



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس – مستغانم
UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Domaine : SNV
Filière : Sciences Agronomiques
Spécialité : Production et Biotechnologie Animales

THÈSE

Présentée pour l'obtention du Diplôme de
Doctorat 3^{ème} Cycle LMD

Par
Mlle ABED Fouzia

Intitulé

**Situation de l'apiculture dans l'ouest algérien : variabilité
génétique et impacts des pesticides sur l'abeille
(*Apis mellifera intermissa*)**

Soutenue publiquement le : 13/07/2022

Devant le jury composé de :

HOMRANI Abdelkader	Professeur	Université de Mostaganem	Président
BACHIR BOUIADJRA Benabdellah	Professeur	Université de Mostaganem	Directeur
HADDAD Ahmed	Professeur	Centre Universitaire Bayadh	Co-directeur
ADJLANE Noureddine	Professeur	Université de Boumerdès	Examineur
BENDAHMANE Boubakeur Seddik	Professeur	Université de Mostaganem	Examineur

Laboratoire des Sciences et Techniques de Production Animale (LSTPA)
2021-2022



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس – مستغانم

UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Domaine : SNV

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Production et Biotechnologie Animales

THÈSE

Présentée pour l'obtention du Diplôme de
Doctorat 3^{ème} Cycle LMD

Par

Mlle ABED Fouzia

Intitulé

**Situation de l'apiculture dans l'ouest algérien : variabilité
génétique et impacts des pesticides sur l'abeille
(*Apis mellifera intermissa*)**

Soutenue publiquement le : 13/07/2022

Devant le jury composé de :

HOMRANI Abdelkader	Professeur	Université de Mostaganem	Président
BACHIR BOUIADJRA Benabdellah	Professeur	Université de Mostaganem	Directeur
HADDAD Ahmed	Professeur	Centre Universitaire Bayadh	Co-directeur
ADJLANE Noureddine	Professeur	Université de Boumerdès	Examineur
BENDAHMANE Boubakeur Seddik	Professeur	Université de Mostaganem	Examineur

*Laboratoire des Sciences et Techniques de Production Animale (LSTPA)
2021-2022*

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de ce travail et qui m'ont aidé lors de la rédaction de cette thèse.

J'adresse en premier temps mes vifs remerciements et toute ma gratitude à mon encadreur Professeur Bachir Boudjraa Benabdellah, merci pour votre patience, vos conseils, vos encouragements et pour m'avoir guidée tout au long de ces années, tout en me laissant une grande autonomie qui a contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie également mon Co-encadreur Professeur Haddad Ahmed pour son soutien et son aide précieuse. Je tiens à vous exprimer ma sincère reconnaissance pour votre support, soyez assuré de ma profonde gratitude.

Je tiens particulièrement à remercier les membres du jury :

Pr. Homrani Abdelkader, Directeur du Laboratoire des Sciences et Techniques de Production Animale pour son partage par ses connaissances et ses expériences dans ce milieu. Merci d'avoir accepté de juger ce travail et de me faire l'honneur de présider ce jury de thèse. Veuillez trouver ici le témoignage de mon profond respect.

Pr. ADJLANE Nouredine et Pr. BENDAHMANE Boubakeur Seddik d'avoir aimablement accepté de juger ce travail en tant qu'examineurs. Soyez assurés de ma profonde reconnaissance et veuillez recevoir mes sincères remerciements.

Je tiens à témoigner toute ma gratitude aux personnes suivantes, pour leur aide dans la réalisation de cette thèse :

Dr. Lahouari Dahloum, pour son aide de valeur assez importante dans l'élaboration de l'article ainsi que dans les études statistiques.

Pr. Irfan Kandemir pour son accueil merveilleux et ses conseils pertinents pour la réalisation de la morphométrie géométrique durant mon stage en Turquie

Pr. Nemmiche, pour ses conseils et ses orientations scientifiques qui m'ont éclairé plusieurs situations

Je souhaite également adresser mes remerciements à toute l'équipe de laboratoire des sciences et de techniques de production animale où j'ai passé les cinq dernières années, pour tous les bons moments de travail et d'amitié partagés

Je tiens aussi à remercier l'ensemble des apiculteurs qui ont participé à l'enquête et ceux qui ont m'aidé à obtenir les échantillons d'abeilles particulièrement les apiculteurs de l'association des apiculteurs « DJEBEL MOSKI » de la wilaya de Sidi Bel Abbès.

Je remercie également le président de l'ANAP : Mr Hamzaoui Mohamed et le chef de station de fécondation contrôlée de Tessala à Sidi Bel Abbès Mr Kechar Kadour

Je remercie aussi toute l'équipe pédagogique de l'université de Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem- et les intervenants professionnels responsables de ma formation.

Et comme on garde toujours le meilleur pour la fin, Merci Papa et Maman de m'avoir soutenu et écouté avec tout votre cœur au cours de ces années d'études. Vous avez toujours su me montrer le côté positif des choses pour avancer, même quand c'était difficile. Merci d'avoir été des parents aussi disponibles et ouverts à toutes mes envies.

Merci à mes frères particulièrement Abderrahmane et Wael Walaa Eddine pour m'accompagner lors des promenades d'échantillonnage

Finalement, je remercie toute personne qui a contribué à la réalisation de ce travail de proche ou de loin.

Et j'espère n'avoir oublié personne. Que ceux qui ne se retrouvent pas dans cette liste veuillent bien m'en excuser, je les remercie également.

SOMMAIRE

Remerciements

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des Annexes

Liste des abréviations

Résumé

Introduction 1

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : SITUATION DE L'APICULTURE EN ALGERIE

I-INTRODUCTION 9

II- EVOLUTION DE L'APICULTURE EN ALGERIE 10

1- Historique de l'apiculture en Algérie 10

1.1- Pendant la colonisation française 10

1.2- Après l'indépendance 10

2- Situation actuelle de l'apiculture en Algérie 12

2.1- Production de miel 13

2.2- Production d'essaims et évolution du cheptel apicole 16

2.3- Facteurs de variation de la production apicole 17

2.3.1- Facteurs climatiques 17

2.3.2- Facteurs humains 17

2.3.3- Facteurs liés au cheptel 17

2.3.4- Facteurs génétiques 17

2.3.5- Facteurs alimentaires et sanitaires 17

III- IMPORTANCE DE L'APICULTURE 18

1- Les apports économiques de l'apiculture 18

2- L'aspect social de l'activité apicole 18

3- Aspect agronomique et environnemental 18

4- Le rôle de l'apiculture dans le développement local 19

5- Aspect scientifique 20

6- Aspect écologique 20

IV- LES CONTRAINTES DE L'APICULTURE EN ALGERIE 20

1- Les manifestations climatiques et environnementales 20

2-	Le niveau institutionnel	21
3-	Le niveau technique et organisationnel de la filière	21
V-	PERSPECTIVE DE DEVELOPPEMENT DE LA FILIERE APICOLE	23
1-	Forces	23
2-	Faiblesses.....	23
3-	Menaces	23
4-	Opportunités	23
CHAPITRE II : IMPORTANCE DE LA MORPHOMETRIE GEOMETRIQUE		
I-	INTRODUCTION.....	26
II-	BIOGEOGRAPHIE DE L'ABEILLE	27
1-	Aire d'endémicité ou (d'endemisme)	27
2-	Diversité intraspécifique	29
III-	MORPHOMETRIE TRADITIONNELLE ET MORPHOMETRIE GEOMETRIQUE	32
1-	Historique	32
2-	Les caractéristiques des deux approches	34
IV-	LA MORPHOMETRIE GEOMETRIQUE.....	35
1-	Définition	35
2-	Avantages de la GM	35
3-	Inconvénients et limitations	36
V-	LA NERVATION ALAIRE DES INSECTES	36
1-	Les ailes : une structure propice aux études morphométriques	36
2-	La morphométrie géométrique appliquée aux ailes d'insectes	37
3-	Le patron de nervation alaire, un marqueur efficient chez Apis mellifera	37
VI-	METHODOLGIE	40
1-	Notion de taille, forme et conformation	40
2-	Le concept de conformation	41
3-	Obtention de la conformation des ailes par la morphométrie géométrique.....	41
4-	Le concept d'allométrie	42
5-	Les points-repères	43
5.1-	Les point-repères retenus pour les ailes des abeilles.....	43
6-	Procrustes superposition.....	45
6.1-	Généralités.....	45

6.2.1- Procédure de superposition	45
6.2.2- Les plaques minces « Thin-Plate Spline »	46
CHAPITRE III : IMPACT DES PESTICIDES SUR LES ABEILLES	
I- INTRODUCTION.....	49
II- LE SYNDROME DE « CCD »	50
1- Définition de « CCD ».....	50
2- Origine du « CCD »	50
2.1- Stress nutritionnel.....	51
2.2- Pathogènes.....	51
2.3- Pesticides	52
III- LES PESTICIDES	52
1- Définition des pesticides.....	52
2- Histoire des pesticides	54
3- Classification des pesticides	57
3.1- Les insecticides	57
3.1.1- Les différentes familles d'insecticides et leurs modes d'action.....	57
3.1.1.1- Les néonicotinoïdes	60
A- Biodisponibilité des néonicotinoïdes.....	61
B- Mécanisme d'action des néonicotinoïdes	61
1- Le récepteur nicotinique à l'acétylcholine.....	62
2- Imidaclopride.....	62
C- Evaluation de la toxicité des insecticides chez l'abeille.....	63
D- Conséquences sur la sentinelle de l'environnement « Abeille »	65
PARTIE EXPERIMENTALE	
CHAPITRE I : OBJECTIF	
Objectifs	72
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES	
1^{ier} volet : « la Situation de l'apiculture dans l'Ouest Algérien ».....	74
A- Méthode d'enquête	74
B- Le questionnaire	74
1- Identification de l'apiculteur	74
2- Rucher, pratique et production	75
• Présentation de l'exploitation.....	75
• Production	75

• Pratique de l'apiculture	75
3- Santé et environnement	75
4- Préoccupation et les contraintes de l'apiculteur	76
C- Technique d'échantillonnage.....	76
D- Présentation de la zone d'étude	76
1- Situation géographique.....	76
2^{ème} volet : « La morphométrie géométrique »	82
A- Matériel biologique	82
A.1- <i>Apis mellifera intermissa</i>	82
A.2- <i>Apis mellifera sahariensis</i>	83
B-Sites d'échantillonnage et prélèvement de spécimens.....	84
C-Acquisition et traitement des données	86
1- Préparation des ailes d'abeilles.....	86
2- Numérisation des ailes	87
3- Digitalisation des ailes : acquisition des coordonnées des point-repère.....	87
4- Analyses morphométriques	88
4.1- Extraction de la conformation des ailes : méthode Procrustes.....	88
4.2- Analyses statistiques.....	88
4.2.1- Variation de la taille et de la forme des ailes	89
4.2.2- Effets allométriques	89
3^{ème} volet : « Impact des pesticides »	90
A-Matériel biologique	90
B-Insecticide	90
1- Présentation de la molécule « Imidaclopride ».....	91
1.1- Propriétés physiques	91
1.2- Propriétés chimiques.....	91
1.3- Métabolite de l'imidaclopride.....	92
C- Protocole expérimentale.....	93
I- La détermination de la « DL50 »	93
1.1-Condition de l'expérimentation.....	94
1.1.1- Principe de la méthode	95
A-Toxicité orale	95
B-Toxicité topique	95
1.1.2-Validité de l'essai	95

1.1.3- Description de la méthode.....	95
A- Collecte des abeilles	95
B- Cage d'essai	96
C- Manipulation et conditions d'alimentation	96
D- Préparation des abeilles	96
1- Pour essai oral	96
2- Pour l'essai topique	97
E- Préparation des doses.....	97
1- Pour essai oral	97
2- Pour l'essai topique	97
F - Mode opératoire	98
1-Ingestion collective	98
1.1- Avant le traitement	98
1.2- Pendant le test	98
2- Application topique	99
1.1-Avant le traitement	99
1.2-Pendant le test	99
1.3-Réalisation de l'expérimentation	99
1.3.1- Application orale	99
1.3.2- Application topique	102
1.3.3- Analyses statistiques	103
II- Dosage enzymatique	103
1- Exposition des abeilles mellifères à des doses sublétales du pesticide	103
2- Les essais enzymatiques	104
3- Analyse statistique.....	105
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS	
1^{ier} volet « Enquête »	107
I-Rubrique 1 « Identification de l'apiculteur ».....	107
1- Début de l'activité	107
2- Le sexe.....	110
3- Type d'apiculteurs	110
4- Adhésion à un organisme apicole.....	111
5- Formation	111
II-Rubrique 2 « Rucher, pratiques et production ».....	112

A- Présentation de l'exploitation	112
1- Nombre de ruches	113
2- Localisation du rucher	114
3- Type de ruches	115
4- Catégorie de ruche	116
5- Races d'abeilles	117
B- Les pratiques	118
1- La transhumance	118
2- Nourrissement	119
2.1- Le nourrissement stimulant	119
2.2- Le nourrissement massif	119
2.3- Le nourrissement protéique	120
C- Production et commercialisation	121
1- Les produits de la ruche	121
a- Miel	121
b- Pollen	121
c- Cire	122
d- Propolis	122
e- Gelée royale	123
f- Venin	123
2- La quantité du miel produite	124
3- Type de miels	127
III- Rubrique 3 « Santé et environnement »	129
A- Maladies et ennemis des abeilles	129
1- La varroase	129
2- La loque européenne et américaine	131
3- La nosémose	135
4- La fausse teigne	136
B- Traitements Phytosanitaires	138
C- Déclin d'abeilles	140
IV- Rubrique 4 « Préoccupations et les contraintes de l'apiculteur »	141
A- Les atouts	147
B- Faiblesses	147
C- Menaces	147

D- Opportunités	148
2^{ème} volet : « La morphométrie géométrique »	149
I- Variations de la forme « Wing shape » des ailes chez les sous-espèces	149
II- Variation de taille « Size » et de forme « Shape »	154
III- Effet allométrique	157
IV- Variations de la taille « Size » et de la forme « Shape » des ailes selon les localités	158
3^{ème} volet : « Effets des pesticides sur les abeilles »	163
I-Evaluation de la toxicité aigue	163
A-Le mode orale	164
1- Les symptômes observés lors de l'intoxication orale par l'imidaclopride ..	164
2- La détermination de la DL50 par voie orale	164
B-Le mode topique	166
1- Les symptômes observés lors de l'intoxication topique par l'imidaclopride	166
2- La détermination de la DL50 par voie topique	166
C-La comparaison de la DL50 des modes d'intoxication.....	168
II- L'effet de l'imidaclopride sur les biomarqueurs	169
A- Concept des biomarqueurs	169
B- Application des biomarqueurs	170
C- Extraction et détermination de la concentration de la protéine tissulaire totale	171
D- Exposition des abeilles mellifères à des doses sublétales de l'imidaclopride	171
1-Effet de l'imidaclopride sur l'activité enzymatique de l'acétylcholine estérase « AchE »	172
2- Effet de l'imidaclopride sur l'activité enzymatique du glutathion « GST »	173
3- Effet de l'imidaclopride sur l'activité enzymatique de la catalase « CAT »	176
4- Effet de l'imidaclopride sur l'activité enzymatique de la phosphatase alcaline « ALP »	177
Conclusion	181
Références bibliographiques	187
Annexes	232
Productions scientifiques	235

Liste des tableaux

Tableau 01 : Evolution de la production nationale et de l'importation du miel entre 2013 à 2019 (FAO, 2020).....	14
Tableau 02 : 28 sous-espèces d' <i>Apis mellifera</i> décrites et valides sur la base de la morphométrie et leur appartenance à une lignée évolutive (A : africaines, M et C : européennes et O : orientale) ou sous-groupe Z (sous-lignée A) sur la base de la morphométrie, de l'ADN mitochondrial ou du génome.....	31
Tableau 03 : Descriptions morphologiques des 19 points-repères fixés pour l'aile antérieure d'une ouvrière d'abeille d' <i>Apis mellifera</i> L.....	44
Tableau 04 : Descriptions morphologiques des 7 points-repères fixés pour l'aile postérieure d'une ouvrière d'abeille d' <i>Apis mellifera</i> L.....	45
Tableau 05 : Liste de la classification de l'IRAC des insecticides et des acaricides selon le mode d'action.	58
Tableau 06 : Listes des effets sublétaux des insecticides sur le comportement des abeilles.....	68
Tableau 07 : Localités à partir desquels des échantillons d'abeilles domestiques ont été prélevés pour une analyse morphométrique géométrique.	85
Tableau 08 : Propriétés physiques et chimiques principales de l'imidaclopride.....	92
Tableau 09 : Taille du rucher par wilaya.....	113
Tableau 10 : Modèle de ruche utilisé dans les trois wilayas.	115
Tableau 11 : Dimensions de la ruche langstroth modifié utilisé en Algérie.	117
Tableau 12 : Quantité du miel produite en Kg /ruche pour les trois wilayas.	124
Tableau 13 : Modalité de transmission de Paeni bacillus larvae intra et inter-colonies	135
Tableau 14 : Nombre d'apiculteurs affectés par le problème des pesticides.	139
Tableau 15 : Différents degrés de déclin d'abeilles chez les apiculteurs des trois zones.....	140
Tableau 16 : Contributions relatives de chaque point anatomique à la variation observée dans les ailes antérieures des abeilles domestiques.	149
Tableau 17 : Dix premières valeurs propres d'une analyse des composantes principales (PCA) de la forme de l'aile antérieure droite dans les deux sous-espèces <i>Apis mellifera intermissa</i> et <i>A.m sahariensis</i>	150
Tableau 18 : Différentes variances à chaque repère pour les spécimens alignés.	153
Tableau 19 : Moyenne, écart-type et coefficient de variation (%) du log centroïde pour chaque province étudiée.....	159

Tableau 20 : Cinq premières variables canoniques pour la discrimination des 12 populations d'abeilles domestiques.	160
Tableau 21 : Pourcentage d'échantillons correctement classés dans chaque wilaya performée en utilisant le test de permutation avec 10 000 tours.....	161

Liste des figures

Figure 01 : Evolution de la production de miel selon (FAO, 2020).	13
Figure 02 : Tendence de la production de miel en Algérie de 2005 à 2019 (FAO, 2020).	14
Figure 03 : Evolution du volume d'importation de l'Algérie en miel entre 2013 et 2019 (FAO, 2020).	15
Figure 04 : Evolution de valeur en dollars de l'importation de miel en Algérie (FAO, 2020).	15
Figure 05 : Accroissement du cheptel apicole en Algérie (MADR, 2016).	16
Figure 06 : Originale répartition des cinq lignées évolutives d' <i>Apis mellifera</i> (Garnery sur <i>mellifica.be</i>).	28
Figure 07 : Différents hypothèses des scénarios évolutifs l'origine à l'expansion de l'abeille <i>A. mellifera</i>	28
Figure 08 : Présentation de l'aire de répartition géographique naturelle des 29 sous- espèces reconnues d' <i>Apis mellifera</i> avec l'indication des lignées évolutives A, C, M, O et le sous-groupe Z (sous-lignée africaine mais divergente des 4 lignées évolutives au niveau nucléaire).	30
Figure 09 : Schéma représentant les principaux caractères morphologiques mesurés par ma morphométrie classique chez <i>Apis mellifera</i> ssp.	34
Figure 10 : Représentation de la nervation alaire de l'abeille domestique <i>Apis mellifera</i> . A : aile antérieur (AA), B : aile postérieur (AB).	39
Figure 11 : Principe du calcul de la taille-centroïde illustré avec un triangle en deux dimensions. L'intersection entre x_c et y_c représente le centroïde (barycentre) du triangle.	40
Figure 12 : Aile antérieure d'une ouvrière d'abeille africaine avec les 19 points-repères tracés sur les jonctions des veines.	42
Figure 13 : Illustration des trois étapes de Procruste superposition par des triangles. 1) alignement sur la taille centroïde 2) mise à l'échelle 3) rotation des conformations.	46
Figure 14 : Construction d'une grille de transformation.	47
Figure 15 : Présentation graphique de la wilaya de Tiaret.	77
Figure 16 : Carte géographique de la wilaya de Relizane.	78
Figure 17 : Carte de localisation de la wilaya de Mostaganem.	81
Figure 18 : Carte indiquant les provinces d'échantillonnage d' <i>Apis mellifera intermissa</i> et d' <i>A. m. sahariensis</i> en Algérie.	84

Figure 19 : A. Montage des ailes entre deux lames de microscope. B. Elimination des ailes qui sont déchirées.	87
Figure 20 : Aile droite de <i>Apis mellifera</i> avec les 20 points repères utilisés pour quantifier la variation de la taille « Shape ».	88
Figure 21 : A, B Présentation de l'emballage de l'insecticide utilisé « Imidachlopride» ..	91
Figure 22 : Présentation de la formule développée de l'imidaclopride.	92
Figure 23 : Présentation des principaux métabolites de l'imidaclopride.....	93
Figure 24 : Capture des ouvrières qui servent à l'essai à partir du cadre de la ruche.....	100
Figure 25 : Utilisation du tube à essai pour capter les abeilles servant à l'expérimentation.	101
Figure 26 : Unité expérimentale : cages contenant 20abeilles.	101
Figure 27 : (A et B) Distribution de l'aliment contaminé lors de l'essai de l'intoxication orale.	102
Figure 28 : Application topique des solutions contaminées.	103
Figure 29 : Début d'activité selon les années pour les trois wilayas.	107
Figure 30 : Apiculteurs participants à des formations.	112
Figure 31 : Répartition des élevages selon le nombre de ruches.	114
Figure 32 : Répartition de la transhumance selon les wilayas.....	118
Figure 33 : Pratique du nourrissage par les apiculteurs.....	120
Figure 34 : Produits de la ruche des trois wilayas.	121
Figure 35 : Variabilité de production de miel dans les trois régions.	124
Figure 36 : Répartition géographique de la loque européenne en 2013.	132
Figure 37 : Illustration du signe d'allumette.	134
Figure 38 : Ruche fortement infestée par la fausse teigne au niveau de la wilaya de Mostaganem.	137
Figure 39 : Usage des pesticides dans les Wilayas concernées par l'enquête apicole.	138
Figure 40 : Contraintes de la filière apicole.....	141
Figure 41 : Présentation des configurations des points repères de toutes les ailes, après la superposition de Procruste. Pour chaque repère, le cercle bleu indique l'emplacement du repère pour la forme moyenne, et les points noirs indiquent l'emplacement des ailes individuelles.	150
Figure 42 : Analyse des composantes principales (PCA) de la configuration de l'aile droite des abeilles mellifères. A. La PC1 représentait 11,92 % de la variance de forme totale de l'échantillon total par rapport à la PC2, qui représentait 10,51 %. B. Graphique de PC3 (9,96	

% de la variation totale) et PC4 (8,72 % de la variation totale). N = 1286 (<i>Apis mellifera intermissa</i> = 1106, <i>A. m. sahariensis</i> = 180.	151
Figure 43 : Graphiques illustrant la variation de la forme des ailes des abeilles mellifères de l'Ouest de l'Algérie	152
Figure 44 : Box plot montrant la taille centroïde des ailes droites pour <i>Apis mellifera intermissa</i> et <i>A.m. sahariensis</i> (P = 0,214). Les cercles marquent les valeurs atypiques de CS.	154
Figure 45 : Grille de spline à plaques minces présentant la forme moyenne de l'aile antérieure pour <i>Apis mellifera intermissa</i> (ci-dessus) et <i>A.m. sahariensis</i> (ci-dessous) (facteur d'échelle x10 pour une meilleure visibilité).....	155
Figure 46 : Schéma filaire « Wireframescheme » exposant les différences de forme de l'aile antérieure entre <i>Apis mellifera intermissa</i> et <i>A. m. sahariensis</i> en utilisant MorphoJ. Ligne noire pour le côté positif et gris et ligne pour le côté négatif de la canonique (facteur d'échelle x5 pour une meilleure visibilité des différences de forme)	156
Figure 47 : Résultats du test de validation croisée « Cross validation test » pour la fonction discriminante de forme d'aile entre <i>Apis mellifera intermissa</i> et la sous-espèce <i>A. m sahariensis</i>	157
Figure 48 : Scores de régression multivariée des coordonnées de la forme de l'aile de Procrustes selon la taille du log centroïde avec des ellipses de confiance à 95 %.....	158
Figure 49 : Diagramme de dispersion « Scatter plot » montrant les groupes générés par l'CVA pour les 12 populations d'abeilles mellifères.	160
Figure 50 : Dendrogramme produit par la méthode UPGMA (Unweighted Pair-Group) montrant les relations phénétiques de la morphologie de l'aile antérieure en fonction des distances Mahalanobis entre les 12 localités géographiques.....	163
Figure 51 : Mortalité observée des abeilles en % après une exposition orale de 24h par les différentes concentrations à l'imidaclopride.	165
Figure 52 : Droite de régression des probits des moyennes de mortalité corrigée en fonction des logarithmes décimaux des concentrations pour l'essai oral.	165
Figure 53 : Mortalité observée des abeilles en % après une exposition topique de 24h par les différentes concentrations de l'imidaclopride.	167
Figure 54 : Droite de régression des probits des moyennes de mortalité corrigée en fonction des logarithmes décimaux des concentrations pour l'essai topique.	168
Figure 55 : Comparaison des valeurs de DL50 obtenues par les deux modes d'intoxication testés.	169

Figure 56 : Courbe d'étalonnage des protéines.	171
Figure 57 : Taux d'activité de l'AChE extraite des têtes d'abeille de la sous-espèce <i>Apis mellifera intermissa</i> . Le test statistique tukey réalisé avec $p \leq 0,001$	172
Figure 58 : Taux d'activité du biomarqueur GST extrait des intestins moyens des abeilles d' <i>Apis mellifera intermissa</i> . Le test statistique de Tukey à $p \leq 0.001$	175
Figure 59 : Taux d'activité de la catalase extraite des intestins moyens des abeilles d' <i>Apis mellifera intermissa</i> . Le test statistique de Tukey à $p \leq 0.001$	176
Figure 60 : Taux d'activité de la phosphatase alcaline extraite des intestins moyens des abeilles d' <i>Apis mellifera intermissa</i> . Le test statistique du Tukey à $p \leq 0.001$	178

Liste des annexes

Annexe 01 : Fiche d'enquête	232
--	-----

Liste des principales abreviations

- µl** : Microlitre
- 2D** : 2 Dimensions
- AA** : Aile Antérieure
- ABIS** : Africanized Bee Identification System
- AchE** : Acétylcholine estérase
- AD** : Analyse Determinente
- ADNmt** : Acide désoxyribonucléique de la mitochondrie
- AGR** : Activité Génératrice de Revenus
- ALP** : Phosphatase Alcaline
- ANAP** : Association Nationale des Apiculteurs Professionnels « ANAP
- AP** : Aile Postérieure
- APC** : Analyse des Composantes Principales
- ARR** : Agricole et de Rénovation Rurale
- C.E.B** : Comié d'Essais Biologique
- CAT**: Catalase
- CCD**: Colony Collaps Disorder
- CS** : Centroid Size
- DFA** : Discriminant Fonctional Analysis
- DL50** : Dose létale
- DSA**: Direction des Services Agricole
- FABIS**: Fast Africanized Bee Identification System
- FAO**: Food and Agriculture Organisation of the United Nation
- FSAEPEA** : Fonds de Soutien Aux Eleveurs et Petits Exploitants Agricoles
- GST** : Glutathion-S-Transférase
- H.R** : Humidité relative
- I.C.P.B.R**: Internationale Commission of Plant- Bee Relations.
- I.D.P.E** : Institut de Développement des Petits Elevages
- I.T.P.E** : Institut Technique des Petits Elevages
- ITELV** : Institut Technique des Elevages
- LM** : Land Mark
- MADR** : Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural
- MC** : Morphométrie Classique
- MFEP** : Formation et de l'Enseignement Professionnel

MG : Morphométrie Géométrique

ng : Nano-gramme

NRC : National Research Council

O.C.D.E : Office de Coordination et de Développement Economique

O.E.P.P : Organisation Européenne et méditerranéenne pour la Protection des Plante

OECD : Organisation de Coopération et de développement économique

OIE : Office International des Epizootie.

P.N.D.A : Plan National de Développement Agraire

PMA : Pays Moins Avancée

PPDRI : Projets de Proximité de Développement Rural Intégrés

PRCHAT : Programme de Renforcement des Capacités Humaines et de l'Appui

Technique aux producteurs

SAT : Superficie Agricole Totale

TC : Taille Centroide

TPS: Thin Plate Spine

USDAID: United States Department of Agriculture identification

Résumés

RESUME

Le présent travail s'inscrit dans le cadre d'une étude qui porte sur l'analyse de la filière apicole dans l'Ouest Algérien (cas de trois wilayas Tiaret, Relizane et Mostaganem), la variabilité génétique des deux sous espèces autochtones qui se trouve en Algérie *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis* et l'évaluation de l'impact d'un pesticide choisit « Imidaclopride » sur la sous espèce *Apis mellifera intermissa*, sont bien mentionnées

La première partie de l'étude vise à diagnostiquer la situation de l'activité apicole grâce à une **enquête menée auprès de 255 apiculteurs** répartis comme suit : 113 au niveau de la wilaya de Tiaret, 84 dans la wilaya de Relizane et 58 dans Mostaganem. Les résultats enregistrés ont révélé que le nombre d'apiculteurs a augmenté significativement dans les trois régions à partir de l'année 2000, en réponse aux multiples projets de soutiens lancés par l'état. La plupart des apiculteurs possèdent des ruchers de type familiale, dont le nombre ne dépasse pas la cinquantaine. La production du miel demeure faible et n'excède pas les 10 à 15kg/ruche. La varroase est la pathologie la plus dominante dans les cheptels de ces régions, avec un nombre respectif d'apiculteurs de 63, 61 et 55 pour Tiaret, Relizane et Mostaganem qui déclarent la présence de cette maladie au sein de leurs ruchers. L'usage abusif des pesticides notamment les insecticides constituent un problème que pour les apiculteurs de la wilaya de Relizane et Mostaganem. Plusieurs contraintes signalées figurent, dans la liste des apiculteurs enquêtés, dont principalement l'absence de vulgarisation des techniques apicoles, l'absence de financement et les difficultés de commercialisation du produit qui constituent des entraves majeures pour la profession. La deuxième partie du travail examine la variabilité génétique par une nouvelle approche qu'est la **morphométrie géométrique**. Un total de 1286 abeilles a été échantillonné dans 12 wilayas du nord-ouest de l'Algérie. La géométrie de l'aile antérieure a été évaluée à l'aide de 20 points de repère homologues, en appliquant l'analyse de la surimposition de Procrustes. Il y avait une différence significative dans la forme des ailes entre les deux sous-espèces (distance de Mahalanobis = 1,0626 ; $P < 0,001$), alors que la taille de leurs ailes semblait similaire ($P > 0,05$). La procédure de validation croisée correctement classée 68,3% des spécimens dans leurs groupes d'origine.

La partie finale de cette recherche concerne le volet des pesticides. La détermination de la « **DL50** » de l'imidaclopride par deux modes d'intoxications a été réalisés selon la ligne directrice de l'Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes « OEPP ». 4,23 et 3,28 ng/abeille correspondent à la valeur de la « DL50 » enregistrée par l'intoxication orale et l'intoxication topique respectivement. L'étude décrit aussi l'activité de **quatre biomarqueurs : AchE, GST, CAT et ALP**. Différents modèles de réponses des biomarqueurs ont été observés : une augmentation de l'activité de l'AchE et de l'ALP », La GST a enregistré une diminution d'activité, pour les deux modes d'intoxications. La CAT a affiché des variations contrastées entre les deux modes d'intoxication.

Mots clés : Enquête, Ouest Algérien, Géométrie morphométrique, *Apis mellifera intermissa*, *Apis mellifera sahariensis*, Pesticide, DL50, Biomarqueurs.

ABSTRACT

This work is part of a study which focuses on the analysis of the beekeeping sector in western Algeria (case of three states Tiaret, Relizane and Mostaganem), the genetic variability of the two indigenous subspecies which occur found in Algeria *Apis mellifera intermissa* and *Apis mellifera sahariensis* and the evaluation of the impact of a pesticide chooses "Imidacloprid" on the subspecies *Apis mellifera intermissa*, are well mentioned.

The first part of the study aims to diagnose the situation of beekeeping activity through a survey of 255 beekeepers distributed as follows: 113 in the wilaya of Tiaret, 84 in the wilaya of Relizane and 58 in Mostaganem. The results recorded revealed that the number of beekeepers increased significantly in the three regions from the year 2000, in response to multiple support projects launched by the state. Most beekeepers have family-type apiaries, the number of which does not exceed fifty. Honey production remains low and does not exceed 10 to 15kg / hive. Varroasis is the most dominant pathology in the herds of these regions, with a respective number of beekeepers of 63, 61 and 55 for Tiaret, Relizane and Mostaganem who declare the presence of this disease in their apiaries. The excessive use of pesticides, especially insecticides, is a problem only for beekeepers in the wilaya of Relizane and Mostaganem. Several noted constraints appear in the list of beekeepers surveyed, mainly the lack of popularization of beekeeping techniques, the lack of funding and the difficulties in marketing the product which constitute major obstacles for the profession. The second part of the work examines genetic variability using a new approach called geometric morphometry. A total of 1286 bees were sampled in 12 states of northwestern Algeria. The forewing geometry was assessed using 20 homologous landmarks, applying the Procrustes superimposition analysis. There was a significant difference in wing shape between the two subspecies (Mahalanobis distance = 1.0626; $P < 0.001$), while their wing size appeared to be similar ($P > 0.05$). The cross-validation procedure correctly classified 68.3% of the specimens in their original groups.

The final part of this research concerns the pesticides component. The determination of the "LD50" of imidacloprid by two modes of intoxication was carried out according to the guideline of the European and Mediterranean Organization for the Protection of Plants "EPPO". 4.23 and 3.28 ng / bee correspond to the "LD50" value recorded by oral intoxication and topical intoxication respectively.

The study also describes the activity of four biomarkers: AchE, GST, CAT and ALP. Different patterns of biomarker responses were observed: an increase in the activity of AchE and ALP ", GST recorded a decrease in activity, for both modes of poisoning. CAT showed contrasting variations between the two intoxication modes.

Keywords: Survey, West Algeria, Morphometric geometry, *Apis mellifera intermissa*, *Apis mellifera sahariensis*, Pesticide, LD50, Biomarkers.

ملخص

هذا العمل جزء من دراسة تركز على تحليل قطاع تربية النحل في غرب الجزائر (حالة ثلاث ولايات تيارت، غليزان و مستغانم) ، التباين الجيني للنوعين المحليين الأصليين المتواجدين في الجزائر *Apis mellifera intermissa* و *Apis mellifera sahariensis* وتقييم تأثير المبيد Imidaclopride تم تفصيلها جيداً.

ويهدف الجزء الأول من الدراسة إلى تشخيص حالة نشاط تربية النحل من خلال دراسة استقصائية شملت 255 من مربى النحل موزعين على النحو التالي: 113 في ولاية تيارت ، و 84 في ولاية غليزان ، و 58 في مستغانم . كشفت النتائج المسجلة أن عدد مربى النحل ازداد زيادة كبيرة في المناطق الثلاثة اعتباراً من عام 2000 ، و ذلك استجابة لمشاريع دعم متعددة أطلقتها الدولة. معظم مربى النحل يملكون مناحل ذات طابع عائلي مع عدد خلايا نحل لا يتجاوز الخمسين خلية، ولا يزال إنتاج العسل منخفضاً ولا يتجاوز 10 إلى 15 كيلو غرام/خلية.

يعتبر Varroase من الأمراض الأكثر هيمنة في قطعان هذه المناطق حيث 63 و 61 و 55 من مربى النحل في كل من تيارت، غليزان و مستغانم يعلنون وجود هذا المرض في منحلهم. الاستخدام المفرط لمبيدات ، ولا سيما مبيدات الحشرات ، لا يمثل مشكلة إلا بالنسبة لمربى النحل في ولايتي غليزان و مستغانم. تظهر الدراسة وجود عدة عقبات و قيود ملحوظة في قائمة مربى النحل الذين شملتهم الدراسة الاستقصائية ، من بينهم عدم تعميم تقنيات تربية النحل ، والافتقار إلى التمويل ، والصعوبات في تسويق المنتج التي تشكل عقبات رئيسية أمام المهنة.

ويبحث الجزء الثاني من العمل التباين الجيني باستخدام نهج جديد يسمى قياس المورفولوجيا الهندسية. تم أخذ 1286 عينة من النحل من 12 ولاية في شمال غرب الجزائر. وقد تم تقييم الهندسة السابقة للجنة الامامية للنحل باستخدام 20 نقطة بارزة و متجانسة. تطبيق تحليل Procrustes superimposition كان هناك اختلاف كبير في شكل الجناح بين النوعين الفرعيين ($Mahalanobis\ distance = 1.0626; P < 0.001$) ، في حين بدا حجم جناحيها متشابهاً ($P > 0.05$) وقد صنف إجراء Cross-validation بشكل صحيح 68.3% من العينات في مجموعاتها الأصلية .

ويتعلق الجزء الأخير من هذا البحث بمكون المبيدات الحشرية وقد تم تحديد "LD50" للمبيد Imidaclopride بواسطة طريقتين من التسمم وفقاً للمبادئ التوجيهية للمنظمة الأوروبية ومنطقة البحر الأبيض المتوسط لحماية النباتات. النتيجة 4.23 و 3.28 نانو غرام/نحلة تتطابق مع القيمة "LD50" المسجلة بالتسمم الفموي والتسمم المواضيعي على التوالي. كما تصف الدراسة نشاط أربع المؤشرات الحيوية هي: AchE ، GST ، CAT و ALP ولوحظت أنماط مختلفة من استجابات لهذه المؤشرات: زيادة نشاط AchE و ALP ، "سجل GST انخفاضاً في النشاط ، لكلا الطريقتين من التسمم. وأظهرت CAT تغيرات متباينة بين طريقتي التسمم.

كلمات مفتاحية: إستجواب ، غرب الجزائر ، الهندسة المورفومترية ، *Apis mellifera intermissa* ، *Apis mellifera sahariensis* ، مبيد الحشرات ، LD50 ، المؤشرات الحيوية

Introduction

INTRODUCTION

L'apiculture est une branche de l'agriculture, qui signifie élevage des abeilles, elle a été pratiquée depuis l'antiquité et encore largement répandue dans le monde. Pratiquée sur tous les continents, cette activité diffère selon le climat, la flore, la variété des abeilles et le niveau de développement (Tamali et al., 2019).

L'organisation de l'apiculture comme une filière lui a permis de disposer d'une part, des perspectives de développement économique liées à la demande en produits de la ruche et d'autre part, elle possède un effet positif sur les autres filières agricoles par le phénomène de pollinisation assuré par les abeilles. De plus, le domaine apicole contribue d'une manière non négligeable à la dynamisation économique et sociale de l'activité rurale (Cancino, 2009). Deux piliers majeurs gèrent l'activité apicole, les abeilles et les apiculteurs désignés par un statut particulier, car ce sont des paysans sans terre. Cette position offre des points de forces à l'activité telle que la mobilité et l'adaptation facile mais la dépendance sur les ressources florales et les conditions climatiques la rend fragile.

L'Algérie se situe dans le nord de l'Afrique avec une superficie de 2,4 millions Km², c'est le pays le plus grand du continent africain. Ce pays comprend plus de 4000 espèces de plantes distribuées sur les trois régions géographiques bien distinctes : le Tell dans le nord, la steppe et le Sahara dans le sud (Tela botanica, 2018). L'étendue et la variabilité de ces ressources mellifères permet d'avoir une gamme assez variée de miels Algériens (Oudjet, 2012).

Depuis quelques années, l'apiculture et les abeilles dans différentes parties du monde souffrent de multiples difficultés, qui varient entre les problématiques liées aux agents pathogènes, l'anthropisation des milieux, et les modifications structurelles des paysages, des actes apicoles stressantes, la pollution liée à l'usage abusif des pesticides, surtout la classe des insecticides. En générale, l'apiculture n'a jamais autant semblé menacée à l'échelle mondiale comme récemment (Aymé, 2014)

L'Algérie, avec ses différents micro-climats, sa géographie et la diversité de ses cultures devrait être l'un des pays apicoles majeurs, dans le monde en termes de production particulièrement le miel. Ce dernier est tellement apprécié à l'étranger qu'il peut assurer une source de devise pour le pays, sa demande locale s'accroît de jour en jour et la production n'arrive pas à couvrir les besoins de plus en plus croissants.

La structuration de la filière demeure faible, et exposée aux menaces malgré les fortes potentialités en ressources naturelles et les investissements consentis dans ce domaine, représentés essentiellement par les projets de soutiens appuyés, par l'état dans le

cadre de la réhabilitation du secteur. Les pratiques apicoles plus au moins modernes, affectent le rendement en miel qui ne dépasse pas les 08 Kg /ruche, ce qui est faible par rapport aux pays voisins. La production du miel est jugée d'une faiblesse importante (Berkani, 2007 ; Ghalmi, 2017).

Les autres produits de la ruche tels que le pollen, la cire, la gelée royale, le venin ou la propolis, offrent aussi des propriétés nutritionnelles et thérapeutiques de premier ordre, malgré que les cultures de leur production ainsi que leur utilisation restent mal connues par les apiculteurs et les consommateurs algériens. Le ratio de consommation par habitant par an est de 125 grammes, loin de la France établi à 500 grammes et de l'Allemagne qui est de l'ordre de 1.5 Kg (Behidj et al., 2019). Enfin, il faut signaler que la pollinisation qu'assurent les abeilles permet souvent d'améliorer le rendement des cultures principalement entomophiles et joue un rôle important pour l'ensemble de la flore.

Les abeilles du genre *Apis* sont à répartition mondiale sous des différents climats. L'aire de répartition de l'espèce *Apis mellifera* s'étend jusqu'à l'Afrique sub-saharienne, le nord de l'Europe et l'Asie centrale. Ces écotypes ont une meilleure adaptation à leurs biotopes, et d'une manière assez remarquable, car elles affrontent les différentes conditions écologiques, représentées principalement, par les deux aspects indispensables de l'environnement le climat et la flore (Le Conte et Navajas, 2008)

Notre pays dispose de deux principales races d'abeilles. *Apis mellifera intermissa* et *A. m. sahariensis*. *A. m. intermissa* (abeilles telliennes) Appelé Abeille tellienne par rapport à l'Atlas tellien de Montagnes et nommé par certains " l'abeille phénicienne" par rapport à aux anciens Phéniciens qui se sont installés sur les côtes d'Afrique du Nord, elle se propage dans la région Nord de L'Algérie, Maroc et Tunisie. C'est une abeille de taille moyenne en comparaison aux autres races d'abeilles (Tamali, 2019). Ces colonies produisent de nombreux essaims au cours de l'année, les abeilles sont de couleur noires, agressives et de forts caractères défensifs. En outre, elles donnent beaucoup de propolis (Fayet, 2013) et elle est caractérisé par une bonne production de miel (Yahi, 2017). *A. m. intermissa* est très sensible aux maladies du couvain mais résiste bien à celle des adultes (Adam, 1980).

A. m. sahariensis (abeille saharienne) est la race d'abeilles la plus menacée en raison de son faible intérêt pour l'économie Algérienne. Son activité de pollinisation n'est pas négligeable et son intérêt scientifique réside principalement dans sa capacité à s'adapter au climat désertique du Sahara (Tamali, 2019). Cette abeille se répand dans les oasis du sud du Maroc et l'ouest de l'Algérie. Elle peut survivre à l'extrême condition

météorologique, avec des températures de -8° à 50° . Les colonies ne sont pas très peuplées. *A. m. sahariensis* est de taille inférieure à *A. m. intermissa*, sa couleur est jaune et sa production de miel est bonne. De plus, la colonie produit peu de propolis, et elle n'est pas très défensive bien qu'elle est un peu agressive (Fayet, 2013).

Afin d'étudier la diversité génétique des abeilles comme mesure, contribuant à leur protection et à leur intégration dans les programmes de conservation, différentes méthodes ont été développées pour identifier et discriminer entre les populations, les races, et même les espèces et sous-espèces d'abeilles. Il existe des méthodes moléculaires qui s'intéressent à l'ADN mitochondrial et des microsatellites, des méthodes biochimiques telles que les allo-enzymes, ou l'analyse d'hydrocarbure cuticulaire ou d'autres techniques qui se basent sur l'étude des phéromones. Malheureusement, toutes ces techniques exigent les équipements de laboratoire et des réactifs coûteux (Francoy et al., 2008).

La première et la plus largement acceptée des descriptions de sous-espèces, était basée sur la morphométrie. La morphométrie classique « MC » utilise un ensemble de caractéristiques morphologiques, y compris la taille des diverses parties du corps, les distances, les rapports et les angles des ailes, les pigmentations et la pilosité (Ruttner, 1988). Cette technique possède des inconvénients tels que le nombre important de caractères mesurés (environ de 40 caractères) et le temps long dédié pour réaliser ces mesures. Pour cela, on a tenté à simplifier la morphométrie traditionnelle par la réduction du nombre de caractères en utilisant uniquement la nervure antérieure (Francoy et al., 2008; Tofilski, 2008) ou en se basant sur la forme d'une seule cellule alaire (Francoy et al., 2006).

La morphométrie géométrique (MG) est une nouvelle méthode alternative qui utilise l'analyse de la forme plutôt que les distances et les angles (Bookstein, 1991; Tatsuta et al., 2018). Depuis sa première mise au point, cette technique a démontré son efficacité par rapport à la « MC » non seulement par ses faibles coûts, sa haute praticabilité, mais aussi en étant une technique moins chronophage, de même qu'ayant un pouvoir statistique descriptif et des outils statistiques robustes (Charistos et al., 2014; Bustamante et al., 2020).

La MG utilise l'aile comme une base de travail parce que les ailes sont des structures solides, articulées rigidement, même les intersections de la nervure des ailes fournit de nombreux repères bien définis et qui conviennent pour la caractérisation et l'identification des populations ou des lignées (Pavlinov, 2001; Tofilski, 2008; Miguel et al., 2010; Sendaydiego et al., 2013).

Cependant l'analyse de l'abeille mellifère en Algérie n'a pas été faite d'une manière exhaustive ni d'un point de vue morphométrique, ni de point de vue génétique, il y a peu de travaux de recherche dédiés à la la MG sur les abeilles Algériennes (Barour et al., 2011; Barour et al., 2016).

Il faut signaler aussi qu'au cours de ces dernières années, le monde a été le témoin de la survenance du phénomène appelé « Colony Collapse Disorder » (CCD). Ce dernier se traduit par des affaiblissements du cheptel apicole, des mortalités hivernales de colonies d'abeilles supérieures à la normale ainsi que des pertes de population en cours d'année. Ces pertes sont estimées à 40 % en moyenne en Autriche, en Belgique et en Suisse (Haubruge et al., 2006).

L'inobservation des signes précurseurs, et la mauvaise identification des symptômes caractéristiques de ce phénomène engendrent un désarroi et une incompréhension des apiculteurs face à ces cas de plus en plus récurrents, en effet de multiples études ont été menées pour identifier d'une manière exacte l'agent causale.

Parmi les hypothèses suggérées par les scientifiques ; la pollution par les pesticides des habitats et des écosystèmes dont l'abeille fréquente, l'utilisation non contrôlée de ces molécules chimiques dans les zones agricoles affecte sérieusement la productivité des abeilles et le rendement des colonies. Le problème s'aggrave par l'absence de coordination entre les agriculteurs et les apiculteurs au moment de l'utilisation des pesticides. Chaque année, les apiculteurs signalent des mortalités massives de colonies à cause de ce fléau.

Ecologiquement parlant, l'abeille joue le rôle d'un excellent bio-indicateur des écosystèmes par sa sensibilité remarquable des polluants de sources diverses. A cause de son comportement social complexe. L'abeille constitue un excellent modèle pour l'étude des différents effets des pesticides sur l'apprentissage, de mémorisation, d'orientation lors les déplacements pour le butinage.

L'harmonisation des législations est actuellement en vigueur. Plusieurs organismes tels que l'office de coordination et de développement économique « O.C.D.E » en liaison avec les différents ministères de l'environnement en Europe, ainsi que l'Organisation Européenne et méditerranéenne pour la Protection des Plante « O.E.P.P » et la commission Internationale des relations-plante-abeille « I.C.P.B.R » veillent à protéger les abeilles vis-à-vis des produits phytosanitaires.

Le présent manuscrit essaye de répondre à plusieurs questions qui se posent à l'apiculture Algérienne à différentes échelles et qui servent à leur caractérisation. En Algérie, rares sont les études et les enquêtes sur la situation de l'apiculture pour les zones

de la région de l'Ouest d'Algérie. Par des questionnements divers voir, Quelle est le degré de structuration de la filière apicole dans l'Ouest algérien ? Quelle est la situation exacte de la production, la santé du cheptel apicole, les contraintes qui s'opposent aux apiculteurs ? D'autres questions sur la variabilité génétique se posent ; quelle est l'influence des importations des reines dans les années 1970 sur le degré évolutif de nos races autochtones ? Quelle est l'influence de la transhumance sur la répartition géographique des deux sous espèces ? Quelle est l'impact des pesticides sur l'abeille *Apis mellifera intermissa* ? c'est à travers ce constat et ses contraintes que traverse l'apiculture algérienne que le manuscrit tente de répondre.

En exposant dans cette partie introductive le sujet de notre thèse, qui est scindé en deux parties.

- **Une synthèse bibliographique** qui regroupe trois chapitres qui détaillent et aident à la compréhension des outils utilisés pour l'approche expérimentale. Les trois chapitres portent sur la : Situation de l'apiculture en Algérie, importance de la morphométrie géométrique et les impacts des pesticides sur les abeilles.
- **Une partie expérimentale en relation avec la synthèse bibliographique**, qui comprend trois volets dont :

Le premier aborde la description et le diagnostic, de la situation de l'apiculture dans l'Ouest Algérien, grâce à des enquêtes de terrain, ciblant plusieurs paramètres, tels que l'apiculteur, la production de miel, les pratiques apicoles, la santé et l'environnement, ainsi que les contraintes et les difficultés soulevées par les apiculteurs. Signalant par ailleurs qu'aucune étude caractérisant la filière apicole n'a été faite dans cette zone.

Le deuxième volet concerne l'étude de la variabilité génétique, par la technique de la MG sur les abeilles de la même région et consacre le degré de dilution des deux sous-espèces *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis* et indique l'incrimination de certains facteurs de risque tels que les importations illégales de reines étrangères et la transhumance non contrôlée.

Enfin, un troisième volet traite l'évaluation de la toxicité d'un insecticide « Imidaclopride » par la détermination de la « DL50 » par deux modes d'intoxication orale et topique d'une part et à l'examen de ses effets sur certains biomarqueurs tels que l'AchE, GST, PAL et la Catalase. Le document s'achève par une conclusion générale et des recommandations pour la filière Apicole dans la zone d'étude.

Partie

Bibliographique

Chapitre I

Situation de l'apiculture en Algérie

I- INTRODUCTION

L'apiculture est l'établissement et la maintenance des colonies d'abeilles sociales de toute espèce, une activité à partir de laquelle l'apiculteur obtient une récolte ou une récompense. Cette récompense est habituellement le miel, mais il peut s'agir d'un autre produit d'abeille, ou d'abeilles elles-mêmes (ex., reines ou colonies pour la pollinisation). Dans l'apiculture, chaque colonie se trouve habituellement dans une ruche, mais une certaine apiculture se fait avec des abeilles mellifères qui construisent leurs nids à l'air libre (Grane, 2007).

A l'instar des autres spéculations animales, l'apiculture est une branche de l'agriculture qui a réussi à être reconnue comme une activité importante dans le développement du domaine de l'agriculture, grâce à ses diverses productions à moindre couts qu'elle fournit, et ces revenus substantiels qu'elle procure (Catays, 2016). Le maximum de rendement avec le minimum de dépenses est le but visé par cette industrie (Warré, 2007).

Le service crucial et la valeur économique de la majorité des pollinisateurs API et non-API ont été examinés et largement débattu (Aebi et al., 2012; Vanbergen et al., 2013). Les abeilles (*Apis Mellifera*), à la fois sauvage et domestique, sont responsables de la pollinisation de nombreuses cultures et plantes, contribuant non seulement à la sécurité alimentaire, mais également à l'économie (Klein et al., 2007; Allsopp et al., 2008; VanEngelsdorp et Meixner, 2010). Le déclin du nombre d'abeille est alarmant compte tenu de leur rôle important dans les services écosystémiques (Neumann et Carreck, 2010; Vanbergen et al, 2013). Les préoccupations concernant ce déclin sont justifiées, à la lumière de la demande croissante de pollinisation des cultures, et de la pression accrue pour une offre suffisante de colonies d'abeilles (Aizen et Harder, 2009; Neumann et Careck, 2010).

L'Algérie est le plus grand pays d'Afrique, avec 2.381.741 km², de conditions climatiques favorables, et une végétation dense propice à son développement (Ouakli et al., 2019) devrait occuper une place parmi les plus grands pays apicoles du monde. Cependant, malgré l'énorme potentiel des ressources naturelles et la réalisation d'énormes investissements dans ce domaine, la faiblesse de l'industrie apicole est toujours considérée comme importante (Berkani, 2007; Ghalmi, 2017). Dans la situation économique actuelle, l'amélioration continue de la productivité fait l'objet d'une recherche continue, et la demande d'un développement rapide de la production apicole est incontestable et fortement recommandée.

Dans ce chapitre, nous aborderons le statut de la filière apicole Algérienne au regard de son importance, de sa production et des principales contraintes subies par ce secteur.

II- EVOLUTION DE L'APICULTURE EN ALGERIE

En Algérie, nos ancêtres ont maintenu cette activité depuis la nuit des temps, le miel est très prisé par le consommateur Algérien et le pays offre un potentiel énorme pour constituer un vrai vecteur de développement économique de la population locale, réalisant ainsi l'autosuffisance en miel.

1- Historique de l'apiculture en Algérie

Selon [Benhamza, \(1979\)](#), l'histoire de l'apiculture algérienne a traversé plusieurs étapes importantes qui peuvent être divisées en deux périodes essentielles :

1.1- Pendant la colonisation française

L'apiculture traditionnelle était importante, mais l'apiculture moderne était largement aux mains des colons, sans transfert de connaissances aux peuples autochtones. [Skender, \(1972\)](#) cite les données statistiques de 1891 qui signalent la présence de 27 885 apiculteurs dont 260861 Algériens possédant ensemble 231 329 ruches traditionnelles. Les 1000 apiculteurs français ont opéré environ 10000 ruches avec des cadres. Avant la guerre de libération nationale, les autorités françaises estimaient à 150.000 ruches traditionnelles en Algérie, mais d'autres informations estiment à 300.000 ruches traditionnelles et 20.000 ruches à encadrer.

En 1954 survint la guerre de libération nationale qui contribua à la destruction d'une grande partie du cheptel dont la situation fût critique à l'indépendance ([Berkani,1980 et 2007](#)). Pendant la guerre de libération, une grande partie des ruches traditionnelles a été détruite par l'armée française qui considérait que chaque ruche pouvait servir de cachette pour les armes.

1.2- Après l'indépendance

Au cours de cette période, l'état s'est penché sur le problème du secteur apicole en mettant en œuvre des programmes de développement, cela s'est concentré sur la croissance du cheptel, la transition vers l'importation d'abeilles étrangères, et aussi la création de coopératives apicoles, Avec la conception et construction d'une ruche moderne appelée Algérienne qui ressemble à la Langstroth. L'adaptation à la race algérienne d'abeilles *Apis mellifeca intermissa* et *Apis mellifeca sahariensis* considérées comme propolines a été la particularité de cette ruche ([Benhamza, 1979 ; Fronty, 1980 ; Behidj, 2011](#)).

Le nombre important d'abondans, les vigoureuses préjudices de la guerre de libération et les destructions des ruches sont des pertes qui ont rendu la situation critique

après l'indépendance (Belhoues, 1977 ; MAP, 1987). Par conséquent la structuration et le relancement de l'appareil productif apicole était une priorité, voire une urgence. Dans le but de régénérer ce secteur, de ré-exploiter son potentiel mellifère, et de reconstituer le cheptel apicole perdu. L'Algérie prévoyait sous le fouet du premier plan quadriennal (1970 - 1973) un programme spécial initié par l'état et consistait à :

- Distribuer des ruches peuplées aux agriculteurs
- Création de nombreuses coopératives offrant de multiples services tels que la formation technique aux producteurs et la fabrication et fourniture de matériel apicole moderne

Ce n'est qu'en 1972 qu'une véritable mobilisation des moyens financiers, humains et matériels a été avantageusement ressentis. C'est ainsi que les coopératives apicoles et leurs unités ont démarrées dans plusieurs Wilayas du pays, assistées par l'appui technique de l'Institut de Développement des Petits Elevages (I.D.P.E) de Baba Ali, qui deviendra en 1989 l'Institut Technique des Petits Elevages (I.T.P.E) (Behidj, 2011). Cependant, cette tutelle technique et pour des différentes raisons n'a pas réussi à exercer d'une façon objective ses tâches de soutien prévues, et d'animation du programme de développement souligné. (MAP, 1987 et Khaldi, 2004).

Elle a enregistré de sérieuses difficultés à assurer convenablement cette mission pour deux raisons essentielles :

- Manque des moyens humains et matériels
- L'insuffisance de renforcement apporté par les directions de l'agriculture des wilayas, tant aux coopératives qu'à l'ITPE (Ghalem-Berkani, 2012).

Malgré les efforts déployés par l'état dans ce capital, les résultats constatés restaient toujours en deçà des perspectives. Allant d'une année à un autre, les mêmes bilans de production apicole ont été enregistrés à savoir les rendements faibles en miel et en essaims, la croissance faible du cheptel et les mortalités importantes des abeilles (Ghalem-Berkani, 2012).

Avec le Plan National de Développement Agricole (P.N.D.A.) que l'Etat a mis en place en 2000, l'apiculture en Algérie a connu un certain développement dans lequel l'évolution de l'apiculture ne cesse d'augmenter et sa véritable réhabilitation été vraiment marquée (Hannachi et Zouad, 2006). Au cours de la période 2000-2008, le secteur apicole a connu une amélioration majeure grâce à ce plan, par exemple, le cheptel apicole est passé de 360.000 en 2000 à près d'un million de colonies en 2008. Ainsi, la production de miel a triplé ; elle est passée de 10.500 quintaux en 2000 à 33.000 quintaux en 2008

(Benhamouda, 2016). En outre, un très grand nombre de ruches traditionnelles ont été remplacées par des ruches modernes ; 95.000 était le nombre de ruches traditionnelles en 2000 et il est passé à 25.000 en 2008 (Benhamouda, 2016).

La stratégie agricole et de rénovation rurale (ARR) appliquée dans le pays, a également contribué au développement du secteur apicole. Le nombre de colonies a augmenté de plus de 30 % pour atteindre 1,3 million entre 2008 et 2014. Au cours de la même période, la production de miel a été estimée à environ 6000 tonnes, et une diversification des produits de l'abeille (pollen, gelée royale, propolis, cire d'abeille) a été enregistrée.

En outre, dans le cadre du programme national de renforcement des capacités humaines et d'assistance technique (HCBTA), plus de 40 800 formations à l'apiculture, dispensées par différentes institutions, ont été lancées. Cela s'est traduit par la présence de plus de 40 000 apiculteurs répartis dans 43 wilayas sur 48 (présents dans différentes zones géo-climatiques et agricoles : forêts de montagne, steppe et zones sahariennes). (Benhamouda, 2016)

La Stratégie FILAHA 2015-2019, un autre arsenal technico-administratif porté par l'état et qui va permettre une véritable relance de l'apiculture algérienne par ces objectifs visés (Benhamouda, 2016), voire

- Une production apicole à 10.000 tonnes de miel
- La valorisation des produits apicoles par la caractérisation des miels algériens notamment la labellisation.
- La disponibilité des produits apicoles sur le marché national à des prix accessibles.
- La promotion à l'exportation ;
- Le Renforcement de la dynamique des mouvements associatifs et groupements professionnels.
- Mise en place d'une réglementation régissant l'activité apicole et renforçant la protection de l'abeille des maladies et des produits phytosanitaires.

2- Situation actuelle de l'apiculture en Algérie

L'Algérie comprend 4000 espèces de plantes, réparties à travers trois régions géographiques : le tell au nord, la steppe et le Sahara. Ce territoire s'étend sur 1600 km de la côte et comprend vers l'intérieur de nombreuses plaines et les différentes montagnes de l'atlas tellien. C'est une région sous l'influence du climat méditerranéen, présentant la flore la plus diversifiée du pays dont 10% sont endémiques. Citant à titre d'exemple : l'espèce *Erysimum cheiri* de la famille des Brassicacées et *Hypochaeris saldensis* de la famille des

Astéracées, deux endémiques du parc national de Gouraya dans la région de Bejaia (Tela botanica, 2018).

Le cheptel apicole s'étend sur 36 wilayas (soit les 3/4 des wilayas du pays) (Behidj, 2011). L'apiculture est pratiquée principalement dans le nord où la flore mellifère fournit une miellée pendant presque toute l'année (Hussein, 2001). Neuf des treize wilayas sont incontestablement très riches en potentialités apicoles ; ce sont Alger, Oran, Mostaganem, Chlef, Constantine, Annaba, Tizi-Ouzou, Tlemcen et Sétif ; l'agrumiculture représente la composante majeure de la flore mellifère cultivée dans ces wilayas (Yacine et Zaidi, 2018).

2.1- Production de miel

Comme toute production agricole, la production de miel est fluctuante, et varie d'une année à une autre en termes de quantité et même en qualité. Elle est dépendante des facteurs climatiques en particulier, la pluviométrie qui conditionne la période de floraison et sa durée, le nombre des colonies mises à la production et des modes de conduite d'élevage.

Selon les données fournies par le FAO en 2020, la production du miel en Algérie est en augmentation d'année en année (Fig. 01, Fig. 02). Elle a connu son maximum en 2018 avec 7,32 tonnes. Actuellement, la production de miel du pays a presque doublé au cours des dix dernières années (+85%), une production de 6,35 tonnes / an a été enregistrée pour l'année 2019, alors que la consommation par habitant n'atteint pas 176 grammes / an.

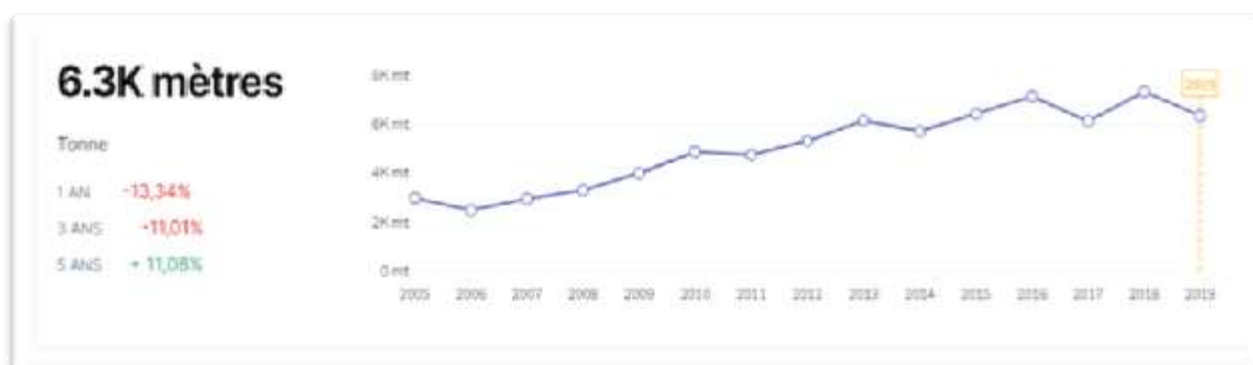


Figure 01 : Evolution de la production de miel selon (FAO, 2020).

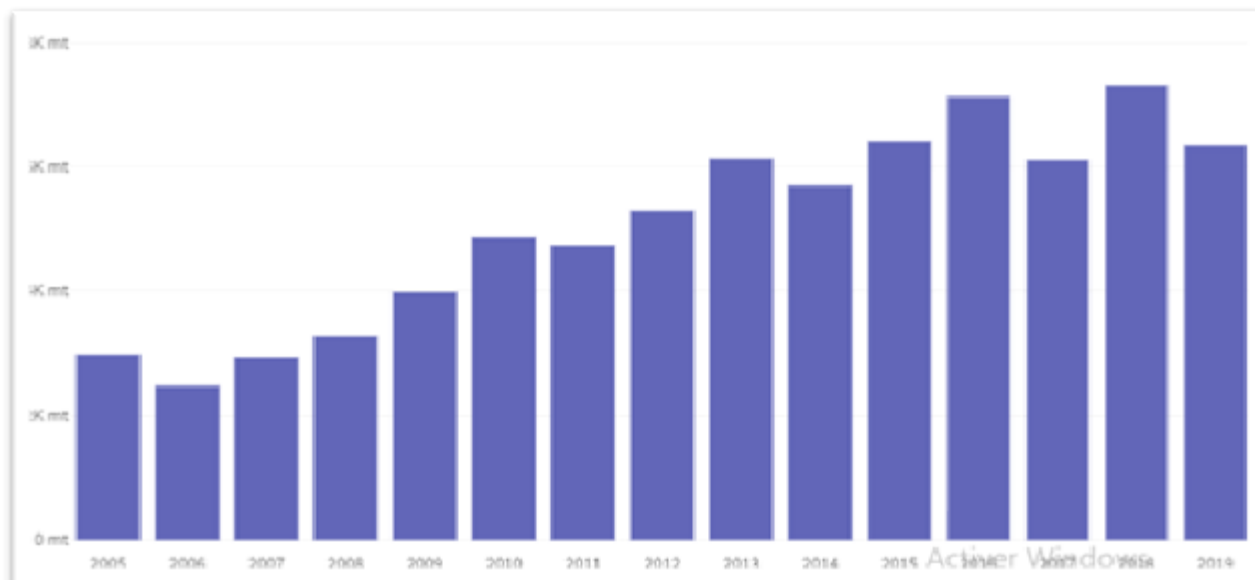


Figure 02 : Tendence de la production de miel en Algérie de 2005 à 2019 (FAO, 2020)

La production en miel ne cesse d'augmenter, mais restes-en deca du potentiel mellifère que dispose le pays (Tab.01).

Tableau 01 : Evolution de la production nationale et de l'importation du miel entre 2013 à 2019 (FAO, 2020). (M : signifie million)

L'année	Production (tonnes)	Importation (tonnes)
2013	6,15	1,48 M
2014	5,71	85,16
2015	6,43	74,951
2016	7,13	1,16 M
2017	6,12	55,285
2018	7,32	20,683
2019	6,35	59,279

L'Algérie participe à l'importation mondiale du miel par 0.09%. Ce pourcentage est l'équivalent d'un volume d'importation de 386.03 tonnes pour l'année 2020. Les importations de miel sont assurées par le secteur privé, afin de couvrir les besoins locaux (Koumad, 2003). Les principaux fournisseurs sont : l'Espagne et l'Inde (FAO, 2021). Le

volume d'importation est en diminution irrégulière depuis l'année 2013 (**Fig. 03**), cette diminution s'explique par les programmes de soutien lancés par l'état et il est accompagné par une réduction de la facture d'importation du 6,73 M \$ en 2013 à 1,69M \$ en 2020 (**Fig. 04**).

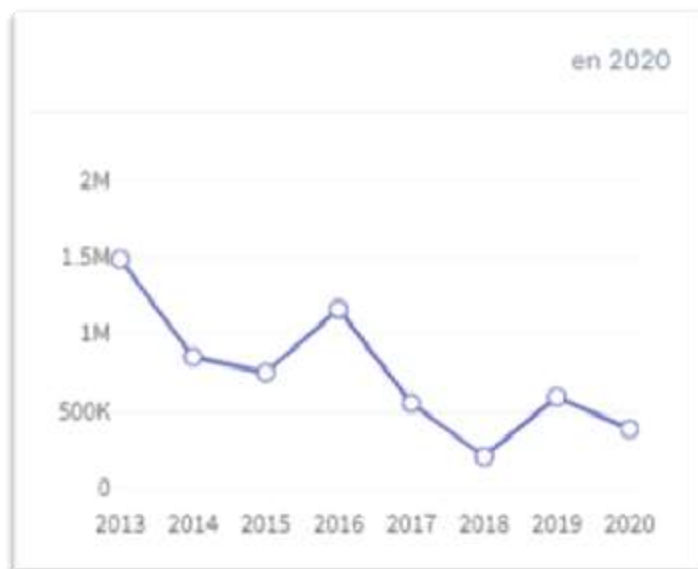


Figure 03 : Evolution du volume d'importation de l'Algérie en miel entre 2013 et 2019 (FAO, 2020)

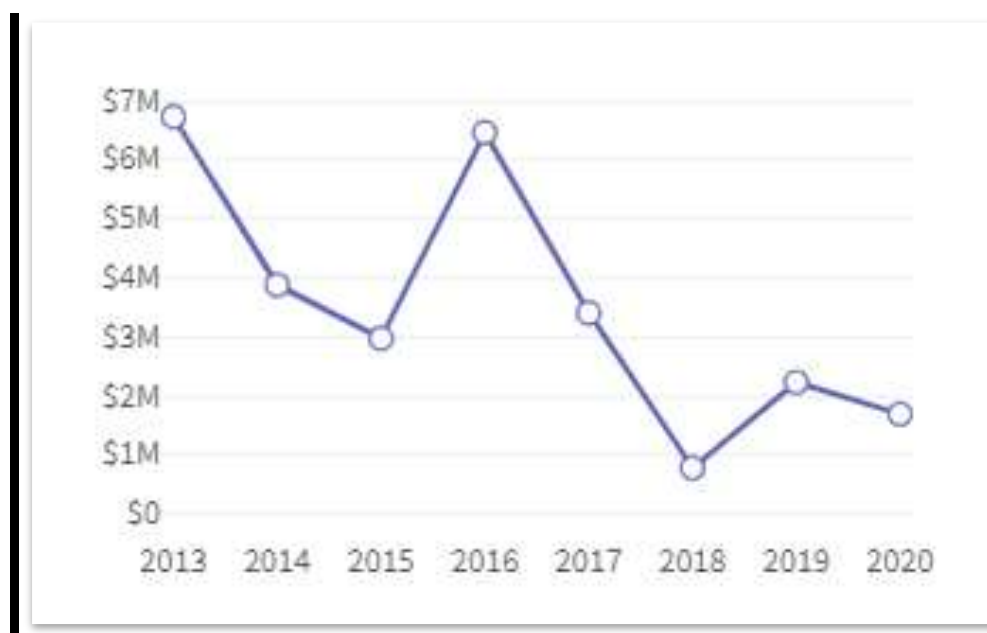


Figure 04 : Evolution de valeur en dollars de l'importation de miel en Algérie (FAO, 2020)

En plus du miel, il existe aussi d'autres produits apicoles tels que la cire, le pollen, la propolis et la gelée royale, de sorte que leur production est très légale, car de nombreux

apiculteurs ne les produisent pas, ou les fournissent en petites quantités, et les utilisent pour leurs propres besoins. L'Algérie importe également de la cire, du bois de ruche, des produits vétérinaires spécifiques, et du matériel biologique (reines, essaims). Toutes les matières premières (importées ou fournies par les apiculteurs) sont envoyées aux coopératives qui les transforment en produits finaux pour les producteurs (cire gaufrée, ruches, etc.) (Tamali, 2019).

2.2- Production d'essaims et évolution du cheptel apicole :

L'accroissement du cheptel apicole se fait chaque mois de mars de l'année. Cette opération se réalise essentiellement par l'essaimage qui sert à la multiplication des effectifs. De l'année 2000 à l'année 2015, le cheptel apicole a enregistré un accroissement régulier important (Fig. 05). Le total des colonies est passé de 360000 à 1,3 millions de colonies en 2015 ce qui constitue un véritable saut pour le cheptel national (Benhamouda, 2016).

Cette évolution positive a été réalisée grâce à :

- l'intensification du secteur par 227.000 colonies avec matériel d'exploitation
- Distribution de 8000 unités d'élevage dans le cadre du projet PPDR1
- l'octroi de 79.000 colonies sur (FSAEPEA)
- Des dispositifs de soutien attractifs
- Expansion de l'apiculture moderne

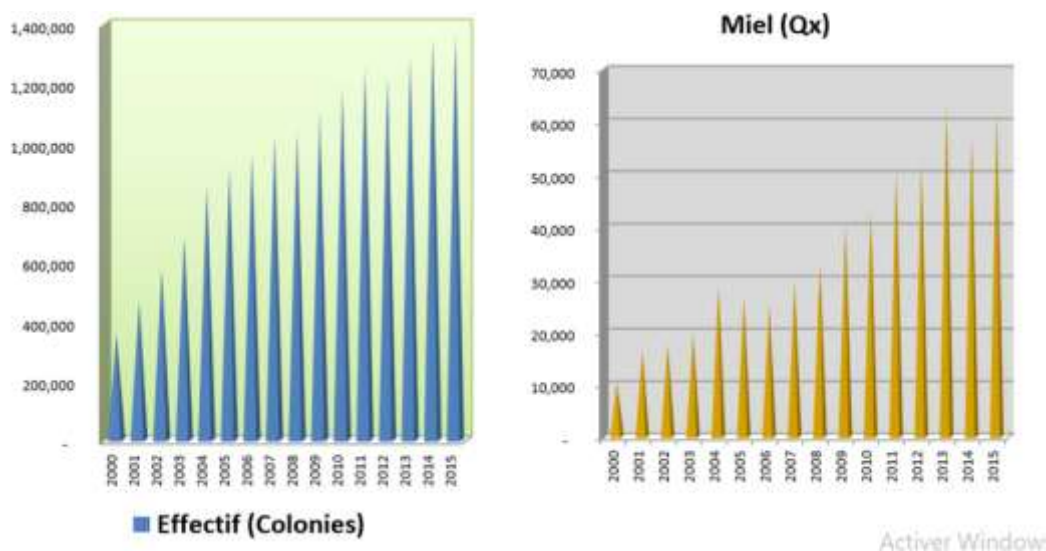


Figure 05 : Accroissement du cheptel apicole en Algérie (MADR, 2016)

La majorité du cheptel actuel est détenu par le secteur privé dont le nombre d'apiculteurs a atteint les 40000 en 2008. Langstroth est le type de ruche le plus détenu (90%) (Anonyme, 2008).

2.3- Facteurs de variation de la production apicole

On peut les catégoriser en plusieurs facteurs : les facteurs climatiques, humains, liés au cheptel, génétiques, alimentaires et sanitaires.

2.3.1- Facteurs climatiques

Un facteur primordial car l'adaptation de l'apiculteur est conditionné par son environnement. Cette adaptation détermine la gestion du rucher et se manifeste par le choix de son emplacement, le choix du matériel et certaines pratiques telles que la transhumance (cas des colonies fortes,)

2.3.2- Facteurs humains

Afin de surveiller son cheptel, le développer et le ramener à un bon niveau de production, un certain nombre d'interventions doivent être appliqué par l'apiculteur dans le cadre de ce qu'on l'appelle la conduite des colonies. Les techniques d'élevage sont d'une importance principale (Jeanne, 1997), et la réussite économique de l'élevage est un challenge pour la conscience de l'apiculteur (Weiss, 1985)

2.3.3- Facteurs liés au cheptel

La valeur d'une ruche est en relation avec la valeur de sa reine qui dépend sur ce qu'elle peut transmettre à sa descendance comme caractères. Sa fécondité est en relation non seulement à son hérédité mais aussi aux conditions dont elle est élevée. L'élevage des reines est une opération minutieuse qui nécessite un planning rigoureux (Koumad, 2003).

2.3.4- Facteurs génétiques

En Algérie, l'abeille mellifère est la race indigène présente, connue par sa prolificité modérée, son agressivité et son caractère d'être essaimeuse. De ce constat, les procédés de sélection doivent être installés pour améliorer le rendement des exploitations. La consanguinité résultante des accouplements, entre les individus étroitement apparentés est à l'origine de la baisse de viabilité de couvain.

2.3.5- Facteurs alimentaires et sanitaires

L'apiculture est fondée principalement sur la présence de colonies fortes, saines et indemnes de maladies. Une colonie forte tolère mieux le stress qu'une colonie faible (Schweitzer, 2002). Le bon équilibre alimentaire assuré par l'environnement est à l'origine d'une flore intestinale équilibrée qui s'opposera au développement de la maladie. La disposition d'acides gras et de protéines par la colonie permet la production d'une gelée royale de bonne qualité et permettra à la reine, l'ouvrière et le mâle d'avoir un bon état physiologique. Le corps adipeux bien constitué de l'abeille permet le passage de la période hivernale en bonnes conditions (Koumad, 2003).

III- IMPORTANCE DE L'APICULTURE

L'intérêt de l'apiculture réside dans la place importante qu'occupe l'abeille dans l'environnement, et qui revêt par plusieurs aspects : socio-économique, agronomique, scientifique et écologique (Chahbar, 2011).

1- Les apports économiques de l'apiculture

L'apiculture est considérée comme une activité génératrice de revenus (AGR) supplémentaires, pour les paysans désirant démarrer cette activité. Elle permet un apport économique important en diversifiant les sources de revenus chez les familles grâce à la commercialisation du miel et les autres produits de la ruche (pollen, gelée royale, propolis et la cire) ainsi la création de débouchés surtout pour les jeunes diplômés.

L'invention d'AGR aide à lutter contre l'exode rural, fournit une stabilité économique aux ménages, et permet également la création d'emplois pour les artisans locaux, par la production locale d'une grande partie d'outils et de matériels apicoles (Delahais, 2012).

2- L'aspect social de l'activité apicole

Tout en favorisant la cohésion sociale, l'activité apicole permet d'une part, la création d'AGR pour les populations, particulièrement les femmes et les jeunes. D'autre part, cette activité encourage le regroupement des personnes autour d'un but commun, le partage et l'échange d'idées entre hommes et femmes. Cette harmonie favorise l'intégration et la participation des individus au projet, au sein même de la famille. De plus, cette activité est une source de revenu supplémentaire qui permet une stabilité financière contribuant à l'amélioration des conditions de vie des familles paysannes.

3- Aspect agronomique et environnemental

Cette filière protège les ressources naturelles, sa transition vers l'apiculture moderne permet de combattre la coupe des arbres (déforestation), et la destruction des essaims engendrée par les pratiques de l'apiculture traditionnelle, et donc la valorisation des forêts.

L'avantage mutuel entre les abeilles mellifères et les plantes est très important, pour les deux. Les plantes peuvent bénéficier grandement des abeilles domestiques de plusieurs façons :

- La pollinisation (Reyes-Carrillo et al ., 2007 et Blazyte-Cereskiene et al ., 2010). Un accroissement quantitatif de 20% à 30% de la production agricole grâce à la pollinisation des cultures vivrières.
- Le maintien de la biodiversité par une approche environnementale dans un projet apicole est considéré comme une vraie force voire une nécessité (Delahais, 2012).

- Un accroissement qualitatif par le brassage génétique et l'augmentation de la production de semences (p. ex., le brocoli) selon [Sushil et al, \(2013\)](#) ainsi que l'amélioration de la qualité des semences selon [Yucel et Duman, \(2005\)](#)
- La distribution de certains agents de lutte biologique ([Cornish et al ., 1998](#))
- Les abeilles mellifères peuvent fournir aux plantes de l'azote indirectement par l'intermédiaire de leurs fèces ([Mishra et al ., 2013](#)).

D'un autre côté, les abeilles mellifères peuvent tirer profit des plantes de différentes façons:

- Certaines plantes peuvent être utilisées par les abeilles mellifères comme sources de nourriture (pollen et nectar) ([Abou-Shaara, 2015](#)) ;
- Les abeilles mellifères visitent certaines plantes pour recueillir de la propolis en plus de leur capacité à recycler la propolis recueillie précédemment ([Abou-Shaara, 2014](#));
- Certaines cavités des plantes et des branches peuvent être utilisées par les abeilles mellifères en permanence ou comme des nids provisoires, respectivement

En plus de ces avantages, certains extraits de plantes ont été utilisés pour traiter les parasites de l'abeille domestique, notamment l'huile de neem ([Qayyoun et al ., 2013](#)) et la poudre de thymol ([Ahmad et al., 2013](#))

4- Le rôle de l'apiculture dans le développement local

Une apiculture durable est un moyen de développement crucial dans les régions rurales des pays les moins avancés (PMA), elle permet selon ([Yacine et Zaidi, 2018](#)) :

- 1- La régénération de sources de revenus pour les individus dépossédés de terres, ainsi que pour les exploitations agricoles familiales de petite et moyenne taille peu capitalisées ;
- 2-Amélioration de la sécurité alimentaire notamment au niveau des régions à production agricole marginale
- 3-Promouvoir le développement rural, par les revenus commerciaux significatifs y compris les petites entreprises, par la production de matériel apicole et la fabrication de produits dérivés de l'apiculture
- 4- La garantie permanente de la disponibilité de ces remèdes naturels (apithérapie)
- 5-Preservation des habitats naturels dans le cadre de l'aménagement du territoire par la conservation des plantes sur lesquelles les abeilles butinent ([Buhendwa, 2014](#)).

5- Aspect scientifique

Les abeilles sont les insectes les plus étudiés. Elles fournissent grâce à son organisation sociale complexe l'un des meilleurs modèles scientifiques pour analyser les activités d'apprentissage, de mémorisation et d'orientation notamment dans l'activité de butinage (Chahbar, 2011).

6- Aspect écologique

C'est parmi les aspects les plus importants, car l'abeille est considérée comme un bio-indicateur de haute sensibilité de l'environnement. Cette dernière rentre en contact avec les différentes sources de polluants lors de son activité de butinage (Chahbar, 2011). L'abeille est considérée comme une espèce sentinelle de la biodiversité

IV- LES CONTRAINTES DE L'APICULTURE EN ALGERIE :

Malgré les efforts d'amélioration du secteur apicole en Algérie, celui-ci souffre toujours de problèmes liés principalement à des soucis d'organisation, ainsi qu'à des conditions climatiques caractérisées par des fluctuations. Comme conséquence, le rôle déterminant de l'apiculture dans le développement durable de l'économie algérienne en générale et l'agriculture en particulier ne peut pas être assuré convenablement (Chelighoum, 2011).

Les facteurs limitant l'accroissement de l'apiculture algérienne sont nombreux et représentent un frein aux rendements de la ruche et ses produits. Ces derniers peuvent se situer à trois niveaux :

1- Les manifestations climatiques et environnementales :

Liées surtout au :

- L'irrégularité du régime des précipitations affectant directement la répartition des plantes et leur développement pendant la saison de croissance (Beniston, 1984).
- Les vents qui jouent un rôle dans le système climatique de l'Algérie et influencent la vie des plantes ; le sirocco violent et chaud du désert extrêmement sec est très nocif à la végétation (Beniston, 1984).
- Les températures élevées, On sait que les abeilles mellifères des régions tempérées maintiennent les températures de nidification dans une plage remarquablement étroite, entre 34 °C et 36 °C (Heinrich et Esch, 1994; Seeley, 1995;). Lorsqu'une colonie d'abeilles domestiques surchauffe, les ouvrières évacue partiellement la ruche (Winston, 1987; De Almeida, 2008), laissant le couvain (œufs, larves et pupes) non protégé et subissant peut-être un stress thermique exceptionnellement élevé (Rubén et al., 2018).

- En Algérie, les plus fortes précipitations affectent surtout les régions du littoral ce qui génère une diversité de plantes spontanées et cultivées utiles à l'abeille. L'extension de l'urbanisation dans ces régions de bonne valeur apicole, l'utilisation abusive des pesticides aux moments des floraisons engendrent la diminution des ressources mellifères. Les conséquences sont néfastes sur l'apiculture voire l'appauvrissement des colonies d'abeilles (Segnon, 1974 et Aiteur, 1993), la désertion et la diminution des nombres d'essaims et les rendements faibles (Belhadi et al., 2008)
- Le mauvais choix des espèces au cours des actions de reboisement, son inadéquation avec l'écologie et la vocation des zones engendrent un faible taux de réussite. Cette dernière favorise les actions de dégradation de la valeur des différentes espèces mellifères de point de vue quantité et qualité (Benabdeli, 2002 ; Omrel, 1987).
- L'inexistence d'une carte mellifère bien établie, pour l'amélioration des ressources mellifères et le renforcement du potentiel productif (rendement miel : 5Kg /ruche) (Benhamouda, 2016).

2- Le niveau institutionnel :

- Le nombre faible d'institut et des centres de formation avec une répartition hétérogène (grandes wilayas seulement)
- La participation de CASS et de l'ITELV par un faible impact d'action au plan d'encadrement des apiculteurs. L'initiation au progrès techniques est très affaiblie du fait de la présence des ruchers d'une taille qui ne nécessite pas l'utilisation permanente de main d'œuvre (MAP, 1987).
- L'outillage agricole de coût élevé, et la fiscalité qui étouffent les apiculteurs (Matrese, 2007).

3- Le niveau technique et organisationnel de la filière :

- L'absence de l'organisation de la filière apicole de point de vue assistance technique, de vulgarisation des techniques et de commercialisation des produits (Belhadi, 2000).
- Le manque des moyens financiers empêchant les apiculteurs d'investir dans du matériel apicole performant et même pour élargir la taille de leurs exploitations en augmentant leurs nombre de ruche (Belhadi, 2000).
- La non modernisation du secteur apicole, par la non maîtrise des techniques modernes utilisées dans le domaine d'apiculture par les producteurs ce qui freine

non seulement le rendement, mais aussi la diversification des autres produits de la ruche.

- Malgré l'augmentation de la pratique de la transhumance, cette dernière reste limitée et mal organisée par la surcharge exercée par les apiculteurs sur les mêmes endroits. (Benhamouda, 2016).
- Le manque de professionnalisme représenté par le mauvais choix du mode de gestion des ruches est un handicap majeur de la filière, qui bloque véritablement son développement.
- L'un des problèmes importants signalés par les apiculteurs algériens est dû aux difficultés de la commercialisation des produits locaux, en raison selon (Tamali, 2019) :
 - Manque de coordination entre les apiculteurs, y compris les coopératives,
 - Des marchés locaux inondés avec des produits étrangers,
 - Manque de publicité aux produits locaux,
 - Problème d'emballage dans lequel l'apiculteur ne peut toujours pas exposer ses produits d'une manière qui satisfait le consommateur.
- Absence de culture de consommation du miel chez le peuple Algérien.
- Le volet sanitaire s'ajoute à la liste des contraintes signalées. La perte de colonies est due principalement à des maladies menaçant la survie des colonies d'abeilles locales surtout la varroase (Adjlane, 2012).
- Problème de coordination entre les agriculteurs et les apiculteurs au moment de l'utilisation des pesticides (Anonymous, 2011).
- Manque de laboratoires accrédités pour l'analyse du miel, ce qui rend sa labellisation non envisageable (Benhamouda, 2016).
- Absence des thématiques sur l'apiculture dans les formations vétérinaires et agronomiques.
- Absence de guide d'orientation complet validant de bonnes pratiques apicoles
- Insuffisance de conventions liées à l'apiculture entre le Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural) et celui de la Formation et de l'Enseignement Professionnels (MFEP).

- Présence de certains paramètres socio-économiques liés à l'apiculteur et qui influence la pratique de l'apiculture. Ces trois facteurs sont (Grégoire Paraiso, 2017) :

- la commune de provenance du producteur,
- l'alphabétisation
- l'appartenance à un groupement de producteurs

V- PERSPECTIVE DE DEVELOPPEMENT DE LA FILIERE APICOLE

L'analyse d'une filière est basée essentiellement sur l'identification de ces problèmes, ainsi que ces contraintes, en déterminant les aspects positifs, de ce qui est entrepris dans la filière actuellement, et de distinguer entre forces et faiblesses du secteur apicole, selon (Behidj, 2019).

1- Forces:

En Algérie, La diversification des ressources mellifères est à l'origine de l'existence d'une gamme variée de miel, en plus une température qui dépasse les 30 °C durant une bonne partie de l'année autorise bien les opérations d'extractions du miel.

2- Faiblesses:

Un marché de miel non structuré, le manque d'équipement et la technicité sont les contraintes qui figurent en tête de liste des défis. La majorité du miel produit passe par un circuit de commercialisation direct c'est-à-dire une vente direct entre l'apiculteur et le consommateur (marché local non contrôlé, produits vendus non réglementés), donc des conditions de stockage non respectées et le phénomène d'altération est observé (Behidj, 2019 ; Nouani et Saci, 2015)

3- Menaces :

La production du miel en Algérie est menacée par l'insécurité représentée parfois par les vols et les pillages. Ces dernières années, les incendies et la sécheresse se sont accentuées, avec la dégradation de la robe floristique et l'usage des produits chimiques (Pesticides) et les problèmes sanitaires (Varroase) causant des mortalités importantes d'abeilles (Behidj, 2019)

4- Opportunités:

Afin de redynamiser le secteur apicole, et pour accentuer la production du miel en Algérie, certains conseils doivent être pris en considérations (Behidj, 2019) :

- La valorisation du miel pour faire face à la concurrence,
- Respecter les normes générales sur toutes les productions alimentaires,
- L'utilisation des chambres froides pour lutter contre les chaleurs excessives

- Valoriser les autres produits de la ruche : la cire, la propolis, le pollen ...;
- Promouvoir l'apiculture par le développement durable,
- Exploiter les dérivés des produits de la ruche (hydromel, bougie, savon, pommade...);
- Conservation des races locales contre toute dérive génétique,
- Régularisation de marché par une législation.

Dans le domaine de la recherche scientifique (Yacine et Zaidi, 2018) :

- Réalisation d'études diversifiées sur la filière apicole
- Elaboration d'un inventaire de maladies et parasites de l'abeille locale ; avec des manuels de bonnes pratiques apicoles en Algérie.
- Etablissement des conventions avec des partenaires pour des appuis techniques, matériel et /ou financier du secteur apicole (cercle Algerianiste).

Chapitre II

*Importance de la morphométrie
géométrique*

I-INTRODUCTION

Jouant un rôle important dans le maintien des écosystèmes et de la production agricole (Heard, 1999; Slaa et al., 2006), les abeilles fournissent des services fondamentaux à l'humanité, de nombreux chercheurs se sont inquiétés de l'érosion génétique dont souffrent ces organismes. La déforestation, l'intensification de l'agriculture et l'introduction et propagation d'espèces exotiques concurrentes d'abeilles sont considérées comme les principales menaces pour la plupart des espèces indigènes (Freitas et al., 2009). D'autre part, les connaissances sur la structure des populations de ces organismes ont été jugées essentielles pour la gestion et les plans de conservation des espèces en péril (Nunes et al., 2008 ; Bonatti et al., 2014).

La caractérisation des abeilles est une étape importante, vers une meilleure gestion et durabilité des systèmes apicoles. L'identification des sous-espèces d'abeilles mellifères (*Apis mellifera*) est importante pour leur protection. Cette dernière n'est pas une tâche banale, car les différences entre elles sont faibles et les hybrides sont possibles (Oleksa et Tofilski, 2015).

Diverses méthodes ont été mises au point pour distinguer les espèces d'abeilles, les sous-espèces, les races et les populations, y compris des analyses de polymorphismes de séquence d'ADN mitochondrial (ADNmt) et nucléaire (Francisco et al., 2001 ; Whitfield et al., 2006). Ces dernières années, l'utilisation de polymorphismes mononucléotidiques est également devenue importante (Whitfield et al., 2006). D'autres méthodes moléculaires, par exemple, à base de phéromones (Hepburn et Radloff, 1996), sont rarement utilisées. Cependant, ces méthodes moléculaires, comme les méthodes biochimiques (Allozymes ou analyse d'hydrocarbures cuticulaires), nécessitent un équipement de laboratoire et des réactifs relativement coûteux (Francoy et al., 2008) . Les méthodes morphométriques ont été avantageusement appliquées pour évaluer la biodiversité et à des fins taxonomiques (Francoy et al. 2011).

L'analyse morphométrique est récemment devenue, la méthode faisant autorité la plus largement utilisée pour l'identification des sous-espèces et des populations d'abeilles mellifères en raison de sa praticabilité élevée et de son faible coût (Francoy et al., 2008). Les méthodes morphométriques sont fondées sur des mesures multiples de diverses parties du corps, qui sont évaluées chez de nombreux individus. Dans des études antérieures, Ruttner et al., (1978) a utilisé 42 caractères d'*A. mellifera* pour analyser leur variabilité géographique. Ensuite, Daly et al., (1982) ont rapporté les premières mesures numériques utilisées avec succès pour étudier la morphométrie des abeilles domestiques, ce qui a réduit

considérablement le temps nécessaire, pour mesurer avec précision ces caractères. Cet ensemble de caractères est maintenant connu comme l'ensemble de morphométrie standard (Tolfiski, 2008). Les progrès récents en matière d'analyse statistique et de logiciel de reconnaissance d'images ont rendu l'analyse morphométrique plus précise et plus pratique pour faire la distinction entre les sous-espèces et les individus au niveau de la population (Francoy et al., 2008). Actuellement, une autre méthode d'analyse statistique de la forme, la morphométrie géométrique, a été développée. La nouvelle méthode est basée sur les points caractéristiques décrits par les coordonnées cartésiennes (Tolfiski, 2008).

Le présent chapitre vise à démontrer l'importance de la morphométrie géométrique tout en soulignant ces avantages et ses inconvénients.

II- BIOGEOGRAPHIE DE L'ABEILLE

1- Aire d'endémicité ou (d'endemisme)

Traditionnellement, la taxonomie intraspécifique de l'abeille domestique *Apis mellifera* est basée sur la morphologie. 29 sous-espèces différentes d'abeilles domestiques ont été identifiées (Ruttner et al., 1978; Ruttner, 1988; Sheppard et al., 1997; Sheppard et Meixner, 2003; Engel, 2004; Meixner et al., 2013). Ces sous-espèces sont également décrites comme des « races géographiques » parce que leur répartition correspond à des régions géographiques distinctes (Charistos et al., 2014) et sont classées en cinq lignées évolutives (Fi. 06) : (M) de l'Europe du Nord et de l'Afrique du Nord, (A) de l'Afrique du Sud et centrale, (C) de la Méditerranée du Nord et de l'Europe de l'Est, (O) de la Méditerranée de l'Est et des régions du Proche et du Moyen-Orient, et (Y) de l'Éthiopie, pays d'Afrique de l'Est. Cette caractérisation est en fonction de traits morphométriques, moléculaires, écologiques, biogéographiques, éthologiques et physiologiques (De la Rúa et al., 2005). Des études subséquentes fondées sur la variation de l'ADN mitochondrial (ADNmt) ont largement confirmé cette classification. (Hall et Smith, 1991; Garnery et al., 1993; Arias et Sheppard, 1996; Franck et al., 2000; Cánovas et al., 2008; Kekecoglu et al., 2009; Alburaki et al., 2011; Papachristoforou et al., 2013; Loucif-Ayad et al., 2014; Achou et al., 2015).



Figure 06 : Originale répartition des cinq lignées évolutives d'*Apis mellifera* (Garnery sur mellifica.be)

Il existe trois hypothèses fondamentales sur l'origine des abeilles et leur dispersion dans le monde (Fig. 07). Selon la première hypothèse, les abeilles mellifères sont de l'Asie du Sud-Est ou Inde (Ayegü, 2004). La deuxième hypothèse est que les abeilles mellifères se sont multipliées en Afrique puis se sont répandues en Europe à travers le Moyen-Orient (Wilson, 1971).

La dernière hypothèse est que les abeilles mellifères, qui se sont multipliées au sud de la mer Caspienne, se sont ensuite dispersées en Europe via l'Anatolie et en Afrique via la péninsule arabique (Ruttner, 1988).

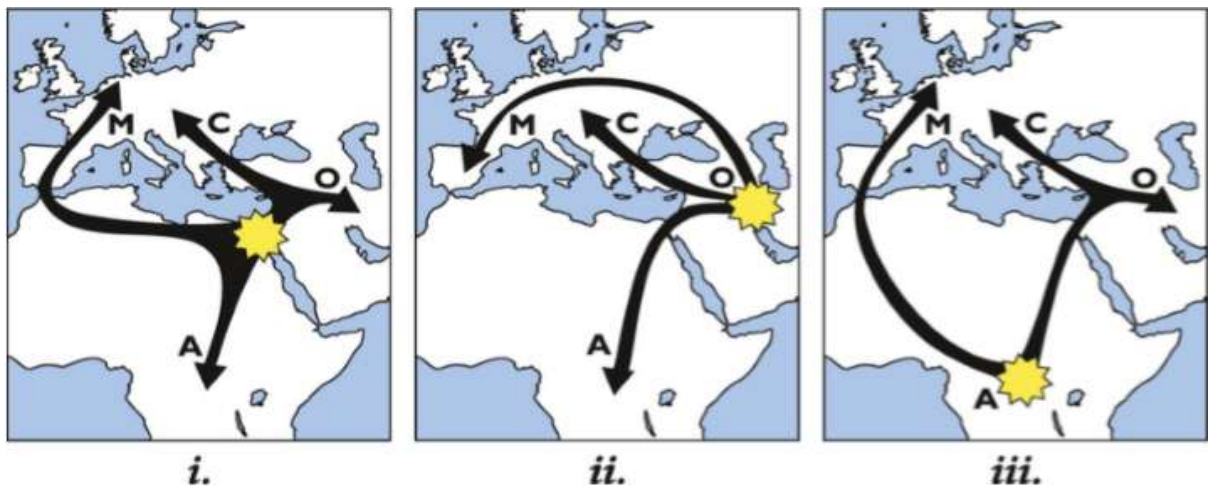


Figure 07: Différents hypothèses des scénarios évolutifs l'origine à l'expansion de l'abeille *A. mellifera*. Scénario i) suggéré par Ruttner et al., (1978) sur la base des analyses morphométriques proposant une origine au Moyen Orient et plusieurs routes de colonisation de l'Europe, ii) suggéré par Garnery et al., (1992) en se basant sur les données mitochondriales avec une origine au Moyen Orient et des routes de colonisation vers l'Europe n'impliquant pas une voie par l'Afrique et iii) le dernier scénario avec une origine africaine soutenue par les données SNPs de Whitfield et al., (2006). Source : (Han et al., 2012)

2- Diversité intraspécifique

Actuellement, la description des 29 sous espèces est basée sur des critères mentionnés ci-dessus. La présence de certaines variations considérables justifie leur subdivision en plusieurs écotypes régionaux comme le cas d'*A. m. major* (écotype d'*A. m. intermissa* (Meixner et al., 2013). Le nombre des sous espèces varient d'un auteur à un autre. Engel, (1999) suggère la présence de 28 sous-espèces valides (Tab. 02) en se basant sur la morphologie (sur plus de 90 descriptions morphologiques) dans la révision taxonomique du genre *Apis* (Fig. 08).

La caractérisation du génome de l'ADNmt a été très utile et informative pour retracer l'histoire évolutive des espèces et pour analyser la structure génétique de la sous-espèce *A. mellifera*, car elle contient des régions à taux évolutifs variables et elle est généralement héréditaire sans recombinaison (Meusel et Moritz, 1993). Par conséquent, les marqueurs moléculaires ont facilité des évaluations plus robustes de la diversité des abeilles, comme la reclassification des sous-espèces nord-africaines, *A. mellifera intermissa* (Buttel-Reepen, 1906) et *A. mellifera sahariensis* (Baldensperger, 1932). dans la branche africaine au lieu de la branche ouest-européenne (Garney et al., 1992), la mise en évidence de probables zones d'hybridation entre les lignées C et M en Espagne (Garney et al., 1995 ; Smith et al., 1991), sur multiples îles de la Méditerranée entre les lignées C et A (Garney et al., 1993) et aux introgressions liées à l'importation des reines dans la lignée (De la Rúa et al., 1998 ; Garney et al., 1993) ou aux introductions diverses des populations du nouveau monde (Oldroyd et al., 1995 ; Sheppard et al., 1991)



Figure 08 : Présentation de l'aire de répartition géographique naturelle des 29 sous-espèces reconnues d'*Apis mellifera* avec l'indication des lignées évolutives A, C, M, O et le sous-groupe Z (sous-lignée africaine mais divergente des 4 lignées évolutives au niveau nucléaire). Source : d'après Techer (2015), modifié d'après Ruttner, (1988) ; Engel, (1999), Franck et al., (2001) ; Alburaki et al., (2013). Le fond de carte utilisé est Open Layer Landscape

Tableau 02 : 28 sous-espèces d'*Apis mellifera* décrites et valides sur la base de la morphométrie et leur appartenance à une lignée évolutive (A : africaines, M et C : européennes et O : orientale) ou sous-groupe Z (sous-lignée A) sur la base de la morphométrie, de l'ADN mitochondrial ou du génome. Source : [Techer \(2015\)](#)

	Descripteur	Morphologie	ADNmt
Afrique tropicale			
<i>A. m. adansonii</i>	(Latreille, 1804)	A	A
<i>A. m. capensis</i>	(Eschscholtz, 1822)	A	A
<i>A. m. jemenitica</i>	(Ruttner, 1906)	A	A/Y/Z
<i>A. m. lamarckii</i>	(Cockerell, 1912)	A	Z
<i>A. m. litorea</i>	(Smith, 1961)	A	A
<i>A. m. monticola</i>	(Smith, 1961)	A	A
<i>A. m. scutellata</i>	(Lepeletier de Saint Fargeau, 1836)	A	A
<i>A. m. unicolor</i>	(Latreille, 1804)	A	A
Afrique du nord-est			
<i>A. m. intermissa</i>	(Maa, 1953)	M	A
<i>A. m. sahariensis</i>	(Baldensperger, 1932)	M/A	A
<i>A. m. simensis</i>	(Meixner et al., 2011)	A	A/Y
Ouest de la Méditerranée			
<i>A. m. iberiensis</i>	(Skorikov, 1929; renamed by Engel 1999)	M	M/A
<i>A. m. mellifera</i>	(Linnaeus, 1758)	M	M
Méditerranée centrale – Europe du Sud-Ouest			
<i>A. m. carnica</i>	(Pollmann, 1879)	C	C
<i>A. m. carpatica</i>	(Foti et al., 1965)	-	-
<i>A. m. cecropia</i>	(Kiesenwetter, 1860)	C	C
<i>A. m. ligustica</i>	(Spinola, 1806)	C	C/M
<i>A. m. macedonica</i>	(Ruttner, 1988)	C	C
<i>A. m. ruttneri</i>	(Sheppard et al., 1997)	M/A	A
<i>A. m. siciliana</i>	(Grassi, 1881)	C/A	A
Moyen Orient			
<i>A. m. adami</i>	(Ruttner, 1975)	C/O	C
<i>A. m. anatoliaca</i>	(Maa, 1953)	O	C/Z
<i>A. m. caucasia</i>	(Pollmann, 1889)	O	C
<i>A. m. cypria</i>	(Pollmann, 1879)	C	C/Z
<i>A. m. meda</i>	(Skorikov, 1929)	O	Z
<i>A. m. remipes</i>	(Gerstäcker, 1862)	O	
<i>A. m. syriaca</i>	(Skorikov, 1929)	A/O	Z
Asie centrale			
<i>A. m. pomonella</i>	(Sheppard et Meixner 2003)	O	C/Z

Nord de l'Afrique font partie de la lignée africaine A (Ruttner, 1988; Garnery et al., 1995; Franck et al., 2001). En Algérie, deux sous-espèces d'abeilles domestiques ont été identifiées : *A. mellifera intermissa*, décrite par Buttel-Reepen, (1906), est une race d'Afrique du Nord, trouvée en Tunisie, en Algérie et au Maroc le long de la côte méditerranéenne (Cornuet et al., 1988; Grissa et al., 1990); *A. mellifera sahariensis*, décrit par Baldensperger, (1932; voir aussi Haccour, 1960) s'étend de Djebel Amour et Ain Sefra en Algérie en passant par les oasis du Sahara au sud des montagnes de l'Atlas jusqu'à Figuig à l'ouest du Maroc (Ruttner, 1968; De la Rúa et al., 2007).

III- MORPHOMETRIE TRADITIONNELLE ET MORPHOMETRIE GEOMETRIQUE

1- Historique

En entomologie, une grande attention a été portée à la morphologie de diverses parties du corps pour identifier, nommer et classer les organismes. La taxonomie et la systématique traditionnelles utilisent les caractéristiques spécifiques de la morphologie externe comme caractères de diagnostic pour l'identification des taxons.

En général, il y a deux catégories qui représentent ces caractères morphologiques, soit les caractères « métriques (ou continus) » et les caractères « méristiques (ou discrets) ». La morphométrie traditionnelle, dite morphométrie classique, a été la seule méthode pour décrire la diversité des abeilles mellifères pendant longtemps (Ruttner, 1988). La première procédure effective, développée dans les années 1970, consistait à mesurer manuellement 25 caractères des ailes, des sternites et des pattes à l'aide d'un micromètre oculaire; ces mesures ont ensuite été analysées à l'aide de statistiques multivariées afin de créer les identifications (Daly et Baling, 1978). Parmi le grand nombre de caractères utilisés dans des études antérieures, Ruttner et al., (1978) a choisi 42 caractères pour l'analyse des travailleurs d'abeilles domestiques dans un large éventail d'emplacements géographiques. Cet ensemble de caractères, appelé « morphométrie standard », C'est la méthode la plus souvent utilisée dans une large gamme d'études de la variation géographique (Ruttner et al., 2000; Radloff et al., 2003; Diniz-Filho et al., 2000). Les caractères de morphométrie standard comprennent les distances, les angles et les classes discrètes de pigmentation (**Fig. 09**). Cette méthode d'identification a par la suite été améliorée par l'incorporation de mesures informatisées (Daly et al., 1982). Une simplification de ces procédures a donné lieu au « Fast Africanized Bee Identification System » (FABIS) pour l'identification préliminaire dans le champ (Rinderer et al., 1986). Chaque fois que l'on soupçonne que les colonies sont africanisées en fonction de FABIS, on procède actuellement à une identification sociale aux États-Unis au moyen de la

méthode USDAID (United States Department of Agriculture identification) (Rinderer et al., 1993). Cette méthode utilise 25 mesures morphométriques, saisies manuellement dans un programme informatique, de pièces montées sur balsam de chaque abeille (avant et arrière-ailles, fémur-tibia, basitarse d'une patte arrière et sternite); bien qu'elle ait une bonne précision, il nécessite du personnel qualifié et plusieurs heures de préparation et d'analyse par échantillon de 10 abeilles. Ces limitations et réductions continues des coûts de la technologie de biologie moléculaire ont fait des systèmes de reconnaissance de l'ADN, une alternative attrayante à la morphométrie. Toutefois, les progrès récents en matière d'analyse statistique et de logiciel de reconnaissance d'images ont rendu l'analyse morphométrique plus précise et plus pratique pour l'identification des espèces. Schröder et al., (1995) a mis au point un système semi-automatique de reconnaissance des espèces d'abeilles, basé sur les caractéristiques extraites des ailes antérieures; ce système a été nommé ABIS (Automatic Bee Identification System). Les points de repère de ce système étaient des jonctions d'ailes et de veines tracées par l'homme; après avoir entraîné le système avec au moins 30 individus par groupe, l'identification des individus a été assez rapide. Plusieurs améliorations ont par la suite été apportées au système ABIS d'origine; la nouvelle version nécessite peu d'informations de l'utilisateur et plus de précision que la version originale (Steinhage et al., 2001). L'ABIS est une méthode de classification supervisée; c.-à-d. que le programme doit être formé avec au moins 20 spécimens de chaque classe (comme les espèces, la race ou la population). Actuellement, ABIS est capable d'identifier et de marquer automatiquement les repères dans les images numériques des ailes. L'ABIS a été en mesure de distinguer les membres européens des genres *Colletes*, *Andrena* et *Bombus* (Steinhage et al., 2001) au niveau des espèces avec une précision de 99,8 %, et a correctement identifié 94 % des abeilles dans une comparaison des sous-espèces d'abeilles domestiques (Drauschke et al., 2007; Francoy et al., 2011). Une autre méthode morphométrique moderne très prometteuse pour les études de forme est la morphométrie géométrique.

Cette nouvelle méthode a été mise au point à partir des coordonnées des repères situés aux intersections des veines des ailes (Bookstein, 1991; Smith et al., 1997)

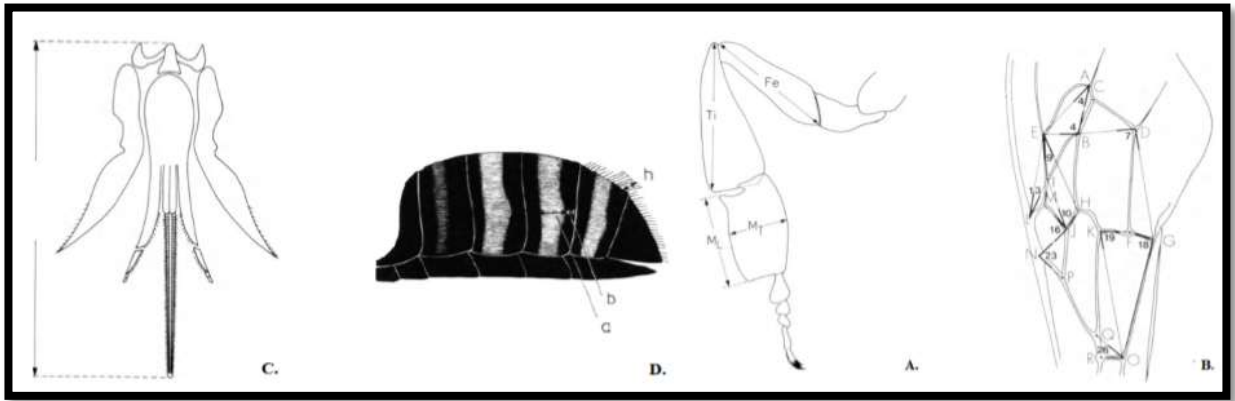


Figure 09 : Schéma représentant les principaux caractères morphologiques mesurés par la morphométrie classique chez *Apis mellifera* ssp. A : patte antérieure (Fe : fémur ; Ti : tibia ; ML : métatarse ; MT : largeur métatarse) ; B : aile antérieure (A04 – O26 : 11 angles mesurés) ; C : proboscis (« langue » de l'abeille) ; D : abdomen (a et b : largeur du tomentum ; h : longueur des poils). Source : [Ruttner, \(1988\)](#).

2- Les caractéristiques des deux approches

Étant donné que les variables utilisées dans les études morphologiques sont toutes corrélées à la taille, pour cela, la morphométrie traditionnelle (classique) a mis beaucoup d'effort pour développer la correction de taille dans les études morphologiques ([Bookstein, 1985](#)). L'objectif est de supprimer la taille afin que vous n'ayez à traiter que les variables morphologiques qui ne sont pas affectées par la taille, et de capturer les patrons de variations qui relèvent strictement sous le type (stricto sensu). Malgré le bond en avant que produit la morphométrie multivariée sur la quantification morphologique, elle manque (malheureusement) d'une grande partie de l'information morphologique qui semble être la limitation dans la description des formes complexes. [Adams et al., \(2004\)](#) ont dénombré ces principaux inconvénients :

- Puisque les corrections différentes entraînent des résultats légèrement différents, aucune des méthodes d'extraction de taille proposées n'est utilisée d'une manière unanime.
- La prise de mesures de distances linéaires (longueur, largeur, etc.) à partir de points non ambigus sur l'organisme (points homologues ou points-repères similaires d'un organisme à un autre ou "landmarks") entraîne inévitablement un problème d'homologie dans la prise de mesures.
- Les mêmes distances peuvent être créées par deux formes différentes. L'ellipse et la goutte d'eau sont les exemples les plus basiques utilisés.

IV- LA MORPHOMETRIE GEOMETRIQUE

1- Définition

La morphométrie géométrique est une classe de méthodes multivariées pour mesurer et analyser les formes d'objets. La morphométrie géométrique se distingue par le fait qu'elle utilise les coordonnées cartésiennes (x, y, z) des points de repère au lieu des mesures linéaires comme variables (Bookstein, 1991). La plupart des méthodes morphométriques géométriques utilisent la superposition de Procrustes pour supprimer l'échelle, la rotation et la translation des coordonnées, ce qui élimine les effets confusionnels de la taille, mais limite les analyses aux objets rigides. Une large gamme de tests statistiques multivariés peut être utilisée pour évaluer la relation de la forme avec d'autres variables d'intérêt (Dryden et Mardia, 1998).

2- Avantages de la GM

Les avantages fondamentaux de la morphométrie géométrique par rapport aux approches traditionnelles comprennent :

- La façon de mesurer la différence entre les formes (à l'aide de la distance de Procrustes),
- L'élucidation des propriétés de l'espace de forme multidimensionnel défini par ce coefficient de distance,
- Le développement de méthodes statistiques spécialisées pour l'étude de la forme,
- Le développement de nouvelles techniques pour la représentation graphique des résultats (Bookstein, 1991; Rohlf, 2000; Mendes et al., 2007). La grande précision de la classification indique que les ailes antérieures portent suffisamment d'informations pour distinguer l'abeille.
- L'une des caractéristiques les plus populaires de la morphologie géométrique est que les résultats éthologiques peuvent être présentés visuellement comme des déformations d'objets au lieu d'objets fixes ou numériques.
- L'un des avantages de la morphométrie géométrique sur la morphométrie traditionnelle est qu'elle capture complètement la géométrie d'un objet en diminuant le nombre de variables qui représentent cette forme. En effet, la représentation exhaustive d'un objet en termes de distances est souvent moins parcimonieuse, que sa représentation par les coordonnées des points mesurés. Ainsi, quand le nombre de points augmente, à cause de la complexité de la forme ou simplement pour en affiner la description, le nombre de mesures de distances

nécessaires pour appréhender cette même géométrie augmente de façon exponentielle alors que le nombre de variables géométriques, les coordonnées de ces points-repères, augmente de façon linéaire (Adrien Perrard, 2012).

3- Inconvénients et limitations

Bien que les méthodes morphométriques géométriques présentent de nombreux avantages par rapport aux méthodes basées sur la mesure, y compris la capacité de réduire mathématiquement la taille et la facilité avec laquelle les résultats peuvent être représentés graphiquement, elles ont également des limites tenaces.

- On peut soutenir que la limitation la plus contraignante est que les méthodes ne peuvent être appliquées qu'à des objets rigides. Pour que les positions relatives des coordonnées cartésiennes soient significatives, chaque point utilisé dans une analyse doit occuper une position fixe par rapport à tous les autres points. La conséquence est que les objets qui ont des relations mobiles entre eux, tels que la mandibule et le crâne ou le corps et les membres, ne peuvent pas être facilement analysés avec une morphométrie géométrique, car les différences de position relative contribuent aux différences de forme.
- Une autre limitation est que les déplacements de points de repère estimés par des méthodes morphométriques géométriques sont relatifs, et non absolus, en raison de la superposition de Procrustes. Par conséquent, il est impossible de localiser quelles parties d'une forme ont changé. Cette question a été illustrée par un problème de pensée impliquant la marionnette de conte de fées Pinocchio, dont le nez a grandi chaque fois qu'il a dit un mensonge. Le seul changement dans la forme du profil de Pinocchio serait l'allongement de son nez ; cependant, la superposition de Procrustes répartit les différences entre tous les repères en raison des composants de centrage et de minimisation de son algorithme. (Paul, 2018)

V- LA NERVATION ALAIRE DES INSECTES

1- Les ailes : une structure propice aux études morphométriques

Une structure aplatie créée par un réseau de veines soutenant une membrane composée de deux couches tégumentaires adjacentes est typique d'une aile d'insecte (**Fig. 10**). Les veines sont des canaux sclérosés qui font circuler l'hémolymphe et transfèrent fréquemment les nerfs ou la trachée entre les deux membranes (Chapman, 1998). Chaque aile est articulée sur un segment thoracique : les antérieurs sont articulés sur le mésothorax, tandis que les postérieurs sont articulés sur le métathorax. Dans certains groupes perdus,

des structures prothoraciques qui se ressemblent semblent avoir existé (Wootton, 1992). 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 Daniels, 2003). L'homologie des différentes nervures alaires a longtemps fait débat (p. ex., Béthoux, 2008, Nel et al., 2012). Cependant, on considère depuis longtemps que la nervation dans son ensemble est une structure homologue entre les différentes classes d'insectes tant que le modèle de nervation est reconnaissable entre les taxons (Hamilton, 1972; Comstock et Needham, 1898). En conséquence, le patron de la veine alaire est une structure presque plate composée d'éléments homologues : les différentes veines. Cette structure convient aux études morphométriques (Wright et al., 1907), en particulier à la morphométrie géométrique 2D. Bien que la majorité de la variation soit répartie sur un plan, les intersections entre les veines fournissent autant de points de référence de type I, selon Bookstein, (1991). Par conséquent, les ailes des insectes sont souvent utilisées dans les études morphométriques non verbales. Plusieurs études ont examiné l'héritabilité de la conformation des ailes (Monteiro et al., 2002, Klingenberg et al., 2010), l'évolution et la modularité des ailes (Klingenberg et al., 2001) et la différenciation des sous-espèces et des lignées en fonction de la conformation des ailes (Francoy et al., 2011, Miguel et al., 2010), le dimorphisme sexuel (Pretorius, 2005 ; Gidaszewski et al., 2009) ou au niveau des espèces, des analyses taxonomiques (Baylac et al., 2008 ; Villemant et al., 2007 ; Klingenberg et Gidaszewski, 2010 ; Baracchi et al., 2011 ; Su et al., 2015). En conséquence, la veine de l'aile a été choisie pour être testée comme un nouveau marqueur dans l'étude systématique des insectes.

2- La morphométrie géométrique appliquée aux ailes d'insectes

Comme le patron des ailes est essentiellement une structure bidimensionnelle composée d'éléments homologues, les veines, dont les intersections fournissent des repères idéaux, la morphométrie géométrique peut être utilisée efficacement sur les ailes d'insectes. Il existe maintenant une variété de logiciels dédiés à la morphométrie géométrique des ailes, tel que DrawWing (Tofilski, 2004 ; <http://www.drawwing.org>), MorphoJ (Klingenberg, 2010) http://morphometrics.uk/MorphoJ_page.html), ou encore le logiciel en ligne ApiClass pour les abeilles (Baylac et al., 2008 ; <http://apiclass.mnhn.fr>).

3- Le patron de nervation alaire, un marqueur efficient chez *Apis mellifera*

Tofilski, (2008) a démontré que la morphométrie géométrique appliquée à la nervure alaire peut être plus précise que l'approche standard pour distinguer les sous-espèces d'*A. mellifera*. En utilisant cette approche, Francoy et al., (2008) a pu faire la distinction entre

l'abeille africanisée (principalement poly-hybride *A. m. scutellata*, lignée A) de la sous-espèce européenne et africaine dont elle est issue avec une précision de 99,2 % en utilisant cette approche. Comme résultats, la morphométrie géométrique appliquée aux ailes est suffisamment précise, efficace et performante pour permettre une différenciation sous-spécifique des individus d'*Apis mellifera* (Kandemir et al., 2011 ; Nawrocka et al., 2017) écotypique (Strange et al., 2008) et le degré d'hybridation (Francoy et al., 2008, 2009 ; Oleska et Tofilski, 2015). De plus, il a été démontré que cette approche a permis de détecter d'une manière efficace les modifications morphologiques rapides chez les populations sauvages d'*Apis mellifera* à la suite de changements brutales dans les conditions environnementales (1977-2010) (Mikheyev et al., 2015).

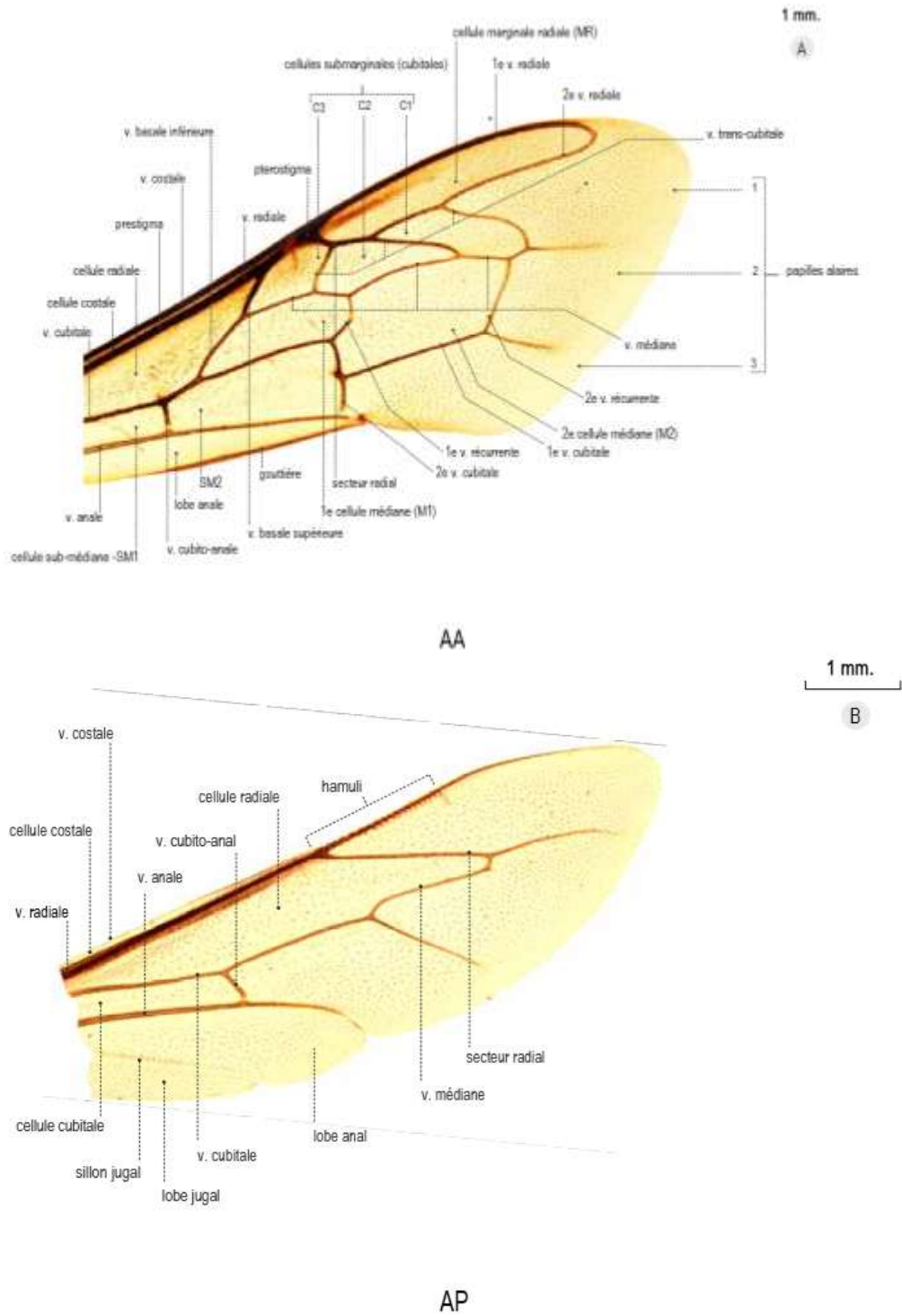


Figure 10 : Représentation de la nervation alaire de l'abeille domestique *Apis mellifera*.
 A : aile antérieure (AA), B : aile postérieure (AB). (Barour, 2012)

VI- METHODOLOGIE

La caractéristique de la morphométrie géométrique est que les points sur les surfaces des objets sont utilisés pour représenter leur forme. Par exemple, la forme d'un carré peut être représentée par des points à ses quatre coins.

1- Notion de taille, forme et conformation

Considérant l'émergence de la morphométrie bi- ou multivariable dans la première moitié du 20^{ème} siècle à la suite du développement statistique, Les clarifications, qui tendent à être de nature conceptuelles et se rapportent à l'idée de taille et de forme, semblent être relativement nouvelles (Bookstein, 1989). La fameuse équation : **Forme= Size+ Shape** n'a pas encore atteint le public francophone vu l'absence d'équivalence courante en langue française, pour cela Boitard et Lefebvre ont suggéré une traduction dans les années 1980, qui sera reprise ici : **Taille + Conformation = Forme.** (Lefebvre, 1981)

Cette formule de base incluant le concept de la taille isométrique a été utilisé totalement dans les analyses morpho-géométrique sur l'ensemble des ailes d'insecte y compris les abeilles. La taille isométrique nommée aussi taille centroïde TC (centroïde size) (Fig. 11) (Bookstein, 1991) correspond à la racine carrée de la somme des carrés des distances entre points-repères et centre de gravité de l'objet étudié (Gower, 1975) elle peut détecter des différences de taille dans différentes directions Dans la mesure où de nombreux points-repères sont utilisés pour classer un AA ou un AP.

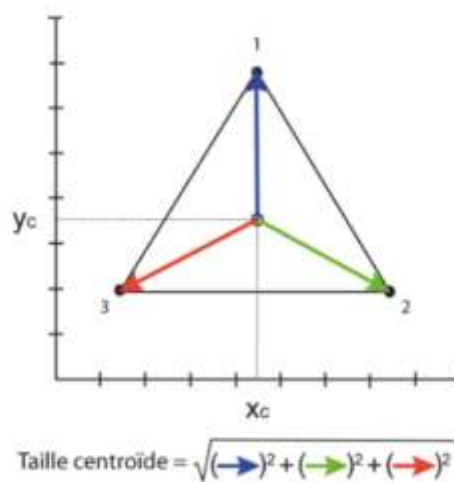


Figure 11 : Principe du calcul de la taille-centroïde illustré avec un triangle en deux dimensions. L'intersection entre x_c et y_c représente le centroïde (barycentre) du triangle. (Cucchi et al., 2015).

2- Le concept de conformation

La plupart du temps, même si une représentation n'est pas à l'échelle ou dans la même orientation que l'élément original, tout le monde la reconnaîtra. La morphométrie géométrique est quantifiée par cette conformation, qui permet de maintenir une relation entre notre perception intuitive d'un objet et sa formalisation quantitative. L'utilisation de coordonnées de repère pour décrire une conformation permet de les représenter dans un espace multidimensionnel. Puisqu'un point géographique défini par deux coordonnées (latitude et longitude) représente un emplacement dans un espace bidimensionnel (2D) (une carte), une conformation définie par des coordonnées X peut être perçue comme une position dans un espace en X dimensions. En conséquence, une conformation est une entité multivariée qui n'est pas affectée par des informations telles que la position, la rotation ou l'échelle (Kendall, 1977). Il ne peut être réduit à un ensemble de variables prises indépendamment, mais il forme une unité. Cette condition assure l'application et la reproductibilité désirées et nécessaires pour l'analyse quantitative morphologique.

3- Obtention de la conformation des ailes par la morphométrie géométrique

Les coordonnées x et y de 19 points de référence aux intersections veineuses (Fig. 12), dont 38 variables, définissent la géométrie des ailes. Chaque conformation est alors considérée comme un point unique dans un espace de 38 dimensions. En revanche, l'ensemble de données brutes n'est pas à l'abri des effets d'échelle, d'orientation et d'emplacement du processus d'acquisition d'images et de la taille des ailes. Les conformations de chaque spécimen doivent être positionnées dans un référentiel commun, c'est-à-dire le même espace morphologique, pour être comparées, souvent appelé "shape-space" ou "espace de conformation". La procédure d'alignement par superposition procrustes (Rohlf et Slice, 1990; Bookstein, 1991), qui comporte trois étapes, rend cela possible.

- 1) la translation des configurations d'une façon qu'elles convergent vers leur centre de gravité, ou centroïde, éliminant les effets de position;
- 2) la normalisation des configurations par leur taille centroïde (Bookstein, 1991), qui supprime les effets de la taille tout en préservant les proportions et les variations de conformations liées à la taille (allométrie),
- 3) Enfin, la rotation des configurations d'une manière à réduire les distances entre points de repère deux à deux (Galataud, 2019).

Les coordonnées procrustes sont les coordonnées cartésiennes des points de référence obtenus après la superposition Procruste. La conformation moyenne (« consensus ») d'un

échantillon est représentée par la moyenne de ses coordonnées Procrustes. Les distances procrustes sont les distances entre deux conformations dans le *shape-space* qui peuvent être utilisées pour mesurer la (dis-) similitude de deux ou plusieurs conformations.

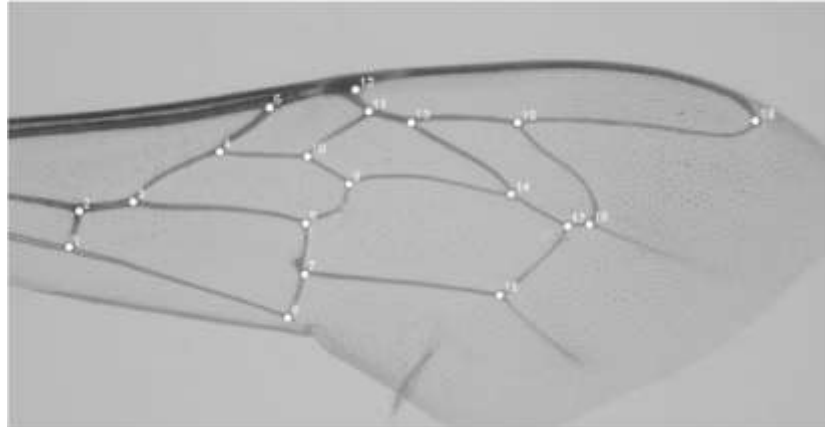


Figure 12 : Aile antérieure d'une ouvrière d'abeille africaine avec les 19 points-repères tracés sur les jonctions des veines (Francoy, 2008).

4- Le concept d'allométrie

L'allométrie se réfère aux changements de caractères morphologiques liés à la taille et reste un concept essentiel pour l'étude de l'évolution et du développement. Il existe plusieurs concepts d'allométrie, qui concernent tous l'effet de la taille sur la variation morphologique mais diffèrent dans les définitions spécifiques des termes, et dans les aspects de la morphologie sur lesquels ils se concentrent. Il est possible de distinguer deux grandes écoles de pensée selon la façon dont elles caractérisent l'allométrie. L'école Gould-Mosimann définit l'allométrie comme la covariation de la forme avec la taille. Ce concept d'allométrie est mis en œuvre dans la morphométrie géométrique par la régression multivariée de variables de forme sur une mesure de taille. Dans l'école Huxley-Jolicoeur, l'allométrie est la covariation entre les caractéristiques morphologiques, qui contiennent toutes des informations sur la taille. Dans ce cadre, les trajectoires allométriques sont caractérisées par la première composante principale, qui est une ligne de meilleur ajustement aux points de données. Dans la morphométrie géométrique, ce concept est mis en œuvre dans des analyses utilisant l'espace de forme de Procrustes, ou l'espace de conformation (ce dernier aussi connu sous le nom d'espace de taille et de forme). Alors que ces espaces diffèrent considérablement dans leur structure globale, il existe également des connexions étroites dans leur géométrie localisée. Les méthodes diffèrent dans leur importance et fournissent ainsi aux chercheurs des outils flexibles pour répondre à des

questions spécifiques, concernant l'évolution et le développement, mais tous les cadres sont logiquement compatibles les uns avec les autres et donc peu susceptibles de produire des résultats contradictoires (Klingenberg, 2016).

5- Les points-repères

La géométrie d'un objet peut être quantifiée de diverses façons, comme les contours ou les courbes de surface (Adams et al., 2004), seule l'approche des points repères (« Landmarks » en anglais) sera la plus utilisée. Cette méthode se base sur l'analyse des coordonnées relatives des points-repères pour capturer la géométrie de l'objet. Une description correcte de ces points repères est impérative, afin de légitimer la comparaison des conformations de différents objets biologiques. Une définition préalable des points repères sur les éléments précis et homologues, des structures biologiques doit être établie.

En effet, les éléments homologues, qui sont hérités d'un ancêtre commun et donc susceptibles de représenter le passé évolutif des espèces qui les portent, sont les seuls éléments comparables entre les différents organismes au sens de la théorie de l'évolution.

Selon Bookstein, (1991) on distingue 3 catégories de points-repères :

- Points-repères de type I, qui sont décrits aux intersections de divers tissus biologiques et l'homologie n'est pas affectés par des variations de conformation.
- Points-repères de type II, qui sont caractérisés comme une extrémité du même tissu plutôt qu'une interaction entre plusieurs tissus, comme une courbure maximale. L'homologie de ces repères est discutable.
- Les points-repères de type III, qui sont caractérisés par leur emplacement relatif par rapport à une entité éloignée, plutôt que par des éléments structurels spécifiques et proches.

On les trouve souvent près des courbures maximales. Bien qu'ils puissent être utiles pour décrire la forme, l'homologie de ces points-repère est beaucoup moins claire que celle des points de type II.

Étant donné que la conformation d'un objet est déterminée par la position relative de ses points-repères, il est préférable d'avoir autant de point-repères de type I que possible afin d'optimiser la comparaison avec d'autres conformations de structures similaires.

4.1- Les point-repères retenus pour les ailes des abeilles

L'homologie des points-repères numérisés à travers des spécimens est strictement exigée dans tous les outils de morpho-géométrie. Ces derniers désignent les mêmes

emplacements biologiques sur chaque individu. (Bookstein, 1991 ; Zelditch et al, 2004). Tous les points-repères identifiés précédemment sont trouvés sur les ailes antérieures et postérieures de nos quatre races *A. mellifera*. La description morphologique générale et la nature de landmarks tracés respectivement sur les ailes antérieures et postérieures d'abeilles ouvrières sont détaillées dans les deux **tableaux (2 et 3)**. La complication de fonder une classification sur la nervation alaire réside essentiellement dans l'homologation des nervures représente la difficulté. Un autre problème s'ajoute est que les Lépidoptéristes, les Hyménoptéristes, les Diptéristes, etc. ont chacun leurs nominations très caractéristiques et, qu'au cours des années l'établissement des nervures ont évolué suivant les auteurs considérés (Roth, 1980).

Tableau 03 : Descriptions morphologiques des 19 points-repères fixés pour l'aile antérieure d'une ouvrière d'abeille d'*Apis mellifera* L.

N° LM	Description	Type selon Bookstein (1991)
LM 1	Intersection de la veine radiale avec de la veine basale supérieure.	Type I
LM 2	Intersection de la veine basale supérieure avec de la veine médiane.	Type I
LM 3	Intersection de la veine cubitale avec la veine basale inférieure.	Type I
LM 4	Intersection de la veine cubitale avec la veine cubito-anale.	Type I
LM 5	Intersection de la veine anale avec la veine cubito-anale.	Type I
LM 6	Intersection de la veine anale avec la 2 ^{ème} veine cubitale.	Type I
LM 7	Intersection de la 2 ^{ème} veine cubitale et la 2 ^{ème} veine récurrente.	Type I
LM 8	Intersection de la veine cubitale avec la 1 ^{ère} veine récurrente.	Type I
LM 9	Intersection de la veine médiane avec la 1 ^{ère} veine récurrente.	Type I
LM 10	Intersection de la 3 ^{ème} veine trans-cubitale avec la veine médiane.	Type I
LM 11	Intersection de secteur radial avec la 3 ^{ème} veine trans-cubitale.	Type I
LM 12	Intersection de secteur radial avec la 2 ^{ème} veine trans-cubitale.	Type I
LM 13	Intersection de la veine radiale avec la 2 ^{ème} veine trans-cubitale.	Type I
LM 14	Intersection de la 2 ^{ème} veine radiale avec la 1 ^{ère} veine trans-cubitale.	Type I
LM 15	Courbure maximale de la veine radiale au niveau de la cellule marginale radiale.	Type I
LM 16	Intersection de la 1 ^{ère} veine trans-cubitale avec la veine médiane.	Type I
LM 17	Intersection de la veine médiane avec la 2 ^{ème} veine récurrente.	Type I
LM 18	Intersection de la veine médiane avec la 2 ^{ème} veine trans-cubitale.	Type I
LM 19	Intersection de la 1 ^{ère} veine cubitale avec la 2 ^{ème} veine récurrente.	Type I

Tableau 04 : Descriptions morphologiques des 7 points-repères fixés pour l'aile postérieure d'une ouvrière d'abeille d'*Apis mellifera* L

N° LM	Description	Type selon Bookstein (1991)
LM 1	Point de jonction du 1 ^{er} crochet alaire avec la veine radiale.	Type I
LM 2	Intersection de la veine radiale avec le secteur radial.	Type I
LM 3	Intersection de la veine cubito-anale avec la veine cubitale.	Type I
LM 4	Intersection de la veine cubito-anale avec la veine anale.	Type I
LM 5	Intersection de la veine médiane avec la veine cubitale.	Type I
LM 6	Intersection de la veine médiane avec le secteur radial.	Type I
LM 7	Point de jonction du dernier crochet alaire avec la veine radiale.	Type I

6- Procrustes superposition

6.1- Généralités

Dans la mythologie grecque, Procrustes était un bandit qui ajustait ses visiteurs (victimes) à un lit en les étirant ou en les tronquant, minimisant la différence entre ses visiteurs et le lit.

La méthode que nous allons maintenant utiliser pour obtenir des coordonnées de forme est « Procrustean » dans le sens où elle minimise les différences entre les configurations de repères. Contrairement à la mythologique Procrustes, qui a modifié la forme de ses victimes, la méthode mathématique de superposition Procrustes ne modifie pas la forme parce qu'elle utilise les trois opérations qui ne modifient pas la forme : translation, mise à l'échelle et rotation. On peut supposer que les invités de Procrustes auraient préféré qu'il ait fait de même! (Zelditch, 2012)

6.2.1- Procédure de superposition

Rohlf et Slice, (1990) ont présenté une description par étapes de la méthode, les trois étapes s'effectuent en modifiant pas la forme (**Fig. 13**) :

1. « Translation » : Centrez chaque configuration de repères à l'origine en soustrayant les coordonnées de son centroïde des coordonnées correspondantes (X ou Y) de chaque repère. Cela traduit chaque centroïde à l'origine (et les coordonnées des repères reflètent maintenant leur écart par rapport au centroïde).
2. « Normalisation » : Mettre à l'échelle les configurations de repères en fonction de la taille du centroïde en divisant chaque coordonnée de chaque repère par la taille du centroïde de cette configuration.

3. « Rotation » : Choisissez une configuration pour servir de référence, puis faites pivoter la deuxième configuration pour réduire au minimum les distances quadratiques cumulées entre les points de repère homologues (sur tous les points de repère) entre les formulaires. (Zelditch, 2012)

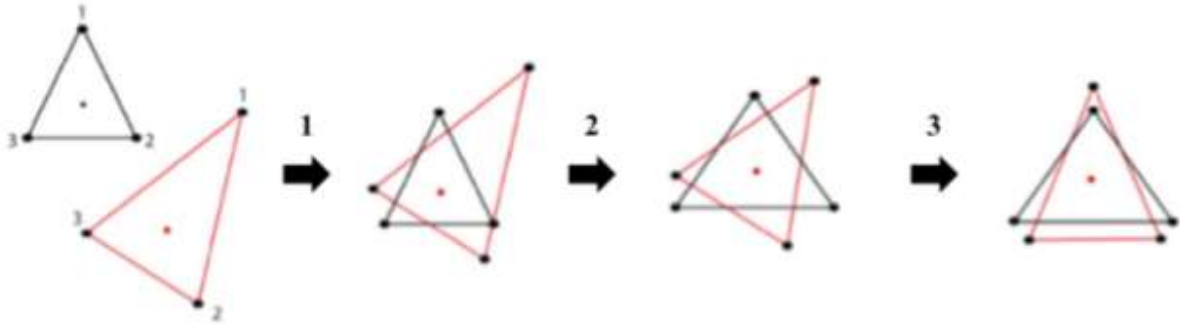


Figure 13 : L'illustration des trois étapes de Procrustes superposition par des triangles. 1) alignement sur la taille centroïde 2) mise à l'échelle 3) rotation des conformations. (Cucchi et al., 2015)

6.2.2- Les plaques minces « Thin-Plate Spline »

En morphométrie géométrique, les plaques minces « Thin-Plate Spline » servent à trois fonctions : la première est son utilisation comme un outil pour visualiser les changements de forme. Deuxièmement, elle fournit les coordonnées du système pour l'espace tangent et dernièrement, la métrique sur laquelle se base la méthode des plaques mince est aussi utilisée pour la superposition des semilandmarks (Zelditch, 2012). L'approche des plaques minces se base sur la projection des points-repères de l'objet de référence et après normalisation par taille centroïde sur grille de transformation quadrillée de façon à visualiser les changements de forme comme déformation. Ensuite, la plaque se déforme d'une manière qui sert à superposer les points-repères de l'objet référentielle avec ceux de de l'objet à comparer. Le découlement direct de ce modèle de déformation physique est la caractéristique principale de cette méthode (Fig. 14).

Au cours de processus de déformation, il est impératif d'appliquer la métrique de l'énergie de déformation (bending energy) sur la grille. Plus la déformation sera localisée c'est à dire limitée à certain points rapprochés, plus l'énergie de cette dernière est importante. Comme résultats, les classes de déformations non localisées représentées essentiellement par l'ensemble des points dont l'énergie de déformation est nulle seront exclues. Ce genre de déformation est de type uniforme ou affine (Baylac, 1996). Les paramètres soustraits des plaques minces en décrivant les déformations faisant passer de

l'objet de référence vers l'objet analysé ne ciblent donc que les déformations de type non-affines ou non uni-forme.

C'est à partir de la conformation de l'objet de référence uniquement que se calcule les déformations non affines. Plus précisément, cette dernière se divise en déformation principale (principal warps) correspondant à des échelles de variables plus ou moins restreints de déformation. C'est à partir du nombre $p-3$ que les déformations principales ne se basent que sur la position relative des points repères de l'objet référentiel. Elles sont propres aux vecteurs spécifiques tirés de la matrice des énergies de déformations et donnent une gamme de descripteurs potentiels des déformations non-affines (Bookstein, 1991). Les déformations partielles ou « partial warps » selon la terminologie de Bookstein correspondent aux paramètres qui décrivent les différences de conformation de l'objet analysé par rapport à un objet de référence. C'est sous la forme de combinaisons linéaires des déformations principales normalisées que les déformations principales mentionnent ces différences de conformation en termes de déformation principale (Baylac, 1996).

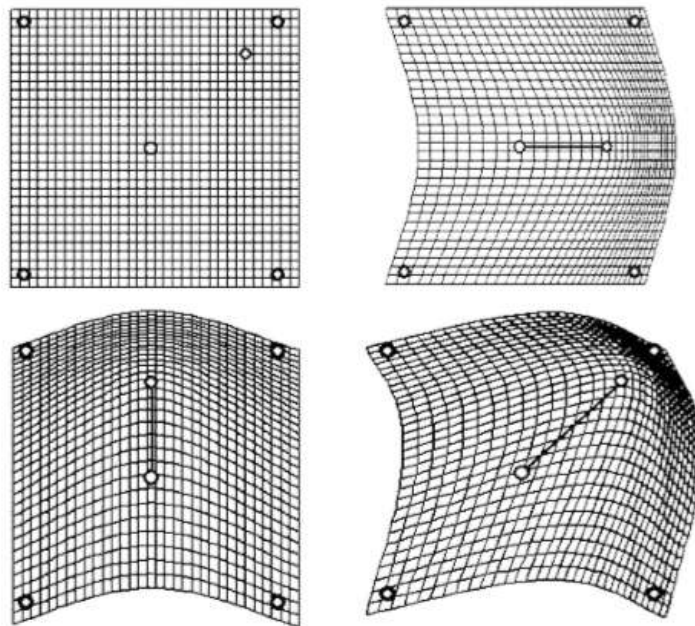


Figure 14 : Construction d'une grille de transformation. Graphes créés par (Slice, 1998).

Chapitre III

Impact des pesticides sur les abeilles

I-INTRODUCTION

Les abeilles continuent d'exister sous pression dans le monde d'aujourd'hui avec de nombreux facteurs biotiques et abiotiques (Zhiguo et al., 2017). La diminution de la quantité et la variété de la flore, les effets des produits agrochimiques, les applications inutiles, les nouveaux parasites propres aux abeilles, changement climatique élargira encore l'ampleur de ce problème dans l'avenir (Goulson et al., 2015; Mitchell et al., 2017; Williamson et Wright, 2013), ces facteurs peuvent agir seuls ou en combinaison. Ces dernières années, la population d'abeilles mellifères et d'autres pollinisateurs est également la source de préoccupations pour la sécurité alimentaire (Abbo et al., 2016), car les abeilles mellifères sont importantes non seulement parce qu'elles produisent du miel et des produits de la ruche, mais aussi parce qu'elles offrent des services de pollinisation (Yalçın et Turgut, 2016). En plus des services de pollinisation (Klatt et al., 2013), elle contribue aussi de façon importante à la nutrition humaine avec des produits comme le miel, le pollen, la cire, la propolis et le lait d'abeille (Ellis et al., 2015; Gray et Peterson, 2017).

Au cours des dernières décennies, on a signalé des pertes alarmantes de colonies d'abeilles dans l'hémisphère nord (Neumann et Carreck, 2010). Environ 20 à 30 % des colonies d'abeilles mellifères ont été perdues au cours de l'hiver 2008-2010 au Canada, en Europe et aux États-Unis (van der Zee et al., 2012). En 2014-2015, la perte annuelle de colonies d'abeilles mellifères aux États-Unis a augmenté de 42 % pendant l'été (Seitz et al., 2016). Cette sévère perte de colonies est appelée effondrement de la colonie (CCD) (Stokstad, 2007).

Les pesticides utilisés contre les ravageurs agricoles sont au premier plan, tout comme le grand nombre des pertes de populations d'abeilles (Goulson et al., 2015; Krupke et al., 2012; Paradis et al., 2013). De plus, les décès d'abeilles constituent des risques environnementaux (Tosi et al., 2017).

La protection de l'environnement dans le contexte du changement planétaire et de la gestion durable des ressources et des écosystèmes est une préoccupation majeure dans le monde entier. La pollution de l'environnement est un problème majeur pour les populations humaines, animales et végétales (Colosio et al., 2005). Des efforts ont été déployés par l'Organisation européenne pour la protection des végétaux et la Communauté européenne pour améliorer l'évaluation des risques liés aux pesticides pour les abeilles (European and Mediterranean PPO, 1993 ; European Commission, 1996).

Les bioindicateurs représentent de bons témoins de la santé environnementale et leur présence au niveau de la structure des populations, pourrait être considérée comme hautement informative (Badiou-Bénéteau et al., 2013). Pour cela, l'abeille domestique, *Apis mellifera*, est couramment utilisée en écotoxicologie comme espèce modèle pour évaluer les effets de polluants (Gagnaire, et al., 2019).

L'objectif principal de ce chapitre est d'exposer d'une manière claire les pesticides en particulier la classe des insecticides plus précisément « Imidaclopride », ainsi de présenter leurs mécanismes d'actions et leurs différents impacts sur les abeilles.

II- LE SYNDROME DE « CCD »

Avec le premier rapport sur la « maladie de l'île de Wight » et les pertes soudaines de colonies en 1906 (Neumann et Carreck, 2010), les pertes de colonies d'abeilles mellifères ont attiré l'attention du monde entier. Ces pertes ont été causées par de multiples raisons, le « CCD » (Colony Collapse Disorder) est l'une des causes catégorisée par la disparition de la majorité des ouvrières dans une ruche avec des preuves limitées d'abeilles mortes, quelques abeilles nourricières, mais beaucoup de nourriture et de reines dans la colonie (Yao et al., 2018)

1- Définition de « CCD »

Le trouble de l'effondrement de la colonie, ou « CCD », était le premier décrit aux États-Unis en 2006. Ses symptômes sont distincts des autres épidémies de perte et comprennent les éléments suivants :

- Colonies trouvées soudainement vides d'abeilles adultes, laissant leur couvain sans surveillance
- Aucun signe d'abeilles mortes
- Absence de parasites de la ruche ou de prédateurs de nourriture, malgré le surplus de miel et de pollen emmagasiné
- Les parasites communs ne sont pas présents à des niveaux qui pourraient causer un déclin de la population

2- Origine du « CCD »

Les populations d'abeilles mellifères ont diminué de façon constante aux États-Unis depuis 1947, à un taux graduel moyen de 1 % par année. Les baisses les plus marquées ont été enregistrées depuis 1987. Mais les quatre derniers hivers ont connu des pertes extraordinaires de 29 à 36% par an en moyenne (vanEngelsdorp et al., 2007, 2008, 2008 et 2011). La plupart des scientifiques conviennent qu'il n'y a pas de cause unique de CCD.

Plutôt, les déclinés de la population récente sont probablement causés par une combinaison de facteurs agissant pour affaiblir les colonies d'abeilles au point de s'effondrer (Watanabe et al., 2008); La science émergente met l'accent sur l'immunité affaiblie. Les principaux suspects dans ce complexe causal comprennent le stress nutritionnel, les agents pathogènes et les pesticides.

2.1- Stress nutritionnel

Le stress nutritionnel nuit la santé des colonies par divers mécanismes, y compris les dommages au système immunitaire et la réduction de la viabilité de la reproduction. Un élément clé du stress nutritionnel des abeilles mellifères est la perte d'habitat qui se traduit par une alimentation moins variée et donc moins nutritive. La perte d'habitat est constante depuis 50 ans et a des effets mesurables sur la santé des abeilles. Par exemple, les différences régionales dans les rapports entre les terres ouvertes et les terres développées ont attribué à des pertes de colonies plus élevées. L'un des principaux facteurs de la perte récente d'habitat est l'utilisation accrue d'herbicides à large spectre et qui accompagnent les organismes génétiquement modifiés résistants aux herbicides (Benbrook et al., 2009)

2.2- Pathogènes

Les agents pathogènes comme les acariens parasites, les virus et les champignons du tractus intestinal ont suscité le plus d'attention médiatique comme facteurs causals du CCD. De nombreuses études ont toutefois confirmé qu'aucun agent pathogène n'est associé à ce syndrome tout seul. Dans une analyse d'études publiées au début de 2009, deux chercheurs américains de premier plan ont noté que « Aucun agent pathogène trouvé dans les insectes n'a pu expliquer l'ampleur de la disparition. En d'autres termes, les abeilles étaient toutes malades, mais chaque colonie semblait souffrir d'une combinaison différente de maladies » (Cox-Foster et al., 2009). Les acariens parasites du genre *Varroa* sont les plus importants ravageurs des abeilles mellifères à l'échelle mondiale (vanEngelsdorp et al., 2010) et servent de vecteurs pour transmettre un certain nombre de virus qui affaiblissent considérablement les colonies. Le virus de l'aile déformée et un trio de virus de paralysie (le virus couvain sacciforme (SBV), le virus de la cellule noire de la reine (BQCV) et le virus de la paralysie chronique de l'abeille (CBPV)) sont également apparus comme importants pour les pertes de colonies, tout comme un champignon pathogène de l'intestin du genre *Nosema*). De nouvelles recherches sur les microbiotes indiquent une perturbation possible des cultures symbiotiques normales de l'intestin des abeilles par une combinaison de facteurs de stress résultant d'une sensibilité accrue aux agents pathogènes.

2.3- Pesticides

On sait que les pesticides causent la mort d'abeilles à grande échelle depuis le début des années 1900, souvent par empoisonnement direct pendant les aires de trafic aériennes. Ces types de mortalité aiguë des abeilles ne sont pas en cause dans le CCD, bien qu'ils se produisent encore. La réglementation et l'élimination progressive des pesticides à toxicité aiguë ont réduit le nombre d'empoisonnements aigus dans la plupart des régions d'Europe et d'Amérique du Nord, mais l'exposition des abeilles à de multiples pesticides se poursuit. Les effets aigus et sublétaux sont des sources de préoccupation comme les pesticides néonicotinoïdes systémiques présents en petites quantités dans les tissus végétaux. De la semence à la récolte, les néonicotinoïdes sont devenus un segment important et en croissance rapide avec le marché mondial des insecticides depuis leur introduction dans les années 1990 (Jeschke et al., 2008). Parmi les autres pesticides préoccupants figurent ceux utilisés par les apiculteurs pour contrôler les agents pathogènes. Certains fongicides sans danger pour les abeilles ont été trouvés récemment mais leur synergie avec certains néonicotinoïdes, augmente la toxicité de ces derniers par 200 à 1000 fois (Iwasa et al., 2004).

III- LES PESTICIDES

L'énorme efficacité des pesticides dans les applications agricoles pour améliorer la productivité des produits de base a entraîné une augmentation rapide de la production et de l'utilisation. Toutefois, ils constituent une menace importante en raison de leurs qualités toxicologiques, de leur universalité, de leur persistance, de leur existence et de leur concentration dans la chaîne alimentaire. Ils représentent une véritable menace et sont aujourd'hui considérés comme l'un des contaminants environnementaux les plus importants, laissant des résidus dangereux dans l'air, le sol et l'eau (Urban et Cook, 1986 ; Rakitsky et al., 2000 ; McCarroll et al., 2002 ; Pereg et al., 2002 ; Sanderson et al., 2002 ; Perera et al., 2005 ; Watanabe-Akanuma et al., 2005). En raison de leur utilisation généralisée dans l'agriculture, l'industrie et la médecine, ils posent un grave problème mondial.

1- Définition des pesticides

L'expression pesticide vient du mot anglais « Pest », qui désigne tout organisme vivant (virus, bactéries, champignons, graminées, vers, mollusques, insectes, rongeurs, mammifères et oiseaux) qui est nocif aux humains et/ou à l'environnement (Periquet, 1986).

Selon le Codex Alimentarius (FAO/OMS, 1994), Les pesticides sont définis comme toute substance conçue pour neutraliser, prévenir, éliminer, attirer, repousser ou contrôler tout organisme nuisible, plante ou insecte pendant la production, l'entreposage, le transport, la distribution ou la transformation d'aliments, de produits agricoles ou d'aliments pour animaux (Dalal, 2006).

Encore nommés produits phytopharmaceutiques, les pesticides sont tous des produits chimiques naturels ou synthétiques utilisés en agriculture pour lutter contre divers types de ravageurs (maladies, ravageurs et mauvaises herbes) à l'exception des médicaments médicaux et vétérinaires. Cependant, une variété de produits peut être à usage mixte. Certaines applications ne sont pas strictement agricoles (traitement du bois à l'extérieur ou à l'intérieur, voies ferrées, allées de cimetières et de jardins, etc.). De même, l'élimination des maladies transmises par les insectes (paludisme, trypanosomiase et fièvre jaune) devrait justifier une utilisation à large spectre des insecticides.

Les pesticides sont souvent classés en fonction du ravageur nuisible qu'ils sont censés à tuer (insecticides (insectes), acaricides (acariens), aphicides (pucerons), ovicides (œufs), larvicides (larve), herbicides (plantes indésirables), fongicides(champignons), molluscicides (mollusques), hélicides (escargots), rodenticides (rongeurs), taupicides (taupes), corvicides (oiseaux), termicides (termites), les produits répulsifs...) (Lederer et al., 1983).

Une autre classification des pesticides de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en fonction de leur degré de toxicité est largement reconnue et utilisée par les gouvernements du monde entier. Voici une liste des classifications des pesticides (Manuel de formation sur les pesticides, 2004) :

<i>AC</i>	Acaricide (contrôle des acariens)
<i>AP</i>	Aphicide B Bactériostatique (sol)
<i>FM</i>	Fumigant
<i>F</i>	Fongicide, autres que ceux utilisés pour le traitement des semences
<i>FST</i>	Fongicide, pour le traitement des semences
<i>h</i>	herbicide
<i>I</i>	Insecticide
<i>IGR</i>	Insecticide régulateur de croissance
<i>Ix</i>	Ixodicide (contrôle des tiques)

<i>L</i>	Larvicide M Molluscicide (contrôle des limaces)
<i>MT</i>	Miticide
<i>N</i>	Nématocide (contrôle des nématodes à kystes)
<i>O</i>	Autres usages contre les agents pathogènes des plantes
<i>PGR</i>	Régulateur de croissance des plantes
<i>R</i>	Rongicide
<i>RP</i> ()	répulsif (espèce)
-S	Appliqué au sol, non utilisés avec les herbicides/PGRS
<i>SY</i>	Synergiste

2- Histoire des pesticides

Les malheurs survenus dans les cultures depuis très longtemps, la recherche et l'expérimentation ont constituées les moyens de lutte contre les maladies des céréales, les pommes de terre, et les vignes, ou pour limiter le développement des insectes nuisibles ont été publiés dans des périodiques de l'agriculture du XVIIIe siècle. Le soufre a été utilisé dans la Grèce antique dès 1000 avant JC, selon les preuves archéologiques. Dans les travaux d'Homère, le soufre est cité comme agent de fumigation. De même, Pline l'Aîné, naturaliste romain du I^{er} siècle, prône l'utilisation de l'arsenic comme pesticide dans ses écrits (Bonnefoy, 2012).

De nombreuses caractéristiques toxiques des plantes ont été progressivement découvertes. En 1135, Maïmonide a rédigé *un traité sur les poisons*. Leur utilisation comme pesticides est de plus en plus répandue. Au Moyen Âge, *l'aconit* a été utilisé pour repousser la vermine. La roténone est utilisée comme insecticide en Inde depuis la fin du XVI^{ème} siècle. On découvre les effets insecticides de *la nicotine*, dérivée du tabac, un siècle plus tard (Bonnefoy, 2012).

Avec l'essor de la chimie minérale au 19^{ème} siècle, divers insecticides minéraux faits à partir de sels de cuivre sont devenus disponibles. Les fongicides à base de *sulfate de cuivre* sont de plus en plus utilisés. *La bouillie bordelaise*, un mélange de sulfate de cuivre et de chaux, a été développé à cette époque pour lutter contre les maladies cryptogamiques de la vigne et de la pomme de terre, comme le mildiou (Bonnefoy, 2012).

Les arboriculteurs de Montreuil ont pulvérisé avec succès leur pêche infestée de pucerons avec du jus de tabac en 1763, ce qui en fait le premier essai de lutte chimique délibéré. Le sulfate de cuivre a été utilisé pour prévenir la carie du blé en 1807, et le

chlorure mercurique a été présenté comme un moyen de protéger le bois (Delisle et al., 1993).

En 1885, les français ont utilisé la bouillie bordelaise (mélange de sulfate de cuivre et de chaux) contre le mildiou de la vigne.

C'est à partir du milieu du 19^{ème} siècle que la lutte chimique a été manifestée, avec des produits d'origine naturelle tels que la roténone et le pyrèthre. En 1885, la bouillie bordelaise (mélange de sulfate de cuivre et de chaux) a été appliquée par les Français contre le mildiou.

Les pesticides à base d'arsenic étaient largement utilisés vers 1920, mais les fruits et légumes traités avec ces pesticides contenaient des toxines à des niveaux qui pourraient être mortels pour les consommateurs (Osweiler et al., 1985). Par conséquent, les chercheurs ont commencé à chercher des produits moins dangereux. La première des produits agro-pharmaceutique a commencé au début des années 1930, avec la découverte des propriétés insecticides des thiocyanates d'alkyle et d'autres comme l'anilide salicylique en 1931, et les dithiocarbamate en 1934.

La priorité après la Première Guerre mondiale était d'augmenter les rendements agricoles afin d'atténuer la pénurie alimentaire. En utilisant du goudron et des huiles de pétrole, cyanamide de calcium et acide sulfurique ont formés la pharmacopée de base des phytothérapeutes, cet usage a commencé à décliner rapidement au début de la Seconde Guerre mondiale avec l'avènement du dichlorodiphényltrichloro éthane, ou « DDT », dont les caractéristiques insecticides ont été découvertes en Suisse vers 1939 et exploitées par la défense américaine depuis 1942 contre les vecteurs du typhus et de la malaria. sexton templeman ont découvert le premier herbicide systémique et sélectif, l'acide 2,4 dichlorophénoxyacétique, en Grande-Bretagne en 1943. (2-4-D).

Hexachlorocyclohexane (HCH) est largement utilisé contre les criquets, les chafers et les doryphores depuis 1943. Deuxièmement, dans les années 1945 et 1946, des produits à base d'insecticide comme le méthoxychlore, le chlordane et même le lindane ont été introduits. Paul Muller, qui a travaillé dans le laboratoire des fabricants de balles Geigy, a reçu le prix Nobel de médecine en 1948 pour avoir spécifié l'action insecticides du DDT.

En 1950, les pénuries de cuivre et de soufre en temps de guerre ont déclenché une vague de recherches sur les pesticides organiques, y compris sur les fongicides pour le traitement des semences comme l'hexachlorobenzène et le quintozone, les rodenticides dérivés de l'hydroxycoumarine, de l'organophosphate ou des insecticides chlorés comme

le parathion, malation, aldrine et désherbants sélectifs de la famille des aryloxyacides (Oussama, 2018).

Le captane a été développé pour la première fois comme fongicide en 1951 par la Standard Oil Company. De nouveaux produits ont été lancés un an plus tard : l'endrine et l'heptachlore. Le toxaphène et les polychlorocamphanes ont été mis au point comme insecticides pour le colza en 1956. Puis, en 1959, Imperial Chemical Industries ICI (l'une des principales entreprises du secteur international de la chimie) a lancé deux herbicides hautement toxiques, le diquat et le paraquat, un an avant la découverte de l'action insecticide de l'endosulfan. Par la suite, de nouvelles solutions herbicides ont été développées pour relever les défis du désherbage des betteraves et du colza, ainsi que pour lutter contre la vulpin et l'avoine sauvage dans les céréales : doguadine, phosalon, fenitrothion, diméthoate.

DU PONT et ICI ont créé les premières fongicides systémiques curatives (benzimidazoles et pyrimidines) en 1966. De plus, plusieurs pesticides organochlorés ont vu leur homologation révoquée cette année (World wildlife fund wwf, 1998).

En 1972, les chercheurs ont découvert une nouvelle famille de benzoylphénylphénylurées qui travaillent sur la biosynthèse de chitine d'une manière différente des organochlorés et des organophosphates, qui sont de principe des neuro-actifs, pour réduire les populations d'insectes indésirables.

La deltaméthrine a été développée pour la première fois en 1974 par ROUSSEL UCLAF en France (insecticide de la famille des pyréthroïdes). Le marché des insecticides a été bouleversé par ce produit chimique, qui est actif à faible dose et raisonnablement sans danger pour les mammifères. RHONE POULENC a libéré du phosethyl aluminium (fongicide) en 1997, ce qui constitue une nouvelle méthode de lutte en favorisant la synthèse de produits fongitoxiques par la plante infectée (Oussama, 2018).

Au cours de la première moitié du quatre-vingt du 20^{ème} siècle, une douzaine de nouveaux composés actifs ont été introduits sur le marché : le thiazole, qui inhibe la synthèse de l'ergostérol; et sulfonylurée, qui est sélective et active à des doses de quelques grammes par hectare et qui domine le marché des herbicides depuis une quinzaine d'années.

Malheureusement, l'apparition rapide de certaines résistances résulte de l'introduction des produits systémiques. En conséquence, 17 nouvelles espèces résistantes au bénomyl ont été découvertes. La recherche se concentre donc sur le développement de propesticides, composés dérivés de pesticides qui peuvent reconstituer le pesticide dans les

conditions d'utilisation par hydrolyse, photolyse ou métabolisation, tout en étant moins nocif pour les humains et les mammifères et plus facile à stocker et à manipuler.

Le grand nombre de produits sur le marché et les exigences réglementaires (licences, normalisation, etc.) ont rendu la concurrence entre les secteurs phytosanitaires plus intense depuis les années 1990 (Oussama, 2018).

3- Classification des pesticides

La nature chimique, mécanisme d'action exercé, la nature de l'espèce nuisible, moment et lieu d'application sont tous des critères sur lesquels la classification des pesticides se repose. Ya plusieurs classes de pesticides mais ne seront développés ici que les insecticides.

3.1- Les insecticides

Les insecticides sont des substances chimiques utilisés pour éliminer les arthropodes. Ils peuvent être utilisés contre les larves (larvicides), les œufs (larvicides) ou les adultes. Ils doivent être nuisibles pour les insectes ravageurs et sans danger pour les organismes non ciblées.

3.1.1- Les différentes familles d'insecticides et leurs modes d'action

Les familles d'insecticides ont proliféré ces dernières années. Ils peuvent être divisés en groupes selon leurs modes de fonctionnement et leurs natures de cibles (Insecticide mode of action classification, IRAC, 2017). Ces cibles comprennent notamment les enzymes, les protéines, les canaux et les récepteurs. Certaines familles affectent la croissance en empêchant les insectes de muer (la famille de diacylhydrazines), tandis que d'autres, comme la benzoylurée, interfèrent avec leur développement (**Tab. 05**). Les insecticides interviennent également dans la respiration cellulaire et, dans une moindre mesure, dans la contraction musculaire. *Le Bacillus thuringiensis*, par exemple, peut être utilisé parce qu'il produit des endotoxines qui sont délétères pour les insectes.

Tableau 05 : Liste de la classification de l'IRAC des insecticides et des acaricides selon le mode d'action.

Principaux groupe/site d'action cibles	Sous-groupe chimique ou exemplification de la MA	Exemples de matière active
Inhibiteurs d'acétylcholinestérase (AChE) Système nerveux	Carbamates	Alanycarb, Aldicarb, Bendiocarb, Benfuracarb, Butocarboxim, Butoxycarboxim, Carbaryl, Carbofuran, Carbosulfan, Ethiofencarb, Fenobucarb, Formetanate, Furathiocarb, Isoprocarb, Methiocarb, Methomyl, Metolcarb, Oxamyl, Pirimicarb, Propoxur, Thiodicarb, Thiofanox, Triazamate, Trimethacarb, XMC, Xyllycarb
	Organophosphorés	Acephate, Azamethiphos, Azinphos-ethyl, Azinphosmethyl, Cadusafos, Chlorethoxyfos, Chlorfenvinphos, Chlormephos, Chlorpyrifos, Chlorpyrifos-methyl, Coumaphos, Cyanophos, Demeton-Smethyl, Diazinon, Dichlorvos/ DDVP, Dicrotophos, Dimethoate, Dimethylvinphos, Disulfoton, EPN, Ethion, Ethoprophos, Famphur, Fenamiphos, Fenitrothion, Fenthion, Fosthiazate, Heptenophos, Imicyafos, Isofenphos, Isopropyl O-(methoxyaminothio-phosphoryl) salicylate, Isoxathion, Malathion, Mecarbam, Methamidophos, Methidathion, Mevinphos, Monocrotophos, Naled, Omethoate, Oxydemeton-methyl, Parathion, Parathionmethyl, Phenthoate, Phorate, Phosalone, Phosmet, Phosphamidon, Phoxim, Pirimiphos-methyl, Profenofos, Propetamphos, Prothiofos, Pyraclofos, Pyridaphenthion, Quinalphos, Sulfotep, Tebupirimfos, Temephos, Terbufos, Tetrachlorvinphos, Thiometon, Triazophos, Trichlorfon, Vamidothion
Bloqueur des canaux chlorures GABA-gated Système nerveux	Cyclodiène organochlorés	Chlordane, Endosulfan
	Phénylpyrazoles (Fiproles)	Ethiprole, Fipronil
Principaux groupe/site d'action cibles	Sous-groupe chimique ou exemplification de la MA	Exemples de matière active
Modulateurs des compétiteurs des récepteurs nicotiques de l'acétylcholine (nAChR) Système nerveux	Néonicotinoïdes	Acetamiprid, Clothianidin, Dinotefuran, Imidacloprid, Nitenpyram, Thiacloprid, Thiamethoxam
	Nicotine	Nicotine
	Sulfoximines	Sulfoxaflor
	Butenolides	Flupyradifurone
	Mesoionics	Triflumezopyrim
Destructeurs microbiens de la membrane de	<i>Bacillus thuringiensis</i> et les protéines insecticides qu'il produit	<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. kurstaki <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. aizawai <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. Tenebrionis <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp.

l'intestin moyen de l'insecte		israelensis Les proteïns B.t. : Cry1Ab, Cry1Ac, Cry1Fa, Cry1A.105, Cry2Ab, Vip3A, mCry3A, Cry3Ab, Cry3Bb, Cry34Ab1/Cry35Ab1 11B
	<i>Bacillus sphaericus</i>	Bacillus sphaericus
Inhibiteurs de la biosynthèse de la chitine, type 0 Régulation de croissance	Benzoylureas	Bistrifluron, Chlorfluazuron, Diflubenzuron, Flucycloxuron, Flufenoxuron, Hexaflumuron, Lufenuron, Novaluron, Noviflumuron, Teflubenzuron, Triflumuron
Modulateurs des canaux sodiques Système nerveux	Pyréthriñoïdees, Pyréthrienes	Acrinathrin, Allethrin, d-cis-trans Allethrin, d-trans Allethrin, Bifenthrin, Bioallethrin, Bioallethrin Scyclopentenyl isomer , Bioresmethrin, Cycloprothrin, Cyfluthrin, beta-Cyfluthrin, Cyhalothrin, lambdaCyhalothrin, gamma-Cyhalothrin, Cypermethrin, alpha-Cypermethrin, beta-Cypermethrin, thetacypmethrin, zeta-Cypermethrin, Cyphenothrin , (1R)-trans- isomers], Deltamethrin, Empenthrin (EZ)-(1R)- isomers], Esfenvalerate, Etofenprox, Fenpropathrin, Fenvalerate, Flucythrinate, Flumethrin, tau-Fluvalinate, Halfenprox, Imiprothrin, Kadethrin, Permethrin, Phenothrin [(1R)-trans- isomer], Prallethrin, Pyrethrins (pyrethrum), Resmethrin, Silafluofen, Tefluthrin, Tetramethrin, Tetramethrin [(1R)-isomers], Tralomethrin
	DDT, Methoxychlor	DDT, Methoxychlor
Modulateurs allostériques des récepteurs nicotiniques de l'acétylcholine Système nerveux	Spinosynes	Spinotoram, Spinosad
Modulateurs allostériques des canaux chloriques glutamate-gated (GluCl) Système nerveux et muclé	Avermectines, Milbemycines	Abamectine, Emamectine benzoate, Lepimectin, Milbemectin
Principaux groupe/site d'action cibles	Sous-groupe chimique ou exemplification de la MA	Exemples de matière active
Imitateur de l'hormone juvénile Régulation de croissance	Analogues des hormones juvéniles	Hydroprene, Kinoprene, Methoprene 7B
	Fenoxycarb	Fenoxycarb
	Pyriproxyfen	Pyriproxyfen
Inhibiteurs de l'ATP synthétase mitochondriale Respiration	Diafenthion	Diafenthion
	Mitocides organostanniques	Azocyclotin, Cyhexatin, Fenbutatin oxide
	Propargite	Propargite
	Tetradifon	Tetradifon
Bloqueurs des récepteurs des canaux nicotiniques de l'acétylcholine	Analogues des nereistoxines	Bensultap, Cartap hydrochloride, Thiocyclam, Thiosultapsodium

Système nerveux		
Inhibiteurs de la biosynthèse de la chitine, type 1 Régulation de croissance	Buprofezin	Buprofezin
Perturbateurs de la mue, Diptères Régulation de croissance	Cyromazine	Cyromazine
Antagonistes des récepteurs des ecdisomes Régulation de croissance	Diacylhydrazines	Chromafenozide, Halofenozide, Methoxyfenozide, Tebufenozide
Bloqueurs des canaux sodiques voltage dépendant Système nerveux	Oxadiazines	Indoxacarbe
	Semicarbazones	Métaflumizone
Inhibiteurs de l'acétyl CoA carboxylase Régulation de croissance et de la synthèse des lipides	Derivés des acides tetronique et tetramique	Spirodiclofen, Spiromesifen, Spirotetramat

Cependant, une classe qui correspond à neurotoxique reste généralement dominante en raison de sa grande efficacité. Ils contiennent une variété de pesticides, y compris des organochlorés et des néonicotinoïdes, qui fonctionnent au niveau du système nerveux . D'autres insecticides sont également utilisés, mais leur cible et leur mode d'action ne sont pas aussi clairs et restent méconnus comme celui de la bifénazate (Casida, 2009). Toutes ces familles de pesticides agissent sur des cibles bien précises.

3.1.1.1- Les néonicotinoïdes :

Les néonicotinoïdes comptent parmi les insecticides agricoles les plus répandus pour protéger les cultures contre les insectes nuisibles (Goulson, 2013; Woodcock et al., 2017). Ils représentent plus de 25 % des insecticides sur le marché en 2010 (van der Sluijs et al., 2013). Souvent, des insectes non ciblés, comme les abeilles domestiques, entrent en contact avec ces insecticides la raison pour laquelle ils sont de plus en plus blâmés pour avoir causé des mortalités élevées en laboratoire, ainsi que des pertes de colonies, soit seules (Henry et al., 2012. ; Tison et al., 2016) ou en conjonction avec d'autres facteurs de stress (Nazzi et al., 2014 ; Doublet et al., 2015).

A- Biodisponibilité des néonicotinoïdes

La biodisponibilité des néonicotinoïdes est considérée à un niveau élevé tout au long de l'année, selon les mesures de lutte antiparasitaire respectives dans un large éventail de plantes agricoles et horticoles (Bonmatin et al., 2015). Les néonicotinoïdes présentent une longue persistance dans le sol, par exemple, la demi-vie de la clothianidine dans le sol se situe entre 148 et 6900 jours (Rexrode et al., 2003). En outre, leur haute capacité à diffuser dans l'ensemble des plantes en raison de leurs propriétés systémiques leur permettent de se propager à travers le xylème dans les plantes en croissance. Ils sont également utilisés dans l'ensemencement pour la protection contre les insectes du sol; ils sont absorbés par l'appareil radical et sont ensuite répartis uniformément, en maintenant une concentration efficace de substance active dans les jeunes plantes. Leur utilisation est très large : fruits à pépins, fruits à noyau, agrumes, raisin, cultures horticoles et industrielles, fleurs et plantes ornementales. Les pucerons, les aleurodes, les sauterelles, les cochenilles, les lépidoptères, les insectes du sol et le doryphore de la pomme de terre font partie des ravageurs ciblés (Muccinelli, 2008).

Leurs absorption par les cultures et les plantes sauvages ainsi que la diffusion dans plusieurs matrices entraînent la contamination du nectar, du pollen (Cutler et al., 2014; Botias et al., 2015) et de l'eau qui ont été récoltés par des butineurs d'abeilles et transportés au nid (Joachimsmeier et al., 2012; Samson-Robert et al., 2014).

Toutefois, dans des conditions réalistes, peu d'information est connue sur le niveau d'exposition par voie orale ou par contact, que ce soit par l'intermédiaire d'aliments contaminés (nectar, pollen et eau) ou d'autres surfaces et matrices (examiné par Alkassab et Kirchner, 2017). Par conséquent, l'exposition des organismes non visés, par exemple, les abeilles Apis et non Apis, aux pesticides par les résidus à des concentrations différentes est actuellement un enjeu vital dans le processus d'évaluation des risques (Spurgeon et al., 2016). Les néonicotinoïdes présentent une sélectivité élevée aux insectes par rapport aux mammifères (Tomizawa et Casida, 2005).

B- Mécanisme d'action des néonicotinoïdes

D'une manière générale et par le biais de la liaison de forte affinité aux récepteurs l'acétylcholine, les néonicotinoïdes bloquent efficacement la liaison de l'acétylcholine et des cellules surstimulées, conduisant paralysie et mort de cellules et/ou d'individus (Nauen et al., 2003).

1- Le récepteur nicotinique à l'acétylcholine

Les néonicotinoïdes et les spinosynes ciblent tous deux le récepteur nicotinique de l'acétylcholine (nAChR). L'acétylcholine est le principal neurotransmetteur excitateur dans le système nerveux central des insectes, ce qui permet une neurotransmission rapide.

L'acétylcholine se lie au nAChR au site de liaison après avoir été libérée dans la fente synaptique. Cette fixation va provoquer un changement de la conformation du récepteur, permettant l'ouverture et aux ions de passer de manière sélective (un courant entrant des ions Na^+ et Ca^{2+} et un courant sortant de K^+). Ces courants perturberont l'équilibre de la membrane et provoqueront une dépolarisation de la membrane, ce qui permettra la neurotransmission.

La sensibilité des sous-types de récepteurs distincts à l'acétylcholine est variable. Par conséquence, la composition des sous-unités a un impact sur les caractéristiques de la pharmacologie des récepteurs. Chez les insectes, on ne sait pas exactement la composition des sous-unités des nAChRs. Cependant, les études du comportement chez les abeilles révèlent la présence de nombreux sous-types de récepteurs, dont deux sont particulièrement sensibles à la -bungarotoxine (Thany et al., 2007).

La fixation des néonicotinoïdes au nAChR provoque l'ouverture du canal, permettant l'entrée d'ions Na^+ et Ca^{2+} ainsi que l'émission d'ions K^+ . Le potentiel membranaire est perturbé par ces courants ioniques, ce qui entraîne une dépolarisation. Comme l'acétylcholinestérase ne peut pas décomposer ces insecticides dans la fente synaptique, leurs activités s'étendent au nAChR, provoquant une dépolarisation permanente de la membrane, qui provoque la paralysie et la mort de l'insecte.

Cependant, certains néonicotinoïdes ont été associés à une augmentation de la mortalité des abeilles au cours des dernières années. L'utilisation de trois néonicotinoïdes (clothianidine, imidaclopride et thiametoxam) pour les semences, le sol et le traitement foliaire a été interdite par la Commission européenne en 2013, concernant plus de 75 cultures. Cette interdiction entrera en vigueur le 1er décembre 2013 et durera deux ans.

2- Imidaclopride

Les composés chloronicotinylés sont une classe d'insecticides sélectifs récemment découverts et comprennent l'imidaclopride (1-(6-chloro3-pyridylmethyl)-N-nitroimidazolidin-2-ylideneamine), une molécule systémique de nitroguanidine dont le mode d'action entraîne une concurrence agonistique avec le récepteur nicotinique de l'acétylcholine des insectes (Soloway et al., 1978 ; Tomizawa et al., 1995). L'imidaclopride est extrêmement efficace contre les insectes suceurs et certaines espèces

d'hétéroptères, de coléoptères et de lépidoptères, alors que les vertébrés semblent relativement insensibles (Liu et al., 1993 ; Yamamoto et al., 1998) . Contrairement à la nicotine, l'imidaclopride est un exemple frappant d'un produit à forte activité insecticide et à faible toxicité pour les mammifères. Les principales applications de l'imidaclopride comprennent l'ensemencement, la pulvérisation et l'utilisation de pilules et de granulés (Pfluger et al., 1991). Avec l'enrobage des semences, les insectes peuvent être empoisonnés par voie orale par les composés parents ou métabolites. Avec la pulvérisation, le nectar peut également être contaminé et les abeilles sont empoisonnées soit par contact direct avec le produit, soit par contact avec ses résidus.

C- Evaluation de la toxicité des insecticides chez l'abeille

Pendant longtemps, la détermination de la dose létale 50 (DL50), la dose qui tue 50 % des effectifs, a été le moyen pour évaluer les effets des produits chimiques sur les arthropodes en laboratoire donc en conditions contrôlées sans tenir compte des conséquences sublétales (Croft., 1990).

Deux critères sur lesquels se base la classification des tests de toxicité

- Le premier est relatif à la durée d'exposition. Cela peut être aigu (une seule dose administrée une fois), chronique (administration à faible dose répétée pendant le cycle de vie d'une ouvrière) ou subchronique (faibles doses répétées et administrées à moins d'un cycle de vie).
- Le deuxième critère concerne les impacts biologiques qui ont été mesurés : létaux (causant la mort chez la personne exposée) ou sublétaux (tout effet biologique quantifiable qui n'entraîne pas la mort chez la personne exposée) (Moriarty, 1969).

La plupart des recherches des effets des produits phytopharmaceutiques sur les abeilles se concentrent sur les effets aigus, sous-estimant les conséquences létales et l'exposition chronique (Devilleers et Doré, 2000; Decourtye, 2002). Les abeilles, par contre, peuvent être exposées à des niveaux faibles de toxiques et d'une façon répétée sur les cultures ou dans la ruche. De nombreuses études ont documenté l'accumulation de composés des insecticides dans la ruche à la suite de la contamination par le pollen ou le nectar (Decourtye, 2002).

Bien qu'il soit possible de réduire les problèmes potentiels en traitant les semences et en ne pulvérisant pas les cultures à fleurs (Tomlin, 2003), des mortalités alarmantes d'abeilles, clairement dues à l'utilisation de néonicotinoïdes pour l'ensemencement ou la pulvérisation de cultures, ont été enregistrées dans de nombreux pays au cours des dernières années et diverses limitations de leur utilisation ont été appliquées (Greatti et al.,

2003; 2006; Colin et al., 2004; Janke et al., 2009; Pistorius et al., 2009; Forster et al., 2009; Marzaro et al., 2011).

Avant l'homologation, les pesticides formulés font actuellement l'objet de divers tests pour évaluer le risque que posent ces molécules pour les abeilles mellifères. Dans l'Union européenne, les lignes directrices N° 170 de l'Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des végétaux (OEPP/EPPO, 2001) et la procédure d'évaluation des risques relatifs (OEPP/EPPO, 2003) sont généralement suivies, mais leur efficacité pour l'insecticide systémique a récemment été remise en question en ce qui concerne les néonicotinoïdes (Halm et al., 2006).

Bien que les essais semi-terrain et sur le terrain et/ou l'évaluation approfondie des effets chroniques, sublétaux et comportementaux soient généralement nécessaires pour bien comprendre les effets secondaires des néonicotinoïdes sur les abeilles mellifères (Maini et al., 2010), il semble probable que de nouvelles informations pourraient également découler de tests de toxicité aiguë, s'ils étaient effectués selon des procédures différentes des lignes directrices de l'OEPP/EPPO. Ainsi, des méthodes qui avaient été précédemment conçues pour tester l'action des insecticides sur les abeilles mellifères par Arzone et Vidano (1980) ont été utilisées. Ces méthodes diffèrent surtout des dispositions de l'OEPP/EPPO (2003), étant donné que le comportement et la mortalité des abeilles mellifères sont contrôlés à plusieurs reprises lors des tests d'ingestion et que les tests de contact indirects sont préférables aux tests de contact thématiques, car ils permettent de mieux simuler la situation sur le terrain. De plus, la plupart des essais « standard » menés à ce jour tendent à être de courte durée (48-96 h) (OECD, 1998a, b) avec une dose de « pouls » souvent limitée aux expositions topiques pour tester la toxicité par contact.

Les lignes directrices de l'Organisation pour la protection des végétaux(OEPP) N° 170 proposent d'évaluer les effets des produits agrochimiques sur les abeilles mellifères. L'approche repose sur un système d'évaluation à trois niveaux comprenant des études préliminaires dans des conditions de laboratoire, suivies d'études semi-terrain et complétées par des études sur le terrain. Conformément à la présente directive et au schéma de prise de décision annexé aux lignes directrices de l'OEPP (OEPP/EPPO, 2003), le passage du niveau 1 (études de laboratoire) au niveau 2 (études semi-terrain) dépend d'un critère déclencheur, le taux d'application sur le terrain du quotient de risque (Hasard Quotient « HQ »), la dose létale (DL50) par voie orale ou par contact. Lorsque la valeur calculée de HQ est supérieure à 50, d'autres études sont nécessaires (Smart et al, 1982)

D- Conséquences sur la sentinelle de l'environnement « Abeille »

L'utilisation généralisée d'insecticides a de graves répercussions sur les écosystèmes, y compris l'apparition de la résistance des insectes nuisibles et des effets nocifs sur les espèces non ciblées, incluant les insectes utiles telles que l'abeille et les humains (Fanny, 2013).

Bien qu'il y ait eu de nombreuses études examinant les impacts des pesticides sur le comportement et la longévité des abeilles mellifères individuelles (Aliouane et al., 2009 ; Burley et al., 2008 ; Ciarlo et al., 2012 ; Collins et al., 2004 ; Decourtye et al., 2004, 2005, 2011 ; Eiri and Neih, 2012. Frost et al., 2013 ; Haarmann et al., 1999 ; Teeters et al., 2012 ; Williamson and Wright, 2013 ; Wu et al., 2011 ; Zhu et al., 2014) . Notre compréhension des mécanismes moléculaires et physiologiques qui sous-entendent ces impacts et la voie qui transmet la résistance, à ces produits chimiques demeure limitée. Alors que des doses aiguës de pesticides peuvent tuer des abeilles et des colonies individuelles (reviewed in Atkins, 1992 ; Johnson et al., 2010). L'exposition chronique à de faibles doses entraîne des effets sublétaux chez les abeilles individuelles, ce qui peut entraîner un effet sur le niveau de la colonie (reviewed in Johnson et al., 2010 ; Thomson and Maus, 2007).

Les colonies d'abeilles mellifères consistent en une seule reine reproductrice qui pond tous les œufs femelles et la majorité des œufs mâles non fécondés, des dizaines à des milliers d'ouvrières stériles facultatives qui exécutent toutes les tâches de la colonie.(y compris l'alimentation des larves en développement, la construction d'un nid d'abeilles et la recherche de nourriture) et des mâles (drones) (Graham, 1992). Les effets sublétaux du coumaphos et du fluvalinate ont été démontrés dans les trois castes (reine, ouvrières et les mâles).

Le coumaphos et/ou l'exposition au fluvalinate peuvent réduire l'apprentissage, la mémoire et l'orientation chez les abeilles ouvrières adultes (Frost et al., Williamson et Wright, 2013), altérer la locomotion et le comportement alimentaire des adultes (Teeters et al., 2012). et réduire la longévité des larves (Wu et al., 2011; Zhu et al., 2014). Chez les mâles, le coumaphos et/ou l'exposition réduisent le poids corporel et la longévité (Rinderer et al., 1999), ainsi que la viabilité des spermatozoïdes (Burley et al., 2008), ce qui contribue probablement à la qualité d'accouplement des reines.

Chez les reines, l'exposition au coumaphos et/ou au fluvalinate pendant le développement réduit le poids des reines adultes (Haarmann et al., 2002; Pettis et al., 2004), la quantité de spermatozoïdes entreposés (Haarmann et al., 2002) et la ponte

(Collins et al., 2004; Haarmann et al., 2002)., et perturbe également l'activation ovarienne (Haarmann et al., 2002). À des niveaux très élevés d'exposition au coumaphos, l'élevage des reines est inhibé par l'âge (Collins et al., 2004; Pettis et al., 2004). D'autres pesticides (comme les néonicotinoïdes) ont des effets semblables (Aliouane et al., 2009; Ciarlo et al., 2012; Decourtye et al., 2004, 2005, 2011; Eiri et Neih, 2012; Henry et al., 2012; Teeters et al., 2012; Williamson et Wright, 2013; Wu et al., 2011).

Au niveau moléculaire, l'exposition aux pesticides peut activer les voies de détoxification (Boncristiani et al., 2012 ; Johnson et al., 2006,2009b, 2012 ; Mao et al., 2011) et moduler l'expression des gènes impliqués dans la maturation de l'immunité et du comportement (Gregorc et al., 2012). Cependant, les impacts des pesticides individuels sur l'expression de gènes spécifiques varient considérablement d'une étude à l'autre. Les monooxygénases du cytochrome P450 (P450s) participent à la détoxification xénobiotique (Claudianos et al., 2006 ; Johnson et al., 2006, 2009b), ainsi qu'à la synthèse et au métabolisme des hormones (Claudianos et al., 2006 ; Helvig et al., 2004).

Au niveau physiologique, l'exposition aux pesticides peut avoir une incidence sur les voies endocriniennes. Le principal régulateur hormonal du comportement des ouvrières adultes est l'hormone juvénile III (JH), synthétisée à partir du méthylfarnesoate (MF) (Huang et al., 1991; Robinson, 1987; Sullivan et al., 2000). Les titres de rinçage de Jh favorisent l'appariement comportemental, la transition des soins infirmiers (soins aux couvées) à la recherche de nourriture chez les ouvrières d'abeilles mellifères (Huang et al., 1991; Robinson, 1987; Sullivan et al., 2000).

Les effets moléculaires déclenchés par les néonicotinoïdes sont mal connus. Récemment, nous avons montré des altérations dans l'expression des gènes, y compris les récepteurs nicotiniques de l'acétylcholine (nAChR), la vitellogénine, les gènes du système immunitaire et les gènes impliqués dans la formation de la mémoire dans le cerveau des abeilles mellifères après une exposition orale à des concentrations environnementales réalistes. Des effets importants ont été induits par la clothianidine, l'imidaclopride et le thiaméthoxame, mais l'acétamipride avait un effet moindre (Christen et al., 2016). En général, les abeilles sont exposées à différents pesticides par le pollen et le nectar en même temps (Long et Krupke, 2015). Les mélanges binaires d'acétamipride et de thiaméthoxame ont montré une mortalité additive chez les vers à soie (Yu et al., 2016), mais les mélanges d'imidaclopride et de thiaclopride ne l'ont pas fait dans le cas des larves de *Chironimus riparius* (Kunce et al., 2015). Cependant, l'activité conjointe de mélanges de

néonicotinoïdes chez des abeilles inconnues, en particulier aux niveaux moléculaire et physiologique.

L'empoisonnement par voie orale des jeunes ouvrières par diflubenzuron diminue la surface du couvain (Chandel et al., 1992), tandis que Fenoxycarbe causes des déformations des larves (De ruijter, 1987).

Les organes sécréteurs des abeilles adultes, peuvent être affectés par les régulateurs de croissance des insectes. Les jeunes abeilles (*Apis mellifera* et *Apis cerana*) traitées au diflubenzuron ayant des glandes hypopharyngées non développées (Gupta, 1995).

Un effet répulsif a été observé en particulier, qui est corrélé à une interruption ou à une réduction importante de l'activité de butinage (Bocquet et al., 1980; Píkc et al., 1982; Faucon et al., 1985). L'activité de vol à l'entrée de la ruche (Struye et al., 1994), la communication par la danse (Schricker et Stepken, 1970 ; Stephen et Schücker, 1970) et l'orientation du vol à la ruche (Cox et Wilson, 1984 ; Vandame et al., 1995) ainsi que l'apprentissage (Mamood et Waller, 1990 ; Abramson et al., 1999 ; Guez et al., 2001) peuvent toutes être modifiées.

Les mouvements « knock down » (paralysie) (Cox et al., 1987; Suchail et al., 2001) et « incoordination des mouvements » sont deux caractéristiques des effets des pesticides sur la motilité des arthropodes bénéfiques (Alix et al., 2001). Les insectes exposés tremblent, tourbillonnent et se léchent (Suchail, 2001).

Pour voler et transmettre la direction et les distances de l'approvisionnement alimentaire à ses sœurs, l'abeille domestique utilise des repères visuels (Frish, 1967). Les abeilles butineuses qui ont été traitées par voie topique avec du delta-méthrine à des niveaux sublétaux ne peuvent pas retourner à leurs colonies (Vandame et al., 1995).

Les effets des insecticides sur les processus d'apprentissage des abeilles ont fait l'objet de nombreuses recherches approfondies (Tab. 06).

Tableau 06 : Listes des effets sublétaux des insecticides sur le comportement des abeilles. (Halitiana, 2003)

Effets sub-létaux	Matières actives	Doses	Références
Effets sur la capacité d'orientation			
Changement de repère	Deltaméthrine	2,5 ng/ab	Vandame et al., 1994
Les abeilles recrutées ont des informations erronées lors de l'interprétation de la danse des abeilles traitées	Parathion	0,015 µg/ab	Stephen & Schriker, 1970
Pas de changement de comportement de butinage évident		0,03 µg/ab	Schricker & Stephen, 1970
Effet sur la mémoire du temps entraînant un avancement du temps de visites de la source de nourriture		Très faible (inf. à 0,03 gammas)	Schricker, 1974 b
Fausse interprétation des informations acquises lors la danse frétilante			Schricker, 1974 a
Rétablissement de la danse après quelques heures			
Diminution de la durée de récolte de nourriture, augmentation du temps de toilettage, de la durée de la danse frétilante et des rotations	Permethrine	0,009 µg/ab	Cox & Wilson, 1984
Perte de la capacité de vol et de la plupart des activités, comme la cessation de collecte de pollen.	Orthene : acephate		Johansen, 1984
Pas d'effet sur les abeilles	Sevin : carbaryl Dimilin : diflubenzuron		
Effets sur la capacité d'apprentissage			
- Réduction de la capacité d'apprentissage associatif, mais induction d'une sensibilisation à l'odeur. - Pas d'effets sur la capacité d'apprentissage si conditionnement discriminatif	Dicofol	10µl/ 16 ab	Stone et al., 1997
Difficulté dans la perception et/ou dans la réponse à l'odeur de thym si exposition avant le conditionnement	Permethrine	0,015 mg/20 ab	Mamood & Waller, 1990
Effets sur la capacité à mémoriser par association mais pas d'effets sur la capacité à utiliser la mémoire olfactive, si exposition entre le conditionnement et le test			
Rétablissement de la capacité d'apprentissage 4 jours après traitement			
Inhibition de l'acquisition, et extinction très accélérée	Endosulfan		Abramson et al., 1999
Faible réduction de l'acquisition, mais extinction accélérée	Décis : Deltamethrine		

Diminution des performances d'apprentissage olfactif, diminution de la sensibilité antennaire	Endosulfan	0,13 ; 0,25 ; 1,30 ng/ab	Decourtye et al., 2000
Diminution de la discrimination olfactive au niveau de sources de butinage	Imidaclopride	0,05 ; 0,1 ; 0,50 ng/ab	
Effets sur les réponses au conditionnement olfactif (classement d'effets par ordre croissant : fluvalinate : peu d'effet par rapport à flucythrinate)	Fluvalinate> Cypermethrine, Permethrine, fenvalerate> Cyfluthrine> flucythrinate	CL50	Taylor et al., 1987

Pendant la recherche de nourriture, les abeilles apprennent toujours de nouvelles choses. Lorsqu'une abeille arrive sur une fleur, elle doit mémoriser le parfum, la couleur et la forme afin de la corréler avec la nourriture (Menzel, 1996), afin de pouvoir la reconnaître lors de voyages ultérieurs (Menzel, 1993).

Les insecticides sont responsables des pertes importantes de pollinisateurs (O'Toolec, 1996), et les abeilles mellifères peuvent être utilisées comme bio-indicateurs pour détecter la pollution (Kevan, 1999).

Les pesticides ont une incidence sur l'organisation sociale des abeilles mellifères en réduisant leur alimentation, leur surface de couvain et la fertilité de la reine, ce qui entraîne la disparition totale de la colonie.

Partie Expérimentale

Chapitre I
Objectifs

Objectifs :

Cette recherche s'intègre dans le cadre des activités de recherche du Laboratoire des Sciences Techniques et de Production Animale « LSTPA » de l'Université Abdelhamid Ibn Badis (Mostaganem), où la situation de l'apiculture dans la zone Ouest d'ALgerie est exposée avec ses contraintes, menaces, et opportunités pour un développement durable de la filière. A cela s'ajoute un aspect génétique visant à identifier et à différencier, les sous espèces existantes dans la zone d'étude, par l'utilisation d'une nouvelle approche qu'est la morphométrie géométrique, qui examine le degré évolutif des lignées présentes dans la zone d'observation, en vue les conserver d'une part et maintenir une diversité génétique des populations natives des abeilles d'autre part. L'étude s'achève par l'analyse de l'aspect environnemental dont l'abeille se trouve plus précisément les conséquences de l'usage non contrôlée des produits phytosanitaires, par l'adoption de la DL50 d'un insecticide « Imidaclopride » utilisé fréquemment par les agriculteurs des Wilaya retenues, et qui affecte dangereusement le cheptel apicole, dont les effets sur la physiologie de l'insecte représentent **un biomarqueur de stress** de qualité chez les abeilles

Chapitre II

Matériels et Methodes

MATERIELS ET METHODES

Dans ce chapitre, nous présentons les différents moyens matériels utilisés, les sites d'échantillonnage retenus et la méthodologie adoptée pour réaliser les objectifs fixés par la thématique de recherche et au :

1^{ier} volet : « la Situation de l'apiculture dans l'Ouest Algérien »

A- Méthode d'enquête :

Pour faciliter la collecte des données, l'enquête a été menée à l'aide d'un questionnaire (**Annexe. 01**) portant sur les différents aspects caractérisant la pratique de l'apiculture dans la zone d'étude. Le recueil des données auprès des apiculteurs choisis d'une manière aléatoire est procédé soit directement, sous la forme d'un entretien personnel de plusieurs heures avec chaque apiculteur.

L'enquête a démarré en 2018 sur trois wilayas de l'Ouest Algérien : Tiaret, Relizane et Mostaganem

B- Le questionnaire

Le questionnaire de l'enquête porte essentiellement sur quatre volets avec un total de 25 questions qui visent à décrire l'aspect humain et social de l'apiculteur, l'aspect économique de sa production et les multiples pratiques de la conduite d'élevage, et l'aspect sanitaire le plus contraignant aux apiculteurs par manque de maîtrise et de formation spécifique dans le domaine.

1- Identification de l'apiculteur :

Son nom et prénom, sa wilaya, début de son activité, sa classe (Amateur ou professionnel) et son adhérence à une structure technique type coopérative ou non.

Les formations réalisées ou suivies, et au sein de quel établissement. Ses participations dans les évènements à l'échelle locale ou plus.

Pour rappel, 3 catégories d'éleveurs d'abeilles peuvent être distinguées ([Aymé, 2014](#)):

- apiculteur de loisir « Petit producteur » : il détient moins de 60 ruches
- apiculteur semi-professionnel « Pluriactif » : plus de 60 ruches avec autre revenu complémentaire (salarié, et/ ou retraité Etc)
- apiculteur professionnel : il détient en général plus de 200 ruches. l'apiculture est considérée comme la seule activité rémunératrice.

La pluriactivité par sa définition est l'exercice simultané ou successif de multiples emplois ou activités professionnelles durant l'année et par une seule personne ([Ballis, 2016](#)).

2- Rucher, pratique et production :

• **Présentation de l'exploitation :**

- La localisation du /des rucher (s) avec la précision du nombre de ruches (colonies) pour connaître la taille du cheptel.
- Le modèle de ruche utilisé traditionnel ou moderne
- Les ruches sont sédentaires ou transhumantes et pour quelle région
- Les différentes flores mellifères existantes.
- La race d'abeille avec laquelle l'apiculteur travaille.

• **Production**

- Les différents types de productions (miel, pollen, propolis, gelée royale, cire ou autre)
- Niveau de production de miel représenté par la quantité du miel produite en kg et par ruche en moyenne
- Les types de miels produits (monoflorale ou multiflorale)

• **Pratique de l'apiculture**

- La pratique de la récolte est exercée par quel matériel et à quel moment de l'année (différents miellées), les quantités de réserves laissées à la colonie après la récolte
- La pratique ou non de nourrissage, type de nourrissage exercé massive avant chaque miellée ou stimulant en cas de carence de nectar. Pour quelles raisons et sur quelle période de l'année est pratiqué et par quels moyens, matériels et substances.

3- Santé et environnement

- La déclaration de la présence ou non des maladies, affectant le cheptel couramment et quel est la nature du traitement apporté
- Estimation du niveau sanitaire du cheptel par le suivi sanitaire, régulier par un médecin vétérinaire.
- Existe-t-il un déclin des abeilles ? Si oui quel est son intensité, quels signes permettant de l'affirmer et les causes responsables de ce déclin.
- De point de vue environnemental, l'usage des produits phytosanitaires représentés essentiellement par les pesticides est le problème majeur. Les agriculteurs des cultures avoisinantes font-ils des traitements phytosanitaires par les pesticides ? Si oui indiquer la nature du produit utilisé et mentionner le respect ou non des précautions d'emploi.

4- Préoccupation et les contraintes de l'apiculteur

Durant sa pratique, l'apiculteur algérien rencontre plusieurs obstacles qui freinent le développement de son activité et empêchent son extension. Dans ce volet il est suggéré quelques contraintes subies par les apiculteurs et en exemple nous mentionnons, le manque de moyen financier, la non maîtrise des techniques apicoles, le manque de vulgarisation de l'activité, de débouchés et la présence des maladies ont été retenues sur le questionnaire, en outre d'autres facteurs limitant l'activité apicole sont signalés par l'apiculteur lui-même.

C- Technique d'échantillonnage

L'investigation touche l'ensemble des apiculteurs exerçant au niveau de la région d'étude : Tiaret, Relizane et Mostaganem. L'échantillonnage doit être représentatif, pour cela des listes d'apiculteurs préalablement établies par la direction des services agricoles (DSA) de chaque wilaya nous ont été fournies. Cette étape nous aide au dénombrement des apiculteurs, en indiquant la répartition des sites où l'activité de l'apiculture est fortement intense. L'apiculteur est exclu de la liste s'il refuse de participer à ce sondage ou il a arrêté son activité. La répartition géographique des apiculteurs était donc aléatoire, et en Finalité, 255 apiculteurs dont 4 apicultrices répartis sur la zone d'étude ont participé à l'enquête entre l'année 2017- 2018.

D- Présentation de la zone d'étude

1- Situation géographique

L'étude a été réalisée dans trois Wilayas de l'Ouest Algérien : Tiaret, Relizane et Mostaganem

- La wilaya de Tiaret se situe à l'ouest de pays (**Fig. 15**). Avec une superficie de 20399,10 km², Tiaret s'étend au Nord sur une partie de l'Atlas tellien et sur les hauts plateaux au centre et au Sud. Elle a des frontières avec plusieurs wilayas à savoir (**Fig.15**):

- ✓ les Wilayas de Tissemsilt et Relizane au Nord ;
- ✓ Laghouat et El-Bayadh au Sud ;
- ✓ les Wilayas de Mascara et Saida à l'Ouest ;

Elle se localise à 1150 m d'altitude, 02 périodes caractérisent son climat à savoir : un hiver rigoureux et un été chaud et sec avec une température moyenne de 37,2°C. Avec une température moyenne de 24 °C, l'été est chaud et sec. La wilaya de Tiaret reçoit en moyenne de 300 à 400 mm de pluie par an, avec des variations saisonnières de la pluviométrie allant de 157 mm en hiver à 31 mm en été. Elle fait partie du l'étage bioclimatique semi-aride inférieur dont le climat est de type méditerranéen à hiver frais.

Le relief, qui est hétérogène, se manifeste sous la forme de :

- ✓ une zone de montage au Nord ;
- ✓ des hautes plaines au Centre ;
- ✓ des espaces semi-arides au Sud (68,44%).
- ✓ la Wilaya de Djelfa à l'Est.

Avec 1.609.900 Ha de terres agricoles, 142.966 Ha de zones steppiques et d'une zone forestière de 142.422 Ha, la wilaya recèle d'importantes potentialités naturelles. Cette superficie agricole totale est divisée en 704.596 Ha de terre agricoles utiles, un million d'hectares est la superficie réservée pour la steppe, parcours, alfa et forêts. Le système « céréales-élevage » domine dans cette wilaya, son intégration est à l'origine de l'essentiel de la production agricole et de la croissance économique. (Achir et al., 2016)

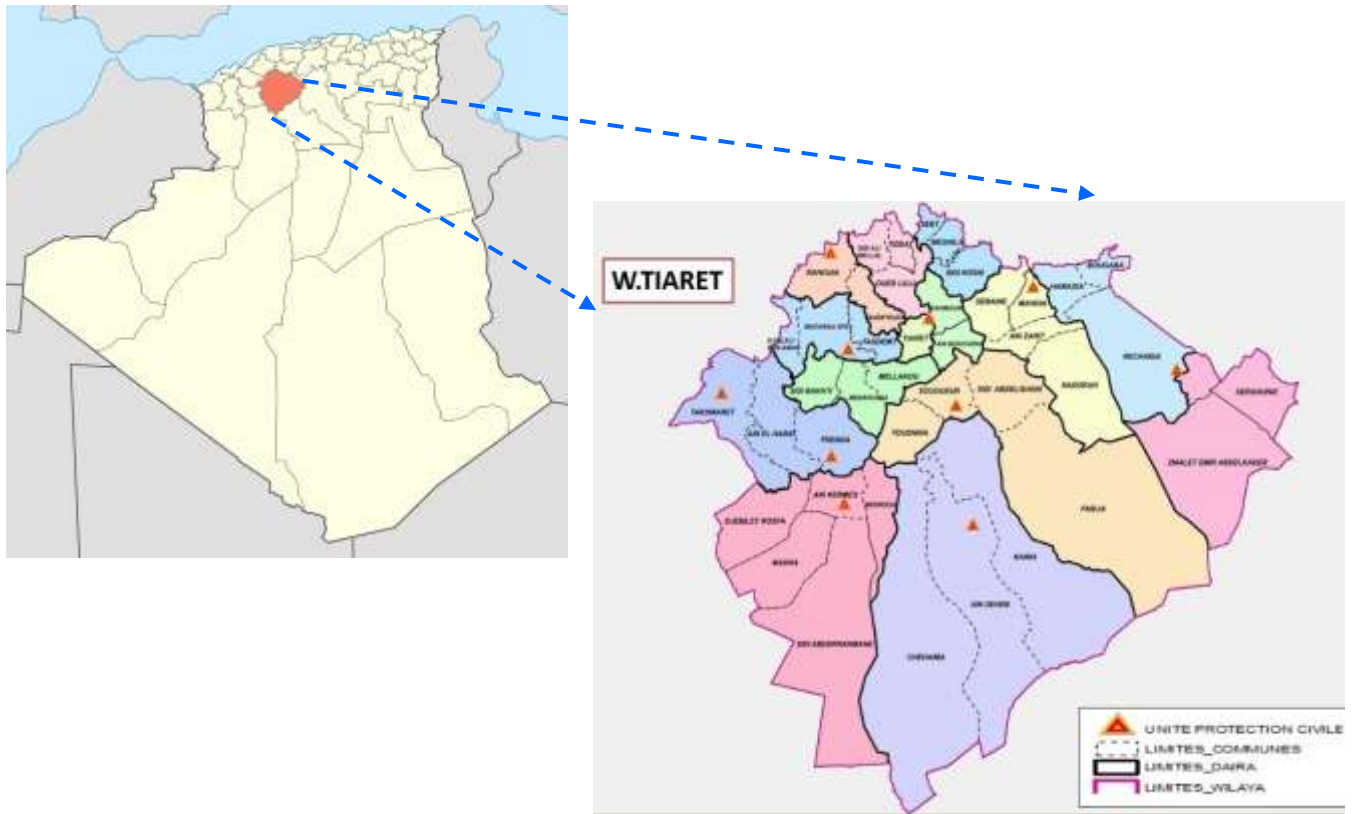


Figure 15 : Présentation graphique de la wilaya de Tiaret

Les altitudes élevées caractérisent le milieu steppique (1100 m en moyenne). Les steppes les plus hautes peuvent aller jusqu'à 1300 m alors que les plus basses oscillent entre 1000 et 1100m. 200m de différence signifie que les dénivellations sont peu prononcées.

- La wilaya de Relizane se trouve au Nord-Ouest du pays (**Fig. 16**), 484.000 Ha est la superficie totale sur laquelle s'étend l'ensemble de la province. Elle se caractérise par la diversité de ses paysages, la richesse de ses terres agricoles et aussi par la présence des deux reliefs montagneux (les monts de Ouancheris au Sud-Est et les monts de Béni Chougrane au Sud – Ouest). Sa position géographique stratégique lui confère d'être le carrefour incontournable pour toute la région de l'Ouest. Elle est débordée par :
 - ✓ Au Nord : par la wilaya de Mostaganem, desservie par la RN90, la RN23 et RN04.
 - ✓ A l'Est : par la wilaya de Chlef, desservie par la RN 04 et le chemin de fer
 - ✓ Au Sud : par la wilaya de Tiaret desservie par RN23 et RN90 et le chemin de fer.
 - ✓ Au Sud –Est : par la wilaya de Tissemsilt.
 - ✓ A l'Ouest : par la wilaya de Mascara.

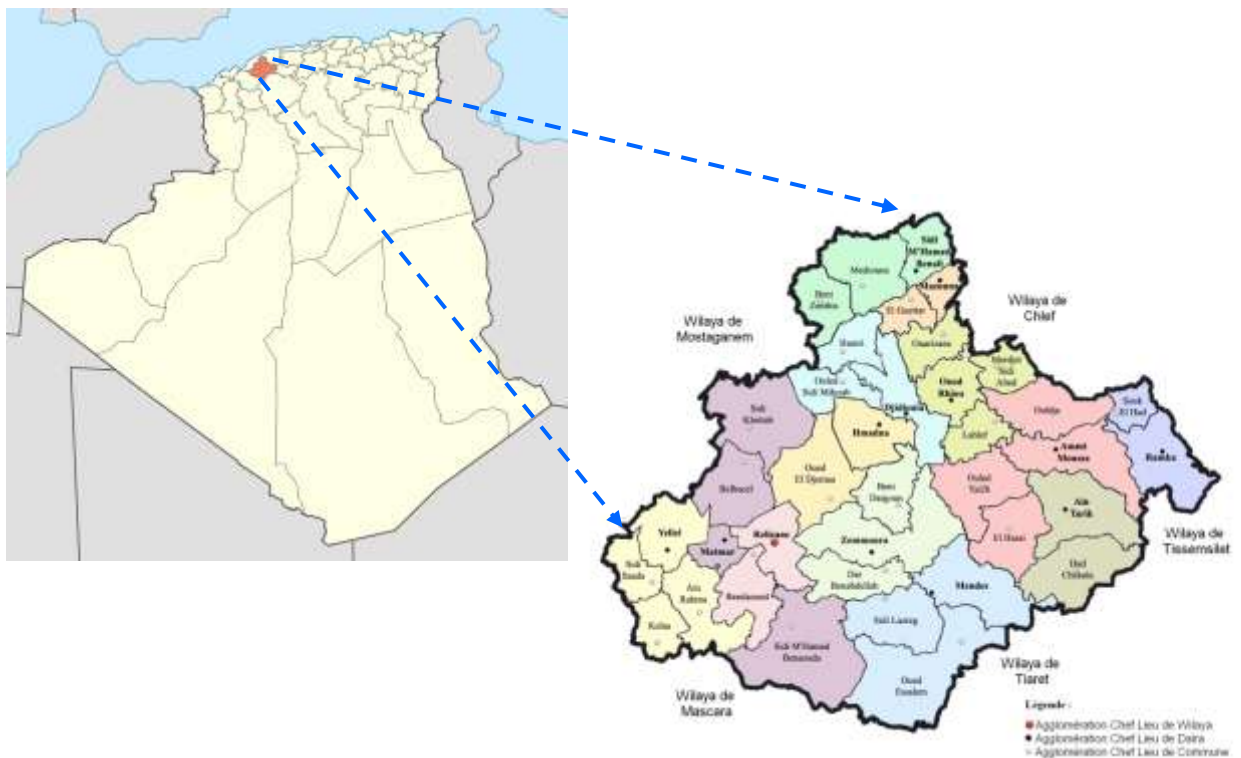


Figure 16 : Carte géographique de la wilaya de Relizane

La wilaya de Relizane se distingue par sa vocation agricole, ses terres fertiles sont connues surtout la plaine du bas-Cheliff. 297387 Ha est la superficie agricole totale (SAT) dont 281 875 Ha de surface agricole utile (SAU), soit 57,8% du totale de la superficie de la wilaya. Ces indicateurs nous informent sur l'aptitude agricole par excellence avec 17 632 ha des terres irriguées, et 6 062ha de pacages et parcours et 9 450 ha de terres improductives.

Le relief et la morphologie de la région est formé de deux ensemble : un ensemble montagneux au Nord les monts du Dahra au sud les monts de l'Ouarsenis qui s'étendent d'Est en Ouest pour atteindre les montagnes de Béni Chougrane et un ensemble de plaines dont la partie centrale est occupée par la plaine du Bas Chélif et la Mina, sans oublier les zone de transition entre les plaines et les montagnes ce qu'on l'appelle « Piémonts » qui occupe plus de 30 % de la wilaya.

Cette variabilité de relief génère une différence dans les altitudes, cette dernière se change de 75 mètre pour la plaine de Relizane à 135 mètres pour Yellel. Les zones élevées dépassent les 600 m d'altitude dans les montagnes de Béni Chougrane et les 800 m dans les montagnes de Dahra.

La pente est de l'ordre de 0 à 3% en plaine et de 3 à 12% pour les zones de piedmonts, alors qu'elle dépasse les 12% pour les zones de hauts piedmonts et 25% pour les montagnes de Beni Chougrane et les montagnes de Dahra. (Gourari, 2010).

La pluviométrie dans cette wilaya est variable, elle est de 600 - 800 mm dans le Nord, de 400 - 500 mm dans les plaines et les piémonts, et de 600 - 800 mm dans les régions montagneuses du sud (Ouarsenis et Beni Chougrane). D'habitude, 600 mm est la pluviométrie moyenne mais compte tenu les changements surtout climatiques responsable de l'apparition de la sécheresse durant la dernière décennie celle-ci enregistre seulement 240mm.

La climatologie de la région nous fait apparaitre deux étages : aride et semi-aride et On y distingue trois sous étages :

- ✓ semi-aride "doux" au Nord ;
 - ✓ aride "doux" dans les régions de la plaine et les piémonts ;
 - ✓ semi-aride "chaud" à l'Est de l'Ouarsenis.
- Située au Nord-Ouest du territoire national (**Fig. 17**), la Wilaya de Mostaganem couvre une superficie de 2269 km². Elle est limitée :

- ✓ à l'Est par les Wilayas de Chleff et Relizane;
- ✓ au Sud par les Wilayas de Mascara et Relizane;
- ✓ à l'Ouest par les Wilayas d'Oran et Mascara;
- ✓ au Nord par la mer Méditerranée

Elle chevauche sur plusieurs structures physiques plus ou moins homogènes :

- ✓ le cordon littoral constitue de formations de sables mobiles qui forment les différentes plages du territoire de la wilaya et de formations dunaires mobiles ou consolidées jalonnant l'ensemble de la côte.
- ✓ une zone montagneuse localisée à l'Est de la wilaya représentée par les monts du Dahra sous forme d'une chaîne de petits massifs culminant entre 300 et 550m. Dans l'ensemble les pentes appartiennent à la classe de 12 à 25%.
- ✓ une zone de plateau, constitue un relief relativement ondulé qui s'inclinent vers la plaine d'El Habra et le golfe d'Arzew. Les altitudes changent entre 200 et 250m et les pentes entre 3 et 12% sur le plateau proprement dit et de 12 à 25% sur ses rebords.
- ✓ les plaines représentées essentiellement par deux unités, l'une est à l'Est, au contact du Dahra et de part et d'autre de l'Oued Cheliff; et l'autre unité de plaines est à l'Ouest, au pied du plateau et à cheval sur les marais de la Macta. Cette dernière fait partie de la grande plaine sublittorale d'El Habra et elle constitue le prolongement vers le nord. Les altitudes y sont inférieures à 50m et les pentes ne dépassent pas 3%.

Ces multiples unités physiques sont rassemblées dans 4 grandes unités naturelles, à savoir le Plateau de Mostaganem, les Monts du Dahra, les plaines de l'Ouest et enfin les plaines de l'Est et la vallée du Cheliff (Senouci, 2014).

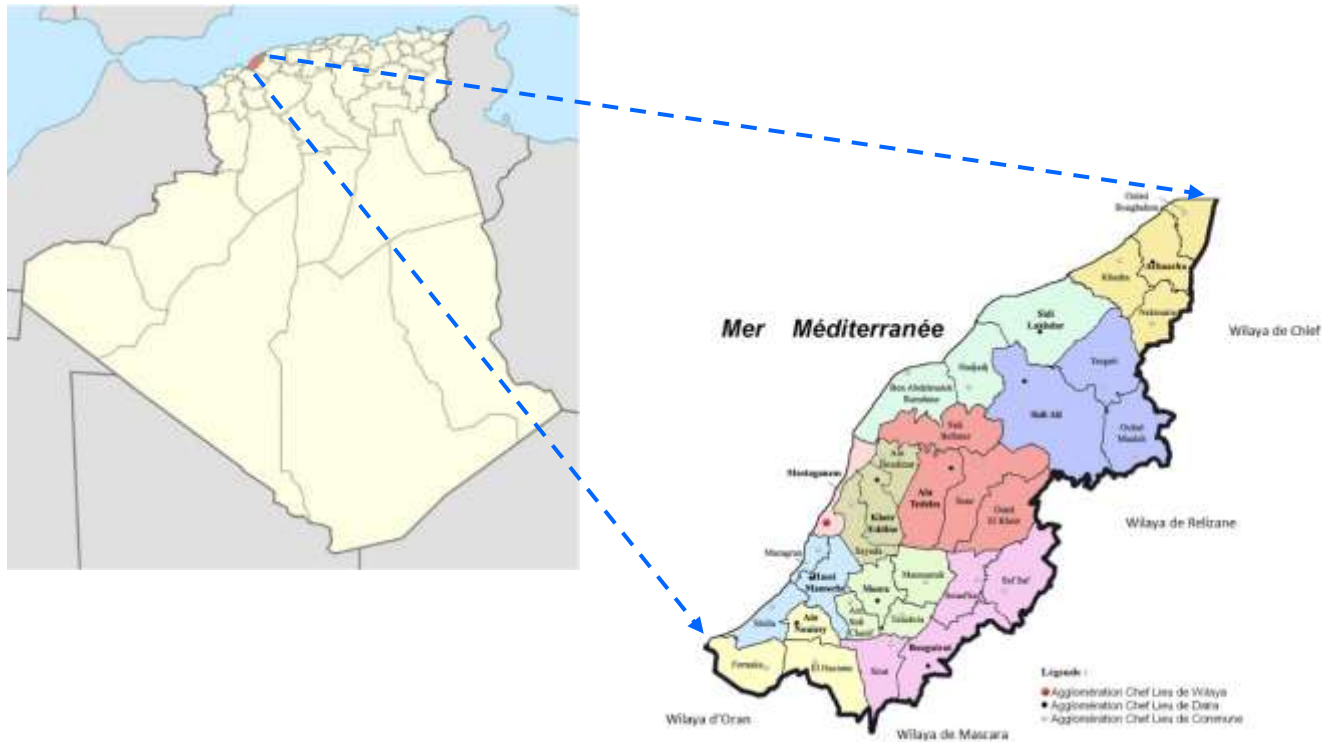


Figure 17 : Carte de localisation de la wilaya de Mostaganem

La région de Mostaganem se caractérise par un climat méditerranéen avec des propriétés semi-aride et un hiver tempéré vue sa proximité à la mer. A cause de la variation intra-annuelle la répartition des précipitations est ressortie d'une façon mensuelle voire même saisonnière. On remarque tout d'abord que la saison la plus pluvieuse est l'automne avec une moyenne de 156mm/an, suivie de l'hiver (128mm/an), le printemps (68mm/an) et enfin l'été avec 23mm/an. Les moyennes des maximales de la température du mois le plus chaud est de 28°4 et les moyennes des minimum du mois le plus froid est de 9° (Senouci, 2014).

Réputée pour être une wilaya a une aptitude agricole importante, Mostaganem est doté d'une superficie globale de 226 901 Ha avec 144 779 Ha de terres utiles pour l'agriculture ce qui représente 63,80% de la superficie globale. L'insuffisance en pluviométrie à engendrer un recours au système d'irrigation s'appuyant sur la nappe phréatique malgré le rabattement très important.

Parmi les principales cultures pratiquées au niveau de la Wilaya de Mostaganem, on y distingue la céréaliculture (blé dur, tendre, orge et avoine), les cultures maraichères, les fourrages, l'oléiculture, l'arboriculture et la viticulture et ce, de 1962 à 2013 (Senouci, 2014)

2^{ème} volet : « La morphométrie géométrique »

A- Matériel biologique

Appartenant à l'embranchement des arthropodes, l'abeille fait partie de la classe des insectes à position systématique bien précise :

Embranchement	Arthropodes
Sous embranchement	Mandibulates
Classe	Insectes
Sous classe	Ptérygotes
Ordre	Hyménoptères
Sous ordre	Apocrites
Section	Aculéates (Néoptères)
Famille	Apidés
Genre	<i>Apis</i>
Espèce	<i>mellifera</i>
Sous espèce	<i>intermissa</i> (Buttel-Reepen, 1906).

Pour notre étude des abeilles appartenant à deux sous espèces d'*Apis mellifera* ont été échantillonnées.

A.1- *Apis mellifera intermissa*

En principe l'abeille algérienne appartient à la race nord-africaine *Apis mellifera intermissa*, également nommée « abeille tellienne » ou encore « abeille punique ». La géographie de distribution la plus typique de cette race est bordée à l'ouest par l'Atlantique, au nord par la Méditerranée, au sud par le Sahara et à l'est par le désert de la Libye. Son aire de répartition se prolonge sur toute l'Afrique du nord de la Tunisie au Maroc. Les données biométriques de cette race sont peu selon [Ruttner, \(1988\)](#). En 1906, le zoologiste V. [Buttel-Reepen](#) a nommé cette race sous la qualification « intermissa » dans l'aperçu qu'elle était l'espèce intermédiaire entre l'abeille « *unicolor* » de Madagascar et celle « *Lehzeni* » de l'Allemagne septentrionale et de la Scandinavie.

La race *Apis mellifera intermissa* est une abeille à grande taille, sa pigmentation est uniformisée en foncé avec la présence parfois des zones claires sur les tergites abdominaux et le scutellum. 6,5mm est la longueur moyenne de sa langue, son tomentum est droit avec une pilosité courte. Cette race se caractérise par son agressivité, nerveuse mais essaimeuse, de nombreux cellules royales sont construits par les ouvrières pendant chaque miellée cette tendance à l'essaimage rend les colonies faibles. Cette race se trouve au Nord de l'Afrique (Algérie, Tunisie et Maroc) de l'Atlantique à la Libye et au niveau des îles devant la Malte et vraisemblablement aussi au Canaries ([Ruttner, 1975](#))

A.2- *Apis mellifera sahariensis*

Cette Abeille peuple les oasis sahariens algérien et marocains. Répandu sur plusieurs noms « abeille saharienne », « Abeille de Sahara » ou localement « Abeille jaune ». Trouvé essentiellement au Maroc cette abeille a été décrite par Baldensperger, (1932) puis par Haccour, (1960 a et b). Ruttner, (1968) a complété ultérieurement ces études et il la considérait comme une forme de transition entre *intermissa* et *adansonii* mais plus tard (1978) cette abeille a été classé comme une race à part entière. *Apis mellifera sahariensis* est de petite taille, jaune et avec un indice cubitale élevée. Elle est rustique et elle résiste aux conditions défavorables climatiques et du milieu. En comparant aux autres races, la taille et la longueur de la langue de cette race d'abeille se situe entre *Apis mellifera intermissa* et les races les plus petites de l'Afrique occidentale ce qui pose la question de l'autonomie de cette race. *Apis mellifera sahariensis* est la plus menacée par la disparition parmi toutes les sous-espèces d'abeille. De plus l'isolement géographique de cette race justifie sa présence et favorise sa spéciation en la séparant des autres sous-espèces.

Ses qualités telles que la douceur, la prolificité, la précocité, l'aptitude extraordinaire à la récolte du nectar et du pollen et l'acclimatation facile sous des conditions climatiques difficiles ont permis aux généticiens de réputation mondiale de la classer parmi les meilleurs races au monde. Malheureusement, cette race est en déclin à cause de multiples facteurs présentées essentiellement par l'utilisation abusive des produits phytosanitaire, la présence des maladies surtout la fameuse « varroase » ainsi la transhumance par l'introduction de l'abeille tellienne qui représente une menace de disparition pour la race *Apis mellifera sahariensis*.

Sur le plan des préférences, Nos apiculteurs préfèrent la race locale et ils sont unanimement d'accord et prêts à collaborer avec les projets qui aident à trouver des solutions pour la préservation et la réhabilitation de l'abeille *Apis mellifera sahariensis*.

En comparant les deux races d'abeilles, les apiculteurs soulignent certains critères avantageux de l'abeille jaune par rapport l'abeille noir qui sont :

- Une bonne adaptation aux températures les plus extrêmes de la zone saharienne
- La résistance dans la période de sécheresse et au manque de nourriture
- Economique grâce à sa bonne gestion des réserves hivernales (miel et pollen)
- Son caractère de douceur (moins agressif) permet son élevage dans les zones même les plus proches d'habitation.
- Ses ouvrières connues par le bon nettoyage de la colonie « bonne nettoyeuse »

- Rapide dans l'alimentation ce qui augmente sa productivité.

B- Sites d'échantillonnage et prélèvement de spécimens

Des abeilles ouvrières de 129 colonies ont été échantillonnées entre mai et décembre 2018 dans 12 wilayas, incluant 63 localités différentes dans la partie nord-ouest de l'Algérie (**Fig. 18**).

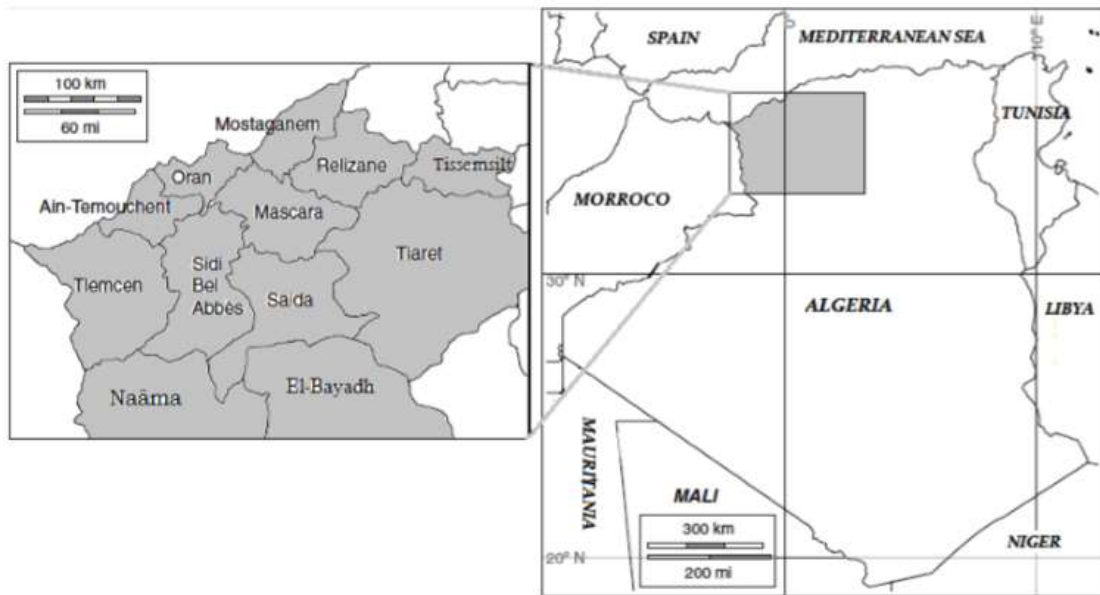


Figure 18 : Carte indiquant les provinces d'échantillonnage d'*Apis mellifera intermissa* et d'*A. m. sahariensis* en Algérie

Deux colonies / localités fixes, dix abeilles / colonie = 20 abeilles ouvrières / localité ont participé à l'étude. Le (**Tab. 07**) donne plus de détails sur les sites d'échantillonnage et le nombre d'individus prélevés à chaque site d'échantillonnage. Les abeilles ont été conservées dans l'éthanol à 97 % et stockées dans un congélateur (-20 °C) jusqu'au moment de l'examen morphologique.

Tableau 07 : Localités à partir desquels des échantillons d'abeilles domestiques ont été prélevés pour une analyse morphométrique géométrique

Wilaya	Localité d'échantillonnage	Nbr de colonies	Nbr des ailes
Mascara	Aïn Fares	2	20
	El Guetna	2	20
	Bou Hanifia	2	20
	Hacine	2	20
	Tighennif	2	20
Mostaganem	Sour	2	20
	Sidi Lakhdar	2	20
	Touahria	2	20
	Mesra	2	20
	Hassi Mamèche	2	20
	Souafli	2	20
Tiaret	Tidda	2	20
	Aïn Bouchekif	2	20
	Aïn Deheb	2	20
	Tagdempt	2	20
	Mghila	2	20
	Tissemsilt	Tamalaht	2
Tissemsilt	Sidi Abed	2	20
	Ammari	2	20
	Lardjem	2	20
	Maacem	2	20
	Nâama	Nâama	2
Moghrar		2	20
Sfissifa		2	20
Tiout		2	20
Ain Sefra		2	20
Relizane	Oued Slam	2	20
	El Hamadna	2	20
	Beni Dergoun	2	20
	Belassel	2	20
	Zemmoura	2	20
Oran	Boutlilis	2	20
	Bousfer	2	20
	Ain El Turk	2	19
	Hassi Bounif	2	20
	Misserghin	2	19
Saida	Hessasna	2	20
	Ouled Brahim	2	20
	Balloul	2	20
	Tirsine	2	20
	Aïn El Hadjar	2	20
El-Bayadh	Chellala	2	20
	Bousseghoun	2	20
	El Abiodh Sidi Cheikh	2	18
	El Kheiter	2	20

	Ghassoul	2	20
Tlemcen	Mansourah	2	20
	Chetouane	2	20
	Abou Tachfine	2	20
	Tlemcen	2	20
	Hennaya	2	20
Ain Temouchent	Tadmaya	2	20
	El Malah	2	20
	El Amir Abdelkader	2	20
	El Messaid	2	20
	Ouled Boudjmaa	2	20
Sidi Bel Abbès	Daho	4	40
	Sidi Bel Abbas	2	20
	Foret Bouhriz	2	20
	Sidi Ali Benyoub	2	20
	Sidi Lahcene	2	20
	Tessala	2	20
	Sehala Thaoura	3	30

C- Acquisition et traitement des données

1- Préparation des ailes d'abeilles

La préparation des ailes est une étape cruciale par ce qu'elle peut avoir des conséquences sur la qualité des mesures. On écarte automatiquement celles qui sont abimées ou déchirées. Au total, 1286 ailes antérieures d'abeilles ouvrières ont été disséquées très près de leur base et ont été montés avec l'eau distillée entre deux lames de microscope (**Fig. 19 A et B**) tout en s'assurant qu'elles soient bien planes, sans résidus et que l'étape de montage ne contient pas de bulle d'air qui peut nous gêner pendant les mesures. La méthodologie complète de MG a été réalisé dans le laboratoire de la morphométrie géométrique du département de biologie de la faculté de science à l'université Tandoğan d'Ankara –Turquie- durant un stage de courte durée entre la période de 10 décembre et le 16 janvier.

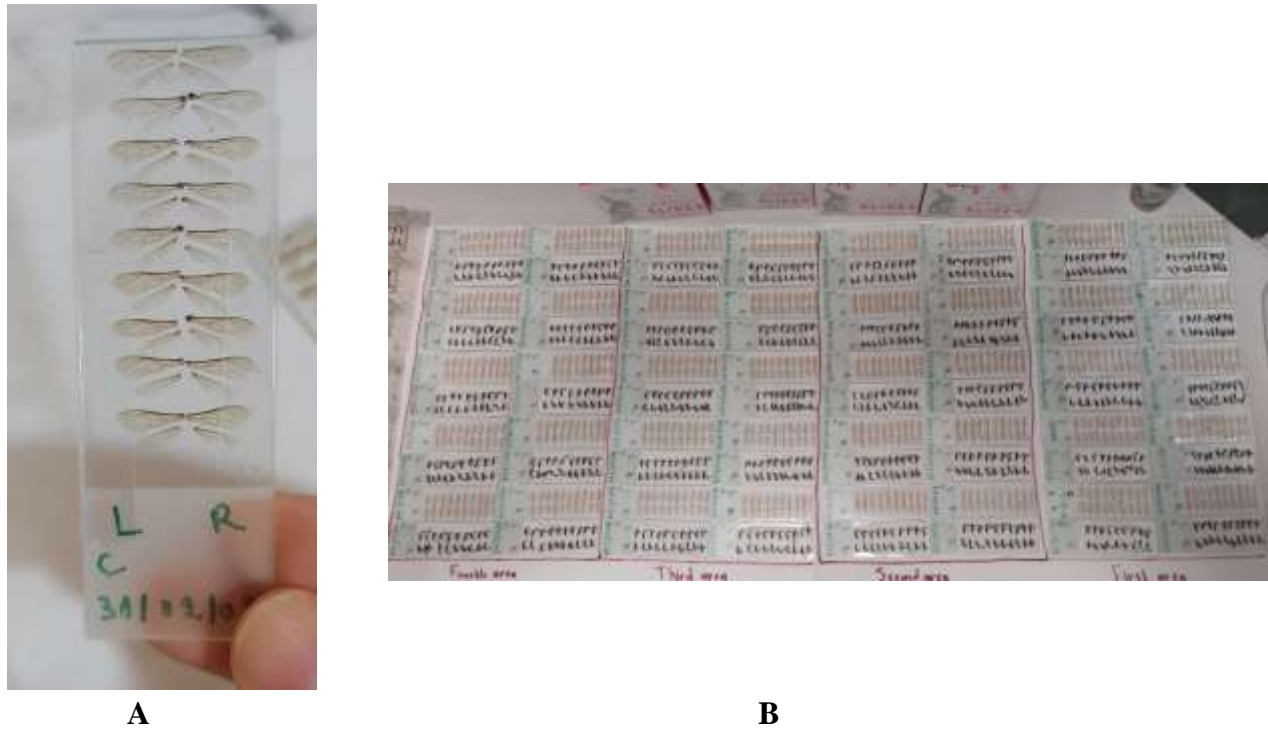


Figure 19 : A. Montage des ailes entre deux lames de microscope. B. Elimination des ailes qui sont déchirées.

2- Numérisation des ailes

Cette étape consiste à l'acquisition des images numériques des ailes d'ouvrières. Elles sont photographiées grâce à un appareil photo numérique fixé à un Leica S8APO stéréomicroscope. Les images obtenues sont ensuite importées dans le logiciel open source Morpho J pour y être traitées et analysées.

3- Digitalisation des ailes : acquisition des coordonnées des point-repères

Pour la morphométrie géométrique, les ailes photographiées ont d'abord été traitées par tpsUtil 1.61 (Rohlf, 2015). Les formes des ailes ont été numérisées avec des coordonnées cartésiennes bidimensionnelles (x, y) de 20 points de repère, principalement situés aux intersections des veines tout en permettant de caractériser quantitativement le patron de nervation alaire des ouvrières (Fig ; 20) à l'aide de tpsDig 2.05 (Rohlf, 2005). Ces mesures ont été réalisées par une seule personne afin qu'il n'y ait pas d'effet opérateur dans le laboratoire de la morphométrie géométrique de l'université d'Ankara – Turquie-.

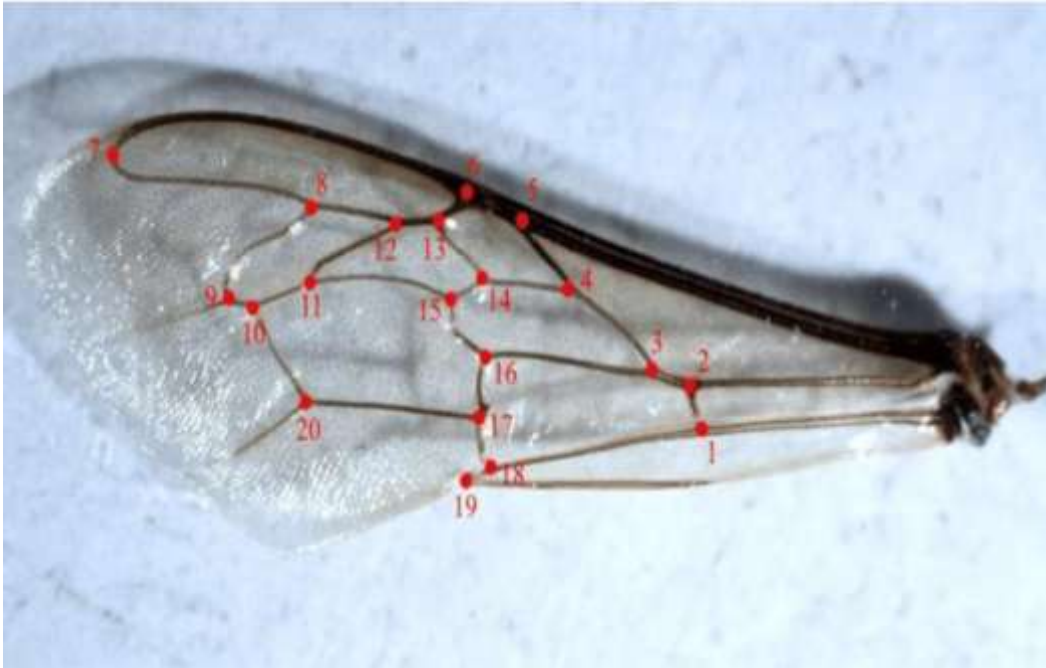


Figure 20 : Aile droite de d'*Apis mellifera* avec les 20 points repères utilisés pour quantifier la variation de la taille « Shape ».

4- Analyses morphométriques

4.1- Extraction de la conformation des ailes : méthode Procrustes

Les coordonnées de repère obtenues à partir de tpsDig ont été utilisées comme entrée dans le logiciel MorphoJ 1.07a (Klingenberg, 2011). Les coordonnées cartésiennes des échantillons ont ensuite été alignés pour éliminer les variations de taille, position et orientation en utilisant la somme des carrés généralisés Procrustes superimposition method (Bookstein, 1991). Dans le cas des structures biologiques, la variation est si minime et concentrée que pour les distorsions qui en résultent et qui peuvent être considérées comme complètement insignifiantes.

Ceci est particulièrement pertinent ici parce qu'il s'agit d'une échelle intraspécifique, et parce que ce trait, le modèle de la veine alaire, varie subtilement (variations invisibles à l'œil humain), y compris dans les lignées ainsi que les sous-espèces génétiquement, géographiquement et biologiquement éloignées.

4.2- Analyses statistiques

Afin de quantifier la variation de la forme de l'aile antérieure, l'analyse des composantes principales (ACP) a été effectuée après le calcul de la matrice variance-covariance de coordonnées de la forme de Procrustes dans MorphoJ 1.07a (Klingenberg, 2011).

4.2.1- Variation de la taille et de la forme des ailes

La taille des ailes a été estimée par un estimateur isométrique connue sous le nom de « taille centroïde » (CS) (Sandoval et al., 2015), qui est défini comme la racine carrée de la somme des distances au carré entre le centre de la configuration de la LM (ou centroid) et de chaque LM (Bookstein, 1991). Les données ont été testées pour la normalité en utilisant le test de Shapiro-Wilk. Le test de Levene a été effectué pour vérifier l'homogénéité des variances entre les groupes. Le T- test a ensuite été utilisé pour comparer les moyennes entre les deux sous-espèces. Pour l'analyse, le CS a été logarithmisé (ln CS).

Les contributions relatives de chaque repère anatomique pour la variation observée dans l'aile antérieure droite ont été produites par le progiciel tpsRelw 1.36 (Rohlf, 2003). L'analyse discriminante (AD) a été utilisée pour classer les formes de l'aile droite entre les sous-espèces étudiées.

La normalité multivariée a été évaluée à l'aide du test DoornikHansen (Doornik et Hansen, 2008). Box's M-test est utilisé pour tester l'équivalence des matrices de covariance des ensembles de données multivariées en tant que Hotelling $-T^2$ test est sensibles aux violations de l'hypothèse d'inégalité des matrices de covariance. La signification statistique de la différence dans les formes moyennes a ensuite été analysée à l'aide de tests de permutation (10000 tours) avec les distances de Mahalanobis et de Procrustes. Le test de permutation est une alternative de Hotelling- T^2 test lorsque les hypothèses de la distribution normale multivariée et des matrices de covariance égales ne tiennent pas.

Les différences de forme des ailes entre les deux sous-espèces ont été visualisées par des grilles de déformation utilisant des cannelures à plaques minces (TPS) (Slice, 2002). La procédure de classification croisée Jackknife dans Discriminant Analysis (DFA) a été utilisée pour évaluer l'exactitude de la classification basée sur les distances de Mahalanobis en complément de l'analyse discriminante. Par la suite, les distances de Mahalanobis entre les individus des 12 zones étudiées ont été utilisées pour la construction d'un dendrogramme UPGMA (méthode de groupe de paires non pondérées avec la moyenne arithmétique) comme algorithme de regroupement utilisant PAST 1.81 (Hammer et al., 2001).

4.2.2- Effets allométriques

L'allométrie est la covariation de la forme et de la taille (Mosimann, 1970). L'allométrie morphologique tente d'expliquer le changement des caractéristiques morphologiques des organismes associé à la variation de taille (Klingenberg, 1996). Chez

les insectes, par exemple, la taille des ailes a parfois un impact important sur la forme des ailes (Gidaszewski et al., 2009; Sontigun et al., 2017). Pour évaluer l'effet allométrique, nous avons ajusté un modèle de régression multivariée des coordonnées de Procrustes (variable dépendante) à la taille (variable indépendante) parmi les deux sous-espèces et dans chaque sous-espèce séparément dans un test de permutation de 10000 rondes de randomisation. La taille centroïde a d'abord été transformée en logarithme naturel (ln centroïde) pour augmenter l'ajustement du modèle, qui a été estimé par le pourcentage de variance de forme expliqué par la taille.

3^{ème} volet : « Impact des pesticides »

A- Matériel biologique

Des abeilles ouvrières de la race *Apis mellifera intermissa* du rucher de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Abdelhamid Ibn Badiss Mostaganem ont servi à la réalisation des essais d'évaluation de la toxicité du pesticide choisi. Les détails descriptifs de ce taxon ont été mentionnés au préalable dans la partie morphométrie géométrique.

Avant le début des essais, les ruchers ont été contrôlés pour évaluer le statut sanitaire des colonies et pour s'assurer du suivi exact des protocoles de lutte contre la varroase. Les abeilles fournies à l'expérimentation proviennent des colonies fortes, saines et ne présentant aucune pathologie et ayant subi des traitements réguliers contre la varroase.

B- Insecticide

L'insecticide choisi pour les tests de toxicité est le « Métador® » (**Fig. 21 A et B**). Sa matière active est l'imidachlopride, il est produit par ANGLO GULF FZCO en Emirats Arabes Unis. Il est répandu pour son utilisation dans la région de l'ouest algérien sur les cultures maraîchères et les plantes ornementales.



Figure 21 : A , B Présentation de l’emballage de l’insecticide utilisé « Imidachlopride »

1- Présentation de la molécule « Imidaclopride »

L’imidaclopride appartient à la famille des néonicotinoïdes, il est employé comme substance active des produits phytosanitaires autant qu’insecticides. Son usage comme substance active dans les produits biocides est également envisagée dans la catégorie « Produits de lutte contre les nuisibles »

1.1- Propriétés physiques

Une poudre cristalline de couleur blanchâtre est la forme de présentation de l’imidaclopride. Puisqu’il est considéré comme substance active des produits phytopharmaceutiques, ce dernier doit présenter une pureté égale ou supérieure à 970 g/kg.

L’imidaclopride se caractérise par être non volatil, moins soluble dans l’eau et dans la plupart des solvants : diméthylsulfoxyde, dichlorométhane, 2-propanol, acétone ...), et peu soluble dans les solvants aliphatiques par exemple l’hexane. Ces principaux critères physiques sont dans le tableau suivant (**Tab. 08**).

1.2- Propriétés chimiques

L’imidaclopride se caractérise par être stable dans les conditions normales de stockage. Des produits de décomposition dangereux se génèrent en cas de feu comme les oxydes de

carbone ou d'azote, de l'acide chlorhydrique ou du cyanure d'hydrogène. Sa formule développée est illustré dans la (Fig. 22)

Tableau 08 : Propriétés physiques et chimiques principales de l'imidaclopride.

Synonyme	Imidacloprid (ISO)
Formule chimique	1-(6-chloropyridin-3-ylméthyl)-N-nitroimidazolidin-2-ylidèneamine
Formule empirique	$C_9H_{10}ClN_5O_2$
Masse molaire	255,661 g/mol
Point de fusion	Non applicable
Point d'ébullition	144 °C

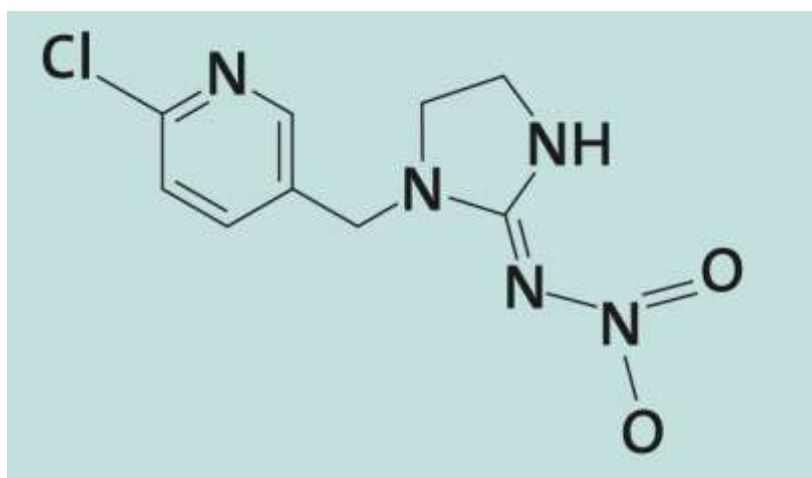


Figure 22 : Présentation de la formule développée de l'imidaclopride.

1.3- Métabolite de l'imidaclopride

A l'instar de toutes les substances toxiques pour un organisme donné, l'imidaclopride est métabolisée par l'organisme dont il est introduit. Malgré qu'il reste difficile à identifier l'ensemble des métabolites qui se forment certains métabolites de ce dernier sont connus.

Ces différents métabolites (Fig. 23) sont : le 5-hydroxy-imidclopride (5.OH), le 4,5-dihydroxy-imidaclopride (4,5-OH), l'oléfine, l'acide G-chloronicotinique 6-ACN) et les dérivés guanidine et urée (Suchail et al., 2003).

Les travaux de Suchail et al., (2003) montrent que deux métabolites seulement de l'imidaclopride sont toxiques après une intoxication aigue : le 5hydroxy-imidclopride (5.OH) et l'oléfine. Le métabolite 5-OH est peu toxique que la molécule mère contrairement à l'oléfine qui présente une toxicité comparable à celle du produit parent. C'est qu'au-dessus de 10000µg/kg d'abeilles que les autres métabolites deviendront toxiques.

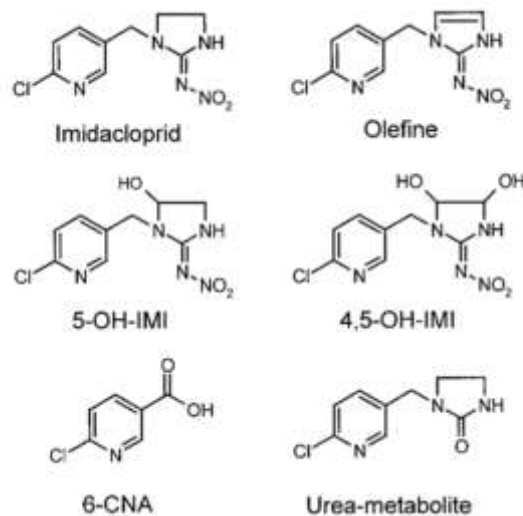


Figure 23 : Présentation des principaux métabolites de l'imidaclopride.

C- Protocole expérimental

Le protocole expérimental était scindé en deux parties :

- La première partie : La détermination de la « DL 50 »
- La deuxième partie : le dosage de certains biomarqueurs de toxicité

I- La détermination de la « DL50 »

La toxicité des produits phytosanitaires est définie par multiple méthodes, la C.E.B N° 95 pour les études de laboratoire, et la méthode n°129 pour les essais sous tunnel. Chaque méthode a ses inconvénients, par exemple avec la méthode en plein champs, les effets d'insecticides du groupe sont difficiles à estimer car ce que l'estimation est basée sur le bilan de mortalité immédiat aux alentours de la ruche et donc on se trouve avec une diminution de l'activité de la ruche sans l'enregistrement d'aucune mortalité pratiquement. Pour les essais de laboratoire la DL50 d'un produit donné change fréquemment d'un facteur 10 mais ce n'est pas toujours le cas, parfois elle peut varier d'un facteur 100, voir 1000 (Atkins et al., 1981). L'inconvénient de la méthode sous tunnel réside dans sa reproductibilité.

Les essais d'évaluation de la toxicité des produits phytosanitaires au niveau de laboratoires reposent sur la détermination de la DL50 par voie orale « Ingestion » et par voie topique « Contact ».

La toxicité des matières actives varie selon plusieurs facteurs :

- ✓ Le mode d'application (topique, contact tarsal, ingestion collective ou ingestion individuelle)
- ✓ Les conditions de l'expérimentation telles que la température, humidité relative....
- ✓ Les paramètres expérimentaux par exemple le nombre d'abeilles dans chaque cage, nombre de répétitions, concentration du sucre dans le sirop, quantité d'acétone utiliser pour diluer la matière active) (Atkins et al., 1981 ; Faucon et al., 1985 ; Decourtye, 2002)
- ✓ Un autre facteur très important et que la majorité des scientifiques l'oublie est la durée de l'absence de la reine car ce dernier cause un changement du comportement de la colonie. la présence de la reine augmente la consommation de la nourriture, diminue le niveau de l'excitation et de la mortalité des abeilles. L'effet reine si on peut l'appeler est négligeable en cas de l'étude de la toxicité aiguë (24h) mais ce n'est pas le cas pour la toxicité chronique (plus de 24h jusqu'à plusieurs jours)
- ✓ Une autre source de variabilité est l'origine des abeilles, cela peut être justifié par la différence de statut sanitaire des colonies, de l'âge non standardisé des abeilles et les espèces testées (Suchail et al., 2000 ; Suchail, 2001).
- ✓ La disponibilité et la qualité de l'alimentation présente avant le prélèvement des abeilles est responsable de la variabilité de sensibilité de chaque individu (effet de la qualité et la quantité) en particulier pour le cas de toxicité par ingestion.

1.1- Condition de l'expérimentation

L'évaluation de la toxicité aiguë par voie orale ou topique des pesticides ou d'autres produits chimiques sur les abeilles domestiques ouvrières adultes s'inspire initialement et spécialement de la ligne directrice de l'Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes « OEPP ». Cette ligne est destinée à déterminer les chutes des produits de protection des plantes sur les abeilles domestiques (*Apis mellifera*) EPPO, (1992). Les suggestions que la commission internationale de botanique apicole a émis pendant son cinquième symposium international sur les risques des pesticides sur les abeilles en vue d'améliorer le test de l'OEPP été pris en considération (Harrison, (1993).

1.1.1- Principe de la méthode

A- Toxicité orale

Il repose sur l'exposition des abeilles domestiques adultes à une gamme de concentration différentes de la substance d'essai dispersée dans une solution de saccharose. Ensuite l'essai se poursuit et les abeilles reçoivent la même alimentation mais sans la substance d'essai. La mortalité est enregistrée quotidiennement durant au moins 24 heures et comparer à celle du témoin.

Si le taux de mortalité entre 24 et 48 heures s'accroît alors qu'il est acceptable chez le témoin c'est-à-dire ≤ 10 , à ce moment la durée de l'essai doit être prolongé jusqu'aux 96 heures au maximum.

Finalement on passe à l'étape de l'analyse des résultats pour calculer la DL50 à 24 heures, à 48 heures et à 96 heures si l'étude est prolongée.

B- Toxicité topique

La substance d'essai est dissoute dans un véhicule approprié, par la suite on l'applique directement sur le thorax (aérosol) sur des abeilles ouvrières adultes avec une série de dose différente. Le reste de l'essai se poursuit par le même principe que la toxicité topique que ce soit le taux de mortalité (≤ 10), la durée d'essai (24, 48 ou 96 heures) et le calcul de la DL50.

1.1.2- Validité de l'essai

Pour les deux modes d'exposition orale et topique, la validité de l'essai est déterminée par les conditions suivantes :

- La mortalité de l'ensemble des témoins vers la fin de l'expérimentation ne doit pas dépasser les 10%.
- La DL50 se trouve dans la gamme spécifiée de l'étalon de toxicité.

1.1.3- Description de la méthode

A- Collecte des abeilles

Il faut standardiser les abeilles au maximum pour éviter l'effet de l'hétérogénéité sur les résultats, donc il faudrait employer des abeilles ouvrières qui appartiennent à la même race c'est-à-dire des abeilles qui ont le même âge et nourries de la même façon. Elles devraient naître des colonies saines correctement nourries, possédant le minimum d'individus malades c'est si possible et le plus important est la présence de la reine en bon état de santé dont l'histoire de ces antécédents physiologiques est connue. La collecte des abeilles pourrait être faite soit le matin du jour de l'essai où elles seront utilisées

directement ou la veille au soir et elles seront maintenues dans les mêmes conditions de l'expérimentation jusqu'au jour suivant.

Le début du printemps et la fin de l'automne sont deux époques auxquelles il faut éviter la récolte des ouvrières car à ce moment les abeilles subissent des changements physiologiques. Dans les mesures où on est obligé de lancer ces essais pendant ces deux périodes, il faut faire éclore les abeilles dans l'étuve, puis elles seront élevées pendant une semaine avec le pain d'abeille (pollen récolté sur les rayons) et une solution de saccharose. Les abeilles qui ont subi des traitements avec des molécules chimiques telles que les antibiotiques, des produits antivarroa, ne devraient pas être utilisés pour les essais de toxicité durant quatre semaines à partir de la fin du dernier traitement.

B- Cage d'essai

Toutes cages faciles à nettoyer et bien ventilées peuvent être utilisées. Tout matériau adéquat peut être employé, par exemple des cages en plastiques, des cages jetables en bois, des cages en acier inoxydable ou en toile métallique..... etc. Une répartition de dix abeilles par cage est préférable. La dimension des cages d'essai doivent être ajustée selon le nombre d'abeille dans la cage afin d'assurer l'espace suffisant.

C- Manipulation et conditions d'alimentation

Les différentes opérations de manipulations, de traitements et des observations peuvent mettre à l'exécution à la lumière du jour. Comme nourriture on utilise une solution de saccharose à concentration finale de 500g/l.

Pour la toxicité orale, après la distribution ainsi la consommation des doses d'essai, l'alimentation est fournie ad libitum. Le système d'alimentation adopté doit permettre l'enregistrement des prises de nourriture dans chaque cage. Un tube en verre de 50mm de long, 10mm de large dont le diamètre de l'extrémité est rétréci à 2mm environ peut régler la situation.

Lors de l'essai de la toxicité topique, la suspension de saccharose (500g /l) est fournie ad libitum dans une mangeoire d'abeille pendant toute la durée de l'essai. Un tube en verre identique à celui de la toxicité orale peut être employé.

D- Préparation des abeilles

1- Pour essai orale

Les abeilles récoltées sont distribuées au hasard dans les cages d'essai qui sont à leurs tours disposées au hasard dans la salle de l'expérimentation. Une privation de nourriture pour au moins deux heures avant le début de l'essai est exercé sur les abeilles. Cette action est recommandée et elle apporte un double avantage :

- Le niveau de remplissage du tube digestif est identique chez tous les individus au début de l'expérimentation
- La consommation totale de l'alimentation contaminée par les différentes doses de la molécule à tester

Avant le début de l'essai une vérification des abeilles dans les cages est effectuée. Les abeilles moribondes sont retirées et remplacées par d'autres abeilles saines.

2- Pour l'essai topique

Après leurs récoltes, les abeilles sont anesthésiées par le dioxyde de carbone ou de l'azote pour appliquer la substance d'essai. Une réduction de la quantité anesthésiante utilisée ainsi le temps d'exposition doit être appliqué. Pour éviter ce problème, on emploie le froid comme facteur anesthésiant, cette procédure est facile et contient moins de risques sur les abeilles ou les résultats des essais. Une minute à deux au maximum dans le réfrigérateur à une température de 4°C est assez suffisante pour avoir l'effet recherché. Les abeilles mortes sont éliminées avant le début de l'essai.

E- Préparation des doses

1- Pour essai oral

La substance est dispersée directement dans une solution de saccharose à 50% si elle miscible dans l'eau. Dans l'eau, des véhicules telles que les solvants organiques, des émulsifiants ou des dispersants peu toxiques pour l'abeille peuvent être utilisées par exemple de l'acétone, du diméthylformamide, du diméthylsulfoxyde. La solubilité de la substance d'essai conditionne la concentration du véhicule mais il doit être identique pour les différentes concentrations. Il est recommandé de ne pas dépasser la concentration de 1% pour la concentration du véhicule.

Des solutions témoins convenables sont obligatoirement préparées. Autrement dit deux groupe de témoin sont utilisées si un autre solvant a été utilisé pour disperser la molécule à tester :

- Une solution aqueuse de l'essai pour le premier groupe
- Une solution de saccharose renfermant le solvant ou le véhicule à la même concentration que dans les solutions d'essai pour le deuxième groupe

1- Pour l'essai topique

Pour être appliqué sur le thorax de l'abeille, la substance à tester doit être présenté sous forme dans un véhicule, à savoir un solvant organique ou de l'eau avec un agent

mouillant. Le solvant préféré est l'acétone mais d'autres solvants peu toxiques pour les abeilles peuvent être employés par exemple le diméthylformamide, le diméthylsulfoxyde.

Il est impératif de préparer des solutions témoins appropriées. Dans le cas où un solvant ou un dispersant a été utilisé pour solubiliser la substance d'essai, deux groupes de témoins sont utilisés

- l'un étant traité avec de l'eau
- l'autre groupe avec le solvant ou le dispersant.

F - Mode opératoire

- Tester par deux modes d'exposition la molécule choisie est recommandé par la méthode C.E.B. N° 95. On a l'application topique où la quantité reçue par abeille est connue et bien déterminée, et le mode de l'ingestion collective, où le sirop toxique est distribué par le phénomène de trophallaxie.
- L'unité expérimentale est la cage de 20 abeilles. Chaque modalité (dose) de traitement contient 3 cages d'abeilles. Le test est répété 3 fois en renouvelant les abeilles et les solutions de traitement. La DL50 est établit à partir de 180 individus par dose testée
- A partir d'une expérience préliminaire réalisée avec 5 doses qui varient selon la progression géométrique de 10 que la gamme de concentration a été déterminée.

1- Ingestion collective

1.1- Avant le traitement

La soumission des abeilles à un jeûne de 2 heures dans une enceinte climatisée dont la température est de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ et à l'obscurité, cette procédure serve à favoriser le phénomène de trophallaxie (échange de nourriture entre les abeilles) et pour induire un même niveau d'appétit.

1.2- Pendant le test

Durant le test, les abeilles sont placées à la lumière et à une température ambiante. Chaque lot d'abeille reçoit une quantité bien calculée selon le nombre d'abeilles par cage de la solution de saccharose à 500 g/l contenant le produit à tester à une des doses de la gamme.

Une fois que le sirop contaminé est consommé, les abeilles sont nourries avec du sirop de saccharose non contaminé. On remplace les abeilles traitées à l'obscurité dans l'enceinte climatisée avec les mêmes conditions cité préalablement (Température $25 \pm 2^\circ\text{C}$, à une humidité relative de 50 à 70%).

Si la totalité de l'alimentation contaminée n'été pas consommée par les abeilles dans une période de 6 heures, cette dernière est substituée par du sirop sain et la quantité de sirop contaminé consommée est notée.

Prenant en considération que le test est répété trois fois, et chaque test s'applique selon les modalités de traitements suivantes :

- le groupe témoin représenté par trois cages correspondant aux individus ingérant le sirop contaminé avec de l'acétone.
- pour la molécule active testée, on a 3 cages par dose, et 5 doses croissantes.

2- Application topique

La matière active est dissoute dans l'acétone (pureté 99%)

1µl d'acétone contaminé est appliqué sur la face interne du thorax de l'abeille en utilisant une micropipette de 10 µl.

2.1- Avant le traitement

Les abeilles sont anesthésiées par le froid chaque cage d'élevage est placée dans le réfrigérateur durant environ 1 à 2minute au max tout en vérifiant les abeilles. Le traitement se déroule dans les mêmes conditions que l'essai de l'ingestion collectif (température et humidité)

2.2- Pendant le test

Les modalités suivantes ont été appliquées pour chaque test :

- trois cages témoins correspondant aux abeilles ayant reçu 1µl d'acétone non contaminé sur leurs thorax.
- 3 cages par dose, et 5 doses croissantes est appliquées pour la matière active testée

Pendant toute la durée du test, l'alimentation des abeilles a été assurée avec du sirop de saccharose à 500 g/l distribuée ad libitum.

L'obscurité, la température est l'humidité ont été assurés et vérifiés régulièrement avant et après traitement.

1.3- Réalisation de l'expérimentation

Comme recommandé dans les lignes directrices de l'Organisation européenne pour la protection des plantes « OEPP), les essais par deux modes d'application ont été lancés

1.3.1- Application orale

Les essais de la toxicité orale aiguë ont été performés sur des colonies d'*Apis mellifera intermissa*. Des ouvrières d'âge mixte capturées dans des rayons de ruche sans couvain (**Fig. 24**) ont été utilisées pour effectuer ces essais selon des études antérieures (Nauen et al., 2001 ; Suchail et al., 2001).



Figure 24 : Capture d'ouvrières servant d'essai à partir du cadre de la ruche.

Pour chaque colonie, des abeilles mellifères ont été prélevées de la ruche à l'aide d'un tube à essai (**Fig. 25**), trois cages contenant chacune 20 abeilles pour une dose spécifique de pesticide ont été produites (**Fig. 26**). L'acétone a été utilisée pour dissoudre le pesticide afin de fabriquer des solutions mères (500 ng/ μ l), qui ont été entreposées à 4 °C et recouvertes par l'aluminium pour les protéger contre la lumière.

Cinq solutions d'essai de pesticide ont été préparées en diluant des solutions mères avec 30% (W/V) de solution de sucre. Compte tenu des contenus stomacales des abeilles mellifères, celles-ci devraient être complètement consommées après une période de famine de 2 heures ([Laurino et al., 2011](#)), les abeilles mellifères capturées dans la ruche ont été gardées dans des cages sans nourriture dans un incubateur à 30 °C pendant environ 2 heures avant d'être soumises à des essais de toxicité dans la présente étude ([Laurino et al., 2011](#), [Suchail et al., 2000](#)).



Figure 25 : Utilisation du tube à essai pour capter les abeilles servant à l'expérimentation



Figure 26 : Unité expérimentale : cages contenant 20 abeilles.

Par conséquent, le contenu du tube digestif des abeilles était égal avant les essais de toxicité de la présente étude. Les abeilles mellifères de l'expérimentation ont été nourries avec 2 μ l de solution de saccharose contenant chaque dose spécifique de pesticide à l'aide d'une pipette, et les groupes témoins d'abeilles ont été nourris avec 2 μ l de solution de sucre à 30% contenant 1,4% d'acétone. Les solutions de dosage ont été préparées fraîchement pour chaque essai. Différentes concentrations de pesticides pour *Apis mellifera intermissa* ont été utilisées selon les données publiées et nos expériences

préliminaires. Cinq doses testées d'imidaclopride (1 , 2, 4, 8 et 10 ng/abeille) ont été administrées à *A. mellifera intermissa* .

Chaque groupe de 20 abeilles a été conservé dans une cage équipée d'une mangeoire remplie de 30% de solution de sucre (**Fig. 27**), les cages ont été maintenues dans un incubateur à 30 °C et 70 HR. Le relevé de mortalité a été enregistré à 1, 2, 3, 4, 5 et 6 heures.

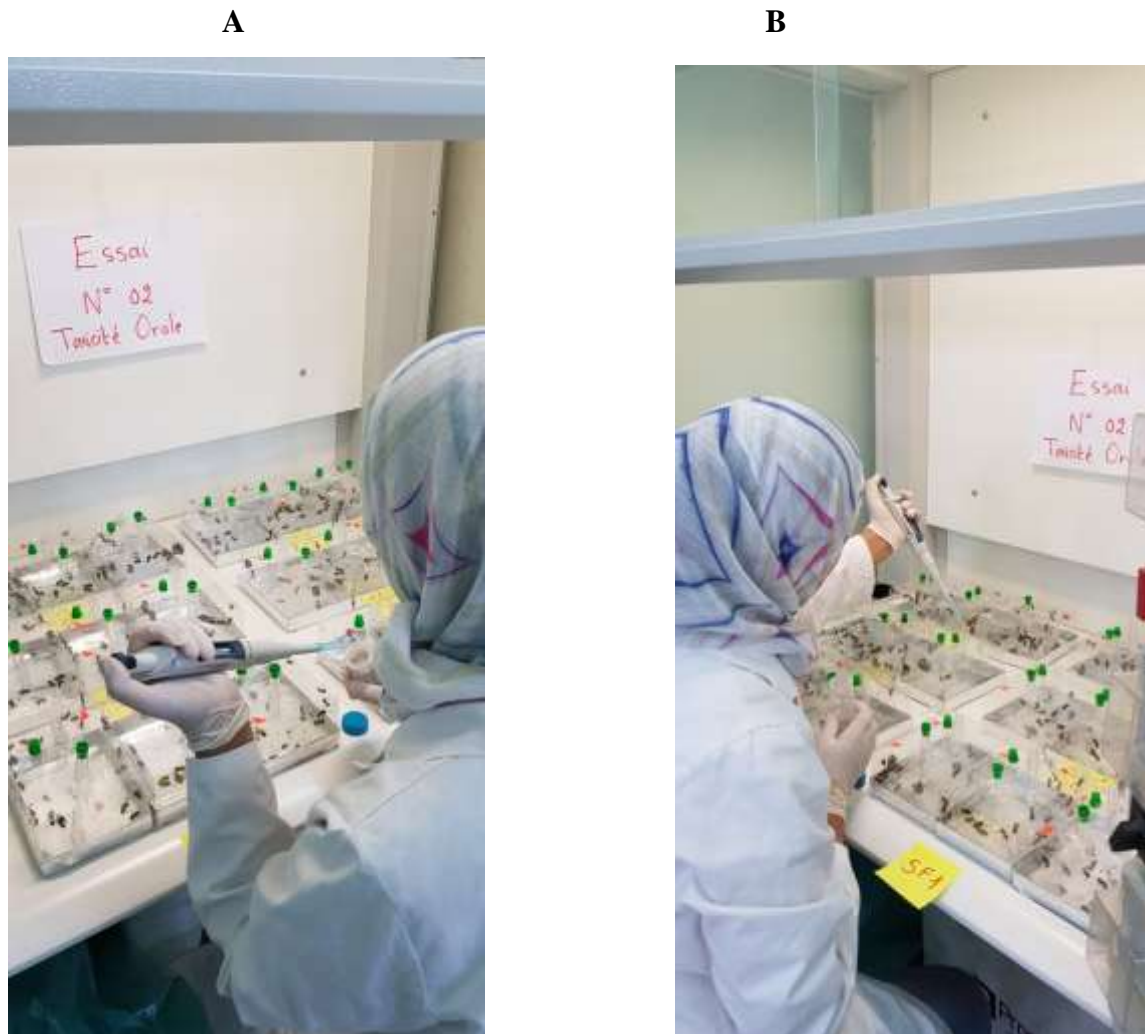


Figure 27 : (A et B) Distribution d'aliment contaminé lors de l'essai d'intoxication orale
1.3.2- Application topique

Un microlitre de chaque dose des solutions contaminées a été appliqué avec une micropipette sur la face dorsale du thorax de l'abeille (**Fig. 28**). Après l'application, toutes les abeilles ont reçu 50 % de solution de saccharose ad libitum comme nourriture. Les abeilles témoins ont reçu 1 μ l du véhicule. La mortalité des abeilles a été enregistrée à 1, 2, 3, 4, 5 et 6 heures après l'application topique.



Figure 28 : Application topique des solutions contaminées.

1.3.3- Analyses statistiques

La dose létale « DL50 » de l'imidaclopride a été déterminée selon la méthodologie proposée par l'OECD avec certaines modifications. Les mortalités ont été enregistrées sur une base de données créée sur l'Excel et le pourcentage de mortalité a été calculé, les corrections relatives à la mortalité s'effectuent selon la méthode d'Abbott. Les DL50 ont été déterminées par l'analyse de régression de probit en utilisant SPSS. L'analyse unidirectionnelle de la variance a été utilisée pour évaluer les différences entre les groupes.

II- Dosage enzymatique

Après avoir déterminé la DL50 pour la toxicité aiguë orale et topique, on passe à la deuxième partie de notre travail « **le dosage enzymatique** ».

1- Exposition des abeilles mellifères à des doses sublétales du pesticide

Immédiatement après la détermination de la DL50 à 24 h, une nouvelle expérience a été menée pour exposer les abeilles à l'imidaclopride à une dose approximativement égale à la « **DL50/2** » pour évaluer les effets du pesticide analysés sur les activités des

biomarqueurs suivants AChE, GST, CAT et ALP, pour la sous-espèce *Apis mellifera intermissa*.

Trois colonies différentes de l'espèce *Ais mellifera intermissa* ont été utilisées, et des abeilles butineuses capturées à l'entrée de la ruche ont été employées. Trois cages d'abeilles, comptant chacune 20 abeilles de chaque colonie dans chaque cage, ont été administrées par voie orale avec chaque pesticide utilisant les méthodes décrites au préalable. La même procédure a été appliquée pour l'essai par contact avec une différence dans le mode d'application.

2- Les essais enzymatiques

AChE a été extrait des têtes des abeilles mellifères qui avaient déjà été engourdies à 5 °C avant que leur tête ne soit enlevée par coupe à l'aide d'un scalpel. Pour éviter toute souffrance animale, tous les tissus utilisés pour l'isolement des biomarqueurs ont été retirés des abeilles préalablement anesthésiées et décapitées. Pour chaque extrait de tissu, les têtes ont été pesées et le milieu d'extraction a été ajouté pour faire un extrait de dix pour cent (w/v). Le medium d'extraction se composait de 10 mM de NaCl, un pour cent (p/v) de triton X-100 et de phosphate de sodium de 40 mM à pH de 7,4, et contenant 2 mg/ml d'antipain, de leucpeptine et de pepstatine A, 25 unités/ml d'aprotinine et 0,1 mg/ml (Belzunces et al., 1988).

L'homogénéisation des tissus a été réalisée à l'aide d'un homogénéisateur à grande vitesse pendant trois périodes de 30 s, à intervalles de 30 s, et les extraits ont ensuite été centrifugés pendant 20 min à 13000 g. Le surnageant a été récupéré pour des analyses biochimiques et utilisé immédiatement ou entreposé à 20 °C.

ALP, CAT et GST ont été extraits de l'intestin moyen. Pour chaque extrait de tissu, trois intestins moyens ont été obtenus en tirant les piqûres des abeilles mellifères et ont ensuite été pesés. Le medium d'extraction a ensuite été ajouté pour produire un extrait de dix pour cent (p/v), composé de 10 mM de NaCl, de 40 mM de phosphate de sodium à pH7,4 et du cocktail d'inhibiteurs de la protéase. Les intestins moyens ont été homogénéisés et traités comme décrit au préalable pour les enzymes de la tête. Toutes les procédures ont été effectuées à 4 °C. L'efficacité de l'extraction des biomarqueurs a été évaluée en effectuant trois extractions consécutives au cours desquelles les pastilles de centrifugation ont été réextraitées avec le tampon approprié et les trois surnageants obtenus ont été dosés indépendamment pour l'activité enzymatique.

Tous les essais enzymatiques ont été effectués en trois exemplaires à 25 °C après incubation des enzymes pendant 20 min dans le milieu d'essai en l'absence de substrat.

L'activité AChE a été mesurée à 412 nm selon la méthode décrite par [Ellman et al., \(1961\)](#) avec des modifications de [Belzunces et al., \(1988\)](#). Le dosage de l'activité de l'AChE a été réalisé sur une fraction aliquote de 100 µl de surnageant à laquelle ont été ajoutés 100 µl de DNTB. Après 5 min, et afin d'épuiser la réaction spontanée, 200 µl de solution substrat acétylthiocholine a été rajoutée.

L'ALP a fait l'objet d'une surveillance continue à 410 nm dans un milieu contenant 20 mM MgCl₂, 2 mM p-nitrophényl phosphate comme substrat et 100 mM de tampon tris-HCl à pH 8,5 ([Bounias et al., 1996](#)).

La GST a été mesurée à 340 nm dans un milieu contenant 1 mM d'EDTA, 2,5 mM de GSH (glutathion réduit), 1 mM de 1-chloro-2,4-dinitrobenzène comme substrat et 100 mM de phosphate de sodium à pH 7,4.

Le CAT a été mesuré selon la méthode décrite par [Beers et Sizer, \(1952\)](#) dans un milieu contenant 10 mM de H₂O₂ et 100 mM de phosphate à pH 7,0. La réaction a été surveillée par la diminution de l'absorbance à 240 nm due à la consommation de H₂O₂.

Pour l'AChE, le CAT et l'ALP, une unité d'activité enzymatique a été définie comme la quantité d'enzyme qui, dans les conditions de l'essai, a hydrolysé 1 mmol de substrat par minute. Pour la GST, une unité d'activité correspondait à la quantité d'enzyme conjuguant 1 mmol de GSH par min.

Les concentrations de protéines ont été estimées à l'aide de la méthode décrite par [Bradford, \(1976\)](#), l'albumine sérique bovine étant la norme.

Les résultats ont été exprimés en termes d'activités spécifiques et tissulaires correspondant à l'activité définie ci-dessus et ensuite liés à la quantité de protéines ou de tissus, respectivement.

3- Analyse statistique

Pour les essais enzymatiques, sur une base de données crée sur l'Excel, les valeurs obtenues ont fait l'objet d'une analyse unidirectionnelle de la variance, et les moyennes ont été comparées par analyse contrastée ($P \leq 0,001$). Toutes les analyses de données ont été effectuées à l'aide du logiciel SPSS et les résultats figurent dans le chapitre qui suit.

Chapitre III
Resultats Et Discussion

Résultats et discussion

Pour la situation de l'Apiculture dans L'Ouest Algérien en (Fig. 29) et au 1^{er} Volet les résultats de nos enquêtes sont caractérisés par deux éléments

- L'aspect qualitatif de la filière qui nous a permis de comprendre les flux de, la composante humaine, le matériel et produits utilisés, les techniques d'élevage et ses contraintes qui affectent le développement du secteur apicole dans les Wilaya retenues pour l'étude.
- L'aspect quantitatif représenté par les paramètres économiques voir la production sous toutes ses formes miels et autres.

Cette enquête réalisée auprès des apiculteurs est scindée en 04 rubriques.

I-Rubrique 1 « Identification de l'apiculteur »

1- Début de l'activité

L'apiculture est une activité ancienne et ancrée dans les traditions agricoles et culturelles Algériennes, les aspects socio-culturels sont à l'origine de la passion pour l'élevage des abeilles. L'apiculteur est considéré comme le pilier de la filière. Son profil est décrit par de multiples questions soulevées par l'enquête. la composante humaine est diversifiée entre enseignants, universitaires, agriculteurs, horticulteurs, commerçantsetc.

Les résultats concernant le début de la pratique de l'apiculture dans les trois wilayas Tiaret, Relizane et Mostaganem (Fig. 29) montrent que Relizane est la plus ancienne et où l'activité a démarré entre (1960-1970).

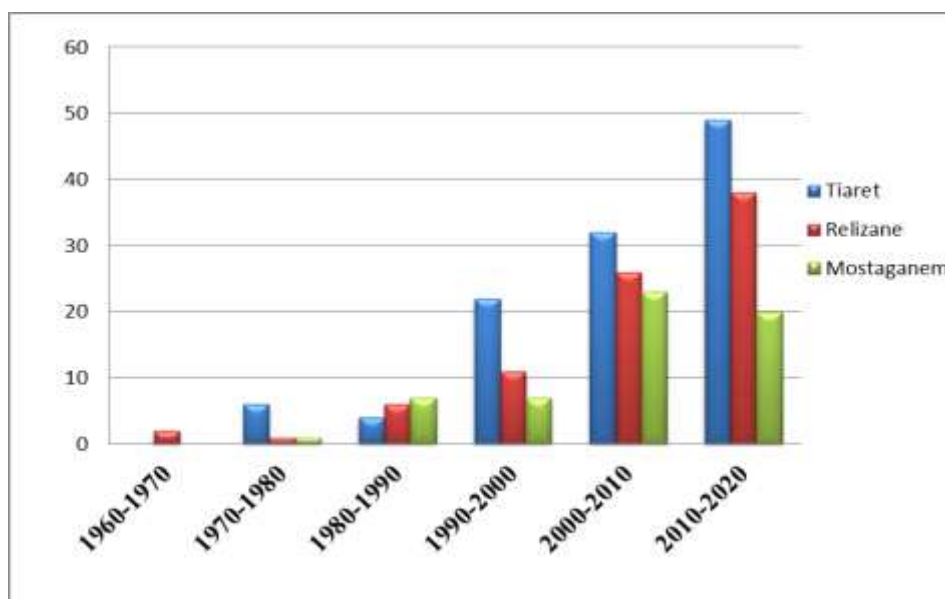


Figure 29 : Début d'activité selon les années pour les trois wilayas

Le nombre d'apiculteurs a augmenté significativement à partir des années 1970 alors que Mostaganem a connu une augmentation des activités apicoles qu'à partir des années 2000 seulement.

La diminution du nombre d'apiculteurs à travers le temps voire les années 1960, 1970, 1980 et 1990 s'explique par :

- Après l'indépendance le secteur de l'apiculture en Algérie a connu une destruction totale des ruches par la colonisation française.
- le manque de vulgarisation et l'absence d'intérêt pour la pratique de la filière durant ces périodes
- Appauvrissement des ressources mellifères, provoquées par les incendies, la désertification et les changements climatiques (raréfaction des pluies)

C'est à partir de l'année 2000 qui représente la sortie de la décennies noire que le nombre d'apiculteurs a augmenté d'une manière remarquable pour la filière, cela s'explique par l'encouragement et le soutien apporté par l'état au secteur agricole d'une manière globale et le secteur apicole en particulier à travers une série de mesures contenues dans les différents plan de développement tels que

a- Le plan quadriennal (1970 - 1973)

Ce plan quadriennal a prévu la mise en place d'infrastructures nécessaires pour les groupements de productions diversifiées, afin de garantir le développement harmonieux, la valorisation des terres et finalement la protection des sols et l'irrigation.

Dans le cadre des programmes spéciaux des wilayas, des crédits avantageux ont été apportés pour permettre le développement de l'apiculture en Algérie ainsi l'intégration des trois secteurs de l'agriculture le secteur de la révolution agraire, le secteur autogéré et le secteur privé par le biais de création des coopératives apicoles (Berkani, 1980). L'exploitation de multiples ressources financières, humaines et matérielles été avantageusement impliquée qu'à partir de 1972.

b- Plan National de Développement Agraire « P.N.D.A. » (2000-2008)

Démarrer en 2000, sa mission principale est la création, la valorisation et la promotion des métiers ruraux, ainsi que la mise à niveau des exploitations agricoles par la consolidation des activités productives.

Pour le domaine apicole, ce plan a fixé comme objectif le passage de l'apiculture d'une activité secondaire à une filière bien structurée et consolidée. En effet les offres déployées se résument comme suit : les apiculteurs peuvent obtenir selon leurs choix soit

une subvention en vue d'acquérir 10 à 400 ruches, soit une pépinière créée par 50 ruches éleveuses, 200 nuclei de fécondation, 500 ruchettes, des accessoires (cagettes, cupules).

Ce projet vise à préparer et encourager les apiculteurs par l'octroi de matériel, support financier et formations adéquates et préparation du terrain nécessaire à la bonne conduite et la survie du cheptel, et la démarche globale adoptée se résume à :

- Reconversion des terres agricoles
- Développement des filières agricoles
- Mise en valeur des terres par la concession
- Projets de Proximité de Développement Rural Intégré (PPDRI)
- Lutte contre la désertification et la protection des parcours steppiques

c- La stratégie agricole et de rénovation rurale « ARR » (2008 - 2014)

Une stratégie de développement visant à assurer la sécurité alimentaire par l'utilisation rationnelle des ressources naturelles, et la diminution de la facture d'importation alimentaire, avec le même appui que les projets précédents, ce plan renforce les capacités humaines et l'assistance techniques, en réduisant les vulnérabilités, dans un cadre d'un partenariat public-privé. Cette loi d'orientation a abouti à l'émergence d'une nouvelle gouvernance à travers :

- Amplification de la production nationale en produits de large consommation;
- La modernisation des exploitations agricole par l'expansion du progrès technologique;
- La nécessité de la modernisation et de l'organisation des réseaux de collecte ainsi de commercialisation de la production;
- L'installation des systèmes de régulation interprofessionnels ;
- L'établissement des systèmes d'irrigation agricole par un développement équilibré, harmonieux et durable des espaces ruraux

La politique de Renouveau Agricole et Rural est basé sur trois piliers complémentaires, le Renouveau Agricole, le Renouveau Rural et le Programme de Renforcement des Capacités Humaines et de l'Appui Technique aux producteurs (PRCHAT).

d- Stratégie (FILAHA 2015-2019)

Le dernier projet étatique visant la relance de l'apiculture algérienne, à travers l'augmentation de sa production, l'amélioration de la technicité de la filière, cible :

- La valorisation des produits apicoles par l'identification des miels algériens proprement dit « La labellisation » tout en collaboration en jumelage avec UE.

- Promouvoir l'exportation des produits apicole notamment le miel
- L'accessibilité des produits apicoles sur le marché nationale à prix convenable
- Consolidation de la dynamique entre les mouvements associatifs et les groupements professionnels.
- Mise en place d'une réglementation dirigeant l'activité apicole tout en renforçant la protection des abeilles des maladies, et des produits phytosanitaires.
- Augmentation de la production apicole à 10.000 tonnes de miel

2- Le sexe

Selon nos enquêtes, 255 apiculteurs dont 04 sont des apicultrices est le résultat obtenus, révèle que les hommes forment la grande majorité des exploitants qui dirigent l'élevage apicole soit 98% de l'ensemble des apiculteurs, alors que les femmes constituent la proportion la plus faible, soit 2%. Ces constats sont en accord avec certaines enquêtes menées dans le cadre des mémoires d'étude dans la wilaya de Tizi-Ouzou, Blida, Bouira, Médéa, Bejaia et de M'sila. Par conséquence, la dominance de l'activité par les hommes est constatée à travers le territoire national.

Cette dominance s'explique par l'aspect rural qui caractérise l'activité, les ruchers sont installés dans des zones isolées, loin des zones urbaines, à accès difficile et dangereux, voire les montagnes, et forêts, ce qui rend la situation contraignante pour les femmes à atteindre ces sites d'élevage. Un autre obstacle est représenté par l'effort physique, que l'activité exige lors du déplacement des ruches. Malgré cela, les apiculteurs signalent que cette pratique reste familiale et la femme intervient souvent directement ou indirectement dans la pratique apicole.

3- Type d'apiculteurs

En général, trois types d'apiculteurs caractérisent la profession

- Des apiculteurs professionnels, au nombre réduit.
- Des apiculteurs semi professionnels.
- Des apiculteurs amateurs, dont le nombre est relativement important.

Selon les résultats de nos enquêtes, il est relevé un nombre minime d'apiculteurs professionnels soit 19%. 67% des apiculteurs sont des amateurs alors que 14% restent des apiculteurs semi-professionnels.

Plusieurs facteurs expliquent cette situation

- Le maintien de l'aspect traditionnel du métier, avec transmission et acquisition d'un savoir-faire de père au fils
- Manque de technicité et non maîtrise des techniques d'élevage modernes

- Manque de moyen financiers
- La négligence, voire l'absence des apiculteurs dans les formations, ateliers et workshops, destinées à l'amélioration de la filière
- Absence d'études pilotes et de vulgarisation au terrain pour l'extension des ruchers
- La nature du métier qui est considéré pour son exerçant comme activité secondaire et non comme un job à temps complet

4- Adhésion à un organisme apicole

La réponse à la question de l'accompagnement des apiculteurs par une structure technique de type coopérative ou association, 18% seulement des enquêtés s'adhèrent à ce genre d'organisation alors que la majorité, soit 82% constitue le pourcentage d'apiculteurs producteurs de miel n'adhérant à aucune forme d'organisation sociale et pratiquent la vente de leurs produits directement sans intermédiaire aux consommateurs, cependant depuis quelques années quelques apiculteurs dont le nombre est réduit s'activent autour de coopératives et/ou associations professionnelles qui sont chargés de la défense de la filière de sa promotion et de son développement, signalant que la Wilaya de Tiaret ne dispose d'aucune coopérative pour le moment, ce qui signifie l'absence de structuration de la profession qui reste un facteur clé dans le développement de la filière, néanmoins au plan national

Plusieurs associations s'activent à leur tête l'association Nationale des Apiculteurs Professionnels « ANAP » et l'association des apiculteurs et amis de l'abeille de la wilaya de Annaba, dont les objectifs visent à propager la connaissance du métier d'apiculteur, à défendre la profession en lui conférant sa véritable place dans l'échiquier économique national.

Sur la plan international, l'Algérie est active dans ce domaine, elle est affiliée depuis 1990 à la Fédération Internationale des Associations des Apiculteurs, elle fait partie des membres de l'association des apiculteurs des pays arabes, crée en Février 1993, et dont le siège se trouve au Caire. L'Algérie est représentée par ses apiculteurs, à travers des congrès et colloques, dédiés à la profession et organisés un peu partout dans le monde

5- Formation

Selon notre enquête, 17% du total d'apiculteurs ont fait des formations dans le domaine apicole (**Fig. 30**) soit 20, 7, 7 d'apiculteurs dans les wilayas de Tiaret, Relizane et Mostaganem respectivement. .

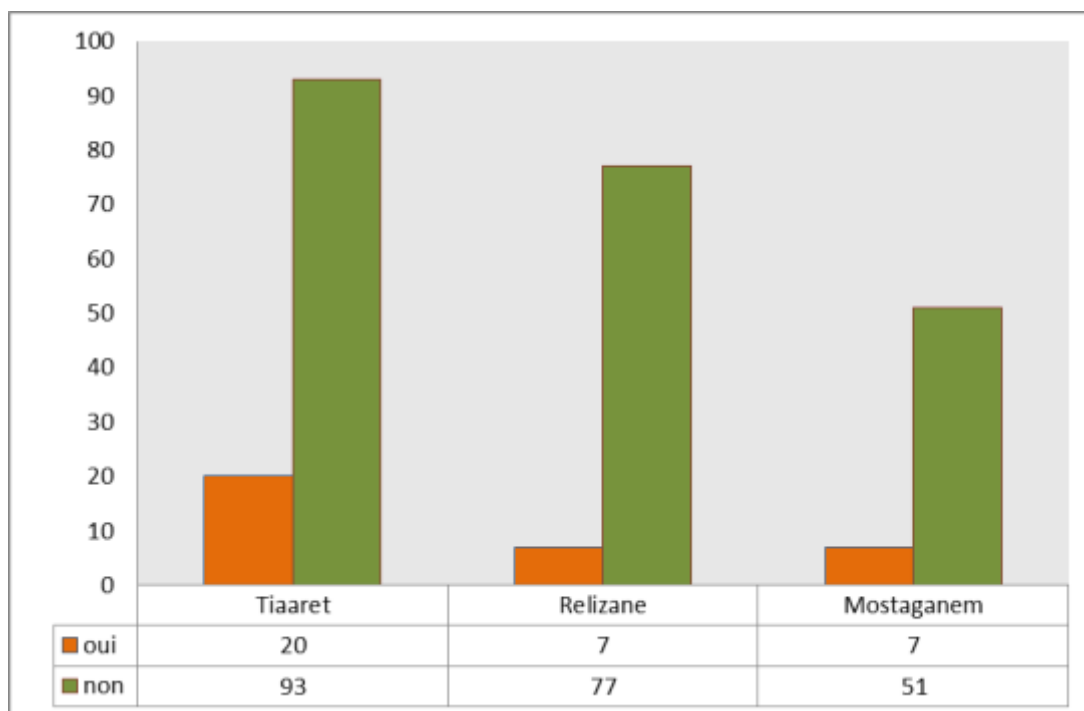


Figure 30 : Apiculteurs participants à des formations

Par contre 83% des apiculteurs n'ont pas suivi des formations, et leur savoir-faire n'a été acquis qu'à travers sa transmission de père en fils, cela est en accord avec des enquêtes du même genre et pour la même filière, menées dans la région centre du pays : Blida, Tizi Ouzou (Bourkache et Perret, 2014) Bouira (Adjlane et al., 2012) et M'silla (Ziane et Brikat., 2020). Les apiculteurs intéressés par ces cycles de formation expriment leurs besoins et ciblent principalement les thèmes suivants :

- Maitriser les techniques actuelles telles que l'élevage des reines, la gelée royale et autres méthodes
- L'apprentissage des techniques d'élevage surtout pour les amateurs débutants
- Gestion de leurs parcs ruchers
- Modernisation des pratiques d'élevage ainsi que le matériel utilisé
- Amélioration et diversification de la production

La durée, le lieu et l'objectif de chaque formation varie d'une région à une autre, selon la disponibilité des formateurs qui l'assurent et la demande de la profession.

II-Rubrique 2 « Rucher, pratiques et production »

A- Présentation de l'exploitation

Une série de questions est réservée à ce volet pour identifier le type de ruches, les pratiques apicoles et la nature de l'élevage.

1- Nombre de ruches

Le (Tab. 09) indique la taille des ruchers. [1-25] ruches est la taille la plus fréquente au niveau de la wilaya de Tiaret et de Relizane. La wilaya de Mostaganem adopte en dominance des rucher de taille comprise entre [25-50]. Les ruchers à taille plus ou moins importante (supérieur à 100 ruches) sont plus considérables à Relizane et Mostaganem.

La conversion des données du tableau en présentation par secteurs (Fig. 31) tout en considérant la répartition des ruchers en trois catégories selon leur taille :

- Petits élevages où élevage familiale (1-49 ruches)
- Moyens élevages (50-149 ruches)
- Grands élevages (> 150 ruches)

Tableau 09 : Taille du rucher par wilaya

Nombre des ruches	Tiaret	Relizane	Mostaganem	Total
[1-25]	75	58	5	138
[25-50]	18	8	24	50
[50-75]	13	7	16	36
[75-100]	4	1	3	8
[100-125]	1	6	1	8
[125-150]	0	2	3	5
[150-175]	1	0	2	3
[175-200]	1	2	4	7
Total	113	84	58	255

D'après les résultats illustrés dans le secteur (Fig. 31), les petits ruchers dont le nombre de ruches ne dépasse pas les 50 ruches sont les plus répandus dans les trois wilayas avec un taux de 74% suivi respectivement de 22% et 4% correspondant aux moyens et aux grands élevages apicoles.

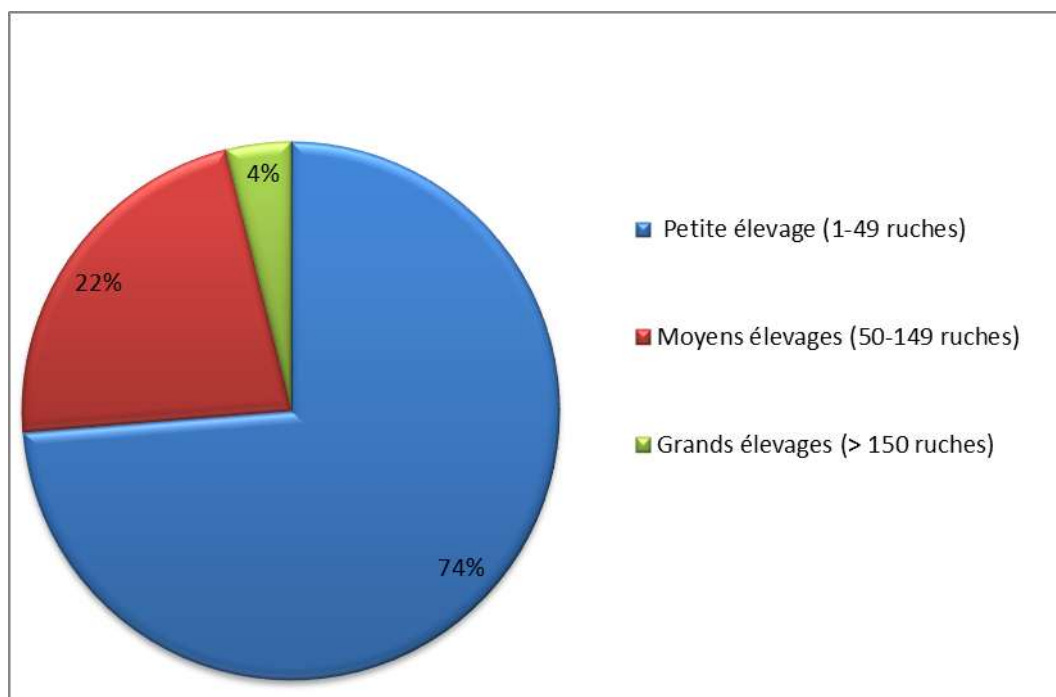


Figure 31 : Répartition des élevages selon le nombre de ruches

Les résultats obtenus sont en accord avec ceux signalés par [Ouakli et al., 2019](#), qui signale que sur la plaine de Mitidja 63,33% des apiculteurs détiennent moins de 100 ruches.

Cette baisse du parc rucher est aussi remarquée dans la région de Tizi-Ouzou où 50% des apiculteurs ont moins de 50 ruches ([Ghalmi, \(2017\)](#)), et les mêmes constats sont établis pour la région d'Ain Defla où 50% des apiculteurs ont moins de 100 ruches.

Une autre étude visant la caractérisation de la filière apicole dans les wilayas de Tizi-Ouzou et Blida ([Bourkache et Perret, 2014](#)). Signale que les apiculteurs possédant des exploitations de taille modeste, avec un nombre de ruche inférieur à 50 représente plus de la moitié voire la majorité (88 sur 111 apiculteurs).

Globalement, les ruchers de petites tailles appartiennent aux producteurs de type familial. Les ruchers de taille moyenne sont réservés aux apiculteurs semi-professionnels qui ont une autre activité professionnelle et en finalité, les grands ruchers avec un nombre de ruches dépassant les 150 unités représentant un potentiel de production élevé, nécessitant un entretien et un suivi rigoureux que seuls les apiculteurs professionnels l'assurent.

2- Localisation du rucher

Il est relevé dans le questionnaire que la totalité des apiculteurs enquêtés installent leurs ruchers, loin des zones urbaines pour de multiples raisons :

- Les pénalités soulignées par la législation régissant les normes d'installation d'un rucher
- L'incontrôlabilité des abeilles, donc la protection de l'homme et l'animal contre les abeilles est impérative car cette dernière peut devenir agressive et attaque d'une manière parfois mortelle (choc anaphylactique).
- Les pratiques et les manipulations assurées par les apiculteurs telles que l'essaimage, administration des différents traitements et même la récolte du miel excitent les abeilles et fait appel à des grandes surfaces pour pratiquer librement l'activité en évitant toute sorte de risques.
- Les zones rurales sont riches en ressources mellifères naturelles constituant une source d'alimentation pour les abeilles.

3- Type de ruches

Selon le type de ruches les apiculteurs sont répartis en trois groupes. Il y a ceux qui possèdent des ruches modernes, d'autres des ruches traditionnelles et une troisième catégorie mixte formé d'apiculteurs ayant les deux types à la fois, les résultats sont illustrés au (Tab. 10).

Tableau 10 : Modèle de ruche utilisé dans les trois wilayas.

Type de ruche	Moderne	Traditionnelle	Mixte	Total
Tiaret	75	28	10	113
Relizane	40	28	16	84
Mostaganem	40	16	02	58
Total	155	72	28	255

Plus que la moitié des apiculteurs (**155 sur 255 enquêtés**) utilisent des ruches modernes dans leurs exploitations, alors que 72 autres adoptent des ruches traditionnelles . Les 28 professionnels restant possèdent les deux types de ruches dans leurs exploitations.

Généralement les ruches modernes sont les plus appréciées pour de multiples avantages:

- La rentabilité importante par rapport aux ruches traditionnelles
- La facilité de manipulation
- La réalisation facile des traitements surtout le moment de l'apparition de la varroa
- Praticable à la transhumance

Parmi ses inconvénients

- Leurs chertés par rapport aux ruches traditionnelles

- L'instabilité du prix qui varie souvent selon les fournisseurs du bois, et les producteurs de ruches (prix de menuiserie)
- L'impossibilité de les recycler, en cas d'installation de certaines maladies telles que la loque Américaine ou Européenne ou certains prédateurs voire la fausse teigne dont la seule solution est de les incinérer.

Conçu à partir de plantes « Férule » et d'argile, la ruche traditionnelle est moins couteuse, ami de la nature et facile à construire. Ces caractéristiques expliquent la persistance et la résistance de ce modèle à travers les années, malgré la modernisation du secteur, comme inconvénient cette ruche est fixe, ne peut pas les déplacée ou les contrôles. Les traitements et les visites de vérification et de routine sont difficiles à réaliser

La présence de ces ruches traditionnelles au sein des ruchers constitue un facteur limitant pour le développement intensif de la filière apicole.

Les apiculteurs possédant les ruches mixtes ont exprimé leurs préférences et désirs pour les ruches traditionnelles, marquant l'héritage légué par leurs ancêtres.

4- Catégorie de ruche

La totalité, soit 100% des apiculteurs ont des ruchers modernes et utilisent la ruche « **langstroth** ». Actuellement ce modèle est le plus répandu dans le monde, et spécialement le seul dans certains pays tels que l'USA, Canada, Australie, La Nouvelle – Zélande, Mexique, Brésil et en Argentine (Prost, 1979 et Philippe, 2007). Ce type de ruche a fait ses preuves dans des nombreux climats et sous différentes conditions d'usage et est devenu une ruche de référence dans la plupart des stations apicoles.

La prédominance de ce modèle s'interprète par ces multiples avantages :

- Son avantage majeur est l'interchangeabilité des corps et des hausses qui sont uniformes ainsi leurs cadres. Cette qualité facilite beaucoup les manipulations des éleveurs (Clement, 2004 et Philippe, 2007)
- Une adaptation particulière à la transhumance et au climat méditerranée dont l'hiver est un peu court et rigoureux (Regard, 1988 ; Clement, 2004)
- Le passage de l'hiver en climat méditerranée avec la ruche langstroth peut se faire facilement sans un nourrissage artificiel et avec un simple corps plein de miel à l'automne (Philippe, 2007).

Face à ces avantages justificatifs, la ruche langstroth présente certains inconvénients :

- La grande surveillance que nécessite la ruche pendant l'hivernage et qui varie selon le volume finale du corps (un ou deux corps) (Gagnon, 1987 ; Villiers, 1987).
- La nature basse de ses cadres, oblige la reine à étaler sa ponte latéralement et la prédisposition en sphère écrasée de son nid n'est pas toujours logique, d'ailleurs, la reine et grâce à cette situation change le lieu de ponte vers la hausse qui n'est pas bien pour la récolte de miel (Prost, 1979)
- Les hausses sont lourdes et fatigantes à la manipulation lorsqu'elles sont gorgées de miel (Clement, 2004)
- Avec un volume de 44 litres, cette ruche est non plus convenable pour les hivers rigoureux de longues durées (Clement, 2004)

Tout en signalant que la ruche langstroth utilisé en Algérie est une référence modifiée et vient d'un modèle recommandée par Grollier en 1976 (Chelghoum, 2011). Ces dimensions (Tab. 11) sont légèrement inférieures à celui du modèle original. Les modifications apportées sont en fonction de la climatologie de l'Algérie d'une part et de ce qu'est convenable aux apiculteurs du pays lors des manipulations d'autre part.

Tableau 11 : Dimensions de la ruche langstroth modifié utilisé en Algérie (Chennit et Cherif, 1993)

Dimensions du corps de la ruche en (mm)	Dimensions des cadres du corps en (mm)
Longueurs extérieure 520	Dimensions internes 420×200
Longueurs intérieure 740	
Largeur extérieure 420	Dimensions externes 435×230
Largeur intérieure 370	
Hauteur 235	
Capacité 44littres	

5- Races d'abeilles

L'aspect homogène des élevages apicoles dans les zones d'enquête est le plus dominant. La globalité des apiculteurs des trois wilayas Tiaret, Relizane et Mostaganem soit 100% élèvent l'abeille *Apis mellifera intermissa* nommé communément l'abeille noire. Quelques apiculteurs ont signalées la présence des hybrides outre que l'abeille noire, cette race se caractérise phénotypiquement par un abdomen teinté par deux couleurs jaune et noire donc on se trouve avec une abeille de couleur moitié jaune et moitié noire.

Ces constats se rapprochent de ceux signalés par une enquête menée à Blida dont 78% des apiculteurs n'ont que l'abeille noire dans leurs élevages, le reste soit 22% ont des exploitations hétérogènes formées des deux races jaunes et noires à la fois (Bouguettouf, 2016). En Mitidja la diversité du cheptel apicole est démontrée par l'utilisation d'une seule race d'abeille (*Apis mellifera intermissa*) par 66.66% d'apiculteurs (Ouakli et al., 2019).

Apis mellifera intermissa nommée la tellienne ou race noire constitue le meilleur choix, elle est sélectionnée pour son aptitude à supporter les conditions climatiques difficiles de l'hiver et pour sa production élevée de miel, pollen et gelée royale (Khenfer et al., 2001).

Contrairement, *Apis mellifera sahariensis* aussi appelée la race jaune, cette dernière est moins agressive que la tellienne mais elle ne supporte pas les conditions climatiques difficiles de l'hiver.

B- Les pratiques

L'activité apicole s'exerce par plusieurs pratiques, durant notre investigation deux approches ont été examinées la transhumance et le nourrissage des abeilles.

1- La transhumance

La transhumance se définit par le changement de l'endroit ou l'emplacement à la recherche des ressources mellifères appropriées et du climat favorable aux abeilles pour optimiser la production de miel. Les résultats obtenus sont illustrés en (Fig. 32)

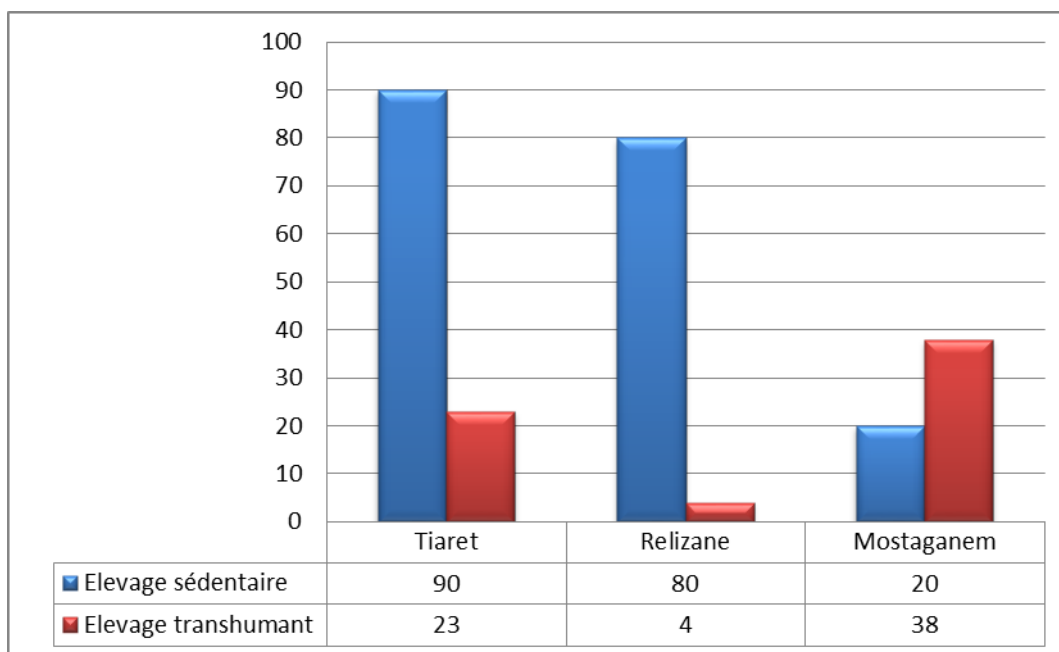


Figure 32 : Répartition de la transhumance selon les wilayas

Les apiculteurs sont majoritairement sédentaires et ne pratiquent pas la transhumance sur l'ensemble de la wilaya de Tiaret et de Relizane, contrairement à la wilaya de Mostaganem où la transhumance est largement pratiquée.

La majorité des apiculteurs transhumants des trois wilayas déplacent leurs ruches vers la région d'Oued djemaa à Relizane, c'est une zone connue par sa douceur en climat et son fort potentiel mellifère, c'est aussi une destination pour plusieurs wilayas du Centre, l'Est et du Sud du pays.

La transhumance reste peu pratiquée car elle est coûteuse malgré la qualité et la quantité des produits offerts par cette possibilité, aussi les apiculteurs font face à plusieurs dangers qui leur causent des pertes de la majeure partie de leurs ruches, parfois la totalité (Ouakli et al., 2019), d'autres inconvénients s'ajoutent à la liste tels que :

- Manque de moyens financiers pour les déplacements
- Nécessité d'une importante main-d'œuvre
- Le transport sur de longues distances rend les abeilles stressées, fatiguées ce qui affaiblit la colonie et certaines meurent en cours de route
- La complexité des procédures administratives pour le déplacement des abeilles en matière d'autorisations, d'agrément pour l'apiculteur et certificats sanitaires délivrés par un médecin vétérinaire.
- Le pillage, et Les incendies
- L'usage des pesticides par les titulaires des emplacements

2- Nourrissement

Le nourrissement est une pratique qui joue un rôle important dans l'activité apicole moderne. Il sert comme un soutien alimentaire pour les abeilles en cas d'irrégularités de saisons et de manque de provisions. Il existe plusieurs types de nourrissement :

2.1- Le nourrissement stimulant

D'après son nom, ce type de nourrissement est utilisé pour stimuler la ponte de la reine, il se pratique par un sirop de concentration légère (1Kg de sucre dans 1L d'eau) durant la période allant de février et jusqu'à mois d'avril.

2.2- Le nourrissement massif

Se fait par un sirop plus concentré (2Kg de sucre dans 1L d'eau), il est administré aux abeilles en automne et au début de l'hiver pour la préparation à l'hivernage par la construction des réserves nécessaires pour cette période.

2.3- Le nourrissage protéique

Non connu par la majorité des apiculteurs, il ne contient pas une période précise de distribution mais il est préférable de l'associer à l'un des deux types précédents. Ce nourrissage apporte des protéines aux abeilles.

Nous relevons en (**Fig. 33**) que la majorité d'apiculteurs des trois wilayas, soit 71% pratiquent le nourrissage et fournissent ce soutien alimentaire à leurs cheptels durant les périodes de besoins. Cette catégorie d'apiculteurs est encouragée pour plusieurs raisons dont la plus importante est la stimulation des colonies et la disposition de fortes populations aux moments des premières miellées.

Le reste qui présente la catégorie la plus réduite, soit 29% ne pratique pas le nourrissage, cette préférence s'explique par la volonté d'avoir un miel « Bio ». Pour eux l'abeille est capable de s'adapter aux conditions climatiques à sa nature et sa guise, sachant que l'abeille peut parcourir une distance de 3Km au cours de son butinage. Ce rayon est considéré comme une distance normale de déplacement de l'abeille pour aller chercher l'alimentation dans de meilleures conditions ([Bruneau, 1998](#))

Il est préconisé de réaliser la récolte de miel qu'en mai selon ([Riondet, 2014](#)), durant ce moi on prélève le solde de l'année précédente et un peu de la nouvelle miellée, en laissant aux abeilles une certaine quantité afin de reconstituer des réserves aux moments forts. [Nicollet, \(2018\)](#) considère cette stratégie comme une perte économique pure pour l'apiculteur car les abeilles vont consommer cette réserve.

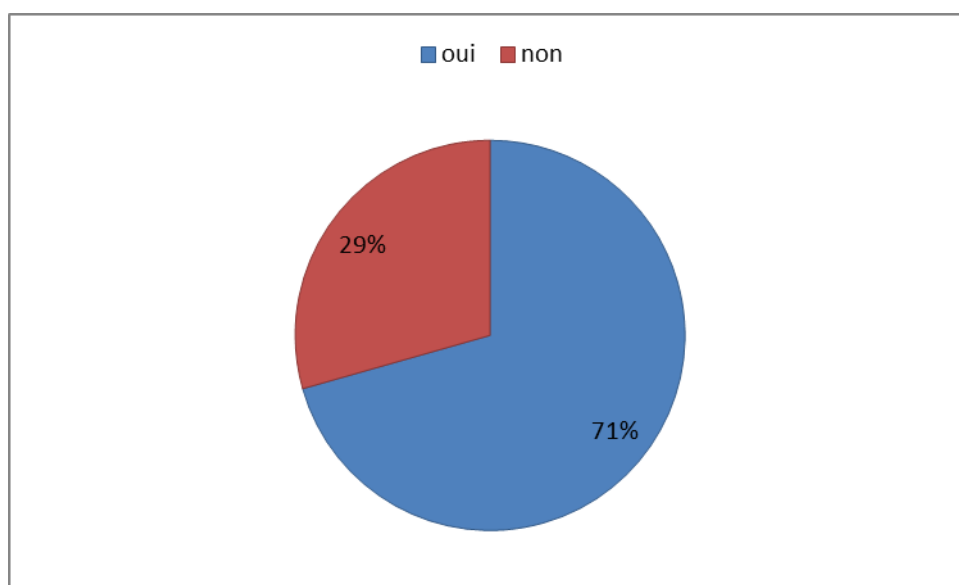


Figure 33 : Pratique du nourrissage par les apiculteurs

C-Production et commercialisation

En termes de production, des questions ont été posées sur les différents types de produits que fournissent les apiculteurs, les types de miel qui se trouvent en disponibilité et la quantité du miel produites par ruche.

1- Les produits de la ruche

Les résultats obtenus pour chaque wilaya sont illustrés en (Fig. 34).

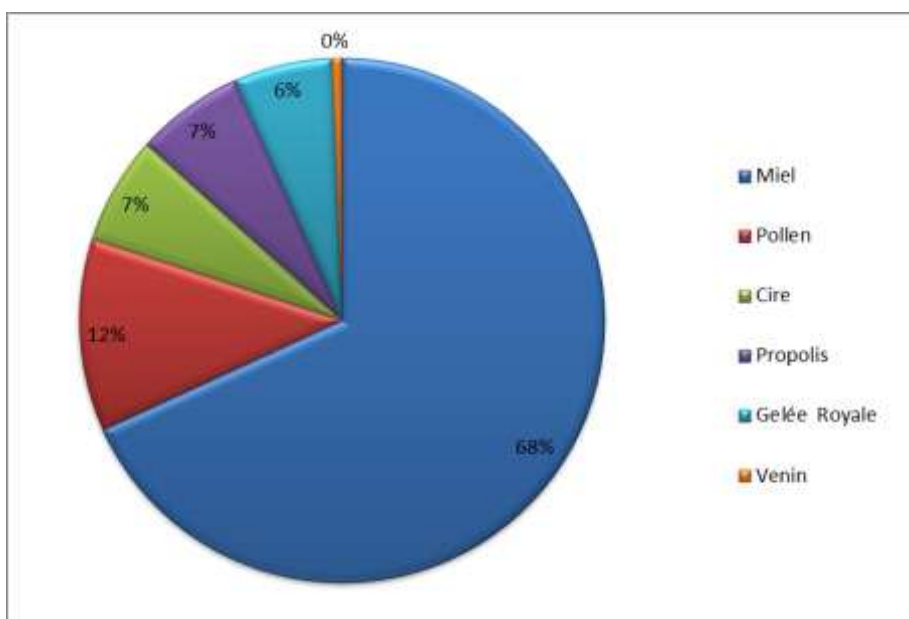


Figure 34 : Produits de la ruche des trois wilayas.

a- Miel

La totalité des apiculteurs (255) sur l'ensemble des trois wilayas fournissent du miel. Sa production représente 68% du total des autres produits de la ruche et le miel constitue le produit de routine de technicité moins compliquée que les apiculteurs produisent essentiellement et par excellence. Pour eux la récolte du miel est le but principal de l'élevage des abeilles. Cependant, la réalisation de cette production est conditionnée par de nombreux facteurs parfois incontrôlables :

- La disponibilité de la flore mellifère environnante
- La conduite rationnelle du rucher (suivie, traitement et autres)
- Surtout les conditions météorologiques imprédictibles
- Il est impératif que l'apiculteur prépare ses colonies de sorte qu'elles bénéficient au maximum des miellées possibles (Regard, 1981)

b- Pollen

39 apiculteurs procurent du pollen soit 12% de l'ensemble des produits de la ruche et ceux de la wilaya de Relizane et Mostaganem sont les plus actifs dans cette spéculation.

Par rapport au potentiel mellifère fournit par la région, cet effectif reste négligeable en comparaison avec d'autres wilayas du territoire nationale et représente un manque considérable à gagner pour l'évolution de l'apiculture et freine son développement dans les wilayas retenues pour notre étude.

Signalons que la disponibilité de ce produit et sa récolte se fait uniquement durant la floraison et en saison printanière. Les raisons qui expliquent cette faible production en pollen sont :

- le Manque de technicité, plusieurs apiculteurs ignorent ce savoir faire
- La faible demande et l'absence de culture d'utilisation de cette denrée
- les difficultés de commercialisation et l'inestimation de sa rentabilité

c- Cire

Avec un taux de production de 22%, la cire occupe la troisième position parmi les produits de la ruche après le miel et le pollen. 22 exploitants du total des apiculteurs s'intéressent à ce produit ce qui est dérisoire par rapport aux bienfaits qu'offrent ce produit. Cette cire naturelle secrétée par les abeilles à des fins de construction d'alvéoles de la ruche, s'utilise en apiculture, cosmétique, alimentation comme additifs alimentaires naturels et en médecine par ses propriétés cicatrisantes et anti-inflammatoires, elle est également très appréciée et dans le commerce à travers le monde entier.

Sur le plan de la technicité, la cire est facile à stocker et non périssable et peut s'utilisée dans l'artisanat (Bourkache et Perret., 2014). Elle est transformée dans des coopératives qui disposent d'équipements nécessaires pour fabriquer la cire gaufrée. Les apiculteurs évitent sa production par l'absence et la cherté du matériel, obligeant ces derniers à passer par le canal des coopératives apicoles.

d- Propolis

Un taux de 22% d'apiculteurs de la zone d'étude produisent de la propolis, ce produit est sous-estimé, parfois la propolis est raclée et jetée à chaque visite de contrôle des ruchers par les apiculteurs ce qui constitue un manque à gagner pour la filière. Cette situation s'explique par la méconnaissance des bienfaits de ce produit et de son utilisation, s'ajoute à cela la non maîtrise des techniques de production. La propolis sert non seulement à la nourriture de la reine mais à d'autres fins également

- Désinfection de la ruche
- Réparation des dégâts éventuels
- Isolement des ennemis éventuels qui sont mort dans la ruche, et qui pourraient infecter le reste de la colonie

Récemment, de multiples études ont prouvé ses puissantes propriétés antifongiques, antibactériennes et anti-infectieux (Nogueira et al., 2016). Elle aide aussi à la guérison et à la cicatrisation des plaies (Mařchuk et al., 1995 ; Vynograd et al., 2000).

e- Gelée royale

En ce qui concerne la gelée royale, seulement 20 exploitants soit 6% des apiculteurs la produisent, ce qui représente un faible taux en rapport aux d'autres produits de la ruche. Ce constat s'explique par la complexité des techniques de réalisations de sa production et la difficulté rencontrée dans la récolte de ce produit. Elle nécessite une formation adaptée dirigée par des professionnels de la filière mais aussi un matériel spécialisé et de bonne qualité.

La technique reste onéreuse et sophistiquée et les opérations d'obtention de la gelée royale découragent les apiculteurs enquêtés, néanmoins ce produit est réputé par ses propriétés nutritionnelles, hors du commun, et de nombreux autres effets bénéfiques, notamment contre l'hyperlipidémie, la ménopause et les inflammations (Vittek, 1995 ; Suemaru et al., 2008).

f- Venin

2 apiculteurs sur 255 exploitants produisent du venin, c'est l'apanage de quelques professionnels passionnés. La non maîtrise des techniques et l'indisponibilité du matériel adéquat sont les facteurs limitant la production de venin.

Ce produit se trouve dans le commerce sous différentes formes de crèmes, lotions, mais aussi de comprimés ou de poudre. Actuellement, L'apipuncture est l'une des méthodes actuelle d'utilisation du venin outre cette méthode le venin s'utilise pour :

- stimuler le renouvellement des cellules épidermiques en cas de brûlure
- soulager les inflammations, les douleurs musculaires et articulaires et la sclérose en plaques
- soulager les symptômes de l'arthrite, des hépatites et des douleurs chroniques.

Le secteur apicole a besoin d'une modernisation intense, en termes de maîtrise des techniques modernes actuelles de production. Les produit de la ruche nécessitent, une valorisation par la prise en conscience des deux acteurs apiculteur et consommateurs.

Les autres produits apicoles tels que la cire, le pollen, la propolis et la gelée royale, leur production est très légale, car de nombreux apiculteurs ne les produisent pas ou les fournissent en faibles quantités et les utilisent souvent pour leurs propres besoins.

2- La quantité du miel produite

En Algérie le miel est considéré comme le plus important et le plus consommé par rapport aux autres produits de la ruche. Sa production par ruche dans les trois wilayas est présentée au (Tab.12)

Tableau 12 : Quantité du miel produite en Kg /ruche pour les trois wilayas

Quantité du miel produite « Kg / ruche »	[1-5]	[5-10]	[10-15]	[15-20]	[20-25]	[25-30]
Tiaret	29	39	24	14	3	4
Relizane	19	16	31	9	3	6
Mostaganem	3	18	22	13	2	0

Nous pouvons transformer les données du tableau dans **la (Fig. 35)** pour une bonne visibilité de variabilité.

D'après les résultats obtenus, les rendements de miel par ruche oscillent par rapport aux apiculteurs et par rapport à la région aussi.

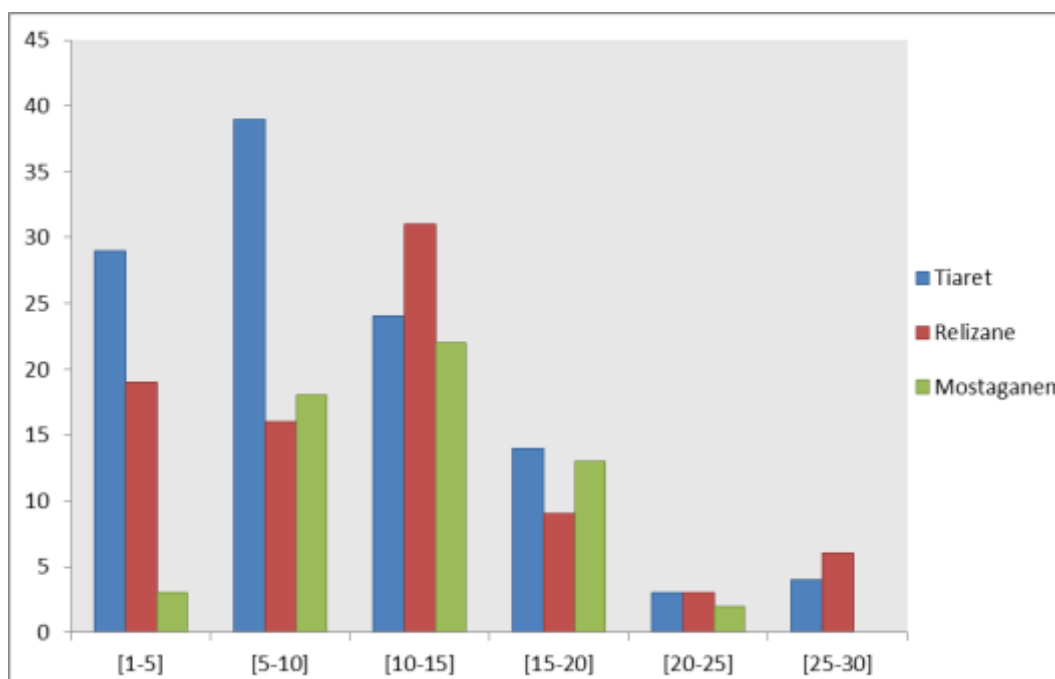


Figure 35 : Variabilité de production de miel dans les trois régions

Le rendement se situe dans l'intervalle [5-10] Kg/ ruche est le plus dominant pour la wilaya de Tiaret, ce dernier est obtenu par 39 apiculteurs, en revanche les deux wilayas Relizane et Mostaganem, ont réalisé une récolte comprise dans l'intervalle [10-15] Kg/ ruche, cette dernière a été réalisée par 31 et 22 apiculteurs dans les deux régions citées respectivement

La production de [25-30] Kg/ ruche a été enregistrée par un nombre faible d'apiculteurs dans la wilaya de Tiaret (04 apiculteurs) et Relizane (06 apiculteurs) par contre cette performance de rendement est absente pour la wilaya de Mostaganem et aucun apiculteur l'a réalisé.

Généralement une production de [1-5] Kg/ ruche est la moyenne obtenue par les ruches traditionnelles ou par les apiculteurs amateurs..

Selon la bibliographie consultée la production nationale de miel pour l'année 2011 était de l'ordre de 4 à 8 voire 10 kg/ruche (Behidj, 2011, Études & Enquêtes, 2012). Ce rendement bascule entre 2 kg/ruche en élevage traditionnel et 15 kg/ruche en élevage moderne (Behidj, 2011). En Algérie, la récolte du miel n'affecte que de 10% du patrimoine naturel mellifère estimé, ce qui reste faible au regard des potentialités mellifères fournit par le pays.

Les constats établis sont en accord à ceux signalés au centre du pays dont la production est estimée à $13,36 \pm 1,34$ Kg de miel/ruche/an. Ce qu'est loin des recommandations d'une activité apicole qui se veut rentable (Ouakli et al., 2019). La moyenne de la productivité des ruches marocaines varie entre 10 et 15 Kg (Moujanni et al., 2017) ce qui est similaire aux rendements enregistrés dans la région de l'Ouest Algérien. Néanmoins, il reste faible comparativement à ceux signalés dans de nombreuses pays : au Canada par exemple on signale, 34,8 kg/ruche/an (MAPAQ, 2018) en France 21,1 kg/ruche/an (France AgriMer, 2017).

Pour interpréter rigoureusement ces résultats, il faut prendre en considération les circonstances de la pratique de l'activité apicole en Algérie. Il convient de signaler à cet égard que l'accroissement de la production de miel dépend directement :

- Du nombre de colonies net, le statut sanitaire d'abeilles mises chaque année à la production de miel. Ce dernier est conditionné généralement par l'augmentation annuelle des colonies induites par l'extension dirigée du cheptel par le biais de la pratique de l'essaimage artificiel,
- les techniques générales d'élevage des colonies conditionnent le rendement en miel obtenu par colonies
- Les variations de la climatologie, en particulier la pluviométrie (étant donné le lien à la miellée)
- Les modes de gestion d'élevage.
- l'absence d'une carte mellifère pour l'optimisation des ressources (Berkani , 2007 ; Izeboudjen, 2016)

- l'absence d'un marché structuré pour la commercialisation des produits de la ruche

Notons en parallèle que l'Algérie a connu une évolution remarquable ces dernières années, la consommation de miel par les Algériens reste insignifiante, car elle n'est généralement utilisée que pour les besoins d'un remède. Les résultats d'une enquête sur le comportement du consommateur de miel a été menée auprès d'une population de 800 répondants. (Questionnaire) dans 20 wilayas montrent que l'Algérien consomme environ 0,200 kg / an /, ces niveaux de consommation restent très faibles, et donnent au miel une partie insignifiante de l'alimentation par rapport à tous ses avantages (Haderbache et al., 2015)

Cette consommation a évolué de 80 g/habitant/ an en 1987 à 200 g/habitant/an, elle reste très faible et n'excède pas les 200 à 300 g, soit 50 % de cette consommation est importée. Actuellement, cette consommation est de dix-sept fois inférieure à celle des pays développés (Behidj, 2011). En outre, le pays ne parvient pas à atteindre l'autosuffisance pour ce produit et doit compter sur les importations. Ce dernier (Miel) a atteint les 150 mille tonnes ces dernières années. Les principaux fournisseurs sont donc l'Arabie saoudite, la Thaïlande, la Turquie, les États-Unis, l'Allemagne, la Bulgarie et la Hongrie (Chelghoum, 2011).

En plus du miel, les autres produits de l'abeille tels que la cire, le pollen, la propolis et la gelée royale, ont une production très limitée et le consommateur Algérien ne possède pas ces habitudes de consommation (Tamali et al., 2019).

La majorité des apiculteurs enquêtés pratiquent le commerce direct de leurs produits aux particuliers (245 apiculteurs), 03 apiculteurs via les coopératives et 07 via un magasin. La commercialisation via les foires d'exposition se fait occasionnellement en cas de présence d'une opportunité ou d'une invitation de la part d'une structure étatique ou même privé telle que les séminaires organisée par les universités ou des mairies dans le cadre de la présentation de ce domaine au public. On a retrouvé aussi que plus du tiers d'exploitants trouvent des difficultés à assurer la quantité suffisante à leurs clientèles régulières. Le reste des apiculteurs affirment que le prix cher de cette denrée est la cause principale de problème de vente, ces constats sont identiques à ceux signalés dans l'enquête menée par Ferroudja en 2014 au niveau de la région du centre (Blida et Tizi-Ouzou).

La production de miel forme une source potentielle non négligeable de revenus monétaires pour la population rurale (Ahouandjinou et al., 2016), il est vendu par le circuit privilégié de commercialisation « la vente directe » surtout pour les apiculteurs

possédant moins de 100 ruches. Ces circuits constituent des réponses aux enjeux du développement durable (Vilain, 2008).

En Algérie, le miel est vendu sur les marchés à un prix relativement cher variant entre 1.600 à 5.000 DA selon la saison, (Khenfer et Zitouni, 2014) : cela se justifie par

- Sa rareté
- Sa faible production
- Absence de marché à terme de miel selon la FAO
- Absence de clientèles régulières
- Absence de repères pour fixer les prix (F.A.O. (2016))

Le prix du miel n'est pas standardisé, il tient en compte d'un certain nombre de facteurs et nous citons

- Le type de miel ainsi que la région de provenance
- Absence de critères de qualité qui sont liés à l'analyse palyno-physico-chimique
- L'absence d'une labellisation qui permettrait de différencier le « vrai miel » du « faux miel » (Bourkache et Perret., 2014)
- Présence des marchés lucratifs de contrefaçons dans de multiples régions (Bourkache et Perret., 2014)

Le marché national de miel est soumis à la pression de la concurrence très forte des miels d'importation qui proviennent des pays surtout asiatiques qui sont soit plus favorisés ou qui disposent d'une main-d'œuvre peu coûteuse (Duris, 1968).

3- Type de miels

L'Algérie est un pays avec des potentielles mellifères très importantes, qui peut assurer l'installation de 500.000 à 600.000 colonies aisément si on exploite les deux ressources cultivées et spontanées disponibles. La production peut s'étaler sur toute l'année par la pratique de la transhumance et restent marquées sur certaines saisons.

On observe au printemps la récolte de miel du néflier, des agrumes et les fleurs des autres végétaux notamment l'arboriculture. Le miel du tournesol, la bruyère, le trèfle, l'arbousier, l'eucalyptus, le sainfoin et autres sont obtenus en automne, il y a aussi, le miel de miellat en montagne et le miel de nectar en plaines (Behidj, 2011).

Dans l'ensemble, on peut mettre en relief quatre régions de production :

- La région du littorale: miel d'agrumes, miel d'eucalyptus.
- La région de montagne: miel de lavande, miel de toutes les fleurs.
- La région des hauts plateaux: miel de sainfoin, miel de romarin.
- La région de maquis et forêts; miel de toutes les fleurs.

Proportionnellement aux pays de l'Europe, qui disposent de possibilités plus avantageuses telles que pluviométrie abondante, forêts, arboriculture fruitières, oléagineux, techniques avancées en matière d'élevage et de transformation. A l'opposé, l'Algérie est confrontée à de multiples aléas à leur tête les aléas climatiques (sécheresse, sirocco, ...) ou de vols et de destruction des ruches qui empêchent l'élevage apicole de s'étendre au-delà de certaines limites parcellaires ou administratives (Behidj, 2011).

D'après nos enquêtes, il a été remarqué que la majorité des ruches sont installés dans des terrains à fleurs spontanées, en conséquence le miel d'origine multi-florale est le plus dominant. Quelques apiculteurs affirment l'origine mono-florale de leurs miels car leurs ruches sont placés dans des endroits à dominance florale unique. Cette constatation est soulevée pour la wilaya de Relizane et Mostaganem dont les vergers d'agrumes et l'eucalyptus sont les plus représentatifs.

La wilaya de Tiaret ne connaît pas cette caractéristique botanique, et l'on trouve sur le terrain un cortège floristique composé de diverses plantes telles que la carotte sauvage, eucalyptus, euphorbe, jujubier et le cèdre, et les miellats que fournit la forêt avec et ces diverses fleurs parfois non identifiées s'étendant sur certaines stations telles que la région de Tagdempt dans la wilaya de Tiaret

Selon l'un des apiculteurs de la ville de Constantine, il y a 10-12 sortes de miel en Algérie; les plus célèbres sont : le miel d'eucalyptus, miel d'orange (le miel le moins cher en Algérie), miel de carottes sauvages, miel de trèfle blanc, miel de lavande, miel de fraises sauvages, miel des montagnes, divers miel de fleurs..... (Tamali et al., 2019).

Cependant, il y a ceux qui confirment d'autres types de miels en se référant aux apiculteurs du Sahara, qui produisent environ huit autres types de miel comme le miel de thym, le miel d'absinthe (*Artemisia* sp.), le miel de camomille sauvage du désert (*Anacyclus valentinus*), le miel de *Thapsia garganica*, miel *Euphorbia helioscopia*, miel *Peganum harmala*, miel *Aristida pungens* en plus du miel du cèdre qui porte le nombre à plus de 20 sortes de miel.

Le miel de cèdre est le miel le plus cher et le plus célèbre d'Algérie. Cela est dû à la propagation des cèdres plus dans le désert, ce qui oblige les apiculteurs à déplacer leurs ruches pour de longues distances qui leurs coûtent beaucoup de dépenses, en particulier le transport et la location des terres des agriculteurs, en plus de ses divers avantages pour la santé (Anonymous, 2011).

Il est à noter que le profil botanique se modifie par la transhumance, et par conséquence il y'aura une diversification de types de miel récoltés

Les apiculteurs basent sur la flore dominante autour de leurs ruchers pour déterminer le type de miel produit, vendu sous des nominations désignées. Toutefois, il faut signaler que la confirmation de l'origine botanique ne se fait que dans le laboratoire par l'analyse méliissopalynologique qui se base sur les grains de pollen présent dans le miel pour identifier son origine exacte. cependant, ce type d'analyse n'est pas accessible aux apiculteurs car peu de laboratoires sont agréés pour l'assurer à l'échelle nationale et sont généralement des laboratoires privés ou affiliés à des universités ou des instituts de recherche.

III- Rubrique 3 « Santé et environnement »

A- Maladies et ennemis des abeilles

Le statut sanitaire des abeilles et la clé de réussite de l'apiculteur, il en ressort de nos investigations que le niveau sanitaire du cheptel apicole des trois régions étudiées, signalé par les apiculteurs eux-mêmes, est très médiocre. En Algérie, cinq pathologies figurent dans la liste des maladies à déclaration obligatoire selon le décret exécutif N° 95-66 du 15 mars 2006 modifié et complété à savoir la varroase, la loque américaine, la loque européenne, la nosérose et l'acariose des abeilles.

1- La varroase

Selon l'enquête, la **varroase** est en tête de liste des maladies les **plus fréquentes** chez les apiculteurs des trois régions, et où le nombre de déclarants s'élève respectivement à 63, 61 et 55 apiculteurs pour les wilayas de Tiaret, Relizane et Mostaganem qui affirment la présence de cette maladie au sein de leurs ruchers.

L'acarien *Varroa destructor* est l'agent principal responsable de la pathologie « la varroase ». Cette maladie est devenue la cause essentielle provoquant la perte et l'affaiblissement des colonies des abeilles (Fries et al., 1994 ; Rosenkranz et al., 2010). Avec sa prévalence mondiale, la varroase est l'animatrice de multiples dommages pour les deux niveaux individuelle et collectif (colonies), du fait de l'acte de l'association du parasite avec plusieurs virus de l'abeille (Rosenkranz et al., 2010), c'est ce qu'on l'appelle notamment la surinfection qui aggrave de plus en plus la situation

Cet acarien existe en Algérie depuis 1981 (De Favaux, 1984) où il cause plusieurs dégâts au niveau des parcs ruchers du pays malgré les mesures de préventions et de traitement réalisées de la part des apiculteurs (Adjlane et Doumandji, 2011). Généralement, cette situation se traduit par la présence d'abeilles incapables de voler au niveau du plancher de la ruche.

Nos observations et constats sont en accord avec ceux signalés par Adjlane (Adjlane et al., 2012), où il a trouvé dans la région médioseptentrionale de l'Algérie qui regroupe les wilayas de : Tipaza, Blida, Alger, Boumerdes, Tizi-Ouzou et Bouira que le degré d'infestation par la varroase au niveau du couvain a dépassé le seuil tolérable estimé à 15% dans une colonie saine (Wilkinson et Smith, 2002).

L'atteinte par cette maladie varié entre 65.52 et 100% dans des différentes régions de la wilaya de M'sila, les apiculteurs ont exprimé leur inquiétude envers cette situation qui se traduit par la mort des abeilles et l'échec du rucher (Ziane et Brikat, 2020).

100% des apiculteurs de la wilaya de Blida ont déclaré la présence de cette parasitose au sein de leurs ruchers (Bouguettouf, 2016). Avec le même taux d'infestation (100%), Ouakli, (2019) signale que cette maladie est la plus fréquente dans la plaine de Mitidja.

Les ravages causés par cet agent sont signalés. En Espagne, Witters, (2003) a déclaré que l'acarien *V. destructor* a détruit un million de ruches par an, ce qui engendre l'augmentation des frais de traitement et l'accroissement des tâches de manipulations concernant les ruches.

A Madagascar en 2010, les autorités malgaches ont réagi très rapidement suite à l'apparition du parasite. Ils ont pris une série de mesures afin de limiter la propagation de la maladie au sein de l'île ou sur les îles aux alentours encore indemnes, comme la Réunion. Le transport des colonies, des reines, des paquets d'abeilles ou du matériel apicole entre districts malgaches est impraticable. Actuellement, l'acarien est confiné sur la côte Nord-Est autour du port principal de l'île et les régions des hauts-plateaux autour de la capitale

Depuis l'émergence de cette pathologie, plusieurs molécules chimiques ont été mises sur le marché. Mais l'usage abusif de ces produits a provoqué beaucoup d'effets secondaires tels que :

- La présence de résidus dans les produits de la ruche
- La toxicité éventuelle des abeilles vis-à-vis de ces molécules
- L'apparition de la résistance de cet acarien contre certaines molécules acaricides (Elzen et al., 1988 ; Faucon, 2002 et Sammataro et al., 2005).

Bayvarol (Fluméthrine), **Apivar** (Amitraz) et **Apistan** (tau-fluvalinate) sont les produits utilisés par les apiculteurs des trois wilayas retenues pour nos enquêtes pour le traitement et la lutte chimique contre la varroase.

Selon Adjlane et Habbi-Cherifi, (2019), Bayvarol s'est avéré le varrocide chimique le plus efficace, avec une efficacité moyenne de 88,78% suivie par Apivar avec un taux d'efficacité de 81,78 %. Quant à l'Apistan, qui est la molécule chimique largement

utilisé en Algérie mais à degré moindre dans les trois provinces de l'enquête pour le traitement du *Varroa destructor*, l'efficacité moyenne de ce produit est de 76,92%

Bien que les moyens de lutte contre la varroase soient nombreux, la lutte naturelle utilisant des produits bios est préférée par les apiculteurs Algériens. Ils utilisent des dispositifs artisanaux à base de lainières en tulle qui contient de l'ail écrasé soit de thym disposé à l'intérieurs de la ruche pendant des périodes de longue durée. Cette méthode de lutte a été appliquée par 20 apiculteurs répartis sur la wilaya de Tiaret et Mostaganem.

Certains apiculteurs dans d'autres régions du pays introduisent des lainières imprégnés en fluvanilate et d'amitraze dans les colonies pendant plusieurs mois. Le principe actif qui circule dans la colonie est plus concentré au début d'application puis au bout de quelques semaines il ne reste pratiquement rien. Donc on se trouve d'abord avec un surdosage puis un sous dosage (Faucon et al., 1995).

Les conditions liées à ce mode d'emploi sont le responsable du développement du phénomène de résistance de cet acarien vis-à-vis de ces molécules. Cela a été signalé dans plusieurs pays envers de multiples matières actives en exemple nous citons, l'amitraze, la fluméthrine, le fluvalinate et le coumaphos (Milani, 1999 ; Elzen et Westervelt, 2002).

Le danger de l'application des traitements traditionnels par le biais de la non disponibilité d'autre produits homologués sur le marché est en relation avec leur faible efficacité (Adjlane et Doumandji, 2011) et au risque associé à la présence de résidus dans les produits de la ruche (Wallner, 1999).

Globalement, la présence de *V. destructor* ainsi que les méthodes de lutte contre cet acarien représentent les facteurs de risques les plus souvent prises en considération dans les études multifactorielles qui portent sur la surmortalité des abeilles, précisément en Allemagne (Rosenkranz, 2004), aux Etats-Unis (Burgett et al., 2009), au Canada (Boucher et Desjardins, 2005), en France (Faucon et al., 2002), en Belgique (Bruneau, 2005), en Angleterre (Brown, 2000) et en Suisse (Imdorf et al., 2007).

2- La loque européenne et américaine

En dehors de la varroase, 02 apiculteurs de la wilaya de Relizane, et 02 autres à Mostaganem ont signalé la présence de la **loque européenne ou américaine** dans leurs exploitations.

La loque européenne est une maladie infectieuse et contagieuse qui touche le couvain ouvert (non operculé). L'agent pathogène causant la maladie est une bactérie Gram positif, *Melissococcus plutonius* associée souvent à d'autres pathogènes tels que *Paenibacillus*

alvei, *Enterococcus faecalis* ou encore *Lactobacillus eurydice* (OIE, 2008a). La physiopathologie de ces agents secondaires de surinfection est encore mal comprise. Avec sa répartition cosmopolite, la loque européenne se trouve dans la majorité du monde (Fig. 36). L'Afrique centrale et la Nouvelle-Zélande sont encore épargnées (Rey, 2012).

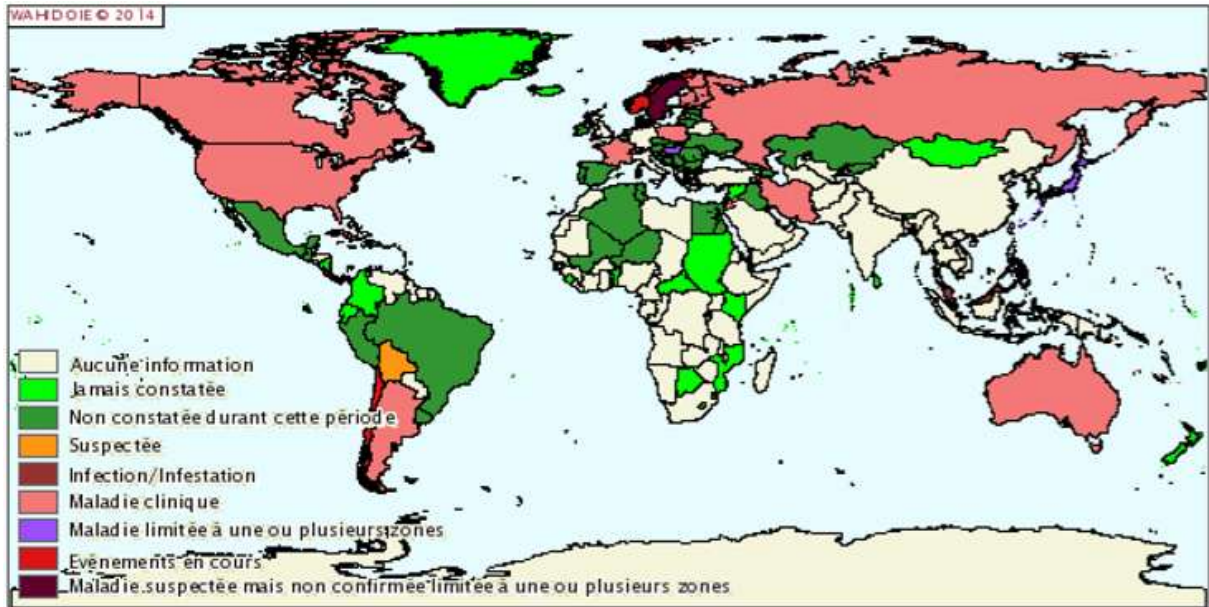


Figure 36 : Répartition géographique de la loque européenne en 2013 (OIE)

De multiples facteurs sont responsables du déclenchement de la maladie :

- Des facteurs de stress comme le manque d'eau ou de nourriture (Forsgren, 2009)
- Les carences protéiques causées par le manque de pollen
- La prédisposition génétique, certaines races sont plus sensibles envers la maladie
- Le climat : la non récolte du pollen par temps humide par exemple (GDSA 27a, 2014).
- Les printemps des milieux tempérés, c'est essentiellement la période dont la maladie se déclenche, alors que le couvain atteint sa taille critique.

La maladie touche les trois castes de la colonie, elle affecte le couvain plus précisément avant l'operculation. C'est au niveau de la ruche que les larves se contaminent en ingérant les germes avec la nourriture. Les larves représentent le caste le plus exposé à cette maladie, essentiellement ceux âgés moins de 2 jours, au-delà de cet âge leurs contaminations sera difficile. Les abeilles adultes montrent une résistances remarquable envers la pathologie (Bailey et Ball, 1991).

Une fois ingéré par les larves, cette bactérie se multiplie dans l'intestin moyen, qui affaiblit la larve et donne l'occasion aux germes secondaires de pénétrer et de détruire cette dernière.

Les nourrices détectent et éliminent la plupart des larves malades ce qui engendrent la formation d'un couvain lacunaire, dit en « mosaïque » dont le couvain est composé des cellules vides et d'autres pleines réparties aléatoirement sur le cadre (OIE, 2008a). La partie des larves non détectées va mourir, deviennent flasques et changent de couleur du jaune clair au brun pour se dessécher finalement et devenir comme des écailles brun foncées. L'odeur nauséabonde (non systématique), parfois de moisi (dû à *Paenibacillus alvei*), parfois acide et le repère pour détecter le couvain infecté.

Diverses facteurs entraînent la dissémination de la pathologie entre les colonies et entre les exploitations apicoles tels :

- Le pillage des ruches saines par des ruches infectées
- La dérive des abeilles entre les ruches voisines
- Le déplacement des colonies infestées
- Les échanges de cadres de provisions contaminés (Forsgren et al., 2005).
- Les manipulations apicoles

La loque américaine est la maladie qualifiée de « loque maligne », contrairement à la loque européenne « loque bénigne ». Cette loque est la maladie du couvain de l'abeille domestique la plus dangereuse, elle engendre des pertes économiques considérables par la mort importante des colonies.

La loque américaine avec sa distribution mondiale est causée par une bactérie *Paenibacillus larvae subs. Larvae*. Les larves s'infectent oralement par l'ingestion des spores d'origine multiple. Il y a ceux qui sont présentes préalablement dans les cellules royales, et proviennent elles-mêmes d'une ancienne larve infectée, soit de la nourriture distribuée par leurs nourrices. D'ailleurs, ces dernières contractent l'infection en nettoyant les alvéoles contaminées, en souillant leurs pattes ainsi leur partie buccale avec les spores et par la suite elles vont les propager au reste de la ruche.

Les spores ingérés germent dans l'intestin moyen après leur ingestion par les larves, après la destruction des tissus intestinaux, la bactérie passe à l'hémolymphe où elle se multiplie en provoquant une septicémie et la mort de la larve.

Plusieurs symptômes sont présentés par la larve morte, cette dernière subit progressivement des modifications de couleur et de consistance. Avec l'évolution de la

maladie, on constate un virage de couleur de la larve de sa couleur physiologique, blanc nacré, au brun. L'étendue de son opercule devient concave et plus sombre et la larve se ramollit et prend une consistance visqueuse et même collante. Parfois l'opercule peut se fendre par la suite. Un test simple est mis à la disposition des apiculteurs pour leurs aider au diagnostic de la maladie c'est le test « de l'allumette », son principe se base sur la consistance de la larve infectée. On introduisant une allumette ou un autre objet pointu dans la cellule infectée contenant une larve qui semble visqueuse, puis on retire une masse filante de 1 à 3 cm de long (**Fig. 37**). Ce geste permet de renforcer la suspicion de la loque américaine. Le cadavre de la larve finit par être desséché ce qui génère une écaille noirâtre fortement adhérente à la paroi de l'alvéole.

Il y a peu de signes au début de cette pathologie car les larves atteintes sont détectées par les nourrices, ces capacités sont dépassées à un certain seuil de la maladie, et les symptômes apparaissent (GDSA 27a, 2014). Les stades avancés de la maladie se caractérisent par l'installation d'une odeur ammoniacale et l'évolution mène à la mort de la colonie



Figure 37 : Illustration du signe d'allumette (Kozak et al., 2012)

Les trois castes sont proportionnellement concernées par la maladie, réellement, dans la nature les larves d'ouvrières sont infectées majoritairement. Les larves royales présentent une prévalence faible qui peut s'expliquer par l'acidité de la gelée royale qui constitue un milieu défavorable au développement de la bactérie (pH optimal de croissance 6,6). Il faut signaler que seulement les larves de moins de 03 jours qui peuvent se

contaminées, la sensibilité des larves s'abaisse au fur et à mesure que leurs âges augmentent (OIE, 2005b).

La propagation de la maladie se réalise essentiellement par les abeilles, notamment les nourrices, qui sont en rapport avec les larves malades ou mortes et qui véhiculent ainsi les spores d'une larve à l'autre. Les différents modes de transmission sont illustrés au (Tab. 13)

Tableau 13 : Modalité de transmission de *Paenibacillus larvae* intra et inter-colonies (Lindstrom et al., 2008).

	Horizontal	Vertical
A l'intérieur de la colonie	- De l'ouvrière au couvain, à l'ouvrière ou au mâle - Du mâle à l'ouvrière ou au mâle	- De la reine à la fille (ouvrière) - De la reine à la fille (reine) - De la reine au fils (mâle)
Entre les colonies	- De l'ouvrière à l'ouvrière ou au mâle - De mâle à l'ouvrière ou au mâle (dérive, pillage)	- Essaimage

Selon l'étude de Adjlane en 2012, la loque américaine est présente dans 20% des ruchers étudiés. Les résultats du diagnostic de laboratoire réalisé sur des abeilles adultes ont révélés la présence de 45% d'abeille infectées par l'agent causale de la loque américaine (*P.larvae*) dans les cinq provinces d'étude (Tipaza, Alger, Boumerdes, Blida et Bouira).

Sur la plaine de Mitidja, 13.33% d'apiculteurs signalent la loque européenne et 30% la loque américaine. Cette dernière est la plus vulnérable car une fois que la maladie est confirmée par le diagnostic de laboratoire, la ruche et son contenu doivent être détruits (Peacock, 2011). En cas de l'apparition de quelques traces de loque européenne, l'apiculteur peut régler le problème en transférant la colonie dans une nouvelle ruche.

3- La nosérose

Une autre maladie s'ajoute à la liste des maladies signalées par les apiculteurs la nosérose, deux apiculteurs au niveau de la wilaya de Relizane et un apiculteur dans la wilaya de Tiaret ont déclaré la présence de cette pathologie dans leurs ruchers.

L'atteinte par la nosérose a été signalée par 30% des apiculteurs des différentes wilayas de Mitidja, ce taux est supérieur à celui signalé dans la présente étude. Cette pathologie se trouve dans le monde entier, elle est causée par des micro-organismes unicellulaires qui infectent l'épithélium de la paroi de l'intestin de l'abeille des trois castes (Faucon, 2005). La symptomatologie de maladie se résume à l'apparition des diarrhées

(Webster, 1993) qui se traduit par des tremblements chez les imagos d'abeilles et par l'incapacité à voler ce qui provoque un déclin de la colonie jusqu'à sa disparition (Fries, 1988).

Toutefois, la nosérose est asymptomatique dans la plupart du temps, on l'appelle le tueur silencieux, en raison de son développement insidieux (Aurière, 2001). C'est avec la présence de facteurs favorisant que les symptômes se déclenchent.

La nosérose figure dans la liste des facteurs menaçant la survie des colonies d'abeilles locales *Apis mellifera intermissa* dans la région du centre de l'Algérie, ces symptômes typiques ont été constatés chez 17 % des ruchers visités. La présence des spores de *Nosema* sp était confirmée par les analyses de laboratoire (Adjlane et al., 2012).

Finalement, selon Bailey et al., (1983), une corrélation étroite existe entre la densité des colonies et la fréquence des maladies chez les abeilles. Ces auteurs ont expliqué que la densité élevée excède la probabilité de transmission et diminue la possibilité de l'alimentation.

Cependant, la forte densité des colonies d'abeilles et le nombre important d'apiculteurs caractérisent la région septentrionale de l'Algérie

4- La fausse teigne

Un nombre de 66 apiculteurs sur 255 apiculteurs enquêtés déclarent la présence de ce prédateur, soit 30 professionnels au niveau de la wilaya de Tiaret, 10 au niveau de Relizane et 26 dans la wilaya de Mostaganem. La fausse teigne n'est pas considérée véritablement comme une maladie. Actuellement, c'est un ravageur des abeilles qui cause des dégâts le plus surtout en milieu tropical, par ce que sa prolifération n'est pas freinée par le froid comme en milieu tempéré (Fig. 38).

Ce papillon pond ces œufs dans les anfractuosités de la ruche, l'amas des œufs qui peut contenir jusqu'à 150 œuf est difficilement visible à l'œil nu vu sa petite taille ainsi que le lieu de ponte qui reste non apparent (GDSA 27b, 2014).

L'éclosion des œufs se fait entre 8 à 10 jours environ (Douhet, 1982), ce délai est en fonction de la température interne de la ruche. Après l'éclosion, les larves sont nourries principalement de cire et à une moindre mesure de pollen, de miel et parfois même du couvain. A cet égard, elles creusent des tunnels dans la cire tout en tissant un réseau de soies pour les protéger et les isoler des ouvrières.

Cette situation gêne énormément le développement du couvain des abeilles, ainsi son alimentation par les ouvrières nourrices après ou au moment de l'éclosion.



Figure 38 : Ruche fortement infestée par la fausse teigne au niveau de la wilaya de Mostaganem.

Le développement idéal de ce papillon se fait à une température qui varie de 29 à 35°C, ce processus est ralenti à basse température et carrément stoppé en dessous de 10 degrés (GDSA 27b, 2014).

La fausse teigne ne provoque des dommages que sur les colonies faibles car les colonies assez fortes possèdent la compétence de se débarrasser des larves. Donc le maintien des colonies fortes est le meilleur moyen de prévention contre les attaques par la fausse teigne. Le rôle de l'apiculteur est de veiller à adapter et à ajuster la taille de la ruche ou le nombre de cadres que contient cette dernière, pour que tous les cadres soient occupés par les abeilles.

La lumière et le vent dérangent l'installation voir le développement de la fausse teigne. Le stockage des cadres se fait de préférence avec une façon qui assure une bonne circulation de l'air. La congélation des cadres doit se faire soit pendant 2 heures à -15°C ou pendant 4 à 5 heures à -7°C, cela reste le meilleur outil pour ce débarrasser de la fausse teigne (GDSA 27b, 2014).

Cette procédure de stockage est appliquée en Afrique du Sud, les cadres de cire sont suspendus à l'air libre dans des hangars et ne sont pas abrités de la lumière, comme résultat les teignes ne s'y développent pas.

Ouakli en 2019 a enregistré une atteinte par la fausse teigne de 76.66% des ruchers de la région de Mitigja. Les données sur le degré réel d'infestation de nos cheptels par la

fausse teigne n'a pas été développé ni par les services techniques de la direction des services agricoles (DSA) ni par les autres structures représentées essentiellement par les associations professionnelles et/ou les coopératives. Malgré cela, les apiculteurs de différentes wilayas du territoire national affirment la présence de ce prédateur qui cause des dégâts importants du cheptel apicole.

Des campagnes de sensibilisation des apiculteurs contre la fausse teigne doivent être programmées par les différentes structures de service apicole. Où on peut éviter grâce des gestes simples tels que l'aération et l'exposition à la lumière des ruches des pertes considérables pour les exploitations apicoles.

B- Traitements Phytosanitaires

L'utilisation des traitements phytosanitaires contre les ravageurs des cultures est devenue la technique, de lutte la plus utilisée l'heure actuelle. Son usage s'accroît de jour en jour et son application est devenue incontrôlable, abusive et néfaste pour les abeilles. Les pesticides sont d'ailleurs les plus fortement impliqués dans les pertes infligés à la faune pollinisatrice (Tasei, 1996).

Les résultats de l'enquête menée sont illustrés dans la (Fig. 39). L'usage des pesticides sur les lieux de butinage qui entourent les ruchers sur un rayon de 3Km a posé un problème pour les apiculteurs des deux wilayas Relizane et Mostaganem en revanche La wilaya de Tiaret est relativement épargnée par ce phénomène.

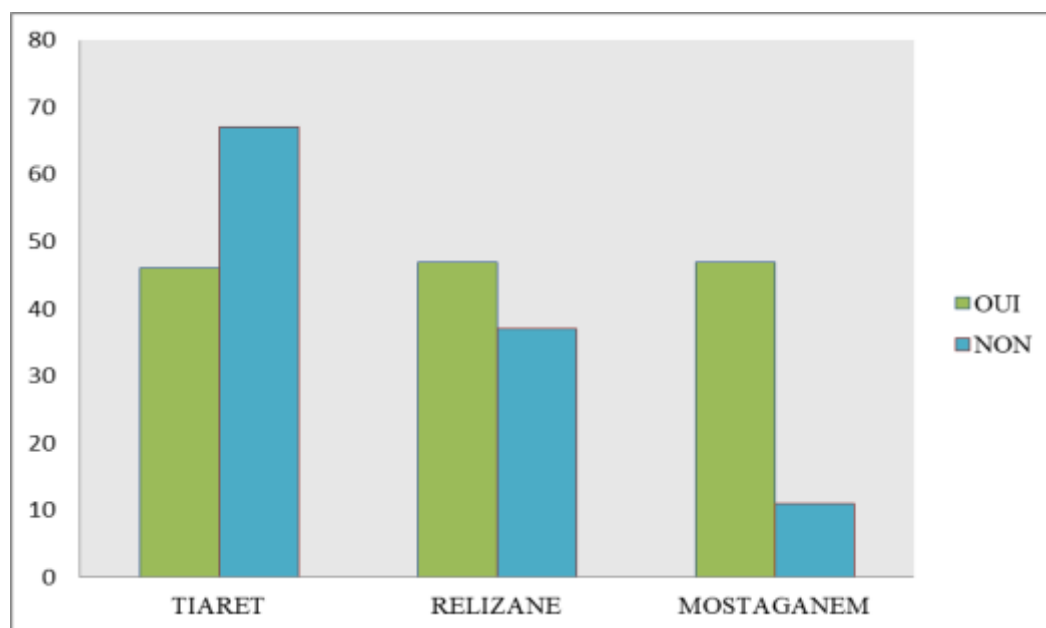


Figure 39 : Usage des pesticides dans les Wilayas concernées par l'enquête apicole

11 apiculteurs de Mostaganem et 47 autres de Relizane (**Tab.14**) affirment que les agriculteurs autour de leurs exploitations utilisent des pesticides particulièrement les insecticides et les herbicides pour protéger leurs cultures contre les multiples attaques.

Malheureusement, en Algérie, aucune loi ne protège les abeilles contre les pesticides. Ce problème a été signalé par les apiculteurs au niveau national et dans plusieurs Wilayas. [Adjlane, \(2012\)](#) rapporte dans une étude menée sur cinq wilayas du centre de l'Algérie que 11% des apiculteurs se déclarent victimes de ces traitements, avec des pertes de colonies d'abeilles

Selon [Tamali et Özkirm , \(2019\)](#) ; [Ouakli et al., \(2019\)](#), l'utilisation incontrôlée de pesticides dans les zones agricoles affecte gravement la productivité des abeilles et le rendement des colonies ([Firatli et al., 2010](#)). Ainsi il est impératif de limiter l'utilisations abusives de pesticides à proximité des ruchers et de prendre consciences du rôle des abeilles dans la pollinisation des vergers.

En dehors du Pays et à la Réunion (France) , les traitements phytosanitaires ont été en tête de liste des principales causes de mortalité des abeilles avec un nombre de citation égale à 35 sur 50 apiculteurs interrogés. D'ailleurs ce ne sont pas des maladies mais les pesticides principalement les insecticides qui sont cités ([Aymé, 2014](#))

Tableau 14 : Nombre d'apiculteurs affectés par le problème des pesticides.

	Tiaret	Relizane	Mostaganem
Oui	46	47	47
Non	67	37	11

Les actions négatives engendrées par les pesticides sur la physiologie de l'abeille sont diverses en exemple nous citons:

- Les malformations voir les altérations morphologiques aux stades immatures ([Atkins et Kellum, 1986](#) ; [Da SilvaCruz et al., 2010](#) ; [Gregorc et Ellis, 2011](#))
- Des ailes déformées
- Des troubles lors du butinage associés à une baisse de croissance des abeilles ([Thomposon et al., 2005](#); [Yang et al., 2008](#) ; [Aliouane et al., 2009](#)). [Friedler ,\(1987\)](#) signale :
- La réduction de la surface du couvain
- La baisse de la consommation de la nourriture, et par conséquence un affaiblissement des colonies d'abeilles.

Les abeilles sont des sentinelles de l'environnement et de la biodiversité et peuvent s'exposer à plusieurs agents surtout les molécules chimiques susceptibles d'exister dans l'habitat des colonies. Ces bio-indicateurs de l'environnement sont exterminés souvent et directement par les pesticides lors d'une l'intoxication aigue mais également par intoxication chronique à des doses sublétales (Colin et al., 2004 ; Ramirez-Romeo et al., 2005;).

C- Déclin d'abeilles

À la question existe-il a un déclin d'abeilles ? 226 apiculteurs sur les trois zones d'enquête ignorent la présence de ce phénomène dans leurs exploitations. En revanche 29 apiculteurs soit 23 apiculteurs à Relizane, 05 à Tiaret et un seul à Mostaganem enregistrent des pertes à des degrés différents (Tab. 15). Selon Aymé, (2014), 90% des apiculteurs de l'île de la Réunion n'ont pas constaté de mortalité inhabituelle pour l'année 2014, et 78,4% pour l'année (2013).

Au cours des dernières décennies, une quantité alarmante de pertes de colonies d'abeilles domestiques a été signalée dans l'hémisphère nord (Neumann et Carreck , 2010) , et le nombre de colonies diminue alors que la demande de pollinisation des cultures pérennes et autres augmente (Potts et al., 2010 ; Aizen et Harder, 2009 ; Breeze et al., 2014) .

En Europe, les pertes hivernantes ont varié de 2,4 % à 15,4 % et de 0,004 % à 11,1 % des pertes saisonnières (période de butinage), en 2014 (Laurent et al., 2015) . Les pertes moyennes ont atteint 51,1% sur l'ensemble de l'année aux États-Unis pour la même période (Lee et al., 2015)

Tableau 15 : Différents degrés de déclin d'abeilles chez les apiculteurs des trois zones

Degré de déclin	Aucun	Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort	Total
Nombre d'apiculteurs	226	00	18	11	00	00	255

Concernant les cas de mortalité mentionnés, aucune atteinte du couvain n'a été rapportée. Les signes révélateurs du déclin se traduit par la présence d'un tapis d'abeilles mortes estimé au maximum à 30% de l'effectif de la ruche. La diminution de la production de miel est le deuxième signe évoqué par les exploitants, qui signalent la diminution de l'effectif du cheptel.

La disparition soudaine des abeilles de la ruche sans la présence de leurs corps autour de la ruche est le signe qui inquiète les apiculteurs notamment ceux de Relizane.

IV- Rubrique 4 « Préoccupations et les contraintes de l'apiculteur »

La reconnaissance de la filière apicole et les tentatives de sa modernisation et de sa promotion, sont bien mentionnées dans les plans de développement afin de la faire passer d'un mode de production extensif à celui d'intensif (Ghalem-Berkani, 2012)

Sans aucune étude technique préalable, l'Algérie a opté et pour la première fois à l'uniformisation du modèle de ruche utilisée « Langstroth ». Alors, le problème de la sous exploitation des potentialités mellifères (absence de cartes mellifères) restent toujours d'actualité. Cette situation est générée par le manque de professionnalisme des apiculteurs, la majorité pratiquent des méthodes d'élevage archaïques (Matrese, 2007 et Anonyme, 2009) et ne manifestent que peu d'intérêt ni au suivi de l'évolution du calendrier de la flore mellifère ni à la sélection de colonies élites qui servent pour aux élevages royaux.

Aux questions des contraintes et difficultés du secteur apicoles, les réponses des professionnels sont nombreuses et diversifiées, et les résultats des trois Wilayas sont mentionnés à la (Fig. 40).

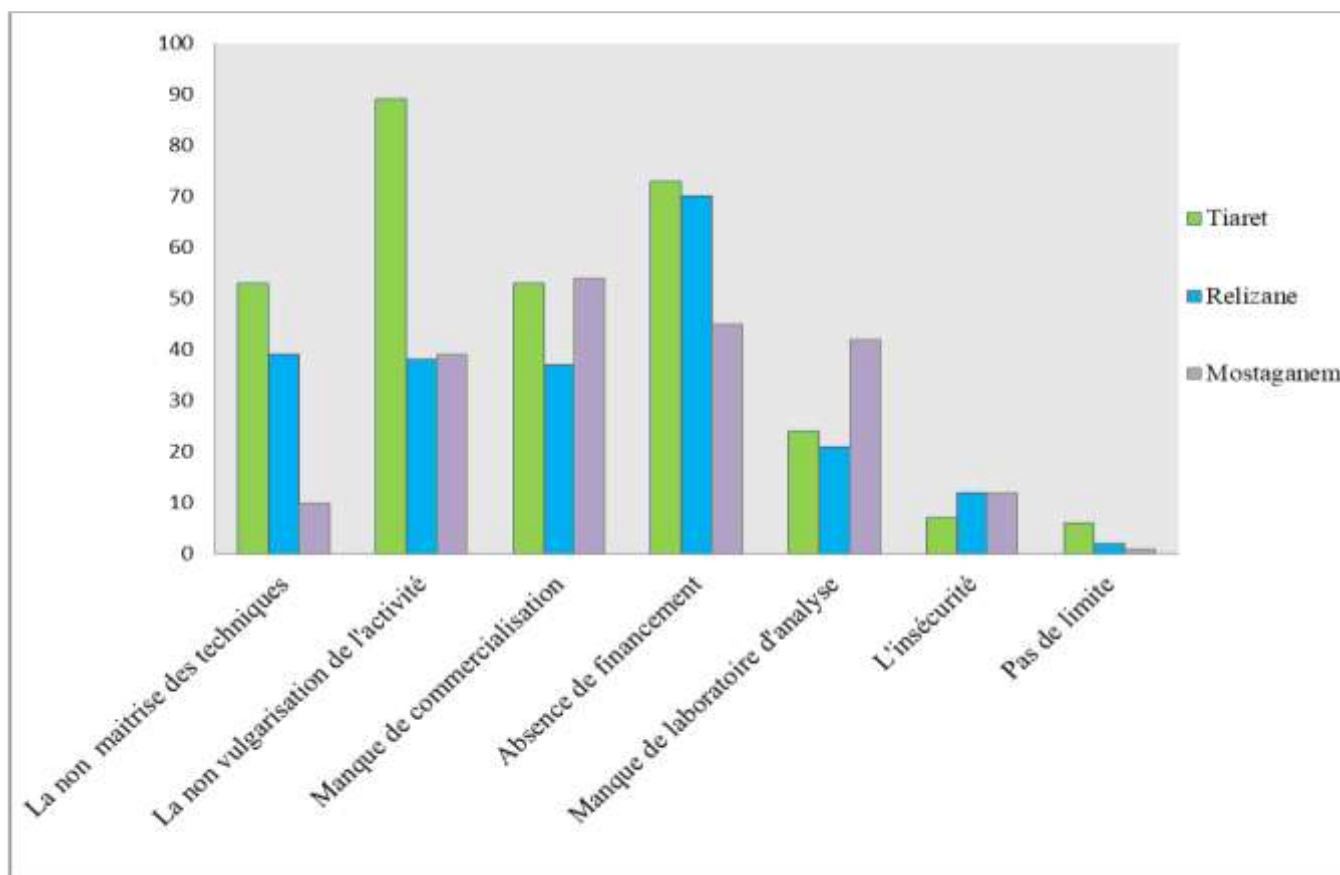


Figure 40 : Contraintes de la filière apicole.

En (Fig. 40) on remarque la présence d'une variabilité régionale des contraintes rencontrées sur terrain. Il est à noter que la majorité des apiculteurs déclarent une multitude de contraintes pour l'exercice de leur métier. En effet, l'absence de vulgarisation des techniques apicoles figure en tête de liste des contraintes signalées par la profession suivie par le manque de financement particulièrement étatique. Les difficultés de commercialisation se retrouvent au même classe que la non maîtrise des techniques apicoles.

L'absence de financement reste le problème mentionné par la majorité des apiculteurs de la région. Avec une intensité presque égale la non maîtrise des techniques apicoles, la non vulgarisation de l'activité et le manque de commercialisation des produits ont été développées par une proportion non négligeable.

Les apiculteurs de la wilaya de Mostaganem accordent une importance capitale aux difficultés de commercialisation de leurs produits, ceux de la wilaya de Tiaret signalent le manque de financement, l'inexistence de laboratoire d'analyse et la non vulgarisation de. L'insécurité est la facteur cité par un nombre faible d'apiculteurs.

La wilaya de Tiaret avance le manque d'organisation de la filière par rapport aux deux autres wilayas. Tiaret ne dispose pratiquement d'aucune structure de coordination entre ses apiculteurs. Malgré les efforts déployés par les responsables ainsi que les apiculteurs de la région pour structurer la profession, la région demeure sans coopératives ou d'associations professionnelles assurant la coordination, la collaboration et le partage entre les apiculteurs et leur représentation dans les forums nationaux.

La non maîtrise des techniques apicoles telles que l'élevage des reines, l'insémination artificielle, l'essaimage artificiel, la production de gelée royale, venin et autres produits de la ruche, ne représentent pas de contraintes pour les apiculteurs de la wilaya de Mostaganem contrairement à ceux de la wilaya de Tiaret et Relizane. Cela s'explique par le fait que cette Wilaya abrite régulièrement des forums, des stages de formation, des manifestations scientifiques dédiées à la profession et organisées par l'université et les centres de formation.

En outre, l'essaimage naturel demeure un obstacle auquel sont confrontés les apiculteurs de Mitidja (Ouakil et al., 2019). Ce manque de technicité a révélé la gravité de cette limitation, l'intervention en amont et l'anticipation de toute tentation d'essaimage naturel est impérative. Si on ne devise pas la ruche, cette dernière produira au minimum un à plusieurs essais naturels qui sont irrécupérables et perdus par la suite (Benoit C. 2015).

Les difficultés de commercialisation du miel sont mentionnées par les apiculteurs des trois provinces mais avec une moindre importance pour la wilaya de Relizane ce qui se justifie par l'augmentation du nombre d'apiculteurs, possédant des élevages de petits tailles générant des rendements faibles (ne dépassant guère les 15 Kg/ruche, ce qui facilite sa distribution.

La contrainte d'absence du laboratoire d'analyse accrédité de miel est évoquée par la plupart des apiculteurs de la région de Mostaganem en contraste avec ceux de Tiaret et Relizane. Cette demande légitime de certains apiculteurs reflète le degré de conscience et de modernisation de l'apiculture et de la profession. Le certificat délivré par les laboratoires d'analyses augmente la crédibilité de l'apiculteur, garantit ces produits, et augmente leurs valeurs marchandes.

La labélisation des produits est un nouveau concept, dans le circuit de commercialisation des produits surtout ceux de l'industrie alimentaire. Une attention particulière est apportée à la labélisation des miels algériens, et l'analyse de laboratoire est un passage incontournable dans ce procès.

La contrainte de l'insécurité chez les apiculteurs, regroupe le vol des ruches, leurs destructions et surtout les incendies spontanés voire provoqués. Ce problème s'affiche pour les apiculteurs pratiquant la transhumance ou ceux qui déposent leurs ruches dans les forêts et endroits isolés loin de l'urbanisation.

Selon la bibliographie consultée plusieurs auteurs analysent ces contraintes et difficultés que connaît la filière apicole en Algérie.

Selon [Tamali et Özkirm, \(2019\)](#), l'un des problèmes les plus importants chez les apiculteurs algériens est dû au problème de la commercialisation des produits en raisons du

- Manque de coordination entre les apiculteurs, y compris les coopératives,
- Encombrement des marchés locaux avec des produits étrangers,
- Manque de publicité pour les produits locaux,
- Problème d'emballage dans lequel l'apiculteur ne peut toujours pas exposer ses produits d'une manière qui satisfait et attire le consommateur
- Pertes de colonies dues principalement aux maladies des abeilles domestiques;
- Problème de coordination entre agriculteurs et apiculteurs au moment de l'utilisation des pesticides ([Anonymous, 2011](#))
- Manque de laboratoires accrédités d'analyse du miel ([Benhamouda, 2016](#)).

- La transhumance qui reste coûteuse (malgré la qualité des produits offerts par cette possibilité, limitée (manque de ressources et de professionnalisme) l'opération reste peu rationnelle avec une surcharge du cheptel sur les mêmes sites) (Benhamouda, 2016)

L'étude d'Ouakli et al., (2019) sur la diversité des modalités de production apicole dans la plaine de Mitidja en Algérie a révélée que les éleveurs d'abeilles de la région sont confrontés à de multiples contraintes attribuées souvent à la défektivité du cadre idéal pour l'aménagement des espaces d'élevage, possédant de grandes potentialités mellifères. La non disposition du foncier propre à cet élevage par les apiculteurs, en dépit de leur passion et leur volonté pour améliorer leur production locale. De plus, la transhumance est un pilier important pour les apiculteurs, surtout ceux qui veulent l'accentuation et la diversification de leurs produits au même temps, mais les risques qui s'opposent aux apiculteurs comme le pillage, les incendies et même l'usage des pesticides sur les lieux de butinage des abeilles leurs font des dommages partiels voire totales qui s'étend sur l'ensemble des ruches.

Bourkache et Perret, (2014) ont lancé une enquête qui trace un tableau de la filière apicole dans la wilaya de Blida et de Tizi-Ouzou. Plusieurs aspects ont caractérisé ce travail qui s'étend sur un ensemble de 205 apiculteurs des deux régions. En s'intéresse aux facteurs limitant le développement de la filière, on relève principalement des contraintes similaires et qui se résument comme suit :

- La mauvaise organisation de la filière
- La non satisfaction des apiculteurs des services de la chambre d'agriculture, organisme de rattachement de la profession.
- Le montant élevé de l'investissement pour le financement de départ.
- Le vol des ruches
- Manque et absence de main d'œuvre qualifiée
- La clientèle limitée
- Le prix de vente du produit non encourageant, ne couvrant pas les frais de production
- L'inexistence d'un laboratoire national de références pour certifier la production, la certification délivrée est nécessaire pour la labellisation. Il faut signaler que le concept de labélisation n'est plus nouveau et qu'en 2007 à Tizi-Ouzou, les animateurs de l'Association pour l'agriculture de montagne (APAM)

de Aïn El Hammam et Iferhounène annonçaient déjà leurs travaux dans le sens d'un label de qualité pour le miel (Andenour, 2006)

La comparaison de l'apiculture algérienne avec d'autres pays (Turquie et Pays Africains), l'on relève qu'en Turquie, par exemple, le problème le plus grave est la présence de maladies de l'abeille domestique, auxquels s'ajoutent d'autres dont le circuit de :

- Commercialisation,
- Négoce et qualité des produits;
- Facteurs environnementaux (comme le climat);
- la formation des apiculteurs;
- Les apiculteurs doivent payer des droits aux agriculteurs au lieu d'être payés pour des services de pollinisation
- Les apiculteurs ne peuvent avoir accès dans certains sites en Turquie pour des raisons inconnues »; en plus du service de pollinisation sous-estimée (.Sıralı , 2002)
- L'utilisation incontrôlée de pesticides dans les zones agricoles affecte gravement la productivité des abeilles et le rendement des colonies (Firatli et al., 2010) .
- Problème de résistance et de résidus résultant de la sur-utilisation des traitements chimiques (Özkırım, 2018).
- L'apiculture migratoire est une cause principale de beaucoup de problèmes apicoles. Elle affecte sérieusement la diversité génétique naturelle des races d'abeilles en Turquie. De plus, elle provoque la distribution de varroas résistants et d'autres maladies aux autres colonies dans les zones visitées, ce qui entraîne d'énormes pertes de colonies (Çakmak et Seven-çakmak ,2016).

Grégoire al., (2017) ont mené une étude dans les municipalités de Djidja et de Zogbodomey, au sud du Bénin, visant à analyser les déterminants et les contraintes des activités apicoles et à cet effet, un échantillon de 110 apiculteurs a été choisi au hasard, et il en ressort que 06 importantes limitations entravent le développement de l'apiculture dans la zone d'étude à savoir : le manque de moyens financiers, la non maîtrise des techniques apicoles, le manque de vulgarisation de l'activité, le manque de débouchés, les contraintes parasitaires et autres.

On dénombre par un ordre décroissant, les différentes et contraintes dont les apiculteurs ont signalé :

- Le problème de manque de financement, approximativement de la totalité des apiculteurs (97.62%) confrontent ce souci et ils le considèrent comme un problème majeure. D'ailleurs, l'apiculture moderne exige un certain nombre d'équipements (Paraïso et al., 2012c). L'acquisition de ces moyens nécessite une finance loin de la portée des producteurs moyens (Yédomonhan et Akoègninou, 2009). Cela justifie l'ampleur de l'importance accordée à cette contrainte par les producteurs. Ces constats corroborent bien ceux de (Paraïso et al., 2012a ; 2012c) qui affirme que le manque de financement pour l'acquisition des matériels modernes reste la principale contrainte pour le développement de l'apiculture au Nord-Ouest du Bénin.
- Les contraintes parasitaires signalées par environ 76,19% d'apiculteurs, l'acarien *Varroa destructor*, est répertorié en tête de liste avec en seconde position les insectes tels que les fourmis, les termites, la fausses teignes, les guêpes et d'autres ennemis tels que : les reptiles, les batraciens et les rongeurs (Tchoumboué, 2001; Paraïso et al., 2011; Paraïso et al., 2012a ; 2012b ; Adjoha et al., 2015)
- dans la même étude, 40,9% des apiculteurs évoquent la non-maîtrise des techniques d'apiculture comme contrainte principale, ce qui génère une mauvaise gestion des exploitations apicoles et comme conséquence la baisse des rendements de miel signalés par la majorité des apiculteurs selon (Tchoumboué, 2001 ; Paraïso et al., 2012a, 2012c) .
- 25% des contraintes est réservé aux de feux de brousse incontrôlés, les vols et la destruction massive des ruchers mentionnés par la quasi-totalité des apiculteurs (Tchoumboué, 2001).
- alors que 7,14% de l'effectif enquêtés cite le problème de commercialisation, caractérise par une mauvaise organisation du marché.
- et 42,86% des enquêtés se prononcent sur le manque de vulgarisation des techniques apicoles pour la filière.

Dans l'analyse d'une filière, il est très important d'identifier les problèmes et les contraintes mais il faut également identifier les aspects positifs indiquant ce qui fonctionne bien dans la filière, car c'est sur ces aspects que s'appuieront vraisemblablement les propositions d'amélioration (Behidj, 2011).

A- Les atouts :

- 1- En Algérie, le climat est doux et la température excessive qui dépasse les 30°C s'étend durant une bonne période de l'année, cela s'accorde bien avec les opérations d'extraction du miel.
- 2- Une gamme de miel assez variée à cause de la diversité et de l'importance des végétaux mellifères, (Benhamouda, 2016) :
 - Des forêts avec une surface qui dépasse 4.23 million d'hectare (dont maquis et broussaille:1,66 millions ha)
 - Prairies naturelles qui tapissent environ 25.777 ha
 - 898.930 ha pour les plantations fruitières dont :
 - Agrume: 66.017 ha
 - Espèces à noyaux et/ou pépins : 240.356 ha
 - Cultures maraîchères recouvrant plus de 499.103 ha.
- 3- L'existence de deux races d'abeilles qui se caractérisent par un bon potentiel génétique (*Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis*) (Benhamouda, 2016)
- 4- Le nombre assez important d'associations professionnelles et des coopératives qui aident au développement de la filière (Benhamouda, 2016).
- 5- L'importance de nombre d'effectif des apiculteurs entre amateurs et professionnelles (Benhamouda,2016).

B- Faiblesses:

- 1- Les multiples complications liées au marché du miel.
- 2- Manque des moyens et de technicité dans la pratique moderne de l'apiculture notamment.
- 3- La majorité des apiculteurs algériens privilégient le circuit court de commercialisation représenté par la vente directe de leurs produits, durant toute l'année, et après une longue durée de stockage dont le contrôle des températures est quasiment absent ce qui augmente le risque de la fermentation et l'altération des propriétés organoleptiques du miel
- 4- Les produits vétérinaires utilisés dans le secteur est sous la dépendance du marché extérieur (Behidj, 2011)

C- Menaces :

- 1- L'insécurité représentée essentiellement par les tentations de vols et saccages

- 2- Les modifications climatiques plus particulièrement la sécheresse et les incendies qui ont accentué la dégradation des potentialités mellifères durant ces dernières années (Behidj, 2011)
- 3- La disparition des abeilles d'origine à cause des produits chimiques ou des problèmes sanitaires ou d'origine inconnu « CCD ».
- 4- L'inexistence d'une carte d'optimisation des ressources mellifères qui sert au renforcement du potentiel productif du pays (Benhamouda, 2016) .
- 5- Malgré l'augmentation remarquable de l'effectif des apiculteurs qui pratique la transhumance, cette dernière reste limitée à cause de manque d'équipement et de professionnalisme et reste peu rationnelle ou la surcharge qui s'exerce sur les mêmes endroits (Benhamouda, 2016).
- 6- Absence de coordination entre les apiculteurs et les agriculteurs
- 7- La nécessité de la sensibilisation sur le rôle des abeilles comme agent pollinisateur le plus efficace des écosystèmes.
- 8- Les dangers identifiés et non identifiés des maladies et de l'usage abusif des traitements phytosanitaires sur l'abeille elle-même et sur la qualité de ses produits fournis (résidus) (Benhamouda, 2016)
- 9- Le manque de l'organisation qui a rendu le marché du miel non structuré
- 10- La confrontation à la concurrence des miels d'importations
- 11- Manque de laboratoire d'analyse agréé (Benhamouda, 2016)

D- Opportunités:

- 1- Affrontement de la concurrence internationale par la valorisation du miel
- 2- Respect des règles et les normes généraux sur les productions alimentaires.
- 3- L'usage des chambres froides pour lutter contre les températures excessives
- 4- Promouvoir l'apiculture par son intégration dans les plans de développement durable
- 5- La conservation des races autochtones du pays contre toute dilution génétique.
- 6- L'établissement d'une législation qui fixe comme objectif la régularisation et la protection du marché contre tout sort de fraude (Behidj, 2011).

2^{ème} volet : « La morphométrie géométrique »

I- Variations de la forme « Wing shape » des ailes chez les sous-espèces

La forme moyenne obtenue par l'ajustement des Procrustes des sous-espèces étudiées est illustrée dans **la (Fig. 41)**. Les points de repère qui ont le plus contribué à la variation observée étaient les points de repère 13, 10 et 18, soit respectivement 18,05 %, 12,03 % et 10,26 % (**Tab. 16**) Les valeurs propres montrent qu'il faut jusqu'à 24 PC pour expliquer 95 % de la variation totale (**Tab. 17**). Cependant, seuls les dix premiers sont significatifs selon le modèle « Broken-stick ».

Tableau 16 : Contributions relatives de chaque point anatomique à la variation observée dans les ailes antérieures des abeilles domestiques.

LM	Somme des carrés
1	0,01467
2	0,03448
3	0,01726
4	0,01414
5	0,02084
6	0,08619
7	0,00029
8	0,00696
9	0,06334
10	0,12034
11	0,02517
12	0,03393
13	0,18057
14	0,04689
15	0,04178
16	0,05721
17	0,06658
18	0,10261
19	0,06394
20	0,00281

La PCA « Principal Component Analysis » de variation de forme de l'aile droite a montré que les quatre premiers PCA ne sont responsables que de 41,11 % (PCA 1 = 11,92 %; PCA 2 = 10,51 %; PCA 3 = 9,96 %, PCA 4 = 8,72 %) de la variation totale de la de forme. Bien qu'il y ait un chevauchement évident entre les individus, il est possible d'observer une légère séparation entre les deux sous-espèces, du diagramme de dispersion « the scatter plot » obtenu à l'aide des scores PC1-PC2 et PC3-PC4 (**Fig. 42**).

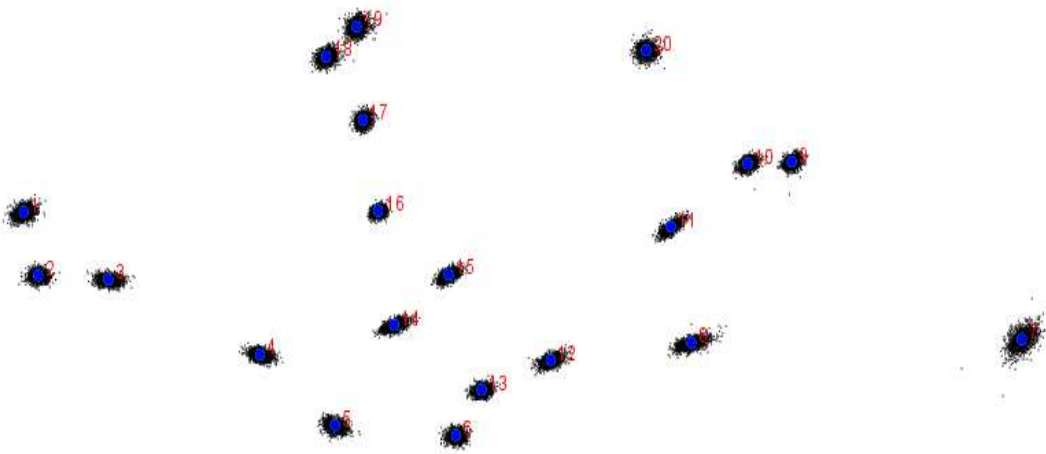


Figure 41 : Présentation des configurations des points repères de toutes les ailes, après la superposition de Procruste. Pour chaque repère, le cercle bleu indique l'emplacement du repère pour la forme moyenne, et les points noirs indiquent l'emplacement des ailes individuelles.

Tableau 17 : Dix premières valeurs propres d'une analyse des composantes principales (PCA) de la forme de l'aile antérieure droite dans les deux sous-espèces *Apis mellifera intermissa* et *A.m sahariensis*

PC	Eigenvalues	% Variance	Cumulative %
1	0.000083	11.92	11.92
2	0.000073	10.51	22.43
3	0.000069	9.96	32.39
4	0.000061	8.72	41.11
5	0.000051	7.29	48.41
6	0.000044	6.40	54.81
7	0.000037	5.30	60.11
8	0.000032	4.58	64.69
9	0.000027	3.98	68.67
10	0.000026	3.61	72.28

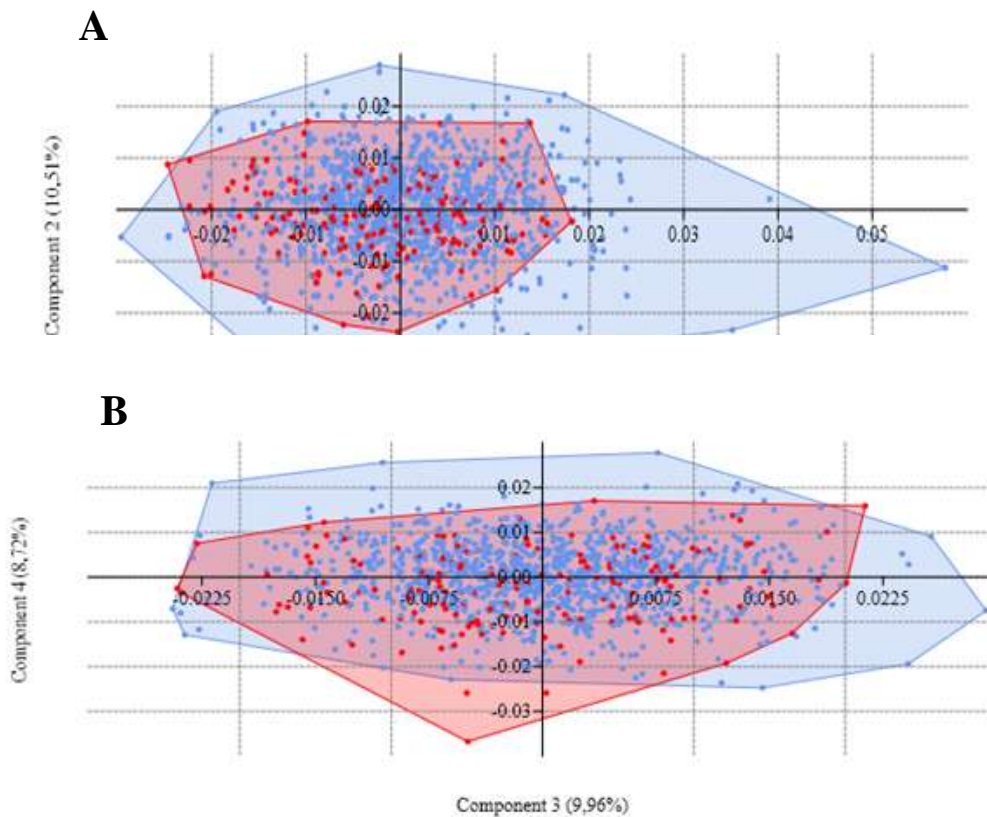


Figure 42 : Analyse des composantes principales (PCA) de la configuration de l'aile droite des abeilles mellifères. **A.** La PC1 représentait 11,92 % de la variance de forme totale de l'échantillon total par rapport à la PC2, qui représentait 10,51 %. **B.** Graphique de PC3 (9,96 % de la variation totale) et PC4 (8,72 % de la variation totale). N = 1286 (*Apis mellifera intermissa* = 1106, *A. m. sahariensis* = 180).

De plus, les grilles de transformation (**Fig. 43**) montrent les changements de forme comme une déformation de la grille rectangulaire. Dans l'échantillon formé d'abeilles mellifères, la variance des coordonnées des repères entre les souches a révélé une divergence entre les parties de l'aile (**Fig. 43**).

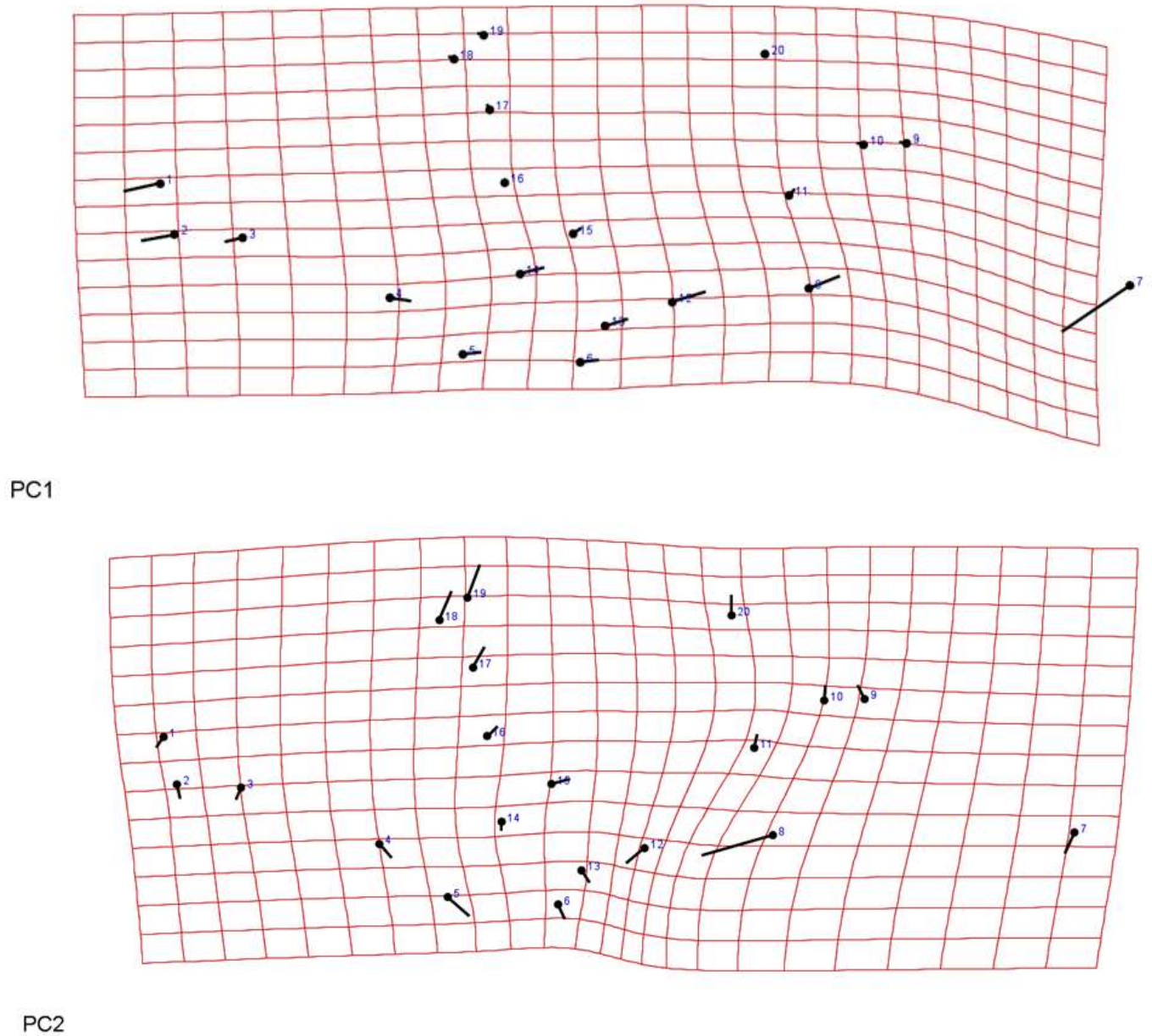


Figure 43 : Graphiques illustrant la variation de la forme des ailes des abeilles mellifères de l’Ouest de l’Algérie.

Grilles de déformation de PC1 et PC2 montrant les décalages de positions de repères avec des lignes droites avec TPS. Chaque ligne commence par un point à l’emplacement du repère dans la forme de départ (forme principale), La longueur et la direction indiquent le mouvement du repère respectif jusqu’à la forme cible (facteur d’échelle x10 pour une meilleure visibilité).

En général, LM 7 présentait la variation maximale ($S^2 = 0,00007$), suivie de LM 8, LM19 et LM3 avec des valeurs de $S^2 = 0,000061$, $0,000039$ et $0,000038$, respectivement, tandis que LM 16 (localisé près du centroïde de l'aile) présentait la plus faible variation de $S^2 = 0,00001$ (**Tab. 18**). PC1 a montré que les repères de la région antérieure de l'aile se déplaçaient vers l'extrémité de l'aile, à l'exception des LM1, LM2, LM3 et LM7 qui présentaient un déplacement basal. Ensemble, ces déplacements de repères influencent la forme des ailes par un allongement associé à un rétrécissement. PC2 a également révélé que la plupart des points de repère de l'aile antérieure montraient une déviation. Le déplacement du repère s'est produit principalement dans la partie centrale de l'aile. Le déplacement antérieur (LM5, LM7 et LM8) et postérieur (LM 18, LM19 et LM20) a entraîné un raccourcissement lié à une expansion.

Tableau 18 : Différentes variances à chaque repère pour les spécimens alignés.

LM	S^2_x	S^2_y	S^2
1	0,00002573	0,00001111	0,00003684
2	0,00002020	0,00000762	0,00002782
3	0,00003237	0,00000605	0,00003842
4	0,00002821	0,00000656	0,00003477
5	0,00002530	0,00000866	0,00003395
6	0,00001752	0,00000881	0,00002634
7	0,00004276	0,00003302	0,00007578
8	0,00005277	0,00000870	0,00006147
9	0,00001533	0,00000875	0,00002408
10	0,00001850	0,00000826	0,00002676
11	0,00002441	0,00001161	0,00003603
12	0,00002941	0,00000827	0,00003768
13	0,00001888	0,00000711	0,00002600
14	0,00003121	0,00000700	0,00003821
15	0,00002242	0,00000789	0,00003031
16	0,00001015	0,00000570	0,00001585
17	0,00001217	0,00001016	0,00002232
18	0,00002032	0,00001172	0,00003204
19	0,00002290	0,00001644	0,00003934
20	0,00002169	0,00001252	0,00003421

Les caractéristiques morphologiques des abeilles domestiques jouent un rôle important dans la discrimination des sous-espèces d'abeilles domestiques (Salehi et Nazemi-Rafie, 2020; Henriques et al., 2020). Il a été rapporté que les différentes pressions sélectives façonnent les traits morphologiques, ce qui est crucial dans la biologie évolutive. La morphométrie des ailes fait partie de ces traits qui ont été largement utilisés pour décrire la variabilité phénotypique au niveau inter-spécifique (Dellicour et al., 2017).

Les résultats de la présente étude concordent avec ceux de [Dolati et al., \(2013\)](#), qui ont déclaré que les repères anatomiques homologues situés beaucoup plus loin du centroïde de l'aile antérieure présentaient un degré plus élevé de variations. Cependant, les résultats actuels contrastent avec ceux rapportés en Indonésie par [Santoso et al., \(2018\)](#).

En ce qui concerne l'aérodynamique des insectes, selon [DeVries et al., \(2010\)](#), les ailes longues et minces des insectes sont optimales pour un vol de longue durée, tandis que les ailes courtes et larges sont optimales pour un vol lent et agile.

II- Variation de taille « Size » et de forme « Shape »

La base calculée de la taille des ailes sur son logarithme (log CS) n'était pas significativement différente entre les deux sous-espèces étudiées (test T = 2,3023; P = 0,0214) (**Fig. 44**).

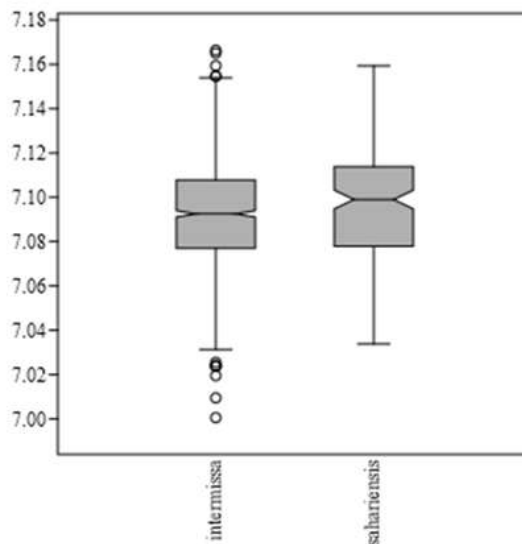


Figure 44 : Box plot montrant la taille centroïde des ailes droites pour *Apis mellifera intermissa* et *A.m. sahariensis* (P = 0,214). Les cercles marquent les valeurs atypiques de CS

À cet égard, la différence entre les sous-espèces ne peut s'expliquer par la différence de taille des ailes. Ces données contredisent l'étude précédente de [Barour et al., \(2016\)](#), où de très grandes différences significatives (P < 0,001) ont été observées dans la taille des centroïdes des ailes, entre trois sous-espèces *A. m intermissa*, *A. m. sahariensis* et *A. m. capensis*.

La forme moyenne de chacune des deux sous-espèces utilisées, dans la présente étude est clarifiée en (**Fig. 45**). Une différence importante de forme de l'aile droite a été

observée, entre *A. m. intermissa* et *A. m. sahariensis* (essai de permutation 10 000 tours, $P < 0.0001$) (Fig. 46).

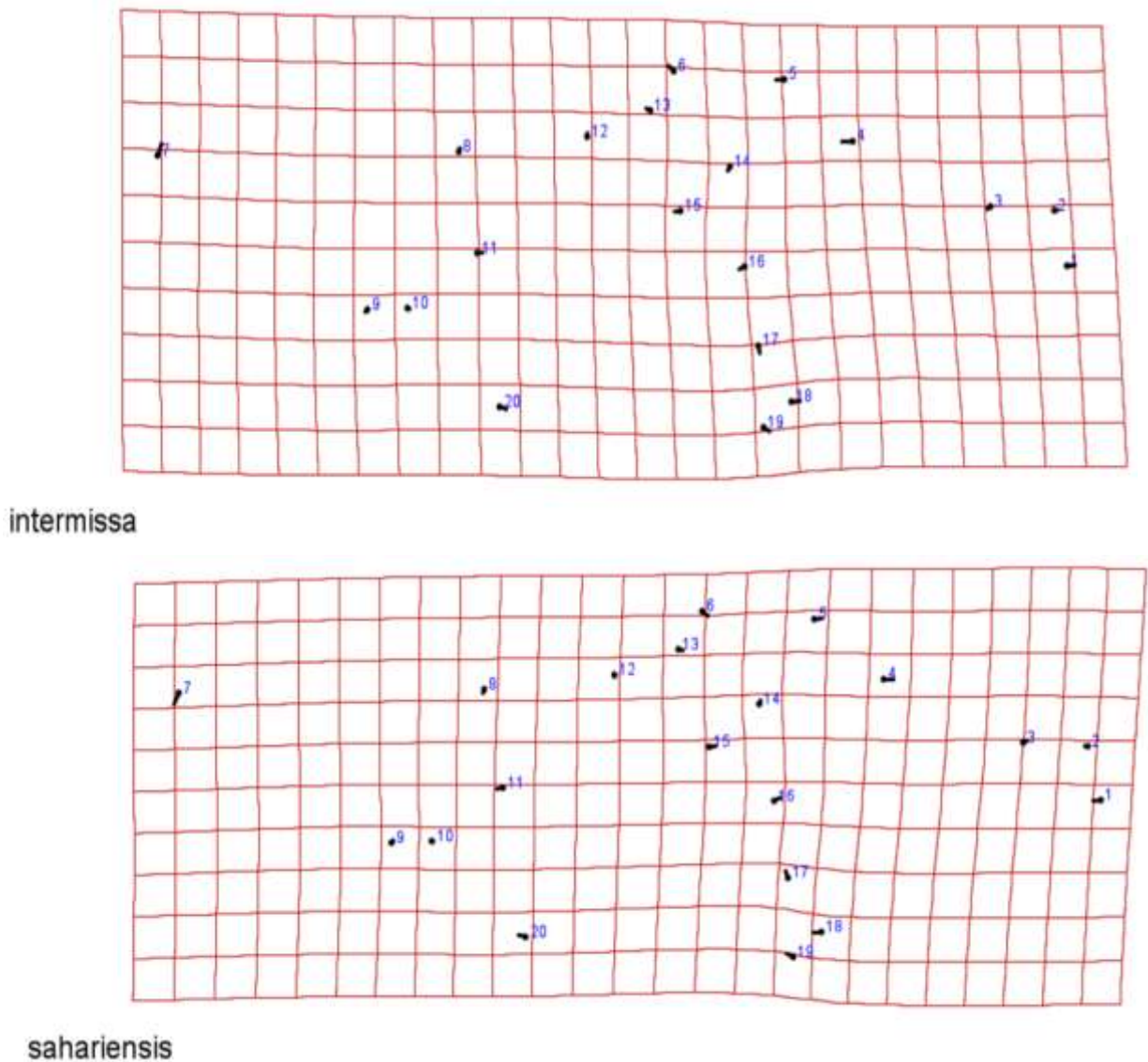
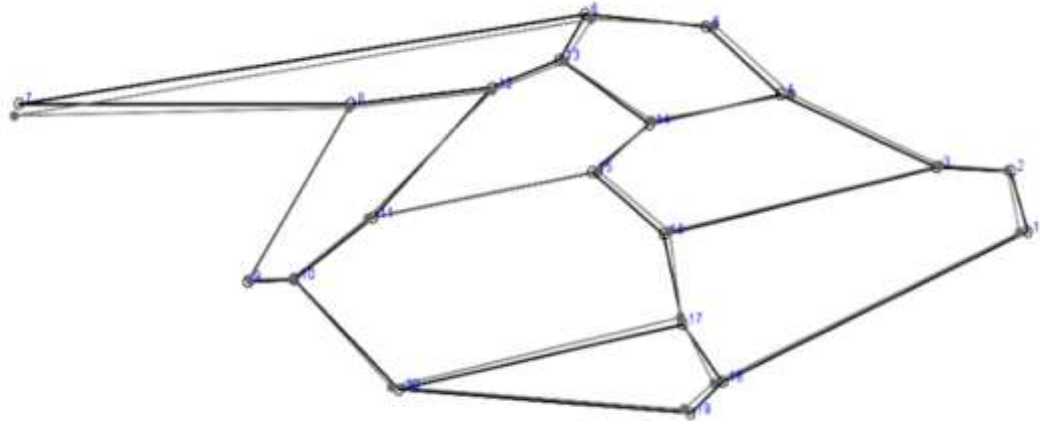


Figure 45 : Grille de spline à plaques minces présentant la forme moyenne de l'aile antérieure pour *Apis mellifera intermissa* (ci-dessus) et *A.m. sahariensis* (ci-dessous) (facteur d'échelle x10 pour une meilleure visibilité)



intermissa – sahariensis

Figure 46 : Schéma filaire «Wireframe scheme» exposant les différences de forme de l'aile antérieure entre *Apis mellifera intermissa* et *A. m. sahariensis* en utilisant MorphoJ. Ligne noire pour le côté positif et gris et ligne pour le côté négatif de la canonique (facteur d'échelle x5 pour une meilleure visibilité des différences de forme)

La distance de Mahalanobis (1,0626) et la distance de Procrustes (0,0049) obtenues entre les deux sous-espèces ont révélé des différences très importantes (test de permutation 10 000 cartouches, $P < 0,0001$).

La procédure de classification «jackknife» (test de validation croisée) (**Fig. 47**) a montré que la morphométrie géométrique pouvait distinguer les deux sous-espèces avec un taux de fiabilité de 68,3 %. Ces résultats sont conformes aux études antérieures, la classification correcte fondée sur le test de validation croisée était de 68,2 % pour les ailes antérieures et de 43 % pour les ailes postérieures pour [Dolati et al., 2013](#) dans son étude sur des populations échantillonnées de neuf régions de l'Iran. Une autre étude menée par [Rattanawanee et al., 2012](#); où l'échantillonnage a été effectué sur 73 colonies d'*Apis dorsata* (370 abeilles) de 31 localités différentes; un faible taux de classification correcte a été enregistré selon le test de validation croisée (65 %).

Compte tenu de la forme (taille + forme), le pourcentage de spécimens correctement classés a été légèrement augmenté à 69,3 %, ce qui est conforme au rapport de [Barour et al., \(2011\)](#). Toutefois, les résultats de la présente étude sont inférieurs aux 99,5 % et 79 % signalés par [Salehi et Nazemi-Rafie, \(2020\)](#) et [Kandemir et al., \(2011\)](#), respectivement.

L'intégration d'autres critères de sélection telle que l'aile postérieure ou le nombre de Hamuli ([Barour et al. 2016](#)) peut améliorer légèrement le pourcentage de la correcte classification.

Additionnellement, [Francoy et al., \(2012\)](#) ont signalé une augmentation significative du succès de la classification lorsque les méthodes de contour et de repère ont été combinées. De plus, des images des ailes des abeilles, associées à des techniques de vision par ordinateur et d'intelligence artificielle, peuvent être utilisées pour automatiser et faciliter le processus d'identification des espèces d'abeilles ([Fagundes et al., 2020](#)).

Similairement, [Silva, \(2015\)](#) a souligné que l'utilisation de la conjonction des caractéristiques morphométriques et des caractéristiques à base de pixels est plus efficace, que l'utilisation des seules caractéristiques morphométriques pour distinguer les espèces d'abeilles.

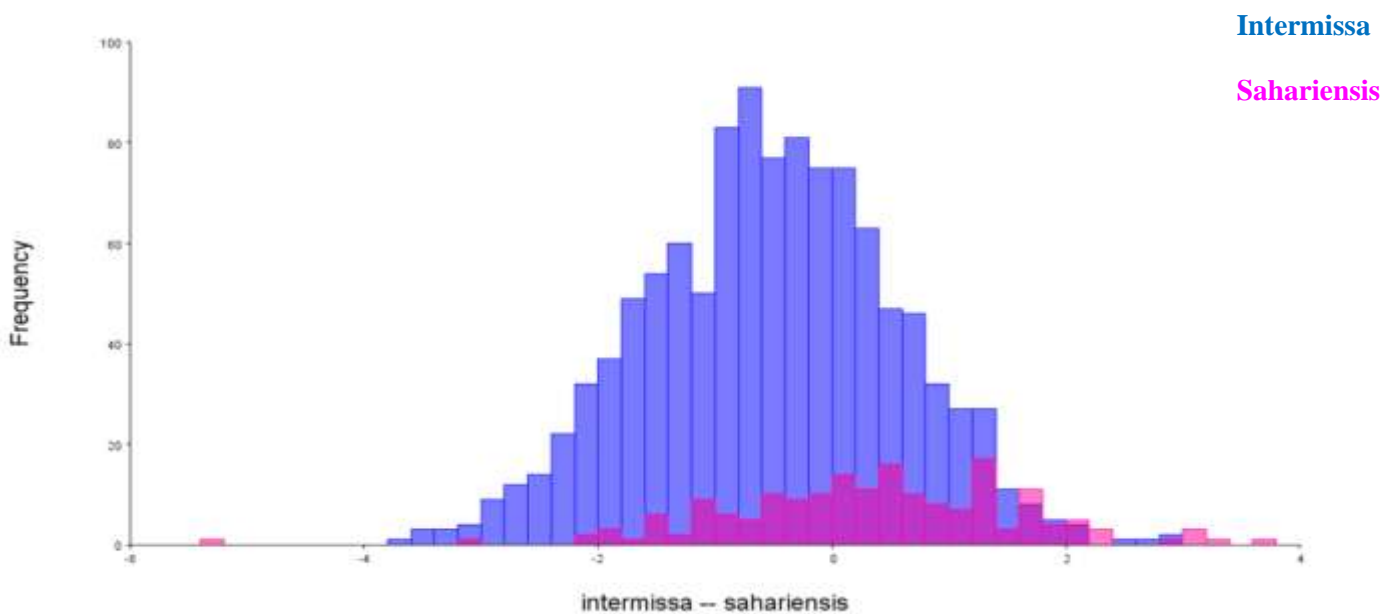


Figure 47 : Résultats du test de validation croisée « Cross validation test » pour la fonction discriminante de forme d'aile entre *Apis mellifera intermissa* et la sous-espèce *A. m. sahariensis*

III- Effet allométrique

Dans la présente étude, la régression des coordonnées de Procrustes sur la taille du log centroïde chez les sous-espèces (**Fig. 48**) a montré une différence très significative (test de permutation 10000 tours, $P < 0,0001$), mais seulement 1,43 % de la variation totale de la forme des ailes a été expliquée par l'allométrie. Par ailleurs, la relation entre la forme et la taille de chaque espèce a montré que la variation de la forme des ailes était significativement corrélée à la taille dans les deux sous-espèces (essai de permutation avec 10000 tours, $P < 0.0001$).

Bien que la régression de la variation de la forme sur la taille ait été significative, le pourcentage de variation de la forme des ailes expliquée, par les changements de taille était

relativement faible, avec 1,28 % et 4,37 % pour *A. m. intermissa* et *A. m. sahariensis*, respectivement. Les présentes constatations sont conformes à l'étude antérieure de Barour et al., (2011). Pendant une GPA, seuls les effets isométriques sont éliminés, et non les effets allométriques (Outomuro et Johansson, 2017). Selon Skandalis et al., (2017), la propre compréhension de l'origine de l'allométrie de la zone de l'aile et de la façon dont elle influe sur la performance du vol, pourrait expliquer la diversification des organismes dans leur créneau écologique spécialisé, y compris l'évolution biomécanique générale des animaux volants.

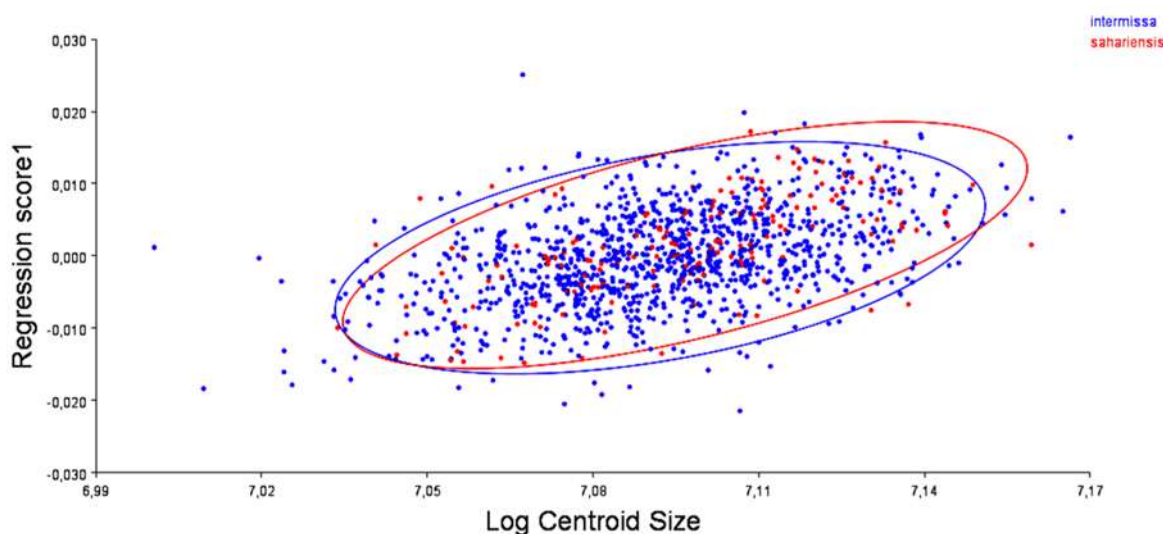


Figure 48 : Scores de régression multivariée des coordonnées de la forme de l'aile de Procrustes selon la taille du log centroïde avec des ellipses de confiance à 95 %.

IV- Variations de la taille « Size » et de la forme « Shape » des ailes selon les localités

Le test de Shapiro-Wilk a révélé une répartition normale de la taille de l'aile antérieure droite dans toutes les provinces ($P > 0,05$). Les résultats de l'ANOVA unidirectionnelle du log CS moyen de l'aile antérieure (**Tab. 19**) ont révélé des différences significatives entre les colonies des douze localités géographiques ($F = 24,02$, $P = 0,0001$). La taille centroïde la plus élevée (7,107) a été enregistrée à Tlemcen, tandis que la plus petite taille d'aile (7,076) a été trouvée à Tissemsilt et à Relizane.

Surplus, le coefficient de variation de la taille de l'aile antérieure variait de 24,1 % à 40,7 %, ce qui indique l'homogénéité relative ou l'hétérogénéité des populations d'abeilles mellifères. Dans l'ensemble, les constatations actuelles sont conformes aux rapports de Barour et al., (2011) et de Prado-Silva et al., (2016).

En Irak, Sultan, (2015) n'a signalé aucune différence significative dans la taille et la forme des ailes antérieures droites de l'abeille domestique *A.mellifera* récoltée dans deux régions géographiques distinctes de Bagdad et de Diyala.

Le test de Doornik-Hansen pour la normalité multivariée a révélé que les données de forme dans toutes les zones géographiques n'étaient pas distribuées normalement.

Le Box's M-test a révélé l'hétérogénéité des matrices de variance-covariance pour les variables de forme de l'aile antérieure droite ($F = 1,259$, $P < 0,0001$). Les résultats de l'essai non paramétrique MANOVA (PERMANOVA) ont montré des différences très significatives de la forme de l'aile antérieure droite, entre les douze régions géographiques étudiées ($F = 6,394$, $P < 0,0001$, permutation $N = 10\ 000$). Les comparaisons post-hoc par paires ont révélé des différences significatives ($P < 0,01$) entre toutes les zones étudiées, sauf entre les provinces de Mostaganem et de Saida ($P > 0,05$). Prado-Silva et al., (2016) ont également signalé un effet significatif de la zone géographique sur la forme de l'aile antérieure de *Melipona mandacaia*.

Tableau 19 : Moyenne, écart-type et coefficient de variation (%) du log centroïde pour chaque province étudiée.

Localité	N	Log CS	SD	CV (%)
Tlemcen	99	7,107 ^g	0,022	30,4
Tiaret	100	7,092 ^{cde}	0,024	33,2
Saida	100	7,105 ^g	0,017	24,1
Sidi Bel Abbès	170	7,098 ^{defg}	0,023	31,7
Mostaganem	120	7,089 ^{bcd}	0,018	25
Mascara	99	7,087 ^{bc}	0,026	36,9
Oran	98	7,101 ^{efg}	0,025	35,4
El-Bayedh	100	7,082 ^{ab}	0,023	32,3
Tissemsilt	100	7,076 ^a	0,021	29
Nâama	100	7,103 ^{fg}	0,021	29,3
Ain	100			
Temouchent		7,093 ^{cdef}	0,017	23,5
Relizane	100	7,076 ^a	0,029	40,7

Note : Les valeurs avec des lettres superscript différentes sont significativement différentes ($P < 0,001$), SD : standard of variation « écart type », CV : coefficient de variation

Les cinq premiers axes de l'analyse des variables canoniques (CVA) « Canonical Variate Analysis » présentaient près de 76 % de la variation de la forme de l'aile antérieure entre les zones géographiques (Tab. 20). Cependant, les formes des ailes antérieures des populations n'ont pas été clairement distinguées sur toutes les nuages de points « scatter plots » (Fig. 49), et aucune population en grappes fondée sur la forme des

ailles n'a été identifiée. Charistos et al., (2014) ont également signalé que les résultats de l'CVA et de l'PCA semblaient détecter des différences entre les populations d'abeilles mellifères de la Grèce. En Turquie, l'analyse de la fonction discriminante « DF » a permis de séparer clairement les colonies de sous-espèces lorsque la forme de l'aile antérieure a été utilisée. Cependant, la lignée A et la lignée M de la sous-espèce de l'abeille domestique ont montré un certain degré de chevauchement (Kandemir et Özkan, 2011).

Tableau 20 : Cinq premières variables canoniques pour la discrimination des 12 populations d'abeilles domestiques.

PC	Eigenvalues	% Variance	Cumulative %
1	0.407209	21.940000	21.940000
2	0.336480	18.129000	40.069000
3	0.306446	16.511000	56.579000
4	0.209595	11.293000	67.872000
5	0.150482	8.108000	75.980000

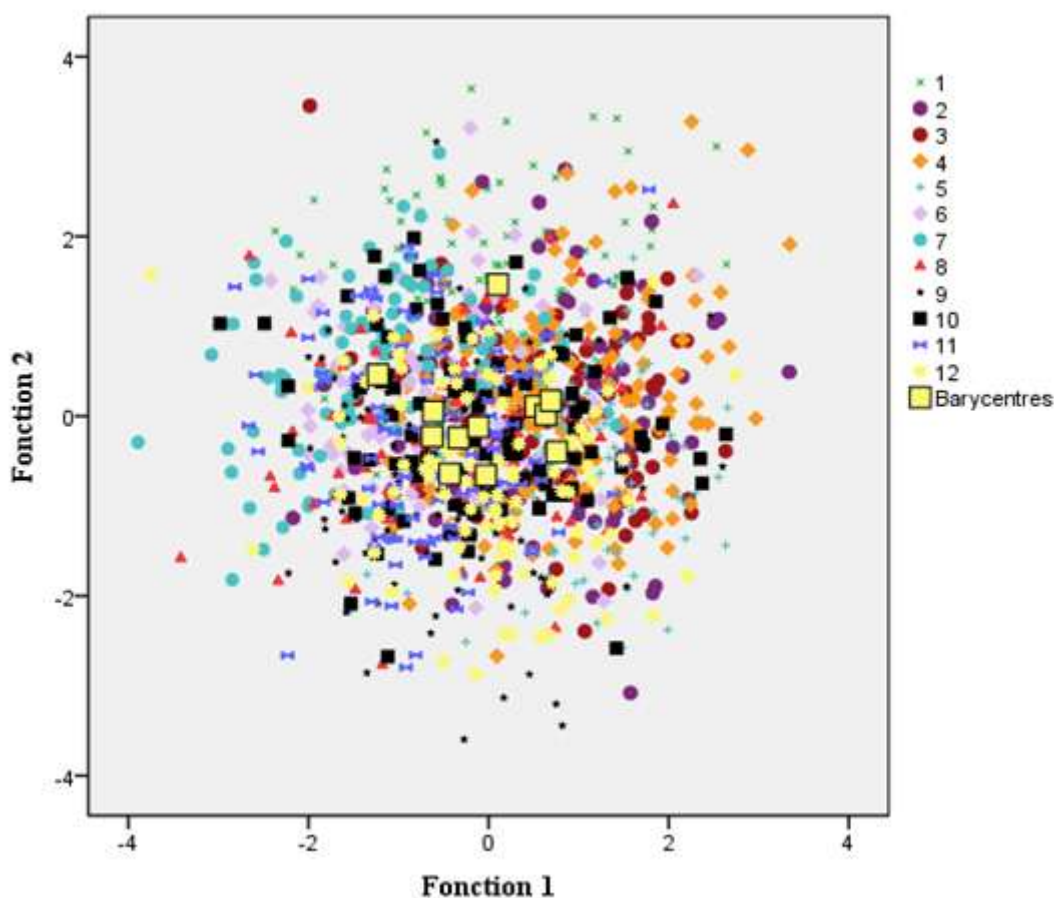


Figure 49 : Diagramme de dispersion «Scatter plot » montrant les groupes générés par l'CVA pour les 12 populations d'abeilles mellifères.

Dans leur étude, Dolati et al., (2013) ont souligné que les mesures de l'aile antérieure aident mieux les populations de zones discriminées, que les mesures de l'aile postérieure à l'aide d'une méthode morphométrique géométrique et ont ajouté que les populations ayant de petites distances géographiques présentaient plus de similitudes morphologiques.

Néanmoins, Prado-Silva et al., (2016) n'ont signalé aucune différence morphométrique significative chez *Melipona mandacaia* par rapport à l'altitude, mais la taille et la forme des ailes antérieures étaient corrélées à la distance géographique.

Selon le niveau de la localité, le test de validation croisée a révélé de faibles pourcentages de spécimens correctement classés, variant de 23 % à 46,5 % dans toutes les provinces étudiées (Tab. 21). Ces valeurs sont inférieures au taux d'identification correct de 68,2 % obtenu pour les populations européennes d'abeilles mellifères de neuf zones géographiques en Iran (Dolati et al., 2013).

Tableau 21 : Pourcentage d'échantillons correctement classés dans chaque wilaya performé en utilisant le test de permutation avec 10 000 tours.

La localité	% correctement classés (nbr de spécimens correctement classés/ nbr total de spécimens)
Tlemcen	46.5% (46/99)
Tiaret	23% (23/100)
Saida	26% (26/100)
Sidi Bel Abbès	30.6% (52/170)
Mostaganem	43.3% (52/120)
Mascara	25.3% (25/99)
Oran	43.9% (43/98)
El-Bayedh	28% (28/100)
Tissemsilt	34% (34/100)
Nâama	45% (45/100)
Ain Temouchent	41% (41/100)
Relizane	35% (35/100)
% total	34.8%

Les différences observées pourraient être dues à des facteurs génétiques, environnementaux et abiotiques qui, selon Dolati et al., (2013), pourraient influencer la forme des ailes. En outre, le chevauchement dans les résultats de l'PCA et le faible taux de classification correcte peuvent indiquer une hybridation entre les régions avec un flux génétique possible.

Par conséquent, d'autres études doivent être prises en compte, car l'hypothèse de divergence génétique semble appropriée non seulement au niveau horizontal du nord-est,

du nord-moyen et du nord-ouest de l'Algérie, mais aussi au niveau vertical du nord, du centre et du sud de l'Algérie.

Selon le dendrogramme « UPGMA » qui montre les relations phénétiques de la morphologie de l'aile antérieure, sur la base des distances de Mahalanobis entre les 12 localités géographiquement étudiées, il y avait initialement deux groupes principaux (**Fig. 50**). Les provinces de Tiaret et de Nâama (zone montagneuse) ont été classées dans le premier groupe. Le reste des autres provinces représente les différentes zones agro-écologiques (hautes plateaux, plaines et zones côtières) appartenaient au deuxième groupe. Cela laisse entendre que les obstacles géographiques ne jouent aucun rôle important dans le contrôle de la répartition géographique des deux sous-espèces. Ces résultats sont en accord avec ce qui a été rapporté en Roumanie par [Coroian et al., \(2014\)](#), où les montagnes des Carpates n'ont eu qu'un impact limité sur la biogéographie des sous-espèces *A. m. carnica* et *A. m. macedonica*. Cependant, la différenciation des sous-espèces selon les mêmes auteurs est fortement corrélée avec les différentes zones de température.

Similairement, [Rattanawanee et al. \(2012\)](#) n'ont trouvé aucune séparation claire des populations d'*Apis dorsata* recueillies des cinq principaux emplacements géographiques en Thaïlande continentale. Dans la zone Nord-Ouest algérienne étudiée, la classification de Ruttner ([Ruttner, 1988](#)) n'est donc plus respectée ou valide et les barrières géographiques semblent peu fiables pour protéger la répartition naturelle des deux sous-espèces.

Il a été rapporté par [Arias et al., 2006](#) et [Marghitas et al., 2008](#) que l'apiculture migratrice peut former des différences au sein des populations. Les mouvements incontrôlables et non réglementés de la transhumance, la commercialisation des colonies par des actions de vente et d'échange entre apiculteurs et de l'importation de reines sont toutes des activités qui ont un impact très dangereux sur l'apiculture.

La biodiversité de l'abeille domestique doit donc être maintenue grâce à certaines approches créatives telles que la création des zones de conservation pour les sous-espèces indigènes, les stations de fertilisation et même l'utilisation de l'insémination artificielle pour atténuer l'impact de la polyandrie pour les reines. Cela peut aider les apiculteurs à éliminer les colonies qui diffèrent le plus de leur sous-espèce indigène préférée et permet la création des ruchers homogènes ([Nawrocka et al., 2018](#)).

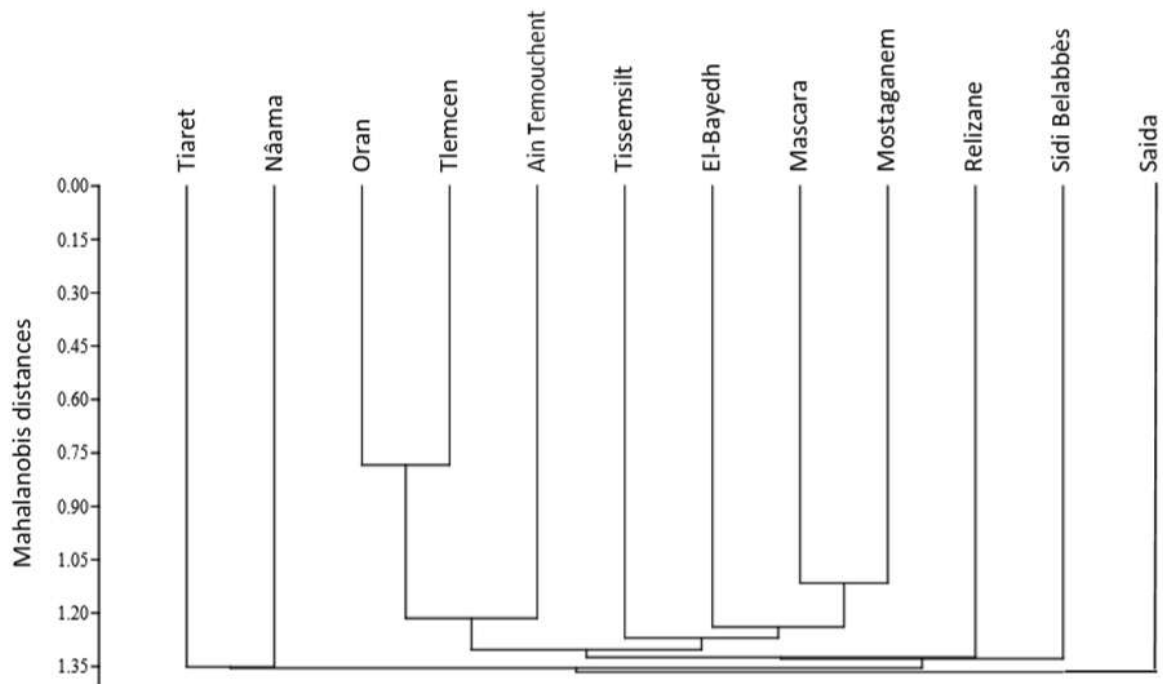


Figure 50 : Dendrogramme produit par la méthode UPGMA (Unweighted Pair-Group) montrant les relations phénétiques de la morphologie de l'aile antérieure en fonction des distances Mahalanobis entre les 12 localités géographiques.

3^{ème} volet : « Impact des pesticides »

L'étude de l'impact des pesticides sur l'abeille *Apis mellifera intermissa* est subdivisée en deux parties :

- La première partie évalue la toxicité aiguë de l'imidaclopride, et détermine la DL50 de l'insecticide par deux modes d'exposition :
 - Exposition orale (intoxication par ingestion) ;
 - et exposition topique (par contact).
- La deuxième partie examine l'effet subléthal de la moitié de la DL50 du même insecticide sur des biomarqueurs vitaux bien choisis.

I- Evaluation de la toxicité aiguë

L'évaluation de la toxicité aiguë de l'imidaclopride par le mode orale et le mode topique en fonction des différentes concentrations fixées et apportées à l'abeille sont détaillées.

A- Le mode oral

1- Les symptômes observés lors de l'intoxication orale par l'imidaclopride

Pour l'essai oral, les abeilles consomment environ 2µl d'aliment contaminé. La mortalité a été enregistrée à partir de la première heure de l'intoxication jusqu'à la 6^{ème} heure, où l'aliment contaminé est retiré, et la quantité ingérée est mentionnée. Généralement, à partir de la première demi-heure de l'exposition, on constate l'apparition des symptômes d'ordres nerveux tels que les tremblements, des convulsions, incoordination des mouvements et même des paralysées. D'autres symptômes d'ordre digestifs, essentiellement des diarrhées ont été aussi remarqués. Il est à signaler que même la dose la plus faible de cette molécule entraîne ce tableau clinique de symptômes et abouti à la mort des abeilles même avant 24 heures.

2- La détermination de la DL50 par voie orale

Après une exposition de 24h des abeilles à l'imidaclopride par les différentes doses expérimentales (1, 2, 4, 8 et 10 ng/abeille), les pourcentages des mortalités cumulées ont été calculés et les moyennes de la mortalité corrigée se convertissent en probits. La création d'une base de données sur l'Excel et l'utilisation du logiciel SPSS (IBM SPSS Statistics, version 22) ont permis d'établir la DL50.

Les résultats de la toxicité aiguë orale chez *Apis mellifera intermissa* sont représentés dans la (Fig. 51). On constate que la mortalité des abeilles varie en fonction de la dose administrée, et s'élève au fur et à mesure que la concentration de l'insecticide augmente. L'existence d'une relation directement proportionnelle entre la dose administrée et la mortalité observée « relation dose-mortalité » a été mise en évidence.

Au bout de 08 heures, la totalité des abeilles sont mortes, à l'exception de celles du contrôle. Pour les doses 4, 8 et 10 ng/abeille, les mortalités ont été enregistrées à partir de la troisième heure d'exposition. Le reste des doses (les plus faibles) cause des mortalités à partir de la cinquième heure d'exposition.

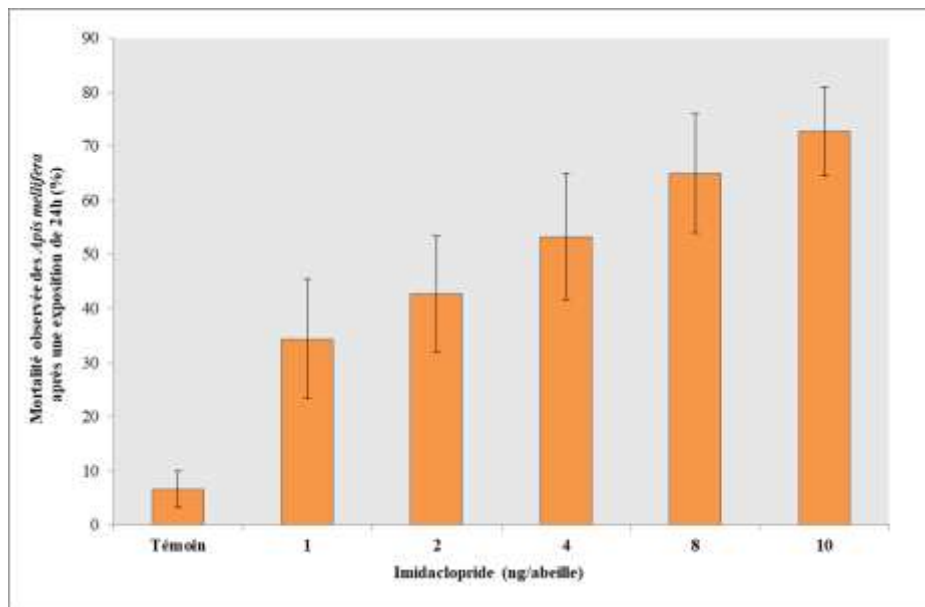


Figure 51 : Mortalité observée des abeilles en % après une exposition orale de 24h par les différentes concentrations à l'imidaclopride.

Le maximum de mortalité est signalé par la dose la plus élevée. Le taux de mortalité le plus faible soit 34,44 pour la concentration 1 ng/abeille et de 65 et 72,77% pour les doses 8 et 10 ng/abeille respectivement. En respectant les normes de l'essai, la mortalité des témoins n'a pas dépassé les 10 % et l'essai a été répété trois fois. Après l'obtention de la droite de la régression dont le coefficient de détermination est $R^2 > 0,98$, révèle une forte liaison entre les probits et les logarithmes décimaux (**Fig. 52**).

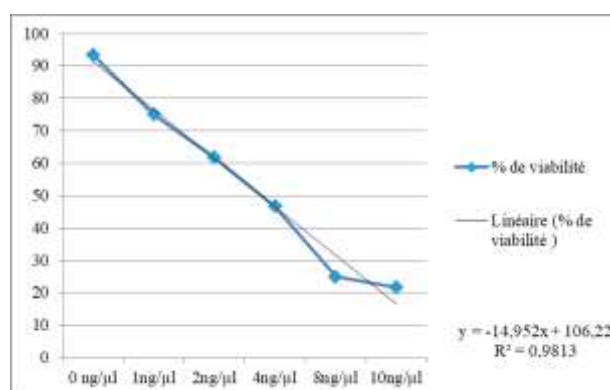


Figure 52 : Droite de régression des probits des moyennes de mortalité corrigée en fonction des logarithmes décimaux des concentrations pour l'essai oral.

La DL50 finale obtenue après le calcul des moyennes des trois essais, est de l'ordre de 4,23 ng/abeille. Cette valeur se situe entre les deux valeurs de DL50 rapportées par [Zhiguo et al., \(2017\)](#) pour *Apis mellifera* (8,6 ng/abeille) et *Apis cerana* (2,7 ng/abeille).

Nos résultats se situent dans l'intervalle signalé par Schmuck et al., (2001) et Suchail et al., (2000) qui rapportent des DL50 de 3,7 ng/abeille et 5 ng/abeille, respectivement. Par contre, certains Auteurs affichent des résultats loin de nos valeurs, Thybaud, (2001) a rapporté une DL50 de 30 ng/abeille, et Suchail et al., (2001) a obtenu une valeur de 57 ng/abeille. On constate que la DL50 varie en fonction de l'espèce d'abeille testée, certaines espèces sont plus sensibles envers les pesticides que d'autres.

Une autre étude menée en Algérie par Toudert, (2011) sur *Apis mellifera intermissa*, ou la valeur de la DL50 rapportée est de 3,43 ng/abeille. Cette valeur se rapproche bien de celle qu'on a établi par notre étude. D'après les résultats obtenus, on peut avancer que l'espèce *Apis mellifera intermissa* possède une sensibilité assez remarquable envers cette molécule. Ces résultats sont aussi proches de celui mis en évidence par Drescher, (1990), avec une valeur de 3,7 ng/abeille.

B- Le mode topique

1- Les symptômes observés lors de l'intoxication topique par l'imidaclopride

L'essai topique est réalisé par l'application d'une goutte d'imidaclopride sur la face interne du thorax de l'abeille après l'avoir anesthésiée. Le reste de la procédure est similaire à celui de la toxicité orale. La seule différence entre les deux modes (oral et topique) réside dans le temps d'apparition des symptômes, dans l'essai topique les signes d'intoxication ont débutés à partir de la deuxième heure. L'apparition des signes d'ordre nerveux a été constatée mais le tableau clinique n'était pas assez sévère comme celui de la toxicité orale. Les troubles digestifs essentiellement les diarrhées n'ont pas été signalées.

Les cinq solutions filles préparé, de la dose la plus faible vers la dose la plus élevée, induisent l'apparition des signes d'intoxication, et les abeilles testées n'arrivent pas à achever la durée du test désigné (24 heure).

2- La détermination de la DL50 par voie topique

L'établissement de la DL50 de l'exposition topique a été réalisé par la même méthode, que celle du mode oral. Les doses testées, les mortalités observées et les traitements statistiques, ont été identique à ceux de l'intoxication par ingestion.

La (Fig. 53) illustre les résultats enregistrés pour l'essai de la toxicité par contact. La relation « dose-mortalité » était bien présente. Plus la dose d'imidaclopride est élevée et plus vite la mortalité apparait. Le maximum de mortalité pour *Apis mellifera intermissa* est atteint après 4 heures d'exposition.

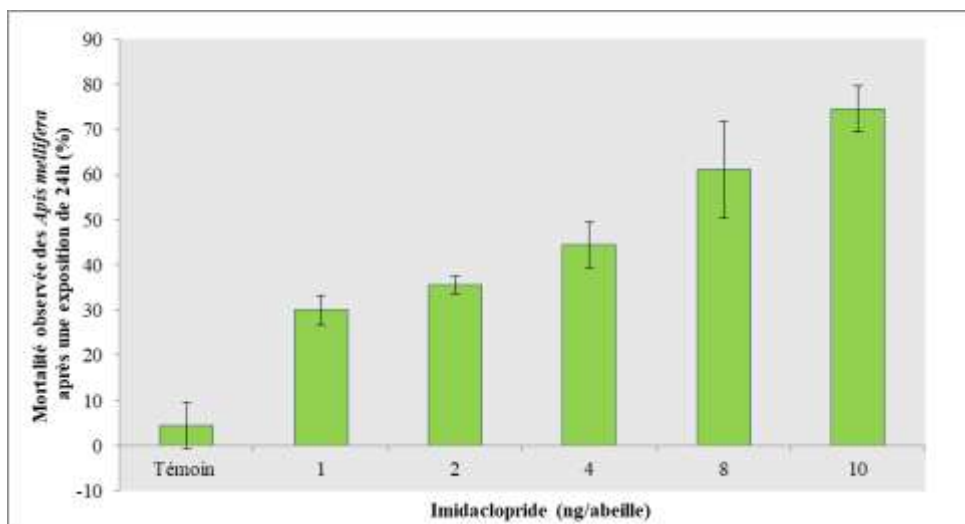


Figure 53 : Mortalité observée des abeilles en % après une exposition topique de 24h par les différentes concentrations de l'imidaclopride.

Les doses les plus élevées de 8 et 10 ng/abeille causent toujours les mortalités les plus importantes. 30% correspondent au faible taux signalé à l'opposé les 74,44% représentent la mortalité de la dose la plus importante (10ng/abeille). Cette mortalité signifie l'effet nocif par voie cutané de l'imidaclopride et son danger pour la faune des insectes. Comme pour l'essai oral, les normes de l'essai topique ont été bien respectées. La mortalité n'a pas dépassé les 10% pour le contrôle et l'essai en triplicata a été le cas. Le coefficient de détermination est supérieur à 0,97. La persistance de la forte liaison entre les probits et les logarithmes décimaux a été confirmée pour la toxicité topique (**Fig. 54**). La moyenne des trois essais réalisés nous a permis d'obtenir la DL50 de 3,28 ng/abeille. La littérature comporte peu d'études sur la toxicité topique par rapport aux études sur l'intoxication par ingestion. La sous-espèce *Apis mellifera intermissa* prouve une sensibilité élevée envers l'imidaclopride par rapport aux autres espèces. [Suchail, \(2000\)](#) a obtenu après l'intoxication topique aigue une DL50 de 24 ng/abeille pour *Apis mellifera mellifera* et 14 ng/abeille pour *Apis mellifera caucasica*. Ces résultats sont assez loin de ce que l'on a enregistré dans notre étude.

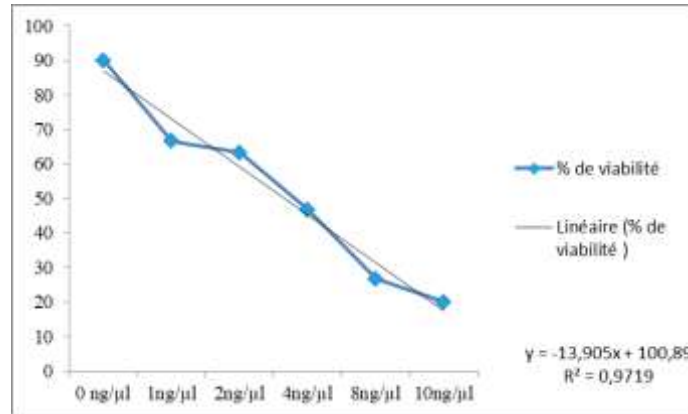


Figure 54 : Droite de régression des probits des moyennes de mortalité corrigée en fonction des logarithmes décimaux des concentrations pour l'essai topique.

C- La comparaison de la DL50 des modes d'intoxication

La comparaison en fonction du mode d'exposition est illustrée dans la (**Fig. 55**). La majorité des études comparant les deux modes d'intoxication signalent généralement une valeur faible de la DL50 pour le mode d'intoxication par ingestion que celui par contact. Nos résultats ne représente pas le cas, de la $DL50_{orale} > DL50_{topique}$, cela peut se justifier par le lieu de dépôt de la goutte de la solution fille contaminée, dans nos essais la goutte était déposée sur la face interne du thorax. Cette région se caractérise par l'absence de chitine qui constitue d'habitude une barrière imperméable de protection. Le mécanisme de la résistance cuticulaire correspond au ralentissement de la pénétration des pesticides via la cuticule de l'insecte. Cette cuticule qui protège l'organisme contre les agressions, du milieu extérieur est riche en lipide. Les insecticides sont des molécules lipophiles possédant le pouvoir de traverser cette barrière biologique par diffusion puis transportés via l'hémolymphe jusqu'aux organes cibles ([Fanny, 2013](#)).

La voie orale enregistre toujours les valeurs plus faibles par rapport à la voie topique dans les essais d'intoxication, cela peut s'expliquer par l'importance combinée de la surface et la vitesse d'absorption offerte par le système digestif.

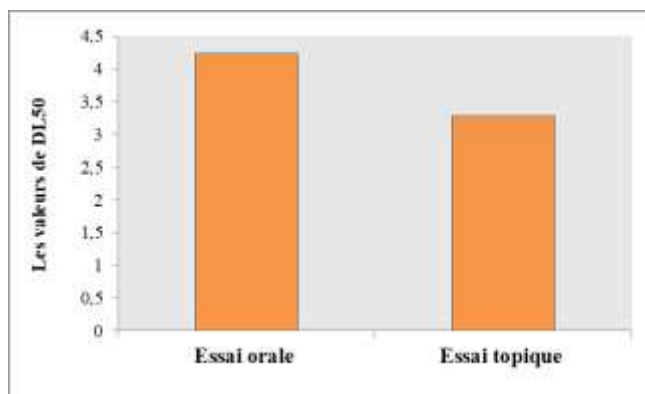


Figure 55 : Comparaison des valeurs de DL50 obtenues par les deux modes d'intoxication testés.

II- L'effet de l'imidaclopride sur les biomarqueurs

Dans cette partie, l'évaluation de la toxicité sub-létale de ce produit, est également possible chez les abeilles. C'est-à-dire, il s'agit de tester des concentrations qui induisent des effets délétères, sans provoquer la mortalité directe et immédiate (Charvet et al., 2004). Des notions sur les biomarqueurs ainsi que le champ de leurs applications doivent être détaillé pour mieux comprendre ce volet et pour justifier le choix des biomarqueurs sélectionnés.

A- Concept des biomarqueurs

Les biomarqueurs étaient à l'origine définis comme des altérations biochimiques, histologiques ou physiologiques ou des manifestations du stress environnemental (NRC, 1987). Ils ont été classés comme biomarqueurs de l'exposition à un toxique, biomarqueurs des effets de l'exposition, ou biomarqueurs de la susceptibilité aux effets de l'exposition (Peakall et Shugart, 1993).

Plus récemment, cette définition a été contestée par plusieurs auteurs (Adams, 1990; McCarty et Munkittrick, 1996; Engel et Vaughan, 1996) et le terme biomarqueur est maintenant plus couramment utilisé dans un sens plus restrictif, à savoir biochimique changements sublétaux résultant de l'exposition individuelle à des xénobiotiques. Pour la plupart, les études sur les biomarqueurs biochimiques sont effectuées dans des organismes exposés à des toxiques dans des conditions de laboratoire contrôlées. Ces études en laboratoire peuvent aider à établir la cause et l'effet des relations qui peuvent être appliquées pour prédire les effets de contaminants spécifiques sur les populations naturelles sur le terrain (Clements, 2000). Les relations entre les réponses des biomarqueurs, et les différentes structures et fonctions des populations ou des

communautés sont compliquées en raison des mécanismes compensatoires, qui régulent la dynamique de la population dans les systèmes naturels.

B- Application des biomarqueurs

Les techniques biochimiques offrent la possibilité de détecter les premiers stades de résistance, dans une population et les mécanismes de résistance impliqués. Parmi les différents mécanismes identifiés à ce jour, L'augmentation de la détoxification par métabolisation des enzymes par les pesticides et la diminution de la sensibilité du site cible sont les plus efficace et le mieux documenté (Terriere, 1984; Brown et Brogdon, 1987; Soderlund et Bloomquist, 1989; Gunning et al., 1997, 1998). La concentration ou l'activité des biomarqueurs biochimiques dans un tissu donné peut également varier en fonction des caractéristiques de l'organisme, comme le développement, le stade et âge d'un stade de développement particulier.

La variation de la réponse des biomarqueurs avec le développement de l'organisme est particulièrement importante lors de l'étude des biomarqueurs chez les espèces invertébrées dont les nymphes immatures et les larves sont typiquement à différents stades de développement.

Il est essentiel d'utiliser du matériel biologique bien défini, lors l'étude de la variation de l'activité biochimique avec le développement, l'âge et les tissus dans un organisme sont connus, pour une meilleur prédiction de la toxicité, et des changements dans la réponse des biomarqueurs biochimiques envers l'exposition à un produit chimique.

Une fois les biomarqueurs appropriés sont sélectionnés, il est important de réaliser des études sur le terrain pour déterminer comment les facteurs environnementaux et biotiques peuvent modifier les réponses du biomarqueur aux toxiques par rapport à ceux observés dans des conditions de laboratoire où ces facteurs sont contrôlés.

Chez les insectes, l'abeille domestique est d'un intérêt particulier en raison de leur activité intense de butinage, qui prédispose au contact avec divers polluants. Par conséquent, elle est considérée comme un indicateur de sensibilité élevée (Smith et Wilcox, 1990; Wallwork-Barber et al., 1982) et elle représente une espèce de valeur pour les autorités internationales impliquées dans l'évaluation des impacts écotoxicologiques des pesticides (E.P.P.O. Report, 2001). Par conséquent, l'abeille domestique peut être considérée comme un modèle particulièrement pertinent pour le développement de biomarqueurs pour évaluer la contamination de l'environnement. Historiquement, l'abeille domestique (*Apis mellifera* spp.) a été utilisée comme « espèce indicatrice » pour les essais écotoxicologiques « standard », mais on a laissé entendre qu'elle n'est pas toujours une

bonne approximation pour d'autres types d'abeilles eusociales et solitaires en raison des différences d'espèces dans l'autécologie et la sensibilité envers les divers facteurs de stress.

C- Extraction et détermination de la concentration de la protéine tissulaire totale

Les concentrations de protéines ont été estimées à l'aide de la méthode développée par Bradford, (1976) avec l'albumine sérique bovine comme norme. Les biomarqueurs enzymatiques ont été analysés dans différents compartiments biologiques des mêmes abeilles mellifères. En bref, une solution standard de 5 différentes dilutions en série (200, 20, 2, 0.2, et 0.02 µg/ml) de l'albumine sérique bovine (BSA) a été utilisée pour construire la courbe standard (Fig.56)

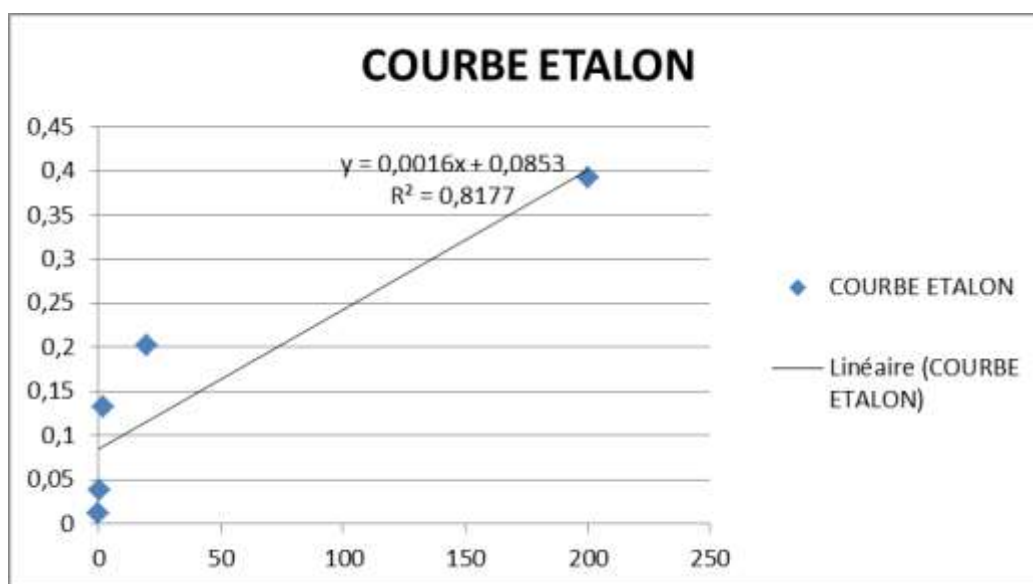


Figure 56 : Courbe d'étalonnage des protéines.

D- Exposition des abeilles mellifères à des doses sublétales de l'imidaclopride

Selon les valeurs de la DL50 obtenues pour les deux modes d'intoxication orale et topique de l'étude, les doses sont approximativement égales à la valeur de la DL50/2 de l'imidaclopride utilisée pour la description des effets du pesticide analysé sur le développement des biomarqueurs d'enzyme suivants : acétylcholinestérase (AChE), glutathion-S-transférase (GST), phosphatase alcaline (ALP) et catalase (CAT). Ainsi, AChE, GST, CAT et ALP sont impliqués dans les processus essentiels à la survie, la performance et aux défenses de l'abeille domestique, à un niveau neural et métabolique, et représentent donc de très bons candidats à moduler après une exposition aux polluants.

Le dosage de ces biomarqueurs a été réalisé par spectrophotométrie avec des longueurs d'onde qui correspondent à l'enzyme à doser (voir chapitre matériels et méthodes)

1- Effet de l'imidaclopride sur l'activité enzymatique de l'acétylcholine estérase « AchE »

AchE est une enzyme fondamentale impliquée dans le bon fonctionnement du système nerveux des humains, des autres vertébrés et des insectes. Cette enzyme est responsable pour l'hydrolyse rapide de l'acétylcholine dans les synapses cholinergique, permettant ainsi un contrôle et une modulation précis de la transmission neurale. AchE est principalement localisée dans la tête de l'abeille et surtout dans les yeux composés et l'ocelle (Kral et Schneider, 1981). Nombreux sont les études qui montrent que la modification du système cholinergique affecte la mémoire et le comportement de l'abeille (Gauthier et al., 1992; Gauthier et al., 2006).

Acétylcholinestérase (AChE) représente le biomarqueur de la neurotoxicité utilisé à grande échelle pour identifier l'exposition à des agents chimiques anticholinestératiques tels que les organophosphorés (OP) et le carbamate (C) et les néonicotinoïdes (Coppage et Matthews, 1975; Fulton et Key, 2001; Matozzo et al., 2005; Narbonne et al., 2005; Souza et al., 2005; Walker, 2001).

Les résultats du dosage de l'acétylcholine pour les deux modes d'intoxication sont illustrés en (Fig. 57).

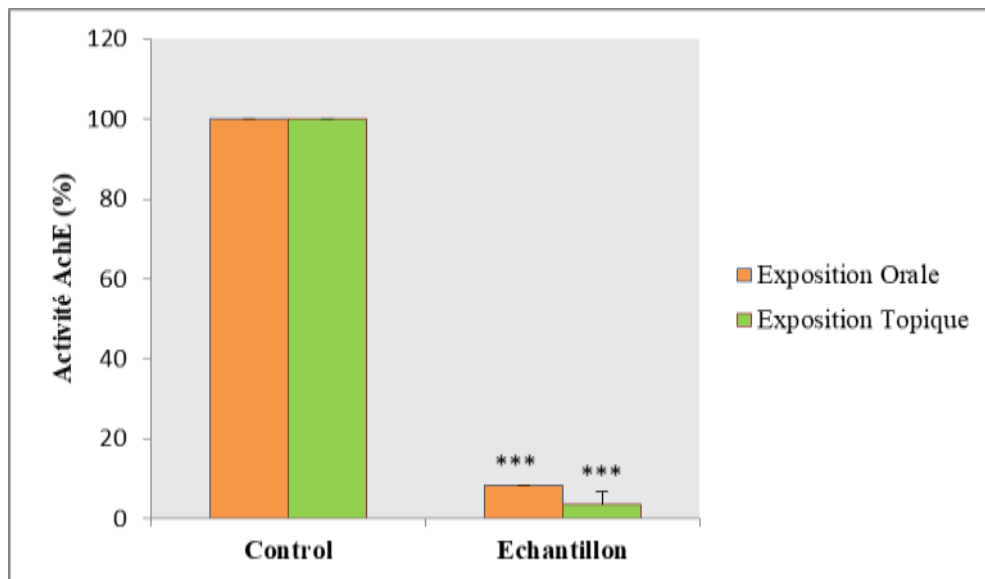


Figure 57 : Taux d'activité de l'AChE extraite des têtes d'abeille de la sous-espèce *Apis mellifera intermissa*. Le test statistique tukey réalisé avec $p \leq 0,001$.

D'après la (**Fig. 57**), les deux traitements orale et topique ont induit une diminution très hautement significative ($p < 0.001$) de l'activité AChE par rapport aux abeilles témoins. Les abeilles contrôle des deux modes d'intoxication ont le même pourcentage de cette enzymes contrairement à ceux traités par le contaminant. Le déclin de l'AchE par l'exposition topique été supérieur à celui de l'exposition orale. Cela s'explique par la vitesse d'absorption importance de la voie cutanée en comparaison à la voie orale.

Il a été démontré que les biomarqueurs neuraux sont les sites cibles d'insecticides et sont fortement modulés par l'exposition à cette substance. Une diminution de l'activité d'AchE après exposition à cette molécule chimique a été observée quelle que soit la dose ou le mode d'application par rapport au groupe témoin d'abeilles.

Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par [Badiou et al., 2008](#), dont l'abaissement de l'activité de cette enzyme a été assez important après ingestion du pesticide.

Une autre étude a établi les mêmes constats, pour trois insecticides utilisés deltamethrin, fipronil, and spinosad provoquant la baisse de l'activité de l'AchE ([Stéphane et al., 2013](#))

L'inhibition de l'activité de l'AchE chez l'abeille *Apis mellifera intermissa* aboutit au même résultat signalé par [Natbi, \(2015\)](#) sur la même sous-espèce.

Seules quelques études ont été rapportées concernant l'effet de l'imidaclopride sur AchE. Généralement une réduction de l'activité a été observée après intoxication à des concentrations sublétales. [Reddy et al. \(1991\)](#) ont montré une diminution de 29% de l'activité AchE dans le tissu cérébral des poissons juvéniles et ([Szegletes et al., 1995](#)) ont montré une diminution de 20% chez le Carpe . Des études ont également été réalisées à la fois in vivo et in vitro pour savoir si les pyréthriinoïdes ont un effet direct sur l'AchE. La perméthrine induite réduction *vivo* de l'AchE à la concentration sublétale et dans l'inhibition compétitive et réversible de l'AchE dans le cortex cérébral du rat ([Bandyopadhyay, 1982](#)). [Rao et Rao, \(1995\)](#) ont également montré une inhibition de l'AchE in vitro par perméthrine et cyperméthrine.

2- Effet de l'imidaclopride sur l'activité enzymatique du glutathion « GST »

Les multiples enzymes du système de détoxification sont étudiées car leurs activités sont susceptibles d'être fortement modifiées, après une exposition à une substance exogène. Généralement, la sensibilité des abeilles aux insecticides est extrême, mais elles présentent de considérables variations dans leur tolérance aux pyréthriinoïdes en particulier

(Johnson et al., 2006). Les enzymes de ce système de détoxification sont divisées en trois groupes, les monooxygénases à cytochrome P450, les glutathions S-transférases et les carboxylestérases, ces derniers constituent une voie de recherche importante. (Damiens et al., 2006).

Les xénobiotiques sont plus ou moins détoxifiés par les insectes (Kizek et al., 2004). Les enzymes de détoxifications identifiées chez les insectes sont de l'ordre de trois groupes : les monooxygénases dépendantes du cytochrome P450, les carboxylestérases et les glutathion-S-transférases. Le deuxième et le troisième groupe sont employés comme biomarqueurs des contaminants organiques lipophiles de types HAP, PCB et pesticides (Narbonne et al., 1991), chez les invertébrés en général (Hyne et Maher, 2003) et chez l'abeille en particulier (Badiou al., 2012).

GST est une enzyme détoxifiante de la phase II qui catalyse la conjugaison du glutathion réduit (GSH) à un grand nombre de xénobiotiques, ce qui donne plus de composés polaires pouvant être excrétés ou métabolisés davantage (Maxwell, 1992). Dans différentes espèces d'abeilles mellifères, la GST se trouve principalement dans l'intestin moyen de l'abeille (Diao et al., 2006).

La GST et les CaEs peuvent être induites par de nombreux produits chimiques en raison de leur rôle actif dans la détoxification des substances endogènes et exogènes (Stone et al., 2002; Barata et al., 2005). Cependant, bien que des études récentes ont laissé entendre que la GST pourrait également jouer un rôle important, dans la protection des tissus contre le stress oxydatif, la principale défense contre ce stress est assurée par la catalase (CAT) (Hyne et Maher, 2003; Babczynska et al., 2006).

Les résultats de l'activité spécifique de la GST sont exposés dans la (Fig. 58). Une diminution hautement significative ($p < 0.001$) de cette enzyme a été enregistrée pour les deux modes de toxicités. En comparant entre les échantillons des deux expositions, le même constat s'établit comme celui de l'AchE. L'exposition topique représente toujours la déficience la plus considérable en enzyme.

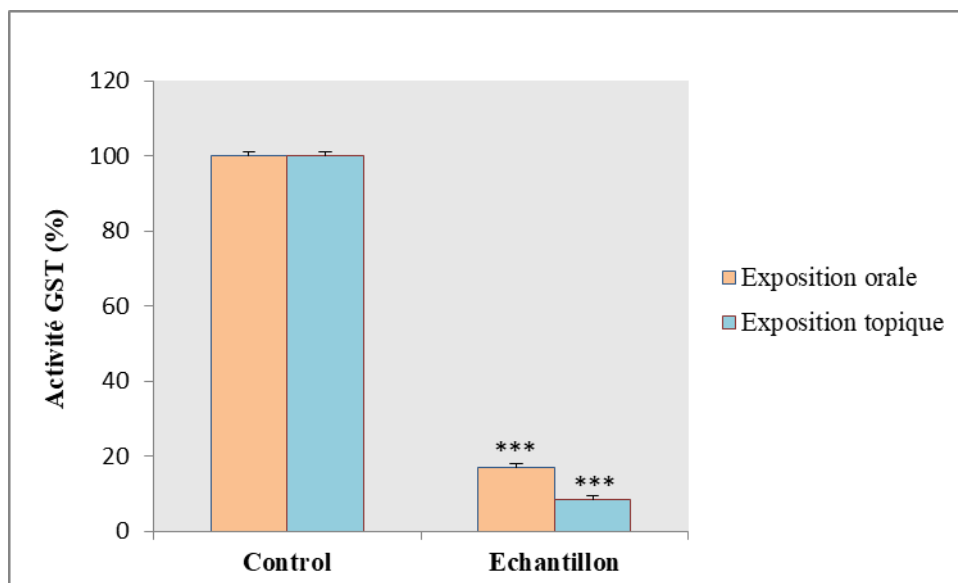


Figure 58 : Taux d'activité du biomarqueur GST extrait des intestins moyens des abeilles d'*Apis mellifera intermissa*. Le test statistique de Tukey à $p \leq 0.001$.

Les résultats acquis par notre essai diffèrent de ceux rapportés par des études antérieures menées par plusieurs auteurs : Natbi , (2015) ; Loucif W. A et al., (2008), Gagné et al., (2006), Badiou et al., (2012), Zhiguo et al.,(2017), Jianxi et al.,(2018), Daiana et al.,(2017), Stephane et al., (2013), Daniela et al, (2019), Kurt , (2016), Gagnaire et al., (2019). Ces auteurs ont enregistré une induction de l'activité de la GST. Une augmentation de l'activité de la GST a été aussi mise en évidence par des études au niveau de laboratoire de biologie animale appliqué sur un mollusque bivalve *Donax trunculus* (Amira et al., 2011; Belabed et Soltani, 2013). De même, l'effet cocktail de certains pesticides a provoqué une induction de la GST chez *Helix aspersa* (Bourbia, 2013)

Toutefois, aucun changement important à la GST n'a été observé chez l'*A. cerana* exposé à l'imidaclopride, ce qui indique que la GST n'est apparemment pas nécessaire pour prévenir le stress oxydatif chez les abeilles *A. cerana* exposées à des doses sublétales de imidaclopride Zhiguo et al.,(2017). Ce résultat concorde avec les constats qu'on a établis.

Il est à signaler que quels que soient les mécanismes par lesquels la GST est diminué, ces résultats illustrent l'intérêt de la GST en tant qu'un biomarqueur pertinent de l'exposition aux néonicotinoïdes (Boily et al., 2013 ; Badiou et al. (2008).

3- Effet de l'imidaclopride sur l'activité enzymatique de la catalase « CAT »

Pour minimiser les dommages oxydatifs aux composants cellulaires, après exposition aux xénobiotiques, l'organisme a développé des antioxydants de défense. Le CAT est considéré comme le principal moyen de défense contre les dommages oxydatifs, et la GST est un marqueur précoce de l'induction du système de détoxification et semble également contribuer à la protection contre les dommages oxydatifs (Barata et al., 2005; Babczynska et al., 2006). La catalase est une enzyme importante qui agit pour dissocier le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) en oxygène (O₂) et eau (H₂O) (Olson et al, 2017).

La (Fig. 59) montre une augmentation hautement significative ($p < 0.001$) de l'activité catalasique au cours de l'exposition orale, ce résultat corrobore avec plusieurs études.

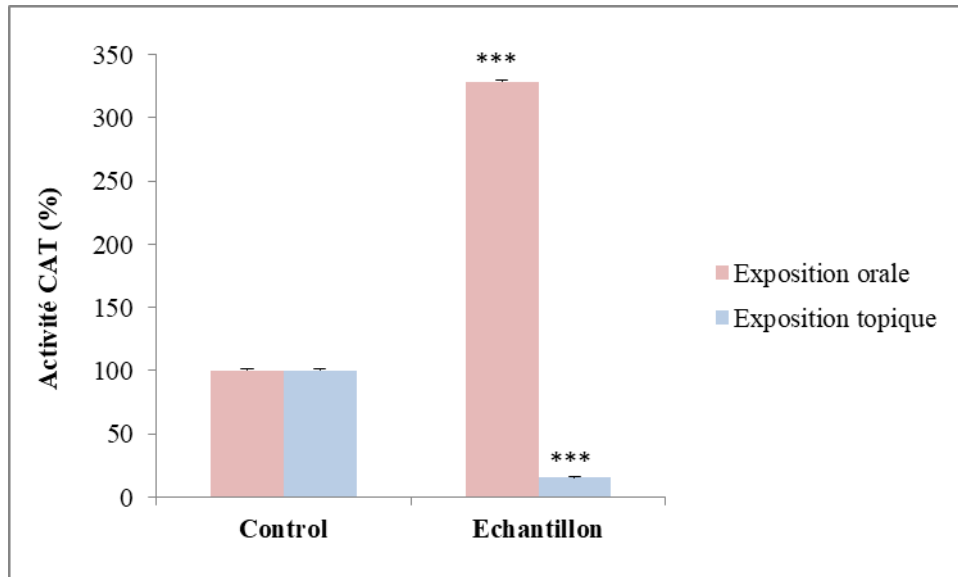


Figure 59 : Taux d'activité de la catalase extraite des intestins moyens des abeilles d'*Apis mellifera intermissa*. Le test statistique de Tukey à $p \leq 0.001$

Daniela et al., (2019) a enregistré des résultats similaires, avec une augmentation significative de l'activité de la CAT a été signaler. Le même modèle de réponse de cet biomarqueur a été rapporté par Bénéteau et al., (2012),

Lors de l'exposition topique, l'activité de la CAT a diminué d'une manière hautement significative chez les abeilles traitées par rapport au contrôle. En se référant à la littérature, rares sont les travaux qui analysent l'activité de la catalase, dont l'intérêt est important dans l'évaluation de la toxicité des pesticides. Par ailleurs, aucun autre travail sur le dosage de la CAT lors de l'exposition topique aigüe n'a été trouvé, excepté celui de Badiou et al., (2012). La réduction de CAT lors de l'exposition topique, peu se justifier,

par l'hypothèse que la quantité de l'imidaclopride administrée à l'abeille était insignifiante pour pouvoir provoquer une réponse de détoxification de la CAT et même de la GST.

L'enzyme de la catalase est très active chez l'abeille domestique et peut être modulée par polluants environnementaux (Jimenez et al.,(1996) ; Felton GWet al.,(1995). Ainsi, l'activité de CAT augmenté lors de l'exposition orale pourrait être partiellement expliquée par la capacité de l'imidaclopride à induire un stress oxydatif chez les plantes et vertébrés.

Dans la littérature, la plupart des articles utilisant des biomarqueurs sur les abeilles se concentrent sur un seul biomarqueur, principalement AChE (Boily et al., 2013; Badiou et al., 2008); jamais plus, une batterie de biomarqueurs est capable d'assurer un diagnostic complet de l'exposition aux agents de stress environnementaux, en particulier lorsqu'ils sont de nature très différente (Roméo et al., 2003).

4- Effet de l'imidaclopride sur l'activité enzymatique de la phosphatase alcaline « ALP »

La phosphatase alcaline représente une famille d'enzymes responsables de l'hydrolyse dans les processus digestifs, pour la signalisation cellulaire et pour le transport métabolites (Bounias et al., (1985). Elle assure aussi l'hydrolyse du groupe phosphaté de différents substrats et est impliquée dans l'absorption de substances, dans l'intégrité intestinale et la homéostasie, et dans le processus d'immunité (Moss, 1992; Millan, 2006; Lalles, 2010).

La Phosphatase alcaline (ALP), est une enzyme digestive impliquée dans les mécanismes d'adsorption et de transport par l'hydrolyse des groupes phosphates (Moss, 1992), ce biomarqueur constitue un outil de diagnostic précieux utilisé pour surveiller certaines maladies humaines. ALP est également impliqué dans le transport de glucose et de gras acides à travers la membrane de l'épithélium de l'intestin montré dans *Bombyx mori* (Vlahovic et al., 2009)

Les résultats du dosage spectrométrique de la phosphatase alcaline sont illustrés dans **la (Fig. 60)**. On a enregistré une induction hautement significative ($p < 0.001$) de l'activité de l'ALP pour les deux modes d'intoxications bien que celle de l'exposition topique est nettement supérieure par rapport à l'exposition orale. Ceci est dû à la perméabilité élevée de la voie cutanée, particulièrement la face interne du thorax où la chitine qui constitue la barrière de protection n'existe pas.

Ces constats sont en accord avec multiples recherches. Une diminution significative de l'activité des ALP a été induite par l'exposition au deltaméthrin alors qu'un abaissement significatif de l'activité des ALP a été induit par l'exposition au fipronil (-17,69 %). la dose la plus faible de spinosad induisant une augmentation de 9,23% d'ALP. (Stéphane et al., 2013).

Bien qu'il ne soit pas impliqué dans les pesticides de détoxification, ALP peut être modulé chez l'abeille domestique par les insecticides (Bounias et al., 1985), fongicides ou acaricides (Bounias et al., 1996), donc il est utilisé comme biomarqueur de l'exposition aux pesticides (Suresh et al., 1993). Comme un biomarqueur, la phosphatase alcaline a été exploitée dans le poisson-chat argenté (Siluriformes : Heptapteridae) dans lesquels l'activité de l'ALP est augmentée après l'exposition au cyperméthrine (Borges et al., 2007).

Bénéteau et al. (2012) avancent que les réponses des biomarqueurs ont révélé que, même au plus bas des doses utilisées, l'exposition au thiaméthoxame a provoqué des effets subtils et modifié l'activité de l'ALP. Une augmentation de l'activité de cette dernière a été bien significative dans cette recherche ce qui est similaire à nos résultats. Bien que l'ALP ait rarement été étudiée dans le contexte de la bio-surveillance, une augmentation significative d'environ 20% au-dessus du contrôle est observée, aux doses les plus faibles, ce qui rend l'ALP un intéressant biomarqueur du thiaméthoxame qui pourrait aider à établir différents diagnostics différentiels d'intoxication.

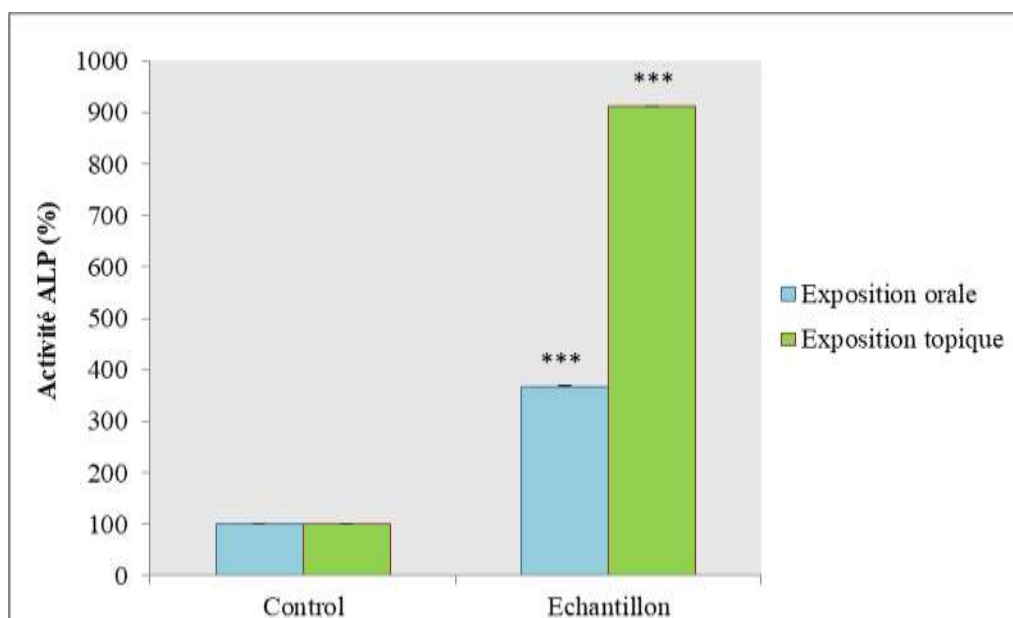


Figure 60 : Taux d'activité de la phosphatase alcaline extraite des intestins moyens des abeilles d'*Apis mellifera intermissa*. Le test statistique du Tukey à $p \leq 0.001$.

[Daniela al., \(2019\)](#) a suggéré l'existence d'une relation entre l'activité enzymatique de la phosphatase alcaline et la température représentative. Parmi les enzymes qu'il a dosés l'ALP a montré une corrélation très significative entre les activités enzymatiques (AChE et CAT).

Chez les insectes, peu d'études ont été réalisées sur l'utilisation de l'ALP comme biomarqueur. Cependant, [Bounias et al., \(1996\)](#) ont observé une augmentation de l'activité de la phosphatase après traitement au cuivre chez l'abeille domestique qui a montré que cette enzyme pourrait être utilisée.

Il faut signaler que le développement des essais de biomarqueur est un processus complexe qui dépend de nombreux paramètres, allant du choix d'une matrice correcte afin de maintenir l'intégrité de l'échantillon, de tester la normalisation et avec précision ([Bocquene et Galgani, 2004](#)). Lors de la détermination des matrices biologiques, il est impératif de prendre en considération les sites de production, la physiologie, et la répartition des biomarqueurs.

Conclusion

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En Algérie, l'apiculture trouve toutes les conditions favorables à son développement et se justifie par la douceur du climat et la richesse du patrimoine floristique en effet, pour peu que les obstacles, contraintes et menaces qui pèsent sur la filière soient levées ainsi dans le cadre de cette recherche une enquête réalisée auprès de 255 apiculteurs dans trois wilayas de l'Ouest Algérien Tiaret, Relizane et Mostaganem a permis d'établir un diagnostic sur l'activité apicole. L'analyse des données de l'enquête a mis en évidence que le lancement de la filière apicole a débuté en 2000 dans cette zone et qui a coïncidé avec la sortie de la décennie noire et les projets de soutien financier de la filière par l'état, avec l'adoption de la Langstroth, le type de ruche moderne utilisé par la totalité des exploitants, bien que les ruchers pour la plupart des apiculteurs soient de petits élevages et qui ne dépasse pas les 50 ruches. Une variation dans la production du miel et les autres produits de la ruche ont été constatés entre les régions mais la moyenne de production de miel comprise entre 10 et 15kg/ ruche est la plus dominante. Trop de pratiques et des techniques sont encore mal maîtrisées, comme c'est le cas de l'essaimage artificiel, la transhumance et le nourrissage. Les principaux problèmes d'ordre sanitaire et environnemental sont les maladies et l'usage non contrôlé des produits phytosanitaires. La varroase représente la principale pathologie qui envahit les exploitations de ces régions. Parmi les pesticides, les insecticides représentent la classe la plus utilisée par les agriculteurs et qui affecte très gravement les abeilles, la mortalité relevée par la présence des abeilles mortes au niveau de l'entrée de la ruche a été rapportée par une portion non négligeable d'apiculteurs et constitue un déclin alarmant de cet insecte pour eux. L'enquête a mis également en lumière l'influence négative de ces contraintes et les difficultés qui pénalisent les apiculteurs, parmi ces contraintes, citons l'insuffisance de la vulgarisation des nouvelles techniques de conduite d'élevage, par l'absence de structures de coordination et d'organisation de la filière telle que les coopératives et les associations professionnelles. Le manque de moyens et la cherté du matériel d'équipement paralyse la filière et rend indispensable le soutien financier de l'état. La non maîtrise des techniques de diversification des autres produits de la ruche (gelée royale, pollen, propolis et venin), affecte négativement cette industrie alimentaire. Les difficultés de commercialisation, associées à l'absence de laboratoires d'analyses accrédités constituent des problèmes majeurs que signalent les apiculteurs, Le certificat d'analyse délivré par ces laboratoires donne de l'authenticité au produit, classe les miels selon leurs origines botaniques par l'analyse méliissopalynologique et assure un

contrôle de qualité qui élimine toutes sortes de miels falsifiés. Ce certificat représente en quelque sorte la crédibilité du produit que fournit l'apiculteur au consommateur et prépare éventuellement aux opérations d'exportations, d'autres contraintes sont signalées par les apiculteurs telles que l'insécurité essentiellement les incendies, les vols et même les conditions météorologiques imprédictible et nocif pour les abeilles

Certaines recommandations sont préconisées pour les responsables, et les différents acteurs du secteur pour la promotion de l'apiculture dans ces régions. Parmi ces solutions figurent l'intégration des apiculteurs dans les programmes de formation organisés par la profession, le soutien des investissements qui aide à développer la production, la transformation et la commercialisation de miel et les produits de la ruche. Instauration des laboratoires d'analyses de miel sur différent points du territoire nationale. Sensibilisation sur les bonnes pratiques apicole par les différentes manifestations scientifiques. Identification des enjeux de gestion pour remédier la situation actuelle.

L'identification des espèces est impérative, pour favoriser la conservation et la protection de la biodiversité, du cheptel apicole notamment nos races d'abeilles. La sensibilité du sujet et l'ampleur de l'érosion génétique qui affecte le monde apicole nous a motivé à choisir et adopter un outil d'analyse rigoureux pour l'identification de nos 2 sous espèces peuplant notre zone d'étude. La technique a été la morphométrie géométrique qui se base sur la configuration des points repères. Cette technique a prouvé son efficacité de classification dans plusieurs études, elle possède le pouvoir d'être précise, avec une méthodologie simple qui consomme peu temps et utilise un matériel non couteux et disponible dans tous les laboratoires de recherche. 1286 ailes d'abeilles stockées dans l'éthanol absolue ont été ramené au laboratoire à partir de 12 wilayas qui sont : Tissemsilt, Tiaret, Sidi Bel Abbes, Oran, Ain Temouchent, Mascara, Saida, El Bayadh, Nâama, Relizane, Mostaganem et Tlemcen. Les constats établis par cette application ont mis en évidence que la géométrie morphométrie utilisant l'aile antérieure s'est avérée utile pour la discrimination des deux sous espèces native de l'Algérie *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis*. 68,3% représente le pourcentage des échantillons correctement classifié par la procédure de validation croisée. En ce qui concerne l'effet allométrique, le pourcentage de variation de la forme de l'aile expliquée par la taille été vraiment faible avec 1,28% et 4,37% pour *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis* respectivement. Le test PERMANOVA a révélé des différences significatives dans la forme de l'aile antérieure droite, parmi toutes les régions géographiques étudiées

($P < 0.001$). Il y avait une différence significative dans la forme des ailes entre les deux sous-espèces (Mahalanobis distance = 1.0626 ; $P < 0.001$), alors que la taille de leurs ailes semblait similaire ($P > 0,05$).

Par ailleurs dans la présente recherche, les résultats ont montré que la classification de Ruttner est non respectée, et les barrières géographiques semblent être inefficaces dans la protection et la distribution naturelle des deux sous espèces. Les pratiques telles que la transhumance aléatoire surtout entre le nord et l'ouest et l'importation des reines sont à l'origine de ce problème qui contribue gravement à la propagation de ce phénomène. Une autre conséquence de ce fléau est l'apparition d'hybride qui se caractérise phénotypiquement par un corps composé de deux couleurs, une moitié jaune et une autre moitié noirâtre. La conservation des sous espèces autochtones de l'Algérie est devenue une obligation surtout pour la sous espèce *Apis mellifera Sahariensis*, vue la dissémination des mauvaises habitudes pratiquées consciemment ou inconsciemment par les apiculteurs, qui estiment que l'augmentation de la production du miel est l'objectif primordial, quel que soit les moyens ou les pertes qui engendrent pour la réaliser.

Des mesures d'urgence doivent être prises par les responsable du secteur agricole, afin d'arrêter cette dérive du patrimoine génétique. Pour atteindre ce but, des actions sont préconisées voire la création des stations de conservation surtout pour la sous espèce *Apis mellifera sahariensis* qui est indispensable, car son aire de répartition est en train de se rétrécir et sa disparition est une question de temps, si aucune mesures ne sera appliquée. L'interdiction de la transhumance verticale c'est-à-dire la transhumance dans le sens du nord vers le sud est une obligation majeure pour réduire ce problème. L'installation des stations de l'insémination artificielle, aide d'une manière évidente à la lutte contre le problème d'hybridation et garantit la pureté de la descendance établie. L'encouragement des recherches scientifiques pour la reconnaissance et l'identification de nos races sur les différentes parties du territoire national. Ces recherches contribuent à l'établissement des cartes illustrant les aires de répartition des deux sous - espèces et seront authentifiées sur le plan régional et international.

Un autre phénomène qui touche différents pays est le « CCD » que l'on l'appelle Colony Collapse Disorder. Ce dernier se caractérise par des mortalités ou quasiment des disparitions importantes d'abeilles voire des colonies entières. Les scientifiques sont inquiets devant ce constat et aucune étude n'a déterminé avec précision, l'agent

responsable de ce phénomène. Parmi les hypothèses suggérées, il est relevé l'accentuation de l'usage complètement incontrôlé et abusif des pesticides même en période de pleine floraison. À cet effet le troisième volet de ce manuscrit cible l'étude de l'impact des produits phytosanitaires par la détermination de la DL50 et le dosage de l'activité de certains biomarqueurs des fonctions bien précises. L'imidaclopride (1-(6-chloro-3-pyridylmethyl)-N-nitroimidazolidine-2-ylideneamine) appartient à une nouvelle famille chimique de composés chloronicotiniques dont le mode d'action sur le système nerveux des insectes diffère de celui des produits neurotoxiques traditionnels. Cet insecticide est un composé systémique fort, est efficace contre plusieurs parasites suceurs et miniers. La toxicité aiguë du contact et des applications orales chez la sous-espèce d'*Apis mellifera intermissa* ont été menées, après intoxication orale, les valeurs de la DL50 de imidaclopride à 24h est d'environ 4,23 ng/abeille et après application topique, la valeur de DL50 à 24h s'élève à 3,28 ng/abeille. Après la détermination de la valeur de la DL50, une dose subléthale a été choisie pour étudier la réponse des systèmes de l'abeille envers cette agression. Les résultats des réponses de l'acétylcholinestérase (AChE), glutathion-S-transférase (GST), catalase (CAT) et phosphatase alcaline (ALP) ont été évaluées. Le représentant de la fonction neurale « AChE » et le facteur de détoxification « GST » ont montré une diminution significative d'activité contrairement à la phosphatase alcaline « ALP » qui présente une augmentation. La catalase a enregistré une augmentation pour la toxicité par ingestion et un déclin pour la toxicité par contact. Après ce bilan on affirme que l'imidaclopride est considéré parmi les insecticides le plus puissant et le plus toxique pour cette espèce polinisatrice. Les dégâts de ce produit s'intensifient du jour en jour à cause de son utilisation abusive non contrôlée en période de pleine floraison qui coïncide avec le moment où l'activité de butinage de l'abeille s'accélère. La mobilisation imminente contre ce fléau est de règle. Malheureusement, en Algérie il n'y a pas de loi qui régit l'usage des pesticides ou interdit son usage pendant la période de floraison, pour cela la première étape de lutte doit débiter par la promulgation d'une loi qui protège les abeilles contre ces produits au minimum pour les périodes d'activité intense.

Comme autre mesure, l'interdiction de l'importation des nouvelles molécules chimiques dont les effets sur les abeilles n'ont pas été approuvés, par les tests au laboratoire. L'augmentation de la sensibilisation des apiculteurs via les médias ou par des conférences sur les conséquences graves de ces produits contre la faune des insectes est

vivement recommandée L'incorporation et la dissémination des essais de toxicité sur les autres classes de pesticides afin de bien identifier leurs dangers.

Les perspectives de notre travail sont multiples, car le domaine de l'apiculture est subdivisé en micro filières qui nécessitent des investigations profondes. On peut suggérer certains thématiques en priorité à aborder dans le futur et qui touchent principalement : à l'amélioration de la fiche d'enquête par l'incorporation d'autres questions précises touchant au volet économique de la filière et étendre le champ d'investigation à d'autres wilayas. Le manque d'étude sur la MG au niveau national est remarquable, ou seul Barour en 2012 et la présente étude en ont fait cas. La MG a prouvé son efficacité sans aucun doute, mais il est fortement recommander de consolider ces résultats par une analyse moléculaires des échantillons collectés et qui se trouvent au laboratoire des sciences et techniques de production animale, l'action des pesticides sur l'abeille peut être compléter par une approche sur l'activité de locomotion, d'olfaction, de comportement, de butinage et d'orientation, auxquelles s'ajoutent d'autres voies de recherche concernant d'autres pesticides fréquemment utilisés dans d'autres régions du pays, l'évaluation de leur toxicité à travers deux biomarqueurs de Stress la carboxylesterase « CaE » et la prophenol oxidase « PPO ». Tout cela permettra une gestion efficace de notre cheptel apicole et une sauvegarde des races autochtones du pays.

Références

« A »

Abbo, P. M., Kawasaki, J. K., Hamilton, M., Cook, S. C., DeGrandiHoffman, G., Li, W. F., Liu, J., Chen, Y. P. 2016. Effects of imidacloprid and Varroa destructor on survival and health of European honey bees, *Apis mellifera*. *Insect science*, 24(3), 467-477.

Abou-Shaara, H.F. 2014. Recycling behavior and wisdom in the beehive. *Bee World* 91 (1): 12 -13.

Abou-Shaara, H.F. 2015. Potential honey bee plants of Egypt. *Cercetări Agronomice în Moldova Vol. XLVIII, No. 2 (162) / 2015*. DOI: 10.1515/cerce-2015-0034.

Abramson, CI., Aquino, IS., Ramalhe, FS., Price, JM. 1999. The effect of insecticides on learning in the Africanized honey bee (*Apis mellifera* L.). *Archives of Environ. Contamination and Toxicol* 37:529-535.

Achir, M., Hellal, B. 2016. Reflexions Sur Les Variations Pluviométriques De La Région De Tiaret (Algerie Occidentale) Durant La Période : 1984 – 201. *European Scientific Journal* April 2016 edition vol.12, No.11 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.

Achou, M., Loucif-Ayad, W., Legout, H., Hmidan ; H., Alburaki, M., Garnery, L.2015. An Insightful Molecular Analysis Reveals Foreign Honeybees Among Algerian Honeybee Populations (*Apis mellifera* L.). *Journal of Data Mining Genomics & Proteomics*, 6: 166. <https://doi.org/10.4172/2153-0602.1000166><https://doi.org/10.1007/s13592-014-0331-0>.

Adam, F. 1980. « A la recherche des meilleures races d'abeilles », Paris, Ed. courrier du livre, Paris, 198 p.

Adams, D. C., Rohlf, F. J., Slice, D. E. 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology* 71: 5-16.

Adams, D. C., Rohlf, F. J., Slice, D. E. 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology* 71: 5-16.

Adams, S.M. 1990. Status and use of biological indicators for evaluating the effect of stress in fish. In: Adams, S.M. (Ed.), *Biological Indicators of Stress in Fish*. American Fisheries Society, Bethesda, MD, pp. 1–8.

Adjlane, N., Doumandji, S. 2011. La varroase : biologie, diagnostic et traitement ; situation actuelle de la varroase en Algérie. *Pratique vétérinaire* 9 : 8-11.

Adjlane, N., Doumandji, SE., Haddad, N. 2012. Situation de l'apiculture en Algérie : facteurs menaçant la survie des colonies d'abeilles locales *Apis mellifera* intermissa. *Cah Agric* 21 : 235-41. doi : 10.1684/agr.2012.0566.

Adjlane, N., Habbi-Cherifi, A. 2019. Les différentes méthodes de traitements contre varroa destructor parasite de l'abeille mellifère (varroase) : efficacité, effets secondaires sur les colonies et résistance. 14^{ème} Journées Internationales des Sciences Vétérinaires, ENSV Alger, 16 et 17 novembre 2019.

- Adjoha, B., Paraïso, G., Paraïso, A., Ayélerou, R., Orou-Goura, Z., Toukourou, Y. 2015. Déterminants et contraintes de la production du miel dans le Centre et le Nord du Bénin. Communication du 2ème colloque de l'Université de Parakou du 23 au 25 Novembre 2015, Pges 89101.
- Adrien, P. 2012 . Systématique et morphométrie géométrique : L'évolution de la nervation alaire au sein du genre *Vespa* (Hyménoptères : Vespidés) . These pour obtenir le grade de docteur du muséum national d'histoire naturelle.
- Aebi, A., Vaissière, B.E., vanEngelsdorp, D., Delaplane, K.S., Roubik, D.W., Neumann, P. (2012) Back to the future: *Apis* versus non-*Apis* pollination—a response to Ollerton et al. *Trends Ecol. Evol.* 27(3), 142–143.
- Ahmad, K.J., Razzaq, A., Abbasi, K.H., Shafiq, M., Saleem, M., Arshadullah, M. 2013. Thymol as control agent of mites (*Varroa destructor*) on honeybees (*Apis mellifera*). *Pak J Agri Res* 26 (4): 316-320.
- Ahouandjinou, T.B., Yedomonhan, H., Adomou, A. C., Tossou, M. G., Akoegninou, A. 2016. Caractéristiques techniques et importance socio-économique de l'apiculture au Nord-Ouest du Bénin : cas de la commune de Cobly. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*
- Aiteur, R. 1993. Alimentation de l'abeille telienne (*Apis mellifera intermissa* Butel-Reepen) à l'aide du pollen et de produits de remplacement. Mémoire de magister INA El-Harrach Alger. 128p.
- Aizen, M.A., Harder, L.D. 2009. The global stock of domesticated honey bees is growing slower than agricultural demand for pollination, *Curr. Biol.* 19 (2009) 915–918, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2009.03.071>.
- Alburaki, M., Bertrand, B., Legout, H., Moulin, S., Alburaki, A., Sheppard, W., Garnery, L. 2013. A fifth major genetic group among honeybees revealed in Syria. *BMC Genetics*, 14(1), 117. doi: 10.1186/1471-2156-14117.
- Alburaki, M., Moulin, S., Legout, H., Alburaki, A. Garnery L. 2011. Mitochondrial structure of Eastern honeybee populations from Syria, Lebanon and Iraq. *Apidologie*, 42: 628–641. <https://doi.org/10.1007/s13592-011-0062-4>.
- ALGÉRIE PRESSE SERVICE, 2020. La production nationale de miel a presque doublé durant les 10 dernières années. Publié Le : Samedi, 11 Janvier 2020 13:52.
- Aliouane, Y., El Hassani, A.K., Gary, V., Armengaud, C., Lambin, M., Gauthier, M. 2009. Subchronic exposure of honeybees to sublethal doses of pesticides: effects on behavior. *Environ. Toxicol. Chem.*, 28: 113 - 122.
- Alix, A., Cortesero, AM., Nénon, JP., Anger, JP. 2001 . Selectivity assessment of chlorfenvinphos reevaluated by including physiological and behaviour effects on an important beneficial insect. *Environ. Toxicol. Chem.* 20:2530-2536.

- Alkassab, A.T., Kirchner, W.H. 2017. Sublethal exposure to néonicotinoïdes and related side effects on insect pollinators: honeybees, bumblebees and solitary bees. *J. Plant Dis. Prot.* 124, 1–30.
- Allsopp, M.H., de Lange, W.J., Veldtman, R. 2008. Valuing insect pollination services with cost of replacement. *PLoS One* 3, e3128.
- Amira, A., Sifi, K., Soltani, N. 2011. Measure of environmental stress biomarkers in *donax trunculus* (mollusca, bivalvia) from the gulf of Annaba (Algeria). *Eur. J. Exp. Biol.*, 1 (2):7-16.
- Andenour, B. 2006. « Le miel, « pain bénit » des fellahs et... des fraudeurs ! », *El Watan*, 3 juillet 2006.
- Anonyme, 2008. Fiche de présentation des apiculteurs des pays. 1p.
- Anonyme, C.2009. Apiculture à Bouira : Un secteur en plein « Ruches ». In. *L'Expression journal*, 1 Avril 2009. p 9.
- Anonymous, 2011. “تربية النحل في الجزائر”: <http://apiculture.yoo7.com/t399-topic>.
- Arias, M.C., Sheppard, W.S. 1996. Molecular phylogenetics of honey bee subspecies (*Apis mellifera*L.) inferred from mitochondrial DNA sequence. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 5: 557–566. <https://doi.org/10.1006/mpev.1996.0050>.
- Arias, MC., Rinderer, TE., Sheppard, WS. 2006. Further characterization of honeybees from the Iberian peninsula by allozyme, morphometric and mtDNA haplotype analyses. *J Apic Res* 45 (4): 188-196.
- Arzone, A., Vidano, C. 1974. Verifica dell'azione sull'Ape di antiparassitari dichiarati innocui a Insetti utili.- *Annali della Facoltà di Scienze Agrarie della Università degli Studi di Torino*, 9: 171-182.
- Association culture des français d'Afrique de la nord apiculture en Algérie, revue cercle algerianiste.fr.
- Atkins, E. 1992. Injury to honey bees by poisoning. In : Graham, J .M. (Ed). *Dadant ans sons*, Hamilton, IL, p. 1324.
- Atkins, E., Kellum D. 1986. Comparative morphogenetic and toxicity studies on the effects of pesticides on honeybee brood. *J. Apic. Res.*, (25): 242 - 255.
- Atkins, E.L., Kellum, D., Atkins, K.W. 1981. Reducing pesticide hazards to honey bees : mortality prediction techniques and integrated management strategies. *Univ. Calif., Div. Agric. Sci., Leaflet* 2883. 23 p.
- Aurière, C. 2001. Nosémose, prudence en sortie d'hiver. *La santé de l'abeille* 182 : 96-8.

Ayegül, G. 2004. Feature extraction of honeybee forewings and hindlegs using image processing and active contours. The requirements for degree of master of science in the department of electrical and electronic engineering.

Aymé, A. 2014. Synthèse des connaissances sur l'apiculture réunionnaise et enjeux pour la filière. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVV, 2014, 147 p.

« B »

Babczynska, A., Wilczek, G., Migula, P. 2006. Effects of dimethoate on spiders from metal pollution gradient. *Sci. Total Environ.* 370, 352–359.

Badiou, A., Crvalho, S.M., Brunet, J.L., Carvalho, G.A., Buleté, A., Giroud, B. Belzunces, L.P. 2012. Development of biomarkers of exposure to xenobiotics in the honey bee *Apis mellifera*: Application to the systemic., *Ecotox. Environ. Safe.* [http:// dx. doi. org/ 10.1016/ j. ecoenv. 2012.05.005](http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.05.005).

Badiou, A., Meled, M., Belzunces, L.P. 2008. Honeybee *Apis mellifera* acetylcholinesterase—a biomarker to detect deltamethrin exposure. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 69, 246–253.

Badiou, A., Benneveau, A., Gélet, F., Delatte, H., Becker, N., Brunet, J-L., Reynaud, B., Belzunces, L-P. 2013. Honeybee biomarkers as promising tools to monitor environmental quality. *Environment International* 60 (2013) 31–4. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2013.07.002>.

Bailey, L., Ball, B.V. 1991. *Honey Bee Pathology*. Academic Press, London - New York, 125 p.

Bailey, L., Ball, BV., Perry, JN. 1983. Honey bee paralysis: its natural spread and its diminished incidence in England and Wales. *Journal of Apicultural Research* 22 : 191-5.

Baldensperger, P.J. 1932. Bee varieties in North Africa, *Proceedings of the 5th International Congress on Entomology*. Paris, France.

Ballis, A. 2016. *Conseiller technique apicole. Chambre d'agriculture d'Alsace. Mémento de l'apiculteur, un guide sanitaire et réglementaire, Version 2016.*

Bandyopadhyay, R. 1982. Inhibition of acetylcholine esterase by permethrin and its reversion by acetylthiocholine. *Indian J. Exp. Biol.* 20, 488–491.

Baracchi, D., Dapporto, L., Turillazzi, S. 2011. Relevance of wing morphology in distinguishing and classifying genera and species of Stenogastrinae wasps. *Contributions to Zoology* 80: 191–199.

Barata, C., Lekumberri, I., Vila-Escale', M., Prat, N., Porte, C., 2005. Trace metal concentration, antioxidant enzyme activities and susceptibility to oxidative stress in the

tricoptera larvae *Hydropsyche exocellata* from the Llobregat river basin (NE Spain). *Aquat. Toxicol.* 74, 3–19.

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). PhD Thesis, University of Badji Mokhtar, Annaba.

Barour, C., Baylac, M. 2016. Geometric morphometric discrimination of the three African honeybee subspecies *Apis mellifera intermissa*, *A. m. sahariensis* and *A. m. capensis* (Hymenoptera, Apidae): Fore wing and hind wing landmark configurations. *J Hymenopt Res* 52: 61-70. DOI: 10.3897/jhr.52.8787.

Barour, C., Tahar, A., Baylac, M. 2011. Forewing shape variation in Algerian honeybee populations of *Apis mellifera intermissa* (Buttel-Reepen, 1906) (Hymenoptera: Apidae): A landmark based geometric morphometrics analysis. *Afr Entomol* 19 (1): 11-22. DOI: 10.4001/003.019.0101.

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

Baylac, M., Garnery, L., Tharavy, D., Pedraza-Acosta, J., Rortais, A., Arnold, G. 2008. ApiClass, an automatic wing morphometric expert system for honeybee identification. Retrieved from <http://apiclass.mnhn.fr>.

Baylac, M., Villemant, C., Simbolotti, G. 2003. Combining geometric morphometrics with pattern recognition for the investigation of species complexes. *Biological Journal of the Linnean Society* 80: 89–98.

Bedrane, M. A. 2018. L’apiculture en Algérie” :<https://agronomie.info/fr/l’apiculture-en-Algerie/>.

Beers, R.F., Sizer, I.W. 1951. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *J Biol Chem* 195: 133–140.

Behidj, K.K. . 2011. La compétitivité de la filière apicole algérienne – cas de la région centre (Wilaya d’Alger, Blida et Boumerdes). Mémoire en vue de l’obtention du diplôme de magister en Science Agronomique, ENSA., El Harrach, Alger, 72P .

Behidj, K.K., Benmebarek, A., Boulfoul, N., Yakoubi, Y. 2019. La compétitivité de la filière apicole en Algérie cas de la région agricole de la Mitidja. *Revue Agriculture*. 10(2) : 103 – 112, (2019).

Belabed., Soltani, N.2013. Acute toxicity of cadmium on *Donax trunculus*: acetylcholinesterase, glutathione s-transferase activities and pattern of recovery. *Eur. J. Exp. Bio.*, 3(2):54-61.

Belhadi, A. 2000. Intégration des données écologiques et apicoles dans un système d’information géographique (SIG) : cas des Monts de Béni-Chougrane Algérie nord

occidentale. Mémoire de magister, Centre universitaire de Mascara. 172p.doi: 10.19044/esj.2016.v13n3p279 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v13n3p279](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v13n3p279).

Belhadi, A., Mederbal, K., Benabeli K. et Ghalim. 2008. Apport de l'Apiculture dans le développement durable des Monts de Béni-Chougrane (Algérie occidentale. In. *Mediterranea : Serie de Estudios Biologicos* 2008 Época II, n° 19. Edit. universitat D'Alcant : 9-36.

Belhoues, L. 1977. Etude des possibilités de transhumance de ruches en vue d'une meilleure utilisation de la base mellifère en Kabylie. Mémoire ing, Inst. Nati agro., ElHarrach pp.8-30.

Belzunces, L.P, Toutant, J-P., Bounias, M. 1988. Acetylcholinesterase from *Apis mellifera* head. Evidence for amphiphilic and hydrophilic forms characterized by Triton X-114 phase separation. *Biochem J* 255:463– 470.

Benabdeli, K. 2002. Possibilités de valorisation des espèces végétales à impact économique. In. Journée scientifique O.R.M.E. Sidi Bel Abbes, Algérie.

Benbrook, C. 2009. Impacts of genetically engineered crops on pesticide use: the first thirteen years. Boulder, CO: The Organic Center 69.

Benhamouda I. K., 2016. La politique de développement de la filière apicole au niveau national, régional et local, 27-28/01/2016 in Algiers.

Benhamza, 1979. Perspectives de développement de l'apiculture en Algérie : la prophylaxie dans le développement de l'apiculture dans l'est algérien. Engineering thesis, University of Constantine.

Beniston, W. 1984. Fleurs d'Algérie. Edit. Entreprise nationale de livre. 22p.

Benoit, C. 2015. Essaimage naturel et division des colonies : fiche essaimage, abeille provençale, Groupement d'éducation apicole et de l'environnement, 6p.

Berkani, M. L.1980. Comparaison de deux types de ruches : Dadant et Langstroth dans l'Est Algerien. Engineering thesis, Inst. Nati. Agro., El Harrach, 98 p.

Berkani, M.L. 2007. Etude des paramètres de développement de l'Apiculture Algérienne. Thèse de Doctorat d'état en Science Agronomique, ENSA., El Harrach, Alger, 220P.

Béthoux, O. 2008. Groundplan, nomenclature, homology, phylogeny, and the question of the insect wing venation pattern. *Alavesia* 2: 219–232.

Blazyte-Cereskiene, L., Vaitkeviciene, G., Venskutonyte, S., Buda, V. 2010. Honey bee foraging in spring oilseed rape crops under high ambient temperature conditions. *Zemdirbyste Agriculture* 97, 61-70.

- Bocquené, G., et Galgani, F., 2004. Les marqueurs biologiques d'effets polluants: l'acétylcholinestérase. Méthodes d'analyses en milieu marin, Ifremer ed. Versailles, 28 p.
- Bocquet, J.C., Pastre, P., Ron, L., Baumeister, R. 1980. Etude de l'action de la deltaméthrine sur *Apis mellifera* en conditions en plein champ phytiairie phytopharmacol. 29 :83-92.
- Boily M., Sarrasin, B., DeBlois, C., Aras, P., Chagnon, M. 2013. Acetylcholinesterase in honey bees (*Apis mellifera*) exposed to neonicotinoids, atrazine and glyphosate: laboratory and field experiments. *Environ Sci Pollut Res* 20:5603–5614.
- Bonatti, V., Simões, Z.L.P., Franco, F.F. & Francoy, T.M. 2014. Evidence of at least two evolutionary lineages in *Melipona subnitida* (Apidae, Meliponini) suggested by mtDNA variability and geometric morphometrics of forewings. *Naturwissenschaften*, 101: 17-24. doi:10.1007/s00114-013-1123-5.
- Boncristiani, H., Underwood, R., Schwarz, R., Evans, J.D., Pettis, J., van Engelsdorp, D., 2012. Direct effect of acaricides on pathogen loads and gene expression levels in honey bees *Apis mellifera*. *J. Insect Physiol.* 58, 613-620.
- Bonmatin, J.M., Giorio, C., Girolami, V., Goulson, D., Kreuzweiser, D.P., Krupke, C. 2015. Environmental fate and exposure; neonicotinoids and fipronil. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 35–67.
- Bonnefoy, N. 2012. Rapport d'information fait au nom de la mission commune d'information sur les pesticides et leur impact sur la santé et l'environnement. Tome 1 : Rapport.
- Bookstein, F. L.1991. Morphometric Tools for Landmark Data. Geometry and Biology. Cambridge University Press. New York. 435 pp.
- Bookstein, F.L., Chernoff, B., Elder, R., Humphries, J., Smith, G., Strauss, R. 1985. Morphometrics in evolutionary biology. Special publication 15. Academy of Natural Sciences Press, Philadelphia.
- Bookstein, F.L. 1989. Principal warps : thin-plate splines and the decomposition of deformations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and machine intelligence*, 11 :567-585 .
- Borges, A., Scotti, L.V., Siqueira, D.R., Zanini, R., Amaral, F., Jurinitiz, D.F., Wassermann, G.F. 2007. Changes in hematological and serum biochemical values in jundia *Rhamdia quelen* due to sub-lethal toxicity of cypermethrin. *Chemosphere* 69:920–926.
- Botias, C., David, A., Horwood, J., Abdul-Sada, A., Nicholls, E., Hill, E., Goulson, D. 2015. Neonicotinoid residues in wildflowers, a potential route of chronic exposure for bees. *Environ. Sci. Technol.* 49, 12731–12740.

- Boucher, C., Desjardins, F. 2005. Santé de l'abeille : bilan 2004 et prévision 2005. Bulletin Zoosanitaire RAIZO 44 : 1-4.
- Bouguettouf, R.G. 2016. Les pratiques apicoles et l'évaluation de la gestion sanitaire. Projet de fin d'étude afin d'obtenir le diplôme de docteur vétérinaire.
- Bounias, M., Dujin, N., Popeskovic, DS. 1985. Sublethal effects of a synthetic pyrethroid, deltamethrin, on the glycemia, the lipemia and the gut alkaline phosphatase of honeybees. *Pestic Biochem Physiol* 24:149– 160.
- Bounias, M., Kruk, I., Nectoux, M., Popeskovic, D. 1996. Toxicology of cupric salts on honeybees. V. Gluconate and sulfate action on gut alkaline and acid phosphatase. *Ecotoxicol Environ Saf* 35:67–76.
- Bourbia A.H. Smina. 2013. Evaluation de la toxicité de mixtures de pesticides sur un bioindicateur de la pollution des sols *Helix aspersa*. thèse de doctorat. Spécialité: Biologie animale. Université Annaba., pp :58.
- Bourkache, F., Perret, C. 2014. La filière apicole dans les Wilayate de Tizi-Ouzou et de Blida: une ressource territoriale en devenir. 2014. halshs-01016660v3.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of proteins utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem* 72:248–254.
- Breeze, T.D., Vaissière, B.E., Bommarco, R., Petanidou, T., Seraphides, N., Kozák, L., Scheper, J., Biesmeijer, J.C., Kleijn, D., Gyldenkerne, S., Moretti, M., Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Stout, J.C., Pärtel, M., Zobel, M., Potts, S.G. 2014. Agricultural policies exacerbate honeybee pollination service supply-demand mismatches across Europe, *PLoS One* 9 (2014), <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0082996>.
- Brown, M. 2000. Lutte contre les maladies apicoles en Grande-Bretagne. *Santé de l'abeille* 178 : 213-24.
- Brown, T.M., Brogdon, W.G. 1987. Improved detection of insecticide resistance through conventional and molecular techniques. *Annu. Rev. Entomol.* 32, 145–162.
- Bruneau, E. 2005. Dépérissement des ruchers en région wallonne : état des lieux. *Abeilles & Cie* 104 : 8-11.
- Bruneau, E. 1998. Etude des mielles. *Abeille et Cie*. Centre de recherche et information apicole (CARI) de Belgique. 64 (16-8) et 66 (12-8).
- Buhendwa, N. 2014. Rôle de l'apiculture dans le développement en milieu rural : femme paysannes participées le 18.2014, disponible sur, <https://www.worldpulse.com/fr/node/35137>.
- Burgett, M., Randal, R., Walter, T. 2009. Honey bee colony mortality in the Pacific Northwest (USA). *American Bee Journal* 149 : 573-5.

Burley, L.M., Fell, R.D., Saacke, R.G. 2008 ; Survival of honey bee (Hymenoptera : Apidae) spermatozoa incubated at room temperature from drones exposed to miticides. J. Econ. Entomol. 101, 1081-1087.

Bustamante, T., Baiser, B., Ellis, J.D. 2020. Comparing classical and geometric morphometric methods to discriminate between the South African honey bee subspecies *Apis mellifera scutellata* and *Apis mellifera capensis* (Hymenoptera: Apidae). *Apidologie* (Celle) 51: 123-136. DOI: 10.1007/s13592-019-00651-6.

Buttel-Reepen, H.V. 1906. *Apistica* Contributions to the systematics biology as well as to the historical and geographic distribution of the honey bee (*Apis mellifera* L.), its varieties and the albigen *Apisspecies*. Zoological Museum in Berlin, 3: 121–196.

« C »

Çakmak, İ. Seven-çakmak S., 2016. Beekeeping and recent colony losses in Turkey. U. Ari Drg./ U. Bee J. 16(1): 31-48.

Cancino, A. 2009. Etat des lieux de l'installation apicole professionnelle en Languedoc-Roussillon. En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de spécialisation en agronomie des régions chaudes option ecodév. Décembre 2009.

Cánovas, F., De la Rúa, P., Serrano, J., Galián, J. 2008. Geographical patterns of mitochondrial DNA variation in *Apis mellifera iberiensis* (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 46: 24–30. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0469.2007.00435.x>.

Casida, J.E., 2009. Pest toxicology: the primary mechanisms of pesticide action. *Chem. Res. Toxicol.* 22, 609–619.

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. p 314.

Chahbar, N. 2011. Effet d'un insecticide utilisé en protection des végétaux : thiamethoxam sur l'abeille saharienne *APIS mellifera sahariensis*, journal Algérien de l'environnement aride, université Ouargla, N°02, 12p.

Chandel, R.S., Gupta, P.R. 1992. Toxicity of diflubenzuron and penfluron to immature Stages of *Apis cerana indica* and *Apis mellifera* L. *Apidologie* 23:465-473.

Chapman, R. F. 1998. *The insects: structure and function*. Cambridge University Press. Cambridge.

Charistos, L., Hatjina, F., Bouga, M., Mladenovic, M., Maistros, A. 2014. Morphological discrimination of Greek honey bee populations based on geometric morphometrics analysis of wing shape. *J Api Sci* 58 (1): 75-84. Doi: 10.2478/jas-2014-0007.

- Charvet, R., Katouzian-Safadi, M., Colin, M.E., Marchand, P.A., Bonmatin, J.M. 2004. Insecticides systémiques : de nouveaux risques pour les insectes pollinisateurs. Masson, Paris, 2004 Ann Pharm Fr 2004, 62 : 29-35.
- Chelighoum, A .2011. Etude comparative de deux méthodes récolte de miel (unique et partielle) dans la Mitidja. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister en Science Agronomique, ENSA., El Harrach, Alger, 118P.
- Chennit, D., Cherifi, L., 1991. Etude comparative de deux type de ruches : Dadant et Langstroth et essai d'analyse pollinique. Mémoire d'ingénieur INA El-Harrach Alger. 72p.
- Christen, V., Mittner, F., Fent, K. 2016. Molecular effects of neonicotinoids in honey bees (*Apis mellifera*). Environ. Sci. Technol. 50(7), 4071-4081.
- Ciarlo, T.J., Mullin, C .A., Frazier, J.L., Schmechl, D.R. 2012. Learnig impairment in honey bees caused by agricultural spray adjuvants. PLoS One 7, e40848.
- Claudianos, C., Ranson, H., Johnson, R., Biswas, S., Schuler, M., Berenbaum, M., Feyereisen, R., Oakeshott, J. 2006. A deficit of detoxification enzymes : pesticide sensitivity and environmental response in the honeybee. Insect Mol. Biol. 15, 615-636.
- Clement, H. 2004. Une ruche au jardin. Ed. Rustica. 87p.
- Clements, W.H. 2000. Integrating effects of contaminants across levels of biological organization: An overview. J. Aquat. Ecol. Stress Rec.7, 113–116.
- Cockerell, T. D. A. 1912. No. II. Hymenoptera, Apoidea. Transactions of the Linnean Society of London. 2nd Series: Zoology, 15, 29-41.
- Colin, M. E, Bonmatin, J. M, Moineau, I, Gaimon, C., Brun, S., Vermandere, J. P., 2004. A method to quantify and analyze the foraging activity of honey bees: relevance to the sublethal effects induced by systemic insecticides.- Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 47: 387-95.
- Collins, A.M., Pettis, J.S., Wilbanks, R., Feldlaufer, M.F. 2004. Performance of honey bee (*Apis mellifera*) queens reared in beeswax cells impregnated with coumaphos. J. Apic. Res. 43, 128-134.
- Colosio, C., Birindelli, S., Corsini, E., Galli, C.L., Maroni, M., 2005. Low level exposure to chemicals and immune system. Toxicol. Appl. Pharmacol. 207, 320–328.
- Combes, S. A., 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., Needham, J. G. 1898. The wings of insects (continued). The American Naturalist 32: 413–424.

Coppage, D.L., Matthews, E. 1975. Brain-acetylcholinesterase inhibition in a marine teleost during lethal and sublethal exposures to 1,2- dibromo-2,2-dichloroethyl dimethyl phosphate (naled) in seawater. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 31, 128–133.

Cornish, D.A., Voyle, M.D., Haine, H.M., Goodwin, R.M., Vanneste, J.L. 1998. Distribution of beneficial bacteria on nashi and apple flowers using honey bees. *Proceedings of 51st New Zealand Plant Protection Conference*, 107-111.

Cornuet, J.M., Daoudi, A., Mohssine, E.H. Fresnaye, J. 1988. Etude biométrique de populations d'abeilles marocaines. *Apidologie*, 19: 355–366. <https://doi.org/10.1051/apido:19880403>.

Coroian, CO., Muñoz, I., Schlüns, EA., Paniti- Teleky, OR., Erler, S., Furdui, EM., Mărghitaș, LA., Dezmirean, DS., Schlüns, H., De la Rúa, P., Moritz, RFA. 2014. Climate rather than geography separates two European honeybee subspecies. *Mol Ecol* 23 (9): 2353-2361. DOI:10.1111/mec.12731.

Cox, RL., Wilson, WT. 1987. The behaviour of insecticides exposed Honey bees. *Ann bee J* February: 118-119.

Cox, RL., Wilson, WT. 1984. Effects of permethrin on the behaviour of individually tagged honey bees, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) *Environ. Entomol.* 13:375-378.

Cox-Foster, D., vanEngelsdorp, D. 2009. Solving the mystery of the disappearing bees. *Sci Am.* Apr; 40-47.

Croft, BA. 1990. *Arthropod Biological control Agents and Pesticides*. New-York wiley 723p in Desneux N. and al. 2007.

Cucchi, T., Evin, A. 2015. Morphométrie géométrique et archéozoologie : Concepts, méthodes et applications. In M. Balasse, J. P. Brugal, Y. Dauphin, E-M. Geigl, C. Oberlin, & I. Reiche (Eds.), *Messages d'os, Archéométrie du squelette animal et humain* (pp. 197-216).

Cutler, G.C., Scott-Dupree, C.D., Sultan, M., McFarlane, A.D., Brewer, L. 2014. A largescale field study examining effects of exposure to clothianidin seed-treated canola on honey bee colony health, development, and overwintering success. *PeerJ.* 2, e652.

« D »

Da Silva-Cruz, A., Da Silva-Zacarin, E.M.C., Bueno, O.C., Malaspina, O. 2010 . Morphological alterations induced by boric acid and fipronil in the midgut of worker honeybee (*Apis mellifera* L.) larvae: morphological alterations in the midgut of *A. mellifera*. *Cell. Biol. Toxicol.*, 26: 165 – 176.

Daiana, A.T., Claudia, D., Andre, K., Stephan, M. C., Elaine, C.M., Silva-Zacarin., Osmar, M., Geraldine, B., Jean-Luc, B., Luc, P. B . 2017. Exposure of larvae to

thiamethoxam affects the survival and physiology of the honey bee at post-embryonic stages. *Environmental Pollution* 229 (2017) 386e393. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.05.092>.

Dalal, J. 2006. Etude de la toxicité de pesticides vis-à-vis de deux genres de levures : approche cinétique et moléculaire. These présentée pour obtenir les titres de docteur de l'institut national polytechnique de toulouse. L'universite saint joseph de beyrouth. Lebanon.

Daly, H.V ., Hoelmer, K., Norman, P ., Allen, T. 1982. Computer assisted measurement and identification of honey bees. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 75,591-594.

Daly, H.V., Balling, S.S. 1978. Identification of Africanized honeybees in the Western Hemisphere by discriminant analysis, *J. Kans. Entomol. Soc.* 51, 857–869.

Damiens G., Mouneyrac C., Quiniou F., His E., Gnassia-Barelli M., Romeo M. 2006. Metal bioaccumulation and metallothionein concentrations in larvae of *Crassostrea gigas*. *Environ pollut.*, 140: 492-499.

Daniela, L., Paolo, T., Mario, C., Roberto, G., Roberto, B., Paolo, P., Marco, P., Giovanni, Z., Marco, V. 2019. Effects of Pesticides and Electromagnetic Fields on Honeybees: A Field Study Using Biomarkers. *International Journal of Environmental Research*. <https://doi.org/10.1007/s41742-019-00242-4>.

De Almeida, G., 2008. Fatores que interferem no comportamento enxameatório de abelhas africanizadas. Universidade de São Paulo.

De Favaux, M., 1984. Les acariens et les insectes parasites et prédateurs des abeilles *Apis mellifera intermissa* en Algérie. *Bulletin de Zoologie Agricole INA* 8 : 13-21.

De la Rúa, P., Serrano, J. Galián, J. 1998. Mitochondrial DNA variability in the Canary Islands honeybees (*Apis mellifera* L.). *Molecular Ecology*, 7: 1543– 1547. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.1998.00468.x>.

De la Rúa, P., Fuchs, S., Serrano, J. 2005. Biogeography of European honeybees. In: Lodesani M., Costa C. (Eds.) *Beekeeping and Conserving Biodiversity of Honeybees. Sustainable Bee Breeding. Theoretical and practical guide.* Northern Bee Books. Hebden Bridge: 15-52.

De la Rúa, P., Radloff S., Hepburn, R. Serrano, J. 2007. Do molecular markers support morphometric and pheromone analyses? A preliminary case study in *Apis mellifera* populations of Morocco. *Archivos Zootecnia*, 56: 33–42.

De Ruijter, A., Vaudersteen, J., 1987. A field study on the effect on honeybee brood of Insegar (fenoxycarb) applied on blooming apple orchards. *Apidologie* 18:356-357.

- Decourtye, A. 2002. Etude de l'impact de produits phytopharmaceutiques sur la survie et l'apprentissage associatif chez l'abeille domestique (*Apis mellifera* L.). Thèse de doctorat. Université de Paris XI- UFR Scientifique d'Orsay. 134p.
- Decourtye, A., Devillers, J., Aupinel, P., Brun, F., Bagnis, C., Fourier, J., Gauthier, M. 2011. Honeybee tracking with microchips : a new methodology to measure the effects of pesticides . *Ecotoxicology* 20, 429-437.
- Decourtye, A., Devillers, J., Cluzeau, S., Charreton, M., Pham-Delègue, M.-H. 2004. Effects of imidacloprid and deltamethrin on associative learning in honeybees under semi-field and laboratory conditions. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 57, 410-419.
- Decourtye, A., Devillers, J., Genecque, E., Menach, K. L., Budzinski, H., Cluzeau, S., Pham-Delegue, M.H. 2005. Comparative sublethal toxicity of nine pesticides on olfactory learning performances of the honeybee *Apis mellifera*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 48, 242-250.
- Delahais, S. 2012. L'apiculture une activité vectrice de développement rural durable, quels obstacles à son développement. Université Michel de montagne bordeaux3.institut d'aménagement de tourisme d'urbanisme, promotion n°10 : année 2011/2012 p23.
- Delisle, C. S., Delisle. 1993. CD Sciences – Banque de texte scientifique, Banque de données sur les éléments, L'arsenic, CEDROM-SNC, Version 3.11, Outremont, 1993.
- Dellicour, S., Gerard, M., Prunier, J.G., Dewulf, A., Kuhlmann, M., Michez, D. 2017. Distribution and predictors of wing shape and size variability in three sister species of solitary bees. *PloS One* 12 (3): e0173109. DOI:10.1371/journal.pone.0173109.
- Devillers, J., Doré, J. 2000. Etude bibliographique des effets écotoxicologiques des xénobiotiques vis-à-vis de l'abeille. Programme communautaire pour l'Apiculture A.C.T.A., Paris.
- DeVries, P.J., Penz, C.M., Hill, R.I. 2010. Vertical distribution, flight behaviour and evolution of wing morphology in *Morpho* butterflies: Wing evolution in *Morpho* butterflies. *J Anim Ecol* 79: 1077-1085.
- Diao, Q., Yuan, K., Liang, P., Gao, X. 2006. Tissue distribution and properties of glutathione S-transferases in *Apis cerana cerana* Fabricius and *Apis mellifera ligustica* Spinola. *J. Apic. Res.* 45, 145–152.
- Diniz-Filho, J.A.F., Hepburn, H.R., Radloff, S., Fuchs, S. 2000. Spatial analysis of morphological variation in African honeybees (*Apis mellifera* L.) on a continental scale, *Apidologie* 31, 191–204.
- Dolati, L., NazemiRafie, J., Khalesro, H. 2013. Landmark-based morphometric study in the fore and hind wings of an Iranian Race of European honeybee (*Apis mellifera meda*). *J Apic Sci* 57: 187-197.

Doublet, V., M. Labarussias, M., De Miranda, J.R., Moritz, R.F.A., Paxton, R.J. 2015. Bees under stress: sublethal doses of a neonicotinoid pesticide and pathogens interact to elevate honey bee mortality across the life cycle, *Environ. Microbiol.* 17 (2015) 969–983. doi:10.1111/1462-2920.12426.

Douhet, M. 1982. L'apiculture à la Réunion et ses problèmes sanitaires. Direction départementale des Services Vétérinaires, 100 p.

Drauschke, M., Steinhage, V., Pogoda, A., Müller, S., Francoy, T.M., Wittmann, D. 2007. Reliable Biometrical Analysis in Biodiversity Information Systems, in: Proc. 7th Int. Workshop on Pattern Recognition in Information Systems, Funchal, Portugal, pp. 25–36.

Drescher, W. 1990. Prüfung and Zulassung –gvenfahren- laboratoriumsprüfung. Institut für landwirt schoftliche. Zoologie and Bienekunde der Umversität Bonn. Report NR. 900240. 20/07/1990 in Decourtey A. 2000.

Dryden, Ian, L., Kantia, V., Mardia. 1998. Statistical ShapeAnalysis.Chichester, UK:JohnWiley&Sons.

Duris, D. 1968. Étude économique de quelques exploitations apicoles du bassin parisien. Les Annales de l'Abeille, INRA Editions, 1968, 11 (3), pp.131-149. <hal-00890268>.

« E »

E.P.P.O. Report, 2001. Test methods for evaluating the side-effects of plant protection products on honeybees. EPPO Bull. 31, 323–330.

Eiri, D.M. , Neih, J.C. 2012 ; A nicotinic acetylcholine receptor agonist effects honeybee sucrose responsiveness and decreases waggle dancing. *J. Exp. Biol.* 215, 2022-2029.

Ellis, A. M., Myers, S. S., Ricketts, T. H. 2015. Do pollinators contribute to nutritional health? *PLoS One*, 10(1), e1148050132440.

Ellman, G.L., Courtney, K.D., Andres Júnior, V., Feather-Stone, R.M. 1961. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem Pharmacol* 7:88–95.

Elzen, P.J., Eischen, F.A., Baxter, J.R., Pettis, J., Elzen, G.W., Wison W.T. 1988 - Fluvalinate resistance in *Varroa jacobsoni* from several geographic locations. *Am. Bee J.*, 138: 674 - 676.

Elzen. P.J., Westervelt. D. 2002. Detection of coumaphos resistance in *Varroa destructor* in Florida. *Am. Bee. J.*, 142: 291 - 292.

Engel, D.W., Vaughan, D.S. 1996. Biomarkers, natural variability and risk assessment: Can they co-exist? *Hum. Ecol. Risk Assess.* 2, 257–262.

Engel, M. S. 1999. The taxonomy of recent and fossil honey bees (Hymenoptera: Apidae; Apis). *Journal of Hymenoptera Research*, 8, 165-196.

Engel, M.S. 2004. Geological history of the bees (Hymenoptera: Apoidea). *Revista de Tecnologia e Ambiente*, 10: 9–33.

EPPO, 1992. Guideline on Test Methods for Evaluation the Side-Effects of Plant Protection Products on Honeybees (No.170). *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 22, 203-215.

Études & Enquêtes, 2012. « Le miel. Une denrée à promouvoir ». Infos-CACQE N°:00 / Octobre 2012.

European and Mediterranean Plant Protection Organization.1993. Decision-making scheme for the environmental risk assessment of plant protection products. *EPPO Bull* 23:151–156.

European Commission. 1996. Council Directive 91/414/EEC concerning the placing of plant protection products on the market. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

« F »

F.A.O. 2016. Food and Agriculture Organization, en Fr : organisation pour l'alimentation et l'agriculture. Produire et transformer les produits apicoles dans les forêts communautaires. <http://www.fao.org/africa/news/detailnews/fr/c/881979/>.

Fagundes, J., Rebelo, A., Digiampietri, L., e Bísvaro, H. 2020. Fully automatic segmentation of bee wing images. *Revista Brasileira de Computação Aplicada* 12 (2): 37-45. DOI: 10.5335/rbca.v12i2.10420.

Fanny, L. 2013. Etude des effets liés à l'exposition aux insecticides chez un insecte modèle, *Drosophila melanogaster*. *Sciences agricoles*. Université d'Orléans, 2013. Français. NNT: 2013ORLE2062. tel-01058781.

Faucon, J.P., Drajnudel, P., Fleche, C. 1995. Mise en évidence d'une diminution de l'efficacité de l'apistan utilisé contre la varroase de l'abeille. *Apidologie*, 26: 291 - 296.

Faucon, J.P., Flamini, C., Colin, M.E. 1985. Evaluation de l'incidence de la deltaméthrine sur les problèmes de cheptel apicole. *Bull. Lab. Vet.* 17. 49-66.

Faucon, J.P., Mathieu, L., Ribiere, M., Martel, A.C., Drajnudel, P., Zeggane S.2002. Honey bee winter mortality in France in 1999 and 2000. *Bee World*, 83: 14 - 23.

Faucon, JP. 2005. La nosémose. *La santé de l'abeille* 209 : 343-67.

Faucon, JP., Flamini, Colin ME. 1985. Evaluation de l'incidence de la deltaméthrine sur les protéines de cheptel apicole. 2ème partie : Essai en plein champ, étude de la deltaméthrine en conditions de terrain. *Bulletin des laboratoires vétérinaires* 18 :33-45.

Fayet, A. 2013. Le genre *Apis*. Fiche pédagogique, *Biologie*, 6-2013. p. 17..

- Felton, G.W., Summers, C.B. 1995. Antioxidant systems in insects. *ArchInsect Biochem Physiol* 29:187–197.
- Firatli, C., Karacaoglu, M., Gencer, H.V., Gurel, F., Koc A.U. 2010. Structural Analysis of Turkish Beekeeping. TMMOB Chamber of Agricultural Engineers, Turkey, Agricultural Engineering VII. Technical Congress, 11-15 January 2010, p. 707-717, Ankara, Turkey.
- Forsgren, E. 2009. European foulbrood in honey bees. In *Journal of Invertebrate Pathology* 103 (2010) S5-S9.
- Forsgren, E., Lundhagen, A.C., Imdorf, A., Fries, I. 2005 . Distribution of *Melissococcus plutonius* in honeybee colonies with and without symptoms of European foulbrood. *Apidologie*, 3: 3.
- Forster, R. 2009. Bee poisoning caused by insecticidal seed treatment of maize in Germany in 2008.- *Julius Kühn Archiv*, 423: 126-131.
- France AgriMer. 2017. Etablissement National des produits de l’agriculture et de la mer 2017. <http://www.franceagrimer.fr/>.
- Francisco, F.O., Silvester, D., Arias, M.C. 2001. Mitochondrial DNA characterization of five species of *Plebeia* (Apidae : Meliponini) : RFLP and restriction maps. *Apidologie* 32 , 323-332.
- Franck, P., Garnery, L., Oldroyd, B.P., Hepburn, H.R., Solignac, M., Cornuet, J.M. 2001. Genetic diversity of the honeybee in Africa: microsatellite and mitochondrial data. *Heredity*, 86: 420–430. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2540.2001.00842.x>.
- Franck, P., Garnery, L., Solignac, M., Cornuet, J.M. 2000. Molecular confirmation of a fourth lineage in honeybees from the Near East. *Apidologie*, 31: 167– 180. <https://doi.org/10.1051/apido:2000114>.
- Francoy, T., Wittmann, D., Steinhage, V., Drauschke, M., Muller, S., Cunha, D. 2009. Morphometric and genetic changes in a population of *Apis mellifera* after 34 years of Africanization. *Genetics And Molecular Research*, 8(2), 709-717. doi: 10.4238/vol8-2kerr019.
- Francoy, T.M., Prado, P.R.R., Goncalves, L.S., Costa, L.F., DeJong, D. 2006. Morphometric differences in a single wing cell can discriminate *Apis mellifera* racial types. *Apidologie* 37: 91-97.
- Francoy, T.M., Wittmann, D., Drauschke, M., Muller, S., Steinhage, V., Bezerra-Laure, M.A .F., De Jong, D., Gonçalves, S.L. 2008. Identification of Africanized honey bees through wing morphometrics : two fast and efficient procedures. *Apidologie* 39 , 488-494

Francoy, T.M., Faria Franco, F., Roubik, D.W. 2012. Integrated landmark and outline-based morphometric methods efficiently distinguish species of Euglossa (Hymenoptera, Apidae, Euglossini). *Apidologie (Celle)* 43: 609-617. DOI: 10.1007/s13592-012-0132-2.

Francoy, T.M., Grassi, M.L., Imperatriz-Fonseca, V.L., May-Itzá, W., Quezada-Euán, J.J.G. 2011. Geometric morphometrics of the wing as a tool for assigning genetic lineages and geographic origin to *Melipona beecheii* (Hymenoptera: *Meliponini*). *Apidologie* 42(4): 499–507. doi: 10.1007/s13592-011-0013-0.

Freitas, B.M., Imperatriz-Fonseca, V.L., Medina, L.M., Kleinert, A. de M. P., Galetto, L., Nates-Parra, G. & Quezada-Euán, J.J.G. 2009. Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. *Apidologie*, 40: 332-346. doi: 10.1051/apido/2009012.

Friedler, L. 1987. Assessment of chronic toxicity of selected insecticides to honeybee. *J. Apic. Res.*, 26: 115 - 122.

Fries, I. 1988. Infectivity and multiplication of *Nosema apis* Z. in the ventriculus of the honey bee. *Apidologie* 19 : 319-28.

Fries, I. 1994. *Nosema apis* : A parasite in the honey bee colony. *Bee World*, 74: 5 -19.

Fronty, A. 1980. « L'apiculture d'aujourd'hui ». Ed. Dargaud, Paris, pp. 45-56.

Frost, E.H., Shtler, D., Hillier, N.K. 2013 ; Effects of fluvalinate on honey bee learning, memory, responsiveness to sucrose, and survival . *J. Exp. Biol.* 216, 2931-2938 .

Fulton, M.H., Key, P.B. 2001. Acetylcholinesterase inhibition in estuarine fish and invertebrates as an indicator of organophosphorus insecticide exposure and effects. *Environ. Toxicol. Chem.* 20, 37–45.

« G »

Gagnaïrea, B., Bonnetb, M., Tchamitchianb, S., Cavaliéa, I., Della-Vedovac, C., Dubourga, N., Adam-Guillermina, C., Brunetb, J.L., Belzuncesb, L.P. 2019. Physiological effects of gamma irradiation in the honeybee, *Apis mellifera*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 174 (2019) 153–163. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.031>.

Gagné, F., Blaise, C., Pellerin, J., Pelletier, E., Strand, J. 2006. Health Status Of *Mya Arenaria* Bivalves Collected From Contaminated Sites In Canada (Saguenay Fjord) And Denmark (Odense Fjord) During Their Reproductive Period. *Ecotox. Environ. Safe.*, 64: 348-361.

Gagnon, F., Chong Wing, V., Chiquand, A., Mayer, C., Vedrenne, Y. 1987. *Apiculture pratique*. Ed. Syndicat national d'apiculture. 383p.

Galataud, J. 2019. Trajectoires évolutives des populations insulaires d'*Apis mellifera* dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien : congruence des approches morphométriques et génétiques. Thèse présentée à l'Université de La Réunion pour obtenir le diplôme de

doctorat en sciences Discipline : Biologie des Populations et Ecologie. Université de la Réunion.

Garnery, L., Cornuet, J.M., Solignac, M. 1992. Evolutionary history of the honey bee *Apis mellifera* inferred from mitochondrial DNA analysis. *Molecular Ecology*, 1: 145–154. <https://doi.org/10.1111/j.1365294X.1992.tb00170.x>.

Garnery, L., Mosshine, E. H., Oldroyd, B. P., Cornuet, J.M. 1995. Mitochondrial DNA variation in Moroccan and Spanish honey bee populations. *Molecular Ecology*, 4: 465–472. <https://doi.org/10.1111/j.1365294X.1995.tb00240.x>.

Garnery, L., Soligna, M., Celebrano, G., Cornuet, J.M. 1993. A Simple Test Using Restricted PCR-Amplified Mitochondrial-DNA to Study the Genetic-Structure of *Apis mellifera*. *Experientia*, 49: 1016–1021. <https://doi.org/10.1007/BF02125651>.

Gauthier, M., Belzunces, L.P., Zaoujal, A., Colin, M.E., Richard, D. 1992. Modulatory effect of learning and memory on honey bee brain acetylcholinesterase activity. *Comp. Biochem. Physiol. C Comp. Pharmacol.* 103, 91–95.

Gauthier, M., Dacher, M., Thany, S.H., Niggebrugge, C., De ´glise, P., Kljucovic, P., Armengaud, C., Grunewald, B. 2006. Involvement of [alpha]-bungarotoxin- sensitive nicotinic receptors in long-term memory formation in the honeybee (*Apis mellifera*). *Neurobiol. Learn. Mem.* 86, 164–174.

GDSA 27b, 2014. Groupement de défense sanitaire des abeilles de l’Eure. La fausse teigne. 8p. En ligne : <http://gdsa27.free.fr/spip.php?article104>.

GDSA 27d, 2014. Groupement de défense sanitaire des abeilles de l’Eure. La nosémosse 2/4 : impact sur l’abeille et la colonie. En ligne : http://gdsa27.free.fr/IMG/pdf/Nosemose_2.pdf Consulté le 18/04/2014.

Ghalem-Berkani, Z. 2012. Étude de quelques caractères transmis par les reines d’abeilles de race locale *Apis mellifera intermissa* sur trois générations. Thèse en vue de l’obtention du diplôme de Doctorat d’état en sciences agronomiques.

Ghalmi, S. 2017. Etude des systèmes d’élevage apicole dans les wilayas d’Ain Defla, Boumerdès et Chelf, Mémoire d’Ingénieur d’état en Agronomie, ENSA, El Harrach, 119 p.

Gidaszewski, N. A., Baylac, M., Klingenberg, C. P. 2009. Evolution of sexual dimorphism of wing shape in the *Drosophila melanogaster* subgroup. *BMC Evolutionary Biology* 9: 110.

Goulson, D. 2013. REVIEW: An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology*. 50, 977-987.

Goulson, D. 2014 . Pesticides linked to bee declines. *Nature*, 511:295–296.

- Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., Rotheray, E. L. 2015. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347(6229), 1255957.
- Gourari. 2010. le financement de la protection de l'environnement.
- Gower, J.C. 1975. Generalized Procrustes analysis. *Psychometrika*, 40 : 33-50.
- Graham, J.M. 1992. The hive and the honey bee. Dadant and sons.
- Grane, E. 2007. Beekeeping, International Bee Reaserch Association. 06 septembre 2007.
- Gray, A., Peterson, M. 2017. Investigating honey bee colony losses from surveys of beekeepers. In Royal Statistical Society Conference, 4–7 September 2017, Glasgow.
- Greatti, M., Barbattini, R., Stravisi, A., Sabatini, A. G., Rossi, S. 2006. Presence of the imidacloprid on vegetation near corn fields sown with Gaucho® dressed seeds.- *Bulletin of Insectology*, 59 (2): 99-103.
- Greatti, M., Sabatini, A. G., Barbattini, R., Rossi, S., Stravisi, A. 2003. Risk of environmental contamination by the active ingredient imidacloprid used for corn seed dressing. Preliminary results.- *Bulletin of Insectology*, 56 (1): 69-72.
- Grégoire, P., Bienvenu, A., Armand, P., Roméo, A., Orou-Goura, Z. 2017. Déterminants et contraintes de la pratique de l'apiculture dans les communes de djidja Et Zogbodomey au Sud du Bénin (Afrique De l'Ouest). *European Scientific Journal* January 2017 edition vol.13, No.3 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.doi: 10.19044/esj.2016.v13n3p279 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v13n3p279](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v13n3p279) .
- Gregorc, A., Ellis, J.D. 2011.Cell death localization in situ in laboratory reared honey bee (*Apis mellifera* L.) larvae treated with pesticides. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 99: 200 - 207.
- Gregorc, A., Evans, J.D., Scharf, M., Ellis, J.D. 2012. Gene expression in honey bee (*Apis mellifera*) larvae exposed to pesticides and varroa mites (*varroa destructor*). *J. Insect Physiol.* 58, 1042-1049.
- Grissa, K., Cornuet, J.M., Msadda, K. Fresney, J. 1990. Etude biométrique des populations d'abeilles Tunisienne. *Apidologie*, 21:303–310. <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/apido:1990045>.
- Guez, D., Suchaïl, S., Gauthier, M., Malerka, R., Belzunces, LP. 2001. Contrasting effects of imidacloprid on habituation in 7 and 8 day old honeybees *Apis mellifera*. *Neurobiol. Learn Memory* 76:183-191.
- Gunning, R.V., Moores, G.D., Devonshire, A.L, 1998. Insensitive acetylcholinesterase and resistance to organophosphates in Australian *Helicoverpa armigera*. *Pestic. Biochem. Physiol.* 62, 147–151.

Gunning, R.V., Moores, G.D., Devonshire, A.L. 1997. Biochemical resistance detection in *Helicoverpa armigera* in Australia. *Recent Res. Dev. Entomol.* 1, 203–213.

Gupta, P.R., Chandel, R.S. 1995. Effects of diflubenzuron and penfluron on workers of *Apis cerana indica* and *Apis mellifera* L. *Apidologie* 26:3-10.

« H »

Haarman, T., Spivak, M., Weaver, D., Weaver, B. 2002. Effects on fluvalinate and coumaphos on queen honey bees (Hymenoptera : Apidae) in two commercial queen rearing operations. *J. Econ. Entomol.* 95, 28-35.

Haccour, P. 1960. Research on the Saharan bee in Morocco. *Comptes Rendus Society of Natural and Physical Sciences of Morocco*, 6: 96–98.

Haderbache, L. A., Mohammedi. 2014. Etude sur le comportement de consommation du miel en Algérie : attentes et préférences Honey consumption behaviors in Algeria: survey and expectations. *Revue semestrielle – Université Ferhat Abbas Sétif 1 . Revue Agriculture.* 09 (2015) 19 – 24.

Halitiana, J. 2003. Evaluation des effets d'insecticides sur deux types d'Hyménoptères auxiliaires des cultures, l'abeille domestique (*Apis mellifera* L.) et des parasitoïdes de pucerons : Etudes de terrain à Madagascar et de laboratoire en France Thèse de Doctorat.

Hall, H.G., Smith, D.R. 1991. Distinguishing African and European honeybee matrilineages using amplified mitochondrial DNA. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 88: 4548–4552. <https://doi.org/10.1073/pnas.88.10.4548>.

Halm, M. P., Rortais, A., Arnold, G., Taséi, J. N., Rault, S. 2006. New risk assessment approach for systemic insecticides: the case of honey bees and imidacloprid (Gaucho).- *Environmental Science & Technology*, 40: 2448-2454.

Hamilton, K. G. A. 1972. The insect wing, Part III. Venation of the orders. *Journal of the Kansas Entomological Society* 45: 145–162.

Hammer, Ø., Harper, D.A .T., Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol Electron* 4: 9.

Han, F., Wallberg, A., Webster, M. T. 2012. From where did the Western honeybee (*Apis mellifera*) originate? *Ecology and Evolution*, 2, 1949-1957.

Hannachi, N. et Zouad, W. 2006. Étude comparative de deux types de ruches (Dadant et Langstroth) en Mitidja. *Mémoire d'ingénieur, INA El-Harrach Alger.* 64p.

Harrison, E.G. 1993. *Proceedings of the fifth international symposium on the Hazards of pesticides to bees*, Octobet 26-28, 1993, Plant Protection Service, Wageningen, Pays-Bas. *Repport IUBBS*, 14pp + Appendices, 188pp.

- Haubruge , É., Nguyen, B.K., Widart, J., Thome, J-P., Fickers, P., Depauw, E. 2006 - Le dépérissement de l'abeille domestique, *Apis mellifera L.*, 1758 (Hymenoptera : Apidae) : faits et causes probables. Notes fauniques Gembloux, 59 (1) : 3 -21.
- Heard, T.A. 1999. The role of stingless bees in crop plantation. *Annu. Rev. Entomol.*, 44: 183-206.
- Heinrich, B., Esch, H., 1994. Thermoregulation in bees. *Am. Sci.* 82, 164–170. <https://doi.org/10.2307/29775151>.
- Helvig, C., Koener, J.F., Unnithan, G.C., Feyereisen, R. 2004. CYP15A1, the cytochrome P450 that catalyses epoxidation of methyl farnesoate to juvenile hormone III in cockroach corpora allata. *Proc. Natl. Acad.Sci.*101,4024-4029.
- Henriques, D., Chávez-Galarza, J., Teixeira, JSG., Ferreira, H., Neves, CJ., Francoy, TM., Pinto, MA. 2020. Wing geometric morphometrics of workers and drones and single nucleotide polymorphisms provide similar genetic structure in the Iberian honey bee (*Apis mellifera iberiensis*). *Insects* 11 (2): 89. DOI: 10.3390/insects11020089.
- Henry, M., Beguin, M., Requier, F., Rollin, O., Odoux, J.-F., Aupinel, P., Aptel, J., Tchamitchian, S., Decourtye, A. 2012. A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. *Science* 336, 348-350.
- Hepburn, H.R., Radloff, S.E. 1996. Morphometric and pheromone analyses of *Apis mellifera L.* along a transect from the Sahara to the Pyrenees. *Apidologie* 27, 35 –45.
- Huang, Z.-Y., Robinson, G.E., Tobe, S.S., Yagi, K.J., Strambi, C., Strambi, A., Stay, B. 1991. Hormonal regulation of behavioural development in the honey bee is based on changes in the rate of juvenile hormone biosynthesis. *J. Insect Physiol.* 37, 733-741.
- Hussein, M.H. 2001. L'apiculture en Afrique : Les pays du nord, de l'est et de l'ouest du continent. In *Api Acta* 1/2001. 34P.
- Hyne, R.V., Maher, W.A. 2003. Invertebrate biomarkers links to toxicosis that predict population decline. *Ecotox. Environ. Safe.*, 54: 366–374.
- Imdorf, A., Charrière, J.D., Galmann, P. 2007. Quelles sont les causes possibles des pertes de colonies de ces dernières années ? *Revue Suisse d'Apiculture* 128 : 19-32.
- IRAC, 2017. Mode of action classification scheme. Version 8.2. IPMnote, Vol. 1.
- Iwasa, T., Motoyama, N., Ambrose JT and Roe M. 2004. Mechanism for the differential toxicity of neonicotinoid insecticides in the honey bee, *Apis mellifera*. *Crop Protection* 23(5):371.
- Izeboudjen, K. 2016. La politique de développement de la filière apicole au niveau national, régional et local, MADR, ALGER, 13p.

« J »

Janke, M., Rosenkranz, P. 2009. Periodical honey bee colony losses in Germany: preliminary results from a four years monitoring project.- *Julius Kühn Archiv*, 423: 108-117.

Jeanne, F. 1997. *Guide pratique d'apiculture*, Edition OPIDA, P 1250.

Jeschke, P., Nauen, R. 2008. Neonicotinoids – from zero to hero in insecticide chemistry. *Pest Manag Sci* 64(11): 1084–1098.

Jianxiu, Y., Yu, C. Z., John, A., Randall, L. 2018 , Influences of acephate and mixtures with other commonly used pesticides on honey bee (*Apis mellifera*) survival and detoxification enzyme activities. The address for the corresponding author was captured as affiliation for all authors. Please check if appropriate. *Cbc*(2018), doi:10.1016/j.cbpc.2018.03.005.

Jimenez, DR., Gilliam, M. 1996. Peroxisomal enzymes in the honeybee midgut. *Arch Insect Biochem Physiol* 31:87–103.

Joachimsmeier, I., Pistorius, J., Schenke, D., Kirchner, W.H. 2012. Guttation and risk for honeybee colonies (*Apis mellifera* L.): use of guttation drops by honey bees after migration of colonies-a field study. *Jul.-Kühn-Arch.* 437, 76–79. <http://dx.doi.org/10.5073/jka.2012.437.01>.

Johnson R.M., Wen Z., Schuler M.A., Berenbaum M.R.,2006. Mediation of pyrethroid insecticide toxicity to honey bees (Hymenoptera: Apidae) by cytochrome p450 monooxygenases, *J. Econ. Entomol.*, 99: 1046–1050.

Johnson, R.M., Ellis, M., Mullin, C., Frazier, M. 2010. Pesticides and honey bee toxicity-USA. *Apidologie* 41, 312-331.

Johnson, R.M., Mao, W., Pollock, H.S., Niu, G., Schuler, M.A., Berenbaum, M.R. 2012. Ecologically appropriate xenobiotics induce cytochrom P450s in *Apis mellifera*. *PLoS One* 7, e31051.

Johnson, R.M., Pollock, H., Berenbaum, M. 2009b. Synergistic interactions between in-hive miticides in *Apis mellifera*. *J. Econ. Entomol.* 102, 474-479.

« K »

Kandemir, İ., Özkan, A., Fuchs, S. 2011. Reevaluation of honeybee (*Apis mellifera*) microtaxonomy: a geometric morphometric approach. *Apidologie*, 42(5), 618-627. doi: 10.1007/s13592-011-0063-3.

Kekecoglu, M., Bouga, M., Soysal, M.I. Harizanis, P. 2009. Genetic divergence and phylogenetic relationships of Honey Bee populations from Turkey using PCR-RFLP's analysis of two mtDNA segments. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15: 589–597.

- Kendall, D. G. 1977. The diffusion of shape. *Advances in Applied Probability* 9: 428–430.
- Kevan, PG. 1999. Pollinators as bioindicators of the state of the environment: species, activity and diversity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74:373-393.
- Khaldi e-H. 2004. Mémoire sur la formation par apprentissage : Dossier spécial Agronomie. In. Maintform, n° 4 spéciale agronomie, octobre 2004. Edit. ENEEP. 18p.
- Khenfer, A., Fattal, M. 2001. Les produits de la ruche, ministère de l’agriculture, Direction de la formation, de la recherche et de la vulgarisation, 23p.
- Khenfer, A., Zitouni, G. 2014. Miel et commercialisation, Ed Institut technique des Elevages ITELV, Birtouta, Alger, Algérie, 46p.
- Kizek, R., Vacek, J., Trnková, L., Jelen, F. 2004. Cyclic voltammetric study of the redox system of glutathione using the disulfide bond reductant tris (2-carboxyethyl) phosphine. *Bioelectrochemistry*. 63: 19-24.
- Klatt, B. K., Holzschuh, A., Westphal, C., Clough, Y., Smit, I., Pawelzik, E., Tschardtke, T. 2013. Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 281(1775).
- Klein, A.M., Vaissiere, B.E., Cane, J.H., Steffan Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., Tschardtke, T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. Biol. Sci. Ser. B274*, 303–313.
- Klingenberg, C. 2010. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11(2), 353-357. doi: 10.1111/j.17550998.2010.02924.x.
- Klingenberg, C. 2016. Size, shape, and form: concepts of allometry in geometric morphometrics. Faculty of Life Sciences, University of Manchester, Michael Smith Building, Oxford Road, Manchester M13 9PT, UK. DOI 10.1007/s00427-016-0539-2.
- Klingenberg, C. P. 2011. MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. *Mol Ecol Resour* 11: 353-357.
- Klingenberg, C. P., Gidaszewski, N. A. 2010. Testing and quantifying phylogenetic signals and homoplasy in morphometric data. *Systematic biology* 59: 245–261.
- Klingenberg, C. P., Badyaev, A. V., Sowry, S. M., Beckwith, N. J. 2001. Inferring developmental modularity from morphological integration: analysis of individual variation and asymmetry in bumblebee wings. *The American Naturalist* 157: 11–23.
- Koumad, S. 2003. Étude des systèmes d’élevage apicole de la Mitidja : cas de la Wilaya cas de la wilaya de Blida. Mémoire d’ingénieur INA El-Harrach Alger. 61p.

Kozak P., MAAARO (ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario), Eccles, L., Tam, J., Kempers, M., Rawn, D., Guzman, E., Kelly. 2012. Loque américaine – biologie et diagnostic. 6 p 69 – 374.

Kral, K., Schneider, L. 1981. Fine structural localisation of acetylcholinesterase activity in the compound eye of the honeybee (*Apis mellifica* L.). *Cell Tissue Res.* 221, 351–359.

Krupke, C. H., Hunt, G. J., Eitzer, B. D., Andino, G., Given, K. 2012. Multiple routes of pesticide exposure for honey bees living near agricultural fields. *PLoS one*, 7(1), e29268.

Kunze, W., Josefsson, S., Örberg, J., Johansson, F. 2015. Combination effects of pyrethroids and neonicotinoids on development and survival of *Chironomus riparius*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 122, 426-431.

Kurt, L. 2016. Toxicological analysis of the neonicotinoid insecticide imidacloprid to honey bees, *Apis mellifera* of different colonies. Thesis submitted to the faculty of the Virginia polytechnic institute and state university in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in entomology.

« L »

Lallès, J.P. 2010. Intestinal alkaline phosphatase : multiple biological roles in maintenance of intestinal homeostasis and modulation by diet. *Nutr. Rev.* 68, 323-332.

Latreille, P. A. 1804. Notice des espèces d'abeilles vivant en grande société, ou d'abeilles proprement dites, et description d'espèces nouvelles. *Annales du Muséum National d'Histoire Naturelle*, 5, 161-178.

Laurent, M., Hendrikx, P., Ribière-Chabert, M., Chauzat, M.P. 2015. EPILOBEE, A panEuropean epidemiological study on honeybee colony losses, https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/animals/docs/la_bees_epilobee-report_2012-2014.pdf, (2015).

Laurino, D., Porporato, M., Patetta, P., Manino, A. 2011. Toxicity of neonicotinoid insecticides to honey bees : laboratory tests, *Bull. Insectol.* 64(2011) 107-113.

Le conte, Y et Navajas, M. 2008. Climate change : impact on honey bee populations and diseases. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.*, 27 (2) : 499-510.

Lederer, W.H., Fensterheim, R. D. 1983. Arsenic Industrial, biomedical, environmental perspectives. 1er édition, Van Nostrand Reinhold, New York, 1983.

Lee, K.V., Steinhauer, N., Rennich, K., Wilson, M.E., Tarpy, D.R., Caron, D.M., Rose, R., Delaplane, K.S., Baylis, K., Lengerich, E.J., Pettis, J., Skinner, J.A., Wilkes, J.T., Sagili, R., vanEngelsdorp, D. 2015. A national survey of managed honey bee 2013–2014 annual colony losses in the USA, *Apidologie* 46 (2015) 292–305, <http://dx.doi.org/10.1007/s13592-015-0356-z>.

Lefebvre, J. 1981. Introduction aux statistiques multidimensionnelles. Paris : Masson. 2^{ème} ed. 259p.

- Lindstrom, A., Korpela, S., Fries, I. 2008. Horizontal transmission of *Paenibacillus* larvae spores between honey bee (*Apis mellifera*) colonies through robbing. *Apidologie*, 39: 1 – 8.
- Liu, M.Y., Casida, J.E. 1993. High affinity binding of [3H] imidacloprid in the insect acetylcholine receptor. *Pestic Biochem Physiol* 46:40–46.
- Long, E.Y., Krupke, C.H. 2015. Non-cultivated plants present a season-long route of pesticide exposure for honey bees. *Nat. Commun.* 7, 11629.
- Loucif-Ayad, W., Achou, M., Legout, H., Alburaki, M., Garnery, L. 2014. Genetic assessment of Algerian honeybee populations by microsatellite markers. *Apidologie*, 46: 392–402.
- Loucif-Ayad, W., Aribi, N., Soltani, N. 2008. Evaluation of secondary effects of some acaricides on *Apis mellifera intermissa* (Hymenoptera, Apidae): acetylcholinesterase and glutathion S-transferase activities. *Eur. J. Sci. Res.* 21, 642–649.

« M »

- MADR (Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêche. 2016. www.madrp.gov.dz
- Maïchuk, I.F., Orlovskaja, L.E., Andreev, V.P. 1995. The use of ocular drug films of propolis in the sequelae of ophthalmic herpes]. *Voen Med Zh.* 1995 Dec;(12):36-9, 80.
- Maini, S., Medrzycki, P., Porrini C. 2010. The puzzle of honey bee losses: a brief review.-
- Mamood, AN., Waller, GD. 1990. Recovery of learning responses by honeybees following a sublethal exposure to perethrin. *Physiol. Entomol.* 15:55-60.
- Manuel de formation sur les pesticides. 2004. Projet PNUE - Sustainable Development : “Renforcer la participation des syndicats dans les processus environnementaux internationaux” International Labour Foundation for Sustainable Development.
- Mao, W., Schuler, M., Berenbaum, M. 2011. CYP9Q- mediated detoxification of acaricides in the honey bee (*Apis mellifera*) . *PNAS Proc. Natl. Acad. Sci.* 108, 12657-12662.
- MAP, 1987. MINISTRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PECHE (MAP), 1987. *Apiculture : perspectives de développement.* Edit. MAP. 93p.
- Marghitas, AL., Paniti-Teleky, O., Dezmiorean, D., Rodica, M., Cristina, B., Coroian, C., Laura, L., Adela, M. 2008. Morphometric differences between honeybees (*Apis mellifera carpatica*) populations from Transylvanian area. *Lucrări științifice-Zootehnie și Biotehnologii* 41 (2): 309-315.
- Marzaro, M., Vivian, L., Targa, A., Mazzon, L., Mori, N., Greatti, M., Petrucco Toffolo, E., Di Bernardo, A., Giorio, C., Marton, D., Tapparo, A., Girolami, V. 2011.- Lethal aerial

powdering of honey bees with neonicotinoids from fragments of maize seed coat.- Bulletin of Insectology, 64 (1): 119-126.

Matozzo, V., Tomei, A., Marin, M.G. 2005. Acetylcholinesterase as a biomarker of exposure to neurotoxic compounds in the clam *Tapes philippinarum* from the Lagoon of Venice. *Mar. Pollut. Bull.* 50, 1686–1693.

Matrese, M. 2007. Faire du miel un nectar rentable. In. *El Watan journal*, 7 novembre 2007.

Maxwell, D.M., 1992. The specificity of carboxylesterase protection against the toxicity of organophosphorus compounds. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 114,306–312.

McCarroll, N. E., Protzel, A., Ioannou, Y., Stack, H. F., Jackson, M. A., Waters, M. D., Dearfield, K. L. 2002. A survey of EPA/OPP and open literature on selected pesticide chemicals III. Mutagenicity and carcinogenicity of benomyl and carbendazim. *Mutation Research*, 512, 1-35.

McCarty, L.S., Munkittrick, K.R. 1996. Environmental biomarkers in aquatic toxicology: friction, fantasy, or functional? *Hum. Ecol. Risk Assess.* 2, 268–274.

Meixner, M., Pinto, M., Bouga, M., Kryger, P., Ivanova, E. Fuchs, S. 2013. Standard methods for characterising subspecies and ecotypes of *Apis mellifera*. *Journal of Apicultural Research*, 52: 1–28. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.05>.

Meixner, M.D., Leta, M.A., Koeniger, N., Fuchs, S. 2011. The honeybees of Ethiopia represent a new subspecies of *Apis mellifera*—*Apis mellifera simensis* n. ssp. *Apidologie* 42, 425–437.

Mendes, M. F. M., Franco, T. M., Nunes-Silva, P., Menezes, C., Imperatriz-Fonseca, V. L. 2007. Intra-populational variability of *Nannotrigona testaceicornis* Lepelletier 1836 (Hymenoptera, Meliponini) using relative warp analysis. *Bioscience* 23: 147-152.

Menzel, R., Geiger, K., Chittka, L., Joerges, J., Kunze, J., Müller, U. 1996. The knowledge base of bee navigation. *J Exp Biol.* 1999:141-146.

Menzel, R., Greggers, U., Hammer, M. 1993. Functional organization of appetitive learning and memory in generalist pollinator. The honey bee, in: Pupy D.R.; Lewis A.C. (Eds). *Insect learning*, Chapman and Hall, New York pp 79-125.

Meusel, M.S., Moritz, R.F.A. 1993. Transfer of paternal mitochondrial DNA during fertilization of honeybees (*Apis mellifera* L.) eggs. *Current Genetics*, 24: 539-543. <https://doi.org/10.1007/BF00351719>.

Miguel, I., Baylac, M., Iriondo, M., Manzano, C., Garnery, L., Esteban, A. 2010. Both geometric morphometric and microsatellite data consistently support the differentiation of the *Apis mellifera* M evolutionary branch. *Apidologie* 42: 150–161.

- Mikheyev, A., Tin, M., Arora, J., Seeley, T. 2015. Museum samples reveal rapid evolution by wild honey bees exposed to a novel parasite. *Nature Communications*, 6(1). doi: 10.1038/ncomms8991.
- Milani, N. 1999. The resistance of *Varroa jacobsoni* Oud to acaricides. *Apidologie* 30 : 229-34.
- Millan, J.L, 2006. Alkaline phosphatase. Structure, substrate specificity and functional relatedness to other members of a large superfamily of enzymes. *Puri-genic Signal* 2, 335-341.
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). 2018. Portrait-diagnostic sectoriel de l'apiculture au Québec. Bibliothèque et Archives Canada ISBN : 978-2-550-80615-8 [PDF]14P.
- Mishra, A., Afik, O., Cabrera, M.L., Delaplane, K.S., Mowrer, J.E. 2013. Inorganic nitrogen derived from foraging honey bees could have adaptive benefits for the plants they visit. *PLoS ONE* 8(7), e70591. DOI:10.1371/journal.pone.0070591.
- Mitchell, E. A. D., Mulhauser, B., Mulot, M., Mutabazi, A., Glauser, G., Aebi, A. 2017. A worldwide survey of neonicotinoids in honey. *Science*, 358(6359), 109-111.
- Monteiro, L. R., Diniz-Filho, J. A. F., Reis, S. F., Araújo, E. D. 2002. Geometric estimates of heritability in biological shape. *Evolution* 56: 563–572.
- Moriarty, F 1969. The sublethal effects of synthetic insecticides on insects. *Biol.Rev.* 44:321-357.
- Mosimann, J.E. 1970. Size allometry: size and shape variables with characterizations of the lognormal and generalized gamma distributions. *J Am Stat Assoc* (65): 930-945. DOI:10.2307/2284599.
- Moss, D.W. 1992. Perspectives in alkaline phosphatase research. *Clin. Chem.* 38, 2486–2492.
- Moujanni, A., Essamadi, A. K., Terrab, A. 2017. L'apiculture au Maroc : focus sur la production de miel. *International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSR Journals*, 2017, 20 (1), pp.52-78. <<http://www.ijias.issrjournals.org/abstract.php?article=IJIAS-16313-03>>. <hal-01464924>.
- Muccinelli, M. 2008. *Prontuario degli agrofarmaci.*- Edagricole, Bologna, Italy.

- Nabti, D, 2015. Impact des Produits Phytosanitaires Utilisés dans les Vergers sur les Abeilles Algérienne et le Miel. Thèse Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat 3ème cycle en Biologie Animale Environnementale, Option : Physiotoxicologie.
- Narbonne, J.F., Aarab, N., Clerandeu, C., Daubeze, M., Narbonne, J., Champeau, O., Garrigues, P. 2005. Scale of classification based on biochemical markers in mussels: application to pollution monitoring in Mediterranean coasts and temporal trends. *Biomarkers* 10, 58–71.
- Narbonne, J.F., Garrigues, P., Ribera, D., Raoux, C., Mathieu, A., Lemaire, P., Salaün, J.P., Lafaurie, M. 1991. Mixed-function oxygenize enzymes as tools for pollution monitoring: field studies on the French coast of the Mediterranean sea. *Comp. Brio. Phys. C.*, 100: 37-42.
- Nauen, R. U., Ebbinghaus-Kintscher, R., Schmuck. 2001. Toxicity and nicotinic acétylcholine receptor interaction of imidacloprid and its metabolites in *Apis mellifera* (Hymenoptera : Apidae), *Pest Manag. Sci.* 57 (2001) 577-586 .
- Nauen, R., Ebbinghaus-Kintscher, U., Salgado, V.L., Kausmann, M. 2003. Thiamethoxam is a neonicotinoid precursor converted to clothianidin in insects and plants. *Pesticide Biochem. Physiol* 76 (2), 55-69.
- Nawrocka, A., Kandemir,İ., Fuchs, S., Tofilski, A. 2018. Computer software for identification of honey bee subspecies and evolutionary lineages. *Apidologie (Celle)* 49: 172-184. DOI: 10.1007/s13592-017-0538-y. DOI: 10.1007/s13592-017-0538-y.
- Nazzi, F., Pennacchio, F. 2014. Disentangling multiple interactions in the hive ecosystem, *Trends Parasitol.* 30 (2014) 556–561. doi:10.1016/j.pt.2014.09.006.
- Nel, A., Prokop, J., Nel, P., Grandcolas, P., Huang, D., Roques, P., Guilbert, E., Dostál, O., Szwedo, J. 2012. Traits and evolution of wing venation pattern in paraneopteran insects. *Journal of Morphology* 273: 480-506.
- Neumann, P., Carreck, P. 2010. Honey bee colony losses. *Journal of Apicultural Research*, 49(1), 1–6. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.49.1.01>.
- Nogueira, R.J.L., Panagiota, D., Rosita, S., Pinheiro, V.A. 2016. Evaluation of the Antibacterial Activity of Green Propolis Extract and Meadowsweet Extract Against *Staphylococcus aureus* Bacteria: Importance in Wound Care Compounding Preparations. *Int J Pharm Compd.* Jul-Aug 2016;20(4):333-337.
- Nicolet, B. 2018. Abeille et nature. Le nourrissage des abeilles. ([www.abeille-et-nature.com/index-ph?cat=Traitement&page=nourrissement-des\(abeilles\)](http://www.abeille-et-nature.com/index-ph?cat=Traitement&page=nourrissement-des(abeilles))).
- Nouani, S et SACI, M . 2015. Le rôle de l'activité apicole dans le développement local cas de la daïra de Tizirt. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master en sciences économiques. universite Mouloud Mammeri DE Tizi-Ouzou.

NRC, 1987. Committee on Biological Markers of the National Research Council (NRC), Biological markers in environmental health research. Environ. Health Perspect. 74, 3-9.

Nunes, L.A., Araujo, E.D., Carvalho, C.A.L. & Waldschmidt, A.M. 2008. Population divergence of *Melipona quadrifasciata anthidioides* (Hymenoptera: Apidae) endemic to the semi-arid region of state of Bahia, Brazil. Sociobiology, 52: 81-93.

« O »

O'Toole, C. 1996. Bee systematics in Europe: the continuing crisis and some possible eures. In the conservation of Bees, ed. A Matheson, SL Buchmann, C O'Toole, P. Westrich, IH Williams, pp. 227-232. In Desneux and al. 2007.

OECD, 1998a. Test no. 213 : honeybees, acute oral toxicity test. OECD Guidel. Test . Chem. 8. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264070165-en>.

OECD, 1998b. Guidelines for the Testing of chemicals

OEPP/EPPO. 2001. EPPO standards PP1/170 (3). Test methods for evaluating the side effects of plant protection products on honeybees.- Bulletin OEPP/EPPO Bulletin, 31: 323330.

OEPP/EPPO. 2003. Environmental risk assessment scheme for plant protection products. Chapter 10. Bull. OEPP/EPPO 2003, 33, 141-145.

OEPP/EPPO. 2003. Normes OEPP EPPO Standards. Environmental risk assessment scheme for plant protection products. PP 3/10 (revised).- Bulletin OEPP/EPPO Bulletin, 33: 99-101.

OIE .2008a. Loque européenne des abeilles mellifères. In Manuel terrestre de l'OIE 2008. p.443-447. En ligne http://www.oie.int/fileadmin/Home/fr/Health_standards/tahm/Chap%202.2.3._Loque%20Europ_2008.pdf.

OIE ,2005b. Loque américaine. In manuel terrestre de l'OIE 2005, p.1066-1074 En ligne : http://web.oie.int/fr/normes/mmanual/pdf_fr/Chapitre%20final05%202.9.2_Loque%20Am.pdf.

Oldroyd, B.P., Smolenski, A.J., Cornuet, J-M., Wongsiri, S., Estoup, A., Rinderer, T.E., and Crozier, R.H. 1995. Levels of polyandry and intracolony genetic relationships in *Apis Florea*. Behavioral Ecology and Sociobiology, 37 :329-335.

Oleksa, A., Tofilski, A. 2015. Wing geometric morphometrics and microsatellite analysis provide similar discrimination of honey bee subspecies. Apidologie, 46(1), 49-60. doi: 10.1007/s13592-014-0300-7.

Ollerton, J., Price, V., Armbruster, W.S., Memmott, J., Watts, S., et al. 2012. Overplaying the role of honey bees as pollinators: a comment on Aebi and Neumann (2011). Trends Ecol. Evol. 27(3), 141-142.

Olson, KR., Gao, Y., DeLeon, ER., Arif, M., Arif, F., Arora, N., . 2017. Catalase as a sulfide-sulfur oxido-reductase: an ancient (and modern?) regulator of reactive sulfur species (RSS). *Redox Biol.* 2017;12:325–39.

Omrel, G-j. 1987. Guide concis d'apiculture avec référence spéciale à l'Afrique du Nord en coopération avec la direction de l'enseignement agricole. Edi. MAP Lahaye ParyBas. P44-47.

Osweiler, G.D., Carson, T.L., BUCK, W.B., Van Gelder, G.A. 1985. Clinical and diagnostic veterinary toxicology. 3^{eme} edition, Kendall-Hunt publishing, Dubuque, 1985.

Ouakli Khalissa., Neggache Soumia., Mefti-korteby Hakima., Bencherchali Mohamed. 2019. Diversité des modalités de production apicoles dans la plaine de Mitidja (Algérie). *Revue Agrobiologia* (2019) 9(2): 1694-1700.

Oudjet, K. 2012. Le miel une denrée à promouvoir. *Etudes et Enquêtes*. p 3.

Oussama, S., 2018. L'impact des pesticides sur l'environnement et la santé humaine et méthodes alternatives. These de doctorat en pharmacie. Université Mohammed V de Rabat. Maroc.

Outomuro, D., Johansson FA. 2017. Potential pitfall in studies of biological shape: Does size matter? *J Anim Ecol* 86: 1447-1457. DOI: 10.1111/1365-2656.12732.

Özkırım, A. 2018. Beekeeping in Turkey: Bridging Asia and Europe. *Asian Beekeeping in the 21st Century*, Chapter 2, 41-69 pp. Springer, ISBN: 978-981-10-8221-4.

« P »

Papachristoforou, A., Rortais, A., Bouga, M., Arnold, G., Garnery, L. 2013. Genetic characterization of the Cyprian honey bee (*Apis mellifera cypria*) based on microsatellites and mitochondrial DNA polymorphisms. *Journal of Apicultural Science*, 57: 127–134. <https://doi.org/10.2478/jas-2013-0023>.

Paradis, D., Bérail, G., Bonmatin, J. M., Belzunces, L. P. 2013. Sensitive analytical methods for 22 relevant insecticides of 3 chemical families in honey by GC-MS/MS and LC-MS/MS. *Anal Bioanal Chem*, 406:621–633.

Paraiso, A., Cornelissen, B., Viniwanou, N. 2011. *Varroa destructor* infestation of honey bee (*Apis mellifera adansonii*) colonies in Benin. *Journal of Apicultural Research* 50 (4): 321-322. (2011) © IBRA 2011; DOI 10.3896/IBRA.1.50.4.10.

Paraiso, A., Olodo, GP., Tokoudagba, SF., Yegbemey, RN., Sanni, A., Gumetzoe, YMD. 2012a. Déterminants et contraintes de la production du miel dans le Nord-Ouest du Bénin: Cas des communes de Natitingou et de Tanguiéta, *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)*, 14(1) : 69-84.

- Paraiso, A., Sossou, GCA., Daouda IH., Yegbemey, NR., Sanni A. 2012b. Perceptions and adaptations of beekeepers and honey hunters to climate change: The case of Natitingou and Tanguiéta in Northwest of Benin. *African Crop Science Journal*, 20, Issue Supplement s2: 527 - 536.
- Paraiso, A., Tokoudagba, S., Olodo GP., Yegbemey RN., Sanni A. 2012c. Beekeeping and Honey production in Northwest Benin: A Case Study of the Communes of Natitingou and Tanguiéta. *International Journal of Science and Advanced Technology* 2 (12): 11-23.
- Paul, D. P. 2018. Geometric Morphometrics. *The Encyclopedia of Archaeological Sciences*. Edited by SandraL.LópezVarela. DOI:10.1002/9781119188230.saseas0258.
- Pavlinov, I.Y. 2001. Geometric morphometrics, a new analytical approach to comparison of digitized images. *Information Technology in Biodiversity Research: Abstracts of the 2nd International Symposium*. St. Petersburg: Russian Academy of Science, 44-64.
- Peacock, P. 2011. *Apiculture : Mode d'emploi*. Ed. Marabout, Paris, 144.
- Peakall, D.B., Shugart, L.R. 1993. *Biomarkers: Research and Application in the Assessment of Environmental Health*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Pereg, D., Robertson, L. W., Gupta, R. C. 2002. DNA adduction by polychlorinated biphenyls: adducts derived from hepatic microsomal activation and from synthetic metabolites. *ChemicoBiological Interactions*, 139, 129-144.
- Perera, F. P., Rauh, V., Whyatt, R. M., Tang, D., Tsai, W. Y., Bernert, J. T., Tu Y. H., Andrews, H., Barr, D. B., Camann, D. E., Diaz, D., Dietrich, J., Reyes, A., Kinney, P. L. 2005. A Summary of Recent Findings on Birth Outcomes and Developmental Effects of Prenatal ETS, PAH, and Pesticide Exposures. *NeuroToxicology*, 26, 573-587.
- Periquet, A. 1986. Toxicologies des residus de pesticides. In R deracge(Ed), *toxicologie et securité des aliments*. 1 er edition, technichnique, Documentation Paris 1986.
- Pettis, J.S., Collins, A.M., Wilbanks, R., Feldlaufer, M.F. 2004. Effects of coumaphos on queen rearing in the honey bee, *Apis mellifera*. *Apidologie* 35, 605- 610.
- Pflugger, W., Schmuck, R. 1991. Ecotoxicological profile of imidacloprid. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* 44:145–158.
- Philippe, J. M. 2007. *Le guide de l'apiculteur*. Ed. Edisud. 347p.
- Pikc, KS., Mayer, DF., Glazer, M., Kious, C. 1982. Effects of permethrin on mortality and foraging behaviour of honeybees in sweet corn. *Entomol. Soc. Am* 11:951-953.
- Pistorius, J., Bischoff, G., Heimbach, U., Stähler, M. 2009. Bee poisoning incidents in Germany in spring 2008 caused by abrasion of active substance from treated seeds during sowing of maize.- *Julius Kühn Archiv*, 423: 118-126.

Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., Kunin, W.E. 2010. Global Pollinator Declines: Trends, Impacts and Drivers, (2010), <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>.

Prado-Silva, A., Nunes, L.A., De Oliveira Alves, R.M., Carneiro, P.L.S., Waldschmidt, A.M. 2016. Variation of fore wing shape in *Melipona mandacaia* Smith, 1863 (Hymenoptera, Meliponini) along its geographic range. *J Hymenopt Res* 48: 85-94. DOI: 10.3897/JHR.48.6619.

Pretorius, E. 2005. Using geometric morphometrics to investigate wing dimorphism in males and females of Hymenoptera—a case study based on the genus *Tachysphex* Kohl (Hymenoptera: Sphecidae: Larrinae). *Australian Journal of Entomology* 44: 113–121.

Prost, J.P. 1979. *Apiculture*. Ed. J.B. Baillière. 497p.

« Q »

Qayyoom, M.A., Khan, B.S., Bashir, M.H. 2013. Efficacy of plant extracts against honey bee mite, *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). *World J Zool* 8 (2): 212-216.

« R »

Radloff, S.E., Hepburn, R., Bangay, L.J. 2003. Quantitative analysis of intracolony and intercolony morphometric variance in honeybees, *Apis mellifera* and *Apis cerana*, *Apidologie* 34, 339–351.

Rakitsky, V. N., Koblyakov, V. A., Turusov, V. S., 2000. Nongenotoxic (Epigenetic) Carcinogens: Pesticides as an Example. A Critical Review. *Teratogenesis, Carcinogenesis, and Mutagenesis*, 20, 229-240.

Ramirez-Romeo, R., Chaufaux, J., Pharm-Delegue, M.H., 2005. Effects of Cry1Ab protoxin, deltamethrin and imidacloprid on the foraging activity and the learning performances of the honeybee *Apis mellifera*, a comparative approach. *Apidologie* (36) : 601-611.

Rao, G.V., Rao, K.S. 1995. Modulation in acetylcholinesterase of rat brain by pyrethroids in vivo and an in vitro kinetic study. *J. Neurochem.* 65, 2259–2266.

Rattanawanee, A., Chanchao C, Wongsiri S. 2012. Geometric morphometric analysis of giant honeybee (*Apis dorsata Fabricius*, 1793) populations in Thailand. *J Asia Pac Entomol* 15 (4): 611-618.

Reddy, A.T., Ayyanna, K., Yellamma, K. 1991. Sensitivity of brain cholinesterase to cypermethrin toxicity in freshwater teleost *Tilapia mossambica*. *Biochem. Int.* 23, 959–962.

Regard, A. 1981. *Apiculture intensive en ruche sédentaire*. Ed. J.B. Baillière. 129p.

Regard, A. 1988. *Le manuel de l'apiculteur néophyte*. Ed. Lavoisier. 163p.

- Rexrode, M., Barrett, M., Ellis, J., Gabe, P., Vaughan, A., Felkel, J., Melendez, J., 2003. EFED Risk Assessment for the Seed Treatment of Clothianidin 600FS on Corn and Canola. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- 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, 115p.
- Reyes-Carrillo, J.L., Eischen, F.A., CanoRios, P., Rodriguez- Martinez, R., Camberos, U.N. 2007. Pollen collection and honey bee forage distribution in Cantaloupe. *Acta Zoologica Mexicana* 23, 29–36.
- Rinderer, T.E., Guzman, L., Lancaster, V.A., Delatte, G.T., Stelzer, J.A. 1999. Varroa in the mating yard. I. The effects of *Varroa jacobsoni* and apistan on drone honey bees. *Am. Bee J.* 139, 134-139.
- Rinderer, T.E., Bucu, S.M., Rubink, W.L., Daly, H.V., Stelszer, J.A., Riggio, R.M. 1993. Morphometric identification of Africanized and European honey bees using large reference populations, *Apidologie* 24, 569–585.
- Rinderer, T.E., Sylvester, H.A., Brown, M.A., Villa, J.D., Pesante D., Collins A.M. 1986. Field and simplified techniques for identifying Africanized and European honey bees, *Apidologie* 17, 33–48.
- Riondet, J. 2014. L'apiculture : les conseils de Jean Riondet pour réussir mois par mois au rucher.
- Robinson, G.E. 1987. Regulation of honey bee age polyethism by juvenile hormone. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 20, 329-338.
- Rohlf, F. J. 2000. Statistical power comparisons among alternative morphometric methods. *American Journal of Physical Anthropology* 111: 463-478.
- Rohlf, F.J. 2015. tpsUtil, file utility program. Version 1.61. Department of Ecology and Evolution. State University of New York at Stony Brook, NY.
- Rohlf, F., Slice, D. 1990. Extensions of the Procrustes Method for the Optimal Superimposition of Landmarks. *Systematic Zoology*, 39(1), 40. doi: 10.2307/2992207.
- Rohlf, F.J. 2003. tpsRelw-Relative Warp Analysis, version 1.36. Stony Brook University, Stony Brook, NY.
- Rohlf, F.J. 2005. tpsDig, digitize landmarks and outlines, version 2.05. Department of Ecology and Evolution. State University of New York at Stony Brook, NY.
- Roméo, M., Mourgaud, Y., Gefard, A., Gnassia-Barelli, M., Amiard, J.C., Budzinski, H. 2003. Multimarker approach in transplanted mussels for evaluating water quality on

Charentes, France, coast areas, exposed to different anthropogenic conditions. *Environ Toxicol* 18:295–305.

Rosenkranz, P. 2004. Pertes d'abeilles et de colonies en Allemagne. Comptes rendus du 1er Colloque technique apicole, 12 octobre 2004, Roissy, France. http://www.jacheres-apicoles.fr/gallery_files/documents/02_bee_losses_germany. Pdf.

Rosenkranz, P.A., Pia Aumeier, B., Ziegelmann, B. 2010. *Journal of Invertebrate Pathology* 103: 96–119. 38.

Roth, M. 1980. Initiation à la morphologie, la systématique et la biologie des insectes. Office de la recherche scientifique et technique outre-mer ORTOM, N0 23.260p.

Rubén, G., Medina, Robert J., Paxton., Efraín De Luna., Fernando A., Fleites-Ayil., Luis A., Medina Medina and José Javier, G. QuezadaEuán, Developmental stability, age at onset of foraging and longevity of Africanized honey bees (*Apis mellifera* L.) under heat stress (Hymenoptera: A p i d a e), *Journal of Thermal Biology*, <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.04.003>.

Ruttner, F. 1968. Les races d'abeilles. In: *Traité de Biologie de l'Abeille* R. Chauvin (Edition), Masson et Cie. Paris, France, 1: 27–44.

Ruttner, F. 1988. *Biogeography and Taxonomy of Honeybees*. Springer – Verlag, Berlin. 292 pp. DOI: 10.1007/978-3-642-72649-1.

Ruttner, F., ElmiM, P., Fuchs, S. 2000. Ecoclines in the near east along 36 degrees N latitude in *Apis mellifera* L, *Apidologie* 31, 157–165.

Ruttner, F., Tassencourt, L. Louveaux, J. 1978. Biometrical-statistical analysis of the geographic variability of *Apis mellifera*. *Apidologie*, 9: 363–381. <https://doi.org/10.1051/apido:197804>.

« S »

Salehi, S., Nazemi-Rafie J. 2020. Discrimination of Iranian honeybee populations (*Apis mellifera meda*) from commercial subspecies of *Apis mellifera* L. using morphometric and genetic methods. *J Asia Pac Entomol* 23: 591-598. DOI: 10.1016/j.aspen.2020.04.009.

Sammataro, D., Untalan, P., Guerrero, F., Finley, F. 2005. *Internat. J. Acarol.* Vol. 31, No.

Samson-Robert, O., Labrie, G., Chagnon, M., Fournier, V. 2014. Neonicotinoid contaminated puddles of water represent a risk of intoxication for honey bees. *PLoS One* 9, e108443.

Sanderson, J. T., Boerma, J., Lansbergen, G. W. A., vandenBerg, M. 2002. Induction and Inhibition of Aromatase (CYP19) Activity by Various Classes of Pesticides in H295R Human Adrenocortical Carcinoma Cells. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 182, 44-54 .

- Sandoval, R. C.M., Blanco, B. N. E.E., Gutiérrez, M. R., Jaimes, M. D.A, Rodríguez, N.O., Otálora-Luna, F., Aldana, E. J. 2015. Morphometric analysis of the host effect on phenotypical variation of *Belminus ferroae* (Hemiptera: Triatominae). *Psyche*: 1-12. DOI: 10.1155/2015/613614.
- Santoso, MAD., Juliandi, B., Raffiudin, R. 2018. Honey bees species differentiation using geometric morphometric on wing venations. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci* 197: 012015. DOI: 10.1088/1755-1315/197/1/012015.
- Schmuck, R., Schoening, R., Stork, A., Schramel, O. 2001. Risk posed to honeybees (*Apis mellifera* L., Hymenoptera) by an imidacloprid seed dressing of sunflowers. *Pest Manag Sci* 57(3):225–238.
- Schricker, B., Stepken, WP. 1970. The effects of sublethal doses of parathion on honeybee behaviour. I. oral administration and the communication dance. *J. Apicult. Res* 9:141-153.
- Schröder, S., Drescher, W., Steinhage, V., Kastenholz, B. 1995. An Automated Method for the Identification of Bee Species (Hymenoptera: Apoidea), In *Proc. Int. Symp. On Conserving Europe's Bees*, Int. Bee Research Assoc. & Linnean Society, pp. 6–7.
- Schweitzer. 2002. L'apiculture aux services des apiculteurs, information sur différentes analyses du miel, *Revue l'abeille de France*, N 875, pp : 100-116.
- Seeley, T., 1995. *The Wisdom of the Hive: the social physiology of honey bee colonies*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.03.003>.
- Segong, J.1974. L'apiculture en Afrique du nord. Edit. Béta. P7-28.
- Seitz, N., Traynor, K .S., Steinhauer, N., Rennich, K., Wilson, M.E., Ellis, J.D., Rose, R., Tarpy, D.R., Sagili, R.R., Caron, D.M., Delaplane, K .S., Rangel, J., Lee,K., Baylis, K., Wilkers, J.T., Skinner, J.A., Pettis, J.S. , vanEngelsdorp, D., 2016. A national survey of managed honeybee 2014-2015 annual colony losses in the USA. *J. Apic. Res.* 54,292-304.
- Sendaydiego, J.P., Torres, M.A.J., Demayo, C.G. 2013. Describing wing geometry of *Aedes aegypti* using landmark-based geometric morphometrics. *Intl J Biosci Biochem Bioinformatics* 3 (4): 3379-3383.
- Senouci, M ; Trache, A. 2014. Etude de vulnérabilité aux changements climatiques de la wilaya de Mostaganem. *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Programme PRCE*.
- Sheppard, W.S. Meixner, M.D. 2003. *Apis mellifera pomonella*, a new honeybee subspecies from Central Asia. *Apidologie*, 34: 367–375 <https://doi.org/10.1051/apido:2003037>.

- Sheppard, W.S., Arias, M.C., Grech, A. Meixner, M.D. 1997. *Apis mellifera ruttneri*, a new honeybee subspecies from Malta. *Apidologie*, 28: 287–293. <https://doi.org/10.1051/apido:19970505>.
- Sheppard, W.S., Rinderer, T.E., Mazzoli, J., Stelzer, J .A, and Shimanuki, H. 1991. Gene flow between African- and European- derived honey bee populations in Argentina. *Nature*, 349 : 782-784.
- Silva, F. 2015. Automated Bee Species Identification through Wing Images. [Thesis]. University of Sao Paulo. [Brazilian].
- Sıralı, R. 2002. General Beekeeping Structure of Turkey. *Uludag Bee J.*, 2(4): 30-39.
- Skandalis, DA., Segre, PS., Bahlman, JW., Groom, DJE., Welch, Jr., KCW., Witt, CC., McGuire, JA., Dudley, R., Lentink, D., Altshuler, DL. 2017. The biomechanical origin of extreme wing allometry in humming birds. *Nat Commun* 8: 1047. DOI: 10.1038/s41467-017-01223-x.
- Skender, 1972. Situation actuelle de l'apiculture algérienne et ses possibilités de développement (Present position of Algerian beekeeping and possibilities for its development). Engineering thesis, Ins. Nat. Agro., Algiers, Algeria, 102 p.
- Slaa, E.J., Chaves, L.A.S., Malagodi-Braga, K.S. & Hofstede, F.E. 2006. Stingless bees in applied pollination: pratic and perspectives. *Apidologie*, 37: 293-315. doi: 10.1051/apido:2006022.
- Slice, D.E. 2002. Morpheus, for morphometric research software. Department of Biomedical Engineering, Wake Forest University School of Medicine, Winston, Salem.
- Smart, L. E.; Stevenson, J. H. 1982. Laboratory estimation of toxicity of pyrethroid insecticides to honeybees: relevance to hazard in the field. *Bee World* 1982, 62, 150-152.
- Smith, D. R., Crespi, B. J., Bookstein, F. L. 1997. Fluctuating asymmetry in the honey bee, *Apis mellifera* : effects of ploidy and hybridization. *Journal of Evolutionary Biology* 10: 551-574. DOI: 10.1046/j.14209101.1997.10040551.x.
- Smith, D. R., Taylor, O. R., Brown, W. M. 1989. Neotropical Africanized honey bees have African mitochondrial DNA. *Nature*, 339, 213-5.
- Smith, D.R., Palopoli, M.F., Taylor, B.R., Garnery, L., Cornuet, J.M., Solignac, M., Brown, W.M. 1991. Geographical overlap of two mitochondrial genomes in Spanish honeybees (*Apis mellifera iberica*). *Journal of Heredity*, 82: 96–100. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a111062>.
- Smith, R.K., Wilcox, M.M. 1990. Chemicals residues in bees, honey and beeswax. *Am. Bee J.* 130, 188–192.
- Soderlund, D.M., Bloomquist, J.R. 1989. Neurotoxic actions of pyrethroid insecticides. *Annu. Rev. Entomol.* 34, 77–96.

- Soloway, SB. 1978. Nitromethylene insecticides. In Geissbuhler H, Brooks GT, Kearney PC, eds, International Union of Pure and Applied Chemistry: Advances in Pesticide Science, Part 2. Pergamon, Oxford, UK, pp 206–217.
- Sontigun, N., Sukontason, K.L., Zajac, B., Zehner, R., Sukontason, K., Wannasan, A., Amendt, J. 2017. Wing morphometrics as a tool in species identification of forensically important blow flies of Thailand. *Parasit Vectors* 10: 229. DOI:10.1186/s13071-017-2163-z.
- Souza, M.S., Magnarelli, G.G., Rovedatti, M.G., Santa Cruz, S., De D'Angelo, A.M.P. 2005. Prenatal exposure to pesticides: analysis of human placental acetylcholinesterase, glutathione S-transferase and catalase as biomarkers of effect. *Biomarkers* 10, 376–389.
- Spurgeon, D., Hesketh, H., Lahive, E., Svendsen, C., Baas, J., Robinson, A., Horton, A., Heard, M. 2016. Chronic oral lethal and sub-lethal toxicities of different binary mixtures of pesticides and contaminants in bees (*Apis mellifera*, *Osmia bicornis* and *Bombus terrestris*). EFSA Support. Publ. 13 (EN-1076).
- Steinhage, V., Arbuckle, T., Schröder, S., Cremers, A.B., Wittmann, D. 2001. ABIS: Automated Identification of Bee Species. BIOLOG Workshop, German Programme on Biodiversity and Global Change, Status Report, pp. 194–195.
- Stephan, M., Carvalho, Luc, P., Belzunces, Geraldo, A., Carvalho, Jean-Luc Brunet, Alexandra Badiou-Beneteau. 2013. Enzymatic biomarkers as tools to assess environmental quality: a case study of exposure of the honeybee *Apis mellifera* to insecticides. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 32, No. 9, pp. 2117–2124, 2013. DOI: 10.1002/etc.2288.
- Stephen, WP., Schücker, B. 1970. The effect of sublethal doses of parathion. II. Site of Parathion activity, and signal integration. *J. Apicult Res* 9:155-164.
- Stokstad, E. 2007. The case of the empty hives. *Science* 316, 970–972.
- Stone, D., Jepson, P., Laskowski, R. 2002. Trends in detoxification enzymes and heavy metal accumulation in ground beetles (Coleoptera: Carabidae) inhabiting a gradient of pollution. *Comp. Biochem. Physiol* 132C, 105–112.
- Strange, J., Garnery, L., Sheppard, W. 2008. Morphological and molecular characterization of the Landes honey bee (*Apis mellifera* L.) ecotype for genetic conservation. *Journal Of Insect Conservation*, 12(5), 527-537. doi: 10.1007/s10841007-9093-6.
- Struye, MH., Mortier, HJ., Arnold, G., Miniggio, C., Borneck, R. 1994. Microprocessor-controlled monitoring of honeybee flight activity at the live entrance. *Apidologie* 25:384-395.

Su, J., Guan, K., Wang, J., Yang, Y. 2015. Significance of hind wing morphology in distinguishing genera and species of cantharid beetles with a geometric morphometric analysis. *Zookeys*, 502, 11-25. doi: 10.3897/zookeys.502.9191.

Suchail, S. 2001. Etude pharmacocinétique et pharmacodynamique de la létalité induite par l'imidaclopride et ses métabolites chez l'abeille domestique (*Apis mellifera* L.). Thèse de doctorat. Université Claude Bernard-Lyon 1. 166p.

Suchail, S. Guez, D., Belzunces, L. 2000. Characteristics of imidacloprid toxicity in two *Apis mellifera* subspecies. *Environ. Toxicol. Chem.* 19. 1901- 1905.

Suchail, S., Belzunces., Luc, P., Vaissière Bernard, E. 2003. Toxicité aiguë de l'imidaclopride et de ses métabolites chez l'abeille domestique *Apis mellifera*. *Revue Abeilles et Fleurs* n° 643 2003 ; pp 27-30.

Suchail, S., Guez, D., Belzunces, L. 2001. Discrepancy between acute and chronic toxicity induced by imidacloprid and its metabolites in *Apis mellifera*, *Environ. Toxicol. Chem.* 20 (2001) 2482-2486.

Suemaru, K., Cui, R., Li, B., Watanabe, S., Okihara, K., Hashimoto, K., Yamada, H., Araki, H. 2008. Topical application of royal jelly has a healing effect for 5-fluorouracil-induced experimental oral mucositis in hamsters. *Methods Find Exp Clin Pharmacol* 2008, 30(2): 103 . DOI: 10.1358/mf.2008.30.2.1159655.

Sullivan, J.P., Jassim, O., Fahrbach, S.E., Robinson, G.E. 2000. Juvenile hormone paces behavioral development in the adult worker honey bee. *Horm. Behav.* 37, 1-14.

Sultan, AA. 2015. Studying the variation of wing shape and size for Iraqi honey bee worker *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) collected from Baghdad and Diyala provinces by using geometric morphometric of wing. *Intl J Curr Res* 7 (1): 11319-11324.

Suresh, P.G., Reju, M.K., Mohandas, A. 1993. Haemolymph phosphatase activity levels in two fresh water gastropods exposed to copper. *Sci Total Environ* 134:1265–1277.

Sushil, S.N., Stanley, J., Hedau, N.K., Bhatt, J.C. 2013. Enhancing seed production of three brassica vegetables by honey bee pollination in north-western Himalayas of India. *Universal J Agri Res* 1:49-53.

Szegletes, T., Balint, T., Szegletes, Z.S., Nemcsok, J. 1995. In vivo effects of deltamethrin exposure on activity and distribution of molecular forms of carp AChE. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 31, 258–263.

« T »

Tamali, H S; Özkirm, A. 2019. Beekeeping Activities in Turkey and Algeria, *Mellifera*, 19(1):30-40.

- Tasei J-N.1996. Impact des pesticides sur les abeilles et les autres pollinisateurs. Courrier de l'environnement de l'INRA n°29, p. 9-18. En ligne : <http://www7.inra.fr/lecourrier/assets/C29Tasei>.
- Tatsuta, H., Takahashi, K.H., Sakamaki, Y. 2018. Geometric morphometrics in entomology: Basics and applications. Entomol Sci 21 (2): 164-184. DOI: 10.1111/ens.12293. DOI: 10.1111/ens.12293.
- Tchouboue, J., Tchouamo, IR., Pinta, JY., Mambou, NN. 2001. Caractéristiques socio-économiques et techniques de l'apiculture dans les hautes terres de l'Ouest du Cameroun. Tropicultura, 19 (3) : 141-148.
- Techer, M., Clemencet, J., Turpin, P., Volbert, N., Reynaud, B., Delatte, H. 2015. Genetic characterization of the honeybee (*Apis mellifera*) population of Rodrigues Island, based on microsatellite and mitochondrial DNA. Apidologie, 46(4), 445-454. doi: 10.1007/s13592-Bulletin of Insectology, 63: 153-160.
- Techer, M. A. 2015. Diversité génétique et phylogéographie de l'abeille *Apis mellifera* dans les îles du Sud-Ouest de l'océan Indien. These présentée à l'université de La Réunion pour obtenir le diplôme de doctorat en sciences014-0335-9.
- Teeters, B.S., Johnson, R.M., Ellis, M.D., Siegfried, B.D. 2012. Using video-tracking to assess sublethal effects of pesticides on honey bees (*Apis mellifera* L.) .Environ. Toxicol. Chem. 31,1349.
- Tela botanica, 2018. Séquence 1 sujet 4 : la botanique en Algérie: <https://www.youtube.com/watch?v=pwIAIhSnrQA> .
- Terriere, L.C. 1984. Induction of detoxication enzymes in insects. Annu. Rev. Entomol. 29, 71–88.
- Thany, S.H., Lenaers, G., Raymond-Delpech, V., Sattelle, D.B., Lapied, B. 2007. Exploring the pharmacological properties of insect nicotinic acetylcholine receptors. Trends Pharmacol. Sci. 28, 14–22.
- Thomposon, H.M., Wilkinis, S., Batersby, A.H., Waite, R.J., Wilkinson, D. 2005. The effects of four insect growth-regulating (IGR) insecticides on honeybee (*Apis mellifera* L.) colony development, queen rearing and drone sperm production. Ecotoxicology, 14: 757 – 769.
- Thomson, H.M., Maus, C. 2007. The relevance of sublethal effects in honey bee testing for pesticides risk assessment. Pest Manag. Sci. 63, 1058- 1061.
- Thybaud, E. 2000. Rapport concernant les programmes d'études Gaucho. Commission de la toxicité des produits antiparasitaires.

Tison, L., Hahn, M-L., Holtz, S., Rössner, A., Greggers, U., Bischoff, G., Menzel, R. 2016. Honey Bees TM Behavior Is Impaired by Chronic Exposure to the Neonicotinoid Thiacloprid in the, (2016). doi:10.1021/acs.est.6b02658.

Tofilski, A. 2004. DrawWing, a program for numerical description of insect wings. *Journal Of Insect Science*, 4(1). doi: 10.1093/jis/4.1.17.

Tofilski, A. 2008. Using geometric morphometrics and standardmorphometry to discriminate three honeybee subspecies. *Apidologie* 39 (2008) 558–563. DOI: 10.1051/apido:2008037.

Tomizawa M., Casida J. E., 2005. Neonicotinoid Insecticide Toxicology: Mechanisms of Selective Action.- *Annual Review of Pharmacology and Toxicology* 2005, 45: 247-268.

Tomizawa, M., Otsuka, H., Miyamoto, T., Yamamoto. 1995. Pharmacological effects of imidacloprid and its related compounds on the nicotinic acetylcholine receptor with its ion channel from the Torpedo electric organ. *J Pestic Sci* 20:49–56.

Tomlin C. 2003. *The Pesticide Manual*.- Alton, Hampshire, UK: Br. Crop Protection Council. 1344 pp. 13th ed.

Tosi, S., Burgio, G., Nieh, J. C. 2017. A common neonicotinoid pesticide, thiamethoxam, impairs honey bee flight ability. *Scientific reports*, 7(1), 1201.

Toudert, F. 2011. Contribution a l'étude des effets subletaux de l'imidaclopride sur la physiologie des ouvrières et des reines de l'abeille domestique (*apis mellifera intermissa*). Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magistère en sciences Agronomiques Option : Alimentation animale et produits animaux.

« U »

Urban, D. J., and Cook, N. J., 1986. Standard evaluation procedure: ecological risk assessment. EPA 540/9-95-001. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C, 102 p.

« V »

van der Sluijs, J.P., Simon-Delso, N., Goulson, L. Maxim,D., Bonmatin, J.M., Belzunces, L.P. 2013. Neonicotinoids, bee disorders and the sustainability of pollinator services, *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 5 (2013) 293–305. doi:10.1016/j.cosust .2013.05.007.

van der Zee, R., Pisa, L., Andonov, S., Brodschneider, R., Charrière, J.D., Chlebo, R., Coffey, M.F., Crailsheim,K., Dahle, B., Gajda, A., Gray, A., Drazic, M.M., Higes, M., Kauko, L., Kence, A., Kence, M., Kezic, N., Kiprijanovska, H., Kralj, J., Kristiansen, P., Martin Hernandez, R., Mutineli, F., Nguyen, B.K., Otten, C., Özkirim, A., Pernal, S.F., Peterson, M., Ramsay, G., Santrac, V., Soroker, V., Topolska, G., Uzunov, A., Vegsnæs,

- F., Wei, S., Wilkins, S., 2012. Managed honey bee colony losses in Canada, China, Europe, Israel and Turkey, for the winters of 2008-9 and 2009-10. *Apic. Res.* 51, 100-114.
- Vanbergen, A.J., Baude, M., Biesmeijer, J.C., Britton, N.F., Brown, M.J.F., et al. 2013. Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. *Front. Ecol. Environ.* 1, 251 – 259.
- Vandame, R., Meled, M., Colin, M.E., Belzunces, L.P. 1995. Alteration of the homing-flight in the honey bee *Apis mellifera* L. exposed to Sublethal dose of deltamethrin. *Enviro. Toxicol. Chem.* 14: 855-860.
- vanEngelsdorp, D., Hayes, J Jr., Underwood, R.M., Dewey, C., Pettis, J.S. 2011. A survey of honey bee colony losses in the United States, fall 2008 to spring 2009. *J Apicult Res* 49(1): 7-14.
- vanEngelsdorp, D., Hayes, J Jr., Underwood, R.M., Pettis J. 2008. A survey of honey bee colony losses in the U.S., fall 2007 to spring 2008. *PLoS ONE* 3: e4071. DOI: 10.1371/journal.pone.0004071.
- vanEngelsdorp, D., Meixner, M.D. 2010. A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. *J. Invertebr. Pathol.* 103, S80 –S95.
- vanEngelsdorp, Underwood, R.M., Dewey, C., Hayes, J Jr. 2007. An estimate of managed colony losses in the winter of 2006--- 2007: a report commissioned by the Apiary Inspectors of America. *Am Bee J* 147: 599-603.
- Vilain, L. 2008. La méthode IDEA (édition 2008) Indicateurs de durabilité des exploitations agricoles. Éducagri éditions. ISBN : 979-10-2750-039-0. 184 p.
- Villemant, C., Simbolotti, G., Kenis, M. 2007. Discrimination of *Eubazus* (Hymenoptera, Braconidae) sibling species using geometric morphometrics analysis of wing venation. *Systematic Entomology* 32: 625–634.
- Villiers, B., 1987. L'apiculture en Afrique tropicale. Ed. GRET. 220p.
- Vittek, J. 1995. Effect of royal jelly on serum lipids in experimental animals and humans with atherosclerosis. 1995 Sep 29;51(9-10):927-35. Doi: 10.1007/BF01921742.
- Vlahovic, M., Lazarevic, J., Peric-Mataruga, V., Ilijin, L., Mrdakovic, M. 2009. Plastic responses of larval mass and alkaline phosphatase to cadmium in the gypsy moth larvae. *Ecotoxicol. Environ Saf.* 72, 1148–1155.
- Von, K. 1967. Dance language and orientation of bees. Cambridge, Mass., Belknap P. of Harvard university P.
- Vynograd, N., Vynograd, I., Sosnowski, Z. 2000. A comparative multi-centre study of the efficacy of propolis, acyclovir and placebo in the treatment of genital herpes (HSV). [https://doi.org/10.1016/S0944-7113\(00\)80014-8](https://doi.org/10.1016/S0944-7113(00)80014-8).

« W »

- Walker, J.C. 2001. Organophosphorous and carbamate insecticides. In: Walker, C.H. (Ed.), Organic Pollutants. An Ecotoxicological Perspective. Taylor and Francis, New York.
- Wallner, K. 1999. Varroacides and their residues in bee products. *Apidologie*, 30: 235 – 248.
- Wallwork-Barber, M.K., Ferenbaugh, R.W., Gladney, E.S. 1982. The use of honeybees as monitors of environmental pollution. *Am. Bee J.* 122, 770–772.
- Warré, A. 2007. L'apiculture pour tous. Reproduction 2007 de l'édition de 1948 ; Dépôt légal : 4ème trim. 1948. Ce document est diffusé sur le site internet <http://www.apiculture-warre.fr/avec le contrat Créative Commons>.
- Watanabe, ME. 2008. Colony collapse disorder: Many suspects, no smoking gun. *BioSci* 5:384-388.
- Watanabe-Akanuma, M., Ohta, T., Sasaki, Y. F., 2005. A novel genotoxic aspect of thiabendazole as a photomutagen in bacteria and cultured human cells. *Toxicology Letters*, 158, 3, 213-219.
- Webster, TC. 1993. Nosema apis spore transmission among honey bees. *American Bee Journal* 133 : 869-70.
- Weiss, K. 1985. Apiculture de week-end. Ed européennes apicoles. 252p.
- Whitfield, C.W., Behura, S.K., Berlocher, S.H., Clark, A.C. , Johnston, J.S. , Sheppard, W.S., Smith, D.R., Suarez, A.V., Weaver, D., Tsutsui, N.D. 2006 . Thrice out of Africa : ancient and recent expansion of honey bee, *Apis mellifera*. *Science* 314, 642- 645.
- Wilkinson, D., Smith, G.C. 2002. Modeling the efficiency of sampling and trapping Varroa destructor in the drone brood of honey bees (*Apis mellifera*). *American Bee Journal* 142 : 209-11.
- Williamson, S. M., Wright, G. A. 2013. Exposure to multiple cholinergic pesticides impairs olfactory learning and memory in honeybees. *Journal of Experimental Biology*, 216, 1799–1807.
- Wilson, E.O. 1971. *Insect Societies*. Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- Winston, M.L., 1987. *The Biology of the Honey Bee*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Witters, S. 2003. Apiculture en Espagne. In : Des abeilles et des hommes. Miel et commerce équitable : l'exemple du miel Maya au Mexique. Liège (Belgique) : Miel Maya Honing.

Woodcock, B. A. 2017. Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees. *Science*. 356, 1393-1395.

Wootton, R. J. 1992. Functional morphology of insect wings. *Annual Review of Entomology* 37: 113–140.

World wildlife fund wwf, 1998. Resolving the DDT dilemma, WWF canada WWF U.S, Washington toronto, 1998.

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

Wu, J.Y., Anelli, C.M., Sheppard, W.S. 2011. Sub-lethal effects of pesticide residues in brood comb on worker honey bee (*Apis mellifera*) development and longevity. *PLoS One* 6, 1- 11.

« Y »

Yacine, L et Zaidi, N. 2018. L'activité apicole comme un vecteur de développement Local : Cas de l'apiculture au niveau de La Daïra de Maâtkas. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master en sciences économiques, UMMTO, Tizi-Ouzou.

Yahi, A. 2017. الجزائر تنتج نحو 30 ألف طن عسل . <http://www.alwasatnews.com/news/1109400.html>.

Yalçın, M., Turgut, C. 2016. Bal Arilarında Koloni Kaybı. *Journal of Adnan Menderes University, Agricultural Faculty*, 13(1), 151 – 157.

Yamamoto, I., Tomizawa, M., Saito, T., Miyamoto, T., Walcott, EC., Sumikawa, K. 1998. Structural factors contributing to insecticidal and selective actions of neonicotinoids. *Arch Insect Biochem Physiol* 37:24–32.

Yang, E.C., Chuang, Y.C., Chen, Y.L., CHANG, L.H. 2008. Abnormal foraging behavior induced by sublethal dosage of imidacloprid in the honey bee (Hymenoptera: Apidae). *J. Econ. Entomol.*, 101: 1743 - 1748.

Yao, S.K., James, H.K., Yeboué-Kouamé, B.Y., Joseph, S., Assanvo J. E.2018. Study of pesticides use conditions in cashew production in Côte d'Ivoire. *J. Toxicol. Environ. Health Sci.* DOI: 10.5897/JTEHS2018.0427.

Yédomonhan, H., Koègninou, A. 2009. La production du miel à Manigri (Commune de Bassila) au Bénin: enjeu et importance socioéconomique. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 3(1) : 125-134.

Yu, R.X., Wang, Y.H., Hu, X.Q., Wu, S.G., Cai, L.M., Zhao, X.P. 2016. Individual and joint acute toxicities of selected insecticides against *Bombyx mori* (Lepidoptera : bombycidae). *J. Econ. Entomol.* 109 (1), 327-333.

Yucel, B., Duman, I. 2005. Effects of foraging activity of honeybees (*Apis mellifera* L.) on onion (*Allium cepa*) seed production and quality. *Pak J Biol Sci* 8: 123-126.

« Z »

Zelditch, M., Swiderski, D., Sheets, H. 2004. *Geometric morphometrics for biologists [recurso electrónico]* (2nd ed.). Paisés Bajos: Elsevier Academic Press.

Zelditch, M.L., Donald, L., Swiderski, H., David, S. 2012. *Geometric morphometrics for biologists: A PRIMER*. Second edition.

Zhiguo, L., Meng, L., Jingfang, H., Xiaomeng, Z., Veeranan, C., Wei-Fone, H., Hongyi, N., Yazhou, Z., Songkun, S. (2017). Differential physiological effects on neonicotinid insecticides on honey bee : A comparison between *Apis mellifera* and *Apis cerana*. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 140 (2017) 1–8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pestbp.2017.06.010>.

Zhu, W., Schmehl, D., Mullin, C., Frazier, J. 2014. Four common pesticides, their mixtures and formulation solvent in the hive environment have high oral toxicity to honey bee larvae. *PLoS One* 9, e77547.

Ziane, H., Brikat, M. 2020. Enquête sur la situation de la filière apicole en Algérie, cas de la wilaya de M'sila. Thèse de master. Université Mohamed Boudiaf - M'sila.

Annexe

Fiche d'Enquête

Nom :

Prénom :

Wilaya :

La région (Commune) :

Début de l'activité :

Etes-vous apiculteur - Amateur - Professionnel

Etes-vous suivie par une structure technique (type coopérative)

- Non

- Oui - Quelle structure

Nombre de ruches:

Localisation du rucher

Modèle de ruche : - vulgaire la matière :
 - moderne Langstroth Voirnot
 Dadant Layens

Vos ruche sont : - Sédentaire

- Transhumante La région :

La flore mellifère :

Avec quelles races d'abeilles travaillez-vous :

La quantité du miel produite

Que produisez-vous : - Miel -Propolis
 - Gelée royale -Cire
 - Autre

Types de miels produits :

Nourrissez-vous vos abeilles - Non

- Oui

- Pour quelle(s) raison(s) :

-Sur quelle période de l'année :

Présence des maladies : - Non

- Oui

La ou Lesquelles : - La varroase

- Nosémose

- L'acariose

- Autre

Le traitement réalisé :

Est-ce qu'il y a un déclin des abeilles : Aucun

Très faible

Faible

Moyen

Fort

Très fort

Quelles signes vous permettent de l'affirmer : - Augmentation de la présence d'abeilles

Mortes

- Diminution de la production de miel

- Disparition des abeilles

- Autre

Les agriculteurs des cultures avoisinantes font-ils de traitement phytosanitaire par les pesticides ? -Non

-Oui

Type de produit: - Insecticides

- Herbicides

- Fongicides

- Acaricides

Formation suivie :

Participation :

Commentaire personnel (préoccupation et les contraintes de l'apiculteur) :

Le manque de moyens financiers

La non maîtrise des techniques apicoles

Le manque de vulgarisation de l'activité

Le manque de débouchés

Les contraintes parasites

Autres.

*Productions
scientifiques*

Publications scientifiques

- **Fouzia ABED**, Benabdellah BACHIR-BOUIADJRA, Lahouari DAHLOUM, Abdulmojeed YAKUBU, Ahmed HADDAD, Abdelkader HOMRANI : 2021. Procruste analysis of forewing shape in two endemic honeybee subspecies *Apis mellifera intermissa* and *A. m. sahariensis* from the Northwest of Algeria. *BIODIVERSITAS* Volume 22, Number 1, January 2021. Pages: 154-164. DOI: 10.13057/biodiv/d220121
<https://smujo.id/biodiv/article/view/6969/4497>

Communications internationales

- **Fouzia ABED**, Benabdallah Bachir BOUIADJRA, Ahmed Haddad, 2018. Situation de l'apiculture dans la wilaya de Tiaret. 27 - 28 Novembre 2018 : "The First International Conférence on Apiculture, Hive Products and Sustainable Development". Laboratoire de sciences et techniques de production animale. Faculté SNV. Université Abdelhamid Ben Badis - Mostaganem.
- **Fouzia ABED**, Benabdallah Bachir BOUIADJRA, Fatma Seddar Yagoub, Ahmed Haddad, Abdelkader Homrani, 2022. La Morphométrie Géométrique, Un Outil Fiable Pour La Discrimination Des Sous Espèces D'abeilles. 1st International Webinar on Valuation and Management of Animal Biodiversity 1 and 2 June, 2022- Oran, Algeria.

Communications nationales

- **Fouzia ABED**, Benabdallah Bachir BOUIADJRA, Sabiha RADJA DJAMAIA, Fatma SEDDAR YAGOUB, Ahmed Haddad et Abdelkader HOMRANI, 2021. Evaluation de la toxicité de l'imidaclopride chez l'abeille *Apis mellifera intermissa*. Communication orale, Conférence Nationale Virtuelle sur les productions Animales : Recherche, Développement et Prospective des filières animales, 1-3 juin 2021, Laboratoire des Sciences et Techniques de Production Animale, université de Mostaganem.
- **Fouzia ABED**, Benabdallah Bachir BOUIADJRA, Ahmed Haddad, Maria Pilar Dela Rua TARIN, 2019. Diagnostic de l'apiculture dans trois wilayas de l'Ouest algérien. IXèmes Journées Scientifiques Nationales de la faculté SNV, 6 et 7 octobre 2019, université de Mostaganem.

- **Fouzia ABED**, Benabdallah Bachir BOUIADJRA, Fatma SEDDAR YAGOUB, Ahmed Haddad et Abdelkader HOMRANI, 2021. Le statut sanitaire de la filière apicole dans les wilayas : Tiaret, Relizane et Mostaganem. Les Xème Journées Nationales des Sciences de la Nature et de la Vie. Les 16, 17 et 18 novembre 2021, université de Mostaganem

- Sabiha RADJA DJAMAIA, Mounia HOMRANI, **Fouzia ABED**, Khadidja ZOUAOUI, Abdelkader Elamine DAHOU, Ahmed HADDAD et Abdelkader HOMRANI, 2021. Situation de l'apiculture dans la région de Mostaganem. Communication affichée, Conférence Nationale Virtuelle sur les productions Animales : Recherche, Développement et Prospective des filières animales, 1-3 juin 2021, Laboratoire des Sciences et Techniques de Production Animale, université de Mostaganem.

- Sabiha RADJA DJAMAIA, Mounia HOMRANI, **Fouzia ABED**, Zakaria Meskini, Abdelkader Elamine DAHOU, Ahmed HADDAD et Abdelkader HOMRANI, 2021. Etude de l'activité antimicrobienne des miels de la région de Mostaganem. Communication orale, Conférence Nationale Virtuelle sur les productions Animales : Recherche, Développement et Prospective des filières animales, 1-3 juin 2021, Laboratoire des Sciences et Techniques de Production Animale, université de Mostaganem.

- Fatma SEDDAR YAGOUB, Nadra RECHIDI SIDHOM, Abdelkader Elamine DAHOU, **Fouzia ABED** et Adelkader HOMRANI, 2021. Estimation préliminaire des mammites subcliniques chez les vaches laitières de l'ouest Algérien. Communication orale, Conférence Nationale Virtuelle sur les productions Animales : Recherche, Développement et Prospective des filières animales, 1-3 juin 2021, Laboratoire des Sciences et Techniques de Production Animale, université de Mostaganem.

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/347593830>

Procruste analysis of forewing shape in two endemic honeybee subspecies *Apis mellifera intermissa* and *A. m. sahariensis* from the Northwest of Algeria

Article in *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* · January 2021

DOI: 10.13057/biodiv/d220121

CITATIONS

0

READS

171

6 authors, including:



Fouzia Abed

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

1 PUBLICATION 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Bachir Bouiadjra Benabdallah

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

6 PUBLICATIONS 1 CITATION

[SEE PROFILE](#)



Lahouari Dahloum

University of Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem Algeria

28 PUBLICATIONS 44 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Abdulmojeed Yakubu

Nasarawa State University

163 PUBLICATIONS 2,070 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Antimicrobial resistance in smallholder poultry production systems [View project](#)



La pêche artisanale [View project](#)

Procruste analysis of forewing shape in two endemic honeybee subspecies *Apis mellifera intermissa* and *A. m. sahariensis* from the Northwest of Algeria

FOUZIA ABED¹, BENABDELLAH BACHIR-BOUIADJRA¹, LAHOUARI DAHLOUM^{2,✉},
ABDULMOJEED YAKUBU^{3,✉}, AHMED HADDAD¹, ABDELKADER HOMRANI¹

¹Laboratoire des Sciences et Techniques de Production Animale, Abdelhamid Ibn Badis University. PO. Box 188, 27000, Mostaganem, Algeria

²Laboratoire de Physiologie Animale Appliquée, Abdelhamid Ibn Badis University. PO. Box 188, 27000, Mostaganem, Algeria

Tel.: +213-672515273, Fax.: +213-45416827, ✉email: lahouari.dahloum@univ-mosta.dz

³Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Nasarawa State University. Keffi, Shabu-Lafia Campus, P.M.B. 135, Lafia 950101, Nigeria.

Tel.: +234-8065644748. ✉email: abdulmojoyak@gmail.com

Manuscript received: 16 October 2020. Revision accepted: 16 December 2020.

Abstract. *Abed F, Bachir-Bouiadjra B, Dahloum L, Yakubu A, Haddad A, Homrani A. 2020. Procruste analysis of forewing shape in two endemic honeybee subspecies Apis mellifera intermissa and A. m. sahariensis from the Northwest of Algeria. Biodiversitas 22: 154-164.* Honey bees play an important role as pollinators of many crops. Thus they are collectively considered as a veritable economic source. The present study was undertaken to describe variation in the right forewing geometry in two Algerian honeybee subspecies *Apis mellifera intermissa* and *Apis mellifera sahariensis* using landmark-based geometric morphometrics. A total of 1286 honeybees were sampled from 12 provinces in the northwest of Algeria. The forewing geometry was evaluated using 20 homologous landmarks by applying Procrustes superimposition analysis. The top four principal components accounted for only 41.1% of wing shape variation between the two subspecies. There was a significant difference in wing shape between the two subspecies (Mahalanobis distance = 1.0626 ; $P < 0.001$), whereas their wing size seemed similar ($P > 0.05$). Regarding the allometric effect, the percentage of variation in wing shape explained by size changes was relatively small, with 1.28% and 4.37% for *A. m. intermissa* and *A. m. sahariensis*, respectively. The cross-validation procedure correctly classified 68.3% of specimens into their original groups. PERMANOVA test revealed significant differences in the right forewing shape among all geographic areas studied ($P < 0.001$). The results clearly showed that the landmark-based geometric approach applied to forewings venation is a powerful and reliable tool in the discrimination of native honey bee subspecies and should be considered in local honey bee biodiversity improvement and conservation initiatives.

Keywords: *Apis mellifera intermissa*, *Apis mellifera sahariensis*, forewing, geometric-morphometric, landmarks

INTRODUCTION

Besides providing hive products such as honey, royal jelly, pollen, wax, venom, and propolis (Cornara et al. 2017), honeybees are important beneficial economical pollinators (Klein et al. 2007; Abdelnour et al. 2019) not only for their role in sustaining the biodiversity of agroecosystems but also in ensuring food security (Eilers et al. 2011; Klein et al. 2007). It has been reported that they pollinated more than 100 different agricultural products like fruits, vegetables, several forage plants, which eventually led to the production of meat and other dairy products (Gallai et al. 2009). However, a decline in bee populations has been recorded in some regions worldwide (Kremen and Ricketts 2000; Potts et al. 2010). This is due to several biotic and abiotic factors, including pathogens (Ullah et al. 2020), pesticides and parasites that bees met throughout their lifestyle (Henry et al. 2012; Nazzi et al. 2012); thus, their conservation recently became a global concern for both scientists and beekeepers (Byrne and Fitzpatrick 2009; Brown and Paxton 2009; Baldock et al. 2020; Freitas et al. 2009).

In order to study the genetic diversity of honeybees as a measure to help in their improvement and conservation

programs, various methods have been developed to identify and to discriminate between populations, races, and even bee species and subspecies. Molecular methods including DNA analyses such as mtDNA (Arias and Sheppard 1996), RFLP (Martimianakis et al. 2011), and microsatellite DNA (Oleksa and Tofilski 2014), biochemical methods like allozymes (Bodur et al. 2007) or cuticular hydrocarbon analysis (Francis et al. 1985; Lavine et al. 2005), and other techniques based on pheromones are much less used (Hepburn and Radloff 1996). All these techniques require expensive reagents and laboratory equipment (Francoy et al. 2008). The first and the most widely accepted descriptions of subspecies were based on morphology. A wide set of morphological features have been used, including the size of various body parts, wing distances, ratios, and angles, pigmentations and pilosity (Ruttner 1988). Attempts were also made to reduce and to simplify the traditional morphometry, such as reducing the number of characters using the forewing venation alone (Francoy et al. 2008; Tofilski 2008) or using the shape of single-wing cell (Francoy et al. 2006). Geometric morphometrics (GM) is an alternative new morphometric method that used shape analysis rather than distances and angles (Bookstein 1991; Tatsuta et al. 2018). Since its first development, this

procedure has demonstrated to be better than the traditional morphometrics not only by its low costs, high practicability but also by being less time-consuming technique, likewise having a better descriptive and higher statistical power (Charistos et al. 2014; Bustamante et al. 2020). GM uses the wing as a base of working because wings are solid and rigidly articulated structures and the intersections of the wing venation provide many well-defined landmarks suitable for the characterization and identification of populations or lineages (Pavlinov 2001; Tofilski 2008; Miguel et al. 2011; Sendaydiego et al. 2013). However, there is a paucity of research on the GM of Algerian honey bees (Barour et al. 2011; Barour et al. 2016).

The current study aimed to explore the forewing variation among two honey bee subspecies endemic to Algeria, *Apis mellifera intermissa* and *A. m. sahariensis*, using geometric morphometric tools. *A. m. intermissa* occupies the north of the country, while *A. m. sahariensis*, which is well adapted to drought conditions, is mainly located in the southern part of the country from Djebel Amour and Ain Sefra through the oasis of the Sahara south of the Atlas Mountains (Ruttner 1988; Adjlane et al. 2016). Therefore, the information obtained from the current study would be useful for implementing an effective strategy for the protection of endangered local honey bee subspecies and better management of conservation areas.

MATERIALS AND METHODS

Sample sites and specimen collection

Worker bees from 129 colonies were sampled between May and December 2018 from 12 provinces, including 63

different localities in the northwestern part of Algeria (Figure 1). Two non-migratory colonies/locality, ten bees/colony = 20 worker bees /locality were involved in the study. More details about the sampling sites and number of individuals collected from each sampling site are shown in Table 1. Bees were stored in 97% ethanol in a freezer (-20°C) until morphological examination.

Data acquisition and treatment

A total of 1286 worker bee forewings were dissected very close to their base and were mounted in distilled water between two microscope slides and photographed with a digital camera attached to a Leica S8APO stereomicroscope. For the geometric morphometrics, wing photographs were first processed by tpsUtil 1.61 (Rohlf 2015). Wing shapes were digitized with two-dimensional Cartesian coordinates (x, y) of 20 landmarks, mainly located at vein intersections (Figure 2.A) using tpsDig 2.05 (Rohlf 2005). The landmark coordinates obtained from tpsDig were used as input in the MorphoJ 1.07a package (Klingenberg 2011). The Cartesian coordinates of the specimens were then aligned to remove variations in size, position, and orientation using the least-squares generalized Procrustes superimposition method (Bookstein 1991). In order to quantify forewing shape variation, principal component analysis (PCA) was performed after computing the variance-covariance matrix of the Procrustes shape coordinates in MorphoJ 1.07a (Klingenberg 2011).

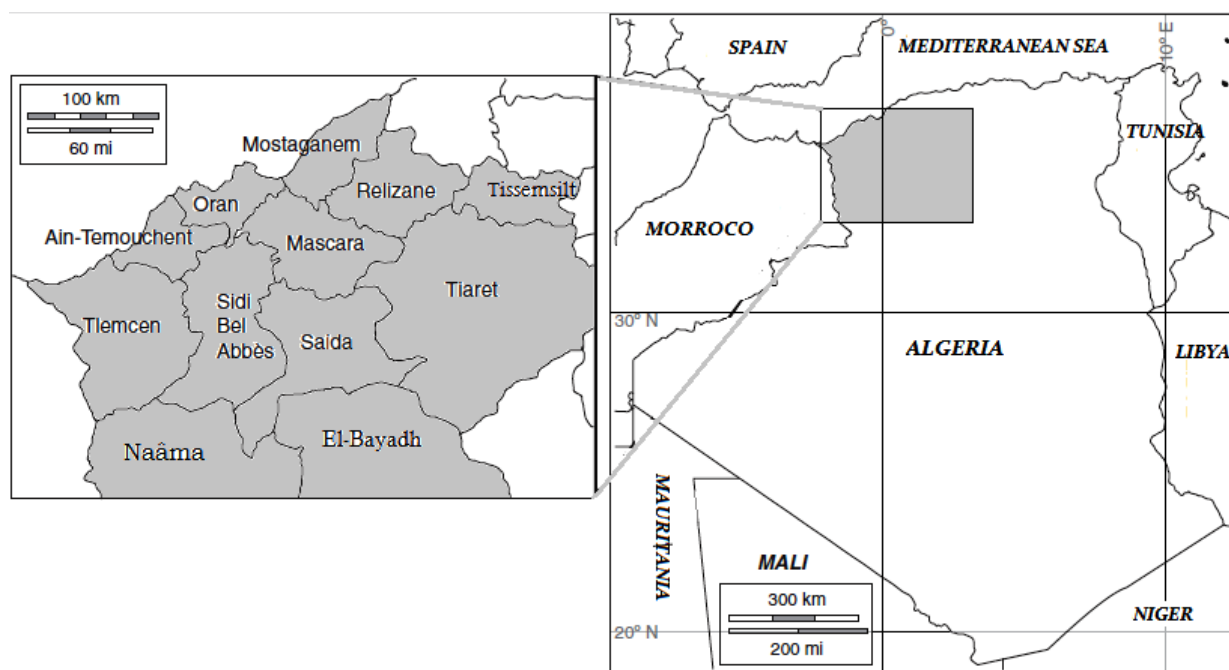


Figure 1. Map indicating sampling provinces of *Apis mellifera intermissa* and *A. m. sahariensis* in Algeria. (Adapted and modified from Mahammi et al. 2014)

Table 1. Locations from which samples of honeybee were collected for geometric morphometric analysis

Province	Sampling location	No. of colonies	No. of wings
Mascara	Aïn Fares	2	20
	El Guetna	2	20
	Bou Hanifia	2	20
	Hacine	2	20
	Tighennif	2	20
Mostaganem	Sour	2	20
	Sidi Lakhdar	2	20
	Touahria	2	20
	Mesra	2	20
	Hassi Mamèche	2	20
Tiaret	Souafli	2	20
	Tidda	2	20
	Aïn Bouchekif	2	20
	Aïn Deheb	2	20
	Tagdempt	2	20
Tissemsilt	Mghila	2	20
	Tamalaht	2	20
	Sidi Abed	2	20
	Ammari	2	20
	Lardjem	2	20
Relizane	Maacem	2	20
	Oued Slam	2	20
	El Hamadna	2	20
	Beni Dergoun	2	20
	Belassel	2	20
Oran	Zemmoura	2	20
	Boutlilis	2	20
	Bousfer	2	20
	Ain El Turk	2	19
	Hassi Bounif	2	20
Saida	Misserghin	2	19
	Hessasna	2	20
	Ouled Brahim	2	20
	Balloul	2	20
	Tirsine	2	20
El-Bayadh	Aïn El Hadjar	2	20
	Chellala	2	20
	Boussemgoun	2	20
	El Abiodh Sidi Cheikh	2	18
	El Kheiter	2	20
Tlemcen	Ghassoul	2	20
	Mansourah	2	20
	Chetouane	2	20
	Abou Tachfine	2	20
	Tlemcen	2	20
Sidi Belabbès	Hennaya	2	20
	Sidi Dahou	4	40
	Sidi Bel Abbes	2	20
	Foret Bouhriz	2	20
	Sidi Ali Benyoub	2	20
Nâama	Sidi Lahcene	2	20
	Tessala	2	20
	Sehala Thaurora	3	30
	Naama	2	20
	Moghrar	2	20
Ain Temouchent	Sfissifa	2	20
	Tiout	2	20
	Ain Sefra	2	20
	Tadmaya	2	20
	El Malah	2	20
	El Amir Abdelkader	2	20
	El Messaid	2	20
	Ouled Boudjmaa	2	20

Wing size and shape variation

Wing size was estimated by an isometric estimator known as “centroid size” (CS) (Sandoval Ramirez et al. 2015), which is defined as the square root of the sum of the squared distances between the center of the configuration of the LM (or centroid) and each LM (Bookstein 1991). Data were tested for normality using the Shapiro-Wilk test. Levene’s test was performed to check for homogeneity of variances between groups. A T-test was then used to compare the means between the two subspecies. For the analysis, the CS were logarithmized (ln CS).

The relative contributions of each anatomical landmark for the variation observed in the right forewings were produced by the tpsRelw 1.36 software package (Rohlf 2003). The Discriminant Analysis (DA) was used to classify the right-wing shapes between the subspecies studied.

Multivariate normality was assessed using the Doornik-Hansen test (Doornik and Hansen 2008). Box’s M-test was used to test for the equivalence of the covariance matrices of the multivariate data sets as Hotelling’s T²-test is sensitive to violations of the assumption of unequal covariance matrices. The statistical significance of the difference in mean shapes was then analyzed using permutation tests (10,000 rounds) with Mahalanobis distances and Procrustes distances. The permutation test is an alternative to Hotelling’s T²-test when the assumptions of multivariate normal distributions and equal covariance matrices do not hold. Differences in wing shape among both subspecies were visualized by deformation grids using thin-plate splines (TPS) (Slice 2002). The Jackknife cross-validated classification procedure in Discriminant Analysis (DFA) was used to assess the accuracy of classification based on Mahalanobis distances as a complement to discriminant analysis. Afterward, Mahalanobis distances among the individuals of the 12 study zones were used for the construction of a UPGMA (unweighted pair group method with the arithmetical average) dendrogram as the clustering algorithm using PAST 1.81 (Hammer et al. 2001).

Allometric effects

Allometry is the covariation of shape with size (Mosimann 1970). Morphological allometry tries to explain the change in morphological features of organisms associated with size variation (Klingenberg 1996). In insects, for example, wing size has sometimes significant impact on wing shape (Gidaszewski et al. 2009; Sontigun et al. 2017). To evaluate the allometric effect, we fitted a multivariate regression model of Procrustes coordinates (dependent variable) onto size (independent variable) among the two subspecies and within each subspecies separately in a permutation test of 10,000 randomization rounds. Centroid size was first transformed to its natural logarithm (ln centroid size) to increase the fit of the model, which was estimated by the percentage of shape variance explained by size.

RESULTS AND DISCUSSION

Variations in wing shape among subspecies

The average shape obtained by the Procrustes fit of the studied subspecies is shown in Figure 2.B. The eigenvalues show that up to twenty-four PCs are needed to explain 95% of the total variation (Table 2). However, only the first ten are meaningful according to the broken-stick model (not shown). The PCA of right-wing shape variation showed that the first four PCs are responsible for only 41.11% (PC1 = 11.92%; PC2 = 10.51%; PC3 = 9.96%, PC4 = 8.72%) of the total shape variation. Although there is a clear overlap between the individuals, it is possible to observe a slight separation between the two subspecies from the scatter plot obtained using the PC1-PC2 and PC3-PC4 scores (Figure 3). Moreover, the transformation grids (Figure 4) show the shape changes as a deformation of the rectangular grid. In the pooled sample of honey bees, the variance of landmark coordinates between strains revealed a discrepancy between the parts of the wing (Figure 4). Generally, LM 7 showed the maximum variation ($S^2 = 0.00007$) followed by LM 8, LM19, and LM3 with values of $S^2 = 0.000061$, 0.000039 , and 0.000038 , respectively, while LM 16 (localized near the centroid of the wing) had the lowest variation of $S^2 = 0.00001$. PC1 showed that landmarks of the anterior wing region displaced toward the wing tip except for LM1, LM2, LM3, and LM7 who presented a basal displacement. Together, these landmark displacements influence the wing shape by elongation associated with narrowing. PC2 also revealed that most of the landmark points in the forewing showed deviation. The landmark displacement occurred mostly in the middle part of the wing. The anterior (LM5, LM7, and LM8) and the posterior (LM 18, LM19, and LM20) displacement resulted in a shortening linked to an expansion. The morphological

characteristics of honeybees have an important role in discriminating honeybee subspecies (Salehi and Nazemi-Rafie 2020; Henriques et al. 2020). It has been reported that different selective pressures shape morphological traits, which is crucial in evolutionary biology. Wing morphometry is among such traits that have been widely used to describe phenotypic variability at the inter-specific level (Dellicour et al. 2017). The current study results are consistent with Dolati et al. (2013), who stated that homologous anatomical landmarks located much distant from the forewing centroid had a greater degree of variations. However, the present findings contrast with those reported in Indonesia by Santoso et al. (2018). With regard to insect flight aerodynamics, long, and slender wings, according to DeVries et al. (2010) are optimal for long-duration flight, while short and broad wings are optimal for slow and agile flight.

Table 2. The first ten eigenvalues of a principal components analysis (PCA) of right forewing shape within the two subspecies *Apis mellifera intermissa* and *A.m sahariensis*

PC	Eigenvalues	% Variance	Cumulative %
1	0.000083	11.92	11.92
2	0.000073	10.51	22.43
3	0.000069	9.96	32.39
4	0.000061	8.72	41.11
5	0.000051	7.29	48.41
6	0.000044	6.40	54.81
7	0.000037	5.30	60.11
8	0.000032	4.58	64.69
9	0.000027	3.98	68.67
10	0.000026	3.61	72.28

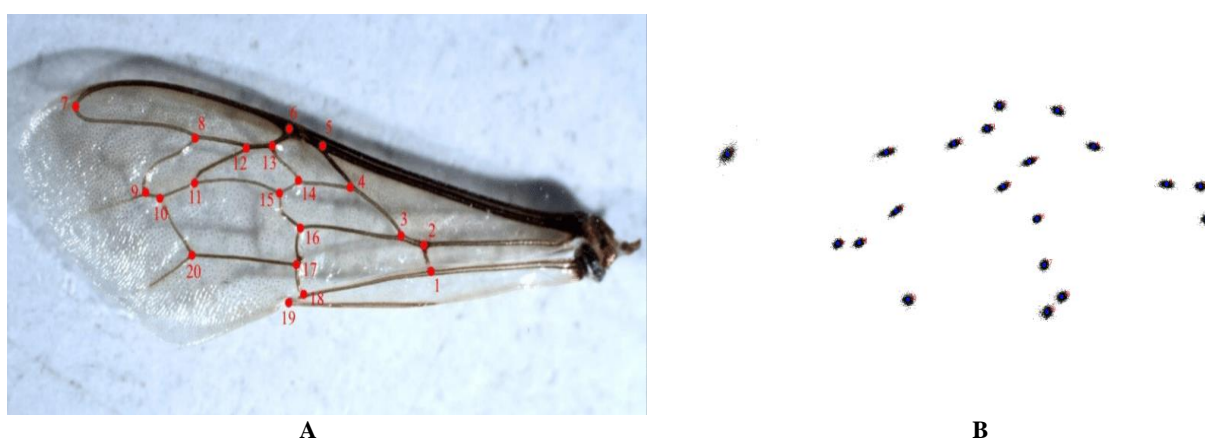


Figure 2.A. The Right forewing of *Apis mellifera* with 20 landmarks used to quantify wing shape variation. B. The landmark configurations of all wings after Procrustes superimposition. For each landmark, the blue circle indicates the location of the landmark for the average shape and the black dots indicate the locations for individual wings

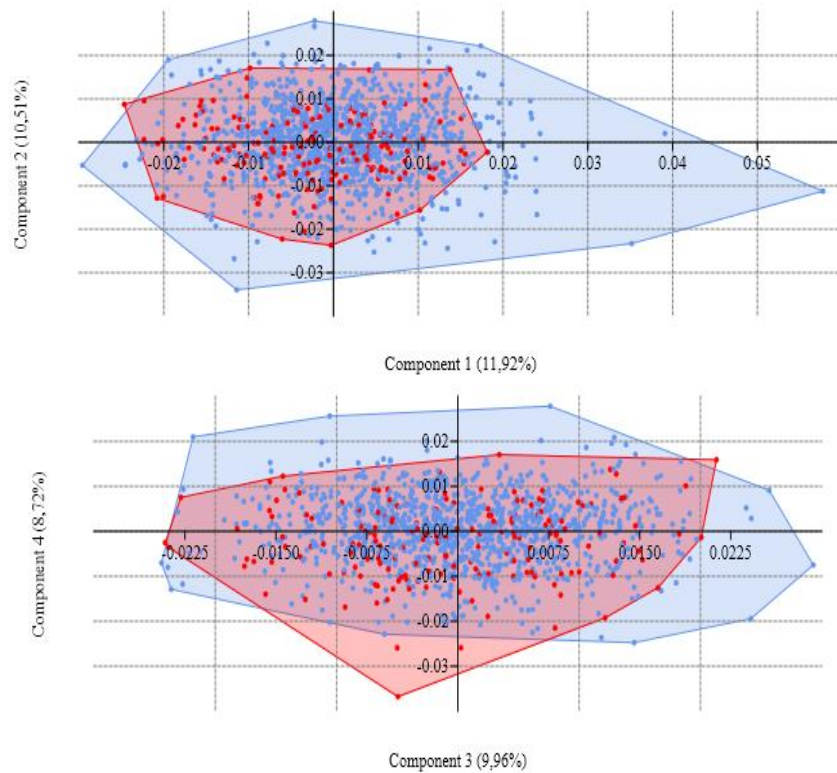


Figure 3. A principal component analysis (PCA) of the honey bees' right-wing configuration. A. PC1 accounted for 11.92% of the total shape variance of the total sample versus PC2, which accounted for 10.51%. B. Plot of PC3 (9.96% of total variation) and PC4 (8.72% of total variation). N = 1286 (*Apis mellifera intermissa* = 1106, *A. m. sahariensis* = 180)

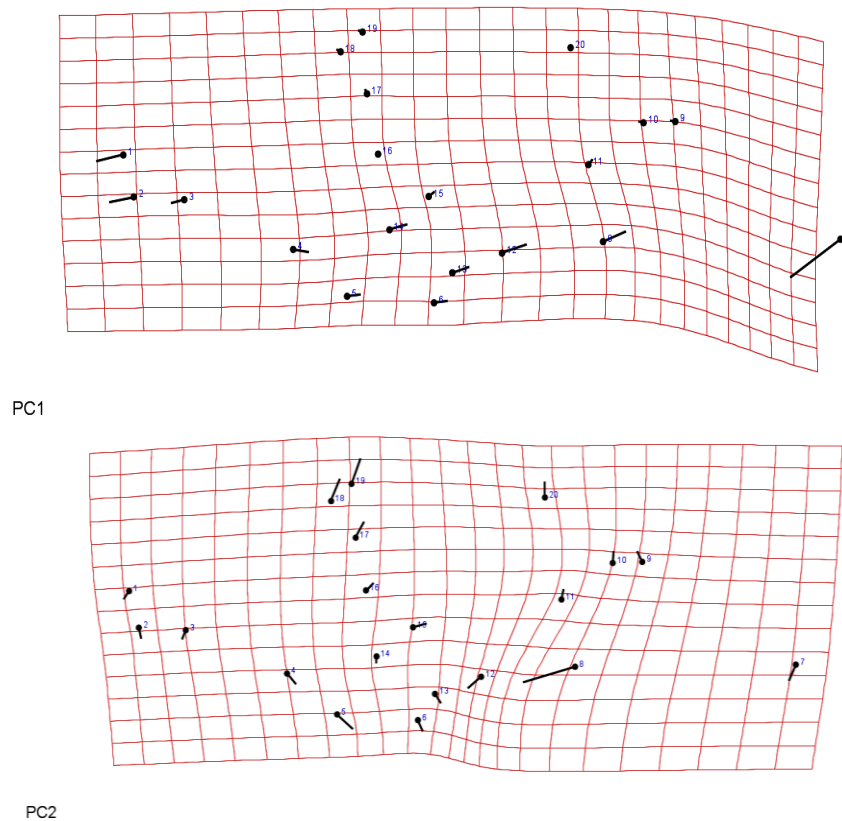


Figure 4. Graphs illustrating the wing shape variation in the honeybees from the western of Algeria. Deformation grids of PC1 and PC2 showing the shifts of landmark positions with straight lines with TPS. Each line starts with a dot at the landmark location in the starting shape (mean shape). The length and direction indicate the movement of the respective landmark until the target shape (scale factor x10 for better visibility)

Size and shape variation

The wing size calculated base on its logarithm (log CS) was not significantly different among the two subspecies studied (T-test = 2.3023; $P = 0.0214$) (Figure 5). In this regard, the difference among the subspecies could not be explained by their wing size difference. These findings contradict the previous study by Barour et al. (2016), where very high significant differences ($P < 0.001$) were found in wing centroid size between three subspecies *A. m. intermissa*, *A. m. sahariensis*, and *A. m. capensis*.

The averaged shape for each of the two subspecies used in this study is shown in Figure 6. High significant difference in right-wing shape was found between *A. m. intermissa* and *A. m. sahariensis* (permutation test 10,000 rounds, $P < 0.0001$) (Figure 7). Mahalanobis distance (1.0626) and Procrustes distance (0.0049) obtained between the two subspecies revealed very highly significant differences (permutation test 10,000 rounds, $P < 0.0001$). The jackknife classification procedure (cross-validation test) (Figure 8) showed that morphometric geometrics could distinguish between the two subspecies with a reliability rate of 68.3%. Considering the form (size + shape), the percentage of correctly classified specimens was slightly increased to 69.3%, which is consistent with the report of Barour et al. (2011). However, the findings of the current study are lower than the 99.5% and 79% reported by Salehi and Nazemi-Rafie (2020) and Kandemir et al. (2011), respectively. The accuracy classification can be improved even slightly, integrating other features of selection such as a hind wing or number of Hamuli (Barour et al. 2016). Additionally, Francoy et al. (2012) reported a significant increase in classification success when contour and landmark methodologies were combined. Furthermore, images of bees' wings in conjunction with computer vision and artificial intelligence techniques can be used to automate and facilitate the identification process of bee species (Fagundes et al. 2020). Similarly, Silva (2015) highlighted that the use of conjunction of morphometric and pixel-based features is more effective than only using morphometric features for discriminating species of bees.

Allometric effect

In the current study, the regression of the Procrustes coordinates on Log centroid size among subspecies (Figure 9) showed a highly significant difference (permutation test 10,000 rounds, $P < 0.0001$), but only 1.43% of total wing shape variation was explained by allometry. Moreover, the relationship between shape and size within each species showed that wing shape variation was significantly correlated to size in the two subspecies (permutation test with 10,000 rounds, $P < 0.0001$). Although the regression of shape variation on size was significant, the percentage of variation in wing shape explained by size changes was relatively small with 1.28% and 4.37% for *A. m. intermissa* and *A. m. sahariensis*, respectively. The present findings are consistent with the previous reports of Barour et al. (2011). During a GPA, only the isometric effects are removed, not the allometric effects (Outomuro and Johansson 2017). According to Skandalis et al. (2017), the

proper understanding of the origin of wing area allometry and how it influences flight performance has the potential to explain the diversification of organisms into their specialized ecological niche, including the general biomechanical evolution of flying animals.

Variations in wing size and shape among localities

The Shapiro-Wilk test revealed a normal distribution in the right forewing size in all provinces ($P > 0.05$). Results of One-way ANOVA of the mean forewing logCS (Table 3) showed significant differences among colonies from the twelve geographical localities ($F = 24.02$, $P = 0.0001$). The highest centroid size value was recorded in Tlemcen, while the smallest wing size was found in Tissemsilt and Relizane. Furthermore, the coefficient of variation of forewing size ranged from 24.1% to 40.7%, indicating relative homogeneity or heterogeneity of the honey bee populations. Overall, the current findings are consistent with the reports of Barour et al. (2011) and Prado-Silva et al. (2016). In Iraq, Sultan (2015) reported no significant differences in the size and shape of the right front wings of honeybee worker *A. mellifera* collected from two distinct geographic areas of Baghdad and Diyala.

The Doornik-Hansen test for multivariate normality revealed that the shape data in all geographic areas were not normally distributed. Box's M-test revealed heterogeneity of the variance-covariance matrices for right forewing shape variables ($F = 1.259$, $P < 0.0001$). Results of the non-parametric MANOVA-test (PERMANOVA) showed highly significant differences in the right forewing shape among the twelve geographic areas studied ($F = 6.394$, $P < 0.0001$, permutation $N = 10,000$). Post-hoc pairwise comparisons revealed significant differences ($P < 0.01$) among all study zones except between Mostaganem and Saida provinces ($P > 0.05$). Prado-Silva et al. (2016) also reported significant effect of geographic zone in forewing shape of *Melipona mandacaia*.

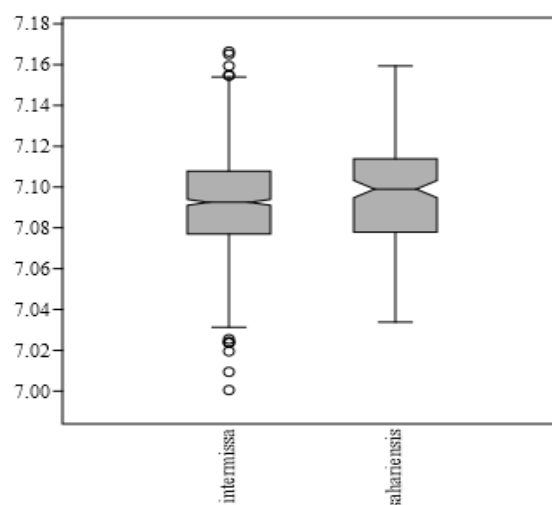


Figure 5. Box plot showing log centroid size of right wings for *Apis mellifera intermissa* and *A. m. sahariensis* ($P = 0.214$). Circles mark the atypical values of CS

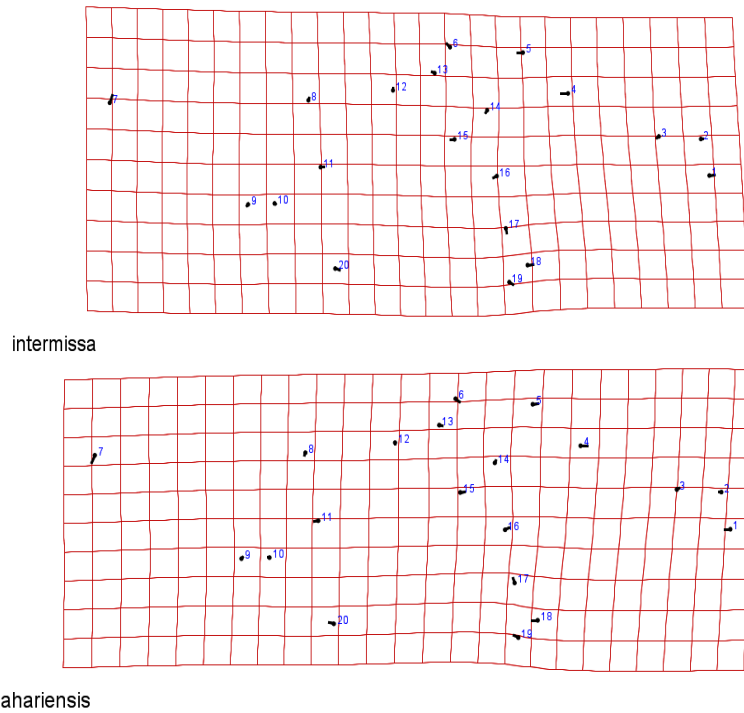
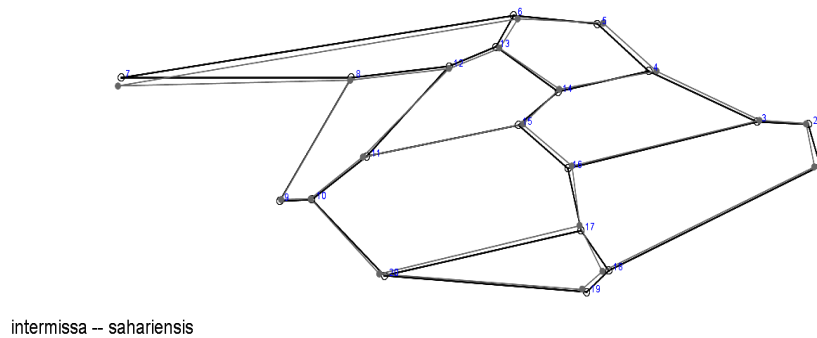


Figure 6. The thin-plate spline grid showing the averaged forewing shape for *Apis mellifera intermissa* (above) and *A.m. sahariensis* (below) (scale factor x10 for better visibility)



intermissa -- sahariensis

Figure 7. Wireframe scheme showing the forewing shape differences between *Apis mellifera intermissa* and *A. m. sahariensis* using MorphoJ. Blackline for the positive side and grey and line for the negative side of the canonical (Scale factor x5 for better visibility of the shape differences)

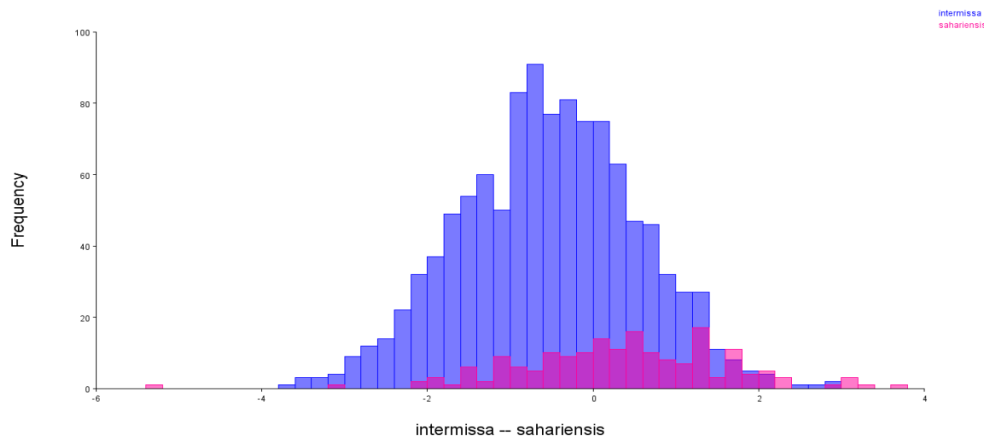


Figure 8. Results of the cross-validation test for the discriminant function in wing shape between *Apis mellifera intermissa* and *A. m sahariensis* subspecies

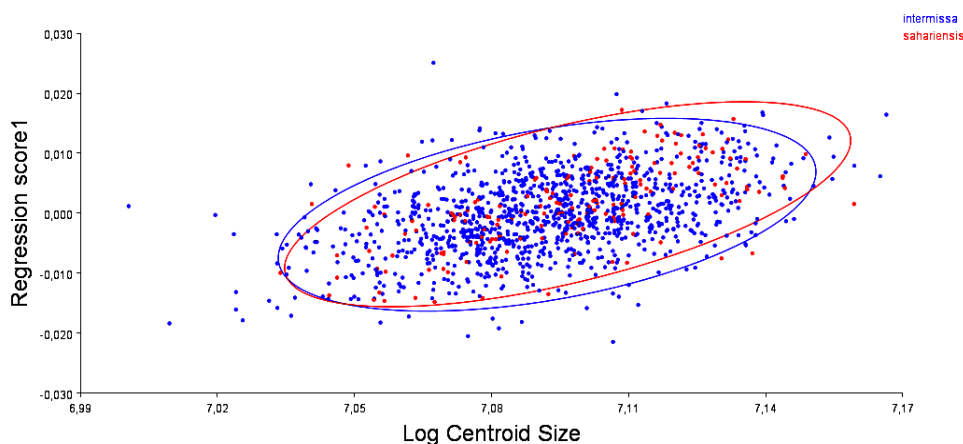


Figure 9. Multivariate regression scores of the wing Procrustes shape coordinates by log centroid size with 95% confidence ellipses

Table 3. Mean, standard deviation and coefficient of variation (%) of log centroid size for each study province

Locality	N	LogCS	SD	CV (%)
Tlemcen	99	7.107 ^g	0.022	30.4
Tiaret	100	7.092 ^{cde}	0.024	33.2
Saida	100	7.105 ^g	0.017	24.1
Sidi Belabbès	170	7.098 ^{defg}	0.023	31.7
Mostaganem	120	7.089 ^{bcd}	0.018	25.0
Mascara	99	7.087 ^{bc}	0.026	36.9
Oran	98	7.101 ^{efg}	0.025	35.4
El-Bayedh	100	7.082 ^{ab}	0.023	32.3
Tissemsilt	100	7.076 ^a	0.021	29
Nâama	100	7.103 ^{fg}	0.021	29.3
Ain Temouchent	100	7.093 ^{cdef}	0.017	23.5
Relizane	100	7.076 ^a	0.029	40.7

Note: Values with different superscript letters are significantly different ($P < 0.001$), SD: standard deviation, CV: coefficient of variation

The first five axes of the canonical variate analysis (CVA) exhibited nearly 76% of the variation in forewing shape between the geographical zones (Table 4). However, the forewing shapes of the populations were not clearly distinguished on all scatter plots (not shown), and no cluster population-based on wing shape was identified. Charistos et al. (2014) also reported that the CVA and the PCA results appeared to detect differences between the honey bee populations from Greece. In their study, Dolati et al. (2013) highlighted that front wing measures discriminated area populations better than hind wing measures using a geometric morphometric method and further reported that populations with small geographical distances had more morphological similarities. Nonetheless, Prado-Silva et al. (2016) reported no significant morphometric differences in *Melipona mandacai* in relation to altitude, but both fore wing size and shape were correlated to geographic distance.

Based on the locality level, the cross-validation test showed low percentages of correctly classified specimens ranging from 23% to 46.5% in all provinces studied (Table 5). These values are lower than the correct identification rate of 68.2% obtained for European honey bee populations

from nine geographical zones in Iran (Dolati et al. 2013). The differences observed could be due to genetic, environmental, and abiotic factors, which according to Dolati et al. (2013) could influence wing shape. Also, the overlapping in the PCA results and the low rate of correct classification may indicate of hybridization between regions with a possible gene flow. Therefore, further studies must be taken into account, as the genetic divergence hypothesis appears to be appropriate not only at the horizontal level of northeast, north-middle and northwest of Algeria, but also at the northern, central and southern Algeria vertical level.

Table 4. The first five canonical variates for the discrimination of the 12 honey bee populations.

CV	Eigenvalues	% Variance	% Cumulative
1	0.407209	21.940000	21.940000
2	0.336480	18.129000	40.069000
3	0.306446	16.511000	56.579000
4	0.209595	11.293000	67.872000
5	0.150482	8.108000	75.980000

Table 5. Percentage of correctly classified specimens in each city performed using a permutation test with 10,000 rounds

Locality	% correctly classified (No. of correctly classified/ Total no. of specimens)
Tlemcen	46.5% (46/99)
Tiaret	23% (23/100)
Saida	26% (26/100)
Sidi Belabbès	30.6% (52/170)
Mostaganem	43.3% (52/120)
Mascara	25.3% (25/99)
Oran	43.9% (43/98)
El-Bayedh	28% (28/100)
Tissemsilt	34% (34/100)
Nâama	45% (45/100)
Ain Temouchent	41% (41/100)
Relizane	35% (35/100)
Overall %	34.8%

According to the UPGMA dendrogram showing phenetic relationships of forewing morphology based on the Mahalanobis distances between the 12 geographical localities under study, there were two main clusters initially (Figure 10). Tiaret and Naama provinces (highlands zone) were categorized into the first cluster. All the remaining provinces representing different agro-ecological zones (highlands, plains, and coastal zone) belonged to the second cluster. This suggests that geographic obstacles play no significant role in controlling the two subspecies' geographic repartition. These findings are in agreement with what was reported in Romania by Coroian et al. (2014), where the Carpathians mountains had only limited

impact on the biogeography of both *A. m. carnica* and *A. m. macedonica* subspecies. However, subspecies differentiation according to the same authors, strongly correlated with the various temperature zones. Similarly Rattanawanee et al. (2012) found no clear separation of *Apis dorsata* populations collected from five principal geographic locations in mainland Thailand. In the northwestern Algerian area under study, the Ruttner's classification (Ruttner 1988) referred subspecies is thus no longer recognized. It has been reported that migratory beekeeping can form differences within populations (Arias et al. 2006; Marghitas et al. 2008). The unregulated movements of beekeeping, trading colonies and importing queens are all dangerous activities for beekeeping. Honeybee biodiversity must therefore be maintained through some creative approaches such as setting up conservation areas for the native subspecies, fertilization stations, and even using artificial insemination to mitigate the impact of polyandry for queens. This may help beekeepers eliminate colonies that differ the most from their preferred native subspecies (Nawrocka et al. 2018).

In conclusion, this study evidenced that geometric morphometrics using the forewing proved to be a useful tool in discriminating the two native subspecies of Algeria *A. m. intermissa* and *A. m. sahariensis*. Moreover, in the present research, the results showed that Ruttner classification is no longer respected, and geographic barriers seem to be unreliable in protecting the natural distribution of the two subspecies. Further exploration based on genetic markers is necessary to determine the contribution of genetic differentiation in the morphological findings.

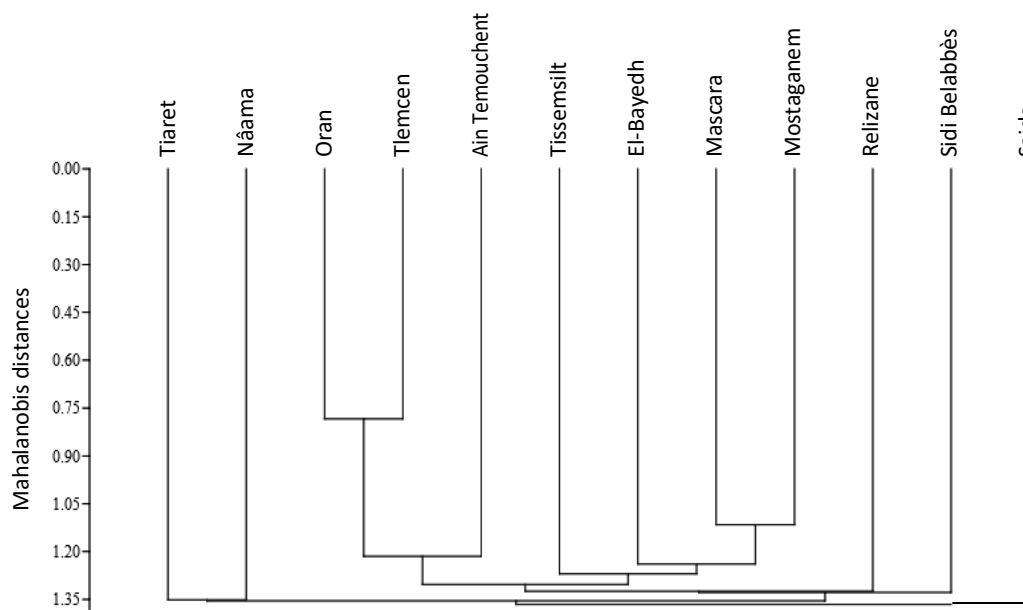


Figure 10. A dendrogram produced by the Unweighted Pair-Group method (UPGMA) showing phenetic relationships of forewing morphology based on the Mahalanobis distances between the 12 geographical localities

ACKNOWLEDGEMENTS

We gratefully acknowledge the beekeepers for politely providing the bee samples. Particular thanks go to İrfan Kandemir from the Department of Biology, Faculty of Science, Ankara University, Tandoğan, Turkey, for his help with landmark digitalization. We also wish to thank La Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique, Algeria for the financial support of the study.

REFERENCES

- Abdelnour SA, Abd El-Hack ME, Alagawany M, Farag MR, Elnesr SS. 2019. Beneficial impacts of bee pollen in animal production, reproduction and health. *J Anim Physiol Anim Nutr* 103: 477-484. DOI: 10.1111/jpn.13049.
- Adjlane N, Dainat B, Gauthier L, Dietemann V. 2016. Atypical viral and parasitic pattern in Algerian honey bee subspecies *Apis mellifera intermissa* and *A. m. sahariensis*. *Apidologie* (47): 631-641 DOI: 10.1007/s13592-015-0410-x.
- Arias MC, Rinderer TE, Sheppard WS. 2006. Further characterization of honeybees from the Iberian peninsula by allozyme, morphometric and mtDNA haplotype analyses. *J Apic Res* 45 (4): 188-196.
- Arias MC, Sheppard WS. 1996. Molecular phylogenetics of honey bee subspecies (*Apis mellifera* L.). *Mol. Phylogenet. Evol.* 5: 557-566.
- Baldock K CR. 2020. Opportunities and threats for pollinator conservation in global towns and cities. *Curr Opin Insect Sci* (38): 63-71. DOI: 10.1016/j.cois.2020.01.006.
- Barour C, Baylac M. 2016. Geometric morphometric discrimination of the three African honeybee subspecies *Apis mellifera intermissa*, *A. m. sahariensis* and *A. m. capensis* (Hymenoptera, Apidae): Fore wing and hind wing landmark configurations. *J Hymenopt Res* 52: 61-70. DOI: 10.3897/jhr.52.8787
- Barour C, Tahar A, Baylac M. 2011. Forewing shape variation in Algerian honeybee populations of *Apis mellifera intermissa* (Buttel-Reepen, 1906) (Hymenoptera: Apidae): A landmark based geometric morphometrics analysis. *Afr Entomol* 19 (1): 11-22. DOI: 10.4001/003.019.0101
- Bodur C, Kence M, Kence A. 2007. Genetic structure of honeybee, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) populations of Turkey inferred from microsatellite analysis. *J Apic Res* (46): 50-56.
- Bookstein FL. 1991. *Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology*. Cambridge University Press, New York: 435 pp.
- Brown, MJF, Paxton RJ. 2009. The conservation of bees: a global perspective. *Apidologie* 40: 410-416. DOI: 10.1051/apido/2009019.
- Bustamante T, Baiser B, Ellis JD. 2020. Comparing classical and geometric morphometric methods to discriminate between the South African honey bee subspecies *Apis mellifera scutellata* and *Apis mellifera capensis* (Hymenoptera: Apidae). *Apidologie (Celle)* 51: 123-136. DOI: 10.1007/s13592-019-00651-6.
- Byrne A, Fitzpatrick Ú. 2009. Bee conservation policy at the global, regional and national levels. *Apidologie* 40 (3): 194-210. DOI: 10.1051/apido/2009017.
- Charistos L, Hatjina F, Bouga M, Mladenovic M, Maistros A 2014. Morphological DISCRIMINATION of Greek honey bee populations based on geometric morphometrics analysis of wing shape. *J Api Sci* 58 (1): 75-84. Doi: 10.2478/jas-2014-0007.
- Cornara L, Biagi M, Xiao J, Burlando B. 2017. Therapeutic Properties of Bioactive Compounds from Different Honeybee Products. *Front Pharmacol* 8: 412. DOI: 10.3389/fphar.2017.00412.
- Coroian CO, Muñoz I, Schlüns EA, Paniti-Teleky OR, Erler S, Furdui EM, Mărghițaș LA, Dezmirean DS, Schlüns H, De la Rúa P, Moritz RFA. 2014. Climate rather than geography separates two European honeybee subspecies. *Mol Ecol* 23 (9): 2353-2361. DOI: 10.1111/mec.12731.
- Dellicour S, Gerard M, Prunier JG, Dewulf A, Kuhlmann M, Michez D. 2017. Distribution and predictors of wing shape and size variability in three sister species of solitary bees. *PLoS One* 12 (3): e0173109. DOI: 10.1371/journal.pone.0173109.
- DeVries PJ, Penz CM, Hill RI. 2010. Vertical distribution, flight behaviour and evolution of wing morphology in Morpho butterflies: Wing evolution in Morpho butterflies. *J Anim Ecol* 79: 1077-1085.
- Dolati L, NazemiRafie J, Khalesro H. 2013. Landmark-based morphometric study in the fore and hind wings of an Iranian Race of European honeybee (*Apis mellifera meda*). *J Apic Sci* 57: 187-197.
- Doornik JA, Hansen H. 2008. An omnibus test for univariate and multivariate normality. *Oxf Bull Econ Stat* 70: 927-939.
- Eilers EJ, Kremen C, Greenleaf SS, Garber AK, Klein, A-M. 2011. Contribution of pollinator-mediated crops to nutrients in the human food supply. *PLoS One* 6 (6): e21363. DOI: 10.1371/journal.pone.0021363.
- Fagundes J, Rebelo A, Digiampietri L, e Biscaro H. 2020. Fully automatic segmentation of bee wing images. *Revista Brasileira de Computação Aplicada* 12 (2): 37-45. DOI: 10.5335/rbca.v12i2.10420.
- Francis BR, Blanton WE, Nunamaker RA. 1985. Extractable surface hydrocarbons of workers and drones of the genus *Apis*. *J Apic Res* 24: 13-26.
- Francoy TM, Faria Franco F, Roubik DW. 2012. Integrated landmark and outline-based morphometric methods efficiently distinguish species of *Euglossa* (Hymenoptera, Apidae, Euglossini). *Apidologie (Celle)* 43: 609-617. DOI: 10.1007/s13592-012-0132-2.
- Francoy TM, Imperatriz-Fonseca VL. 2010. A morfometria geométrica das asas e a identificação automática de espécies de abelhas. *Oecologia Aust* 14 (1): 317-321.
- Francoy TM, Prado PRR, Goncalves LS, Costa LF, DeJong D. 2006. Morphometric differences in a single wing cell can discriminate *Apis mellifera* racial types. *Apidologie* 37: 91-97.
- Francoy TM, Wittmann D, Drauschke M, Müller S, Steinhage V, Bezerra-Laure MAF, De Jong D, Gonçalves LS. 2008. Identification of Africanized honey bees through wing morphometrics: two fast and efficient procedures. *Apidologie* 39: 488-494.
- Freitas BM, Imperatriz-Fonseca VL, Medina LM, Kleinert ADP, Galetto L, Nates-Parra G, Quezada-Euan JGG. 2009. Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. *Apidologie* 40: 332-346.
- Gallai N, Salles J-M, Settele J, Vaissière BE. 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol Econ* 68 (3): 810-821. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.06.014ff.
- Gidaszewski, NA, Baylac M, Klingenberg CP. 2009. Evolution of sexual dimorphism of wing shape in the *Drosophila melanogaster* subgroup. *BMC Evol Biol* 9: 110. DOI: 10.1186/1471-2148-9-110.
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol Electron* 4: 9.
- Henriques D, Chávez-Galarza J, Teixeira JSG, Ferreira H, Neves CJ, Francoy TM, Pinto MA. 2020. Wing geometric morphometrics of workers and drones and single nucleotide polymorphisms provide similar genetic structure in the Iberian honey bee (*Apis mellifera iberiensis*). *Insects* 11 (2): 89. DOI: 10.3390/insects11020089.
- Henry M, Béguin M, Requier F, Rollin O, Odoux JF, Aupinel P, Aptel J, Tchamitchian S, Decourtye A. 2012. A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. *Science* 336 (6079): 348-350.
- Hepburn HR, Radloff SE. 1996. Morphometric and pheromonal analyses of *Apis mellifera* L. along a transect from the Sahara to the Pyrenees. *Apidologie* 27 (1): 35-45. DOI: 10.1051/apido:19960105.
- Kandemir I, Özkan A, Fuchs S. 2011. Reevaluation of honeybee (*Apis mellifera*) microtaxonomy: A geometric morphometric approach. *Apidologie (Celle)* 42: 618-627. DOI: 10.1007/s13592-011-0063-3.
- Klein AM, Vaissiere BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc R Soc B Biol Sci* 274 (1608): 303-313.
- Klingenberg CP. 1996. Multivariate Allometry. *Adv Morphometrics*. DOI: 10.1007/978-1-4757-9083-2_3
- Klingenberg CP. 2011. MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. *Mol Ecol Resour* 11: 353-357.
- Kremen C, Ricketts T. 2000. Global perspectives on pollination disruptions. *Conserv Biol* 14: 1226-1228.
- Lavine BK, Vora MN. 2005. Identification of Africanized honeybees. *J Chromatog A* 1096: 69-75. DOI: 10.1016/j.chroma.2005.06.049.
- Lima Júnior CA, Carvalho CAL, Nunes LA, Francoy TM. 2012. Population divergence of *Melipona scutellaris* (Hymenoptera:

- Meliponina) in two restricted areas in Bahia, Brazil. *Sociobiology* 59 (1): 107-122. DOI: 10.13102/sociobiology.v59i1.670.
- Mahammi FZ, Gaouar SBS, Tabet-Aoul N, Tixier-Boichard M, Saïdi-Mehtar N. 2014. Caractéristiques morpho-biométriques et systèmes d'élevage des poules locales en Algérie occidentale (Oranie). *Cah Agric* (23): 382-392. DOI: 10.1684/agr.2014.0722
- Marghitas AL, Paniti-Teleyk O, Dezmarean D, Rodica M, Cristina B, Coroian C, Laura L, Adela M. 2008. Morphometric differences between honeybees (*Apis mellifera carpatica*) populations from Transylvanian area. *Lucrări științifice-Zootehnie și Biotehnologii* 41 (2): 309-315
- Martimianakis S, Klossa-Kilia, Bouga M, George K. 2011. Phylogenetic relationships of Greek *Apis mellifera* subspecies based on sequencing of mtDNA segments (COI and ND5). *J Apic Res* 50 (1): 42-50. DOI: 10.3896/IBRA.1.50.1.05.
- Miguel I, Baylac M, Iriondo M, Manzano C, Garney L, Estonba A. 2011. Both geometric morphometrics and microsatellite data support the differentiation of the *Apis mellifera* M evolutionary branch. *Apidologie (Celle)* 42 (2): 150-161. DOI: 10.1051/apido/2010048.
- Mosimann JE. 1970. Size allometry: size and shape variables with characterizations of the lognormal and generalized gamma distributions. *J Am Stat Assoc* (65): 930-945. DOI:10.2307/2284599.
- Nawrocka A, Kandemir İ, Fuchs S, Tofilski A. 2018. Computer software for identification of honey bee subspecies and evolutionary lineages. *Apidologie (Celle)* 49: 172-184. DOI: 10.1007/s13592-017-0538-y. DOI: 10.1007/s13592-017-0538-y
- Nazzi F, Brown S P, Annoscia D, Del Piccolo F, Di Prisco G, Varricchio P, Vedova GD, Cattonaro F, Caprio E, Pennacchio F. 2012. Synergistic parasite-pathogen interactions mediated by host immunity can drive the collapse of honeybee colonies. *PLoS Pathogens* 8 (6): DOI: 10.1371/journal.ppat.1002735.
- Oleksa A, Tofilski A. 2014. Wing geometric morphometrics and microsatellite analysis provide similar discrimination of Honey Bee subspecies. *Apidologie (Celle)* 46: 49-60. DOI: 10.1007/s13592-014-0300-7.
- Outomuro D, Johansson FA. 2017. Potential pitfall in studies of biological shape: Does size matter? *J Anim Ecol* 86: 1447-1457. DOI: 10.1111/1365-2656.12732.
- Pavlinov IY. 2001. Geometric morphometrics, a new analytical approach to comparison of digitized images. *Information Technology in Biodiversity Research: Abstracts of the 2nd International Symposium*. St. Petersburg: Russian Academy of Science, 44-64.
- Potts SG, Biesmeijer JC, Kremen C, Neumann P, Schweiger O, Kunin WE. 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends Ecol Evol* 25 (6): 345-353. DOI: 10.1016/j.tree.2010.01.007.
- Prado-Silva A, Nunes LA, De Oliveira Alves RM, Carneiro PLS, Waldschmidt AM. 2016. Variation of fore wing shape in *Melipona mandacai* Smith, 1863 (Hymenoptera, Meliponini) along its geographic range. *J Hymenopt Res* 48: 85-94. DOI: 10.3897/JHR.48.6619.
- Rattanawanee A, Chanchao C, Wongsiri S. 2012. Geometric morphometric analysis of giant honeybee (*Apis dorsata Fabricius*, 1793) populations in Thailand. *J Asia Pac Entomol* 15 (4): 611-618.
- Rohlf FJ. 2003. tpsRelw-Relative Warp Analysis, version 1.36. Stony Brook University, Stony Brook, NY.
- Rohlf FJ. 2005. tpsDig, digitize landmarks and outlines, version 2.05. Department of Ecology and Evolution. State University of New York at Stony Brook, NY.
- Rohlf FJ. 2015. tpsUtil, file utility program. version 1.61. Department of Ecology and Evolution. State University of New York at Stony Brook, NY.
- Ruttner F. 1988. *Biogeography and Taxonomy of Honeybees*. Springer, Berlin.
- Salehi S, Nazemi-Rafie J. 2020. Discrimination of Iranian honeybee populations (*Apis mellifera meda*) from commercial subspecies of *Apis mellifera* L. using morphometric and genetic methods. *J Asia Pac Entomol* 23: 591-598. DOI: 10.1016/j.aspen.2020.04.009.
- Sandoval Ramirez CM, Nieves Blanco EE, Gutiérrez Marin R, Jaimes Mendez DA, Rodríguez NO, Otálora-Luna F, Aldana, E. J. 2015. Morphometric analysis of the host effect on phenotypical variation of *Belminus ferroae* (Hemiptera: Triatominae). *Psyche*: 1-12. DOI: 10.1155/2015/613614.
- Santos MAD, Juliandi B, Raffiudin R. 2018. Honey bees species differentiation using geometric morphometric on wing venations. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci* 197: 012015. DOI: 10.1088/1755-1315/197/1/012015.
- Sendaydiego JP, Torres MAJ, Demayo CG. 2013. Describing wing geometry of *Aedes aegypti* using landmark-based geometric morphometrics. *Intl J Biosci Biochem Bioinformatics* 3 (4): 3379-3383.
- Silva F. 2015. Automated Bee Species Identification through Wing Images. [Thesis]. University of Sao Paulo. [Brazilian].
- Skandalis DA, Segre PS, Bahlman JW, Groom DJE, Welch Jr, KCW, Witt CC, McGuire JA, Dudley R, Lentink D, Altschuler DL. 2017. The biomechanical origin of extreme wing allometry in humming birds. *Nat Commun* 8: 1047. DOI: 10.1038/s41467-017-01223-x.
- Slice DE. 2002. Morphueus, for morphometric research software. Department of Biomedical Engineering, Wake Forest University School of Medicine, Winston, Salem.
- Sontigun N, Sukontason KL, Zajac B, Zehner R, Sukontason K, Wannasan A, Amendt J. 2017. Wing morphometrics as a tool in species identification of forensically important blow flies of Thailand. *Parasit Vectors* 10: 229. DOI:10.1186/s13071-017-2163-z
- Sultan AA. 2015. Studying the variation of wing shape and size for Iraqi honey bee worker *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) collected from Baghdad and Diyala provinces by using geometric morphometric of wing. *Intl J Curr Res* 7 (1): 11319-11324.
- Tatsuta H, Takahashi KH, Sakamaki Y. 2018. Geometric morphometrics in entomology: Basics and applications. *Entomol Sci* 21 (2): 164-184. DOI: 10.1111/ens.12293. DOI: 10.1111/ens.12293.
- Tofilski A. 2008. Using geometric morphometrics and standard morphometry to discriminate three honeybee subspecies. *Apidologie (Celle)* 39: 558-563. DOI: 10.1051/apido:2008037.
- Ullah A, Tlak Gajger I, Majoros A, et al. 2020. Viral impacts on honey bee populations: A review. *Saudi J Biol Sci*. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.10.037.



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf USTO-MB
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Laboratoire de Génétique Moléculaire et Cellulaire



Participation certificate

This certifies that

Mrs. ABED Fouzia

has participated in the 1st International Webinar on “Valuation and Management of Animal Biodiversity”
(1st IW-VMAB) that was held on June 1st – 2nd, 2022 in ORAN, ALGERIA

With an Oral presentation entitled: “LA MORPHMETRIE GEOMETRIQUE, UN OUTIL FIABLE POUR LA DISCRIMINATION DES
SOUS ESPECES D'ABEILLES”

LGMC lab headmaster

President of webinar


مرزوق نعيمة دجبارية


Pr. Tabet Aoul Nacera



MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH
UNIVERSITY ABDELHAMID IBN BADIS MOSTATAGANEM
Faculty of Nature and Life Sciences



Attestation de Participation

Le Comité d'organisation des IX^{èmes} Journées Nationales des Sciences de la Nature et de la Vie qui se sont déroulées les 6 et 7 Novembre 2019 à Mostaganem, atteste que:

Mme, Mlle, M. **ABED FOUZIA** a participé au **JNSNV 2019** avec une Communication par affiche intitulée :
"Diagnostic de l'apiculture dans trois wilayas de l'Ouest algérien"

Avec comme co-auteurs : Bachir Bouiadjra Benabdallah, Haddad Ahmed, María Pilar De la RúaTarín.

Pr. Dina Lila SOUALILI

Doyenne de la Faculté

السيدة: د. دينا ليلي سويلي (أ.م.ع)
في السادة: أ.م.ع
كلية علوم الطبيعة
جامعة عبد الحميد بن باديس

Pr. Mohamed GHAFFOUR

Président du Comité d'organisation

السيد: محمد غافور
رئيس اللجنة المنظمة
للجائز الوطنية والبيئية
جامعة عبد الحميد بن باديس





*Ministry of Higher Education and Scientific Research
Abdelhamid IBN BADIS University Mostaganem, Algeria
Faculty of Nature and Life Sciences
Laboratory of Sciences and Technics of Animal Production*



Certificate of Attendance

This is to certify that

Fouzia ABED

Has participated in the first International Conference on Apiculture, Hive products and sustainable Development

25-27 November 2018/Mostaganem, Algeria

With oral communication titled:

Situation de l'apiculture dans la wilaya de Tiaret,

Co-authors : Benabdallah BACHIR BOUIADJRA, Ahmed HADDAD

President of Scientific Committee

Pr Nemmiche





Ministry of Higher Education and Scientific Research
 Abdelhamid IBN BADIS University Mostaganem, Algeria
 Faculty of Nature and Life Sciences
 Laboratory of Sciences and Technics of Animal Production



Certificate

of Participation

This certifies that

ABED Fouzia

has participated in the First Virtual National Conference on Animal Production
 01-03 June 2021 / Mostaganem, Algeria

With a oral communication:

Evaluation de la toxicité de l'imidaclopride chez l'abeille *Apis mellifera intermissa*

Co-authors: BACHIR BOUIADJRA Benabdallah, RADIA DJAMAIA Sabiha, SEDDAR YAGOUB Fatma,
 HADDAD Ahmed, HOMRANI Abdelkader

03/06/2021

DATE



The Conference President
Mr. HOMRANI Abdelkader
 Professeur en Sciences Animales
 SIG MATURE V.V.P.A 21



People's Democratic Republic of Algeria
Ministry of Higher Education and Scientific Research
University Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem
Faculty of Nature and Life Sciences



CERTIFICATE OF PARTICIPATION

The organizing committee of the 10th national days of natural and life sciences
"JNSNV'2021" which took place on 16, 17 and 18 November 2021 in Mostaganem,

Certifies that Mr, Mrs, Miss: **ABED Fouzia**

Participated with an oral communication entitled: *Statut sanitaire de la filière
apicole dans les wilayas : Tiaret, Relizane et Mostaganem*

With the co-authors: **BACHIR BOUADJRAA Benabdallah, SEDDAR YAGOURB
Fatma, HADDAD Ahmed, HOMRANI Abdelkader**

Pr.SOUALLI Dina Lila

Dean of the Faculty

مستغانم - جامعة مستغانم
مديرة كلية علوم الطبيعة
والحياة و الصحة
السيدة: دينا ليلي سوالي



Pr.GHAFFOUR Mohamed

Chair of the Organizing
Committee

مستغانم - جامعة مستغانم
مجلس المنظمة
السيد: محمد غافور

