de 34% pour les abeilles de la zone Nord. À l'Ouest, 33,05% des abeilles ont des longueurs de langue variant entre 5,2 et 5,4 mm.

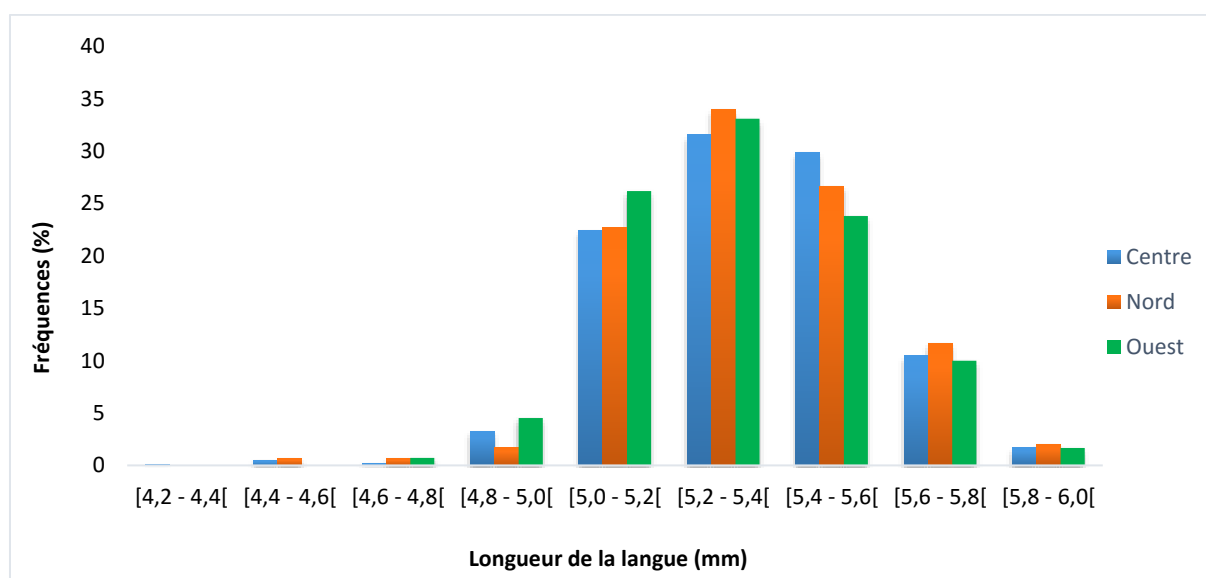


Figure 38 : Fréquences relatives de la longueur de la langue des abeilles des trois zones géographiques

6.1.1.3. Coloration du deuxième tergite

Concernant la coloration, les valeurs moyennes sont comprises entre 1,43 et 1,63 mm pour le Centre ; entre 1,5 et 1,57 mm pour le Nord ; et entre 1,55 et 1,59 mm pour les échantillons en provenance de l'Ouest (Tableaux 6, 7 et 8). Les écarts-types des mesures de la coloration se situent entre 0,05 et 0,18 mm.

Bien que 17,11 % des individus issus du Centre ne présentent pas de coloration jaune au niveau du 2^e tergite, une forte proportion d'individus (82,89%) présente des valeurs comprises entre

1,4 mm et 1,8 mm. Seulement 3,3% des d'individus ont une coloration variant entre 1,2 mm et 1,4 mm (Figure 39).

Dans la zone Nord, le deuxième tergite de 14,6% des individus collectés ne présente pas de bande jaune ; 45,3% ont une bande jaune mesurant entre 1,4 mm et 1,6 mm et 36,6% ont une coloration comprise entre 1,6 mm et 1,8 mm.

Quant à la zone Ouest, la proportion d'individus sombres est plus élevée (18,57%). Au niveau des individus ayant un abdomen jaune, la largeur de cette bande jaune était comprise, dans 43,8% des cas, entre 1,4 et 1,6 mm, et dans 34,03% des cas entre 1,6 mm et 1,8 mm.

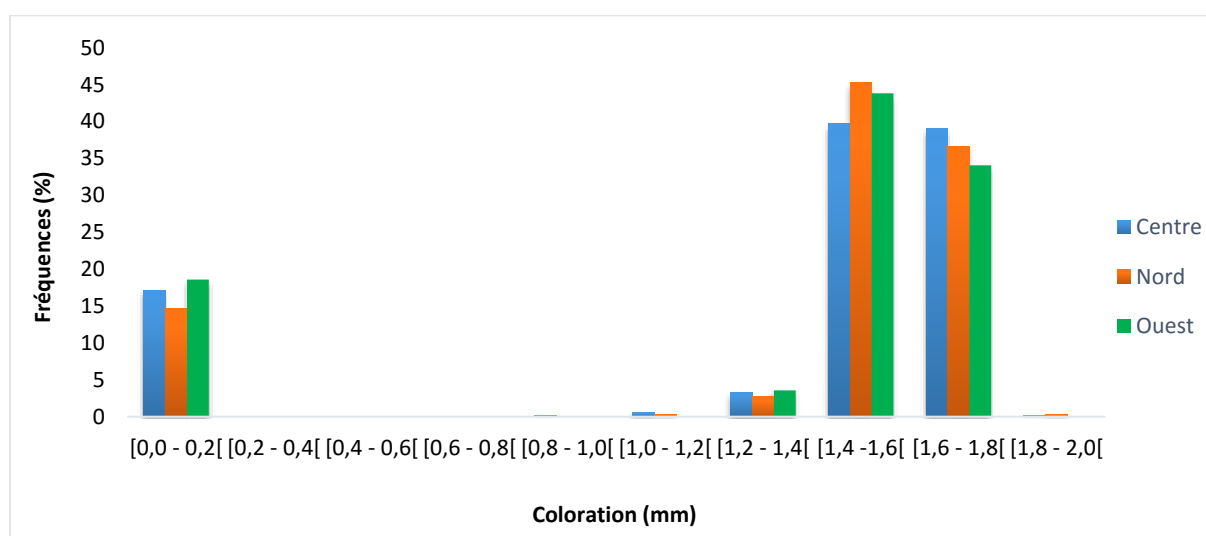


Figure 39 : Fréquences relatives de la coloration des abeilles des trois zones géographiques

6.1.1.4. Tomentum du quatrième tergite

Les valeurs moyennes des tomentums mesurées sur les abeilles se situent entre 1,16 et 1,34 mm pour les abeilles du Centre et entre 1,24 et 1,34 mm pour celles collectées dans le Nord. Pour celles échantillonnées dans l'Ouest, le tomentum est compris entre 1,28 et 1,33 mm. Les écarts-types de ces mesures sont compris entre 0,05 et 0,15 mm (Tableaux 6, 7 et 8).

Au niveau de la zone Centre, 35% des abeilles ont un tomentum ayant une largeur comprise entre 1,25 et 1,35 mm. Environ 28% des individus ont une coloration comprise entre 1,35 et 1,45 mm, 20% des valeurs sont comprises entre 1,15 et 1,25 mm et une part peu significative (5%) entre les valeurs 1,05 et 1,15 mm (Figure 40).

Dans la zone Nord, la plus grande proportion des abeilles à savoir 45% a un tomentum mesurant entre 1,25 mm et 1,35 mm, suivie par 25% d'abeilles dont le tomentum a une longueur comprise entre 1,15 mm et 1,25 mm et 20% d'abeilles avec un tomentum mesurant entre 1,35 mm et 1,45 mm.

Quant à la zone Ouest, 53,3% des individus ont des valeurs du tomentum comprises entre 1,3 mm et 1,5 mm et seulement 13% ont des valeurs comprises entre 1,15 mm et 1,25 mm.

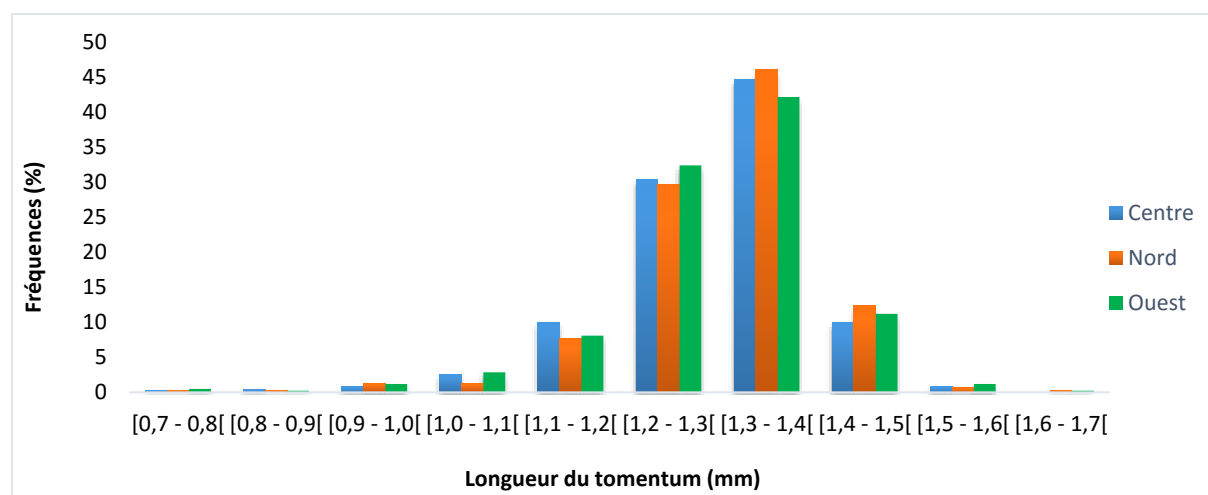


Figure 40 : Fréquences relatives du tomentum des abeilles des trois zones géographiques

6.1.1.5. Pilosité du cinquième tergite

La distribution du caractère pilosité dans les différentes régions montre que les valeurs mesurées ont en moyenne 0,22 à 0,24 mm pour les abeilles issues du Centre ; 0,21 à 0,22 mm pour celles du Nord et 0,22 à 0,24 mm pour celles collectées à l'Ouest. Il y a une faible dispersion des moyennes avec des écarts-types compris entre 0,02 et 0,03 mm (Tableaux 6, 7 et 8).

Une plus grande dispersion des valeurs de la longueur des poils au niveau du 5^e tergite est constatée. Dans 33,4% des cas, les abeilles collectées dans le Centre du pays ont une pilosité comprise entre 0,22 mm et 0,24 mm. Dans le Nord, dans 36% des cas, la pilosité se situe entre 0,22 et 0,24 mm. Dans l'Ouest, 36,4% des individus ont une pilosité comprise entre 0,22 et 0,24 mm (Figure 41).

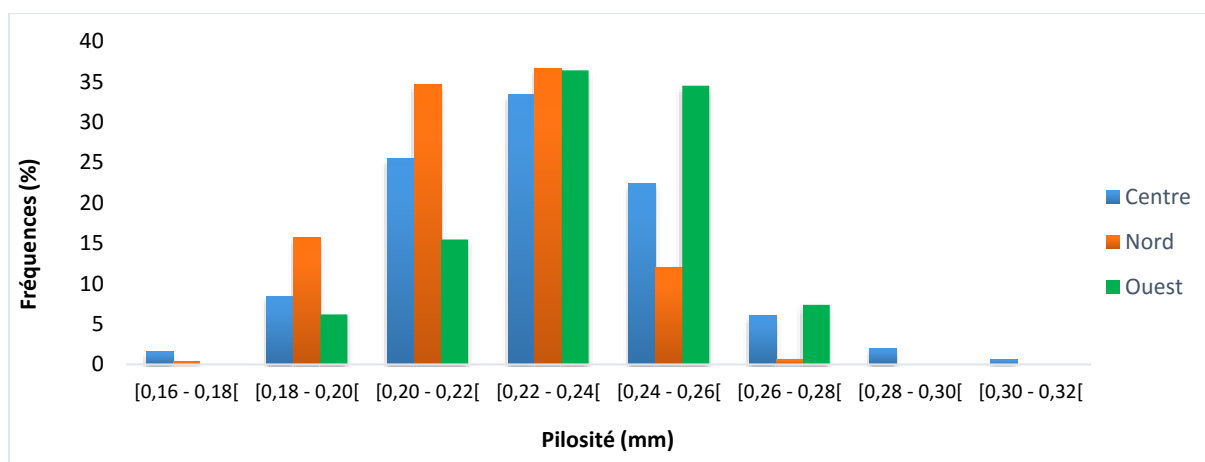


Figure 41 : Fréquences relatives de la pilosité des abeilles des trois zones géographiques

6.1.2. Pattes postérieures

6.1.2.1. Largeur du métatarse

La largeur mesurée sur les métatarses dans les échantillons d'abeilles prélevés dans le Centre se situe entre 1,14 et 1,19 mm. Dans le Nord, ces valeurs sont comprises entre 1,14 et 1,20 mm. A l'Ouest du pays, la largeur du métatarse est comprise entre 1,13 et 1,16 mm.

Les métatarses des pattes postérieures ont des largeurs moins dispersées avec des valeurs comprises à plus de 80% entre 1,1 et 1,2 mm dans les trois zones échantillonnées avec des écarts-types compris entre 0,03 et 0,21 mm (Tableaux 6, 7 et 8 ; Figure 42).

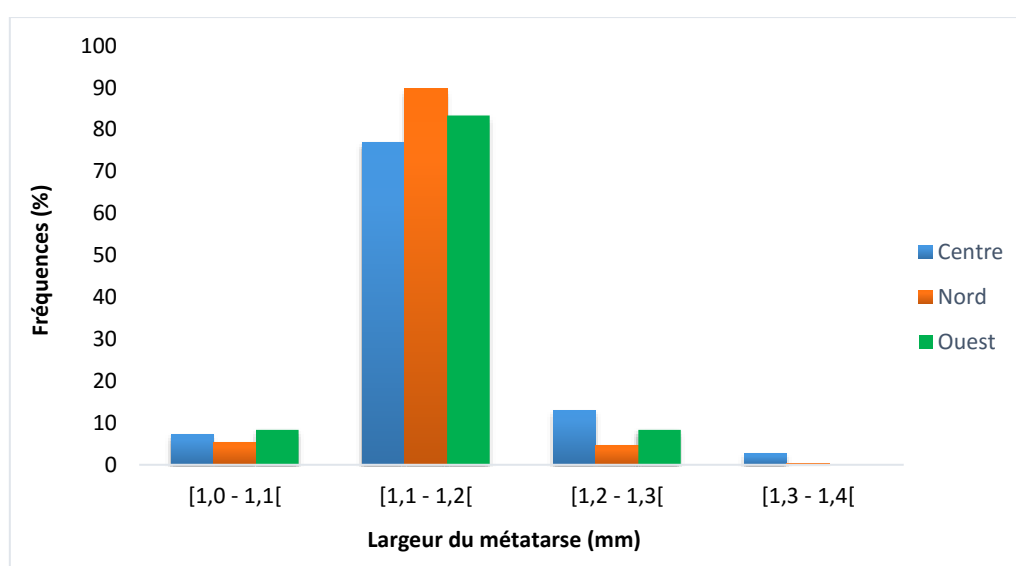


Figure 42 : Fréquences relatives de la largeur du métatarse des abeilles des trois zones géographiques

6.1.2.2. Longueur de la patte

La longueur des pattes se situe entre 7,28 et 7,52 mm pour les abeilles échantillonnées dans le Centre du pays, entre 7,35 et 7,51 mm dans le Nord et entre 7,31 et 7,78 mm dans l’Ouest du pays. Les écarts-types se situent entre 0,13 et 0,26 mm (Tableaux 6, 7 et 8).

Également, 29,6% des abeilles ont une longueur de patte variant entre 7,4 et 7,6 mm dans le Centre du pays. Dans le Nord, 37% des abeilles ont la longueur de leurs pattes postérieures comprise entre 7,4 et 7,6 mm tandis qu’à l’Ouest, 38% des individus ont leurs valeurs comprises entre 7,4 et 7,6 mm (Figure 43).

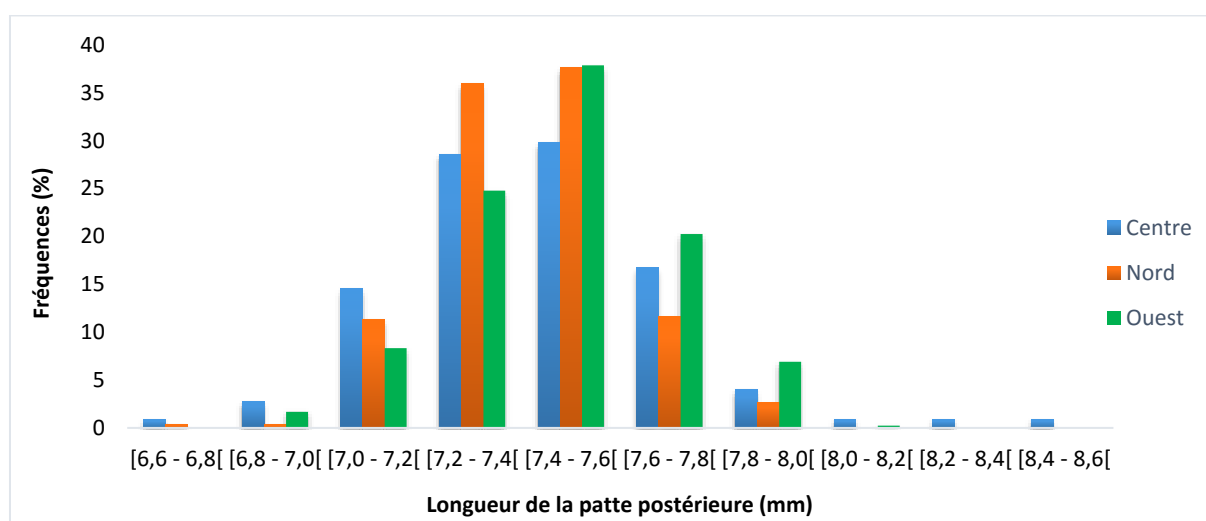


Figure 43 : Fréquences relatives de la longueur de la patte des abeilles des trois zones géographiques

6.1.3. Ailes

6.1.3.1. Longueur de l’aile antérieure

La longueur moyenne des ailes antérieures (AA) se situe entre 8,81 et 9,07 mm dans la zone du Centre (Tableau 6) et entre 8,82 et 9,01 mm dans le Nord (Tableau 7). Dans l’Ouest, cette longueur se situe entre 8,87 et 9,05 mm (Tableau 8). Une forte dispersion des valeurs de la longueur de l’aile antérieure est observée. Cette dispersion est plus forte dans la zone du Centre. Quelle que soit la zone, 40 à 45% des abeilles ont la longueur de leurs ailes antérieures comprise entre 8,9 et 9,1 mm (Figure 44).

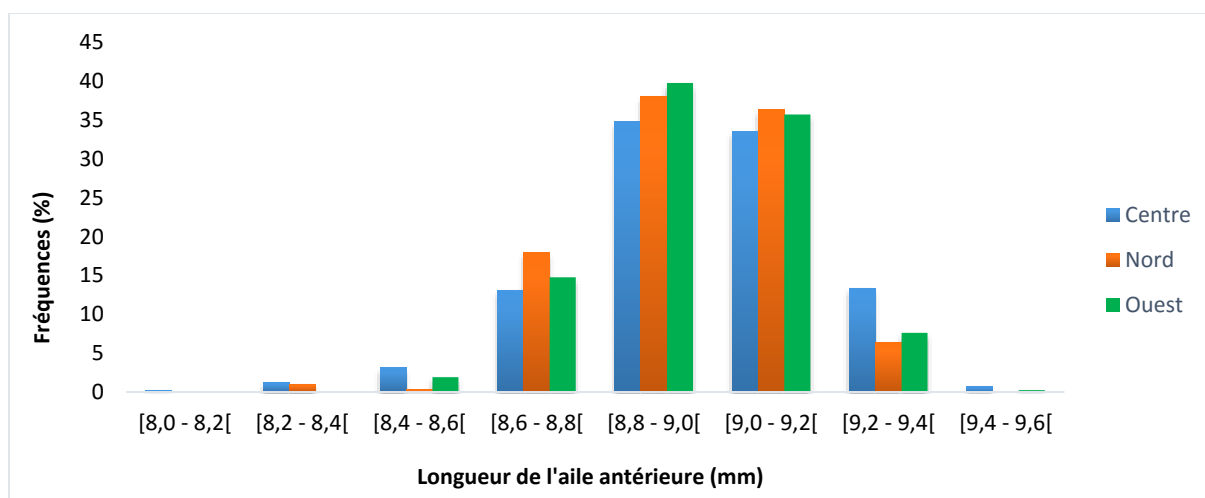


Figure 44 : Fréquences relatives de la longueur des ailes antérieures des abeilles des trois zones géographiques

6.1.3.2. Largeur de l'aile antérieure

Concernant les abeilles collectées dans le Centre, la largeur des ailes antérieures se situe entre 2,93 et 2,98 mm alors que dans le Nord, les largeurs sont comprises entre 2,93 et 3,0 mm. Pour ce qui concerne les abeilles de l'Ouest, les largeurs des AA se situent entre 2,92 et 2,97 mm. Une faible dispersion des largeurs moyennes des ailes antérieures est enregistrée avec des écarts-types compris entre 0,05 et 0,1 mm (Tableaux 6, 7 et 8).

La largeur des ailes antérieures des abeilles se situe entre 2,7 et 3,32 mm mais quelques abeilles du Nord, ont la largeur de l'aile antérieure plus faible (2,5 - 2,6 mm). De même, 10% des abeilles du Nord ont des AA avec une largeur comprise entre 3,05 et 3,2 mm alors que moins de 5% présentent cette mensuration dans les deux autres zones. Pour l'ensemble des trois zones, les fortes valeurs, centrées autour de 2,9 et 3,0 mm, représentent environ 60% des mensurations (Figure 45).

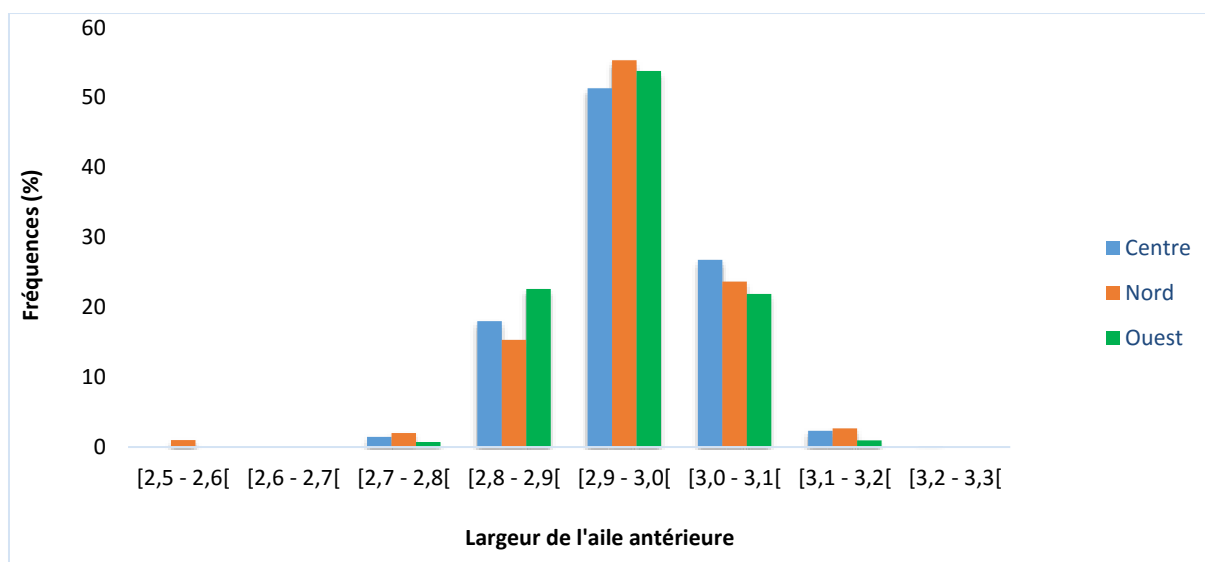


Figure 45 : Fréquences relatives de la largeur des ailes antérieures des abeilles des trois zones géographiques

6.1.3.3. Longueur de l'aile postérieure

Les longueurs des ailes postérieures se situent, pour le Centre, entre 6,09 et 6,23 mm ; et entre 6,0 et 6,19 mm pour les abeilles du Nord. Concernant celles de l'Ouest, les longueurs sont comprises entre 6,07 et 6,26 mm. Pour ces valeurs, les écarts-types sont compris entre 0,12 et 0,22 mm (Tableaux 6, 7 et 8).

Dans toutes les trois zones phytogéographiques, le quart des individus (25%) a des ailes postérieures dont la longueur se situe entre 6,15 et 6,25 mm. L'allure de la dispersion des valeurs des abeilles du Centre est similaire à celles de l'Ouest du pays (Figure 46).

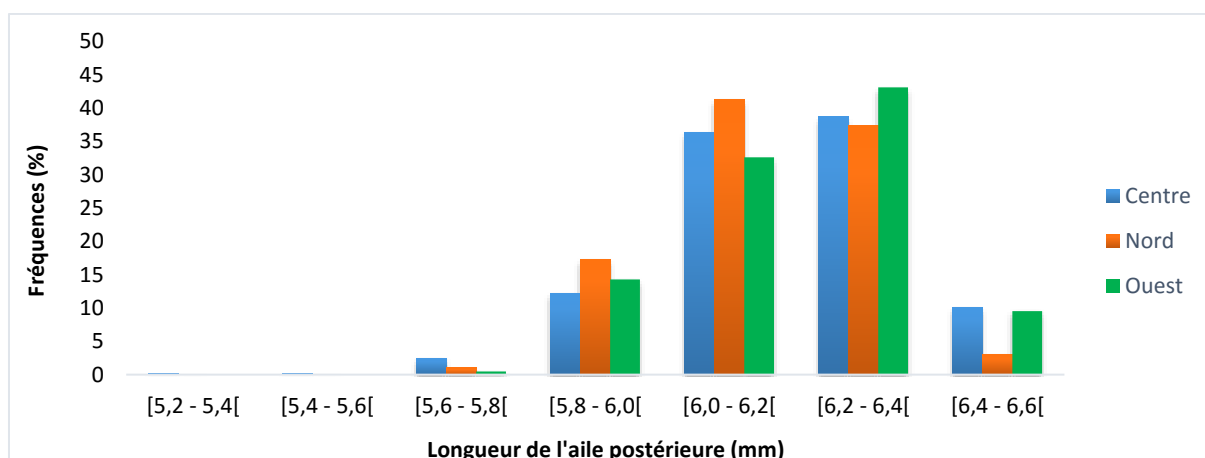


Figure 46 : Fréquences relatives de la longueur des ailes postérieures des abeilles des trois zones géographiques

6.1.3.4. Largeur de l'aile postérieure

Les valeurs mesurées de la largeur des ailes postérieures des abeilles pour la zone du Centre sont comprises entre 1,63 et 1,68 mm. Elles sont comprises entre 1,65 et 1,73 mm (dans le Nord) et 1,63 et 1,68 mm (dans l'Ouest). Une faible dispersion des mesures est également observée avec des largeurs moyennes variant entre 0,04 et 0,07 mm (Tableaux 6, 7 et 8).

Plus de la moitié des abeilles issues des trois zones d'étude, soit 80%, ont présenté des ailes postérieures dont les largeurs se situent entre 1,6 et 1,8 mm (Figure 47). Les valeurs maximales et minimales sont respectivement de 1,45 et 1,85 mm.

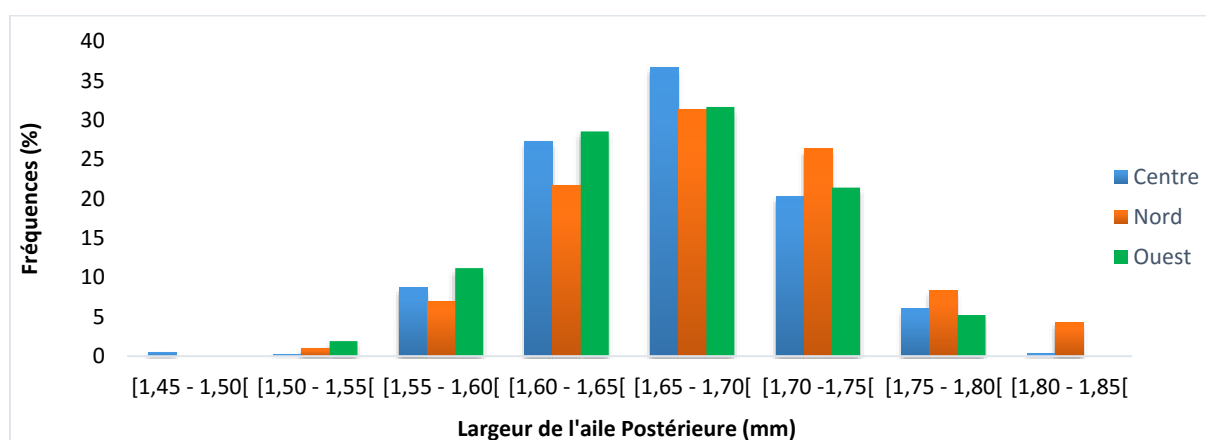


Figure 47 : Fréquences relatives de la largeur des ailes postérieures des abeilles des trois zones géographiques

6.1.3.5. Transgression discoïdale

Les valeurs des transgressions discoïdales sont toutes négatives et sont comprises entre $-3,62^\circ$ et $-1,15^\circ$ (Centre) ; $-2,25^\circ$ et $-1,26^\circ$ (Nord), et $-3,34^\circ$ et $-1,52^\circ$ (Ouest). Les transgressions discoïdales sont fortement dispersées d'où des écarts-types compris entre 1,23 et 2,19° (Tableaux 6, 7 et 8).

Aussi, 15% des abeilles issues de la zone du Centre ont une transgression discoïdale variant entre -4° et -3° , 60% ont une valeur comprise entre -3° et 0° et environ 10% ont une transgression discoïdale positive comprise entre 0° et 5° .

Dans la zone Ouest, 20% des abeilles ont une transgression discoïdale comprise entre -2° et -1° , 30% une transgression discoïdale comprise entre -2° et -1° et 20% ont une transgression

discoïdale allant de -1° à 0° . De même, moins de 10% des individus ont une transgression positive.

Quant à la zone Nord, on observe que 15% des abeilles ont une valeur de transgression comprise entre -4° et -3° , 25% des valeurs comprises entre -3° et -2° , 24% comprises entre -2° et -1° , et 18% des valeurs allant de -1° à 0° (Figure 48).

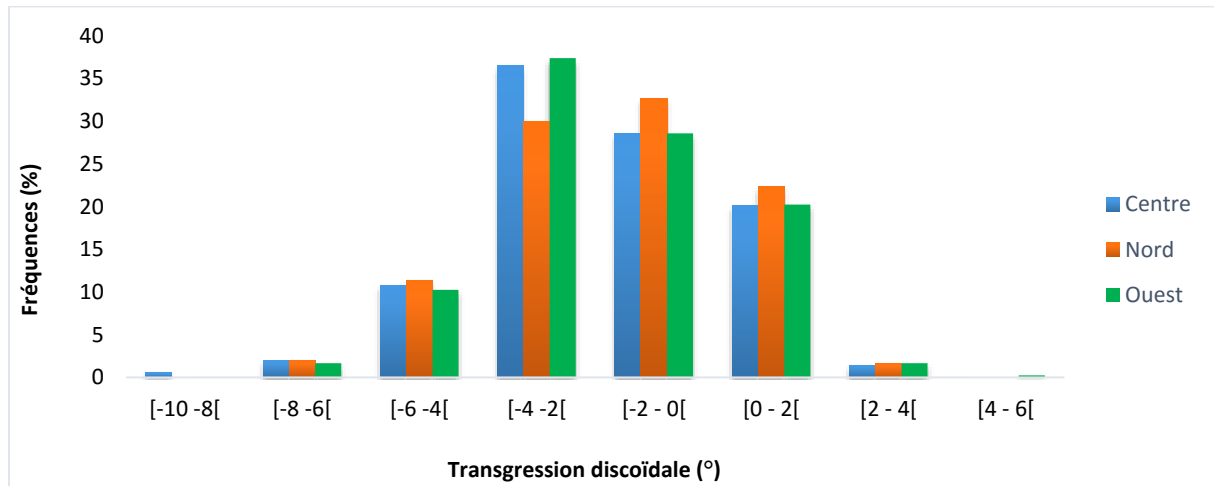


Figure 48 : Fréquences relatives de la transgression discoïdale des abeilles des trois zones géographiques

6.1.3.6. Indice cubital

L'indice cubital (IC) qui est le rapport de l'index cubital A (IA) sur l'index cubital B (IB) se situe pour les régions du Centre, entre 2,15 et 2,86. Pour le Nord et l'Ouest, il se situe respectivement entre 2,12 et 2,44 ; et entre 2,26 et 2,37. Ces mesures ont des écarts-types variant entre 0,3 et 0,52 (Tableaux 6, 7 et 8).

Quelle que soit la zone phytogéographique, une grande dispersion des valeurs est observée. Dans 20% des cas au Centre et dans 25% des cas à l'Ouest, l'IC est compris entre 2,2 et 2,4. Dans le Nord, la plus grande proportion des abeilles (22%) a un IC se situant entre 1,9 et 2,0 (Figure 49).

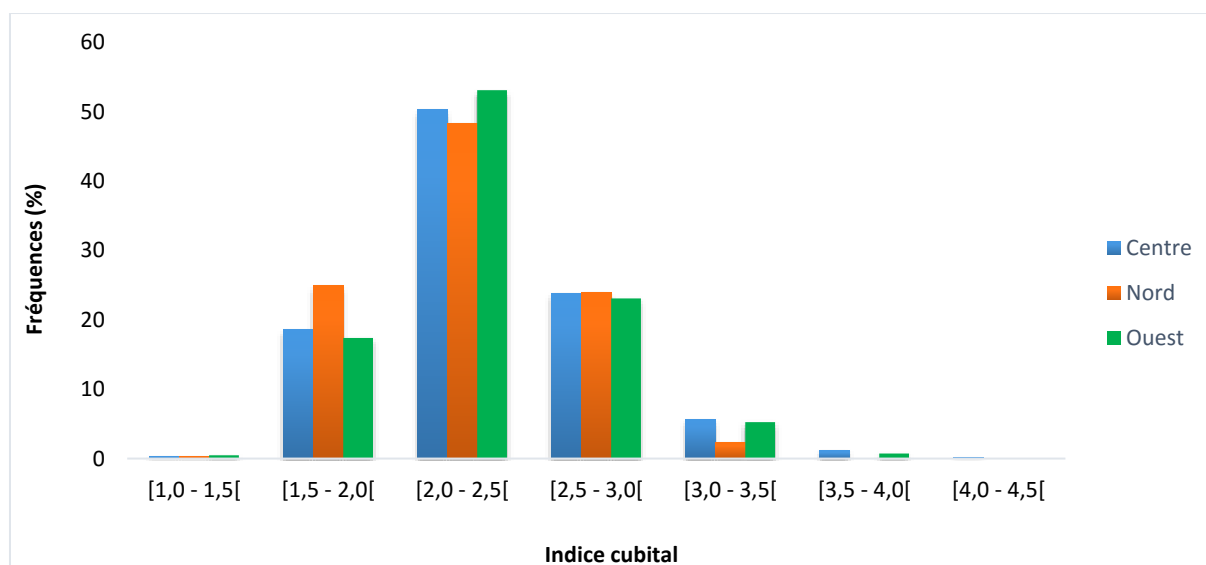


Figure 49 : Fréquences relatives de l'indice cubital des abeilles des trois zones géographiques

6.2. Comparaison des caractéristiques (moyennes) des abeilles par l'analyse de la variance

6.2.1. Comparaison inter-localités des caractéristiques moyennes des abeilles du Centre de la Côte d'Ivoire

La comparaison des moyennes montre qu'il existe des différences très significatives ($p < 0,001$) entre les mensurations des échantillons provenant des différentes localités du Centre (Bongouanou, Dimbokro, Kouassi-kouassikro, Tiassalé, Toumodi, Yamoussoukro) pour chacun des paramètres considérés sauf pour le paramètre largeur de l'aile postérieure pour lequel les différences étaient juste significatives ($p = 0,02$) (Tableau 10).

Les pilosités des abeilles collectées dans la région de l'Agneby-Tiassa sont statistiquement plus faibles contrairement à celles des abeilles des autres régions que sont le Bélier, le Moronou et le N'Zi. Au niveau de la taille du corps, les abeilles se répartissent en deux groupes, à savoir, celui de l'Agneby-Tiassa avec des abeilles plus grandes et celui des régions du Bélier, du Moronou et du N'Zi avec des abeilles plus petites. Concernant, l'indice cubital, trois groupes statistiquement différents sont formés. Le premier est constitué des abeilles du Bélier avec des valeurs plus importantes, le deuxième représenté par les colonies de l'Agneby-Tiassa et du N'Zi avec des valeurs moins importantes et le troisième groupe avec des valeurs plus faibles, représenté par les abeilles du Moronou.

Tableau 10 : Comparaison inter-localités des moyennes des paramètres biométriques (ANOVA) de la zone géographique Centre

Paramètres	Ddl	SCE	CM	Fobs	Pr (>F)	Codes
Coloration	4	0,59	0,147	11,1	0,000000	***
Indice cubital	4	8,42	2,105	12,93	0,000000	***
Largeur aile antérieure	4	0,164	0,041	8,024	0,000002	***
Largeur aile postérieure	4	0,029	0,007	2,759	0,026800	*
Largeur métatarse	4	0,042	0,010	4,086	0,002740	**
Longueur aile antérieure	4	2,47	0,617	14,58	0,000000	***
Longueur abeille	4	128,5	32,13	30,18	0,000000	***
Longueur aile postérieure	4	0,608	0,151	5,081	0,000473	***
Longueur langue	4	4,152	1,038	30,19	0,000000	***
Longueur patte	4	2,28	0,570	8,141	0,000001	***
Pilosité	4	0,023	0,005	10,74	0,000000	***
Tomentum	4	1,551	0,387	29,76	0,000000	***
Transgression discoïdale	4	246	61,56	16,53	0,000000	***

$p \geq 0,05$: () différences non significative ; $p \leq 0,05$: (*) différence significative
 $p \leq 0,01$: (**) différence très significative ; $p \leq 0,001$: (***) différence hautement significative
 ddl : degrés de libertés, SCE : somme des carrés des écarts, CM : carré moyen,
 Fobs : valeur F de Fisher

6.2.2. Comparaison inter-localités des caractéristiques moyennes des abeilles du Nord de la Côte d'Ivoire

Cette analyse est relative aux paramètres mesurés sur les abeilles collectées dans les localités de Bouna, de Ferkessedougou et de Korhogo dans le Nord de la Côte d'Ivoire. L'ANOVA réalisée sur ces paramètres permet de constater des différences significatives entre les moyennes des différentes variables biométriques. Il y a une variation significative entre les mensurations de la coloration, de la pilosité et de la transgression discoïdale avec des probabilités inférieures à 0,05. Concernant l'indice cubital, les longueurs et les largeurs des ailes antérieures et postérieures droites, la largeur du métatarse, la longueur de la patte, la longueur de l'abeille, la longueur de la langue, la pilosité et le tomentum, il existe des différences hautement significatives au niveau des mesures ($p < 0,001$) (Tableau 11).

Concernant le tomentum, il existe des différences significatives pour les abeilles collectées dans les différentes régions du Nord que sont le Bounkani, le Poro et le Tchologo. Les tomentums

sont statistiquement plus larges dans le Bounkani et moins larges dans le Tchologo. La longueur des abeilles et l'indice cubital présentent, pour leur part, des valeurs significativement plus élevées dans le Bounkani et le Tchologo contrairement au Poro avec des valeurs plus faibles. Quant aux longueurs des pattes et des ailes antérieures, les abeilles sont statistiquement identiques dans le Bounkani et le Poro mais différentes de celles de la région du Poro avec des valeurs plus faibles.

Tableau 11 : Comparaison inter-localités des moyennes des paramètres biométriques (ANOVA) de la zone géographique Nord

Paramètres	ddl	SCE	CM	Fobs	Pr (>F)	Codes
Coloration	2	0,0585	0,0292	4,625	0,010500	*
Indice cubital	2	3,04	1,519	13,44	0,000002	***
Largeur aile antérieure	2	0,1263	0,0631	10,39	0,000043	***
Largeur aile postérieure	2	0,2286	0,1142	40,65	0,000000	***
Largeur métatarse	2	0,1861	0,0930	9,27	0,000124	***
Longueur aile antérieure	2	1,34	0,6702	28,49	0,000000	***
Longueur abeille	2	32,8	16,398	24,03	0,000000	***
Longueur aile postérieure	2	1,401	0,7007	39,37	0,000000	***
Longueur langue	2	1,255	0,6276	10,8	0,000029	***
Longueur patte	2	0,926	0,4632	14,56	0,000000	***
Pilosité	2	0,0027	0,0013	4,358	0,013600	*
Tomentum	2	0,3121	0,1560	21,4	0,000000	***
Transgression discoïdale	2	18,7	9,33	3,647	0,027200	*

$p \geq 0,05$: () différences non significative ; $p \leq 0,05$: (*) différence significative ;
 $p \leq 0,01$: (**) différence très significative ; $p \leq 0,001$: (***) différence hautement significative
 ddl : degrés de libertés, SCE : somme des carrés des écarts, CM : carré moyen,
 Fobs : valeur F de Fisher

6.2.3. Comparaison inter-localités des caractéristiques moyennes des abeilles de l'Ouest de la Côte d'Ivoire

Des différences significatives ($p < 0,05$) ont été observées au niveau des valeurs moyennes pour les variables : Longueur de l'aile antérieure, Longueur de l'abeille et Transgression discoïdale. Des différences très significatives ($p < 0,01$) sont observées au niveau des

mesurations des paramètres : Longueur et largeur de l'aile postérieure et Pilosité. Des différences hautement significatives ($p < 0,001$) au niveau des mensurations pour les paramètres : largeur du métatarse, Longueur de la langue et Longueur de la patte. Les abeilles de la région du Tonkpi ont présenté des valeurs moyennes statistiquement plus élevées que celles Worodougou, pour les paramètres Longueur de l'aile antérieure, Longueur et Largeur de l'aile postérieure, Longueur de l'abeille, Largeur du métatarse, Longueur de la langue, Longueur de la patte, Pilosité et Transgression discoïdale.

Cependant, il n'existe pas de différences significatives ($p > 0,05$) entre les moyennes des deux régions pour les paramètres : Coloration, Indice cubital, Largeur de l'aile antérieure et Tomentum (Tableau 12).

Tableau 12 : Comparaison inter-localités des moyennes des paramètres biométriques de la zone géographique Ouest

Paramètres	ddl	SCE	CM	Fobs	Pr (>F)	Codes
Coloration	1	0,0086	0,0085	1,356	0,245000	NS
Indice cubital	1	0,05	0,045	0,309	0,578000	NS
Largeur aile antérieure	1	0,0081	0,0081	1,936	0,165000	NS
Largeur aile postérieure	1	0,0248	0,0248	8,663	0,003430	**
Largeur métatarse	1	0,0538	0,0537	43,06	0,000000	***
Longueur aile antérieure	1	0,157	0,1574	6,261	0,012700	*
Longueur abeille	1	7	6,985	5,365	0,021000	*
Longueur aile postérieure	1	0,215	0,2154	8,234	0,004320	**
Longueur langue	1	3,668	3,668	83,45	0,000000	***
Longueur patte	1	4,028	4,028	109,4	0,000000	***
Pilosité	1	0,0037	0,0037	10,34	0,001400	**
Tomentum	1	0,0009	0,0008	0,219	0,640000	NS
Transgression discoïdale	1	14,6	14,614	5,055	0,025100	*

$p \geq 0,05$: () différences non significative ; $p \leq 0,05$: (*) différence significative ; $p \leq 0,01$: (**) différence très significative ; $p \leq 0,001$: (***) différence hautement significative
 NS : non significatif ; ddl : degrés de libertés, SCE : somme des carrés des écarts, CM : carré moyen ; Fobs : valeur F de Fisher.

6.2.4. Comparaison inter-zones des caractéristiques morphométriques des abeilles collectées dans les trois zones phytogéographiques

Il existe des différences significatives entre les trois zones géographiques pour les moyennes des différentes variables mesurées à l'exception de la longueur de l'aile antérieure pour laquelle les différences observées n'étaient pas significatives ($p = 0,11$) (Tableau 13). Aussi, il existe des différences justes significatives ($p \leq 0,05$) entre les 3 zones phytogéographiques pour les moyennes de l'Indice cubital et de la Largeur des ailes antérieures. Par contre, il existe des différences très significatives pour les moyennes de la Largeur du métatarse et de la Transgression discoïdale et des différences hautement significatives concernant les caractères Coloration, Longueur et Largeur de l'aile postérieure, Longueur de l'abeille, Longueur de la langue, Longueur de la patte postérieure, Pilosité et Tomentum. Cependant, les valeurs du paramètre Longueur de l'aile antérieure ne présentaient aucune différence significative d'une zone à une autre. Ainsi, relativement aux paramètres Longueur de la patte, Longueur de la langue et tomentum, les valeurs moyennes observées pour les abeilles de la zone Ouest sont statistiquement plus élevées que celles des abeilles du Centre et du Nord pour lesquelles aucune différence significative n'est observée. Les abeilles collectées dans le centre de la Côte d'Ivoire ont présenté une taille du corps et une largeur de la bande jaune sur le deuxième tergite statistiquement plus faibles que celles des zones du Centre et de l'Ouest. Concernant la longueur des ailes antérieures, aucune différence significative n'est observée pour les colonies issues des trois zones géographiques. Ce qui n'est pas le cas pour la pilosité pour laquelle aucune différence significative n'a été enregistrée dans les valeurs mesurées. En effet, la pilosité des abeilles est statistiquement plus élevée pour les abeilles de l'Ouest, suivies des abeilles du Centre, avec des valeurs plus faibles pour les abeilles de la zone Nord. Quant à la largeur des ailes antérieures, les abeilles se répartissent en deux groupes différents que sont le Centre et l'Ouest avec les abeilles du Nord occupant une position intermédiaire entre les deux premiers groupes. De même, concernant l'Indice cubital, les abeilles forment également deux groupes statistiquement différents représentés par les colonies du Centre et du Nord, quand les abeilles de l'Ouest ne sont pas différentes des deux premiers groupes. En ce qui concerne le tomentum, les valeurs sont significativement plus élevées pour les abeilles du Centre et du Nord contrairement à celles de l'Ouest.

Tableau 13 : Comparaison inter-zones phytogéographiques des moyennes des paramètres

Paramètres	ddl	SCE	CM	Fobs	Pr (>F)	Codes
Coloration	2	0,361	0,1803	17,03	0,000000	***
Indice cubital	2	1,3	0,6502	4,179	0,015500	*
Largeur aile antérieure	2	0,038	0,0191	3,679	0,025500	*
Largeur aile postérieure	2	0,063	0,0314	10,74	0,000023	***
Largeur métatarse	2	0,044	0,0220	5,821	0,003030	**
Longueur aile antérieure	2	0,16	0,0793	2,161	0,116000	NS
Longueur abeille	2	74,8	37,39	32,37	0,000000	***
Longueur aile postérieure	2	0,48	0,2403	8,596	0,000193	***
Longueur langue	2	2,98	1,4917	31,96	0,000000	***
Longueur patte	2	0,83	0,4129	7,044	0,000899	***
Pilosité	2	0,042	0,0213	45,99	0,000000	***
Tomentum	2	0,395	0,1974	18,36	0,000000	***
Transgression discoïdale	2	37	18,302	5,303	0,005060	**

$p \geq 0,05$: () différences non significative ; $p \leq 0,05$: (*) différence significative ; $p \leq 0,01$: (**) différence très significative ; $p \leq 0,001$: (***) différence hautement significative
 NS : non significatif. ddl : degrés de libertés, SCE : somme des carrés des écarts, CM : carré moyen, Fobs : valeur F de Fisher.

6.3. Matrice de corrélation des paramètres biométriques

Les coefficients de corrélation linéaire entre les différentes variables prises deux à deux ainsi que les valeurs des probabilités p correspondantes ont été déterminés pour l'ensemble des 11 ruchers. La matrice montre des corrélations positives et négatives. Parmi ces corrélations, certaines sont significatives, d'autres hautement significatives et enfin d'autres très hautement significatives (Tableau 14).

Cette matrice de corrélation permet de constater, au niveau de la patte postérieure, une forte corrélation entre la longueur de la patte (LoPa) et la longueur du fémur (LoFe), la longueur du tibia (LoTi), la longueur du métatarse (LoMe) et la largeur du métatarse (LaMe). Les corrélations respectives de 0,68, 0,76, 0,75 et 0,24 indiquent que les valeurs de ces deux paramètres augmentent ou diminuent simultanément. En effet, la longueur de la patte se détermine en additionnant ceux du fémur, du tibia et du métatarse.

Au niveau des ailes, la longueur de l'aile antérieure est fortement corrélée à la longueur de l'aile postérieure ($r = 0,62$). La largeur de l'aile antérieure est également fortement corrélée à la largeur de l'aile postérieure ($r = 0,6$).

Aussi, l'indice cubital (IC) est positivement corrélé ($r = 0,68$) à l'index A (IA) mais négativement corrélé ($r = -0,85$) à l'index B (IB). Ceci est logique dans la mesure où l'indice cubital est le rapport des deux variables IA et IB ($IC = IA / IB$).

La matrice de corrélation permet d'éliminer de l'analyse, les paramètres fortement corrélés entre eux car ceux-ci apportent la même information. Ainsi, les paramètres que sont les longueurs du fémur, du tibia et du métatarse, la largeur du métatarse, la longueur et la largeur des ailes postérieures, les index cubitaux A et B ont été retirés des analyses ultérieures.

Tableau 14 : Matrice des corrélations linéaires entre les variables morphométriques

	LoAb	LoFe	LoTi	LoMe	LaMe	LoPa	LoLa	LoAA	LaAA
LoAb	1*** (0,000)								
LoFe	0,24*** (0,000)	1*** (0,000)							
LoTi	0,01 (0,740)	0,25*** (0,000)	1*** (0,000)						
LoMe	0,03 (0,270)	0,31*** (0,000)	0,37*** (0,000)	1*** (0,000)					
LaMe	0,11*** (0,000)	0,2*** (0,000)	0,17*** (0,000)	0,17*** (0,000)	1*** (0,000)				
LoPa	0,11*** (0,000)	0,68*** (0,000)	0,76*** (0,000)	0,75*** (0,000)	0,24*** (0,000)	1*** (0,000)			
LoLa	0,15*** (0,000)	0,09*** (0,000)	0,23*** (0,000)	0,11*** (0,000)	0,04 (0,100)	0,2*** (0,000)	1*** (0,000)		
LoAA	0,09*** (0,000)	0,2*** (0,000)	0,33*** (0,000)	0,35*** (0,000)	0,11*** (0,000)	0,4*** (0,000)	0,16*** (0,000)	1*** (0,000)	
LaAA	0,07** (0,010)	0,17*** (0,000)	0,3*** (0,000)	0,31*** (0,000)	0,1*** (0,000)	0,36*** (0,000)	0,13*** (0,000)	0,57*** (0,000)	1*** (0,000)
LoAP	0,13*** (0,000)	0,21*** (0,000)	0,31*** (0,000)	0,3*** (0,000)	0,09*** (0,000)	0,37*** (0,000)	0,18*** (0,000)	0,62*** (0,000)	0,47*** (0,000)
LaAP	0,13*** (0,000)	0,2*** (0,000)	0,21*** (0,000)	0,24*** (0,000)	0,16*** (0,000)	0,29*** (0,000)	0,09*** (0,000)	0,44*** (0,000)	0,6*** (0,000)
TD	-0,13*** (0,000)	-0,08*** (0,000)	0,06* (0,010)	-0,01 (0,680)	-0,04 (0,120)	0 (0,890)	-0,03 (0,200)	0,03 (0,300)	0,1*** (0,000)
IA	-0,08** (0,000)	0 (0,840)	0,05* (0,040)	0,04 (0,120)	0,02 (0,350)	0,04 (0,120)	-0,05* (0,030)	0,07** (0,010)	0,12*** (0,000)
IB	0,01 (0,710)	0,1*** (0,000)	0,06* (0,030)	0,15*** (0,000)	0,11*** (0,000)	0,13*** (0,000)	0,02 (0,490)	0,17*** (0,000)	0,05* (0,030)
IC	-0,05* (0,050)	-0,07** (0,000)	-0,01 (0,620)	-0,09*** (0,000)	-0,06* (0,020)	-0,07** (0,000)	-0,02 (0,360)	-0,08*** (0,000)	0,03 (0,170)
Col	0 (0,880)	0 (0,910)	-0,02 (0,520)	-0,02 (0,420)	0 (0,930)	-0,02 (0,510)	0 (0,950)	-0,02 (0,500)	-0,03 (0,220)
Tom	0,08** (0,000)	0,01 (0,690)	0,17*** (0,000)	0,16*** (0,000)	0,02 (0,330)	0,16*** (0,000)	0,12*** (0,000)	0,14*** (0,000)	0,14*** (0,000)
Pil	-0,06* (0,020)	-0,08** (0,000)	0,06* (0,020)	-0,03 (0,270)	-0,01 (0,830)	-0,02 (0,540)	0,02 (0,430)	-0,01 (0,590)	-0,03 (0,250)

Les valeurs entre parenthèses correspondent à la valeur de la probabilité p ; $p \geq 0,05$: () différences non significatives ; $p \leq 0,05$: (*) différences significatives ; $p \leq 0,01$: (***) différences hautement significatives ; $p \leq 0,001$: (****) différences très hautement significatives.

LoAb : Longueur de l'abeille, LoFe : Longueur du fémur, LoTi : Longueur du tibia, LoMe : Longueur du métatarse, LaMe : Largeur métatarse, LoPa : longueur de la patte, LoLa : Longueur de la langue, LoAA : longueur de l'aile antérieure, LaAA : largeur de l'aile antérieure, LoAP : longueur de l'aile postérieure, LaAP : largeur de l'aile postérieure, TD : Transgression discoïdale, IA : Index cubital A, IB : Index cubital B, IC : Indice cubital, Col : Coloration, Tom : Tomentum, Pil : Pilosité.

Tableau 14 (Suite et fin) : Matrice des corrélations linéaires entre les variables morphométriques

	LoAP	LaAP	TD	IA	IB	IC	Col	Tom	Pil
LoAP	1*** (0,000)								
LaAP	0,43*** (0,000)	1*** (0,000)							
TD	0 (0,990)	0,06* (0,020)	1*** (0,000)						
IA	0,06* (0,020)	0,09*** (0,000)	0,19*** (0,000)	1*** (0,000)					
IB	0,11*** (0,000)	0,08*** (0,000)	-0,13*** (0,000)	-0,23*** (0,000)	1*** (0,000)				
IC	-0,04 (0,090)	-0,01 (0,610)	0,2*** (0,000)	0,68*** (0,000)	-0,85*** (0,000)	1*** (0,000)			
Col	0 (0,990)	-0,02 (0,330)	0,01 (0,700)	0,01 (0,760)	-0,01 (0,600)	0,02 (0,360)	1*** (0,000)		
Tom	0,14*** (0,000)	0,11*** (0,000)	-0,1*** (0,000)	-0,01 (0,580)	0,08** (0,000)	-0,06** (0,010)	-0,1*** (0,000)	1*** (0,000)	
Pil	0 (0,850)	-0,07** (0,000)	-0,03 (0,240)	0,04 (0,080)	-0,04 (0,140)	0,05* (0,040)	0 (0,960)	0,13*** (0,000)	1*** (0,000)

Les valeurs entre parenthèses correspondent à la valeur de la probabilité p ; $p \geq 0,05$: () différences non significatives ; $p \leq 0,05$: (*) différences significatives ; $p \leq 0,01$: (***) différences hautement significatives ; $p \leq 0,001$: (***) différences très hautement significatives.

LoAb : Longueur de l'abeille, LoFe : Longueur du fémur, LoTi : Longueur du tibia, LoMe : Longueur du métatarse, LaMe : Largeur métatarse, LoPa : longueur de la patte, LoLa : Longueur de la langue, LoAA : longueur de l'aile antérieure, LaAA : largeur de l'aile antérieure, LoAP : longueur de l'aile postérieure, LaAP : largeur de l'aile postérieure, TD : Transgression discoïdale, IA : Index cubital A, IB : Index cubital B, IC : Indice cubital, Col : Coloration, Tom : Tomentum, Pil : Pilosité.

6.4. Analyse en Composantes Principales

6.4.1. Analyse du nuage de points-variables

Pour cette analyse, neuf variables morphométriques sur l'ensemble des 18 variables ont été retenues. Les variables dont la combinaison permet de déterminer d'autres variables (Longueur du fémur, Longueur du tibia, Longueur du métatarse, Largeur du métatarse, Coloration, Index cubital A et index cubital B) n'ont pas été prises en compte.

Selon cette analyse, quatre composantes, avec une variance supérieure à 1, ont été retenues. Le pourcentage de variation cumulé de ces quatre axes est 61,57%. L'axe 1 explique à lui seul 23,32% de la variation totale tandis que les axes 2, 3 et 4 expliquent respectivement 14,65%, 12,4% et 11,21% de la variation totale (Tableau 15).

L'analyse des corrélations entre les variables et les composantes principales révèle que les paramètres morphométriques sont bien représentés dans le plan factoriel 1-2. Les paramètres Longueur de la patte (LoPa), Longueur de l'aile antérieure (LoAA), Largeur de l'aile antérieure (LaAA) sont bien corrélés positivement avec le premier axe avec des contributions respectives de 23,65%, 29,37% et 26,74% (Tableau 16).

En ce qui concerne l'axe 2, il est essentiellement formé par les variables Transgression discoïdale (TD) avec une contribution de 41,44% et Indice cubital (IC) avec une contribution de 24,91%, qui sont corrélés positivement au deuxième axe tandis que la Longueur de l'abeille (LoAb) contribuant à 13,17% dans la construction de cet axe lui est corrélée négativement (Tableau 16).

Tableau 15 : Valeurs propres et pourcentages de variation expliquée par les composantes principales et pourcentages cumulés

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6	Axe 7	Axe 8	Axe 9
Valeurs propres	2,1	1,32	1,12	1,01	0,84	0,8	0,75	0,66	0,42
% de variance	23,32	14,65	12,4	11,21	9,36	8,86	8,28	7,3	4,63
% de variance cumulée	23,32	37,97	50,37	61,57	70,93	79,79	88,07	95,37	100

Chaque composante principale (Axe) est présentée avec sa valeur propre, le pourcentage de variance expliquée par la composante ainsi que le pourcentage de variance cumulée avec les composantes précédentes.

Sur la base de leur positionnement dans le cercle des corrélations, trois groupes de variables se distinguent :

- le premier groupe est composé de Largeur de l'aile postérieure (LaAA), de la Longueur de l'aile antérieure (LoAA) et de la Longueur de la patte (LoPa) qui sont corrélés positivement au premier et au deuxième axe de l'ACP ;
- le deuxième groupe est constitué de la Longueur de la langue (LoLa), du Tomentum (Tom) et de la Longueur de l'abeille (LoAb), positivement corrélées à l'axe 1 et négativement corrélées à l'axe 2 ;
- le troisième groupe est constitué des variables Indice cubital (IC) et Transgression discoïdale (TD), négativement corrélées à l'axe 1 mais positivement à l'axe 2.

L'ACP montre aussi que les coordonnées géographiques (Latitude et Longitude) des sites de prélèvement des abeilles sont corrélées négativement avec l'axe 1 et positivement avec l'axe 2. Par ailleurs, elles constituent un groupe à part (Figure 50).

Tableau 16 : Corrélations entre les variables morphométriques et les axes principaux et contribution de chaque variable à la construction des axes principaux

Variables	Axe 1			Axe 2			Axe 3			Axe 4		
	Corr	Ctr (%)	Cos ²	Corr	Ctr (%)	Cos ²	Corr	Ctr (%)	Cos ²	Corr	Ctr (%)	Cos ²
LoAb	0,27	3,55	0,08	-0,42	13,17	0,17	-0,22	4,16	0,05	0,59	34,87	0,35
LoPa	0,7	23,65	0,5	0,02	0,02	0,0	-0,04	0,17	0	-0,05	0,26	0
LoLa	0,42	8,3	0,17	-0,21	3,29	0,04	0,12	1,33	0,02	0,53	28,26	0,29
LoAA	0,79	29,37	0,62	0,18	2,43	0,03	-0,1	0,85	0,01	-0,21	4,27	0,04
LaAA	0,75	26,74	0,56	0,33	8,26	0,11	-0,06	0,35	0	-0,12	1,49	0,02
TD	-0,01	0,01	0	0,74	41,44	0,55	0,03	0,07	0	0,15	2,31	0,02
IC	-0,13	0,82	0,02	0,57	24,91	0,33	0,27	6,63	0,07	0,52	27,21	0,27
Tom	0,4	7,57	0,16	-0,28	6,12	0,08	0,51	22,88	0,26	-0,06	0,35	0
Pil	-0,00	0,00	0,00	-0,07	0,36	0,01	0,84	63,56	0,71	-0,1	0,99	0,01
Latitude	-0,09	0	0,01	-0,01	0	0	-0,07	0	0,01	-0,1	0	0,01
Longitude	-0,15	0	0,02	0,16	0	0,02	-0,18	0	0,03	-0,12	0	0,02

Corr : Corrélation entre les variables et les composantes principales, Ctr : Contribution des variables à la construction des axes, Cos² : Cosinus carré, LoAb : Longueur de l'abeille, LoPa : longueur de la patte, LoLa : Longueur de la langue, LoAA : Longueur de l'aile antérieure, LaAA : Largeur de l'aile antérieure, TD : Transgression discoïdale, IC : Indice cubital, Tom : Tomentum, Pil : Pilosité.

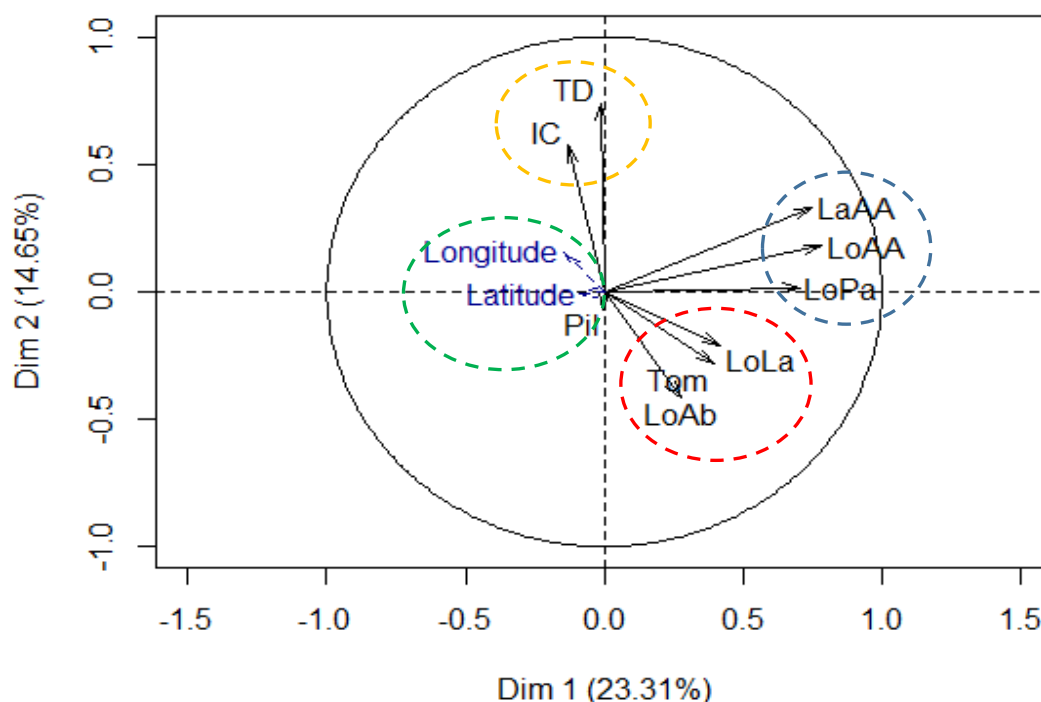


Figure 50 : Représentation graphique des variables quantitatives et quantitatives supplémentaires dans le cercle des corrélations dans le plan factoriel 1-2

LoAb : Longueur de l'abeille, LoPa : longueur de la patte, LoLa : Longueur de la langue, LoAA : longueur de l'aile antérieure, LaAA : largeur de l'aile antérieure, TD : Transgression discoïdale, IC : Indice cubital, Tom : Tomentum, Pil : Pilosité.

6.4.2. Analyse du nuage de points-localités

Les corrélations entre les localités et les composantes principales, ainsi que la qualité de la représentation (Cosinus carrés) des points-localités dans les différents plans factoriels ont été évaluées (Tableau 17). L'examen permet de constater que certaines localités sont bien représentées dans le premier plan factoriel 1-2 tandis que les autres localités le sont dans les plans suivants. Les localités de Bouna, de Karakoro, de Kouassi-kouassikro, de Man, de M'Batto, d'Oussougoula et de Yobouékro sont bien représentées dans le premier plan factoriel avec des cosinus carrés supérieurs à 0,5. Par contre, les localités de Korhogo, de N'Guessankro et de Soungassou sont bien représentées dans le plan factoriel 1-3.

Sur la base de leur position dans le premier plan factoriel 1-2, on distingue six groupes de localités dont le premier est représenté par les localités de Soungassou (Centre), Karakoro et Korhogo dans le Nord et Dainé dans l'Ouest (Figure 51). Ce groupe présente une corrélation positive avec l'axe 2. Le second groupe qui présente une corrélation positive avec l'axe 1, est constitué des localités de Singrobo et N'guessankro dans le Centre, Forona à l'Ouest et Ferkessédougou au Nord. Quant au troisième groupe, il comporte trois sites : Lengbe-kouassikro, N'drikro et Yobouékro (Centre) et Biankouma et Man (Ouest). Ici une corrélation négative avec l'axe 2 est observée. Une seule localité, le site de la ferme expérimentale de l'Institut National Polytechnique-HB (INP) constitue le quatrième groupe et présente une corrélation négative avec les deux axes. Le Cinquième groupe qui a une corrélation négative avec l'axe 1, comprend les localités de Bouna (Nord), Oussougoula (Ouest) et Kouassikouassikro (Centre). Finalement, le 5^e groupe constitué uniquement de la localité de M'batto présente une corrélation positive avec les deux axes.

Tableau 17 : Corrélations entre les localités et les composantes principales

Localités	Axe 1		Axe 2		Axe 3		Axe 4		Plans factoriels					
	Corr	Cos ²	Corr	Cos ²	Corr	Cos ²	Corr	Cos ²	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3-4
Biankouma	0,35	0,11	-0,34	0,1	0,27	0,07	0,8	0,58	0,21	0,18	0,69	0,17	0,68	0,65
Bouna	-1,16	0,5	0,1	0	-0,35	0,05	-0,95	0,34	0,5	0,55	0,84	0,05	0,34	0,39
Daine	0,25	0,02	0,35	0,03	0,53	0,08	-0,5	0,07	0,05	0,1	0,09	0,11	0,1	0,15
Ferkessédougou	0,63	0,28	0,19	0,03	-0,1	0,01	-0,68	0,32	0,31	0,29	0,6	0,04	0,35	0,33
Forona	0,15	0,13	0	0	0,19	0,21	-0,01	0	0,13	0,34	0,13	0,21	0	0,21
INP-HB	-0,19	0,07	-0,26	0,13	0,14	0,04	0,02	0	0,2	0,11	0,07	0,17	0,13	0,04
Karakoro	-0,16	0,05	0,52	0,49	-0,07	0,01	-0,02	0	0,54	0,06	0,05	0,5	0,49	0,01
Kouassi-kouassikro	-0,8	0,67	0,38	0,15	0,27	0,08	-0,08	0,01	0,82	0,75	0,68	0,23	0,16	0,09
Korhogo	-0,19	0,05	-0,04	0	-0,61	0,53	-0,1	0,01	0,05	0,58	0,06	0,53	0,01	0,54
Lengbe-Kouassikro	0,01	0	-0,25	0,18	-0,04	0	-0,08	0,02	0,18	0	0,02	0,18	0,2	0,02
Man	0,89	0,31	-1	0,39	0,5	0,1	0,48	0,09	0,7	0,41	0,4	0,49	0,48	0,19
M'Batto	-1,36	0,29	1,39	0,3	0,73	0,08	-0,36	0,02	0,59	0,37	0,31	0,38	0,32	0,1
N'Drikro	0,57	0,22	-0,29	0,06	0,04	0	0,95	0,62	0,28	0,22	0,84	0,06	0,68	0,62
N'Guessankro	0,13	0,03	0,13	0,03	-0,59	0,55	-0,29	0,14	0,06	0,58	0,17	0,58	0,17	0,69
Oussougoula	-0,82	0,72	-0,16	0,03	0,31	0,1	-0,11	0,01	0,75	0,82	0,73	0,13	0,04	0,11
Singrobo	0,53	0,19	0,63	0,26	0,6	0,23	-0,63	0,26	0,45	0,42	0,45	0,49	0,52	0,49
Soungassou	-0,54	0,12	0,4	0,07	-0,96	0,38	0,38	0,06	0,19	0,5	0,18	0,45	0,13	0,44
Yobouékro	0,54	0,16	-0,82	0,38	-0,09	0	0,1	0,01	0,54	0,16	0,17	0,38	0,39	0,01

Corr : Corrélation ; Cos² : Cosinus carré.

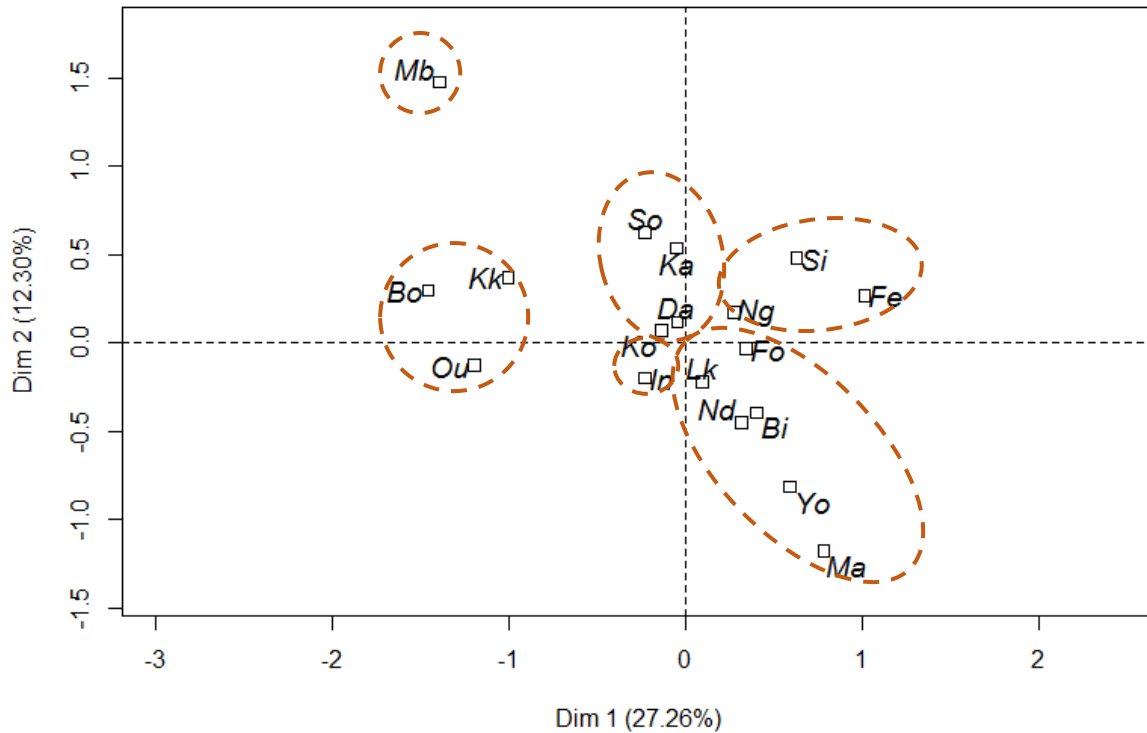


Figure 51 : Représentation graphique des points moyens des localités dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP des localités d'échantillonnage

Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été effectuée sur l'ensemble des 1 620 abeilles collectées, regroupées en 54 colonies. La projection des points individus sur les trois premiers plans factoriels les plus discriminants fait apparaître un nuage assez homogène (Figure 52). Les trois premiers plans factoriels de l'ACP (plans factoriels 1-2, 1-3 et 2-3), représentant respectivement 39,6 %, 37,6% et 22,6% de la variabilité totale montre une absence de séparation entre les colonies d'abeilles des trois zones phytogéographiques. Il ne semble donc pas y avoir de différenciation régionale. Les ellipses de confiance (niveau 0,95) correspondant aux 3 zones phytogéographiques se recouvrent très largement. Cette analyse indique donc que les échantillons d'abeilles de Côte d'Ivoire sont issus d'une population morphologiquement homogène pour les 9 caractères étudiés, sans indice d'une différenciation régionale.

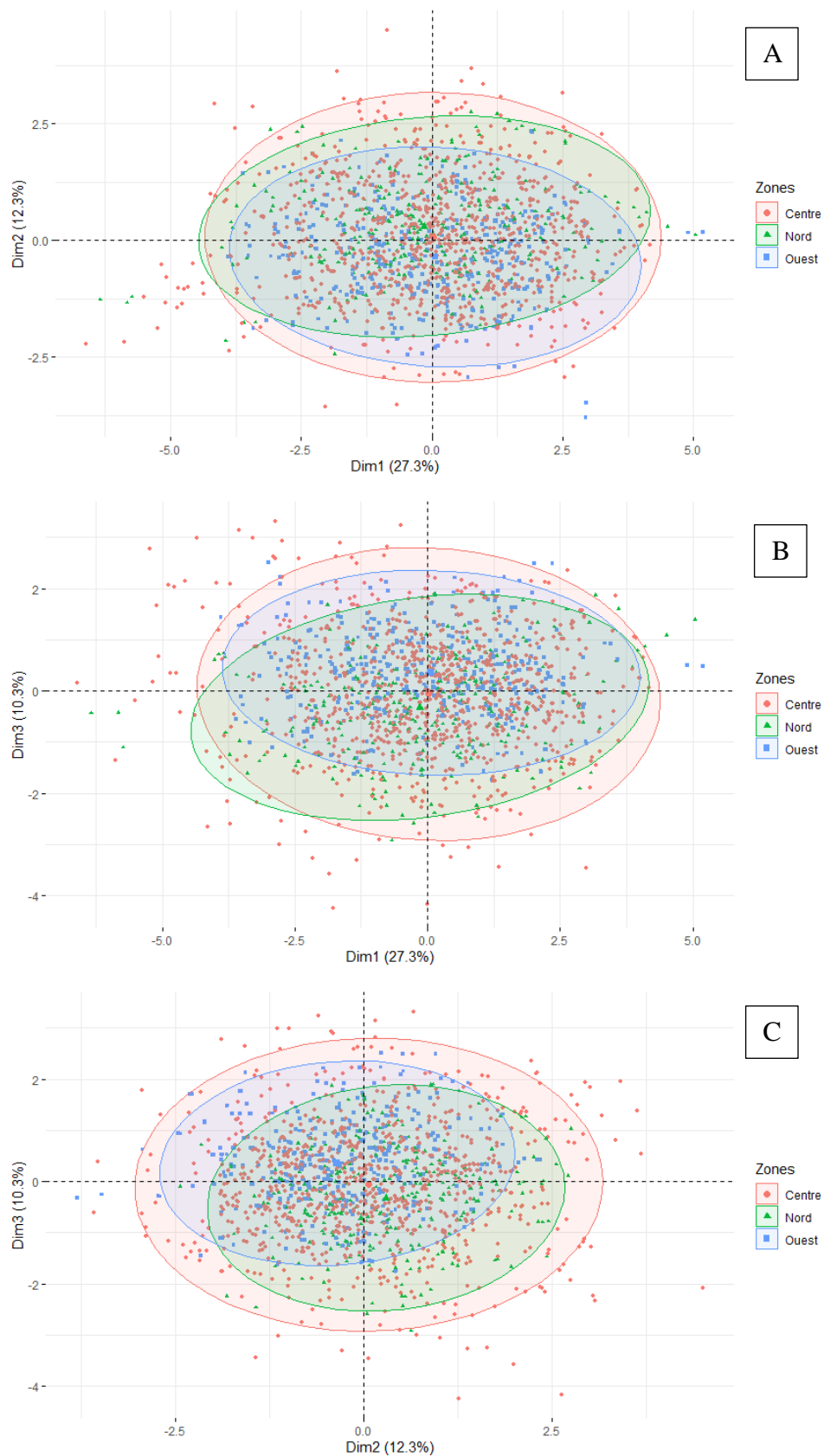


Figure 52 : Représentation graphique des points moyens par zone géographique dans les plans factoriels de l'ACP

A : Plan 1-2 ; B : Plan 1-3 ; C : Plan 2-3.

6.5. Classification hiérarchique

Le regroupement des 18 localités en fonction des caractéristiques biométriques mesurées, à partir de leur degré de similarité a permis la construction d'un dendrogramme (Figure 53). Ce dendrogramme permet de distinguer trois groupes homogènes, à savoir :

- le groupe 1 est constitué des localités suivantes : Biankouma, Dainé et Forona toutes trois dans l'Ouest, Bouna et Ferkessédougou dans le Nord et le site de l'INP au Centre ;
- le groupe 2 est composé des localités de Karakoro et Ferkessédougou dans le Nord, de Kouassi-Kouassikro et de M'batto (Centre) et de Man dans l'Ouest ;
- enfin, le groupe 3 représente les localités de N'drikro, N'guessankro, Singrobo, Soungassou et Yobouékro dans le Centre et Oussougoula dans l'Ouest.

Les différents groupes formés sont constitués chacun d'individus provenant des trois grandes zones phytogéographiques. Cela traduit une absence de différenciation géographique au sein des abeilles collectées.

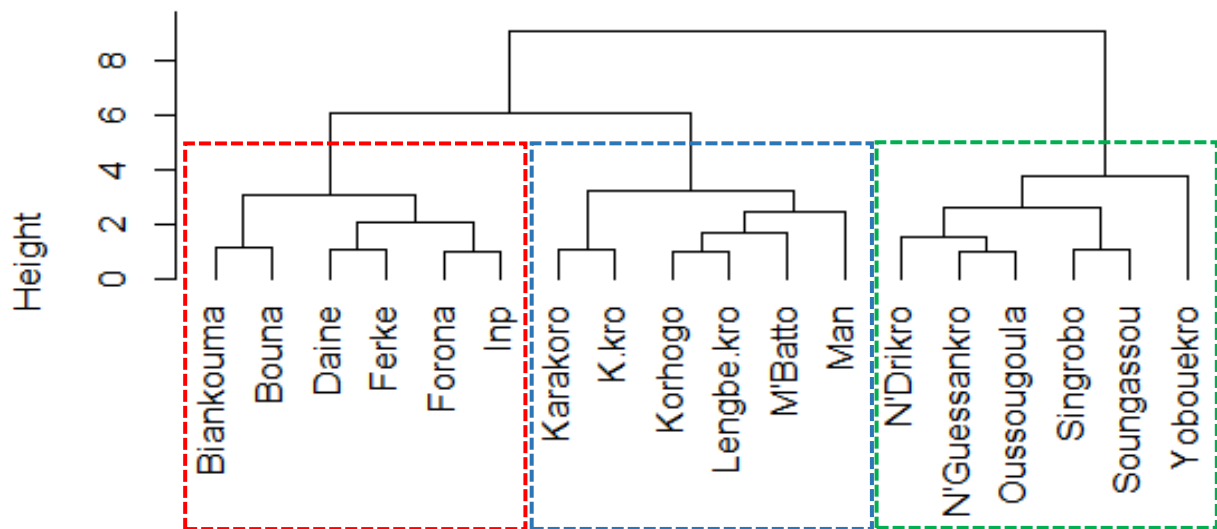


Figure 53 : Dendrogramme de regroupement des localités échantillonnées

CHAPITRE 7 : CARACTÈRES MORPHO-GÉOMÉTRIQUES DES ABEILLES

7.1. Recherche de valeurs aberrantes

La courbe (en rouge) tracée à partir des données obtenues par digitalisation des points-repères est très proche de la courbe (en bleu) représentant la forme moyenne de l'échantillon (Figure 54). Cela indique une absence de valeurs aberrantes et que les landmarks ont été normalement digitalisés.

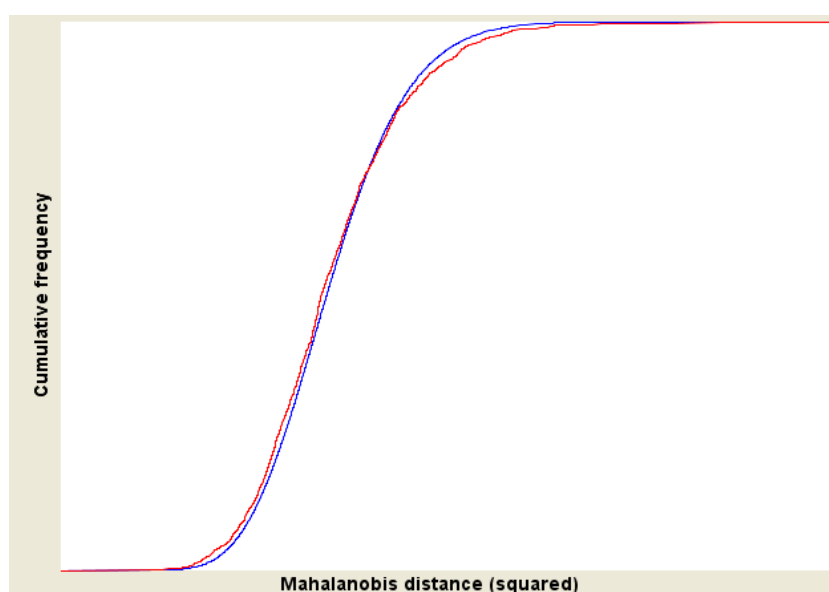


Figure 54 : Courbe de distribution cumulative des distances entre les individus et la forme moyenne de l'échantillon

7.2. Superposition procruste

Après la superposition procruste avec le logiciel MorphoJ, les différentes figures ci-dessous sont obtenues. Les points-repères consensus en bleu, chacun entouré d'un nuage de points (en noir) représentent les différentes coordonnées des landmarks de tous les spécimens (Figure 55A). Les points avec un nuage étalé et diffus indiquent que les landmarks sont éloignés du consensus. Par contre, lorsque les nuages de points sont compacts, les landmarks ont des coordonnées rapprochées. Les points-repères et les différents liens directs entre eux correspondant aux nervures alaires sont présentés à la figure 55B. Ces liens n'interviennent pas dans la mesure de la conformation mais permettent une meilleure visualisation de la structure de l'aile.

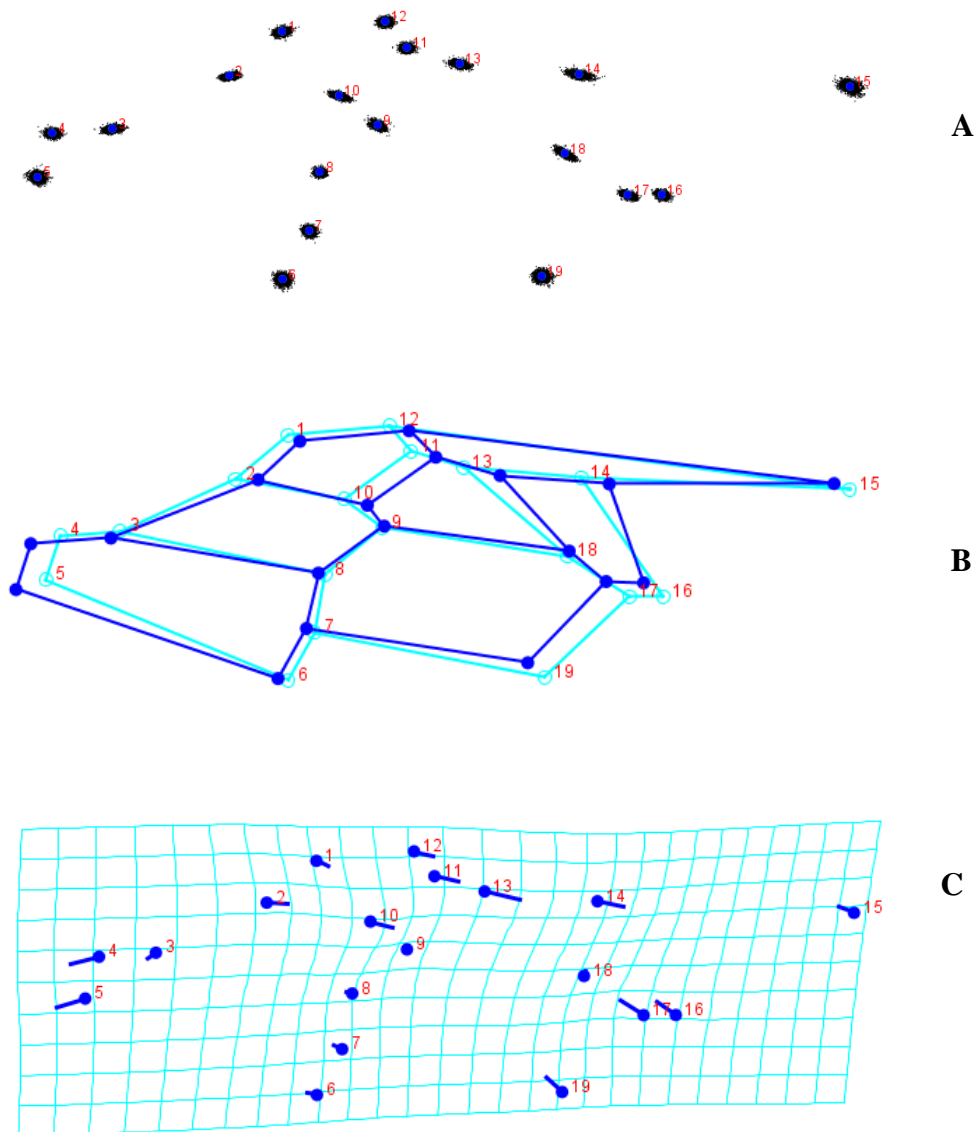


Figure 55 : Résultats de la superposition procruste des coordonnées des points-repères

A : Lollipop montrant les nuages de points représentant les coordonnées des landmarks de tous les spécimens. B : Wireframe présentant les vecteurs de déformation de la forme moyenne des ailes. C : Grille de déformation des ailes.

7.3. Variabilités liées à la taille des ailes antérieures des abeilles

Les graphiques de boîtes à moustaches (boxplots) ont été utilisés pour visualiser la variabilité liée aux variations des tailles alaires (tailles centroïdes). Ces graphiques permettent de détecter les erreurs de mesure et les valeurs anormales (outliers) et de catégoriser les données numériques pour différents niveaux.

7.3.1. Variation des tailles centroïdes des ailes (taille des ailes) entre les colonies dans les différentes régions

Les boîtes à moustaches résument les différents niveaux de variabilités inter-ruchers des tailles centroïdes (TC) alaires (Figures 56 à 58). Quelle que soit la région, les variabilités inter-coloniales des TC sont très importantes pour l'ensemble des 18 ruchers échantillonnés totalisant 54 colonies et 1 620 ailes d'abeilles. Cette variabilité de tailles centroïdes inter-coloniales a été statistiquement confirmée par l'analyse de la variance (ANOVA) à trois critères de classification (Tableau 18).

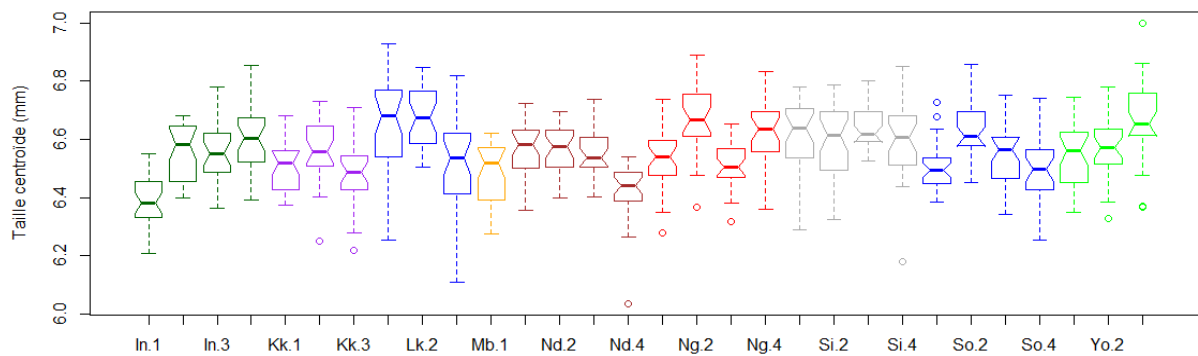


Figure 56 : Variation inter coloniale des tailles centroïdes des colonies de la zone du Centre

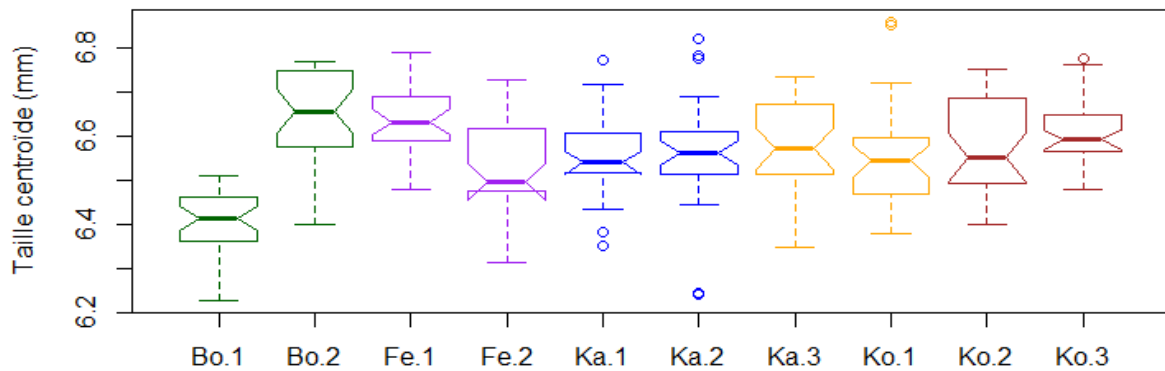


Figure 57 : Variation inter coloniale des tailles centroïdes des colonies de la zone du Nord

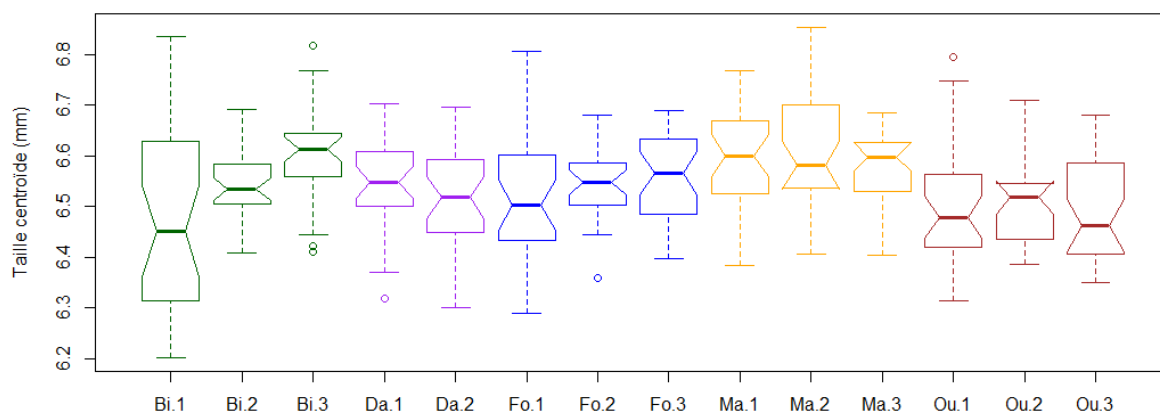


Figure 58 : Variation inter coloniale des tailles centroïdes des colonies de la zone de l’Ouest

7.3.2. Variation des tailles centroïdes des ailes entre les sites d’échantillonnage (localités) dans les différentes régions

Les variabilités inter-sites des TC sont très importantes pour l’ensemble des 18 localités échantillonnées (Figures 59 à 61). Cette variabilité inter-sites des tailles centroïdes a été statiquement confirmée par l’analyse de la variance (ANOVA) à trois critères de classification.

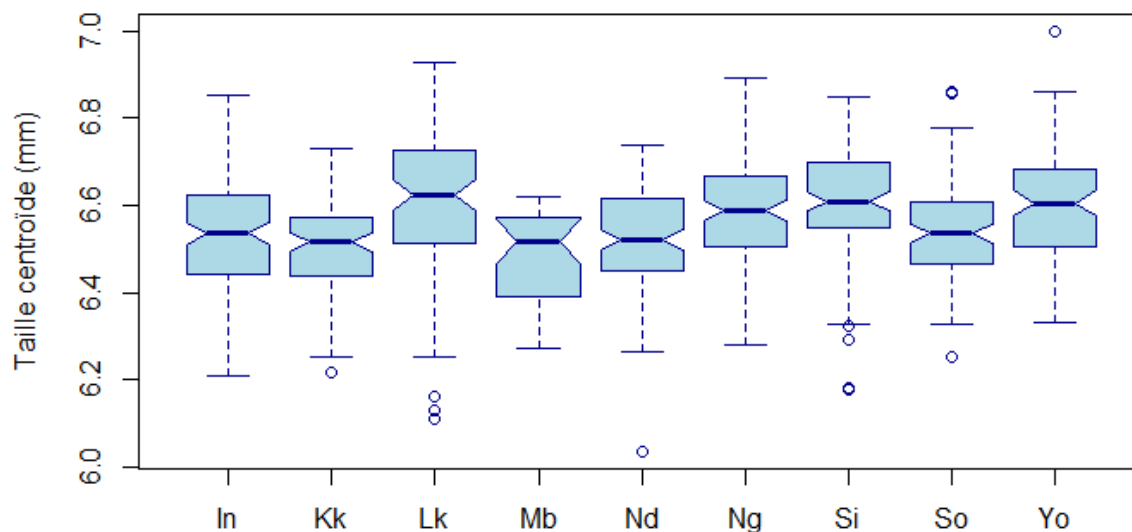


Figure 59 : Variation inter-localités des tailles centroïdes des colonies du Centre

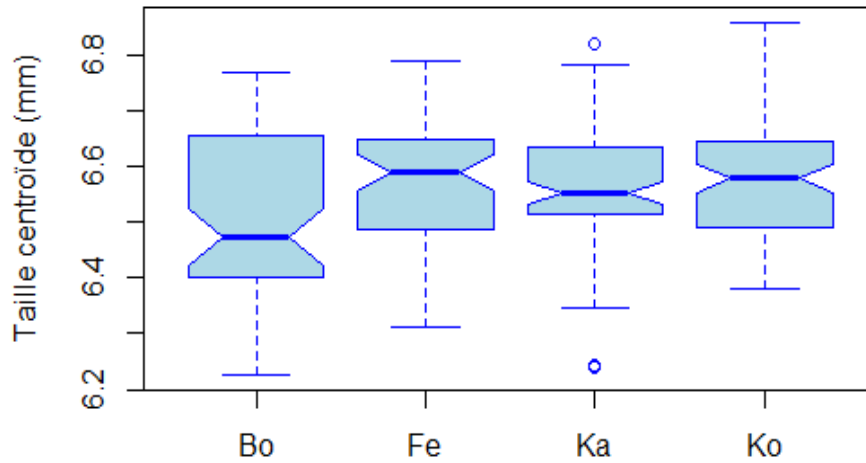


Figure 60 : Variation inter-localités des tailles centroïdes des colonies du Nord

Bo : Bouna, Fe : Ferkessédougou, Ka : Karakoro, Ko : Korhogo

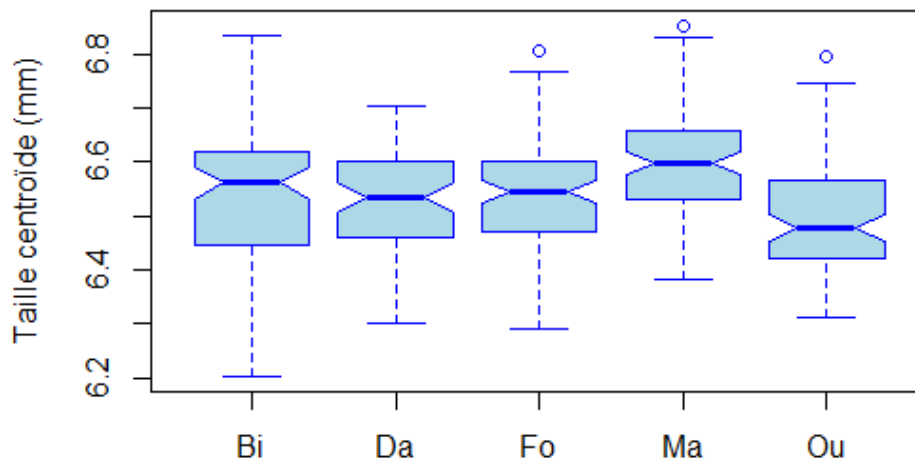


Figure 61 : Variation inter-localités des tailles centroïdes des colonies de l'Ouest

Bi : Biankouma, Da : Dainé, Fo : Forona, Ma : Man, Ou : Oussougoula

7.3.3. Variation des tailles centroïdes des ailes entre les régions dans les trois zones phytogéographiques

Les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) à trois critères de classification révèlent qu'il existe des différences significatives pour les moyennes des TC entre les zones phytogéographiques (Tableau 18, Figure 62).

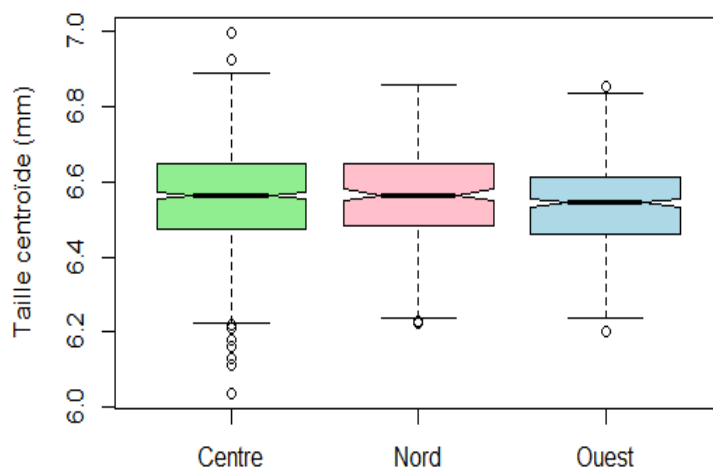


Figure 62 : Représentation graphique des tailles centroïdes des populations régionales d’abeilles de Côte d’Ivoire

Le test Post-hoc de Tukey au seuil de 5% permet de voir que les régions du Centre et du Nord ne sont pas différentes quant à la taille des ailes. Par contre, les abeilles issues de la région Ouest ont une taille significativement inférieure ($P < 0,001$).

Tableau 18 : Comparaisons inter-régions des moyennes des TC pour les facteurs : “Région”, “Rucher” et “Colonie” pour les abeilles échantillonnées dans les trois zones

Facteurs	ddl	Fobs	Pr (>F)	Codes
Zones	2	7,417	$2,72 \times 10^{-4}$	***
Ruchers	15	12,512	$< 2 \times 10^{-16}$	***
Ruches	36	11,313	$< 2 \times 10^{-16}$	***
Résidus	486			

Les astérisques (***) indiquent une différence significative à $P < 0,001$.
ddl : degrés de liberté, Fobs : valeur F de Fisher, Pr (>F) : Probabilité

Les résultats montrent que, dans la majorité des ruchers, il existe une variabilité significative dans les TC. Au vu de ces résultats, la question est de savoir quelle est l’importance de cette variabilité des tailles alaires par rapport aux paramètres de conformations et leurs contributions dans la différenciation des populations d’*Apis mellifera adansonii*.

7.4. Variabilités liées à la forme des ailes antérieures entre les sites d'échantillonnage dans les différentes régions

Les différences entre les régions en ce qui concerne la forme alaire ont été testées en utilisant l'ANOVA à un facteur. Les résultats indiquent une différence significative entre les coordonnées Procrustes des régions ($F_{68, 54978} = 9,95$; $p < 0,0001$).

7.5. Analyse en Composantes Principales

La combinaison des paramètres de conformation et des paramètres de tailles alaires a été utilisée par l'ACP pour discriminer les abeilles par rapport aux trois zones phytogéographiques. La méthode graphique du saut des valeurs propres a été utilisée pour déterminer le nombre d'axe à retenir car elle semble être la plus pertinente. En effet, elle permet de voir où s'exprime la structure dans les données. Sur le graphique, représentant les pourcentages de variance des axes de l'ACP, la cassure intervient après le 4^e axe (Figure 63). Les analyses ont donc été limitées aux quatre premières composantes qui expliquent 42% de la variabilité totale c'est-à-dire l'inertie. Cette inertie expliquée est faible. Par conséquent, au 5^e axe les valeurs propres sont en escalier parfait ; ce qui indique qu'il n'y a plus de structure forte dans les données. En fait, l'information utile n'est contenue que dans les quatre premières dimensions.

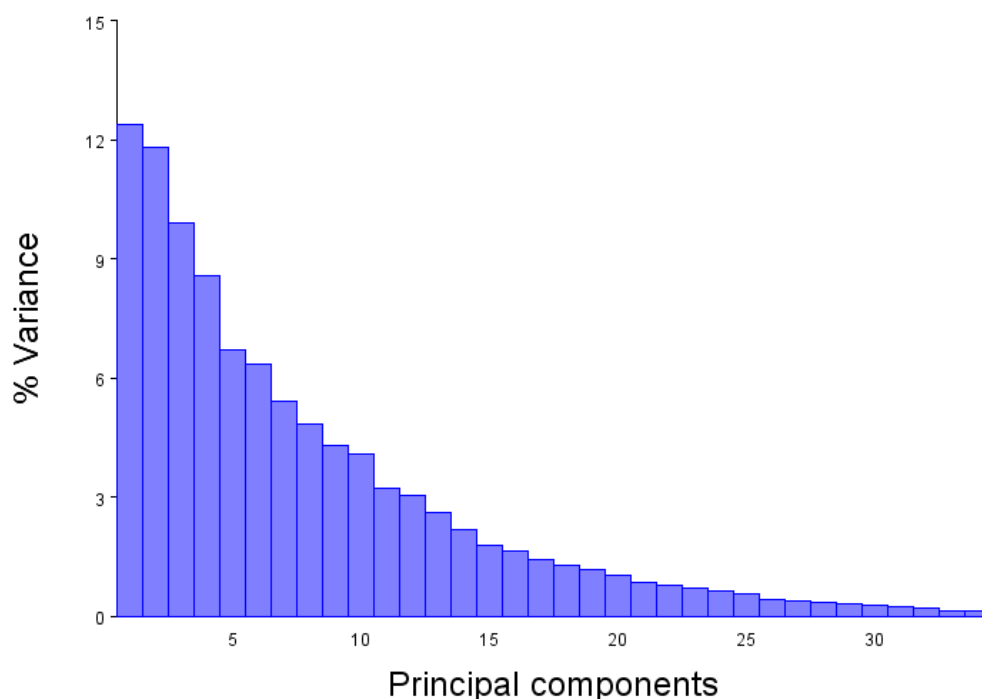


Figure 63 : Diagramme présentant le pourcentage de variance des axes de l'ACP

L'ACP montre une dispersion des points (individus) qui sont localisés dans la partie centrale des deux axes ; ce qui ne permet pas de faire une différenciation des populations des trois zones phytogéographiques. En d'autres termes l'ACP ne permet pas de dire qu'il y a une différence dans la forme des ailes dans les trois zones phytogéographiques (Figure 64).

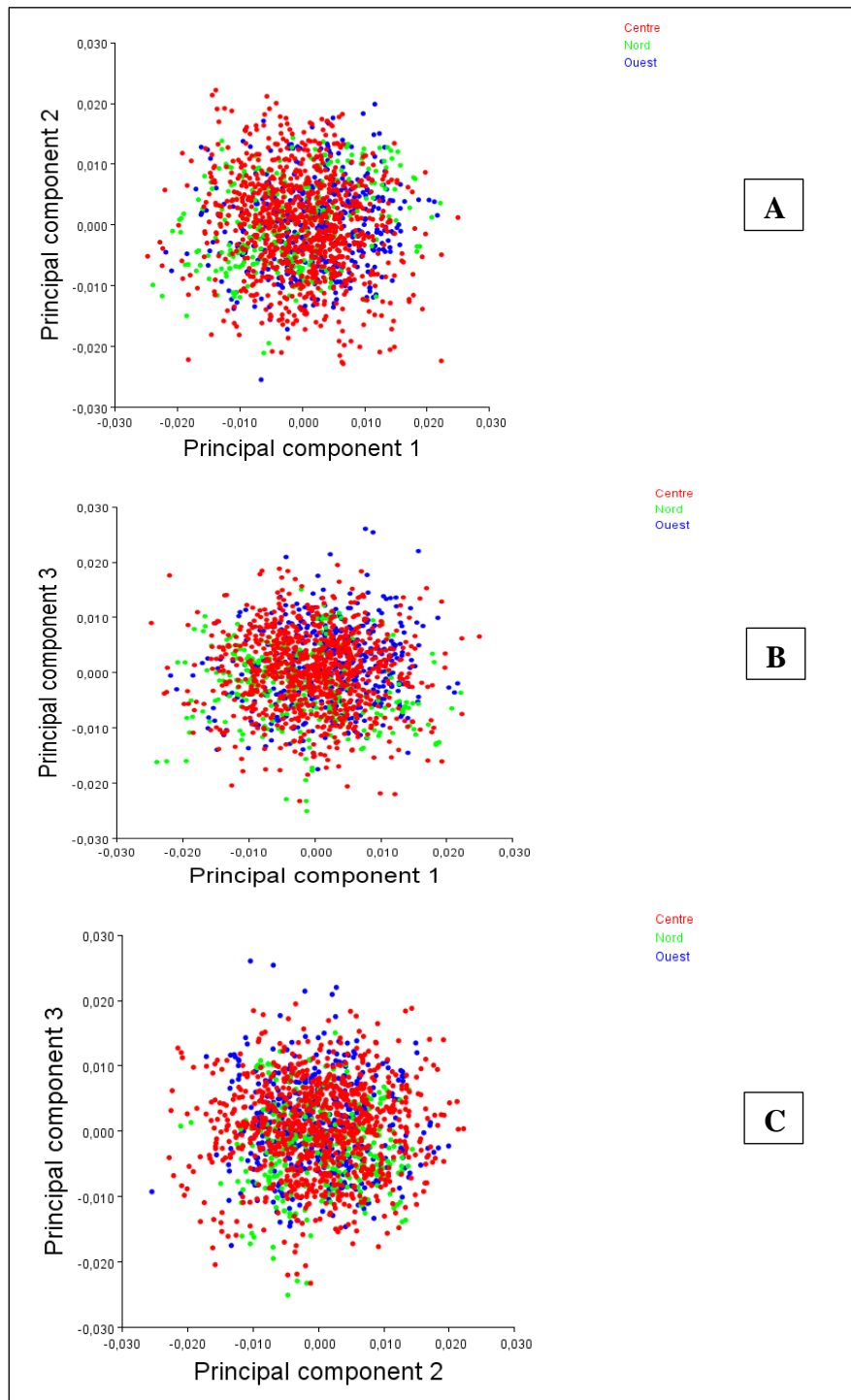


Figure 64 : Représentation graphique des individus dans les plans factoriels de l'ACP à partir des résidus procrustes

A : Plan factoriel 1-2 ; B : Plan factoriel 1-3 ; C : Plan factoriel 2-3

L'Analyse Canonique (CVA) a été appliquée afin de confirmer ou d'infirmier la non différenciation de la forme alaire au sein des colonies. Dans cette analyse, la variabilité totale expliquée par le premier axe est de 60,08% contre 39,91% pour le second axe. La CVA permet donc d'améliorer la discrimination car elle minimise les ressemblances entre les colonies et maximise les différences inter-coloniales.

Les résultats permettent d'observer une tendance à la séparation des régions (Figure 65). En effet, Les abeilles issues du Centre occupent une position intermédiaire entre celles provenant du Nord (Dim = 2) et celles de l'Ouest (Dim = 2) qui sont opposées sur l'axe 1. Au niveau de l'axe 2, les abeilles collectées dans le Nord et l'Ouest sont au même niveau (Dim = -1) et sont opposés à celles prélevées dans la zone du Centre (Dim = 1). De manière globale, les ellipses de concentration des individus des trois zones géographiques se chevauchent. Ces résultats révèlent ainsi une absence différenciation de la forme de l'aile pour les individus collectées dans cette étude.

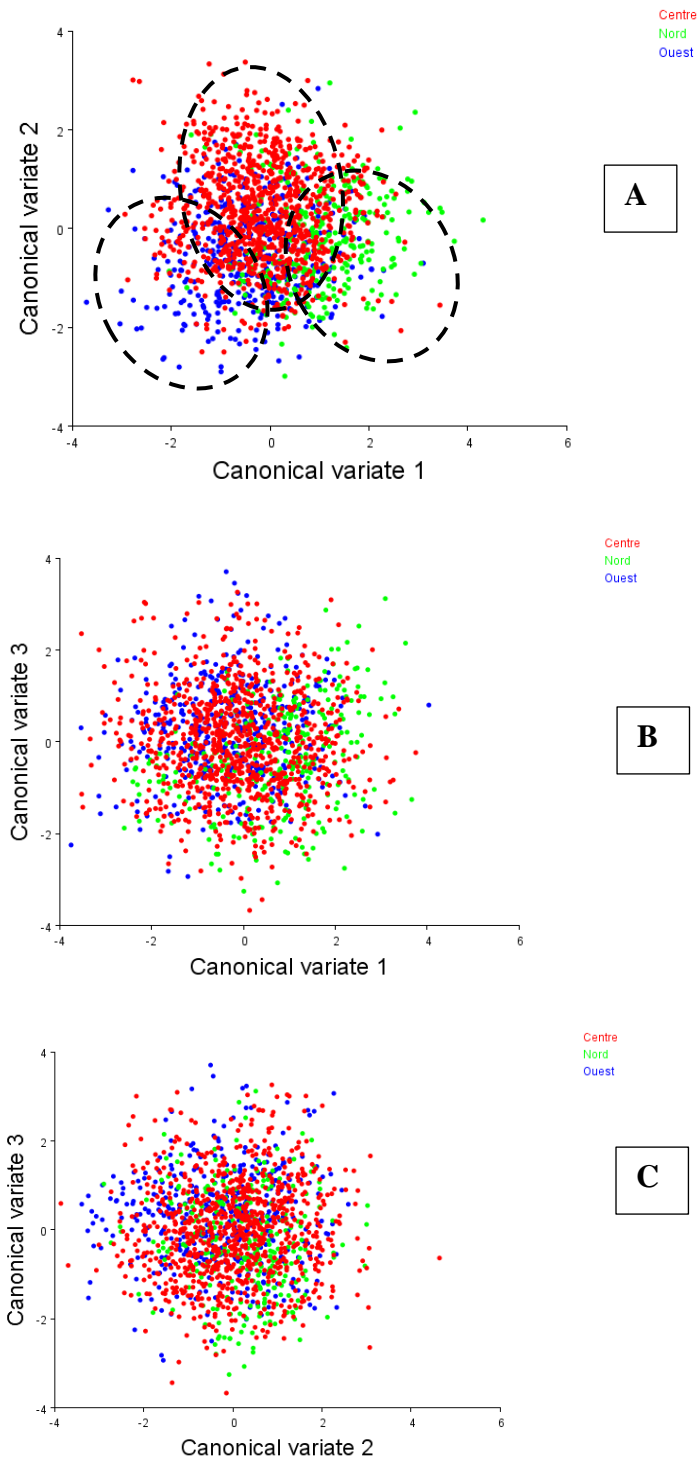


Figure 65 : Représentation graphique des individus dans les plans factoriels de l'Analyse Canonique

A : Plan factoriel 1-2 ; B : Plan factoriel 1-3 ; C : Plan factoriel 2-3

QUATRIÈME PARTIE :

DISCUSSION

Cette partie aborde dans un premier temps les résultats de l'enquête relative à la pratique de l'apiculture et à la connaissance des abeilles, ensuite les résultats de la morphométrie classique et enfin ceux de la morphométrie géométrique.

➤ **Caractéristiques des apiculteurs enquêtés et de leurs activités de production**

La filière apicole ivoirienne semble modernisée avec des apiculteurs professionnels ayant bénéficié, pour la plupart, d'une formation en apiculture. Ce constat semble différent de celui des autres pays africains. Dans la filière apicole malgache par exemple, la production de miel est essentiellement basée sur la cueillette avec une prédominance des ruches traditionnelles (65,5%) (Adam, 2011).

La jeunesse de l'activité apicole en Côte d'Ivoire la rapproche de celle exercée dans le Nord du Bénin selon Ahouandjinou *et al.* (2016) qui la qualifie de jeune avec de nombreux apiculteurs l'exerçant depuis peu d'années.

Les apiculteurs rencontrés sont pour la plupart organisés en coopératives. Cette organisation leur permet la mise en commun des équipements d'élevage, l'approvisionnement en intrants et la commercialisation, etc. Ces coopératives constituent aussi un espace favorable pour les échanges des techniques et des expériences entre apiculteurs.

De grandes variations en nombre de ruches par apiculteur sont enregistrées. Le faible nombre de ruches par apiculteur s'est observé dans la région du Moronou. En effet, la végétation rencontrée dans cette zone, qui est la forêt, est favorable aux cultures industrielles telles que le cacao et le café. Les apiculteurs seraient donc plus tournés vers l'agriculture, pilier de l'économie ivoirienne. Le nombre moyen de ruches, qui est de 56 ruches, est proche de celui observé en Centrafrique, avec un nombre moyen de ruche compris entre 40 et 70 par apiculteur (Mbetid-Bessane, 2004).

En ce qui concerne le type de ruches utilisé, il ressort que les ruches modernes et en particulier les ruches kenyanes et Langstroth sont les plus utilisées. La préférence de la ruche kenyane par rapport à la ruche Langstroth pourrait s'expliquer par son coût réduit. En effet, avec un coût d'acquisition d'environ 18 000 FCFA, la ruche kenyane est moins coûteuse que la ruche Langstroth qui a un coût avoisinant les 24 000 FCFA (Ohoueu *et al.*, 2017). Par ailleurs, la ruche kenyane est facilement confectionnable par les apiculteurs et serait plus colonisée par les abeilles. La ruche Iritié, qui selon son auteur, est très productive (Iritie *et al.*, 2014), reste

cependant très peu utilisée par les apiculteurs. Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'elle ne soit pas encore bien connue. Son coût relativement élevé pourrait aussi expliquer ce désintéressement envers cette ruche.

Le miel constitue le principal produit de la ruche exploité par les apiculteurs et la plupart d'entre eux (61,1%) ne produisent que du miel. Les productions, très variables d'un rucher à l'autre, peuvent aller de la production nulle à une trentaine de litres de miel par ruche. Le rendement moyen annuel déclaré par les apiculteurs durant l'enquête est de $12,83 \pm 6,14$ litres de miel. Ce rendement est similaire à celui de la localité de Manigri au Bénin qui est de 11,2 litres et nettement supérieur à celui de 4,22 litres observé au Cameroun (Matsop *et al.*, 2008). Ces rendements étant encore approximatifs, une étude plus approfondie permettrait de déterminer les quantités exactes de miel produites en lieu et place des estimations.

Les autres productions de la ruche sont minoritaires et sont représentées principalement par la cire. La cire est produite essentiellement pour une utilisation personnelle par les apiculteurs en vue d'appâter les abeilles pour la colonisation des nouvelles ruches. Les apiculteurs affirment ne pas vendre la cire et les autres produits de la ruche, faute de circuit de commercialisation.

Quant à la connaissance des abeilles exploitées, les moyens d'identification utilisés par les apiculteurs sont basés sur la coloration de l'abdomen, la taille la productivité et l'agressivité. Cependant, le principal critère utilisé est la coloration de l'abdomen. Les résultats relatifs à la connaissance des abeilles révèlent que la majorité des apiculteurs (79%) affirment rencontrer deux types d'abeilles dans les ruches. De telles observations ont été faites par Hounkpè *et al.* (2007) dans le Nord du Bénin, où 85% des apiculteurs affirmaient rencontrer deux types d'abeilles à savoir l'abeille jaune et l'abeille noire. Ces résultats corroborent ceux de Smith (1961) qui a également observé une forte proportion d'ouvrières sombres dans les régions montagneuses d'Afrique. Cependant, la coloration est un paramètre qui varie fortement entre les individus d'une même colonie ou entre les individus de différentes colonies. Les techniques modernes d'identification des abeilles, telles que la morphométrie classique ou la morphométrie géométrique ou encore les analyses moléculaires semblent donc ne pas être maîtrisées par les apiculteurs qui se basent essentiellement sur la coloration et la taille pour identifier leurs abeilles. L'utilisation de ces outils permettrait une bonne connaissance des abeilles pour une meilleure maîtrise de l'apiculture.

De nombreux ennemis naturels des abeilles sont rencontrés dans les différentes ruches ayant fait l'objet de l'enquête. Ceux-ci appartiennent pour la plupart à la classe des insectes. La

présence de ces ennemis serait due à une négligence de la part des apiculteurs en termes de techniques d'élevage. En effet, la présence d'insectes tels que les fourmis dans les ruches s'expliquerait par des résidus de miel laissés près des ruches après la récolte. Ces résidus de miel attirent ainsi les fourmis qui en sont très friands. La présence de ces insectes trouverait une autre explication dans l'absence de désherbage aux alentours des ruchers. Ces herbes facilitent l'accès des fourmis aux ruches en fonctionnant comme des échelles. Cette présence d'ennemis est à l'origine des cas de désertion des ruches observés et entraîne le découragement de certains apiculteurs (Mensah *et al.*, 2003).

En ce qui concerne les problèmes rencontrés, il ressort que les apiculteurs rencontrent de nombreuses difficultés. Ils sont confrontés à de nombreuses contraintes financières leur empêchant d'acquérir plus de ruches pour augmenter la taille de leurs ruchers. Les paysans ont très peu de moyens pour investir et ne disposent pas de fonds suffisants pour l'acquisition des ruches ou encore du matériel d'élevage. Ces contraintes expliquent le nombre relativement faible de ruches observé qui est de 56 ruches en moyenne par apiculteur. Pour faire face à cette situation, certains apiculteurs confectionnent eux-mêmes, leurs ruches. C'est ce qui explique l'utilisation des ruches traditionnelles et des ruches en béton qui seraient moins adaptées à l'apiculture moderne. Ainsi, le développement de l'apiculture impliquerait la prise en charge du financement du matériel d'installation par les structures de développement rural accompagné de suivi, d'assistance et d'évaluation en gestion financière pour leur apprendre les bases de la gestion financière (Ahouandjinou *et al.*, 2016). L'exploitation des autres produits de la ruche tels que le pollen, la gelée royale et le venin leur permettraient d'augmenter leurs revenus et de faire face à leurs nombreuses contraintes financières. Ainsi, les autres produits de la ruche doivent faire l'objet de modules de formation en apiculture afin de faire de l'apiculture, une activité encore plus lucrative.

➤ **Morphométrie classique**

Les longueurs moyennes des abeilles collectées dans le Centre et dans l'Ouest sont significativement plus élevées que celles du Nord de la Côte d'Ivoire. Ces résultats montrent que les individus sont plus grands au Sud et dans les zones montagneuses de l'Ouest, où le climat est plus humide et deviennent plus petits au Nord où le climat est plus sec et chaud. Ce constat confirme les règles écologiques de Bergmann et d'Allen (Mayr, 1963) énoncées pour les vertébrés à sang chaud qui stipulent que les races des climats froids tendent à être plus

grandes que les races de la même espèce vivant dans des climats plus chauds. Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues par Paraiso *et al.* (2011) dans le Nord-Est du Bénin chez la sous-espèce *Apis mellifera adansonii* dont les longueurs variaient entre 10,86 mm et 11,97 mm. Cette variation dans la taille des abeilles (du Nord et du Sud) nécessiterait une adaptation du matériel et des techniques d'élevage. En effet, lorsqu'on considère la grille à reine, elle doit avoir une taille bien adaptée à celle de la reine pour éviter qu'elle ne dépose ses œufs dans la hausse de la ruche. Cependant, la longueur de l'abeille, bien qu'étant un caractère important, ne peut être considérée comme un indicateur lié à la détermination des sous-espèces d'abeilles. En effet, ce paramètre peut varier en fonction de l'environnement et d'autres facteurs abiotiques (Garnery *et al.*, 1998).

La longueur moyenne des pattes postérieures des abeilles ($7,43 \pm 0,24$ mm) cadre bien avec la valeur 7,48 mm observée par Ruttner (1988) en Afrique de l'Ouest chez les abeilles *Apis mellifera adansonii*. La taille de la patte postérieure de l'abeille est un paramètre important en ce sens qu'il affecte sa capacité de récolte du pollen (Mattu et Verma, 1984).

La taille des ailes antérieures et postérieures (longueur et largeur) est un paramètre qui influence, d'une part, le vol des abeilles et d'autre part la quantité de pollen qui peut être récoltée (Abdellatif *et al.*, 2015). La longueur moyenne des ailes antérieures mesurées est plus élevée que celle observée par Ruttner (1988) chez les abeilles *Apis mellifera adansonii* qui était de 7,48 mm. Bien que la quantité de miel par ruche soit essentiellement imputée à la colonie d'abeille et à l'environnement, ces résultats présument que les abeilles de ces localités seraient de bonnes productrices de miel.

Considérant la longueur de la langue, il apparaît qu'elle décroît progressivement depuis le Centre jusqu'au Nord avec des valeurs plus faibles à l'Ouest. Cette variation graduelle de la longueur de la langue conduirait à admettre l'existence d'un gradient parallèle de la profondeur moyenne des corolles des plantes mellifères butinées. Cette longueur mesurée dans les trois zones phytogéographiques (5,34 mm) est plus courte que celle mesurée au Tchad par Gadbin *et al.* (1979) dont la valeur moyenne est 5,45 mm. Cette valeur est très inférieure à celle mesurée chez *Apis mellifera mellifera* (6,28 mm) alors que la longueur de la langue de celle-ci est la plus courte chez les abeilles européennes. Le fait que ces abeilles aient une langue très courte pourrait s'expliquer par la disponibilité des ressources alimentaires et par les caractéristiques morphologiques des fleurs butinées. En effet, la petitesse de langue des abeilles collectées est probablement une adaptation de celle-ci à une flore particulière sur laquelle se nourrissent ces abeilles (Mattu et Verma, 1983). Le Tchad est un pays sahélien et les ressources mellifères sont

moins abondantes qu'en Côte d'Ivoire. De même, le climat tempéré de l'Europe ne permet pas une disponibilité continue des plantes mellifères au cours de l'année. Ces facteurs ont dû entraîner un développement plus important du proboscis chez les abeilles de ces zones afin de leur permettre d'être plus efficace dans l'activité de butinage. Ainsi une longue langue permet d'atteindre facilement et rapidement le fond de la corolle où se loge les glandes nectarifères.

Différentes couleurs au niveau de l'abdomen des abeilles à savoir le noir et le jaune ont été enregistrées. Dans la majorité des cas, les abeilles noires cohabitent avec les abeilles jaunes dans les mêmes ruches. Ces résultats corroborent ceux de Hounkpè *et al.* (2007) qui ont également observé une forte proportion d'ouvrières sombres dans les colonies d'abeilles *Apis mellifera adansonii* dans le Nord du Bénin. Selon Fresnaye (1965), la couleur de l'abdomen est le meilleur critère de discrimination entre la race noire et les races ayant un ou plusieurs anneaux jaunes. Ce paramètre, bien qu'étant discriminatif pour les races européennes, semble donc ne pas l'être chez les abeilles africaines et en particulier chez *Apis mellifera adansonii*. Quant aux abeilles présentant une bande jaune au niveau du deuxième tergite, la moyenne enregistrée est nettement supérieure à celle observée chez les abeille *Apis mellifera adansonii* du Tchad par Gadbin *et al.* (1979).

La pilosité moyenne des abeilles collectées a été fortement, mais négativement corrélée avec la latitude. La longueur des poils sur le cinquième tergite diminue plus on se dirige vers le Nord de la Côte d'Ivoire, où la température est de plus en plus élevée. En effet, une pilosité dense et longue est d'une importance vitale au niveau individuel et au niveau de la thermorégulation chez les abeilles sociales, comme l'a signalé Heinrich (1993). Cette observation corrobore les résultats de Leporati *et al.* (1984) qui ont observé une longueur moyenne de 0,42 mm chez les abeilles *Apis mellifera mellifera* de France. De plus, la pilosité observée au cours de l'étude est plus élevée que celle observée au Tchad avec une moyenne de 0,17 mm (Gadbin *et al.*, 1979). Le Tchad étant un pays sahélien à températures beaucoup plus élevées que celles de la zone d'étude, une faible densité des poils permettrait donc une bonne régulation de la température.

Les largeurs du tomentum des abeilles collectées concordent avec celles mesurées par Paraiso *et al* (2011) sur les abeilles du Benin avec des valeurs comprises entre 0,72 mm et 1,22 mm. Mais sa faible densité et ses limites peu précises le rendent difficile à mesurer. Il serait sans doute nécessaire de réviser les conceptions de prise des mesures de ce caractère. En effet, la méthode actuellement utilisée a été utilisée pour les races européennes dont le tomentum est nettement marqué (Gadbin *et al.*, 1979).

L'indice cubital moyen des abeilles de la Côte d'Ivoire qui est de 2,31 est très proche de celui mesuré par Paraiso *et al.* (2011) chez les abeilles du Benin qui est de 2,28. Les abeilles mesurées appartiendraient donc à la race *Apis mellifera adansonii*.

Les abeilles collectées avaient une transgression négative avec des moyennes variant entre -1,60° et -3,62°. Des transgressions négatives sont aussi observées chez *Apis mellifera mellifera*. Par contre chez les autres sous-espèces européennes (*Ligustica*, *Carnica*, *Caucasica*), les transgressions discoïdales sont soit positives ou nulles.

L'indice cubital et la transgression discoïdale constituent d'excellents caractères pour l'étude de l'abeille noire *Apis mellifera mellifera* et de ses colonies croisées (Toullec, 2008). En effet, l'indice cubital est spécifique à chaque race et à ses écotypes d'abeilles en Europe. Cependant, ces paramètres sont moins discriminants pour *Apis mellifera adansonii*.

L'analyse des fréquences relatives des 13 caractères biométriques étudiés montre pour certains caractères une forte dispersion des valeurs et pour d'autres très peu de dispersion. De manière générale, il y a plus de similarité dans les valeurs morphométriques mesurées au Centre et à l'Ouest qu'au Nord. Cela pourrait s'expliquer par un climat plus chaud dans le Nord que dans le Centre et l'Ouest. Aussi, il y a une tendance aux tassements des valeurs ; ainsi il y a en général 20 à 25% des individus dans les proportions les plus élevées. Pour exemple au niveau de la langue, 20 à 22% des individus ont une langue de 11,5 à 12,5 mm. Pour le caractère longueur des pattes, 40 à 60% des individus se situent autour de 7,5 mm. Ce qui traduit une certaine homogénéité. Par contre au niveau de la langue, on observe une dispersion plus importante de la longueur qui pourrait s'expliquer par le type de flore rencontrée dans les différentes zones phytogéographiques.

Les résultats de l'ANOVA ont permis de constater une grande variabilité morphologique à l'intérieur des populations d'abeilles ivoiriennes prélevées. Ces résultats corroborent ceux de Ruttner *et al.* (1978) qui ont montré que la variabilité morphologique à l'intérieur de l'espèce *Apis mellifera* est extraordinairement élevée. Ce constat a été également fait par Winston *et al.* (1983) qui ont montré que les variabilités intra colonies et inter colonies des sous-espèces d'abeilles *Apis mellifera* sont remarquablement élevées. Cette grande variation observée dans les échantillons pourrait s'expliquer par le fait que durant le vol nuptial, la reine est inséminée par plusieurs mâles qui proviendraient de différentes colonies voisines (Chevalet et Cornuet, 1982). Cette variation intersites peut également être attribuée aux facteurs éco-climatiques, étant donné que les abeilles vivent dans des biotopes différents. En effet, Dans le Centre de la

Côte d'Ivoire, il y a une végétation de transition entre la savane et la forêt avec un climat de type baouléen alors que dans le Nord sévit un climat plus sec avec une flore dont dominent les graminées. Par contre à l'Ouest, à cause de la présence des montagnes, la végétation est un peu plus forestière que dans le Centre du pays et plus fraîche.

L'analyse en composantes principales, réalisée pour étudier la structure des colonies d'abeilles de Côte d'Ivoire, s'est soldée par à un résultat négatif. En effet, les abeilles forment un groupe assez homogène dans les différents plans factoriels de l'ACP. Aucun regroupement remarquable ni aucune subdivision n'ont été révélés par les analyses ; ce qui permet de dire que les abeilles prélevées dans les trois zones phytogéographiques appartiendraient à une même sous-espèce.

Différentes hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette absence de discrimination au sein des populations d'abeilles de Côte d'Ivoire. Premièrement, les variables biométriques retenues en raison de leur efficacité dans la distinction des races européennes ne possèdent pas le même pouvoir discriminant chez les abeilles africaines (Ruttner, 1975 ; Ruttner *et al.*, 1978). Secondairement, le comportement de la sous-espèce *adansonii* serait très différent de celui des races européennes. En particulier, il faut mentionner un essaimage très spécial au cours duquel de nombreux petits essaims se regroupent pour former des masses énormes avec de nombreux individus sexués (mâles et reines) puis se subdivisent à nouveau avant de nidifier (Chandler, 1976) ; ce qui favorise un brassage génétique important. Par ailleurs, il y a absence d'obstacle naturel qui serait susceptible d'entraver les échanges entre les diverses colonies de notre échantillonnage.

➤ **Morphométrie géométrique**

L'analyse des formes dans les recherches en biologie a pris un nouvel essor depuis plusieurs années (Adams *et al.*, 2004) avec le développement de la méthode de morphométrie géométrique (MG) (Mitteroecker et Gunz, 2009). Elle a permis de répondre à la préoccupation qui est d'évaluer la possibilité de variation écotypique dans la population des abeilles de Côte d'Ivoire en relation avec des conditions phytogéographiques différentes.

Les analyses ont été basées sur la technique des points-repères (*landmarks*) qui constitue l'une des méthodes morphométriques les plus répandues et les plus utilisées durant ces dernières années (Barour, 2012) pour analyser les formes des ailes antérieures d'*Apis mellifera*

adansonii. Elle fait en particulier référence à des comparaisons basées essentiellement sur les différentes configurations des points-repères (PR) en utilisant l'équation fondamentale :

Form = Size + Shape (Forme = Taille + Conformation).

Il existe des différences significatives dans les tailles centroïdes des ailes d'abeilles entre les individus, les colonies et les régions. Les tests statistiques permettent d'observer que les différences observées entre les abeilles des régions du Nord et du Centre ne sont pas statistiquement différentes. Cependant, ces valeurs diffèrent significativement de celles des abeilles de l'Ouest. Les abeilles collectées dans le Centre de la Côte d'Ivoire occupent une position intermédiaire entre celles de l'Ouest et celles du Nord. Cela résulterait simplement de l'étendue de la zone du Centre et du nombre plus important de colonies collectées dans cette zone. Ces résultats corroborent ceux de Barour *et al.* (2011) qui ont étudié la variabilité de la forme des ailes chez les abeilles *Apis mellifera intermissa* d'Algérie. Leurs travaux ont également montré des différences significatives dans les tailles des ailes entre les régions du Nord-Est, du Nord-Centre et du Nord-Ouest. De telles observations ont été faites en Iran sur l'abeille *Apis mellifera meda* par Dolati *et al.* (2013).

Pour discriminer les populations d'abeilles issues des trois zones phytogéographiques, l'analyse en composantes principales (ACP) a été utilisée. Le diagramme de la variation de l'inertie a permis de retenir quatre axes principaux qui permettent d'expliquer au mieux les variations des formes des ailes. Les graphiques de l'ACP obtenus par rapport aux quatre premiers plans factoriels indiquent des nuages de points dans lesquels les individus issus des différentes régions ne peuvent être correctement différenciés. La grande dispersion des données pourrait être expliquée par des facteurs tels que des erreurs de mesures lors de la digitalisation des landmarks comme ceux de type II qui sont sujets à de grandes variations d'une personne à une autre.

Pour améliorer la discrimination entre les populations d'abeilles, l'Analyse Canonique (CVA) a été utilisée. Les résultats de cette analyse ont permis d'améliorer la discrimination au sein des populations d'abeilles. En effet, les ouvrières du Nord et de l'Ouest paraissent différenciées sur la base de leurs conformations alaires. La morphométrie géométrique permet donc une meilleure séparation des colonies que la morphométrie classique. Cela est en accord avec les travaux de Özkan et Kandemir (2013) qui affirment que la MG est une méthode plus simple et plus efficace que la MC dans la discrimination des populations d'abeilles mellifiques de Turquie aussi bien que du monde. Selon (Tofilski, 2008) cet auteur, la MG permet de classifier correctement les individus avec une précision de 90,6% contre 86,3% pour la MC.

Les différences observées dans la taille et la forme des ailes des ouvrières entre les populations des trois grandes régions sont en accord avec les hypothèses et pourraient s'expliquer par des facteurs tels que la végétation (source de nourriture) et le climat (température, pluviométrie, ...). Toutefois, si les variations ne sont pas très nettes, cela est dû au fait que les régions de collecte des échantillons sont moins distantes et qu'il existe peu de barrières naturelles permettant un isolement des colonies d'abeilles comme dans certains pays tels que l'Algérie et le Brésil. En effet, les études de Barour *et al.* (2011) en Algérie basées sur la MG ont indiqué qu'il y a des différences statistiques significatives entre les tailles centroïdes et les distances procrustes. A ce niveau, la variation inter-régions est plus élevée à cause de l'isolement des populations d'abeilles du fait de l'étendue du pays et du relief très accidenté par endroit. De même, au Brésil, l'analyse multivariées de la forme des ailes a permis d'observer une variation géographique dans la population d'abeille *Apis mellifera*. Cette variabilité pourrait être attribuée à la grandeur du territoire ainsi qu'aux différences éco-régionales (Nunes *et al.*, 2012).

Les résultats de l'analyse morphométrique géométrique n'ont cependant pas permis de différencier les populations d'abeilles collectées dans les trois grandes régions écologiques que sont le Centre, le Nord et l'Ouest ivoirien sur la base de leurs conformations alaires du fait du chevauchement des ellipses de concentration des individus. La morphométrie géométrique permet tout de même donc une meilleure séparation des colonies que la morphométrie classique. De plus, la MG inclut, de manière indirecte, les mesures de taille (Özkan et Kandemir, 2013).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En vue de développer l'apiculture, la première des étapes est la connaissance des espèces et des races utilisées. C'est dans ce cadre que s'est inscrit ce travail dont l'objectif principal est l'évaluation de la diversité des populations d'abeilles domestiques.

Les résultats de l'enquête révèlent qu'en Côte d'Ivoire, l'apiculture est moderne et pratiquée par des apiculteurs professionnels. Ceux-ci utilisent des ruches modernes et renouvellent principalement leur cheptel par essaimage artificiel des colonies sauvages d'abeilles. Il ressort également que les apiculteurs n'ont pas une bonne connaissance des abeilles qu'ils exploitent. En effet, certains affirment rencontrer un, deux, trois ou quatre types d'abeilles dans leurs ruchers. Dans la majorité des cas, deux types d'abeilles sont décrits. Il s'agit de l'abeille jaune, de petite taille, moins agressive et plus productrice de miel et l'abeille noire, plus grande, plus agressive et moins productrice de miel. Les critères d'identification de ces abeilles sont principalement la coloration et la taille qui sont des paramètres fortement influencés par l'environnement. De nombreux problèmes d'ordre financier sont rencontrés par les apiculteurs, notamment pour l'acquisition du matériel d'élevage. Ces problèmes impliqueraient donc la mise en place de programmes de financement de l'apiculture par des structures de développement rural.

Cependant, ils bénéficient de l'absence de maladies telles que la loque américaine, la loque européenne et les viroses. Par contre, de nombreux arthropodes, ennemis naturels des abeilles sont signalés. Ce sont la fausse teigne, les fourmis, les termites, les coléoptères, etc. La présence de ces parasites est souvent due à des pratiques apicoles inappropriées. Une formation axée sur les maladies apiaires et la valorisation des autres produits de la ruche permettrait de faire face aux nombreuses contraintes rencontrées. Cela passe d'abord par l'élaboration d'un guide de bonnes pratiques apicoles en milieu tropical et adapté aux spécificités de la Côte d'Ivoire.

Dans cette étude, la caractérisation des populations d'abeilles s'est faite au moyen de la morphométrie classique et de la morphométrie géométrique. Trente abeilles par colonies ont été collectées dans des ruchers situés dans les zones phytogéographiques du Centre, du Nord et de l'Ouest de la Côte d'Ivoire, soit un total de 1 620 abeilles.

En ce qui concerne les analyses morphométriques classiques, les résultats de l'ANOVA indiquent des variations significatives entre les colonies, les sites et les zones géographiques. Les résultats de l'ACP ne permettent pas une différenciation des colonies issues des différentes zones géographiques. Cependant, les abeilles de la région du Centre présentent des caractéristiques intermédiaires entre celles du Nord et de l'Ouest. Cette variation dans la

population d'abeilles serait liée à la différence de végétation et de climat entre les sites d'études. Cependant, il n'existe pas de barrières naturelles assez importantes pour induire un isolement total au sein des populations d'abeilles.

Quant à la morphométrie géométrique, les résultats ont indiqué une différence significative dans les tailles centroïdes ainsi que dans les conformations alaires. Cependant, les variations au niveau des distances Procrustes sont plus importantes que les différences de tailles centroïdes.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) n'a pas permis la séparation des populations d'abeilles. Par contre, les résultats de l'Analyse Canonique ont permis une meilleure séparation des populations d'abeilles. Les résultats de la morphométrie géométrique permettent une meilleure différenciation des colonies d'abeilles par rapport à la morphométrie classique. Cependant, les colonies d'abeilles issues des différentes régions ne se distinguent pas à partir de leurs conformations alaires.

Cette étude sur la morphométrie des abeilles en Côte d'Ivoire constitue la première du genre. Ces résultats ont permis d'approfondir les connaissances sur la structure morphométrique classique et morpho-géométrique des populations d'abeilles élevées en Côte d'Ivoire, grâce à la morphométrie classique et à la superposition procruste. En effet, elle n'a pas permis de mettre en évidence une différenciation géographique entre les abeilles du Centre, du Nord et de l'Ouest malgré les variations dans les différents paramètres mesurés, dans la coloration et dans le comportement des abeilles. Les abeilles collectées dans les trois grandes zones géographiques d'apiculture de la Côte d'Ivoire forment une population homogène du fait de leur discrimination en populations locales.

La diversité des populations d'abeilles mellifiques de Côte d'Ivoire mérite encore d'être explorée exhaustivement sur le plan scientifique par des études d'éthologie, de biologie moléculaire et de morphométrie moderne avec des échantillons plus importants couvrant l'ensemble du territoire.

L'enquête menée auprès de 31 apiculteurs, mérite d'être étendue à un nombre plus grand, voire à l'ensemble des apiculteurs de Côte d'Ivoire. D'autres critères devront y être intégrés, notamment les aspects économiques, pour avoir une appréciation plus inclusive de la filière apicole de Côte d'Ivoire.

En outre, les analyses morphométriques classiques et géométriques devront être mises en relation avec des analyses moléculaires, par l'utilisation des marqueurs génétiques, avec pour objectif de préciser davantage le degré de diversité des populations d'abeilles en Côte d'Ivoire.

De plus, les critères morphologiques ayant certainement une influence sur la vitesse de pollinisation et le nombre de pollen déposées sur les fleurs, il serait intéressant d'évaluer la relation entre certains caractères morphométriques et les caractéristiques des fleurs des espèces de plantes butinées.

Par ailleurs, une étude, visant à identifier les différentes maladies et parasites des abeilles en Côte d'Ivoire, devrait être entreprise.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdellatif M. A., Abou-Elnaga A. M., Ali M. H., Shakir P. M. et Al-Jalili M. K., 2015.** Biometrical Studies on Iraqi Honeybees. *Journal of Apicultural Research*, 16 (3) : 143-144.
- Adam A., 2011.** Organisation de l'apiculture malgache. Rapport de stage de troisième année. Ecole D'ingénieur En Agro-Développement International, 61 p.
- Adam G., 2010a.** La biologie de l'abeille. Cours École D'apiculture Sud-Luxembourg, 26 p.
- Adam G., 2010b.** Les individus de la colonie. Cours École D'apiculture Sud-Luxembourg, 13 p.
- Adams D. C., 1999.** Methods for shape analysis of landmark data from articulated structures. *Evolutionary Ecology Research*, 1 : 959-970.
- Adams D. C., Rohlf F. J. et Slice D. E., 2004.** Geometric morphometrics : ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology*, 71 : 5-16.
- Aguilar R., Ashworth L., Galetto L. et Aizen M. A., 2006.** Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation : review and synthesis through a meta-analysis. *Ecology letters*, 9 (8) : 968-980.
- Ahouandjinou S. T. B., Yedomonhan H., Adomou A. C., Tossou M. G. et Akoegninou A., 2016.** Caractéristiques techniques et importance socio-économique de l'apiculture au Nord-Ouest du Bénin : cas de la commune de Cobly. *International Journal of Biology and Chemical Sciences*, 10 (3) : 1350-1369.
- Aké-Assi L., 2002.** Flore de la Côte d'Ivoire : catalogue systématique, biogéographie et écologie. *Mémoires de botanique systématique, Boissiera*, 58, 401 p.
- Alpatov W. W., 1929.** Biometrical studies on variation and races of the honey bee *Apis mellifera* L. *Quarterly Review of Biology*, 4 (1) : 1-58.
- Alphandéry R., 1992.** La route du miel : Le grand livre des abeilles et de l'apiculture. Paris, Nathan, 260 p.
- Amdam G. V., Hartfelder K., Norberg K., Hagen A. et Omholt S. W., 2004.** Altered physiology in worker honey bees (Hymenoptera : Apidae) infested with the mite *Varroa destructor* (Acari : Varroidae) : a factor in colony loss during overwintering? *Journal of Economic Entomology*, 97 : 741-747.

Amssalu B., Nuru A., Radloff S. E. et Hepburn H. R., 2004. Multivariate morphometric analysis of honeybees (*Apis mellifera*) in the Ethiopian region. *Apidologie*, 35 : 71-81.

Anonyme, 1970. Encyclopédie Internationale des sciences et des techniques. Ed. Presses de la cité, Paris. 788 p.

Avenard J. M., 1971. Aspects de la géomorphologie. In : Avenard J. M., Eldin E., Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf P., Guillaumet J.-L., Adjanooun E., Perraud A. (eds). Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Paris : ORSTOM, 9-72.

Backhaus W., 1993. Color vision and color choice behavior of the honey bee. *Apidologie*, 24 (3) : 309-309.

Barachette R., Maynard J., Petitpierre G., Roussel L., Rathery G., Reynaud B., Tye J. et Blayo Y., 1965. Région de Korhogo : étude de développement socio-économique. Rapport de synthèse. Paris : SEDES, 52 p.

Barour C., Tahar A. et Baylac M., 2011. Forewing shape variation in Algerian honey bee populations of *Apis mellifera intermissa* (Buttel-Reepen, 1906) (Hymenoptera: Apidae) : a landmark-based geometric morphometrics analysis. *African Entomology*, 19 (1) : 11-22.

Barour C., 2012. Analyse de la biodiversité des populations d'abeilles mellifères *Apis mellifera intermissa* (Buttel-Reepen, 1906) (Hymenoptera : Apidea) dans le Nord Algérien. Morphométrie moderne basée sur la configuration des points-repères (Landmarks). Thèse de doctorat, Université Badji-Mokhtar Annaba, 292 p.

Barth F. G., 1985. Insects and flowers. The biology of a partnership. George Allen & Unwin, 297 p.

Bartomeus I., Potts S. G., Steffan-Dewenter I., Vaissière B. E., Woyciechowski M., Krewenka K. M., Tscheulin T., Roberts S. P. M., Szentgyörgyi H., Westphal C. et Bommarco R., 2014. Contribution of insect pollinators to crop yield and quality varies with agricultural intensification. *PeerJ*, 2 (328) : 1-20.

Baylac M., 1996. Morphométrie géométrique et systématique. *Biosystema*, 14 : 73-89.

Beetsma J., 1979. The process of queen-worker differentiation in the honeybee. *Bee World*, 60 : 24-39.

- Bertrand B., 2013.** Analyse de la diversité génétique de populations d'abeilles de la lignée Ouest-Méditerranéenne (*Apis mellifera mellifera*) : Application à la conservation. Thèse de doctorat, Université Paris-Sud, 121 p.
- Biri M., 1999.** Le grand livre des abeilles, l'apiculture moderne. Vecchi, Paris, 257 p.
- Blackistone H., 2009.** Beekeeping for dummies, 2nd edition. Wiley Publishing, Inc., 336 p.
- Boecking O. et Genersch E., 2008.** Varroosis – the Ongoing Crisis in Bee Keeping. Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 3 (2) : 221-228.
- Bond W. J., 1994.** Do mutualisms matter? Assessing the impact of pollinator and disperser disruption on plant extinction. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B-Biological Sciences, 344 (1307) : 83-90.
- Bookstein F. L., 1991.** Morphometric tools for landmark data : Geometry and biology. Cambridge University Press. 435 p.
- Büchler R., Drescher W. et Tornier, 1992.** Grooming behaviour of *Apis cerana*, *Apis mellifera* and *Apis dorsata* and its effect on the parasitic mites *Varroa jacobsoni* and *Tropilae lapsclareae*. Experimental and Applied Acarology, 16 : 313-319.
- Camara C., 1984.** Les cultures vivrières en République de Côte d'Ivoire. Annales de géographie, 518 : 432-453.
- Canas S. et Bosacoma J., 1989.** Biométrie de l'abeille. L'Abeille de France et l'Apiculteur, 742 : 419-423.
- Catays G., 2016.** Contribution à la caractérisation de la diversité génétique de l'abeille domestique *Apis mellifera* en France : cas du locus *csd* de détermination du sexe. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 313 p.
- Chandler M. T., 1976.** The african honeybee *Apis mellifera adansonii*. The biological basis of its management. Proceedings of the First International Conference on Apiculture in Tropical Climate, London, 1 : 61-68.
- Chapman R. F., 1998.** The insects : structure and function. Cambridge University Press, Cambridge, 770 p.
- Chevalet C. I. et Cornuet J.-M., 1982.** Etude théorique sur la sélection de caractère « production de miel » chez l'abeille. Apidologie, 13 (1) : 39-65.

- Combes S. A. et Daniel T. L., 2003.** Flexural stiffness in insect wings I. Scaling and the influence of wing venation. *Journal of Experimental Biology*, 206 : 2979-2987.
- Comstock J. H. et Needham J. G., 1898.** The wings of insects (continued). *The American Naturalist*, 32 : 413-424.
- Cornuet J. M., Fresnaye J. et Tassencourt L., 1975.** Discrimination et classification de populations d'abeilles à partir de caractères biométriques. *Apidologie*, 6 (2) : 145-187.
- Cornuet J. M., Fresnaye J. et Lavie P., 1978.** Etude biométrique de deux populations d'abeilles Cévenoles. *Apidologie*, 9 (1) : 41-55.
- Cornuet J. M., Daoudi A., Mohssine E. H. et Fresnaye J., 1988.** Etude biométrique de populations d'abeilles marocaines. *Apidologie*, 19 (4) : 355-366.
- Coulibaly S., Ouattara D., Edoth T. T., Koudegnan C. M. et Kamanzi K., 2013.** Diversité et configuration de la flore ligneuse autour d'un rucher en zone de transition forêt-savane de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 9 (6) : 235-247.
- Cox-Foster D. L., Conlan S., Holmes E. C., Palacios G., Evans J. D., Moran N. A., Quan P. L., Briese T., Hornig M. et Geiser D. M., 2007.** A metagenomic survey of microbes in honey bee colony collapse disorder. *Science*, 318 (5848) : 283-287.
- Danforth B. N., Fang J. et Sipes S., 2006a.** Analysis of family-level relationships in bees (Hymenoptera : Apiformes) using 28S and two previously unexplored nuclear genes : CAD and RNA polymerase II. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 39 : 358-372.
- Danforth B. N., Sipes S., Fang J. et Brady S. N. G., 2006b.** The history of early bee diversification based on five genes plus morphology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103 (41) : 15118-15123.
- Dechaume-Moncharmont F.-X., 2003.** Butinage collectif chez l'abeille *Apis mellifera* L. : étude théorique et expérimentale. Thèse de doctorat, Université Paris 6, France, 309 p.
- Dessart P., 1994.** L'abeille. Institut royal Sciences Naturelles, Bruxelles, 120 p.
- Dietemann V., Pirk C. W. W. et Crewe R., 2009.** Is there a need for conservation of honeybees in Africa? *Apidologie*, 40 : 285-295.
- Diniz-Filho J. A. F., Fuchs S. et Arias M. C., 1999.** Phylogeographical autocorrelation of phenotypic evolution in honey bees (*Apis mellifera* L.). *Heredity*, 83 : 671-680.

- Dolati L., Rafie J. N. et Khalesro H., 2013.** Landmark-Based morphometric study in the fore and hind wings of an Iranian race of european honeybee (*Apis mellifera meda*). Journal of Apicultural Science, 57 (2) : 187-197.
- Eldin M., 1971.** Le climat. In : Avenard J. M., Eldin E., Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf P., Guillaumet J.-L., Adjanohoun E., Perraud A. (eds). Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Paris : ORSTOM, 73-108.
- Estoup A., Garnery L., Solignac M. et Cornuet J.-M., 1995.** Microsatellite variation in honey bee (*Apis mellifera* L.) populations: Hierarchical genetic structure and test of the infinite allele and stepwise mutation models. Genetics 140 : 679-695.
- FAO, 1981.** Tropical forest resources assessment project (in the framework of GEMS). Forest resources of tropical Africa, 475 p.
- FAO, 1997.** Risk Management and Food Safety, Report of a Joint FAO/WHO Consultation, Rome. 27 p.
- FAO, 2005.** Côte d'Ivoire - L'irrigation en Afrique en chiffres. Enquête AQUASTAT. 10 p.
- FAO, 2009.** Rapport National sur l'État des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Second rapport national - République de Côte d'Ivoire. 65 p.
- FAO, 2010.** Le rôle des abeilles dans le développement rural. Manuel sur la récolte, la transformation et la commercialisation des produits et services dérivés des abeilles. 238 p.
- FIRCA, 2010.** A la découverte de la filière anacarde. Bulletin d'information du Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles, 6, 56 p.
- Forsgren E., 2010.** European foulbrood in honey bees. Journal of Invertebrate Pathology, 103 : 5-9.
- Franck P., Garnery L., Solignac M. et Cornuet J.-M., 2000.** Molecular confirmation of a fourth lineage in honeybees from the Near East. Apidologie, 31 (2) : 167-180.
- Franck P., Garnery L., Loiseau A., Oldroyd B. P., Hepburn H. P., Solignac M. et Cornuet J. M., 2001.** Genetic diversity of the honeybee in Africa : Microsatellite and mitochondrial data. Heredity, 86 : 420-430.
- Fresnaye J., 1965.** Etude biométrique de quelques caractères morphologiques de l'abeille noire française (*Apis mellifica mellifica*). Les Annales de l'Abeille, 8 (4) : 271-283.

- Fresnaye J., 1981.** Biométrie de l'abeille, 2e édition Echauffour (Orne). Office pour l'information et la Documentation en Apiculture, 56 p.
- Fries I., Huazhen W., Wei S. et Jin C. S., 1996.** Grooming behavior and damaged mites (*Varroa jacobsoni*) in *Apis cerana* and *Apis mellifera ligustica*. *Apidologie*, 27 : 3-11.
- Gadbin C., Cornuet J.-M. et Fresnaye J., 1979.** Approche biométrique de la variété locale d'*Apis mellifica* L. dans le sud tchadien. *Apidologie*, 10 (2) : 137-148.
- Garnery L., Franck P., Baudry E., Vautrin D., Cornuet J.-M. et Solignac M., 1998.** Genetic diversity of the west european honeybee (*Apis mellifera mellifera* and *Apis mellifera iberica*) I. Mitochondrial DNA. *Genetics Selection Evolution*, 30 (1) : 31-47.
- Girard G., Sircoulon J. et Touchebeuf P., 1971.** Aperçu sur les régimes hydrologiques. In : Avenard J. M., Eldin E., Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf P., Guillaumet J.-L., Adjanohoun E., Perraud A. (eds). Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Paris : ORSTOM, 109-156.
- Giray T. et Robinson G. E., 1994.** Effects of intracolony variability in behavioral development on plasticity of division of labor in honey bee colonies. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 35 : 13-20.
- Giray T., Guzman-Novoa E., Aron C., Zelinsky B., Fahrbach S. E. et Robinson G. E., 2000.** Genetic variation in temporal polyethism and colony defensiveness in the honeybee, *Apis mellifera*. *Behavioral Ecology*, 11 : 44-55.
- Goetze G. K. L., 1964.** Die Honigbiene in natürlicher und künstlicher Zuchtauslese. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 92 p.
- Goodall C., 1991.** Procrustes Methods in the Statistical Analysis of Shape. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 53 (2) : 285-339.
- Goodall C. R., 1995.** Procrustes methods in the statistical analysis of shape revisited. Leeds University Press, 217 p.
- Gower J. C., 1975.** Generalised Procrustes analysis. *Psychometrika*, 40 : 33-50.
- Gregory P., Evans J., Rinderer T. et De Guzman L., 2005.** Conditional immune-gene suppression of honeybees parasitized by *Varroa* mites. *Journal of insect science*, 5 : 1-7.
- Gribakin F. G., 1969.** Cellular basis of colour vision in the honey bee. *Nature*, 223 : 639-641.

- Grimaldi D., 1999.** The co-radiations of pollinating insects and angiosperms in the Cretaceous. *Annals of the Missouri Botanical Garden* : 373-406.
- Guillaumet J.-L. et Adjanohoun E., 1971.** La végétation de la Côte d'Ivoire. In : Avenard J. M., Eldin E., Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf P., Guillaumet J.-L., Adjanohoun E., Perraud A. (eds). *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*. Paris : ORSTOM, 157-263.
- Hamilton K. G. A., 1972.** The insect wing, Part III. Venation of the orders. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 45 : 145-162.
- Harbo J. R. et Harris J. W., 2005.** Suppressed mite reproduction explained by the behaviour of adult bees. *Journal of Apicultural Research*, 44 : 21-23.
- Harrison J. M., 1987.** Roles of individual honeybee workers and drones in colonial thermogenesis. *Journal of Experimental Biology*, 129 (1) : 53-61.
- Heinrich B., 1993.** *The hot-blooded insects, strategies and mechanisms of thermoregulation*. Harvard University Press, 600 p.
- Hepburn H. R., Radloff S. E. et S. O., 2000.** Mountain honeybees of Africa. *Apidologie*, 31 : 205-221.
- Higes M., Martín R. et Meana A., 2006.** *Nosema ceranae*, a new microsporidian parasite in honeybees in Europe. *Journal of Invertebrate Pathology*, 92 (2) : 93-95.
- Houkpè N. U. H., Mensah G. A., Koutinhoun B., Pomalegni S. C. B. et Goergen G., 2007.** Typisation des abeilles mellifères dans le Nord Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 58 : 56-59.
- Hrassnigg N. et Crailsheim K., 2005.** Differences in drone and worker physiology in honeybees. *Apidologie*, 36 (2) : 255-277.
- Iritie B. M., Wandan E. N., Paraiso A. A., Fantodji A. et Gbomene L. L., 2014.** Identification des plantes mellifères de la zone agroforestière de l'Ecole Supérieure Agronomique de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 10 (30) : 444-458.
- Jean-Prost P., 1977.** *L'apiculture : Connaître l'abeille. Conduire le rucher*. Éditions J.-B. Baillière, Paris, 459 p.

Jean-Prost P., 1987. Apiculture : Connaître l'abeille. Conduire le rucher. 6ème édition. Paris, Lavoisier, 440 p.

Jean-Prost P. et Le Conte Y., 2005. Connaître l'abeille. Conduire le rucher. Lavoisier, Paris, 685 p.

Kearns C. A., Inouye D. W. et Waser N. W., 1998. Endangered mutualisms : the conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 29 : 83-112.

Kelomey A., Paraïso A. A., Salako V. K., Abiola W., Kakai R. G., Baba-Moussa L., Mensah G. A., Edorh P. A., Glitho I. et Sanni A., 2016. Morphometric characteristics of bees *Apis mellifera adansonii* in Benin. *International Research Journal of Natural and Applied Sciences*, 3 (4) : 191-213.

Kerr W., Del Rio S. D. L. et Barrionuevo M., 1982. The southern limits of the distribution of the africanized honey bee in South America (*Apis mellifera adansonii*). *American Bee Journal*, 122 (3) : 196-198.

Kirby W., 1802. *Monographia apum Angliæ; or, An attempt to divide into their natural genera and families, such species of the Linnean genus Apis as have been discovered in England; with descriptions and observations. To which are prefixed so By William Kirby.* J. Raw, Ipswich, London, 2, 258 p.

Klein A.-M., Vaissiere B. E., Cane J. H., Steffan-Dewenter I., Cunningham S. A., Kremen C. et Tscharantke T., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B*, 274 : 303-313.

Klingenberg C. P., 2010. Evolution and development of shape : integrating quantitative approaches. *Nature Reviews Genetics*, 11 (9) : 623-635.

Kuś P. M., Congiu F., Teper D., Sroka Z., Jerković I. et Tuberoso C. I. G., 2014. Antioxidant activity, color characteristics, total phenol content and general HPLC fingerprints of six Polish unifloral honey types. *LWT - Food Science and Technology*, 55 (1) : 124-130.

Latreille P. A., 1802. Histoire naturelle, générale et particulière des crustacés et des insectes : ouvrage faisant suite aux oeuvres de Leclerc de Buffon, et partie du cours complet d'histoire naturelle rédigé par C. S. Sonnini / par P. A. Latreille. 308 p.

Latreille P. A., 1804. Tableau méthodique des insectes. Nouveau Dictionnaire d'Histoire Naturelle, 24 : 129-200.

Le Conte Y., 2002. L'abeille dans la classification des insectes. Abeilles et Fleurs, 628 : 15-16.

Le Conte Y., Vaublanc G. D., Crauser D., Jeanne F., Rousselle J. C. et Becard J. M., 2007. Honey bee colonies that have survived *Varroa destructor*. Apidologie, 38 : 566-572.

Le Conte Y. et Navajas M., 2008. Changements climatiques : impact sur les populations d'abeilles et leurs maladies. Revue Scientifique et Technique-Office International des Epizooties, 27 : 485-497.

Léon Y., 1983. Les cultures vivrières et le problème alimentaire de la Côte d'Ivoire. Économie rurale, 156 : 41-46.

Leporati M., Valli M. et Cavicchi S., 1984. Etude biométrique de la variabilité géographique des populations d'*Apis mellifera* en Italie Septentrionale. Apidologie, 15 (3) : 285-302.

Lequet L., 2010. Du nectar à un miel de qualité : contrôles analytiques du miel et conseils pratiques à l'intention de l'apiculteur amateur. Thèse de doctorat vétérinaire, Université Claude-Bernard - Lyon 1, 194 p.

Lherminier P. et Solignac M., 2000. L'espèce : définitions d'auteurs. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie, 323 (2) : 153-165.

Linnaeus C., 1758. Systema Naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Laurentius Salvius : Holmiae, 1, 824 p.

Lobreau-Callen D., Darchen R. et Thomas A. L., 1986. Apport de la palynologie à la connaissance des relations abeilles/plantes en savanes arborées du Togo et du Bénin. Apidologie, 17 (4) : 279-306.

Lobreau-Callen D. et Damblon F., 1994. Spectre pollinique des miels de l'abeille *Apis mellifera* L. (Hymenoptera, Apidae) et zones de végétation en Afrique occidentale tropicale et méditerranéenne. Grana, 33 : 245-253.

Louis J. et Lefèvre J., 1971. Les races d'abeilles (*Apis mellifica* L.), détermination par l'analyse canonique. Biométrie Praximétrie, 12 : 1-41.

- Louveaux J., 1985.** Les abeilles et leur élevage, 2e édition. Edition Hachette, Paris, 265 p.
- Marcangeli J. A., Eguaras M. J. et Fernandez N. A., 1992.** Reproduction of *Varroa jacobsoni* (Acari: Mesostigmata: Varroidae) in temperate climates of Argentina. *Apidologie*, 23 : 57-60.
- Matsop A. S. T., Kamajou F., Muluh G. A. et Takam M., 2008.** Analyse économique de la structure des coûts de production apicole au Cameroun. *Tropicultura*, 26 (4) : 220-223.
- Mattu V. K. et Verma L. R., 1983.** Morphometric studies on the Indian honey bee, *Apis cerana indica* F. Effect of seasonal variations. *Apidologie*, 15 (1) : 63-73.
- Mattu V. K. et Verma L. R., 1984.** Comparative morphometric studies on the Indian honeybee of the North-West Himalayas 2. *Wings Journal of Apicultural Research*, 23 : 3-10.
- Mbetid-Bessane E., 2004.** Apiculture, source de diversification des revenus des petits agriculteurs : cas du bassin cotonnier en Centrafrique. *Tropicultura*, 22 (3) : 156-158.
- Medori P. et Colin E., 1982.** Les abeilles, comment les choisir et les protéger de leurs ennemis. Edition J. B. Baillière, 131 p.
- MEF, 2008.** Rapport National d'Investissement de la Côte d'Ivoire. Conférence de haut niveau sur : L'eau pour l'agriculture et l'énergie en Afrique : les défis du changement climatique. Syrte, Jamhiriya Arabe Libyenne, 12 p.
- Meixner M. D., Leta M. A., Koeniger N. et Fuchs S., 2011.** The honey bees of Ethiopia represent a new subspecies of *Apis mellifera* - *Apis mellifera simensis* n. ssp. *Apidologie*, 42 (3) : 425-437.
- Meixner M. D., Pinto M. A., Bouga M., Kryger P., Ivanova E. et Fuchs S., 2013.** Standard methods for characterising subspecies and ecotypes of *Apis mellifera*. *Journal of Apicultural Research*, 52 (4) : 1-28.
- Mendez del Villar P., Adaye A., Tran T., Allagba K. et Bancal V., 2017.** Analyse de la chaîne de Manioc en Côte d'Ivoire. Rapport pour l'Union Européenne, DG-DEVCO. Value Chain Analysis for Development Project (VCA4D CTR 2016/375-804). 157 p.
- Meneau C., 2010.** Production et consommation de miel dans le monde (Version réduite). La Rochelle. Apinov, 13 p.

- Mensah G. A., Pomalegni B., Ekue M. et Hounha J., 2003.** Diagnostic des contraintes à l'apiculture dans les localités riveraines des forêts classées de Goungoun et de Sota dans le Nord du Bénin : Rapport d'exécution du protocole N°64. PEEANC, LRZVH, CRA-Agonkanmey, INRAB, MAEP, Bénin. 21 p.
- Michener C. D., 1944.** Comparative external morphology, phylogeny, and classification of the bees (Hymenoptera). Bulletin of the American Museum of Natural History, 82 : 1-326.
- Michener C. D., 2000.** The bees of the world. Baltimore : Johns Hopkins University Press, 913 p.
- Michener C. D., 2007.** The bees of the world. John Hopkins Univ. Press, Baltimore, Maryland, USA, 913 p.
- 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.
- Milani N., 1999.** The resistance of *Varroa jacobsoni* Oud. to acaricides. Apidologie, 30 : 229-234.
- Mitteroecker P. et Gunz P., 2009.** Advances in geometric morphometrics. Evolutionary Biology, 36 : 235-247.
- Monnier V., 1978.** La végétation. Vennetier P., Atlas de la Côte d'Ivoire, 17-19 p.
- Moore A. J., Breed M. B. et Moor M. J., 1987.** The guard honey bee : ontogeny and behavioural variability of workers performing a specialized task. Animal Behaviour, 35: 1159-1167.
- Moritz R. F. A. et Southwick E. E., 1992.** Bees as superorganisms, an evolutionary reality. Springer-Verlag, Berlin, 395 p.
- Morse R., Strang G. E. et Nowakowski J., 1967.** Fall Death Rates of Drone Honey Bees. Journal of Economic Entomology, 60 (5) : 1198-1202.
- Morse R. et Hooper T., 1985.** The illustrated encyclopedia of beekeeping. Blacford Press. New York, 431 p.
- Ndola B. P., 2015.** Etat des lieux de la filière apicole en République Démocratique du Congo et évaluation des capacités pollinisatrices des abeilles domestiques (*Apis mellifera adansonii*)

sur la culture de melon africain (*Cucumeropsis mannii*, Naudin) à Kisangani. Thèse de doctorat, Université de Liège Gembloux, 90 p.

Neukirch A., 1982. Dependence of life span of the honey bee (*Apis mellifera*) upon flight performance and energy consumption. *Journal of Comparative Physiology B*, 146 : 35-40.

Nunes L. A., Araújo E. D. d., Marchini L. C. et Moreti A. C. d. C. C., 2012. Variation morphogeometrics of Africanized honey bees (*Apis mellifera*) in Brazil. *Iheringia, Série Zoologia, Porto Alegre*, 102 (3) : 321-326.

Ohashi K., Sasaki M., Sasagawa H., Nakamura J., Natori S. et Kubo T., 2000. Functional flexibility of the honeybee hypopharyngeal gland in a dequeen colony. *Zoological Science*, 17 (8) : 1089-1094.

Ohoueu E. J. B., Wandan E. N., Koné D., Assielou B. A. et Ardjouma D., 2017. Impact de l'utilisation des produits phytosanitaires en production cotonnière et cacaoyère sur la production apicole en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 13 (9) : 42-55.

Oldroyd B. P. et Crozier R. H., 1996. Number of mating in the genus *Apis* (Hymenoptera : Apidae) revealed by hypervariable microsatellites. *International Congress of Entomology Proceedings*, 400 : 25-31.

Oldroyd B. P., 1999. Coevolution while you wait : *Varroa jacobsoni*, a new parasite of western honeybees. *Trends in Ecology and Evolution*, 14 (8) : 312-315.

Özkan A. K. et Kandemir İ., 2013. Comparison of two morphometric methods for discriminating honey bee (*Apis mellifera* L.) populations in Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 37 : 205-210.

Page R. E. et Peng C. Y.-S., 2001. Aging and development in social insects with emphasis on the honey bee, *Apis mellifera* L. *Experimental gerontology*, 36 : 695-711.

Paraïso A., Viniwanou N., Akossou A. Y. J., Mensah G. A. et Abiola W., 2011. Caractérisation morphométrique de l'abeille *Apis mellifera adansonii* au Nord-Est du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5 (1) : 331-344.

Paraïso A., Paraïso G., Salako V. K., Abiola W., Kelomey A., Kakaï R. G., Edoth P. A., Baba-Moussa L., Sanni A. et Glitho A. I., 2017. Compliance of the morphometric characteristics of bees in Benin with those of *Apis mellifera Adansonii*. *Journal of Entomology*, 14 : 24-32.

- Perrard A., 2012.** Systématique et morphométrie géométrique : L'évolution de la nervation alaire au sein du genre *Vespa* (Hyménoptères : Vespidés). Thèse de Doctorat, Muséum national d'histoire naturelle, 219 p.
- Perrelet A., 1970.** The fine structure of the retina of the honeybee drone. *Zeitschrift für Zellforschung und Mikroskopische Anatomie*, 108 (4) : 530-562.
- Poinar G. O. et Danforth B. N., 2006.** A Fossil Bee from Early Cretaceous Burmese Amber. *Science*, 314 (5799) : 614-614.
- Potts S. G., Biesmeijer J. C., Kremen C., Neumann P., Schweiger O. et Kunin W. E., 2010.** Global pollinator declines : trends, impacts and drivers. *Ecology and Evolution*, 25 (6) : 345-353.
- Rasmont P., Ebmer P. A., Banaszak J. et Zanden G. V. D., 1995.** Hymenoptera Apoidea Gallica. Liste taxonomique des abeilles de France, de Belgique, de Suisse et du Grand-Duché de Luxembourg. *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 100 : 1-98.
- Rey R., 2012.** La disparition des abeilles (Colony Collapsus Disorder). Etat des lieux, analyse des causes et des conséquences. Thèse de doctorat en pharmacie, Université Victor Segalen - Bordeaux 2, 115 p.
- Rohlf F. J. et Slice D., 1990.** Extensions of the procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Systematic Zoology*, 39 (1) : 40-59.
- Rohlf F. J. et Marcus L., 1993.** A revolution morphometrics. *Trends in Ecology and Evolution*, 8 (4) : 129-132.
- Rohlf F. J., 2015.** The tps series of software. *Hystrix, the Italian Journal of Mammology*, 26 : 1-4.
- Rúa P. d. I., Galiána J., Serrano J. et Moritz R. F. A., 2003.** Genetic structure of Balearic honeybee populations based on microsatellite polymorphism. *Genetics Selection Evolution*, 35 : 339-350.
- Ruttner F., 1956.** The mating of the honeybee. *Bee World*, 37 (1) : 23-24.
- Ruttner F., 1975.** African races of honeybees. *Proceedings of the Twenty-fifth International Beekeeping Congress*, 25 : 325-344.

- Ruttner F., Tassencourt L. et Louveaux J., 1978.** Biometrical statistical analysis of the geographic variability of *Apis mellifera* L. *Apidologie*, 9 (4) : 363-381.
- Ruttner F., 1981.** Taxonomy of honeybees of tropical Africa. Proceedings of the Twenty-eighth International Beekeeping Congress, 28 : 271-277.
- Ruttner F., 1988.** Biogeography and taxonomy of honeybees. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 284 p.
- Sammataro D., Gerson U. et Needham G., 2000.** Parasitic mites of honey bees : Life, history, implications and impact. *Annual Review of Entomology*, 45 : 519-548.
- Schricker B., 1965.** Die Orientierung der Honigbiene in der Dämmerung. *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, 49 (5) : 420-458.
- Segeren P., Mulder V., Beetsma J. et Sommeuer R., 1996.** Apiculture sous les tropiques. Agrodok séries n° 32. Agromisa Wageningen, 77 p.
- Sheppard W. S. et Meixner M. D., 2003.** *Apis mellifera pomonella*, a new honeybee subspecies from Central Asia. *Apidologie*, 34 (4) : 367-376.
- Sinaly C., 1978.** Le paysan Sénoufo. Dakar, Sénégal. Nouvelles Éditions Africaines, 245 p.
- Slice D. E., Bookstein F. L., Marcus L. F. et Rohlf F. J., 1996.** A glossary for geometric morphometrics. In: Marcus L.F., Corti, M., Loy, A., Naylor, G. and Slice, D. (eds.), "Advances in morphometrics". Plenum Press, New York. 531-551.
- Slice D. E., 2007.** Geometric morphometrics. *Annual Review of Anthropology*, 36 : 261-281.
- Smith D. R., Crespi B. J. et Bookstein F. L., 1997.** Fluctuating asymmetry in the honeybee *Apis mellifera* : effects of ploidy and hybridization. *Journal of Evolutionary Biology*, 10 : 551-574.
- Smith F. G., 1961.** Races of honeybees in East Africa. *Bee World*, 42 : 255-260.
- Snodgrass R. E., 1956.** Anatomy of the honeybee. Cornell University Press, 352 p.
- Szabo T. L. et Lefkovich L. P., 1988.** Fourth generation of closed population honey bee breeding. 2. Relationship between morphological and colony traits. *Apidologie*, 19 (3) : 259-273.

Szalanski A. L. et Magnus R. M., 2010. Mitochondrial DNA characterization of Africanized honey bee (*Apis mellifera* L.) populations from the USA. *Journal of Apicultural Research*, 49 : 177-185.

Tentcheva D., Gauthier L., Zappulla N., Dainat B., Cousserans F. et Colin M. E., 2004. Prevalence and seasonal variations of six bee viruses in *Apis mellifera* L. and *Varroa destructor* mite populations in France. *Applied Environmental Microbiology*, 70 : 7185-7191.

Tilde A. C., Fuchs S., Koeniger N. et Cervancia C. R., 2000. Morphometric diversity of *Apis mellifera* Fabr. Within the Philippines. *Apidologie*, 31 : 249-263.

Tofilski A., 2008. Using geometric morphometrics and standard morphometry to discriminate three honeybee subspecies. *Apidologie*, 39 (5) : 558-563.

Tomassone R. et Fresnaye J., 1971. Etude d'une méthode biométrique et statistique permettant la discrimination et la classification de populations d'abeilles (*Apis mellifica* L.). *Apidologie*, 2 (1) : 49-65.

Toullec A. N. K., 2008. Abeille noire, *Apis mellifera mellifera*. Historique et sauvegarde. Thèse de Doctorat Vétérinaire, Faculté de Médecine de Créteil, 168 p.

Vandame R., 1996. Importance de l'hybridation de l'hôte dans la tolérance à un parasite. Cas de l'acarien parasite *Varroa jacobsoni* chez les races d'abeilles *Apis mellifera* européenne et africanisée, en climat tropical humide du Mexique. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard-Lyon 1, France, 112 p.

Whitfield C. W., 2006. Thrice out of Africa : Ancient and recent expansions of the honey bee, *Apis mellifera*. *Science*, 314 (5799) : 642-645.

Wilde J. D. et Beetsma J., 1982. The physiology of caste development in social insects. *Advances in Insect Physiology*, 16 : 167-246.

Wilson E. O., 1975. Sociobiology : the new synthesis. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 697 p.

Winston M. L., Taylor O. R. et Otis G. W., 1983. Some differences between temperate European and Tropical African and South American honeybees. *Bee World*, 64 (1) : 12-21.

Winston M. L., 1987. The biology of the honey bee. Harvard University Press, Cambridge, 294 p.

Winston M. L., 1993. La biologie de l'abeille. Nauwelaerts, Beauvechain. Frison-Roche, Paris, 276 p.

Wright A., Lee A. et Pearson K., 1907. A cooperative study of queens, drones and workers in «*Vespa Vulgaris*». *Biometrika*, 5 : 407-422.

Yang X. et Cox-Foster D., 2005. Impact of an ectoparasite on the immunity and pathology of an invertebrate : Evidence for host immunosuppression and viral amplification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102 (21) : 7470-7475.

Zelditch M. L., Swiderski D. L., Sheets H. D. et Fink W. L., 2004. *Geometric Morphometrics for Biologists : A Primer*. Elsevier Academic Press, New York and London, 437 p.

Zelditch M. L., Swiderski D. L. et Sheets H. D., 2012. *Geometric Morphometrics for Biologists : A Primer*. Academic Press, 443 p.

Zhang S. W., Srinivasan M. V. et Colett T., 1995. Convergent processing in honeybee vision : multiple channels for the recognition of shape. *Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America*, 92 : 3029-3031.

ANNEXES

ANNEXE 1 : FICHE D'ENQUÊTE

Fiche N°..... Date de l'enquête

PROPRIETAIRE DU RUCHER

Nom : Prénoms :

APICULTEUR

Nom : Prénoms :

Région : Ville :

Village : Contacts :

Âge : Situation matrimoniale : Nombre d'enfants :

Activité principale : Activité secondaire :

Producteur individuel Producteurs associés

Êtes-vous ? : Amateur Professionnel

Type d'association :

Date de démarrage de l'activité :

PRODUCTION

Types de ruche :

Nombre total de ruches :

Nombre de ruches colonisées :

Nombre de ruches désertées :

Quantité de miel par ruche :

Quantité de pollen :

Quantité de propolis :

CONNAISSANCES DES ABEILLES

Combien de races d'abeilles rencontrez-vous dans vos ruches ?

Quels sont les caractères morphologiques qui vous permettent de les identifier ?

.....

Décrivez chacune d'elles :

Taille : Taille :

Forme : Forme :

Couleur : Couleur :

Agressivité : Agressivité :

Productivité : Productivité :

PROBLEMES RENCONTRES

Désertion des ruches :

Effondrement des colonies :

Maladies :

Contraintes financières :

Contraintes environnementales :

Commercialisation :

OBSERVATIONS / AUTRES INFORMATIONS

.....

.....

ANNEXE 2 : PUBLICATION TIRÉE DE LA THESE

Caractérisation Morphométrique des Abeilles Mellifères Elevées dans le Centre de la Côte d’Ivoire

Brou Aubin Assielou,

Laboratoire des Sciences Agronomiques et Génie rurale,
Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny

Eboua Narcisse Wandan,

Laboratoire Sciences Société & Environnement,
UMRI Sciences Agronomiques et Génie rurale,
Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny

Kouabenan Abo,

Laboratoire de Phytopathologie et de Biologie Végétale,
UMRI Sciences Agronomiques et Génie rurale,
Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny

Iritie Bruno Marcel,

Laboratoire de Zootechnie,
UMRI Sciences Agronomiques et Génie rurale,
Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny

Doi: 10.19044/esj.2019.v15n6p155 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n6p155](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n6p155)

Résumé

La caractérisation des abeilles constitue une étape importante pour une meilleure gestion et pour la durabilité des systèmes de production apicole. Cependant, en Côte d’Ivoire, les abeilles mellifères élevées sont encore mal connues à ce jour. L’objectif de cette étude est donc de déterminer, par la morphométrie classique, les éventuels races et écotypes d’abeilles mellifères dans le Centre de la Côte d’Ivoire. Des échantillons de 30 abeilles ouvrières par ruche ont été prélevées dans 2 à 3 ruches dans les ruchers d’apiculteurs installés dans les localités de N’Guessankro, de Soungassou, de Kouassikouassikro, de Lengbe-kouassikro de Yobouekro et de l’Institut National Polytechnique Felix Houphouët-Boigny de Yamoussoukro. Un total de 18 paramètres morphométriques a été mesuré à l’aide d’une loupe binoculaire et d’un microscope. Les analyses statistiques ont révélé une variation biogéographique au sein des colonies d’abeilles mellifères de Côte d’Ivoire permettant de les discriminer en populations locales.

Mots-clés: Abeilles mellifères, morphométrie, Côte d’Ivoire

Morphometric Characterisation of Bees Reared at the Center of Côte d'Ivoire

Brou Aubin Assielou,

Laboratoire des Sciences Agronomiques et Génie rurale,
Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny

Eboua Narcisse Wandan,

Laboratoire Sciences Société & Environnement,
UMRI Sciences Agronomiques et Génie rurale,
Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny

Kouabenan Abo,

Laboratoire de Phytopathologie et de Biologie Végétale,
UMRI Sciences Agronomiques et Génie rurale,
Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny

Iritie Bruno Marcel,

Laboratoire de Zootechnie,
UMRI Sciences Agronomiques et Génie rurale,
Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny

Abstract

The characterization of bees is an important step towards better management and sustainability of beekeeping systems. However, in Cote d'Ivoire, honeybees are still poorly studied to date. The objective of this investigation is to determine, by classical morphometry, the possible breeds and ecotypes of honeybees in central Cote d'Ivoire. Samples of 30 worker bees per hive were collected from 2 to 3 beehives in beekeeper apiaries sited in the localities of N'Guessankro, Soungassou, Kouassi-kouassikro, Lengbe-kouassikro of Yobouekro and the National Polytechnic Institute Felix Houphouet-Boigny of Yamoussoukro. A total of 18 morphometric parameters was measured using a binocular loupe and a microscope. Statistical analysis revealed a biogeographic variation within the honey bee colony of Côte d'Ivoire, making it possible to discriminate them in local populations.

Keywords: Honeybees, morphometry, Cote d'Ivoire

Introduction

L'abeille joue un rôle capital dans le maintien de l'équilibre des écosystèmes terrestres et pour les revenus des populations rurales du monde

entier. En effet, environ 35 % de la production agricole mondiale dépend des pollinisateurs dont le plus important est l'abeille (Klein *et al.*, 2007).

Du fait de son intérêt en tant qu'espèce productrice (miel, pollen, cire, gelée royale, propolis) et de son importance dans la pollinisation des plantes sauvages et cultivées, l'abeille est devenue l'un des insectes les plus étudiés dans le monde. La première classification moderne des abeilles fut donnée par Michener (1944) et a été modifiée récemment grâce à des analyses moléculaires par Danforth (2006a) et Danforth (2006b). Selon ces auteurs, les abeilles appartiennent à la famille des Apidae qui regroupe quatre (04) sous-familles : les Meliponinae (abeilles sans dard), les Euglossinae, les Bombinae et les Apinae (abeilles mellifères) et comptent près de 20 000 espèces d'abeilles à travers le monde (Michener, 2007). Cependant les abeilles mellifiques, les plus connues et utilisées en apiculture dans le monde, appartiennent à l'espèce *Apis mellifera* regroupant 26 sous-espèces (Segeren *et al.*, 1996). Elle a une distribution naturelle partout en Afrique, en Europe et au Moyen-Orient.

Latreille (1804) a décrit *Apis mellifera adansonii* comme la seule sous-espèce d'abeilles mellifères pour toute l'Afrique de l'Ouest et du Centre. Ses résultats sont corroborés par ceux de Ruttner (1982). Cependant, il a disposé, pour ses travaux, d'une centaine d'échantillons pour toute l'Afrique de l'ouest. En outre, l'étude réalisée par Houngpè *et al.* (2007) sur les abeilles du Nord du Bénin indique que celles-ci appartiennent à la race *Apis mellifera adansonii*, avec la présence de deux différentes formes d'abeilles mellifères : l'une jaune, plus petite et l'autre noire et plus grande. L'étude des caractéristiques morphométriques de l'abeille *Apis mellifera adansonii* au Nord-Est du Bénin suggère l'existence d'autres sous-espèces autres que *Apis mellifera adansonii* (Paraiso *et al.*, 2011).

Nous pouvons donc constater que les abeilles mellifères d'Afrique sont peu ou mal connues. En effet, contrairement aux races européennes, dont les caractéristiques et la répartition géographique sont connues avec précision, l'inventaire des races d'*Apis mellifera* ainsi que la cartographie de leur répartition géographique restent encore incomplets (Morse et Hooper, 1985). En Côte d'Ivoire, il y a peu de travaux et de publications scientifiques sur les abeilles mellifères, en l'occurrence ceux menés en vue de déterminer les différentes races d'abeilles. De plus, les apiculteurs n'ont pas une bonne connaissance des races d'abeilles qu'ils exploitent.

La caractérisation de ces abeilles s'avère donc nécessaire pour une meilleure gestion de leur diversité et la durabilité des systèmes de production apicole. L'objectif de cette étude est de déterminer, par la morphométrie classique, les éventuels races et écotypes d'abeilles mellifères de Côte d'Ivoire.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

La présente étude s'est déroulée de Mai à Novembre 2016. Les échantillons d'abeilles ont été collectés dans les ruchers de cinq apiculteurs localisés dans six localités des départements de Yamoussoukro (Yobouekro et l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny de Yamoussoukro), Kouassikouassikro (Kouassikouassikro et Lengbe-kouassikro), Dimbokro (Soungassou) et Toumodi (N'Guessankro) dans le centre de la Côte d'Ivoire (Figure 1). Ces départements visités bénéficient d'un climat de type baouléen caractérisé par une pluviométrie annuelle variant de 1 000 à 1 200 mm avec une moyenne de 1185 mm. La température moyenne annuelle est comprise entre 30 et 39°C avec une humidité relative moyenne de 71 %.

Echantillonnage

La collecte des abeilles a été faite dans 22 ruches des ruchers installés dans les six localités sus décrites. Dans chaque rucher, trois à quatre ruches ont été visitées et trente (30) abeilles ont été prélevées. Les ruches ont été ouvertes et les abeilles ont été prélevées sur les cadres afin de prévenir les collectes d'abeilles provenant d'autres ruches. Les abeilles, ainsi prélevées de manière aléatoire, ont été tuées par simple immersion dans de l'éthanol absolu (95%) puis conservées à -20°C jusqu'au moment de leur utilisation. Les abeilles prélevées sont toutes des ouvrières car les mâles, haploïdes, ne sont pas représentatifs dans une population d'abeilles (Toullec, 2008).

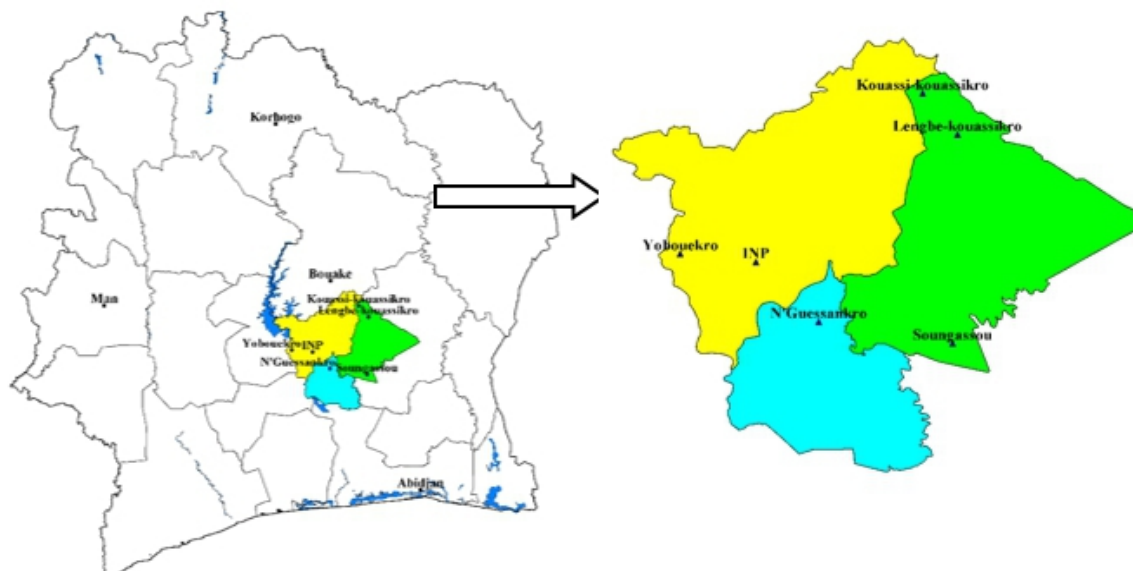


Figure 1 : Localisation géographique des sites d'échantillonnage

Caractères biométriques mesurés

Il existe plus de cinquante caractères morphologiques utilisés pour étudier la biométrie de l'abeille (Fresnaye, 1981). En ce qui concerne notre travail, 18 caractères morphologiques ont été sélectionnés en fonction de leur pouvoir discriminant et de leur signification biologique. Ces paramètres sont:

- **la longueur de l'abeille** ;
- **la longueur du proboscis** (Figure 3) ;
- **la longueur du fémur (Fe) et du tibia (Ti), la longueur (ML) et la largeur (MT) du métatarse, la longueur totale de la patte (Fe + Ti + ML) postérieure droite** (Figure 3) ;
- **la longueur et la largeur des ailes antérieure et postérieure droites** (Figure 2) ;
- **la coloration** ou largeur de la bande jaune sur le deuxième tergite (Figure 5) ;
- **la largeur du tomentum** ou largeur de la zone pileuse sur le quatrième tergite (Figure 6) ;
- **la pilosité** ou longueur moyenne des poils sur le cinquième tergite (Figure 7) ;
- **l'indice cubital** : il se rapporte à la structure de l'aile antérieure de l'ouvrière. Les ailes sont divisées en cellules par des nervures alaires ; on y rencontre 3 cellules cubitales notées I, II et III (figure 8). Deux segments de **nervure a** et **b** sont mesurés sur la troisième cellule cubitale. L'indice cubital est le rapport **a/b** entre les longueurs des deux portions de nervure a et b ;
- **la transgression discoïdale** qui est la mesure de l'angle discoïdal obtenu en notant la position du point discoïdal par rapport à la perpendiculaire au grand axe de la cellule radiale, passant par l'angle supérieur de la troisième cellule cubitale. Lorsque le point discoïdal se trouve vers l'extrémité de l'aile, la transgression est positive (+) ; lorsqu'il se trouve vers le point d'attache de l'aile sur le thorax, elle est négative (-) et lorsque le trait passe exactement sur le point discoïdal, la transgression est nulle (Toullec, 2008) (Figure 9).

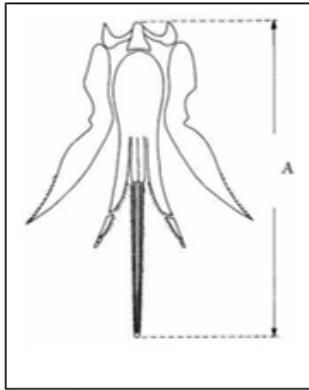


Figure 3 : Longueur du proboscis

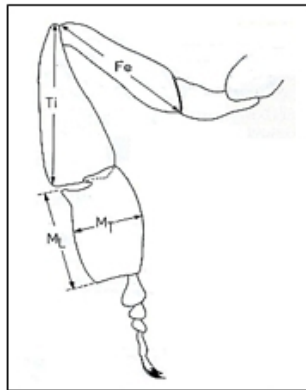


Figure 4 : Longueur du fémur (Fe), du tibia (Ti) et du métatarse (ML), Largeur du métatarse (MT)

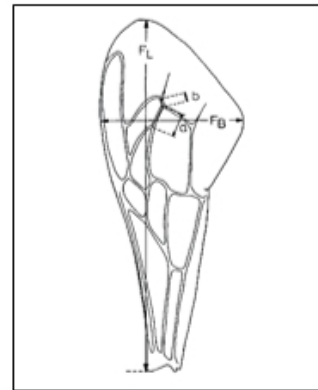


Figure 2 : Longueur aile antérieure (FL), Largeur aile antérieure (FB), distances a et b de la veine cubitale

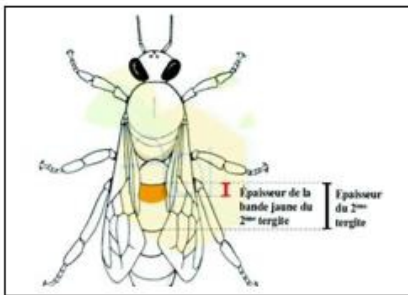


Figure 5 : Coloration

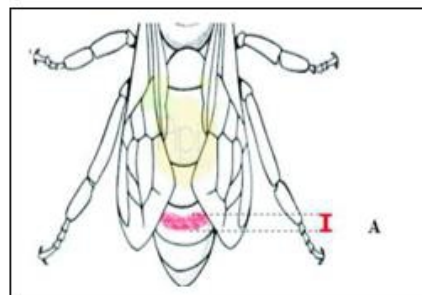


Figure 6 : Tomentum



Figure 7 : Pilosité

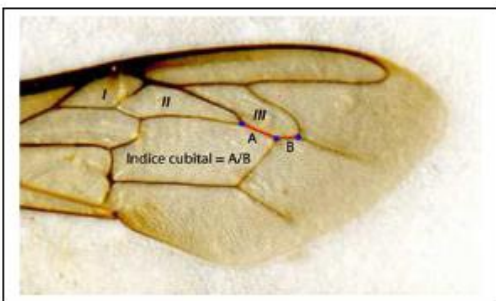


Figure 9 : Indice cubital

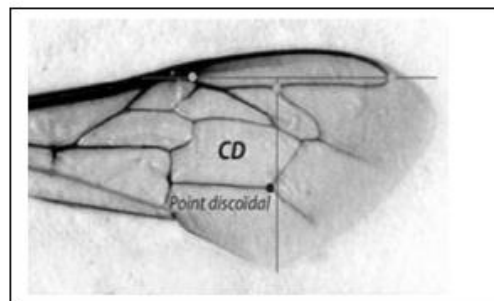


Figure 8 : Transgression discoïdale

Méthodes de mensuration

Les abeilles collectées ont été disséquées selon la méthode décrite par Ruttner *et al.* (1978). Les ailes droites antérieure et postérieure, la patte postérieure droite, ainsi que les tergites (2ème, 4ème et 5ème) ont été prélevés et montés entre lame et lamelle dans quelques gouttes d'un milieu de montage (eau distillée). Les mesures des caractères biométriques ont été effectuées à l'aide d'une loupe binoculaire Motic via le logiciel Motic Images Plus 2.0 (longueur de l'abeille, longueur et largeur des ailes droites antérieure et postérieure, longueur de la patte postérieure, longueur de la proboscis) et d'un microscope AmScope à l'aide du logiciel AmScope 3.7 (coloration, tomentum, pilosité, indice cubital et transgression discoïdale). Toutes les mesures sont exprimées en mm à l'exception de l'indice cubital qui est sans unité et de la transgression discoïdale qui est exprimé en degré (°).

Analyses statistiques

Pour déterminer les caractéristiques biométriques des abeilles collectées, la moyenne arithmétique, l'écart-type et la valeur minimale et maximale des différents paramètres morphométriques ont été déterminés pour chaque échantillon d'abeilles. Ces moyennes des paramètres morphométriques ont été comparées entre les sites de prélèvement par l'analyse de variance à un facteur (ANOVA).

Dans le but de rechercher une éventuelle différenciation morphologique au sein des abeilles collectées, nous avons eu recours à l'Analyse en Composantes principales (ACP).

Les différents calculs ont été réalisés à l'aide de l'interface RStudio du logiciel R version 3.4.4.

Résultats

Les résultats relatifs à l'analyse univariée des 22 colonies regroupées en 6 localités sont résumés dans le tableau 1. Concernant la longueur des abeilles, les résultats montrent que la moyenne pour l'ensemble des sites visités est de 13,10 mm avec un écart type de 1,65 mm. On observe une différence significative entre les longueurs en fonction de différentes localités ($p < 0,05$). Les abeilles collectées dans les ruchers de Yobouekro, dans la zone de Yamoussoukro, sont plus longues que celles des autres localités visitées. Au niveau de la patte, la longueur du fémur des abeilles collectées variée entre 2,33 mm et 2,34 mm avec une moyenne de 2,39 mm. Les abeilles issues des ruchers de Yobouekro et de Soungassou présentent des fémurs significativement ($p < 0,05$) plus longs que celles provenant des autres localités. La longueur des tibias varie significativement, elle aussi d'un rucher à l'autre ($p < 0,05$). Les abeilles issues du rucher de l'INP-HB ont les tibias

les plus courts tandis que celles échantillonnées dans la localité de Lengbe-kouassikro possèdent les tibias les plus longs.

La longueur et la largeur du métatarse varient de façon significative d'un rucher à l'autre avec des moyennes respectives de 2,08 mm et 1,15 mm. Les abeilles ayant les métatarses les plus longs ont été rencontrées dans la localité de Yobouekro. En ce qui concerne la largeur du métatarse, les abeilles se répartissent en deux groupes statistiquement différents ($p < 0,05$). Les abeilles du premier groupe sont issues des ruchers de l'INP-HB et de Soungassou, avec des fémurs plus larges que ceux du deuxième groupe comprenant les abeilles collectées dans les ruchers de Kouassi-kouassikro, Lengbe-kouassikro, N'guessankro et Yobouekro. Concernant la longueur totale de la patte (fémur + tibia + métatarse), les valeurs moyennes sont comprises entre 7,31 mm et 7,45 mm et aucune différence significative n'est observée.

La transgression discoïdale varie entre $-3,62^\circ$ et $-1,59^\circ$ avec une moyenne pour l'ensemble des ruchers visités de $-2,06^\circ \pm 1,94^\circ$. La longueur de l'aile antérieure mesure entre 8,87 mm et 9,09 mm tandis que sa largeur mesurait entre 2,92 mm et 2,97 mm. En ce qui concerne l'aile postérieure, sa longueur varie entre 6,12 mm et 6,27 mm et sa largeur entre 1,63 mm et 1,68 mm.

Les longueurs moyennes de l'index A et de l'index B étaient respectivement 0,51 mm et 0,22 mm pour l'ensemble des sites d'étude. Ces valeurs nous ont permis de déterminer l'indice cubital qui est le rapport index A/index B qui a une valeur moyenne de $2,31 \pm 0,40$.

Concernant la coloration, qui représente la largeur de la bande jaune au niveau du deuxième tergite, nos résultats ont montré son absence chez la plupart des abeilles observées. En général, elles présentaient un abdomen totalement noir. Pour les quelques abeilles qui présentent une coloration, la largeur moyenne de la bande jaune est de $1,59 \text{ mm} \pm 0,11 \text{ mm}$.

Les longueurs moyennes maximale et minimale des poils mesurés sur le 5ème tergite étaient respectivement $0,23 \pm 0,02 \text{ mm}$ et $0,22 \pm 0,02 \text{ mm}$.

L'ANOVA et le test de Tukey conduisent au rejet de l'égalité de moyennes pour l'ensemble des ruchers avec des différences hautement significatives ($p < 0,05$) à l'exception de la largeur de l'aile postérieure ($p = 0.219$).

L'ACP des différentes variables morphométriques a été utilisée pour détecter la présence d'un possible regroupement des colonies d'abeilles. Selon cette analyse, deux composantes, avec une valeur propre supérieure à 1, ont été retenues. Le pourcentage de variation cumulé de ces deux axes est 53,647%. L'axe 1 explique à lui seul 30,738% de la variation totale tandis que l'axe 2 explique 22,909% de la variation totale (Tableau 2).

Tableau 1 : Variances, pourcentages de variation totale expliquée par les principales composantes principales et pourcentages de variation cumulé.

Paramètres	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
Variance	1,537	1,145	0,969	0,707	0,642
% de variance	30,738	22,909	19,38	14,141	12,832
% cumulé	30,738	53,647	73,028	87,168	100

Pour cette analyse, 5 variables morphométriques ont été retenus. Les variables fortement corrélées entre elles ou celles qui sont déterminés par la combinaison d'autres variables ont été utilisées comme variables supplémentaires (Longueur fémur, longueur tibia, longueur métatarse, largeur métatarse, longueur du proboscis, index A, index B, et coloration).

Tableau 2 : Corrélations (Corr) entre les variables morphométriques et les axes principaux et contribution (Ctr) de chaque variable à la construction des axes principaux.

Variables morphométriques	Axe 1		Axe 2	
	Corr	Ctr (%)	Corr	Ctr (%)
Longueur de la patte	-0.356	8.268	-0.592	30.599
Transgression discoïdale	0.750	36.613	-0.008	0.005
Indice cubital	0.688	30.810	0.102	0.916
Tomentum	-0.595	23.034	0.265	6.117
Pilosité	-0.140	1.275	0.845	62.363

Tableau 3 : Valeurs moyennes \pm Ecart types, Valeur minimale (Min) et Valeur maximale (Max) des caractéristiques morphométriques en fonction des régions

Paramètres	INP-HB	K-kouassikro	L-kouassikro	N'Guessankro	Soungassou	Yobouekro
Longueur abeille (mm)	13,2 c \pm 1,18	12,47 a \pm 0,8	13,22 bcd \pm 0,9	12,83 b \pm 0,9	13,41 cd \pm 0,87	13,6 d \pm 0,92
Longueur fémur (mm)	2,41 bc \pm 0,14	2,33 a \pm 0,09	2,36 ab \pm 0,08	2,37 ab \pm 0,07	2,44 c \pm 0,17	2,42 c \pm 0,09
Longueur tibia (mm)	2,83 a \pm 0,13	2,93 cd \pm 0,1	3 e \pm 0,11	2,96 de \pm 0,12	2,91 bc \pm 0,19	2,87 ab \pm 0,14
Longueur métatarse (mm)	2,08 a \pm 0,13	2,07 a \pm 0,09	2,1 ab \pm 0,09	2,09 a \pm 0,1	2,05 a \pm 0,14	2,14 b4 \pm 0,1
Longueur patte (mm)	7,32 a \pm 0,25	7,34 ab \pm 0,19	7,46 b \pm 0,25	7,42 ab \pm 0,2	7,41 ab \pm 0,45	7,42 ab \pm 0,19
Largeur métatarse (mm)	1,18 b \pm 0,07	1,14 a \pm 0,04	1,14 a \pm 0,04	1,14 a \pm 0,03	1,18 b \pm 0,08	1,15 a \pm 0,04
Longueur proboscis (mm)	4,82 b \pm 0,56	4,98 bd \pm 0,38	5,18 d \pm 0,41	5,01 cd \pm 0,44	4,63 a \pm 0,49	4,9 bc \pm 0,48
Longueur aile antérieure (mm)	8,94 a \pm 0,26	8,87 a \pm 0,17	9,09 b \pm 0,26	9,03 b \pm 0,18	8,93 a3 \pm 0,2	9,07 b \pm 0,22
Largeur aile antérieure (mm)	2,96 bc \pm 0,07	2,92 a \pm 0,08	2,97 c \pm 0,09	2,97 c \pm 0,07	2,94 ab \pm 0,06	2,96 bc \pm 0,08
Longueur aile postérieure (mm)	6,14 ab \pm 0,19	6,13 a \pm 0,17	6,27 d \pm 0,19	6,21 cd \pm 0,15	6,17 ac \pm 0,16	6,21 bcd \pm 0,18
Largeur aile postérieure (mm)	1,67 b \pm 0,06	1,63 a \pm 0,05	1,68 b \pm 0,05	1,67 b \pm 0,05	1,68 b \pm 0,05	1,68 b \pm 0,05
Transgression discoïdale (°)	-2,16 b \pm 1,85	-1,64 b \pm 2,1	-2,26 b \pm 1,85	-1,73 b \pm 1,7	-1,6 b \pm 1,59	-3,62 a \pm 2,01
Index A (mm)	0,51 ab \pm 0,04	0,52 b \pm 0,05	0,52 ab \pm 0,04	0,5 a \pm 0,04	0,51 ab \pm 0,05	0,53 b \pm 0,04
Index B (mm)	0,23 bc \pm 0,03	0,23 ab \pm 0,03	0,23 bc \pm 0,02	0,24 c \pm 0,02	0,22 a \pm 0,02	0,23 bc \pm 0,03
Indice cubital	2,28 ab \pm 0,41	2,36 b \pm 0,51	2,25 ab \pm 0,4	2,15 a \pm 0,34	2,36 b \pm 0,33	2,31 ab \pm 0,38
Coloration (mm)	1,52 a \pm 0,15	1,58 b \pm 0,09	1,62 bc2 \pm 0,1	1,63 c \pm 0,09	1,65 c \pm 0,09	1,64 c \pm 0,09
Tomentum (mm)	1,32 c \pm 0,12	1,26 b \pm 0,13	1,3 bc \pm 0,08	1,24 b \pm 0,13	1,18 a \pm 0,14	1,34 c \pm 0,12
Pilosité (mm)	0,23 bc \pm 0,03	0,22 ac \pm 0,02	0,23 c \pm 0,02	0,22 a \pm 0,02	0,22 ab \pm 0,02	0,22 ac \pm 0,03

Pour chaque variable sur une même ligne, les valeurs moyennes portant les mêmes lettres, ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$)

Le tableau 3 ci-dessus montre que l'axe 1 est essentiellement composé par les variables (avec une contribution > 0,23) : transgression discoïdale, indice cubital et tomentum. Par contre l'axe 2 est formé par les variables pilosité et longueur de la patte.

Sur la base de leur position dans le premier plan factoriel 1 - 2, on peut regrouper les abeilles collectées en 03 groupes (Figures 10) :

- Le premier groupe est représenté par la colonie Col_1 qui est la colonie INP-HB1 ayant une forte pilosité ;
- Le deuxième groupe représenté par la colonie Col_16 (Soungassou 2) dans laquelle les abeilles ont de longues pattes ;
- Le troisième groupe formé par l'ensemble des 20 autres colonies avec des abeilles ayant un indice cubital et une transgression discoïdale élevés et un faible tomentum.

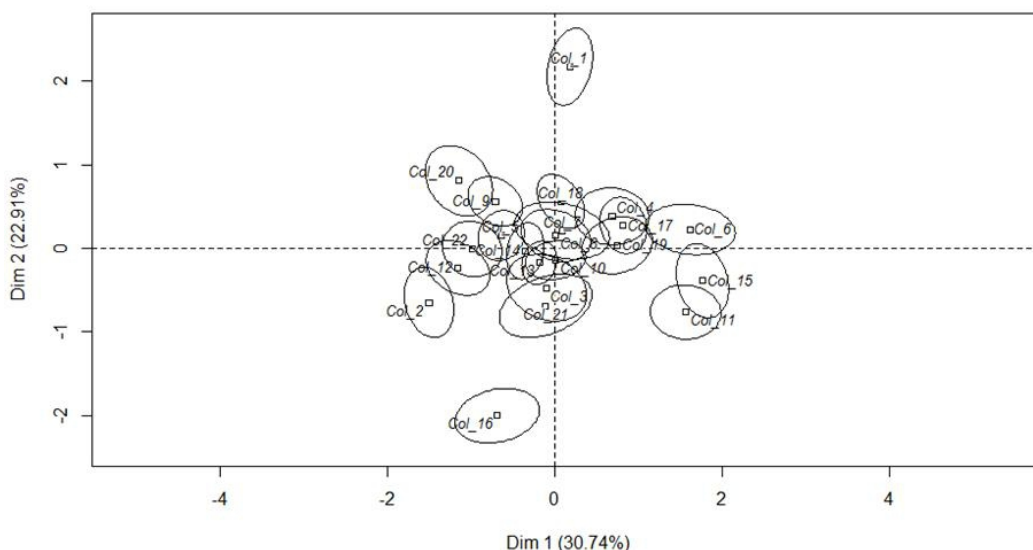


Figure 10 : Représentation graphique des individus (zone géographique) dans le plan factoriel 1-2

Discussion

La méthode morphométrique, utilisée au cours de cette étude, est la morphométrie classique. En effet, l'analyse des populations géographiques des abeilles mellifères commence toujours par leur description morphologique (Ruttner, 1988).

Les résultats obtenus nous ont permis de constater une grande variabilité morphologique à l'intérieur des populations d'abeilles ivoiriennes prélevées. Ces résultats corroborent ceux de Tassencourt et Louveaux (1978) qui ont montré que la variabilité morphologique à l'intérieur de l'espèce *Apis*

mellifera est extraordinairement élevée. Ces résultats sont aussi corroborés par ceux de Winston *et al.* (1983) qui ont trouvé que les variabilités intra colonies et inter colonies des sous-espèces d'abeilles *Apis mellifera* sont remarquablement élevées. Cette grande variation observée dans nos échantillons pourrait indiquer une appartenance à des écotypes différents. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que durant le vol nuptial, la reine est inséminée par plusieurs mâles qui proviendraient de différentes colonies voisines (Chevalet et Cornuet, 1982).

Les longueurs moyennes des abeilles, prélevées au cours de notre étude varient de $12,47 \pm 0,80$ mm à $13,60 \pm 0,91$ mm. Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues par Paraiso *et al.* (2011) dans le nord-est du Bénin chez la sous-espèce *Apis mellifera adansonii* dont les longueurs des abeilles variaient de 10,86 mm à 11,97 mm. Par ailleurs les résultats montrent que les individus sont plus grands au sud où le climat est plus humide et deviennent plus petits au nord où le climat est plus sec. Bien que les conditions ne soient pas les mêmes, ces résultats démontrent qu'il y a un gradient lié au climat tel que énoncé par Bergman et d'Allen qui affirment que les individus des climats froids tendent à être plus grands que ceux de la même espèce vivant dans des climats chauds (Mayr, 1963). Cependant, la longueur de l'abeille, bien qu'étant un caractère important ne peut être considérée comme un indicateur lié à la détermination des sous-espèces d'abeilles. En effet, ce paramètre peut varier en fonction de l'environnement et d'autres facteurs abiotiques (Garnery *et al.*, 1998).

La taille moyenne des pattes postérieures des abeilles (7,38 mm) est sensiblement inférieure à celle observée par Ruttner (1988) en Afrique de l'ouest chez les abeilles *Apis mellifera adansonii* qui était de 7,49 mm. La taille de la patte postérieure de l'abeille est un paramètre important en ce sens qu'il affecte sa capacité de récolte du pollen (Mattu et Verma, 1984). De même, la production du miel est positivement corrélée avec la longueur de la patte postérieure et plus particulièrement avec la longueur de la corbeille au niveau du tibia (Szabo et Lefkovich, 1988).

La taille des ailes (longueur et largeur) est un paramètre qui influence, d'une part, le vol des abeilles et d'autre part la quantité de pollen qui peut être récoltée (Abdellatif *et al.*, 1977). La longueur des ailes mesurée dans cette étude est de 8,97 mm est plus élevée que celles observées par Ruttner (1988) chez les abeilles *Apis mellifera adansonii* qui étaient en moyenne de 8,45 mm. Bien que la quantité de miel par ruche soit essentiellement imputée à la colonie d'abeille et à l'environnement, ces résultats présument que les abeilles de ces localités seraient de bonnes productrices de miel.

La langue des abeilles est très courte : 4,88 mm. Gadbin *et al.* (1979) ont trouvé une valeur de 5,45 mm chez les abeilles *Apis mellifera adansonii* du Tchad. Cette valeur est très inférieure à celle des abeilles *Apis mellifera*

mellifera (6,28 mm) dont la langue est la plus courte chez les abeilles européennes. Le fait que ces abeilles aient une langue très courte pourrait s'expliquer d'une part par la disponibilité des ressources alimentaires, et d'autre part par les caractéristiques morphologiques des fleurs butinées. En effet, un lumen long (langue longue) permet d'atteindre facilement et rapidement le fond de la corolle où se logent les glandes nectarifères et les étamines contenant le pollen.

Nos résultats ont également révélé la cohabitation d'abeilles jaunes et d'abeilles noires à l'intérieure des mêmes ruches. Ces résultats corroborent ceux de Hounkpè *et al.* (2007) qui ont observé une forte proportion d'ouvrières sombres dans les colonies d'abeilles *Apis mellifera adansonii* dans le nord du Bénin.

La pilosité est courte avec une moyenne de 0,22 mm. Elle est cependant plus courte que celle des abeilles étudiées par Gadbin *et al.* (1979) au Tchad et beaucoup plus courte que celle des races européennes et notamment *Apis mellifera mellifera* dont la moyenne est de 0,46 mm. La pilosité a été fortement, mais négativement corrélée avec la latitude. En effet, plus on se dirige vers les zones du nord, où la température est de plus en plus élevée, la longueur des poils sur le cinquième tergite diminue. Une pilosité dense et longue est d'une importance vitale au niveau individuel et au niveau de la thermorégulation chez les abeilles sociales, comme l'a signalé Heinrich (1993).

Le tomentum est beaucoup large mais sa faible densité et ses limites peu précises le rendent difficile à mesurer. Il serait sans doute nécessaire de réviser les conceptions de prise des mesures de ce caractère. En effet, la méthode actuellement utilisée a été étudiée pour les races européennes dont le tomentum est nettement marqué (Gadbin *et al.*, 1979).

L'indice cubital et la transgression discoïdale constituent d'excellents caractères pour l'étude de l'abeille noire *Apis mellifera mellifera* et des colonies croisées (Toullec, 2008). L'indice cubital est spécifique à chaque race ou écotype d'abeilles européennes.

L'index cubital moyen des abeilles du centre de la Côte d'Ivoire qui est de 2,29 mm est proche de celui mesuré par Paraïso chez les abeilles du Bénin qui est de 2,28 mm. Nous pouvons donc déduire que les abeilles mesurées appartiennent à la race *Apis mellifera adansonii*.

Les abeilles collectées avaient une transgression négative avec des moyennes variant entre $-1,60^\circ$ et $-3,62^\circ$. Des transgressions négatives sont aussi observées chez *Apis mellifera mellifera*, Par contre chez les autres sous espèces européennes (*Ligustica*, *Carnica*, *Caucasica*), les transgressions discoïdales sont soit positives ou nulles.

L'analyse en composantes principales des caractères morphométriques des abeilles du centre de la Côte d'Ivoire révèle que malgré la formation de

trois groupes d'abeilles sur les axes factoriels, les abeilles forment un groupe assez homogène. En effet le troisième groupe regroupe la quasi-totalité des abeilles collectées. Cette variation dans la population indique que les abeilles prélevées appartiennent à des écotypes différents. Une variabilité similaire a été observée chez des abeilles voisines au Bénin par Paraiso *et al.* (2011) qui ont observé la présence de 3 groupes distincts d'abeilles dans la population étudiée.

Conclusion

En vue de développer l'apiculture, la première des étapes est la maîtrise des espèces et des races utilisées. Les résultats de l'ACP nous ont permis de détecter une variation au sein des populations de Côte d'Ivoire permettant de les discriminer en populations locales. Ainsi, les abeilles provenant des différentes localités ont pu être regroupé en trois groupes ou écotypes d'abeilles distincts.

Cette étude sur la morphométrie des abeilles en Côte d'Ivoire constitue la première du genre. Elle a abouti à des résultats intéressants. Cependant, des études complémentaires par des analyses plus précises telles que la morphométrie géométrique ou l'analyse moléculaire doivent être entreprises en vue d'une connaissance plus approfondie des écotypes d'abeilles de Côte d'Ivoire. De même, les critères morphologiques ayant certainement une influence sur la vitesse de pollinisation et le nombre de pollen déposées sur les fleurs, il serait intéressant d'évaluer la relation entre certains caractères morphométriques et les caractéristiques des fleurs des espèces de plantes butinées.

References:

1. Abdellatif, M. A., Abou-E-Naga, A. M., Ali, M. H., Shakir, P. M., and Al-Jaltli, M. K., 1977. "Biometrical studies on Iraq honeybees", *Journal of Apicultural research* 16 (3), pp. 143-144.
2. Bourgeois, G., 2006. "Différentes abeilles butineuses pour la pollinisation du bleuet nain". Séminaire en phytologie. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation Université Laval, Canada. Pp 26.
3. Chevalet, C. I. et Cornuet, J.-M., 1982. "Etude théorique sur la sélection de caractère « production de miel" chez l'abeille", *Apidologie* 13 (1) pp. 39-65.
4. Danforth, B. N., Fang, J. and Sipes, S., 2006a. "Analysis of family-level relationships in bees (Hymenoptera: Apiformes) using 28S and two previously unexplored nuclear genes: CAD and RNA polymerase II", Elsevier pp. 358-372.

5. Danforth, B. N., Sipes, S., Fang, J. and Brady, S. N. G., 2006b. "The history of early bee diversification based on five genes plus morphology", National Acad. Sciences pp. 15118-15123.
6. Fresnaye, J., 1981. "Biométrie de l'abeille", Journal 2e ed. - Echauffour (Orne), Office pour l'Information et la Documentation en Apiculture, pp. 56.
7. Gadbin, C., Cornuet, J.-M. et Fresnaye, J., 1979. "Approche biométrique de la variété locale d'*apis mellifica* L. dans le sud tchadien", Apidologie 10 (2), pp. 137-148.
8. Garnery, L., Franck, P., Baudry, E., Vautrin, D., Cornuet, J.-M., and Solignac, M., 1998. "Genetic diversity of the west european honey bee (*Apis mellifera mellifera* and *A. m. iberica*) I. Mitochondrial DNA", Genet. Sel. Evol. 30 (1) : 31- 47, pp.
9. Heinrich, B., 1993. "The hot-blooded insects, strategies and mechanisms of thermoregulation", Springer, Berlin pp.
10. Hounkpè, N. U. H., Mensah, G. A., Koutinhoun, B., Pomalegni, S. C. B. et Goergen, G., 2007. "Typisation des abeilles mellifères dans le Nord Bénin", Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin 58, pp. 56-59.
11. Klein, A.-M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C. and Tscharantke, T., 2007. "Importance of pollinators in changing landscapes for world crops, Proceedings of the Royal Society B", 274, pp. 303-313.
12. Latreille, P. A., 1804. "Tableau méthodique des insectes", Nouveau Dictionnaire d'Histoire Naturelle 24, pp. 129-200.
13. Mattu, V. K. and Verma, L. R., 1984. "Comparative morphometric studies on the Indian honeybee of the North-West Himalayas 2", Wings Journal of Apicultural Research 23, pp. 3-10.
14. Mayr, E., 1963. "Animal Species and evolution", Belknap Press of Harvard. University Press. Cambridge, Mass., USA pp.
15. Michener, C. D., 1944. "Comparative external morphology, phylogeny, and classification of the bees (Hymenoptera)", Bulletin of the American Museum of Natural History 82, pp. 1-326.
16. Michener, C. D., 2007. "The bees of the world", Journal pp. 913.
17. Morse, R. et Hooper, T., 1985. "The illustrated encyclopedia of beekeeping", Journal pp. 431.
18. Paraïso, A., Viniwanou, N., Akossou, A. Y. J., Mensah, G. A. et Abiola, W., 2011. "Caractérisation morphométrique de l'abeille *Apis mellifera adansonii* au Nord-Est du Bénin", Int. J. Biol. Chem. Sci. 5 (1), pp. 331-344.
19. Ruttner, F., 1988. "Biogeography and Taxonomy of Honeybees", Journal pp. 284.

20. Ruttner, F., Tassencourt, L., and Louveaux, J., 1978. “Biometrical-statistical analysis of the geographic variability of *Apis mellifera* L. I. Material and methods”, *Apidologie* 9, pp. 363-381.
21. Segeren, P., Mulder, V., Beetsma, J. et Sommeuer, R., 1996. “Apiculture sous les tropiques”, *Journal* pp. 77
22. Szabo, T. L. and Lefkovich, L. P., 1988. “Fourth generation of closed population honey bee breeding. 2. Relationship between morphological and colony traits”, *Apidologie* 19 (3), pp. 259-273.
23. Toullec, A. N. K., 2008. “Abeille noire, *Apis mellifera mellifera*. Historique et sauvegarde”, Thèse de Doctorat Vétérinaire, Faculté de Médecine de Créteil.
24. Winston, M. L., Taylor, O. R. and Otis, G. W., 1983. “Some differences between temperate European and Tropical African and South American honeybees”, *Bee World* 64 (1), pp. 12 - 21.

RÉSUMÉ

Une seule sous-espèce d'abeilles mellifiques, *Apis mellifera adansonii*, a été décrite pour toute l'Afrique Occidentale et Centrale. Les données de la littérature concernant les caractéristiques des abeilles mellifiques présentes en Côte d'Ivoire sont moins nombreuses que chez les sous-espèces européennes. La présente étude caractérise la diversité morphologique et approfondit les connaissances sur la sous-espèce locale d'abeilles mellifiques grâce à deux approches : l'approche morphométrique classique et l'approche morphométrique géométrique basée sur la configuration des points-repères situés sur les ailes à partir d'un échantillon de 1 620 abeilles ouvrières de la sous-espèce *Apis mellifera adansonii* collecté au Centre, au Nord et à l'Ouest de la Côte d'Ivoire. La morphométrie classique indique que, malgré les diversités de formes et de couleurs observées au sein des colonies, les abeilles collectées constituent un groupe assez homogène. Ces résultats sont confirmés par la morphométrie géométrique qui analyse la conformation des ailes des abeilles après l'extraction de la taille centroïde. Les résultats permettent d'observer des variations importantes dans les populations d'abeilles mais indiquent une absence de différenciation géographique au sein des colonies collectées.

Mots clés : *Apis mellifera adansonii*, morphométrie, points-repères, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

A single honeybee subspecies, *Apis mellifera adansonii*, has been describe from all of West and Central Africa. The data in the literature concerning the characteristics of honeybees present in Côte d'Ivoire are less numerous than in European subspecies. The present study characterizes the morphological diversity and deepens the knowledge on the local subspecies of honeybees thanks to two approaches : the classic morphometric approach and the geometric morphometric approach based on the configuration of the landmarks located on the wings, from a sample of 1,620 worker bees of the subspecies *Apis mellifera adansonii* collected in the Center, North and West of Côte d'Ivoire. Classical morphometry indicates that despite the diversity shapes and colors observed within the colonies, the collected bees constitute a fairly homogeneous group. These results are confirmed by geometric morphometry, which analyze the conformation of bee wings after extraction of the centroid size. The results make it possible to observe significant variations in the bee populations but indicate an absence of geographical differentiation within the colonies collected.

Key words: *Apis mellifera adansonii*, bees, Côte d'Ivoire, landmark, morphometry