

N° d'ordre 47/2018

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Présentée par

M^r : Nabil Errabhi

Spécialité : Ecologie et Biodiversité

**Contribution à la bioécologie des acridiens du Moyen Atlas :
comportement trophique et locomoteur / Lutte biologique**

Présentée et soutenue le 26 / 10 / 2018 devant le jury composé de :

Nom Prénom	Titre	Etablissement	
Aziz ALAOUI BELGHITI	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Président
Amal EL AMRANI	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Tanger	Rapporteur
Abdelali BLENZAR	PES	Faculté des Sciences de Meknès	Rapporteur
Raja GUEMOUH	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Rapporteur
Meryem BENJELLOUN	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Examinatrice
Khalid DERRAZ	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Examinateur
Lahsen EL GHADRAOUI Abderrahim LAZRAQ	PES PH	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Directeurs de thèse

Faouzi ERRACHID	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Invité
-----------------	---	--------

Laboratoire d'accueil : Ecologie Fonctionnelle et Environnement

Etablissement : Faculté des Sciences et Techniques

Résumé

Le Moyen-Atlas marocain est caractérisé par une richesse entomologique spécifique très variée. Il abrite un nombre élevé d'espèces acridiennes, dont la bio-écologie des populations mérite d'être bien approfondie. Dans le présent travail, nous nous sommes intéressés à des espèces acridiennes récoltées dans quatre stations différentes du Moyen-Atlas. Ainsi, nous avons essayé de comprendre la liaison existante entre un acridien et son milieu de vie. Pour ce faire, nous avons étudié, d'une part, le régime trophique des différentes espèces par la méthode d'analyse des fèces et par l'analyse de la composition des sensilles du labre et des antennes (modules de perception du végétal) ; d'autre part, les capacités des déplacements de ces espèces, par une approche de morphométries classique et géométrique. La dernière partie de notre travail, porte sur la lutte antiacridienne utilisant des huiles essentielles de certaines plantes aromatiques et médicinales. Les résultats obtenus montrent que les espèces étudiées sont caractérisées par une diversification au niveau de leur régime trophique. Cette diversité est sous l'influence de nombreux facteurs, dont la capacité des déplacements des individus, la composition des chimiorécepteurs du labre et des antennes, ainsi que la nature du couvert végétal.

Des traits morphologiques étudiés, les organes du vol se montrent très liés à la taille de l'individu. Ces derniers sont bien impliqués dans la capacité des déplacements d'une espèce. Ainsi, les individus dont les élytres ont la partie distale bien développée, sont capables de se déplacer sur de grandes distances. Par l'analyse "*Procuste Généralisée*", nous avons pu confirmer le rôle du thorax dans le maintien du vol d'un acridien. Des espèces ayant les deux parties du thorax, prothorax et mésothorax, bien développées sont de meilleures voilières.

En dernier lieu, nous avons montré que les plantes aromatiques et médicinales étudiées ont des effets néfastes sur la survie des acridiens, effets dépendants de la composition chimique de leurs essences végétales. Ces dernières peuvent servir de substances alternatives aux substances chimiques utilisées dans la lutte antiacridienne.

Cette étude bioécologique des espèces acridiennes du Moyen-Atlas, nous sera d'une bonne contribution dans l'élaboration d'une méthode de lutte préventive, plus efficace contre les acridiens nuisibles.

Mots clés : Moyen-Atlas, acridiens, régime trophique, capacités de déplacements, lutte antiacridienne.

Abstract

The Moroccan Middle Atlas is characterized by an important entomological richness. It shelters a large number of locust species; whose population deserves to be thoroughly studied. In the present work, we are interested in locust species collected in four different stations of the Middle Atlas. Thus, we tried to understand the existing link between locust and its environment.

On the first hand, we studied the dietary of the different species by several methods, namely feces, labrum and antennal sensilla analysis. On the other hand, the displacement capabilities of these species, by a classical and geometric morphometrical approach.

The last part of this study, deals with locust control, using essential oils from some aromatic and medicinal plants.

The obtained results, show that the studied species are characterized by a diversification in their dietary. This diversity is influenced by many factors, including the individual's displacement ability, the labrum and antennal chemoreceptors composition, and the nature of the vegetation cover.

From morphological analysis, we distinguish that the organs of flight are very closely related to the size of the individual. These features are well involved in the movement capacity of a species. Thus, the individuals whose elytra have a well-developed distal part, are able to move over great distances. By the "Generalized Procrustes" analysis, we were able to confirm the role of the thorax in maintaining the flight of a locust. Species with, prothorax and mesothorax, well developed are better flying species.

Finally, we have shown that the aromatic and medicinal plants, have detrimental effects on the survival of locusts. These effects are depending on the essence's composition. These can serve as alternatives to the chemical products used in locust control.

This bioecological study of the locust species of the Middle Atlas will be a good contribution to the development of a preventive control method, more effective against locusts.

Key words : Middle Atlas, locusts, dietary, displacement ability, locust control

ملخص

يتميز الأطلس المتوسط المغربي بثراء حشري كبير، بحيث يحتوي على أعداد كبيرة من أنواع الجراد التي تستلزم منا دراسة شاملة. خلال هذا العمل، تم جرد أنواع الجراد من المحطات الأربع المتواجدة في الأطلس المتوسط، بغرض فهم العلاقة القائمة بين الجراد وبيئته من ناحية، ومن ناحية أخرى قمنا بدراسة النظام الغذائي للأنواع المختلفة من خلال عدة طرق، بالنسبة للتقنية الأولى ثم الاعتماد على تحليل مخلفات الجراد الصلبة، بينما في التقنية الثانية قمنا بتعداد المستقبلات الكيميائية المتواجدة على مستوى قرون الاستشعار من أجل دراسة النظام الغذائي لهذه الحشرات.

يتميز الشق الثاني من هذا البحث بدراسة قدرات التنقل عند هذه الأنواع، من خلال مقارنة مورفولوجية كلاسيكية وهندسية. أما الجزء الأخير من هذه الدراسة فيتناول مكافحة الجراد باستخدام الزيوت الأساسية لبعض النباتات الطبية والعطرية. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها، أن الأنواع التي تمت دراستها تتميز بتنوع في نظامها الغذائي، إلا أن هذا التنوع يتأثر بالعديد من العوامل، بما في ذلك قدرة الفرد على التنقل، والتكيف الوظيفي للمستقبلات الكيميائية، وطبيعة الغطاء النباتي. يبين التحليل الهندسي لمورفولوجيا الأجنحة الجلدية العلوية، أنها ترتبط ارتباطاً وثيقاً بحجم الفرد. وتختلف هذه الميزات بشكل ملحوظ من نوع إلى آخر وهكذا، فإن الأنواع التي لديها الجزء المحيطي من الأجنحة متطور، فإنها تعتبر قادرة على الطيران لمسافات أطول. عند تعميم هذه النتائج على شكل الصدر عند العينات المدروسة، كنا قادرين على تأكيد دور هذا الأخير كدعامة أساسية في الحفاظ على ثبات الجراد أثناء التحليق.

وأخيراً، أظهرنا أن النباتات العطرية والطبية، لها آثار ضارة على بقاء الجراد. هذه الآثار الجانبية هي نتيجة المكونات الكيميائية للنباتات الطبية والعطرية المستعملة في هذه الدراسة. وبذلك، يمكن أن تكون بمثابة بدائل للمنتجات الكيميائية المستخدمة في مكافحة الجراد.

وفي الأخير، يمكن لهذه الدراسة البيولوجية لأنواع الجراد في الأطلس المتوسط أن تساهم بشكل جيد في تطوير طريقة وقائية وأكثر فعالية ضد الجراد.

كلمات مفتاحية: الأطلس المتوسط، جراد، نظام غذائي، القدرة على التنقل، مكافحة الجراد.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance, de respect et de gratitude à la mémoire de mon père que j'espère par ce succès avoir pu réaliser ses volontés, à ma très chère mère qu'aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont elle ne cesse de me combler, que dieu la procure bonne et longue vie. À ma très chère épouse Amal Merci d'être toujours à mes côtés, par ta présence et ta tendresse, pour donner du goût et du sens à notre vie de famille. Mon frère Imad et mes sœurs, vous avez tous mes gratitudes, que Dieu vous garde sur la bonne voie. A mes chers amis Abdelkader et Taoufik je vous souhaite un avenir plein de santé et de prospérité

N.A.B.F.L



REMERCIEMENT

Louange à Dieu tout puissant de m'avoir accordé la force, la patience et la volonté pour accomplir ce modeste travail.

Il m'est agréable d'exprimer ma profonde gratitude et mes plus vifs remerciements à Monsieur EL GHADRAOUI LAHSEN, professeur à la faculté des sciences et techniques de Fès, d'avoir bien voulu diriger ce travail. Je vous remercie pour avoir dirigé ce travail. Je tiens à exprimer ma gratitude pour votre gentillesse, votre rigueur et votre façon de travail, surtout votre patience dans la correction de cette thèse. Je vous dois mon apprentissage sur la rigueur scientifique, le souci du détail et l'esprit de synthèse. Je remercie le destin de m'avoir donné la chance de travailler sous votre direction. Vous avez tout mon respect.

Je remercie également Monsieur LAZRAQ ABDERRAHIM, professeur à la faculté des sciences et techniques de Fès, qui m'a fait l'honneur d'assurer le suivi de ce travail, sans oublier Monsieur le professeur ERRACHIDI FAOUZI pour sa bienveillance et ses astuces qui m'ont facilité le travail.

J'exprime mon respect le plus profond et ma gratitude à Monsieur le Professeur AZIZ ALAOUI BELGHITI qui m'a fait l'honneur d'assurer la présidence du jury de ce travail de thèse, mes vives remerciements vont également à Madame la professeure AMAL EL AMRANI de la Faculté des Sciences et Techniques de Tanger d'avoir accepté d'examiner ce travail et d'avoir supporté les ennuis du voyage depuis Tanger, je vous remercie chaleureusement, ainsi Monsieur le professeur ABDELALI BLENZAR de la Faculté des Sciences de Meknès pour ses remarques pertinentes me permettant ainsi de bénéficier de son expertise, également pour sa participation à la concrétisation des principes de ce travail en profondeur, qu'il trouve ici tous les respects les plus sincères. Un grand merci à Madame RAJA GUEMMOUH, mon ancienne professeure à la Faculté des Sciences Dhar el Mehraz de Fès, je vous dois tout le respect vous êtes l'exemple de la persévérance scientifique.

Mes professeurs MERYEM BENJELLOUN et KHALID DERRAZ Je les remercie pour le temps qu'ils ont consacré à juger ce travail et porter leurs remarques enrichissantes, je tiens à leur exprimer ma respectueuse considération.

Enfin je tiens à remercier tous les professeurs du département du science de la vie, qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail et à leur têtes Madame la professeure AMAL AZZOUZI.

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Familles et sous-familles de la super-famille des Acridoidae.....	6
Tableau 2 : Principaux insecticides chimiques utilisés en lutte antiacridienne.....	36
Tableau 3 : Données géoclimatiques des quatre stations prospectées	42
Tableau 4 : Composition floristique (familles, genre et espèces) des 4 stations d'étude	74
Tableau 5 : Distribution des espèces dans les quatre stations.	75
Tableau 6 : Corrélation entre la largeur du labre et le nombre de sensilles	84
Tableau 7 : Nombre moyen des sensilles des antennes des 13 espèces étudiées	97
Tableau 8 : Composition chimique des HE de <i>Rosmarinus officinalis</i>	118
Tableau 9 : ANOSIM entre les quatre groupes de chémotypes	120
Tableau 10 : Composition moyenne des huiles essentielles du Romarin par analyse de SIMPER	121
Tableau 11 : Mesures des traits morphologiques des mâles des différentes espèces acridiennes...	144
Tableau 12 : Mesures des traits morphologiques des femelles des espèces étudiées	148

Liste des figures

Figure 1 : Morphologie externe d'un acridien	8
Figure 2 : Schéma de la tête d'un criquet en vue frontale	9
Figure 3 : Vue globale du tentorium (d'après Aramel)	10
Figure 4 : Position des antennes sur la tête d'un criquet.....	10
Figure 5 : Différents segments de l'antenne observés au microscope électronique	11
Figure 6 : Organes sensoriels sur la tête d'un criquet.....	12
Figure 7 : Pièces buccales du criquet	12
Figure 8 : Thorax d'un acridien en vue ventrale	13
Figure 9 : Patte postérieure d'un acridien.....	14
Figure 10 : Structure de l'aile postérieur, antérieur et la veine chez un acridien	14
Figure 11 : Schéma du pronotum d'un acrididae	15
Figure 12 : <i>Locusta migratoria</i> , morphologie de l'abdomen du mâle (vue latérale).....	16
Figure 13 : Extrémité abdominale du mâle d'un criquet.....	16
Figure 14 : Extrémité abdominale de la femelle d'un criquet	17
Figure 15 : Schéma du tube digestif d'un criquet	18
Figure 16 : Appareil respiratoire chez le criquet	19
Figure 17 : Position des stigmates sur les bords latéraux de l'abdomen	20
Figure 18 : Appareil génital mâle	21
Figure 19 : Appareil génital femelle	21
Figure 20 : Oothèque rassemblant les œufs du criquet pèlerin " <i>Schistocerca gregaria</i> "	23
Figure 21 : Localisation géographique des différentes stations étudiées dans le Moyen-Atlas	43
Figure 22 : Technique utilisée dans le dénombrement des criquets	45

Figure 23 : Comparaison des fêces avec les épidermothèques de référence	62
Figure 24 : Dissection du labre chez le criquet pèlerin	64
Figure 25 : Position des sensilles de type A sur le labre chez <i>Dociostaurus maroccanus</i>	65
Figure 26 : Etalonnage du logiciel par une règle de distance graduée	67
Figure 27 : Répartition des points de repère sur une élytre gauche de <i>D. maroccanus</i>	68
Figure 28 : Exemple de base de données des coordonnées (x,y) des points de repère.....	68
Figure 29 : Localisation des points de repères sur une élytre de criquet mâle.	69
Figure 30 : Image du thorax du criquet	70
Figure 31 : Pourcentage d'espèces végétales consommées par <i>Calliptamus wattenwylanus</i>	77
Figure 32 : Pourcentage d'espèces végétales consommées par <i>Calliptamus barbarus</i>	77
Figure 33 : Pourcentage des végétaux consommés par <i>D. maroccanus</i> , <i>D. dantini</i> et <i>D. jagoi</i>	80
Figure 34 : Variation du nombre de sensilles en fonction de l'espèce.....	82
Figure 35 : Variation du nombre de sensilles en fonction de la largeur du labre.	83
Figure 36 : ACP du nombre de sensilles de type A chez les différentes espèces étudiées	86
Figure 37 : Dendrogramme des quatre groupes d'espèces, en utilisant une ANOSIM.	88
Figure 38 : Cinq principaux types de sensilles antennaires.....	90
Figure 39 : Sensilles trichoïdes (A), 100 µm- 120 µm chez <i>Oedaleus decorus</i>	91
Figure 40 : Sensilles basiconiques.	91
Figure 41 : Sensilles courtes basiconiques	93
Figure 42 : Sensille basiconique courte entourée d'un anneau de cuticule et sous forme de doigt ...	93
Figure 43 : Sensille cœloconique striée avec pore à l'apex et courte basiconique mince.....	94
Figure 44 : Courte basiconique à apex pointu et sensille sous forme de pagaie	95
Figure 45 : Forme de sensille trichoïde très longue dans les segments médians.....	95

Figure 46 : Variation des traits morphologiques des individus mâles des 13 espèces.....	100
Figure 47 : Variation des traits morphologiques des individus femelles des 13 espèces.....	100
Figure 48 : Diagramme des moyennes des traits morphologiques de l'ensemble des espèces	102
Figure 49 : Analyse en Composantes Principales des traits morphologiques des mâles	103
Figure 50 : Analyse en Composantes Principales des traits morphologiques des femelles	104
Figure 51 : Plaque mince de référence des différentes espèces étudiées..	107
Figure 52 : Disposition des cellules qui constituent l'élytre	107
Figure 53 : Grilles de déformation des élytres des différentes espèces étudiées.	108
Figure 54 : Position des Landmarks sur le thorax.....	113
Figure 55 : Lame de référence des grilles de déformation chez les treize espèces.....	113
Figure 56 : Grilles de déformation.....	115
Figure 57 : Dendrogramme des quatre groupes de chémotypes.	119
Figure 58 : Pourcentages d' α -pinène et 1,8 cinéole chez les 4 chémotypes du Romarin.....	122
Figure 59 : Variations temporelles de la survie des mâles et des femelles	123
Figure 60 : Variations de la régression du taux de mortalité des mâles et des femelles.....	124
Figure 61 : Évolution de la mortalité due aux huiles essentielles en fonction du temps.	126

Liste des abréviations

S.g : *Schistocerca gregaria*

D.m : *Dociostaurus maroccanus*

D.d : *Dociostaurus dantini*

D.j : *Dociostaurus jagoi*

C.b : *Calliptamus barbarus*

C.w : *Calliptamus wattenwylanus*

O.m : *Oedipoda miniata*

O.f : *Oedipoda fuscocincta*

O.d : *Oedaleus decorus*

A.s : *Aiolopus strepens*

A.i : *Acrotylus insubricus*

C.p : *Chorthypus parallelus*

E.e *Euchorthypus elegantulus*

R.m *Rosmarinus officinalis*

M.p : *Mentha pulegium*

O.c : *Origanum compactum*

A.a : *Artemisia absinthium*

E.g : *Eucalyptus globulus*

Eth : éthanol

ACP : Analyse en composante principale

GPS : Global Positioning System

CAH : Classification ascendante hiérarchique

Csa : climat méditerranéen avec été chaud

Csb : climat méditerranéen avec été frais

PR : Point de repaire

W : Watt

Sommaire

I - INTRODUCTION GENERALE	1
GENERALITES	3
1- Systématique	3
1-1 Ensifères	3
1-2 Caelifères.....	4
- Tridactyloidea	4
- Tetrigoidea.....	5
- Acridoidea	5
2- Répartition géographique	7
3- Description morphologique et anatomique des Orthoptères acridiens	7
3-1 Description morphologique	7
3-2 Description anatomique.....	17
4- Caractéristiques biologiques	22
- Cycle biologique	22
5- Ecologie	24
5-1 Régime trophique.....	25
5-2 Activités locomotrices.....	27
6- Ennemis naturels	28
6-1 Parasitoïdes du stade embryonnaire	29
6-2 Prédateurs des œufs.....	29
6-3 Parasitoïdes des larves et des imagos.....	29
6-4 Prédateurs des larves et des imagos	30

6-5 Parasites des larves et des imagos.....	30
7- Agents pathogènes.....	31
7-1 Virus.....	31
7-2 Bactéries.....	32
7-3 Champignons.....	32
7-4 Protozoaires.....	33
8- Méthode de lutte.....	33
8-1 Lutte préventive.....	33
8-2 Lutte mécanique.....	34
8-3 Lutte écologique.....	34
8-4 Lutte chimique.....	35
-Propriétés des pesticides utilisés.....	37
a-Organochlorés.....	37
b-Organophosphorés.....	37
c-Carbamates.....	37
d-Pyréthroïdes.....	37
e-Régulateurs de croissance.....	37
8-5 Lutte biologique.....	38
a-Utilisation d'ennemis naturels.....	38
b-Emploi de plantes acridicides.....	39
II - MATERIEL ET METHODES.....	41
1- Stations d'études.....	41
2- Méthode d'échantillonnage des orthoptères.....	44
2-1 Détermination des espèces.....	46
2-2 Matériel biologique.....	46

2-3 Elevage du criquet pèlerin	46
3- Détermination du régime alimentaire.....	60
3-1 Préparation de l'épidermothèque de référence	60
3-2 Préparation des fèces.....	61
3-3 Dénombrement des sensilles	63
3-3-1 Au niveau du labre	63
3-3-2 Au niveau des antennes.....	65
4- Etude des capacités des déplacements	66
4-1 Morphométrie classique	66
- Mesure des traits morphologiques	66
4-2 Morphométrie géométrique	67
4-2-1 Morphométrie des élytres.....	67
4-2-2 Morphométrie du thorax	69
5- Méthode de lutte	71
5-1 Espèces animales	71
5-2 Espèces végétales.....	71
5-3 Méthodes de lutte.....	72
5-3-1 Cas de <i>Dociostaurus maroccanus</i>	72
5-3-2 Cas de <i>Schistocerca gregaria</i>	72
5-4 Etude des mortalités	73
III - RESULTATS ET DISCUSSIONS	74
1- Composition floristique	74
1-1 Dénombrement des espèces végétales	74
1-2 Identification spécifique des criquets.....	75
2- Détermination du régime alimentaire.....	76

2-1 Comparaison du régime alimentaire	78
2-1-1 Analyse des fèces.....	78
2-1-2 Dénombrement des sensilles du labre des treize espèces étudiées	82
2-1-3 Analyse multivariée du nombre de sensilles de type A	86
2-1-4 Classification ascendante hiérarchique (CAH)	87
3- Étude des sensilles antennaires	90
3-1 Dénombrement des sensilles au niveau des antennes	96
4- Étude morphométrique	99
4-1 Morphométrie classique	99
4-2 Morphométrie géométrique	106
a- Morphométrie géométrique des élytres.....	106
b- Morphométrie géométrique du thorax	112
5- Lutte anti-acridienne	117
5-1 Rendement des huiles essentielles du Romarin	117
5-2 Composition chimique	117
5-3 Activité acridicide des huiles essentielles du Romarin	122
5-4 Activité acridicide de cinq huiles essentielles contre le criquet pèlerin.....	125
CONCLUSION	128

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXE



Introduction



I - INTRODUCTION GENERALE

L'ordre des orthoptères constitue le groupe taxonomique le plus important dans la classe des insectes. Il s'agit généralement d'insectes très réactifs aux modifications de leurs milieux de vie (Boitier, 2006), du fait de leur grande sensibilité à la structure des végétaux.

Ces Orthoptères présentent une grande importance écologique, du fait de l'impact désastreux de certaines espèces ravageuses qui le composent. Les pertes des productions alimentaires dues aux insectes nuisibles sont estimées entre 20 % et 30 %, en particulier dans les pays en voie de développement (Nwilen *et al.*, 2008).

Les Orthoptères constituent un groupe important parmi les ravageurs phytophages. On compte plus de 12 000 espèces de criquets décrites dans le monde, avec environ 500 qui engendrent des pertes dans les productions agricoles et pastorales (Copr, 1982 ; Riba et Silvy, 1989). Les dégâts deviennent plus importants, en particulier, lors des invasions acridiennes dont les criquets se regroupent et forment des essaims capables de se déplacer sur de longues distances. Les invasions peuvent toucher de nombreux pays et n'épargnent aucune culture.

Le plus grand nombre de ces espèces classées nuisibles à l'agriculture, se trouvent localisées sur le continent Africain, dont on compte plus de 17 espèces de Caelifères (Acrididae) en Afrique du Nord (Hamdi, 1992).

Certaines espèces acridiennes sont connues depuis longtemps, comme ennemis redoutables des cultures. Leur extrême voracité, leur vaste polyphagie, leur pullulation ainsi que leur capacité de se déplacer en groupes sur de grandes distances font d'eux, sans aucun doute, les ennemis classés numéro 1 pour l'agriculteur depuis l'apparition de l'agriculture (Reggani, 2010 et Benkenana, 2012). Il n'y a pratiquement aucun groupe d'animaux que celui des acridiens, qui de tout temps, était associé à l'Homme et à l'imagination des événements catastrophiques destructeurs fatalement inévitables comme l'avait souligné Kara en 1997.

La répartition des espèces acridiennes est largement diversifiée, on en distingue des espèces sédentaires qui sont présentes dans des espaces très limités, des espèces aptes à se déplacer sur des distances assez importantes et des espèces qualifiées de migratrices. Ces dernières sont

capables d'effectuer des déplacements de grande amplitude. Cette variation au niveau de leur distribution semble être très liée à de nombreux facteurs, dont leurs divers paramètres biologiques et plus particulièrement aux organes liés directement au vol, à savoir, les ailes et les élytres.

Le régime alimentaire des acridiens se montre très diversifié. La majorité des criquets sont polyphages, mais ils peuvent manifester des préférences trophiques vers certaines espèces végétales que d'autres. Ce comportement de choix alimentaire dépend de nombreux facteurs, comme la composition chimique des espèces végétales présentes dans leur biotope et leur teneur en nutriments indispensables à leur croissance (Reznik et Vaghina, 2013 et Rodrigues *et al.*, 2013) d'une part et de leurs capacités de déplacements, la nature de leurs pièces buccales, la composition de leur labre et antennes en chimiorécepteurs, ainsi que leurs capacités à digérer le végétal d'autre part (Rodrigues *et al.*, 2013).

Dans le présent travail, nous nous sommes intéressés à la bio-écologie des espèces acridiennes du Moyen-Atlas. Ainsi, nous cherchons à mettre en évidence la relation existante entre les différents paramètres biologiques d'une espèce et la nature de son régime trophique ainsi que sa capacité de déplacement. Pour ce faire, nous avons dans un premier temps, mené une étude bibliographique approfondie pour mettre en apparence les principales connaissances des orthoptères étudiés, dans un deuxième temps, nous avons détaillé la méthodologie de travail suivie des résultats et discussions des trois grands axes de recherche de notre étude à savoir :

Le comportement alimentaire des différentes espèces étudiées avec les éléments principaux impliqués dans la détermination du statut trophique des espèces ; les capacités de déplacement des espèces, que nous avons abordé par une approche de morphométrie classique et géométrique et en fin, une étude des effets de certaines plantes aromatiques et médicinales sur la survie des adultes des espèces acridiennes, suivie d'une conclusion générale et perspectives.



Synthèse bibliographique



GENERALITES

Les Orthoptères sont des insectes qui appartiennent au groupe des hétérométaboles, dont les larves sont identiques ou presque aux adultes. Il n'y a pas de métamorphose complète au niveau de développement acridien. Ces acridiens constituent l'ordre le plus important du super ordre des Orthoptéroïdae et regroupent plus de 22 000 espèces (Waghmare *et al.*, 2013). Leur distribution géographique est très étendue, ils sont répartis sur toute la planète (Boitier, 2004 et Reggani, 2010). La nature de leur répartition est très diversifiée, même si elles sont souvent présentes dans des milieux ouverts, certaines espèces acridiennes sont strictement liées à des milieux spécifiques et d'autres se rencontrent dans une multitude de biotopes auxquels, elles ont pu s'adapter.

1- Systématique

Les travaux de Chopard (1943) sur les Orthoptères de l'Afrique du Nord restent une bonne référence bibliographique pour de nombreux chercheurs en acridologie. La clé d'identification des acridiens, élaborée par cet auteur, reste à ce jour l'un des éléments de base pour la détermination et la classification des orthoptères dans l'Afrique du Nord. Les Orthoptéroïdes se subdivisent ainsi en cinq ordres :

Les **Dictyoptères** comprennent deux familles : Blattidae et Mantidae, les **Dermaptères** représentés par les forficules, les **Phasmoptères** correspondants aux phasmes, les **Isoptères** regroupent les termites et enfin les **Orthoptères** qui sont représentés par les sauterelles et les criquets.

La classification la plus admise est celle de Dirsh (1965) modifiée par Uvarov (1966). Les orthoptères se subdivisent en deux grands sous ordres : Ensifères et Caelifères.

1-1 Ensifères

La particularité des insectes appartenant à ce sous-ordre est qu'ils sont caractérisés par la présence des antennes longues et fines, composées de plus de trente articles et sont généralement, plus longues que le corps. Exception faite des Gryllotalpidae. Les valves génitales des femelles (oviscapte) bien développées et se présentant, comme un organe de ponte, en forme de sabre, ou de tube qui sert à déposer les œufs dans le sol ou les végétaux.

L'organe de stridulation des mâles se situe au niveau de la face dorsale des élytres et l'émission du chant se produit par le frottement des deux élytres, l'un contre l'autre.

Les organes tympaniques pour la réception des sons sont situés sur la face interne des tibias des membres antérieures. Les œufs sont déposés isolément dans le sol ou à sa surface (Duranton *et al.*, 1982).

Le régime alimentaire des Ensifères se compose généralement de végétaux et de petits animaux, mais certaines grandes espèces ne se nourrissent que d'insectes

1-2 Caelifères

Les Caelifères constituent le sous-ordre qui nous intéresse dans le présent travail. Ces criquets se distinguent par des antennes courtes, bien que multiarticulées. Les valves génitales des femelles sont robustes et courtes. Chez les mâles, l'organe de stridulation est constitué par une crête au niveau du fémur postérieur, qui se frotte sur une nervure intercalaire des organes de vol (élytres), les organes tympaniques sont situés sur les côtés du premier segment abdominal.

Les œufs sont pondus en masse, enrobés ou surmontés de matière spumeuse (sous forme d'une oothèque et sont enfouis dans le sol, par la pénétration presque totale de l'abdomen ; quelques espèces de forêts pondent leurs œufs sur les feuilles.

Les Caelifères sont caractérisés par la présence d'un pronotum et des élytres bien développés et ils présentent une taille très variable avec une diversité de couleur et de forme (Appert et Deuse, 1982). Leur régime alimentaire est de type phytophage (Duranton *et al.*, 1982).

Dans la présente étude, nos travaux portent uniquement sur les criquets. Ces derniers, se répartissent en trois superfamilles : les Tridactyloidea et les Acridoidea Chopard (1943) et les Tetrigoidea décrits par (Duranton *et al.*, 1982).

- *Tridactyloidea*

Les criquets représentants cette superfamille sont caractérisés de petites tailles, de couleur sombre et portent sur les tibias postérieurs des expansions tégumentaires en forme de lames, au lieu d'épines couramment, observées chez d'autres espèces. L'oviscapte des femelles n'est pas bien

développé, leurs fémurs postérieurs sont bien développés. Les Tridactyloidea regroupent une cinquantaine d'espèces décrites par Duranton et ses collaborateurs (1982).

- *Tetragoidea*

Les criquets de cette superfamille sont caractérisés par la présence d'un pronotum longuement prolongé en arrière avec des élytres bien réduits à de petites écailles latérales. Ces derniers regroupent des individus de petites tailles et de couleur sombre. Ils vivent dans des sols, plutôt humides où la végétation n'est pas très dense. Ils sont actifs durant la journée et ils paraissent très dépendants de la température ambiante.

Les criquets adultes ne produisent aucun son modulé audible et ne possèdent pas d'organes auditifs. Les œufs sont déposés sous forme de grappes dans le sol, collés les uns aux autres, mais sans enveloppe protectrice de matière spumeuse, comme ceci a été observé chez plusieurs autres espèces de criquets.

- *Acridoidea*

Les criquets acridoïdes présentent une variabilité au niveau de nombreux paramètres biologiques et plus particulièrement la taille, la forme et la couleur du corps. En outre, ils sont caractérisés par un pronotum relativement court et des élytres bien développés.

Beaucoup d'espèces d'entre eux strident, le son est produit par le frottement des pattes postérieures sur une nervure des élytres. Les femelles pondent leurs œufs en grappes dans le sol ou à la base des touffes d'herbes, sous forme d'oothèques. Les œufs sont souvent, enrobés de matière spumeuse et surmontés d'un bouchon de la même substance.

Cette superfamille est composée de quatorze familles : Eumastacidae, Proscopidae, Tenaoceridae, Pneumoridae, Xyronotidae, Trigonopterygidae, Lathiceridae, Charilaidae, Pamphagidae, Pyrgomorphidae, Ommexechidae, Lentulidae, Pauliniidae et Acrididae (Duranton *et al.*, 1982). On en compte plus de 10 000 espèces (Bonnemaison, 1961 ; Stanek, 1978).

En Afrique du Nord, Louveaux et Ben Halima (1987) avaient signalé la présence de quatre familles à savoir : Charilaidae les Pamphagidae, les Pyrgomorphidae et les Acrididae.

**Tableau 1 : Familles et sous-familles de la super-famille des Acridoidea
(Louveaux et Ben Halima, 1987)**

Familles	Sous-famille	Genres	Espèce
Acrididae	Egnatiinae	3	8
	Acridinae	8	11
	Oedipodinae	17	74
	Gomphocerinae	9	38
	Dericorythinae	4	15
	Hemiacridinae	1	1
	Tropidopolinae	1	2
	Calliptaminae	2	10
	Truxallinae	1	1
	Eyprepocnemidinae	3	8
	Catantopinae	2	2
	Cyrtacanthacridinae	4	5
	Eremogryllinae	2	7
Pamphagidae	Akicerinae	2	11
	Pamphaginae	11	78
Pyrgomorphidae	Chrotogoninae	1	1
	Poekilocerinae	1	1
	Pyrgomorphinae	3	9
Charilaidae	Charilaus (genre)	1	1
4	18	70	283

La famille des Acrididae est économiquement importante, par les dégâts que causent certaines espèces ravageuses, comme *Schistocerca gregaria* et *Dociostaurus maroccanus* sur les productions agricoles et pastorales d'une part, d'autre part, par la diversité de ses sous-familles qui sont au nombre de 13 à savoir : Dericorythinae, Hemiacridinae, Tropicopolinae, Calliptaminae, Eyprepocnemidinae, Catantopinae, Cyrtacanthacridinae, Egnatiinae, Acridinae, Oedipodinae, Gomphocerinae, Truxallinae et la famille des Eremogryllinae (Tableau 1). La famille des acrididae étant la plus riche en sous-famille.

2- Répartition géographique

Les Orthoptères acridiens sont caractérisés par une répartition géographique très diversifiée. Ils sont présents, le plus souvent, dans des milieux ouverts. On en distingue les espèces qui colonisent des milieux très divers et qui se répartissent sur des surfaces très étendues et des espèces spécifiques à des milieux particuliers comme les sédentaires. Cette répartition semble être liée en grande partie à leurs capacités de déplacement et est influencée par plusieurs facteurs, dont la végétation, l'altitude, la température et autres.

Les acridiens sont souvent considérés en grande partie, comme des insectes ravageurs des cultures (Louveaux *et al.*, 1996 ; Louveaux et Benhalima, 1987). Au Maroc, l'ordre des Orthoptères reste très peu étudié, notamment dans le Moyen-Atlas (El Ghadraoui, 2002 ; Zaim, 2013). Cependant, de nombreuses études ont été menées sur différentes espèces acridiennes en Afrique du Nord (Chopard, 1945 et Doumandji-Mitiche 1994 ; Damerdji, 1996 ; Damerdji et Cheikh-Miloud, 2011).

3- Description morphologique et anatomique des Orthoptères acridiens

3-1 Description morphologique

Comme tout autre insecte, le corps des acridiens, est réparti en trois segments : la tête, le thorax et l'abdomen : la tête est composée de six métamères, le thorax avec trois métamères et l'abdomen qui comporte 11 métamères. Les téguments sont lisses ou rugueux, selon les espèces et les parties du corps.

Les variations, selon les espèces portent aussi bien, sur la forme générale du corps que sur la coloration, ou la forme des appendices de la tête, du thorax ou de l'abdomen. Il existe souvent une relation globale entre l'aspect général des représentants d'une espèce et la nature de leur milieu de vie.

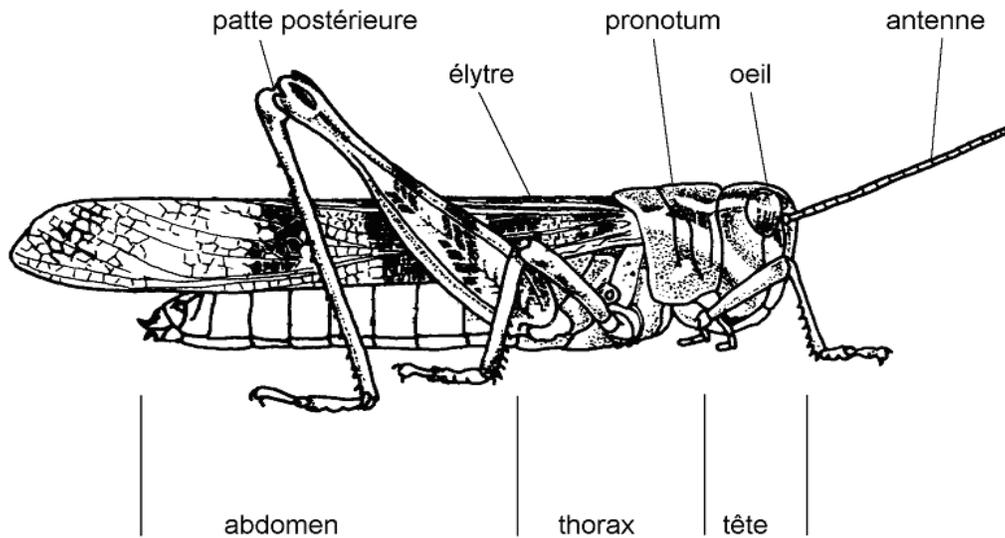


Figure 1 : Morphologie externe d'un acridien

Tête : la tête est le premier tagme du corps, il porte les principaux organes sensoriels : les yeux et les antennes, ainsi que les pièces buccales. Sa forme est l'un des critères de distinction entre les différents groupes d'Orthoptères. L'orientation de la capsule céphalique des Orthoptères, est de type orthognathe. L'angle formé par l'axe longitudinal du corps et par celui de la tête se rapproche de 90°. En réalité cet angle varie, selon les genres, de moins 30° jusqu'à plus de 90° (Mestre, 1988 et Doumandji - Mitiche, 1994 ; Bellmann et Luquet, 1995).

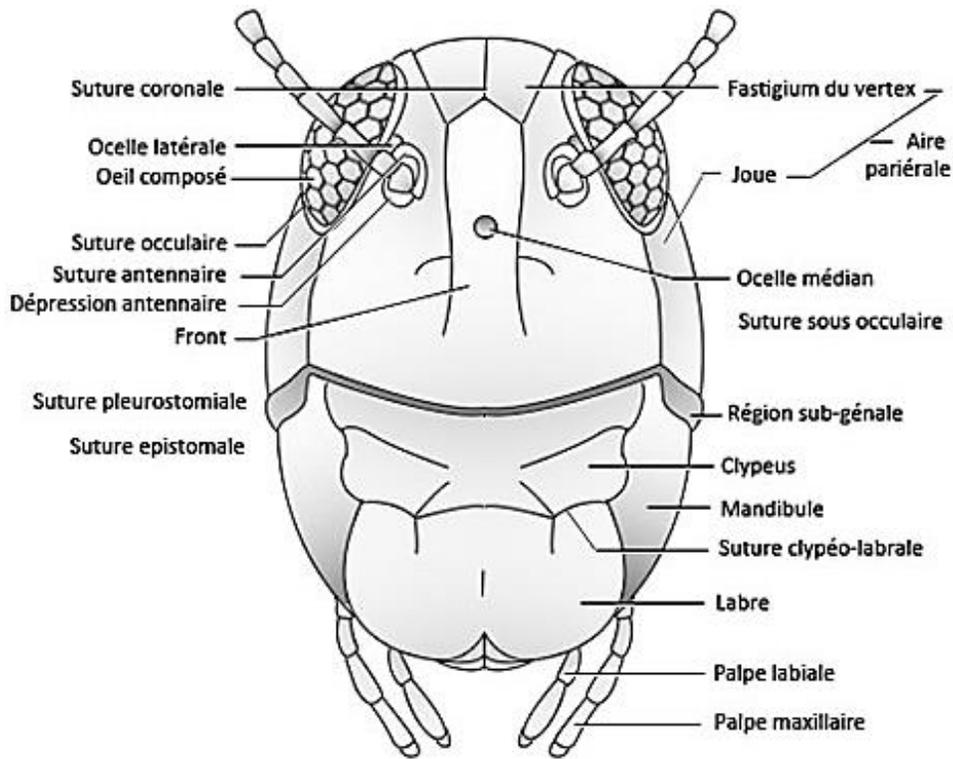


Figure 2 : Schéma de la tête d'un criquet en vue frontale (entomoLOGIC)

Capsule céphalique : la capsule céphalique ou cranium, est liée vers le bas par la bouche et vers l'arrière par le trou occipital, assurant ainsi le lien avec le corps. Les principales parties de la tête sont : le vertex et l'occiput ; à l'avant du vertex se trouve le fastigium, les joues, qui forment les côtés, le front et le clypeus, qui se présentent à l'avant. Un squelette interne "tentorium" forme la capsule céphalique, il est formé par des invaginations cuticulaires. Les crêtes internes correspondent à certaines sutures crâniennes.

Appendices céphaliques : représentés par les antennes, les yeux et les pièces buccales :

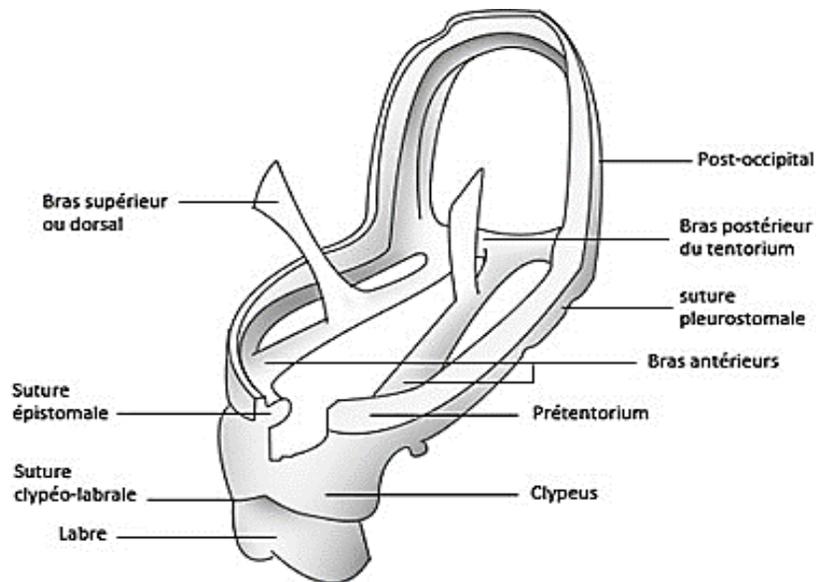


Figure 3 : Vue globale du tentorium (entomoLOGIC)

Antennes : sont enracinées sur le front et liées par l'intermédiaire d'une membrane souple. Le scape et le pédicelle composent la base des antennes. Ce dernier constitue en gros, le fouet antennaire, il est composé de nombreux articles ressemblants (le nombre d'article diffère, selon l'espèce). Sa taille s'allonge généralement, de la larve à l'adulte.

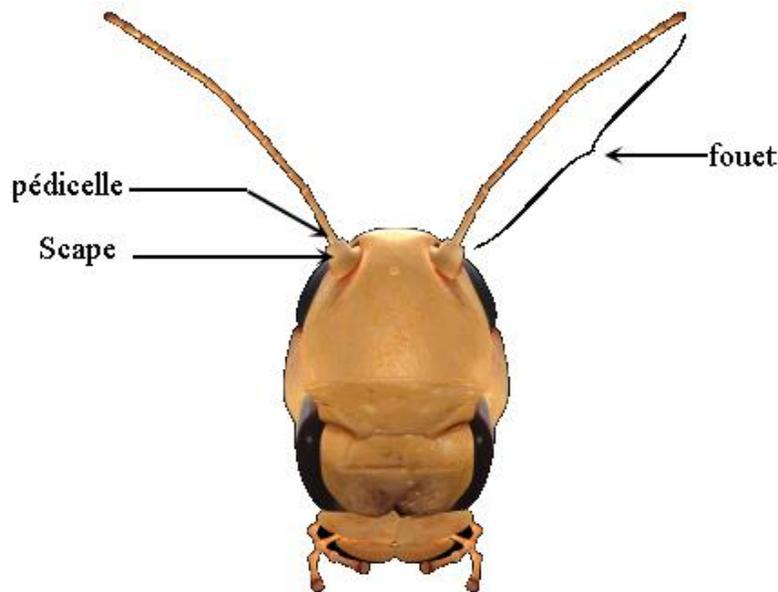


Figure 4 : Position des antennes sur la tête d'un criquet (bioanimale univ-lille)

Les orthoptères ont développé des systèmes olfactifs sophistiqués pour détecter les signaux chimiques exogènes.

Les antennes sont des organes chémosensoriels, les plus importants sur lesquels, il y a beaucoup de structures, appelées sensilles innervées par des neurones récepteurs olfactifs. Différents récepteurs odorants chez les insectes sont accordés à différentes combinaisons des composés chimiques.

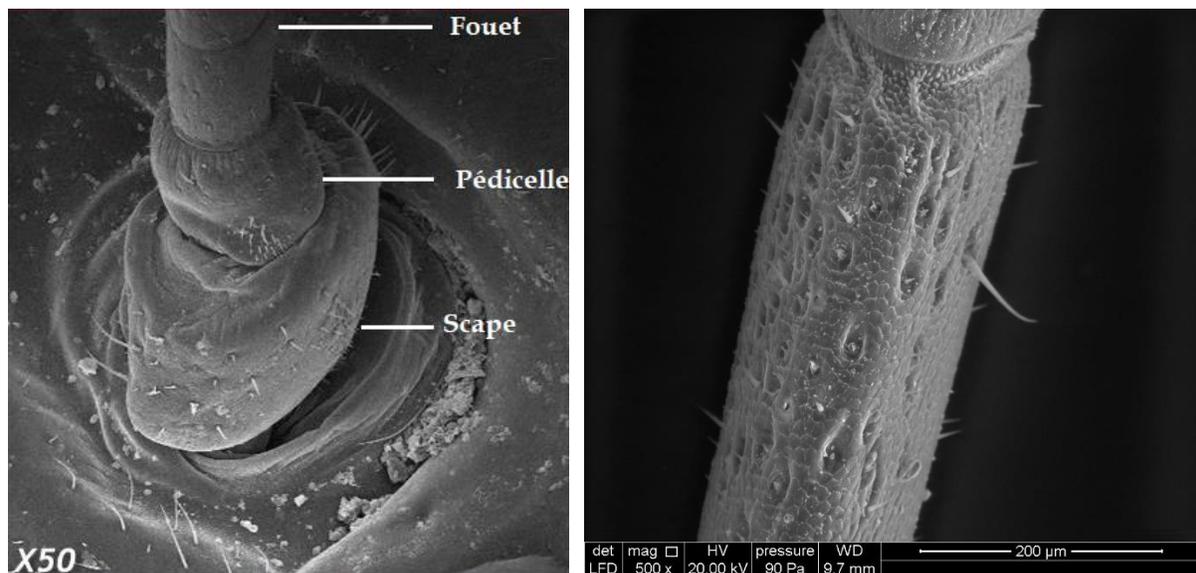


Figure 5 : Différents segments de l'antenne observés au microscope électronique (ERRABHI, 2017)

Yeux : sont de nature simple ou complexe, selon qu'il s'agit d'ocelles ou de yeux composés : les ocelles sont au nombre de trois, disposés en triangle.

Deux d'entre eux sont situés sur le vertex, près de la base des antennes et le troisième au centre du front, les yeux composés sont formés chacun d'un groupement de yeux élémentaires, les ommatidies.

Chaque ommatidie constitue une unité sensorielle indépendante. La cornée de l'œil composé se présente comme un ensemble de facettes hexagonales.

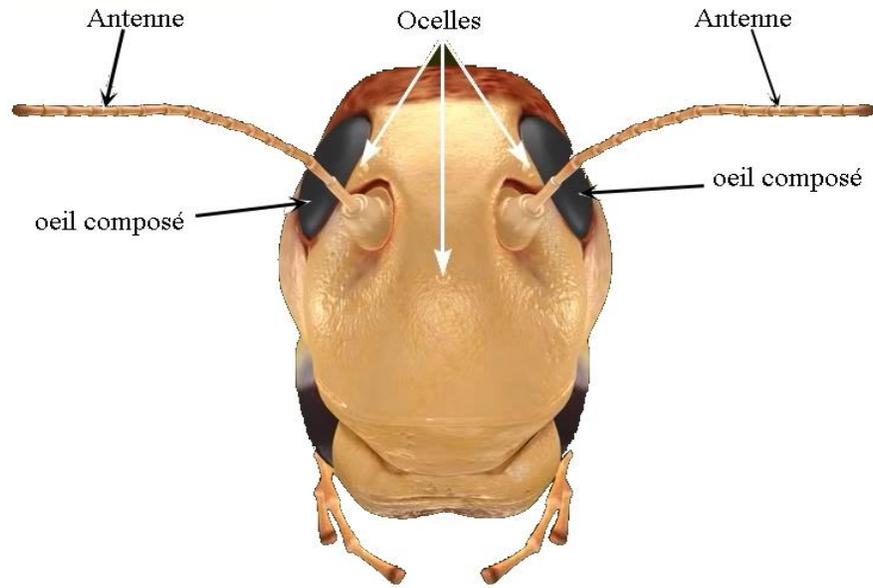


Figure 6 : Organes sensoriels sur la tête d'un criquet (bioanimale univ-lille)

Pièces buccales : sont de type broyeur. On en distingue trois paires de pièces buccales : deux mandibules ou mâchoires, un labium, auquel s'ajoutent le labre, l'épipharynx et l'hypopharynx qui sont des sclérites céphaliques.

Les appendices des trois derniers segments céphaliques se sont modifiés, au cours de l'évolution, en pièces buccales pour faciliter la capture et l'ingestion des proies.



Figure 7 : Pièces buccales du criquet

Sensilles : ce sont des chimiorécepteurs présentes principalement, sur les pièces buccales et les antennes (Chapman, 2003). La chémoréception de contact permet aux individus de détecter la qualité de la nourriture ingérée, d'identifier des substances caractéristiques de leur plante hôte ou encore d'identifier des individus appartenant à la même espèce.

Thorax : constitue le deuxième tagme du corps. Il est situé entre la tête et l'abdomen. Il porte les organes locomoteurs adaptés à la marche et le vol. Il est composé de trois segments d'avant en arrière : prothorax, mésothorax, métathorax.

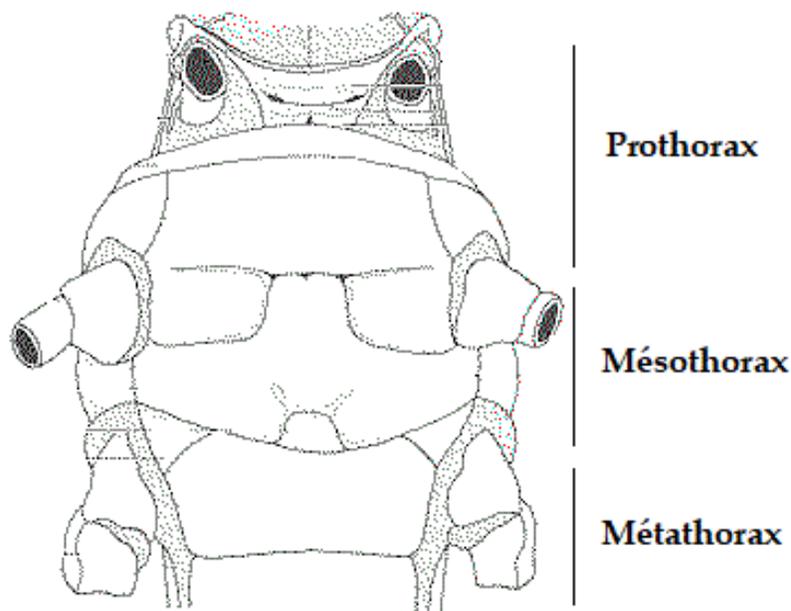


Figure 8 : Thorax d'un acridien en vue ventrale

Le prothorax porte les pattes antérieures et se caractérise par le développement de sa partie dorsale recouvre les faces latérales du corps constituant ainsi le pronotum (Mestre, 1988).

Pattes : sont insérées sur le thorax entre les pleures et le sternum de chaque segment. Elles sont au nombre de six, réparties en trois paires : les pattes prothoraciques, 1^{re} paire ou pattes antérieures, les pattes mésothoraciques, 2^{ème} paire ou pattes intermédiaires, les pattes métathoraciques, 3^{ème} paire ou pattes postérieures.

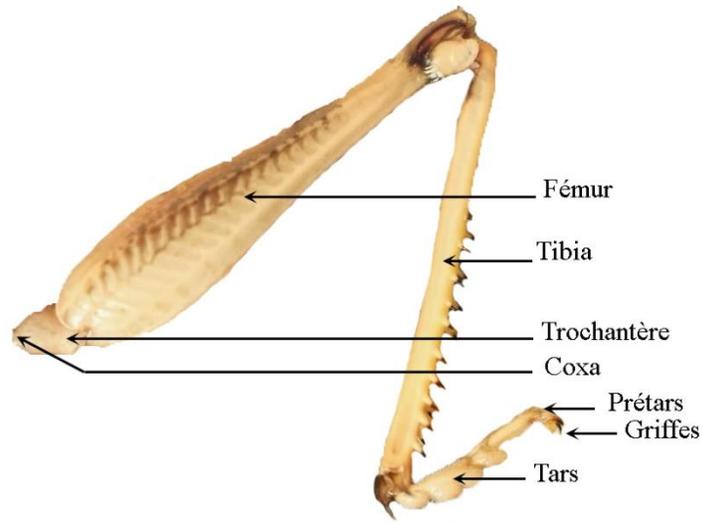


Figure 9 : Patte postérieure d'un acridien

Ailes : sont les expansions dorso-latérales paires, des deuxièmes et troisièmes segments thoraciques. Elles ne sont développées que chez l'adulte, mais apparaissent chez les larves, sous forme de bourgeons (Ptérothèques) sur les côtés du ptérothorax

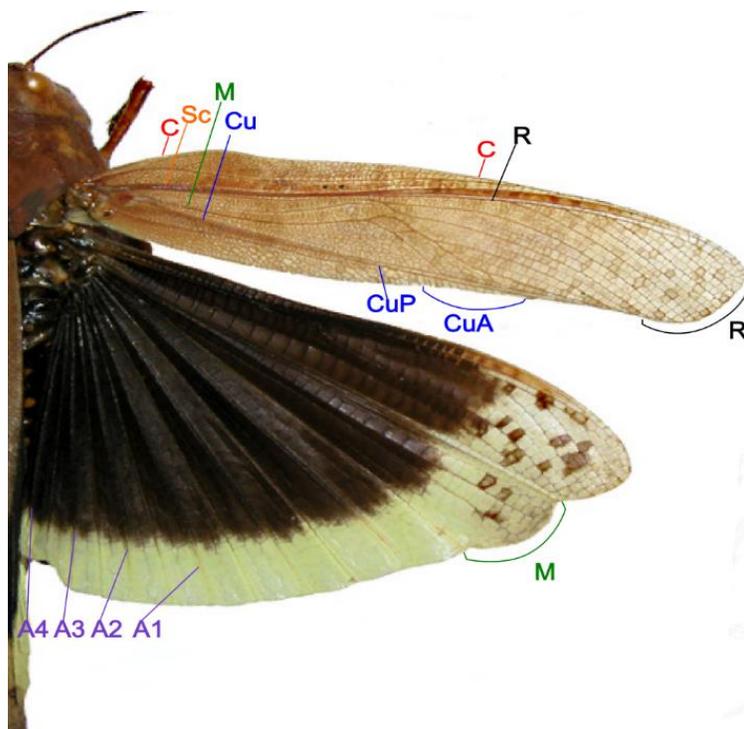


Figure 10 : Structure de l'aile postérieure, antérieure et la veine chez un acridien

C : Costale, **Sc** : Sous Costale, **M** : Médian, **Cu** : Cubitale, **R** : Radiale, **A** : Anale

Pronotum : étant la partie la plus évidente et la plus large du prothorax des acridiens. Il est constitué de deux régions : la prozone dans la partie antérieure et la métazone dans la partie postérieure. La forme de ce dernier, est très importante dans la description systématique, notamment par la présence de carènes latérales et médianes qui peut être traversée par des sillons typiques (Chopard, 1943 ; Mestre, 1988).

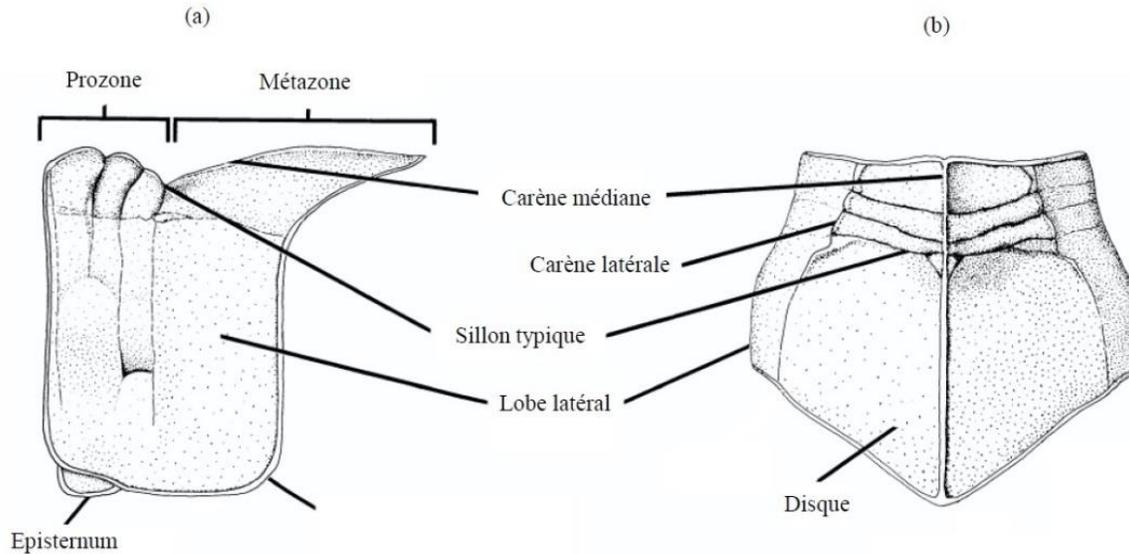


Figure 11 : Schéma du pronotum d'un acrididae en vue latérale (a) et dorsale (b)

Abdomen : est la partie postérieure du corps des criquets, elle correspond au troisième tagme après les deux parties : la tête et le thorax. On compte onze segments composant l'abdomen et sont séparés par des membranes articulaires et contient les viscères.

L'abdomen regroupe une grande partie de l'appareil digestif et l'appareil reproducteur, de nombreux muscles, un abondant corps gras et une grande partie de la chaîne nerveuse ganglionnaire.

Les derniers segments portent, du côté ventral, les organes sexuels (Ripert, 2007). La partie la plus intéressante est l'extrémité abdominale qui permet de différencier facilement les sexes et fournit chez les mâles un ensemble de caractères très utiles pour la détermination (Mestre, 1988).

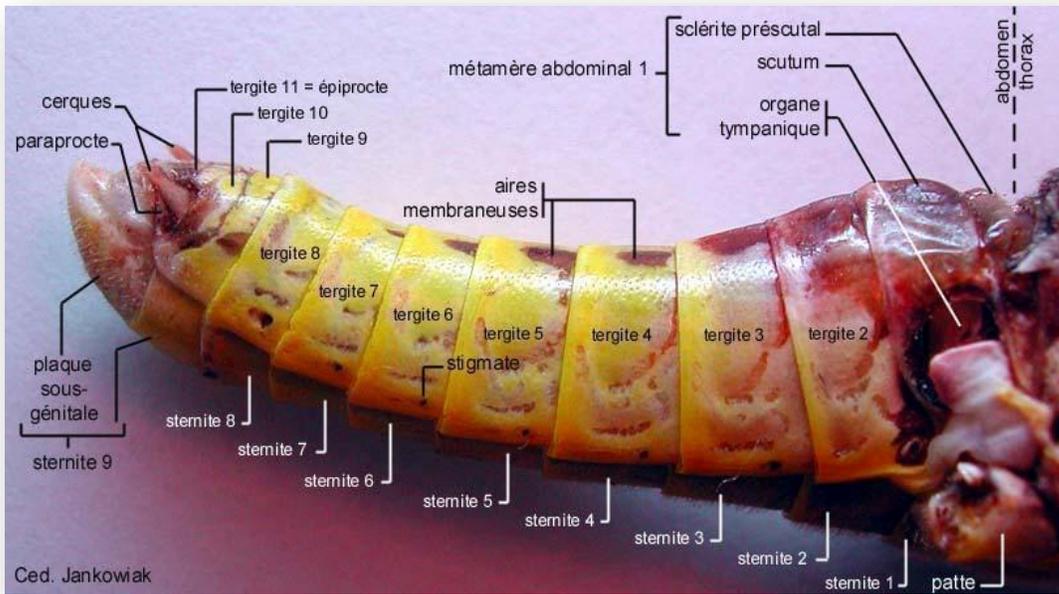


Figure 12 : *Locusta migratoria*, morphologie de l'abdomen du mâle (vue latérale)

La détermination du sexe chez les orthoptères acridiens s'effectue sur la base de l'extrémité de l'abdomen et sur les pièces génitales des individus. Ainsi, chez les mâles, la plaque sous génitale est sous forme d'un repli couvrant toute la partie inférieure de l'abdomen (Figure 13). Par contre, chez la femelle, les valves génitales dorsales et ventrales, généralement durcies et sombres, sont nettement visibles. L'ensemble de ces valves constitue l'organe de ponte ou oviscapte (Figure 14).

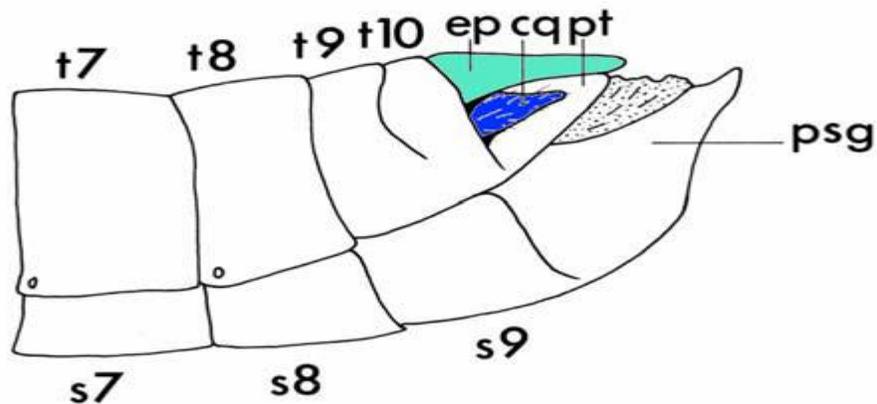


Figure 13 : Extrémité abdominale du mâle d'un criquet

ep, épiprocte cq, cerque pt, paraprocte psg, plaque sous-génitale t, tergite s, sternite

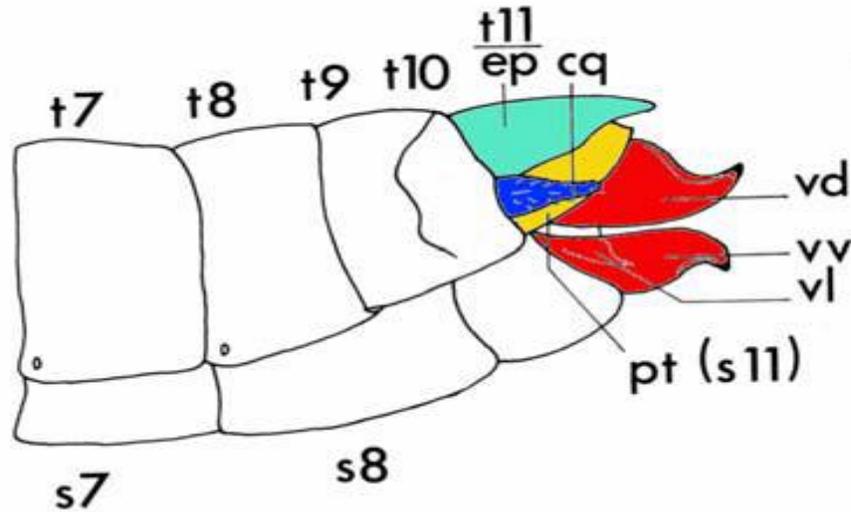


Figure 14 : Extrémité abdominale de la femelle d'un criquet
ep, épiprocte cq, cerque vd, valve dorsale vv, valve ventrale vl, valve latérale pt, paraprocte
t, tergite s, sternite

3-2 Description anatomique

La cavité buccale est un espace court limité à l'avant par la paroi épipharyngienne du clypéo-labre et sur les côtés par les mandibules et les maxilles, en arrière par l'hypopharynx et le labium.

Les principaux organes internes des criquets suivent une implantation précise dans le corps et répondent à un plan bien défini. Ceux-ci, peuvent être classifiés, selon la fonction qu'ils remplissent.

- **Appareil digestif** : appelé tube digestif, est un simple conduit, reliant la bouche à l'anus et présentant une succession de poches spécialisées et regroupées en trois ensembles importants, Stomodeum, Mesenteron et Proctodeum (Figure 15).

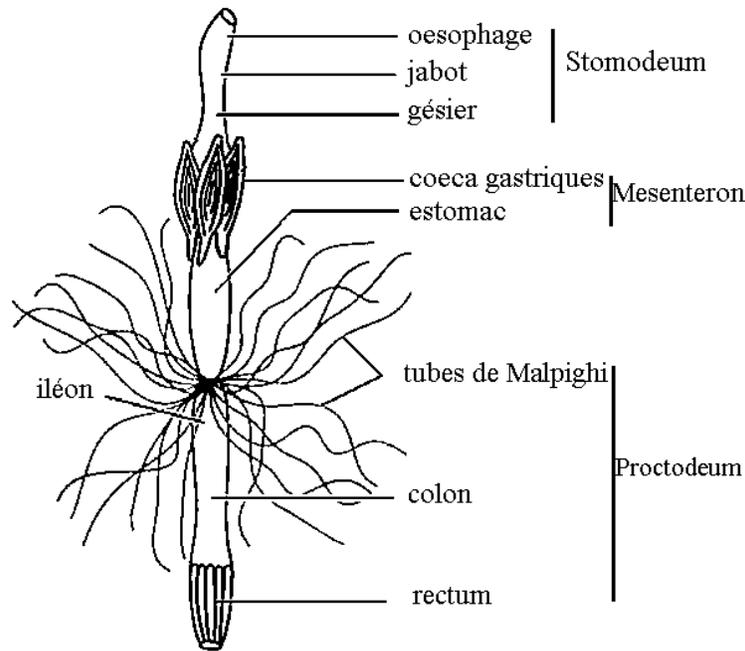


Figure 15 : Schéma du tube digestif d'un criquet

Stomodeum ou l'intestin antérieur comprend le pharynx, l'oesophage, le jabot et le gésier. Le jabot, plus volumineux, permet un premier stockage des éléments nutritifs. Le gésier musculueux assure la trituration et régularise le transit vers l'intestin moyen ou mesenteron.

- Mesenteron est une région spécifiquement digestive. Elle est pourvue de six caeca gastriques disposés autour du tube digestif. Chaque caecum abrite une diversité de bactéries assurant un rôle biochimique dans la digestion.

- Proctodeum ou l'intestin postérieur où se différencie à partir du pylore sur lequel se placent de nombreux tubes de Malpighi excréteurs. Il forme ensuite un iléon très musculueux, un colon étroit et un rectum dilaté en poche. Une valvule rectale marque la limite entre le colon et le rectum. Les criquets possèdent des bactéries dans le proctodeum leur permettant de digérer des polysaccharides de plantes comme la pectine.

L'intestin est recouvert d'une Intima cuticulaire et présente une surface plissée. Le rectum permet la récupération de l'eau contenue dans les fèces.

- Appareil excréteur : L'excrétion des déchets, est assurée par les tubes de Malpighi, disposés en couronne au niveau du pylore. Ce sont de nombreux tubes courts, dont l'extrémité distale est fermée Chopard 1943. D'autres organes assurent aussi, un rôle dans les phénomènes d'excrétion :

- Les néphrocytes qui sont des cellules péri-cardiales, associées ou non, à l'appareil circulatoire,

- Les cellules à urates du tissu adipeux,

- Le rectum au moment de la constitution des fèces

- Appareil respiratoire : La respiration des acridiens s'effectue par un système composé de tubes d'origine ectodermique, les trachées. Ces derniers atteignent tous les organes et s'ouvrent vers l'extérieur par des stigmates qui sont au nombre de dix paires. Elles sont au nombre de deux sur le thorax et de huit sur les premiers segments abdominaux. La ventilation met en jeu les contractions des muscles de l'abdomen et du thorax Albercht (1953).

Un stigmate est formé d'un sclérite annulaire, muni d'une valve donnant accès à une chambre appelée atrium ou vestibule sur laquelle débouchent les trachées. La valve est formée de deux lèvres sclérifiées, dont l'une est mobile et l'autre est fixe. Les stigmates demeurent fermés et ne s'ouvrent que le temps nécessaire à la respiration pour limiter les pertes en eau.

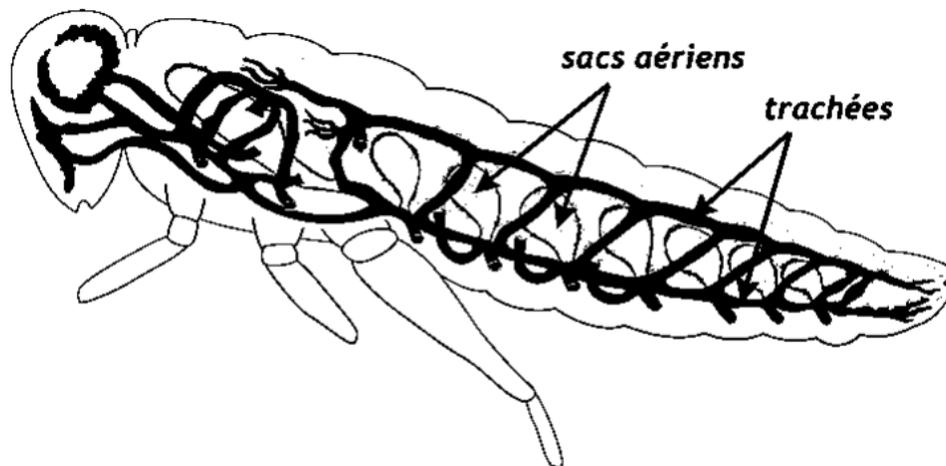


Figure 16 : Appareil respiratoire chez un criquet

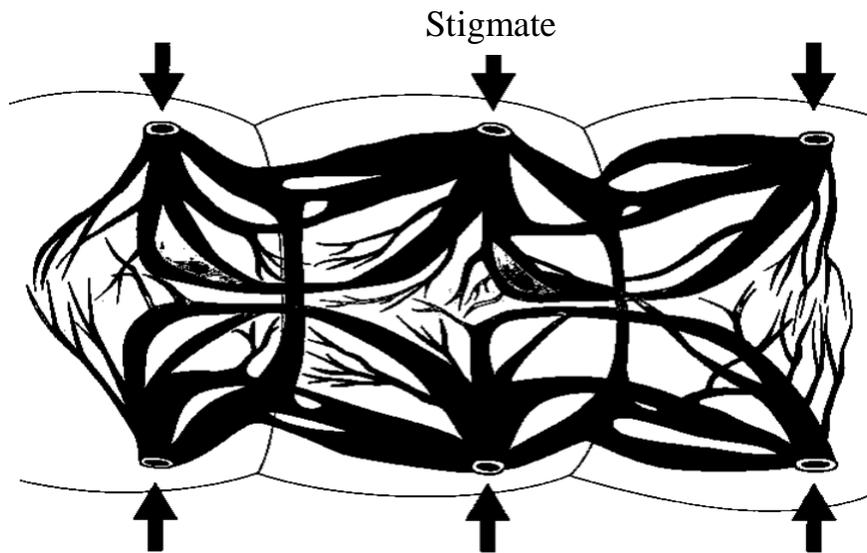


Figure 17 : Position des stigmates sur l'abdomen (bioanimale univ-lille)

- Appareil reproducteur : Les acridiens sont des organismes gonochoriques.

L'appareil reproducteur mâle comporte deux **testicules** disposés au-dessus et de part et d'autre du tube digestif.

Chaque testicule est formé de **tubes séminifères** à la base desquels s'ouvrent deux **canaux déférents** servant à l'évacuation des **spermatozoïdes** par l'intermédiaire d'un **canal éjaculateur** ou d'un **sac éjaculateur**

Le débouché des voies sexuelles forme un **pore génital** (le **gonopore**) placé à l'extrémité du pénis, pièce centrale du complexe phallique (Figure 18).

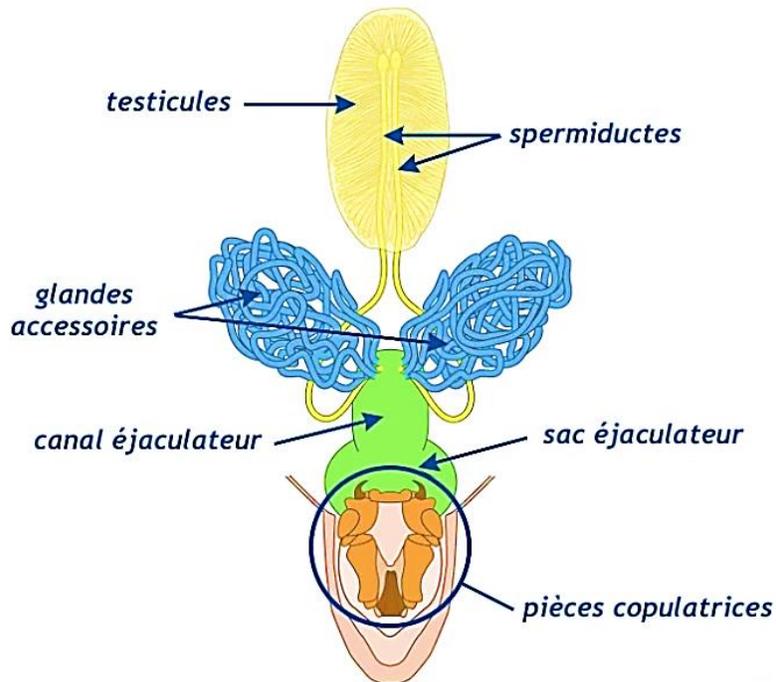


Figure 18 : Appareil génital mâle (bioanimale univ-lille)

L'appareil génital femelle est formé de deux ovaires accolés au-dessus et de part et d'autre du tube digestif. Chaque ovaire est composé d'ovarioles. La partie antérieure de l'ovaire se termine par un filament suspenseur qui se prolonge en un filament médian (Figure 19).

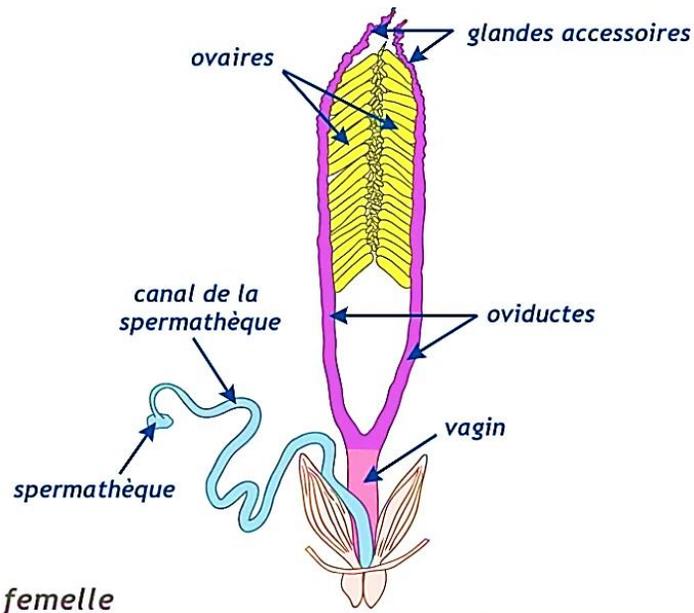


Figure 19 : Appareil génital femelle (bioanimale univ-lille)

4- Caractéristiques biologiques

- **Cycle biologique**

- *Développement embryonnaire*

Les orthoptères acridiens sont ovipares et leur cycle de vie comprend trois états biologiques successifs : l'état embryonnaire : l'œuf, l'état larvaire et l'état imaginal l'ailé ou l'imago. Le terme adulte désigne un individu sexuellement mûr, ou est réservé aux individus physiologiquement capables de se reproduire (Appert et Deuse, 1982).

C'est durant la période estivale que la plupart des acridiens se développent et s'accouplent. Ils disparaissent dès l'apparition du froid, cependant le climat doux de l'Afrique du Nord permet à beaucoup d'espèces de persister tard, au mois de septembre voire octobre. Alors que certaines espèces se rencontrent à l'état adulte durant presque toute l'année. Ces dernières présentent plusieurs générations par an, ce sont des espèces appelées multivoltines.

Les trois états (œuf, larve et ailé) correspondent à une génération. Le terme voltinisme correspond au nombre de générations annuelles qu'une espèce peut présenter. On distingue des espèces univoltines ne terminant qu'une génération par an et des espèces plurivoltines à plusieurs générations.

Certaines espèces acridiennes arrivent à effectuer cinq générations au maximum en une année, alors que d'autres effectuent leur cycle de vie complet, en deux ans au minimum particulièrement, dans les régions froides ou très arides. En zone tropicale sèche, les acridiens présentent en majorité une à trois générations par an (Duranton *et al.*, 1982).

Certaines espèces ravageuses ne possèdent qu'une génération par an. Pour une même espèce, le nombre de générations peut être variable, selon la région dans laquelle la population se développe et selon les caractéristiques météorologiques annuelles.



Figure 20 : Une oothèque rassemblant les œufs du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (ERRABHI, 2017)

Après la ponte, l'oothèque s'hydrate et augmente de taille (Figure 20). Le développement commence avec la différenciation d'un embryon appelé "bandelette germinative" près du pôle postérieur de l'œuf, sur la face concave (Douro *et al.*, 2000). L'embryon subit un ensemble de mouvements dans l'œuf (blastocinèse) et qui sont inopinés par des segmentations, pour former progressivement les différentes parties du corps (tête, thorax et abdomen), (Benkenana, 2012). L'éclosion a lieu ainsi en fin de développement.

- Développement larvaire

Le développement larvaire a lieu au printemps qui est marqué par l'abondance de la végétation. Les criquets bénéficieront ainsi, d'un taux de survie élevé et donc, d'un potentiel de reproduction important (El Ghadraoui *et al.*, 2003). Les larves vivent dans la végétation à la surface du sol et passent de l'éclosion à l'état imaginal par plusieurs stades, en nombre variable, selon les espèces.

Les larves vivent à la surface du sol sur la végétation disponible (Duranton *et al.*, 1982). La durée du développement larvaire est très variable, selon l'espèce et les conditions environnementales de son habitat. Elles passent de l'éclosion à l'état imaginal par plusieurs stades, selon l'espèces. Deux stades sont séparés par le phénomène de mue pendant lequel les larves changent de cuticule et augmentent en taille (Lecoq et Mestre, 1988).

- Etat imaginal

L'éclosion des juvéniles est généralement, suivie d'une dispersion des individus qui recherchent activement des ressources trophiques convenables (Le Gall, 1989). La dernière mue donne naissance à un imago. Quelques jours après s'effectuera le durcissement cuticulaire et le développement des ailes. L'ensemble des trois stades ; l'œuf, larve et imago, correspond à une génération. Le cycle de vie complet varie, selon l'espèce entre 4 et 12 mois.

Au cours de leur vie, les imagos passent par trois étapes de développement, la période pré reproductive, reproductive et post reproductive (Allal - Benfekih, 2006).

- Etat adulte

A l'état adulte, la majorité des criquets déposent leurs œufs dans le sol. La femelle creuse le sol par son oviscapte et dépose ses œufs dans une sécrétion spumeuse ou oothèque qui durcit et assurant une bonne protection des œufs. Les oothèques affleurent presque à la surface du sol.

Le taux de multiplication des populations est conditionné essentiellement par la fécondité des femelles, nombre d'œufs/ponte, du nombre de pontes et surtout du nombre de femelles pondent en un site donné (Launois, 1974). Cette fécondité varie en fonction du climat et de la nature du sol. Elle augmente en période humide et diminue en période sèche (Launois - Luong, 1979). Le nombre d'œufs dans une oothèque est très variable, en fonction de l'espèce, il varie de 10 à 100 œufs (Grasse, 1949).

5- Ecologie

Les acridiens colonisent des habitats très variés : des zones tropicales aux déserts, des milieux cultivés, des sols dénudés, des terrains boisés, etc.

L'environnement des acridiens, est une mosaïque spatiotemporelle, résultant des interactions de nombreux facteurs, dont les composantes dynamiques (météorologie et couvert végétale) et celles statiques à savoir, nature du sol ou éléments du relief (Hassani, 2013). Les orthoptères présentent des privilèges écologiques très divers. À côté des espèces euryèces, qui s'accommodent dans des conditions très variées et colonisent des milieux très divers, se trouvent des espèces sténoèces. Ces dernières ne se développent que dans certains biotopes très spécialisés (Barataud, 2005 et

Benkenana, 2012). La densité et la diversité des espèces varient, selon la nature de leur milieu de vie (Boitier, 2004).

La température, l'altitude et l'hydrologie constituent les principaux facteurs abiotiques qui influencent sur la dynamique des populations des espèces acridiennes (Allen *et al.*, 2006 ; Whitman, 2008). Une place privilégiée est réservée au tapis végétal, qui intègre un grand nombre de conditions écologiques locales et forme un intermédiaire entre le milieu et l'acridien (phytophile /phytophage).

Certaines espèces acridiennes présentent des arrêts ou des ralentissements de développement au cours de leur croissance. Ainsi, on en distingue des phénomènes appelés quiescences ou diapause embryonnaires ou imaginale

Une quiescence étant un phénomène de ralentissement de développement, induit par des conditions défavorables.

Un arrêt de développement à quelques niveaux n'empêche pas certaines espèces d'effectuer 1, 2 ou trois générations par an, parfois autant que certaines espèces qui se reproduisent en continu, comme par exemple l'espèce *Morphacris fasciata* (Lecoq, 1978).

5-1 Régime trophique

Le régime alimentaire des orthoptères acridiens semble être d'une diversification très importante. Certains acridiens consomment de nombreuses espèces végétales et d'autres ne s'attaquant qu'à un petit nombre d'espèces, voire une seule espèce.

Globalement, le comportement des insectes dans la sélection de substrats alimentaire est un changement dans l'opportunité de consommer une plante plutôt qu'une autre (Moumen, 1997). En effet, le choix par un insecte d'un végétal, comme aliment, dépend de la présence des substances qui stimulent ou inhibent la prise de nourriture ou d'une substance qui est appréciée par le criquet. La préférence alimentaire des acridiens a été largement abordée. Ainsi, le criquet pèlerin, malgré sa polyphagie, présente une préférence marquée pour certaines plantes de familles botaniques différentes, comme les poacées, les crucifères et les légumineuses (Uvarov, 1928). Par contre, le criquet du désert par exemple, s'accommode bien avec le chou, comme substrat alimentaire (Halouane, 2001), ou avec *Triticum durum* (Tail, 1998).

Le comportement alimentaire des acridiens peut être décrit, en considérant trois séquences bien distinctes dans le temps : la quête alimentaire, le choix des aliments et la prise de nourriture.

La quête des plantes consommables, est d'une difficulté variable, selon les exigences des espèces, leur milieu de vie et leur capacité de détection de la nourriture.

Pour l'identification d'une espèce végétale, le criquet dispose d'un système visuel, ainsi que l'odorat, grâce à ses chimiorécepteurs sur les antennes et les pièces buccales. Le nombre de sensilles consacrées au goût et à l'odorat est très variable, selon l'espèce. Chez le Criquet pèlerin, il est estimé à 12 500 (Launois-Luong, 1975).

Le comportement de choix alimentaire dépend des tolérances et des exigences de chaque espèce. Lorsqu'un acridien consomme un grand nombre de plantes, il est qualifié d'euryphage (polyphage). S'il n'en accepte qu'un petit nombre, il est dit sténophage (oligophage).

On distingue aussi, les acridiens qui se nourrissent exclusivement de graminées, dits graminivores, de ceux qui ingèrent des plantes herbacées non graminéennes, dits forbivores.

Globalement, la majorité des acridiens présentent des tolérances alimentaires très importantes et ne sont pas limités dans leur quête de nourriture. Le spectre trophique est lié à de nombreux facteurs intrinsèques et/ou extrinsèques de l'espèce ; les chimiorécepteurs labiales, labriales et palpales, la composition en microorganismes de leur flore intestinale, la nature des plantes présentes dans leur milieu de vie, ainsi que la coïncidence spatiotemporelle des cycles biologiques des espèces végétales et des criquets sur le terrain.

La majorité des acridiens sont euryphages, de ce fait, ils ne sont pas limités dans leur quête de nourriture. Ils se contentent fréquemment de la disponibilité végétale dans le biotope, surtout s'ils sont affamés.

Les limitations trophiques des sténophages sont d'ordre qualitatif et quantitatif. Bien qu'euryphage, *Schistocerca gregaria*, par exemple, est contrariée par deux terpénoïdes, l'azadirachtine et le meliantriol, que l'on trouve dans les deux espèces végétales *Azadirachta indica* et *Melia azedarach*. Des extraits de graines et de fruits de ces plantes ont été appliqués avec succès sur des cultures pour les protéger des attaques de ce ravageur.

Le comportement alimentaire ne peut être entièrement compris s'il est isolé des autres activités, tels les déplacements inter-stationnelles, à longue distance, ou les déplacements journaliers à l'intérieur d'une station, car le spectre alimentaire, dont dispose le criquet varie.

Les acridiens utilisent aussi, le système visuel et les chimiorécepteurs pour l'interception des plantes (Zaim *et al.*, 2013). Dès le premier contact avec le végétal, l'acridien met en action ses récepteurs mécaniques et chimiques de contact. La dureté et la pilosité, en tant que stimuli physiques et les substances volatiles (attractives et répulsives), en tant que stimuli chimiques, renseignent l'acridien sur la nature de la plante et lui permet d'adopter l'attitude la mieux adéquate.

Au cours de sa quête alimentaire, le criquet présente des arrêts alimentaires séparés par des intervalles de temps très variables. S'il n'est pas perturbé, le criquet mange jusqu'à ce que son jabot soit plein, ce qui représente environ 15 % du poids du corps. Il semble qu'en un jour, un acridien peut consommer l'équivalent en matière fraîche de son propre poids. La quantité de nourriture absorbée dépend de la taille et l'âge physiologique des individus.

5-2 Activités locomotrices

La capacité de déplacement des acridiens, est d'une grande importance dans la répartition géographique d'une espèce. En effet, les espèces qui sont aptes à se déplacer rapidement et activement sont les premières à coloniser un nouveau biotope (Blondel, 1976). En outre, les capacités de dispersion des criquets jouent un rôle important dans la dynamique des populations et le déterminisme de leur transformation phasaire. La plupart des acridiens ailés se déplacent par vol. Les types de vol sont classés en fonction de la distance parcourue, des zones reliées ou de leur signification écologique ou éthologique (vols d'évitement, sexuel, d'errance, d'ajustement).

Il a été ainsi, mis en évidence qu'une réduction des ailes, s'accompagne d'une réduction des muscles sous-jacents (Roff, 1986). Il est bien montré que le dimorphisme sexuel s'exprimant au niveau des organes du vol, retentit sur les capacités de déplacement de certaines espèces acridiennes (Picaud, 2003 ; Petit *et al.*, 2015). Ceci montre bien l'existence d'une liaison entre certains traits morphologiques et les capacités de déplacement des acridiens.

Les vols à courte distance permettent des déplacements au sein d'une même station : il s'agit donc de mouvements intra-stationnels. Les vols à moyenne et à longues distances relient des stations écologiques différentes, on parle alors de mouvements, intrarégionaux ou interrégionaux.

Les vols d'évitement sont observés, en cas de dérangement, les vols sexuels lors de la recherche du partenaire, les vols d'ajustement sont déclenchés, le plus souvent par la fuite, devant des conditions locales momentanément défavorables (alimentation pauvre, sécheresse, température inadéquate), parfois pour la recherche de conditions d'environnement plus favorables (Lecoq 1975).

Les vols erratiques, sans but apparent, au hasard des vents, sont inscrits dans le comportement normal de nombreuses espèces d'acridiens.

On distingue les espèces qui se déplacent sur de grandes distances, telles les espèces migratrices, comme *Schistocerca gregaria*, les espèces ayant des circuits de moyennes ampleurs, comme *Dociostaurus maroccanus* et les espèces sédentaires inféodées aux habitats spécifiques et définies par des capacités locomotrices limitées comme l'espèce *Dociostaurus dantini* ou *Zonocerus variegatus*.

Ces aptitudes de déplacement paraissent être liées à une multitude de paramètres biologiques, dont on souligne la grandeur de certains paramètres biologiques à savoir, les organes de vol, le corps, le thorax, l'abdomen, les fémurs et le pronotum (El Ghadraoui *et al.*, 2008).

Dans leur ensemble, les déplacements des ailés doivent être considérés comme des réponses adaptatives à l'instabilité de l'environnement. Ces déplacements ont lieu chaque année, selon l'alternance régulière d'une saison sèche et d'une saison des pluies et de l'orientation des vents dominants. Ces déplacements sont comparables à des migrations saisonnières.

6- Ennemis naturels

L'inventaire des ennemis naturels des acridiens a mis en apparence la grande diversité sur la mortalité immédiate ou sur la fécondité des femelles, ainsi que sur le temps de développement, les capacités de déplacement et les activités alimentaires de l'acridiens. (Greathed *et al.*, 1994). Les acridiens ont de nombreux ennemis naturels dépendant de leurs états biologiques.

Les acridiennes constituent la proie d'un grand nombre d'ennemis naturels vertébrés et invertébrés dans leurs différents états de développement (embryon, larve, ailé) : prédateurs, parasitoïdes, parasites, agents pathogènes (champignons, bactéries, protozoaires, virus), beaucoup d'entre eux entraînent la mort de l'insecte (Toure et Ndiaye, 2007).

Les parasites et les prédateurs des acridiens sont regroupés en fonction du stade phénologique attaqué : œufs, larves ou imagos. Ainsi, on en distingue des parasitoïdes, des parasites et/ou des prédateurs des différents stades de développement de l'insecte.

6-1 Parasitoïdes du stade embryonnaire

Parmi les parasitoïdes d'œufs d'acridiens, les hyménoptères scélionides sont largement connus, en tant que parasitoïdes d'embryons des locustes et des sauteriaux.

Le genre *Scelio* comprend de nombreuses espèces. Toutes sont des parasitoïdes d'œufs d'acridiens. On en compte 23 espèces existants en Afrique.

6-2 Prédateurs des œufs

Les oothèques d'acridiens constituent une source de nourriture pour de nombreux insectes, dont les larves prédatrices se développent dans le sol. On en distingue les diptères dont les principaux des bombyles, des curtonotides et des calliphorides. Les bombyles étant des principaux prédateurs d'œufs d'acridiens.

Les Coléoptères sont connus, ainsi, comme prédateurs principaux d'oothèques acridiens. Des larves de coléoptères sont souvent présentes dans le sol et se nourrissant de ces oothèques. La plupart sont des nécrophages.

Les Carabidés représentés par de nombreuses espèces : *Abacetus*, *Harpaglossus*, *Homalolachnus spp*, *Chlaenius spp*. Histeridae : *Saprinus ornatus*, Tenebrionidae : *Pimelia senegalensis*.

Les Trogidés à savoir, *Trox procerus* et *Trox squalidus* et en fin les Meloidés dont les espèces les plus connues sont : *Mylabris pallipes*, *M. vicinalis*, *Psalydolytta pilipes* et *P. fusca*

6-3 Parasitoïdes des larves et des imagos

Les principaux prédateurs des larves et des imagos appartiennent aux familles suivantes : Nemestrinidae, Sarcophagidae et Tachinidae. Les acridiens sont parasités par des mouches nécrophages qui peuvent se rencontrer sur des criquets morts ou qui viennent de mourir. Ces

mouches sont des Sarcophagidae (*Sarcophaga* ou *Wohlfartia*) ou des Phoridae. Nemestrinidae : *Trichopsidea costata*, Sarcophagidae : *Blaesoxipha* spp, *B. agrestis*, *B. anceps*, *B. filipjevi*, *B. migratoria*, *Wohlfahrtia* spp, Tachinidae : *Metacemyia calloti*,

6-4 Prédateurs des larves et des imagos

Les acridiens, en particulier les locustes grégaires, constituent une source attrayante de nourriture pour les prédateurs non spécialisés, vertébrés et invertébrés. Ces prédateurs peuvent devenir des causes importantes de mortalité et même éliminer un grand nombre de jeunes larves.

Les araignées et les galéodes ne sont pas suffisamment abondants, pour avoir vraiment un impact sur les acridiens. Tandis que les larves rouges d'acariens Trombidiidae qui apparaissent généralement, après les pluies, se nourrissent d'insectes. Les tiques, quant à elles, sont parfois si nombreuses sur le corps de l'hôte qu'elles l'empêchent de se mouvoir.

Les insectes sont des prédateurs non spécifiques qui peuvent s'attaquer aux criquets. Comme pour les arachnides, cela n'entraîne jamais une mortalité très importante. On trouve des mantes, des punaises de la famille Reduviidae, des mouches Asilidés et de nombreuses guêpes.

Les Hyménoptères Sphecidae en particulier les *Prionyx* (Sphecinae), *Tachysphex*, *Tachytes* (Larrinae) et *Stizus* (Nyssoninae) approvisionnent en totalité, ou en grande partie, leurs nids en acridiens. Il semble que, *Prionyx crudelis* et *P. nigropectinatus* ont été observées dans le Tamesna au Nigérien chassant de grosses larves de criquet pèlerin et même de jeunes imagos (Duranton, 1989). De même, des adultes de *Prionyx* sp, ont été observés se regrouper, autour des pullulations d'*Aiolopus simulatrix*, dans la vallée du Tilemsi au Mali (Popov, 1990).

En Afrique du Sud, l'espèce hyménoptère *Prionyx subfuscatus* se révèle être un prédateur du criquet brun, *Locustana pardalina*, en se regroupant autour des essaims, tout comme *P. crudelis* et *Prionyx subfuscatus*, déjà recensées en Afrique du Nord, en région méditerranéenne et en Asie. En outre, elles ont été observées en Ethiopie s'attaquer à de nombreux acridiens, y compris le criquet pèlerin.

6-5 Parasites des larves et des imagos

Les parasites des larves et des imagos d'acridiens, ayant un impact sur la physiologie et la survie de l'hôte, sont surtout des nématodes, telle que *Mermis Agamermis*, *M. nigrescens*, *Steinernema*

et *Heterorhabditis*. Certains d'entre eux sont des vecteurs d'agents pathogènes, ce qui suscite un intérêt dans la recherche de leur utilisation en lutte biologique.

7- Agents pathogènes

Les agents pathogènes des insectes sont souvent appelés entomopathogènes. Les groupes les plus importants des entomopathogènes sont les virus, les bactéries, les champignons et les protozoaires.

7-1 Virus

La plupart des virus isolés à partir de criquets malades, appartiennent à la famille des Poxviridae, plus particulièrement, des virus entomopox (*Entomopox virinae*). D'autres familles de virus ont été trouvées chez les orthoptères. Elles appartiennent aux Baculoviridae, aux Iridoviridae, aux Parvoviridae et aux Picornaviridae.

Les virus entomopox semblent infecter, surtout les larves qui, une fois malades, deviennent souvent pâles, à cause d'une accumulation de corpuscules d'inclusion dans les tissus. Les criquets sont léthargiques (diminution considérable de l'activité d'un individu), leur développement est ralenti, ce qui allonge considérablement les durées des stades larvaires. Il n'y a pas véritablement de signes externes d'infection (Purrini, 1989). La mort survient par la suite d'une rupture de la cuticule ou de l'intestin.

Les virus polyédriques nucléaires et les virus granulaires modifient souvent le comportement des criquets. Ces derniers deviennent plus agités et grimpent à l'extrémité des tiges ou des branches pour mourir. Leur corps devient ensuite, flasque et noir et se liquéfie littéralement. On peut trouver des insectes accrochés par leurs pattes antérieures ou collés à la végétation, un fluide blanc suintant du cadavre.

Les symptômes dus aux Parvoviridae et Picornaviridae sont peu connus. Ils infectent souvent les tissus musculaires et provoquent alors une paralysie des pattes postérieures. D'autres tissus peuvent être atteints. La plupart des virus de ces deux familles semblent se restreindre aux cellules de l'épithélium de l'intestin. Le criquet meurt habituellement, dans la semaine qui suit l'infection.

7-2 Bactéries

Certaines bactéries provoquent des maladies chez les criquets. Les plus importantes sont quelques espèces du genre *Bacillus*. Les espèces Entomopathogènes appartiennent aux familles des Bacillaceae, Pseudomonadaceae et Enterobacteriaceae, alors que d'autres bactéries infectent que des insectes affaiblis ou blessés.

Deux espèces ont été isolées à partir des corps des acridiens : *Serratia marcescens* et *S. liquefaciens*. *S. marcescens* (Enterobacter). Celles-ci, provoquent souvent des maladies dans les élevages de criquets, rarement dans les populations naturelles (Louveaux *et al.*, 1994).

Les Xenorhabdus sont des Entomopathogènes. Les bactéries tuent leurs hôtes par l'intermédiaire de leurs nématodes commensaux se nourrissant des tissus en décomposition. Deux espèces sont reconnues : la bactérie *Xenorhabdus nematophilus* associée au nématode *Steinernema* et la bactérie *X. luminescens* associée au nématode *Heterorhabditis* (Thaler, 1998).

7-3 Champignons

Les champignons Entomopathogènes appartiennent aux trois sous-divisions, Zygomycotina (Entomophthorales), Ascomycotina (Clavicipitales) et Deuteromycotina (Hyphomycètes) infectent les criquets. L'espèce *Entomophaga grylli*, attaque les criquets et provoque la fameuse "maladie du sommet" (*summit disease*). Les criquets infectés grimpent aux extrémités des tiges pour y mourir. On les retrouve accrochés à la plante après leur mort, les hyphes du champignon sortant par les orifices du corps et l'attachant plus solidement au support.

Autres champignons comme ceux du genre *Cordyceps* infectent aussi bien des insectes à mode de vie hypogée qu'épigée. Les symptômes sont une perte du sens de l'orientation et une fièvre. Avant de mourir, certaines espèces de criquets se cachent sous la litière, sous l'écorce des arbres ou encore s'accrochent à la végétation.

En octobre 1988, certains auteurs ont observé de nombreux cadavres d'*Ornithacris cavroisi* découverts au sol et sur la végétation herbacée au Niger (Lecoq & Launois-Luong, 1988). Parmi les micro-organismes isolés, le champignon *Metarhizium flavoviride*, ayant fait l'objet de très nombreux tests sur des locustes et des sauteriaux en Afrique, en Amérique du Nord et du Sud et en Australie en raison de sa pathogénicité élevée contre les acridiens. En outre, il existe des souches

infectant des criquets et qui peuvent être très efficaces, surtout en régions tempérées. Des épandages de conidies de *B. bassiana* en solution huileuse, effectués au Mali sur un mélange de jeunes larves de *Kraussella amabile*, de *Cataloipus cymbiferus* et de *Hieroglyphus daganensis*, ont permis d'obtenir une mortalité importante (Johnson *et al.*, 1992).

Le genre *Aspergillus* est répandu, partout dans le monde et les espèces se développent sur une vaste gamme de substrats, surtout en présence de protéines. Plusieurs espèces peuvent être Entomopathogènes, comme *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus* et *A. ochraceus*. Elles tuent leurs hôtes par les toxines qu'elles produisent. Cependant, la présence de ces champignons sur des cadavres ne prouvent pas qu'ils aient causé la mort, car ils peuvent se développer de manière saprophytique.

L'aflatoxine, toxine produite par *Aspergillus flavus*, est aussi dangereuse pour les organismes autres que les insectes.

7-4 Les protozoaires

Certains protozoaires causent pour les criquets des infections graves. Ils ralentissent leur activité locomotrice et retardent leur développement. (Schaalje, Johnson & Van Der Vaart, 1992). Les deux espèces de protozoaires *Nosema acridophagus* et *N. cuneatum*, semblent avoir un effet plus néfaste sur leurs hôtes, ils sont capables de les tuer (Henry & Oma, 1974). Les criquets manifestent ainsi, des activités désordonnées et finissent par mourir.

8- Méthode de lutte

Pour faire face au problème des acridiens ravageurs, de nombreuses méthodes de lutte sont utilisées :

8-1 Lutte préventive

La prévention est la seule stratégie de lutte contre le criquet économiquement et écologiquement acceptable. Son objectif principal est d'altérer la tendance évolutive d'une situation acridienne, avant d'en subir les effets néfastes (Launois-Luong *et al.*, 1988 ; Popov *et al.*, 1991). De ce fait, tous les moyens doivent être mis en œuvre pour empêcher que les effectifs du criquet invasifs n'atteignent pas la masse critique de transiens, au-delà de laquelle, le processus de grégarisation généralisée devient inversible (Popov *et al.*, 1990).

La technique de prévention reste essentiellement fondée sur la surveillance des aires grégarigènes, en dehors des zones de culture, de façon à intervenir précocement et efficacement sur les premiers regroupements de criquets et éviter ainsi, une invasion généralisée. La stratégie de lutte préventive contre les acridiens ravageurs, telle que *Schistocerca gregaria*, *Locusta migratoria* et *Dociostaurus maroccanus*, se résume en trois étapes, comme l'avait souligné Duranton et Lecoq (1990).

- Les surveillances des conceptions écologiques dans les aires potentielles de reproduction et de grégarisation ;
- L'organisation des prospections aériennes et terrestres dans les aires devenues potentiellement favorables à la suite des précipitations abondantes ;
- La lutte contre toutes les populations des criquets dépassant un certain seuil, principalement dans les biotopes réputés, constitués des foyers grégarigènes

8-2 Lutte mécanique

Elle consiste à détruire physiquement les œufs, les larves ou les ailés. Les méthodes de lutte mécanique sont les plus anciennes. Ces méthodes consistent à creuser des tranchées pour que les larves y tombent, ou à les balayer avec des branchages. Elles sont parfois utilisées, en dernier recours, pour essayer de sauver le reste des cultures. Elles peuvent éviter quelques dégâts si l'infestation acridienne est légère, mais elles ont peu d'effet sur la population acridienne totale et elles peuvent échouer à protéger les cultures, quand l'effectif des criquets est très important.

La destruction des oothèques par exemple, s'obtient en labourant les lieux de ponte, sur 10 à 15 centimètres de profondeur, pour atteindre toutes les pontes. Plus le travail du sol s'effectue peu de temps, après le dépôt des oothèques, plus le résultat est meilleur, car les œufs sont plus fragiles et très sensibles aux chocs mécaniques, tel que l'effet de dessèchement. Ainsi, il est d'une grande nécessité de prospecter le terrain au préalable, afin de localiser les foyers de pontes.

Il est à noter qu'il est difficile de visualiser les champs de ponte sans disposer d'une très bonne information sur les sites de ponte des essaims.

8-3 Lutte écologique

La lutte écologique consiste à utiliser tous les moyens naturels pour empêcher la pullulation d'une espèce ravageuse, par exemple, en modifiant l'environnement de l'acridien, dans un sens qui lui

est défavorable (Letchininsky et Launois-Luong, 1997). Plusieurs techniques sont utilisées à savoir :

- Inondation temporaire de certains sites de reproduction ;
- Labourage des sols indure ;
- Reforestation des clairières ;
- Semis des plantes répulsives ;
- Suppression des jachères.

L'inconvénient de cette forme de lutte réside dans la difficulté de son application à grande échelle.

8-4 Lutte chimique

La lutte chimique reste la plus souvent utilisée, malgré ses effets néfastes sur la santé de l'Homme et son environnement. Celle-ci consiste à atteindre les criquets ravageurs directement ou indirectement (par empoisonnement de la végétation), au moyen de substances actives, ou produit de synthèse, pour les tuer ou les faire fuir (Duranon *et al.*, 1987).

Lors des dégâts considérables occasionnés par des invasions acridiennes, la lutte chimique devient une nécessité impérieuse. C'est le moyen le plus efficace et le plus important en termes de surface traitées et de possibilité matérielle, financière et humaine mises en œuvre.

La lutte chimique actuellement est la seule arme disponible pour traiter les fléaux acridiens de grande ampleur, à l'échelle locale, nationale et internationale. Néanmoins, elle doit être employée à bon escient et les traitements doivent être réalisés dans le respect des règles de bon usage (Launois Luong *et al.*, 1978).

Pour tuer les criquets, il faudrait utiliser les produits les plus spécifiques des organismes cibles, tout en choisissant ceux qui sont aussi peu dangereux que possible pour l'Homme et son environnement.

Les principaux produits chimiques destinés à tuer les criquets, soit immédiatement soit après un délai, plus ou moins long, après la détermination du niveau d'infestation et des surfaces envahies sont données sur le tableau ci-dessous. Ces derniers se présentent sous forme de poudre, de suspension huileuse ou de gaz.

On en distingue les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates, les pyréthriinoïdes et les régulateurs de croissance (Launois-luong *et al.*, 1988 et Rachadi, 1991).

**Tableau 2 : Principaux insecticides chimiques utilisés en lutte antiacridienne au sahel
(Launois-luong *et al.*, 1988)**

Produits	Famille	Mode d'action	Rémanence
Dieldrine	Organochlorés	Par contact et ingestion	1 mois et plus
Lindane	Organochlorés	Par contact, ingestion et inhalation	24 heures
Chlorpyrifos-éthyl	Organophosphorés	Par contact, ingestion et inhalation	2 jours
Diazinon	Organophosphorés	Par contact, ingestion et inhalation, inhibiteur de cholinestérase	1 à 2 jours
Fénitrothion	Organophosphorés	Par contact, ingestion et inhalation, inhibiteur de cholinestérase	1 à 2 jours
Malathion	Organophosphorés	Largement par contact et faiblement par ingestion.	Très fugace, à peine 24 heures
Bendiocarbe	Carbamates	Par contact, ingestion et inhalation, léger effet de choc	7 jours
Carbaryl	Carbamates	Essentiellement par ingestion et légèrement par contact	7 jours
Propoxur	Carbamates	Excellent, action de choc par contact, peu d'effet par ingestion	2 à 3 jours
Plphocyperméthrine	Pyréthrinoïdes	Par contact et ingestion	Inconnu
Deltamethrine	Pyréthrinoïdes	Par contact et ingestion	8 jours
Lambdacyhalothrine	Pyréthrinoïdes	Par contact et ingestion	Plusieurs jours
Téflubenzuron	Régulateur de croissance	Agit par ingestion. Action concrétisée au moment de la mue par perturbation de la formation de la cuticule.	Inconnu

- Propriétés des pesticides utilisés

Les insecticides chimiques conçus pour la lutte antiacridienne, sont très diversifiés. On en distingue plusieurs groupes chimiques à savoir :

a- Organochlorés

Les résidus se confinent dans le sol argileux et leur lessivage est limité. Ces composés peuvent persister dans des échantillons de sol, de sédiments ou même de végétaux ou encore chez les animaux pendant longtemps.

b- Organophosphorés

Ces produits ont une durée de vie limitée dans l'environnement et leurs résidus sont détectés seulement sous forme de métabolites chez les individus contaminés.

Leur solubilité dans l'eau est plus élevée que celle des organochlorés. Ils peuvent être retrouvés dans des échantillons traités, pour une durée entre 5 et 15 jours, après le traitement.

c- Carbamates

Ils ne sont généralement pas rémanents dans l'environnement ; leurs métabolites sont rapidement excrétés chez les vertébrés. Leur solubilité dans l'eau est modérée. La plupart des carbamates sont relativement stables dans une eau à pH neutre. Les résidus peuvent être présents dans l'eau pendant 10 à 20 jours après le traitement.

d- Pyréthrinoïdes

Ils ne sont généralement pas rémanents dans l'environnement, car ils sont rapidement dégradés, lorsqu'ils sont exposés au soleil. Les résidus peuvent persister après leur utilisation pendant 5 à 7 jours après le traitement, sauf dans les zones ombragées, ou utilisés à forte concentration.

e- Régulateurs de croissance

Ils sont caractérisés par leur faible solubilité dans l'eau et leur adsorption par le sol ce qui réduit leur impact sur l'environnement. Leurs résidus ne sont pas susceptibles d'être détectés que dans le sol (Acheuk et Doumandji-Mitiche, 2007). Ils peuvent avoir quelques effets dans les zones traitées, mais qui sont généralement réduits.

Quelle que soit la nature du produit chimique utilisé, celui-ci n'est malheureusement, jamais strictement acridicide, il présente le risque de détruire d'autres espèces non cibles, à savoir les pollinisateurs (auxiliaires indispensables à la fécondation de nombreuses plantes), les coprophages (reminéralisation du sol, par enfouissement et transformation de la matière organique, contenue dans les excréments du bétail) ainsi que d'autres organismes dont le rôle est si essentiel aux agrosystèmes. Cependant, il n'existe pas encore de substances inhibant sélectivement la prise de nourriture, le fonctionnement ovarien, la croissance, le mécanisme des mues, ou engendrant des malformations structurelles et fonctionnelles des criquets ravageurs.

Outre, les inconvénients dus au coût de technologie de production des pesticides, on ne peut cependant pas négliger, ni les dangers immédiats de la manipulation des acridicides et l'empoisonnement des écosystèmes naturels par leurs résidus, ni l'apparition de ravageurs secondaires, liée à l'impact de ces produits chimiques sur la faune utile (Duranton *et al.*, 1982).

Globalement, tout produit chimique utilisé, a des conséquences néfastes sur tous les organismes vivants, ainsi que sur l'environnement. D'où l'intérêt d'étudier l'impact des résidus des pesticides sur la biodiversité des régions traitées.

8-5 Lutte biologique

La lutte biologique d'après l'OMS, repose sur l'utilisation d'organismes vivants ou de produits qui en dérivent pour détruire les vecteurs et les ravageurs. Il s'agit en particulier de virus, de bactéries, de protozoaires, de champignons, de plantes, de vers parasites et de moustiques. On s'efforce en général de détruire les larves sans polluer l'environnement. La lutte biologique donne souvent ses meilleurs résultats lorsqu'on la pratique parallèlement à l'aménagement de l'environnement.

a- Utilisation d'ennemis naturels

La lutte biologique consiste généralement en l'utilisation contrôlée d'ennemis naturels, contre un organisme pour le détruire entièrement, ou au moins limiter son expansion démographique (Duranton *et al.*, 1987).

La technique d'utilisation des ennemis naturels pour lutter contre les criquets, est très ancienne, car en conditions naturelles, les acridiens sont la proie de nombreux de prédateurs et hôte de

parasites et de maladies. Bien que l'action des agents biologiques, soit discrète et ponctuelle comparée, aux effets des facteurs climatiques, il arrive que localement, les acridiens puissent être totalement éliminés par leurs ennemis naturels (Latchininsky et Launois-Luong, 1997).

b- Emploi de plantes acridicides

Ce moyen de lutte consiste à utiliser des plantes qui ont un effet répulsif sur les criquets par l'exploitation des substances acridicides, contenues dans ces végétaux, en lutte biologique contre les insectes nuisibles.

Certaines plantes aromatiques et médicinales ont été largement utilisées dans les luttes antiacridiens (Zaim *et al.*, 2012 ; El Ghadraoui *et al.*, 2015), par exemple, *Eucalyptus occidentalis* et le chêne liège *Quercus suber* Doumandji et Doumandji-Mitiche (1994). Il semble que des essaims de *S. gregaria* ont été retrouvés morts le lendemain après avoir dévoré les jeunes pousses de ces plantes.

L'intérêt de l'utilisation des biopesticides (à base de substances naturelles) s'est manifesté à la suite de nombreux problèmes directement ou indirectement associés à l'utilisation des insecticides chimiques. Ceux-ci, ont entraîné l'apparition de phénomène de résistance de certains insectes nuisibles et se sont révélés toxiques pour les mammifères, pour des insectes non ciblés, ainsi que pour certaines plantes (Vincent et Coderre, 1992 ; Lomer et Langewald, 2001 ; Allal-Benfekih *et al.*, 2007 et Niassy *et al.*, 2007).

L'utilisation de certains micro-organismes dans la lutte contre les insectes ravageurs a été largement soulignée. Ainsi l'implication de deux bactéries pathogènes chez des populations naturelles et dans des élevages de locustes et de sautériaux est prouvée par certains chercheurs (Zelazny *et al.*, 1997) ainsi, *Serratia marcescens* ; *Pseudomonas aeruginosa* ; en plus de *Bacillus thuringiensis* et *Bacillus sphaericus* (Dunphy et Tibelius, 1992) infectent durablement ces insectes et se répandent dans les élevages, lorsque ces bactéries sont ingérées, avec de la nourriture.

Les champignons entomopathogènes qui infectent les criquets, font partie de la sous division des Deuteromycotina : les espèces *Metarhizium anisopliae*, *M. flavoviride* et *Beauveria bassiana* semblent infecter la plupart des acridiens (Doumandji-Mitiche *et al.*, 1998 ; Greathead *et al.*, 1994). Leur qualité d'efficacité acridicide, leur biodégradabilité, leur spécificité les font

considérer, comme une intéressante alternative, par rapport aux pesticides chimiques classiques (Welling et Zimmermann, 1997).

De nombreux travaux (Zimmerman *et al.*, 1994 ; Welling *et al.*, 1995 ; Stephan *et al.*, 1997 ; Halouane *et al.*, 2001 ; Scanlan *et al.*, 2001 ; Hunter, 2005 ; Kane *et al.*, 2007 et Tounou *et al.*, 2008) ont montré l'efficacité de l'entomopathogène *Metarhizium anisopliae* et de *Beauveria bassiana*, contre les locustes africaines : *Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria*.

Par ailleurs, les deux espèces bactériennes : *Beauveria bassiana* et *Metarhizium flavoviride* provoquent une diminution du nombre des différentes catégories de cellules sanguines de l'hémolymphe des larves âgées et des adultes de *Locusta migratoria*, ainsi que des altérations structurales marquées (Halouane *et al.*, 2001 et Hunter, 2005).

D'autres études ont montré la possibilité d'utiliser des substances insecticides assimilées aux anti-appétant, contenus dans les végétaux, pour la lutte biologique contre les orthoptères acridiens (Ben Hamouda, 1994 ; Mouhouche et Bezzaze, 2007 et Abdalla *et al.*, 2009). L'effet anti-appétant d'*Azadirachta indica* (neem) et les conséquences létales de la consommation de cet arbuste sur *Locusta migratoria* ont été largement soulignés par certains auteurs (Mordue *et al.*, 1986).

La production d'un acrido-dissuadant à partir du neem et le perfectionnement d'une formulation de ce produit à faible dose d'application par (n) hectare, ont fait par ailleurs, l'objet de nombreux travaux (Braman, 1993 ; Mordue et Blackwell, 1993). L'impact de l'alimentation à base d'autres phagodissuadants a été étudié sur divers aspects de la physiologie et du comportement de *S. gregaria*. On peut citer comme exemple *Eucalyptus gomphocephala*, *Schinus molle* (Guendouz-Benrima, 2005), *Euphoria longana*, *Olea europaea* (Moumen, 1997 et Ammar *et al.*, 1995), *Peganum harmala* (Abbassi *et al.*, 2005) et *Solanum sodomaeum* (Zouiten *et al.*, 2006).



Matériel et méthodes



II - MATERIEL ET METHODES

1- Stations d'études

Les stations d'études sont au nombre de quatre et elles se situent dans le Moyen-Atlas. Ainsi, il n'est pas possible de couvrir toute la région d'étude. Il semble donc d'une grande nécessité de procéder à un échantillonnage des milieux d'étude et de travailler sur des sites représentatifs, où les conditions apparaissent, plus ou moins homogènes.

Pour mener notre étude portant sur la bioécologie, la répartition et le régime alimentaire des Orthoptères acridiens dans la région du Moyen-Atlas, nous avons choisi quatre stations géographiquement éloignées à savoir (Sefrou (A), Mazdou (B), Guigou (C) et Timahdite (D)). En sachant qu'une station est une circonscription d'étendue quelconque représentant un ensemble complet et défini de conditions d'existences nécessaires aux espèces qui l'occupent (Dajet et Gordon 1982).

Les stations étudiées sont caractérisées par une diversité au niveau d'un certain nombre de paramètres, dont l'altitude et la composition du tapis végétal, car la structure de ce dernier est un élément fondamental dans la description de la niche écologique des criquets. La plante est non seulement la source nutritive, mais aussi l'habitat du criquet (Le Gall, 1989).

Dans chacune des stations, les paramètres suivants sont pris en considération : le nom de la commune où est située la station, les coordonnées GPS, l'altitude, la composition floristique et le pourcentage de recouvrement végétal central (Figure 21).

Nous avons effectué ainsi, un inventaire intensif des espèces végétales et le pourcentage de recouvrement total (Tableau 3).

Tableau 3 : Données Géoclimatiques des quatre stations prospectées Csa : climat méditerranéen Csb : supra-méditerranéen

Station	Station A (Sefrou)	Station B (Mazdou)	Station C (Guigou)	Station D (Timahdite)
Coordonnées	33° 48' 26.4"N 4° 50' 1.2"W	33° 45' 17.9" N, 4° 49' 46.3" W	33° 24' 43.2" N 4° 49' 18.8" W	33° 13' 14"N 5° 3' 37.4"W
Altitude (m)	800	1200	1600	1960
Pente (%)	5	15	10	5
Exposition	Nord-ouest	Nord	Sud	Nord
T° moyenne mensuelle	17,4	17,5	13,4	13,5
Précipitations moyenne mensuelle	49,7	48,9	62,8	53,7
Type de climat	Csa	Csa	Csa	Csb
Sol	Marne calcaire sableux	Sableux	Limonosableux	Limonosableux
Familles des espèces végétales dominantes.	Asteraceae, Poaceae, Fabaceae et Papaveraceae.	Polygonaceae, Papaveraceae, Asteraceae, Lamiaceae et Poaceae.	Rutaceae, Poaceae, Fabaceae, Zygophyllaceae, Thymelaeaceae et Asteraceae.	Asteraceae, ; Poaceae, Fabaceae, Renunculaceae et Cryophyllaceae.
Taux de recouvrement	70%	50%	70%	70%



Figure 21 : Localisation géographique des différentes stations étudiées dans le Moyen-Atlas

Station A : Se situe à l'est de Sefrou, à une altitude de 800 m, ayant une exposition "nord-ouest". Elle est caractérisée par un sol caillouteux, un couvert végétal moyennement riche avec une couverture de 70 % et une dominance de Poacée et Astéracée, sol nu occupe 30 %. Son relief présente des affleurements de la roche mère, avec une pente de 5 %. Son bioclimat est de type semi-aride (Labhar, 1998). Les précipitations sont plus importantes en hiver qu'en été favorisant le développement des embryons des espèces acridiennes.

Station B : Située à une altitude de 1200 m, exposée vers le Nord, elle est caractérisée par un sol caillouteux et délimitée par une forêt de pin et de chêne vert, avec une pente de 15 %. Le climat qui règne dans la région est de type semi-aride à hiver tempéré, les pluies En hiver, sont bien plus importantes qu'elles ne le sont en été. Le taux de recouvrement végétal est de 50 % environ, le sol nu occupe 10%. Les espèces végétales présentes dans la station appartiennent aux familles des Astéracées, Poacées, Lamiacées, Polygonacées, Fabacées et des Papavéracées.

Station C : Se trouve à 30km de la station B, à une altitude de 1600m, avec une orientation Sud, le sol nu occupe 15 %. En hiver, les pluies sont bien plus importantes qu'elles ne le sont en été. La station se présente sous forme d'une paire couverte d'un grand nombre d'espèces végétales, appartenant aux familles des Rutacées,

Station D : Située à une altitude de 1960m, elle se présente sous forme d'un terrain peu caillouteux avec une pente de 5 %, à couvert végétal dense occupant 70 %, avec une diversité au niveau des espèces végétales, son climat est aride à hiver très froid. Les espèces végétales recensées dans la station appartiennent aux familles des Poacées, Labiées, Brassicacées, Fabacées (avec une dominance des brassicacées et Poacées)

2- Méthode d'échantillonnage des orthoptères

Globalement, on distingue plusieurs méthodes d'échantillonnage des insectes sur le terrain. Cependant, elles sont toujours difficiles à employer et ne sont jamais totalement sûres. Les méthodes d'échantillonnage d'insectes varient, selon leurs habitats.

L'intérêt de chacune des techniques est variable en fonction de la nature de nombreux paramètres, dont l'objectif d'étude, la nature du milieu à prospector, le couvert végétal et l'espèce étudiée.

Une méthode d'échantillonnage se doit d'avoir plusieurs qualités, notamment une perturbation minimale du milieu et de la faune, une représentation la plus fidèle possible du peuplement et une faible durée du temps d'échantillonnage (Canard 1981).

La prospection des différentes stations étudiées a été réalisée, durant la période, allant du mois de mars au mois d'octobre, à raison d'une fois par quinzaine, durant les trois années d'étude (2012, 2013 et 2014).

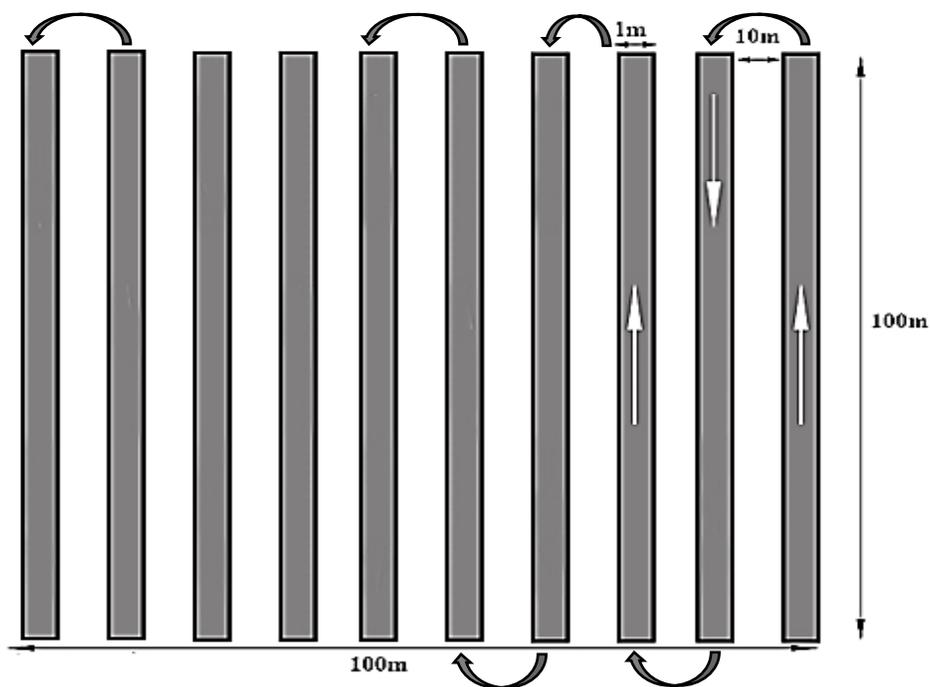


Figure 22 : Technique utilisée dans le dénombrement des criquets dans des carrés de 10 000 m²

La taille minimale de chacune des parcelles étudiées est d'environ 10 000 m², taille suffisante pour obtenir des relevés significatifs (Defaut, 2010). Le comptage à vue est une technique d'échantillonnage essentiellement utilisée par de nombreux chercheurs pour dénombrer les criquets (Ben Halima *et al.*, 1984 et El Ghadraoui, 2002). Elle consiste à dénombrer les individus tout au long d'un transect de 100 m de longueur et 1m de large, séparé par 10 m. Des carrés de 10 000 m² sont ainsi explorés (Figure 22) une fois par quinzaine, les carrés sont choisis dans des endroits où la structure végétale est d'une faible hauteur, ce qui facilite notre mode de dénombrement.

L'échantillonnage a lieu en début de la matinée, de 8h à 12h, les acridiens sont alors assez actifs pour être facilement repérés. Pour la capture des Orthoptères, il est nécessaire de disposer d'un matériel adéquat.

- Filet Fauchoir : caractérisé d'un manche solide en roseau, d'un mètre et demi de longueur, portant sur l'une de ses extrémités, un cercle métallique de 0,35 m de diamètre. Un filet est placé sur ce cercle métallique. Il est d'une profondeur de 0,50 m. le sac est constitué d'une toile épaisse à maille très serrées pour résister aux frottements contre la végétation basse ;

- Des baguettes en bois, utilisées pour le marquage des positions des transects dans les stations ;

- Des boîtes en plastique pour la récolte des échantillons d'espèces de criquet ;

Des échantillons d'individus de certaines espèces capturées, sont récupérés à chaque fois dans des boîtes en plastique sur lesquels, la date et le lieu de capture sont mentionnés. Ils sont ramenés au laboratoire et conservés au congélateur pour une éventuelle détermination.

2-1 Détermination des espèces

La détermination des criquets capturés a été réalisée au laboratoire à l'aide d'une loupe binoculaire permettant l'observation et l'examen avec précision des paramètres morphologiques des individus, en se basant sur les clés d'identification de (Chopard, 1943 ; Louveaux et Benhalima, 1987 et Defaut, 2001). Les individus récoltés sont ensuite conservés à une température de -4°C.

2-2 Matériel biologique

Nous avons récolté treize espèces acridiennes, qui sont : *Dociostaurus maroccanus* ; *Dociostaurus jagoi* ; *Dociostaurus dantini* ; *Calliptamus wattenwylianus* ; *Calliptamus barbarus* ; *Oedipoda miniata* ; *Oedipoda fuscocincta* ; *Aiolopus strepens* ; *Chorthippus parallelus* ; *Euchorthippus elegantulus* ; *Acrotylus insubricus* ; *Oedaleus decorus* et *Schistocerca gregaria*. Les échantillons des espèces issues du Moyen-Atlas sont conservés à froid au laboratoire d'écologie fonctionnelle et environnement. Les individus étudiés de *Schistocerca gregaria* sont issus d'un élevage massif au laboratoire.

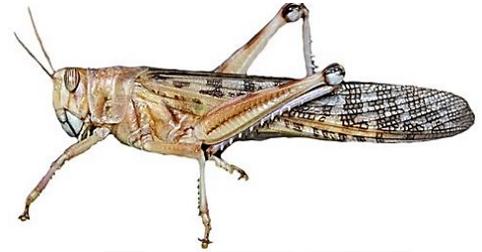
2-3 Elevage du criquet pèlerin

Les individus sont élevés en masse dans des cages de dimensions 60 x 40 x 40 cm, selon la méthode utilisée par Ghaout (1990). L'élevage est maintenu grâce à des conditions expérimentales contrôlées. Un chauffage permet de modifier la température de la salle d'élevage de $32 \pm 2^\circ\text{C}$, tandis qu'un tube fluorescent (60 W) maintient une photopériode de 12 h de lumière sur 12 h d'obscurité, grâce à un minuteur réglable. L'humidité est comprise entre 60 et 70 %, une pulvérisation d'eau dans les cages permet de garder les normes d'humidité. Les criquets sont alimentés quotidiennement de jeunes pousses de graminées (Orge et Blé) et d'un complément protéique à base de son. Des larves de 4^{ème} et de 5^{ème} stade sont prélevées dès la mue larvaire et réparties dans des cages plus petites, de dimensions 20 x 40 x 20 cm pour servir aux bio-essais.

Les images des 13 espèces acridiennes étudiées sont données ci-dessous :

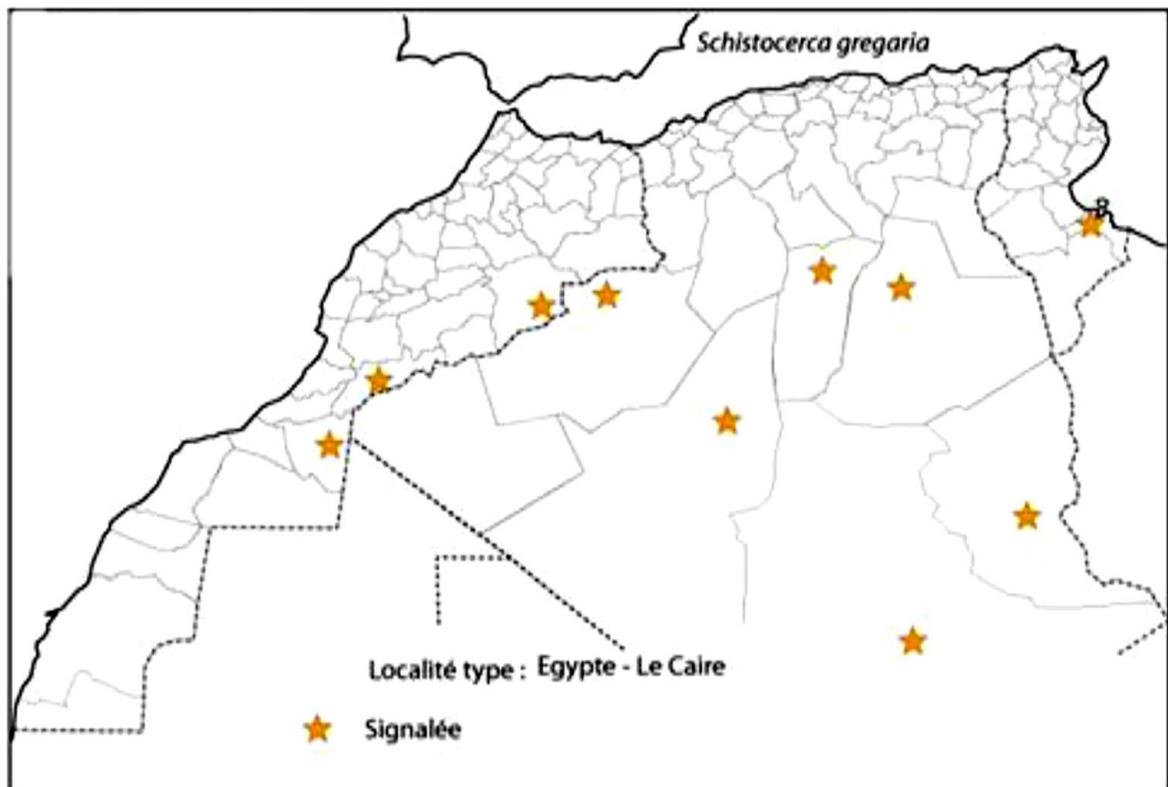
- *Schistocerca gregaria*

C'est une espèce de grande taille et de couleur sable, brunâtre ou grisâtre. Le pronotum est comprimé dans la prozone. Carène médiane soulignée par une bande claire qui se prolonge sur le vertex. Tibias de la couleur du corps. Ailes jaunâtres. Cerques larges et plats, les yeux sont striés.



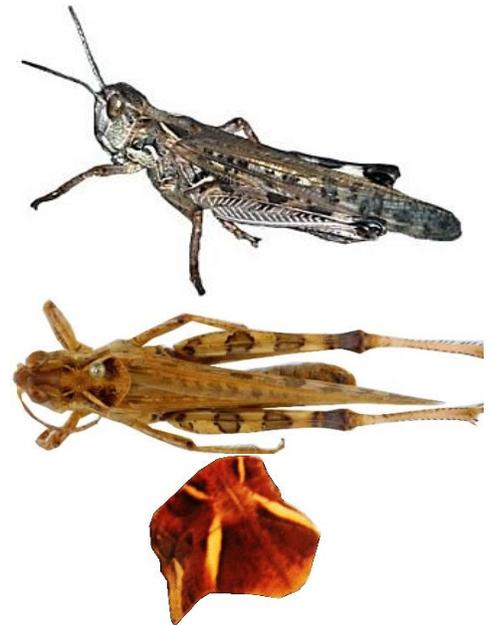
Habitat : Pendant les rémissions, des populations solitaires autochtones se reproduisent au pied de l'Anti Atlas : Tata, sud de Er Rachidia, vallée du Drâa, Tafilalet ; le Maroc Oriental : Bouârfa ; les Massifs sahariens et les cultures irriguées sous pivot du Sahara Central : Adrar.

Répartition géographique (*acriwafrica.mnhn*)



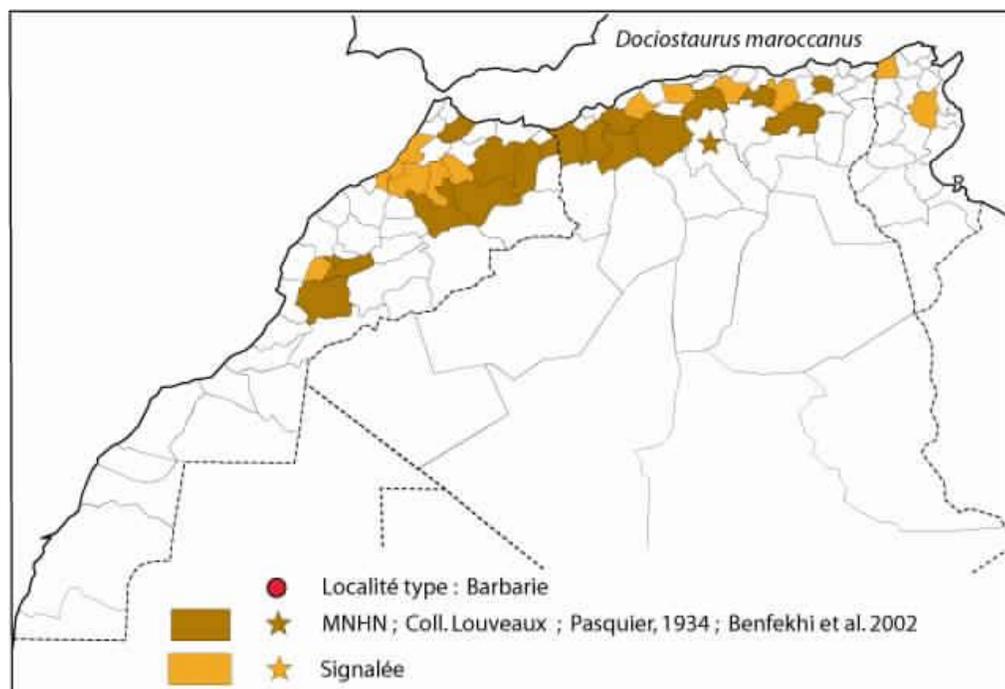
- *Dociostaurus maroccanus*

Cette espèce présente les caractères morphologiques suivants : Tête subconique, fastigium du vertex pentagonal, presque équilatéral. Pronotum à métazone 1,5 fois plus longue que la prozone avec une croix jaunâtre claire soulignée par des taches noires ; carènes latérales jaune. Sur les lobes latéraux du pronotum, une tache claire. Sur la face supérieure des fémurs postérieurs, on observe trois taches noires losangiques. Les tegmina et ailes dépassant les fémurs postérieurs. Les tibias postérieurs sont rougeâtres ou jaunâtres. La présence d'une forme de croix sur le pronotum est une caractéristique marquante de cette espèce.



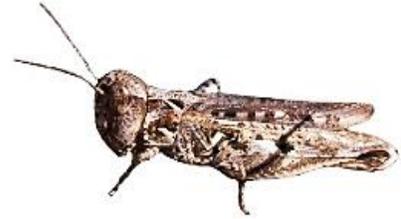
Habitat : Le criquet marocain persiste en période de rémission dans des foyers grégarigènes favorisés par le surpâturage. Au Maroc dans les pâturages d'estive du Siroua et dans la Meseta orientale la reproduction coïncide avec l'arrivée des troupeaux en juillet, les pontes sont déposées là où les moutons stationnent.

Répartition géographique (*acriwafrica.mnhn*)



- *Dociostaurus jagoi*

Coloration générale brun clair avec tegmina atteignant au moins l'extrémité des fémurs postérieurs. Le Dessin typique en croix bien marqué avec métazone du pronotum une fois et demie la longueur de la prozone. Fovéoles temporales quadrangulaires à peine plus longues que larges



Trois taches noires losangiques sur la face supérieure des fémurs postérieurs ;
Tibias postérieurs pâles ou bleuâtres avec dans la partie proximale une tache noire à la face interne



Habitat : Espèce parfois abondante dans les milieux secs et ouverts en moyenne altitude (800 – 1600 m). Présent dans le milieux herbacés xérophiles, à végétation lacunaire.

Répartition géographique (*acriwafrica.mnhn*)

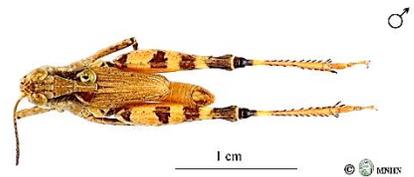


- *Dociostaurus dantini*

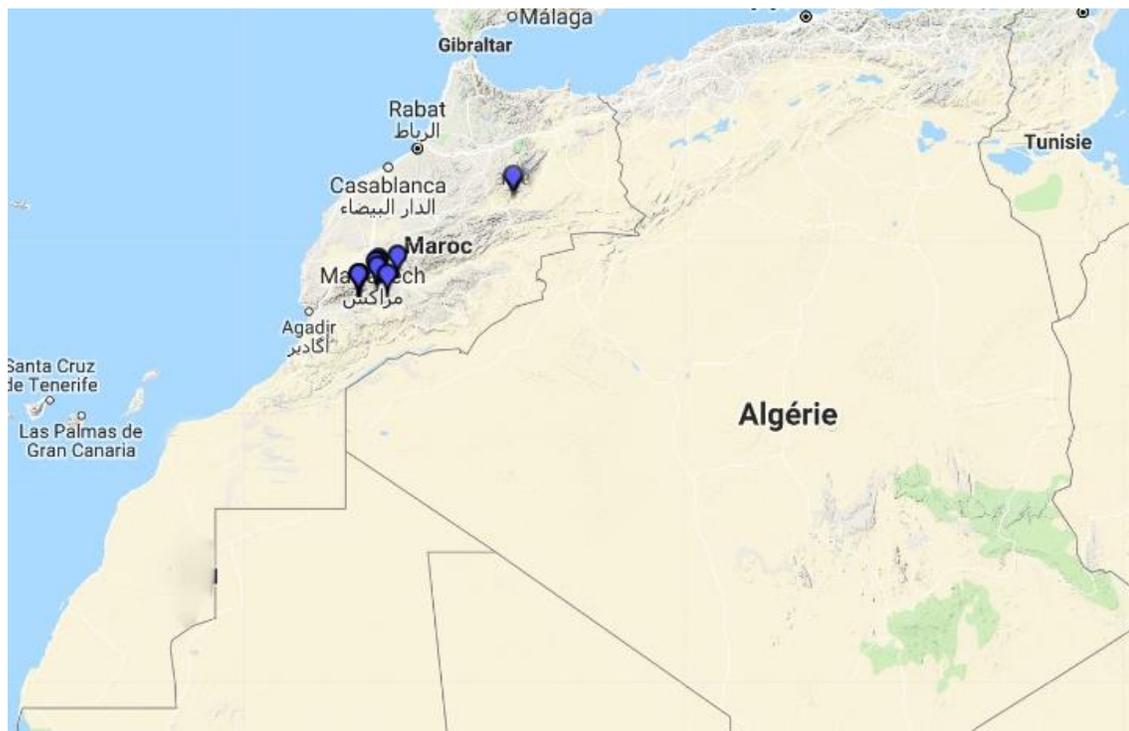
Taille moyenne avec des taches comme *D. maroccanus* sur le pronotum et les fémurs. Fastigium du vertex pentagonal à carinules élevées et plus long que large. Fovéoles temporales deux fois plus longues que larges. Bord postérieur du pronotum obtusément arrondi, prozone presque aussi longue que la métazone. Fémurs postérieurs jaune clair, courts et larges avec les taches noires losangiques typiques, une série des taches brunes sur la carène inférieure. Tibias postérieurs rouge clair ou jaunâtres avec un anneau jaune à la base. Ailes hyalines plus courtes que les tegmina.



Trois taches noires losangiques sur la face supérieure des fémurs postérieurs ; tibias postérieurs pâles avec une tache noire sur la face interne de la partie proximale



Répartition géographique (*acriwafrica.mnhn*)



- *Calliptamus barbarus*

C'est une espèce assez grande (30-35 mm), d'une coloration généralement brun ocre. La face interne des fémurs postérieurs avec une à trois taches noires plus ou moins fusionnées selon les populations. Les tibias postérieurs sont rougeâtres, les tegmina à bords subparallèles, arrondis à l'apex et dépassant l'extrémité de l'abdomen. Les ailes sont de couleur rose à rouge violacé



La présence de cerques bien développés chez les mâles est une caractéristique déterminante de cette espèce.



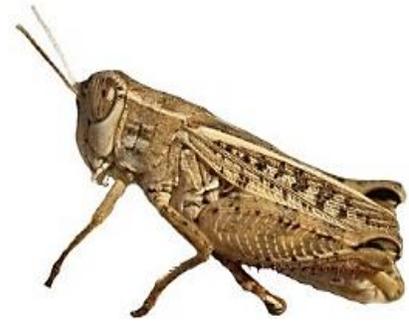
Habitat : En plaine et en moyenne altitude dans les friches et les garrigues ouvertes entourées de jachères ; près de la mer dans les dunes d'Essaouira. En altitude au-dessus de 2000 m dans l'Anti Atlas, avec *Dociopterus maroccanus*.

Répartition géographique (*acriwafrica.mnhn*)



- *Calliptamus wattenwylanus*

Femelles plus trapues et épaisses que *C. barbarus*. Couleur générale ocre à brunâtre. Carènes latérales du pronotum convergentes en avant. Face interne des fémurs avec des taches brunes diffuses et bord inférieur rose. Tibias postérieurs rouge pâle dorsalement. Tegmina rétrécis dans le tiers apical et atteignant à peine l'apex des genoux postérieurs (différence avec *C. barbarus*). Edéage aigu et incliné vers l'avant (différence avec *C. barbarus*) (Jago, 1963).



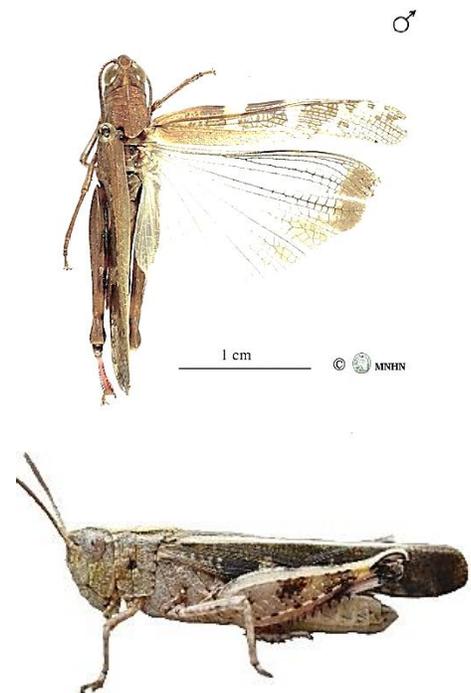
Habitat : Avec *C. barbarus* dans des milieux ouverts (friches, jachères), mais tendance thermophile et xérophile plus accentuée. Avec *Dociostaurus maroccanus* en milieux surpâturés et rocailloux ; en petit nombre dans les cultures irriguées (Faucheux *et al.*, 2013b). Rare dans les massifs montagneux, mais présent en altitude à 2000 m dans l'Anti Atlas, Askaoun et les Aurès, Djurdjura.

Répartition géographique (*acriwafrica.mnhn*)



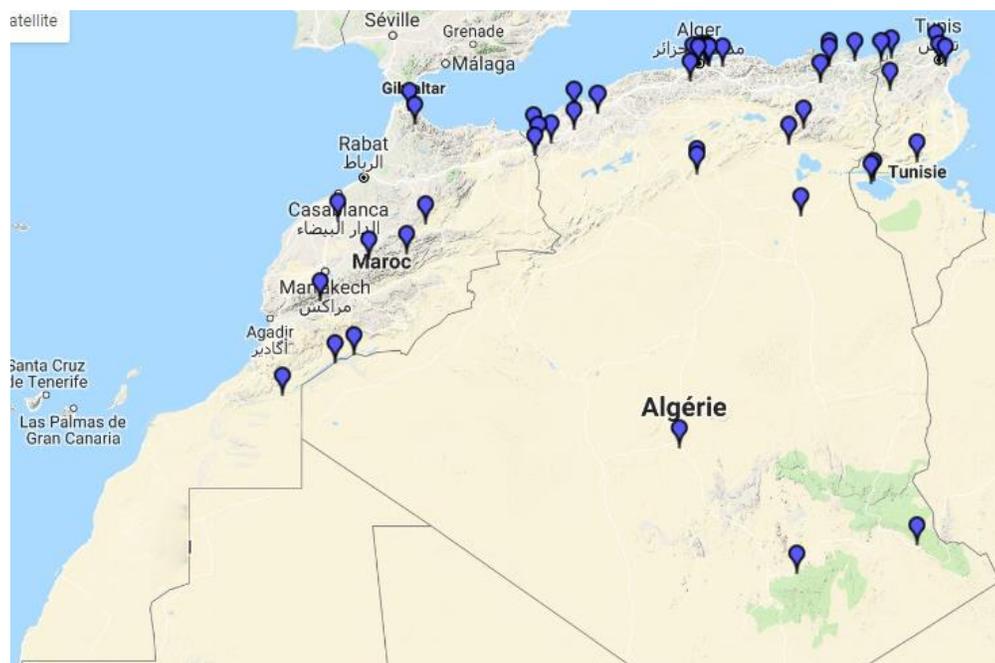
- *Aiolopus strepens*

Espèce très polymorphe en taille et couleur. Coloration générale allant du brun au vert (femelles). Antennes plus courtes que la tête plus le pronotum. Pronotum presque plat, faiblement resserré dans la prozone, le bord postérieur fait un angle obtus ; carène médiane droite bien marquée dans la métazone. Fémurs postérieurs des mâles larges et épais ; face interne noire, rouge à la partie inféro-interne. Tibias postérieurs des mâles avec un anneau noir, partie basale rose ou ocre, ≤ 9 épines au bord externe et ≤ 10 au bord interne. Tegmina avec deux fascies claires transverses se rétrécissant brusquement dans le champ médian. Ailes transparentes, hyalines ou vert bleuâtre à la base, rarement jaunes, apex enfumé



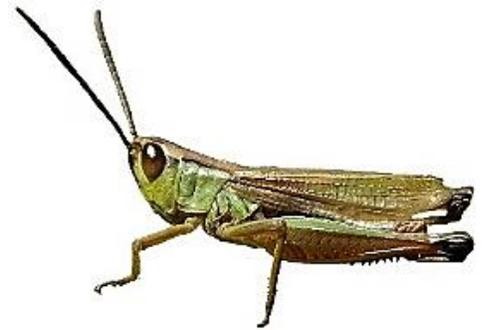
Habitat : Cette espèce, fréquente les milieux mésohygrophiles ou temporairement inondés. Dunes herbeuses, prairies humides, jardins, cultures irriguées. Une ou deux générations par an, adultes présents toute l'année et juvéniles dès avril en climat méditerranéen.

Répartition géographique (*acriwafrica.mnhn*)



- *Chorthippus parallelus*

Petits criquets (mâles de 1,5 cm environ, femelles de 2 cm environ, moins actives), de couleurs variées : vert, (couleur la plus fréquente), brun ou pourpre. Le lobe du bord antérieur de la base des élytres est petit. Les deux sexes sont ailés : les mâles sont brachyptères, (leurs ailes sont cependant plus courtes que l'abdomen) ; les femelles sont microptères (leurs ailes sont vestigiales).



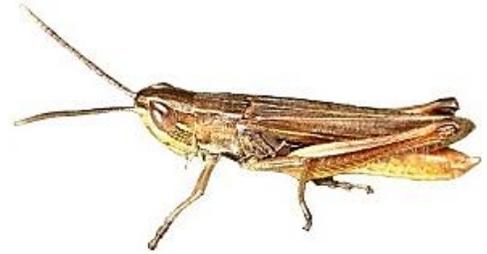
Habitat : Ils résident dans des pelouses, de préférence humides : dans les régions du sud de leur aire, on les trouve typiquement dans les vallées, à plus haute altitude, jusqu'à environ 2 000 mètres, jamais dans des régions arides.

Répartition géographique (*acriwafrica.mnhn*)



- *Euchorthippus elegantulus*

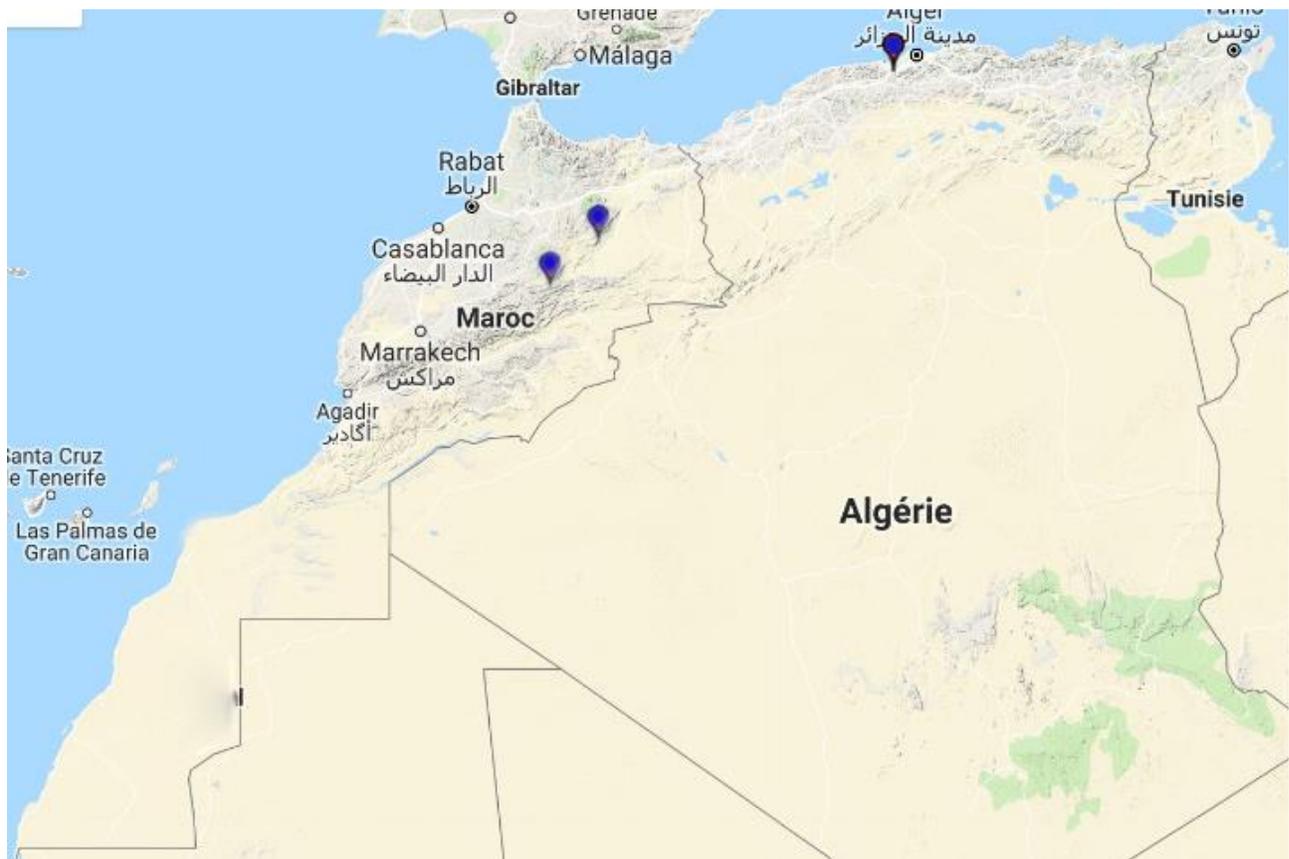
Ressemble à un Chorthippus mais jamais de coloration verte. Vertex arrondi avec des carinules en arrière des yeux. Front incliné. Antennes aplaties dans la moitié basale. Pronotum plat ; carènes latérales presque droites et parallèles, un peu divergentes dans la métazone. Fémurs postérieurs longs et étroits. Tegmina atteignant (femelles) ou dépassant (mâles) l'apex des genoux postérieurs.



Habitat : milieux humides, prairies, cultures

On les trouve typiquement dans les vallées et, à plus haute altitude, jusqu'à environ 2 000 mètres, jamais dans des régions arides.

Répartition géographique (*acriwafrica.mnhn*)



- *Acrotylus insubricus*

Coloration générale foncée, ou noirâtre variée de taches claires. Corps plus élancé que celui de *A. fischeri*. Antennes un peu plus longues que le pronotum plus la tête. Pronotum peu rugueux et carène médiane un peu bombée en avant du premier sillon ; bord postérieur obtusément arrondi à l'apex, métazone dépourvue de rides et de saillies ; lobes latéraux portant une tache blanche saillante. Tegmina dépassant les fémurs postérieurs (moins que chez *A. patruelis*), ornés de deux grandes taches brunes, apex transparent. Ailes rose vif à la base et ornées d'une large fascie brune arquée dans la partie médiane. Dans la partie apicale de l'aile, quelques petites taches beaucoup moins étendues que chez *A. fischeri*. Pour une séparation pratique de *A. fischeri*, *A. patruelis* et *A. insubricus*.



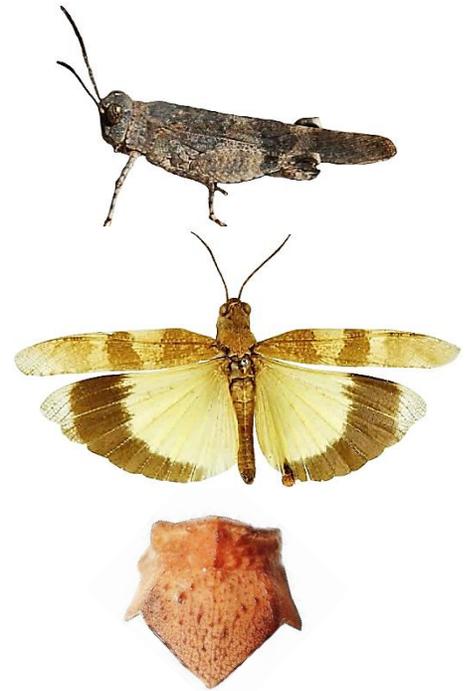
Habitat : habitats avec des taches de sol ouverts, mais au moins légère humidité : les rochers pâturages, falaises, dunes, des ravins, des routes.

Répartition géographique (*acriwafrica.mnhn*)



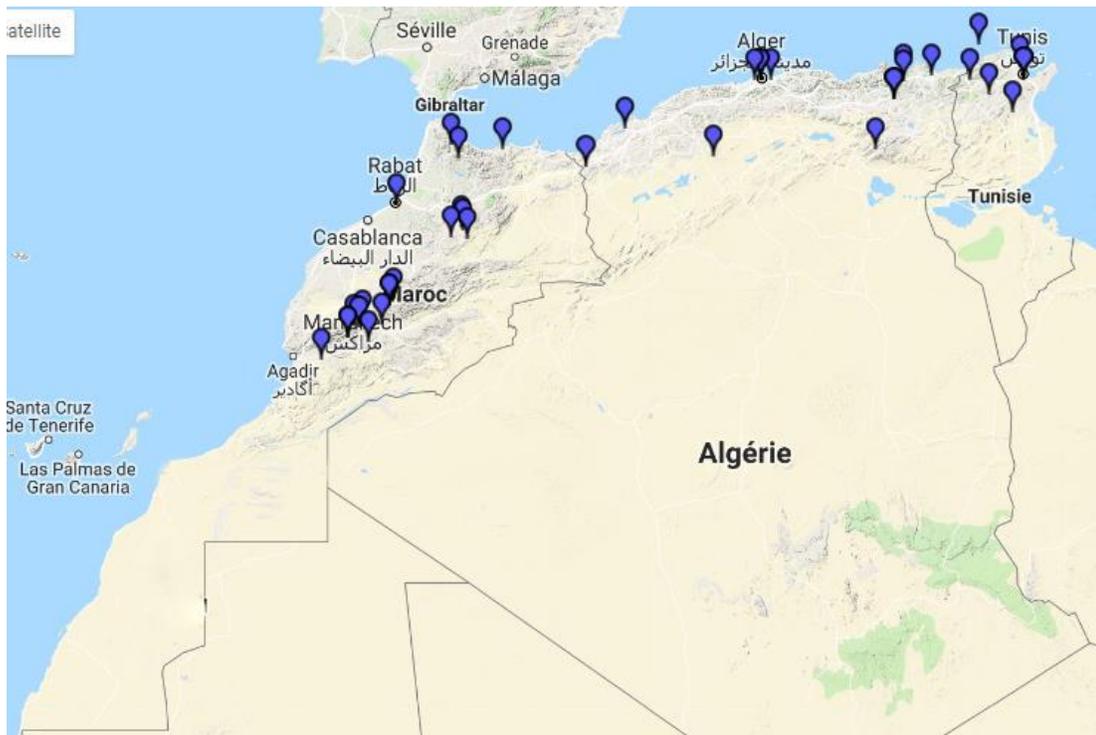
- *Oedipoda fuscocincta*

Coloration générale de brun ocre à gris. Pronotum à carène médiane droite, coupée par le sillon typique au tiers antérieur. Carènes latérales absentes ou ébauchées en épaules saillantes dans la métazone. Des tubercules allongés très marqués sur le pronotum ; bord postérieur anguleux. Fémurs noirs à la face interne avec un anneau brun clair. Tibias bleu foncé à violet foncé avec un anneau pâle. Tegmina avec une bande sombre médiane bien nette. Ailes jaune citron à la base ; fascie noire s'amincissant vers le bord interne de l'aile et dépassant la 10^e et anale, mais ne se prolongeant pas vers la base dans le champ cubitale.



Habitat : Espèce des milieux arides, caillouteux et sableux de montagne et des hautes plaines steppiques.

Répartition géographique (*acriwafrica.mnhn*)



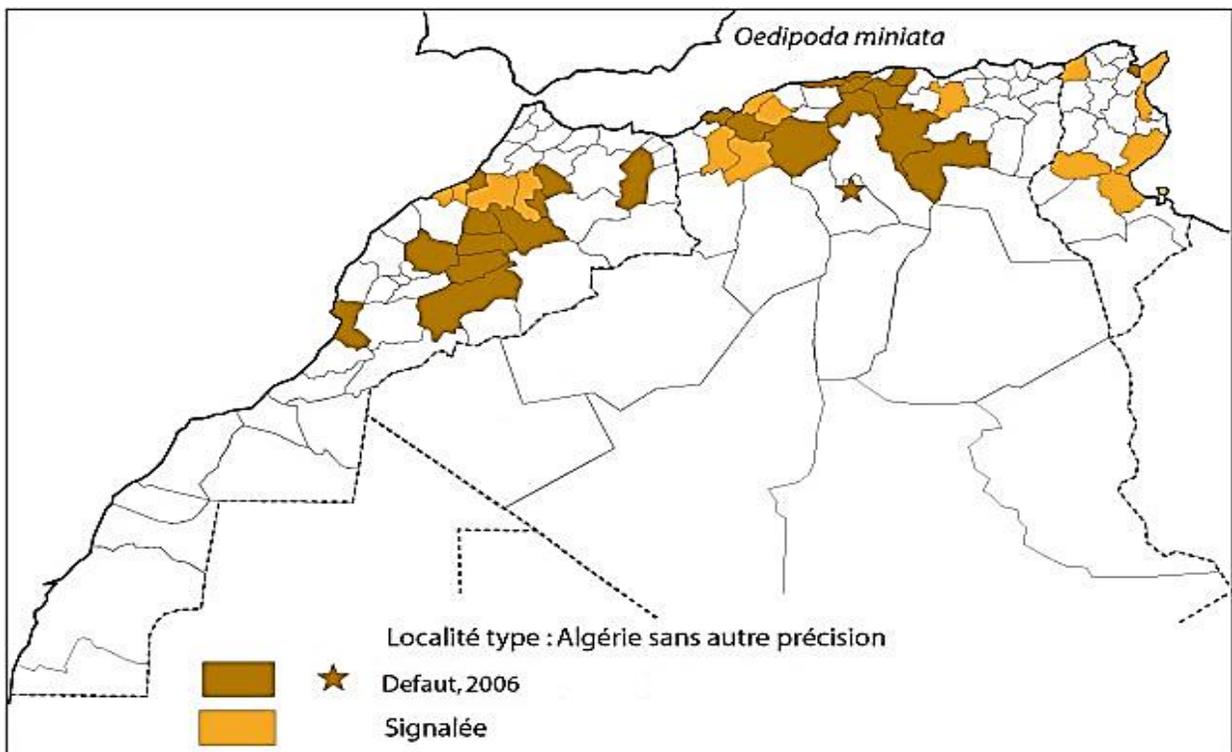
- *Oedipoda miniata*

Coloration générale variable mais souvent avec des taches blanches (var. *lactea*). Occiput rugueux. Pronotum à carène médiane saillante et aiguë dans la prozone ; carènes latérales bien marquées dans la métazone et de petites saillies en bandes ondulées ; bord postérieur du pronotum en angle aigu. Élytre portant trois bandes brunes transversales. Ailes rose vif dans la partie basale ; fascie noire ou brune, longue et étroite ne dépassant pas la 9^{ème} nervure anale, un prolongement dans le champ cubital presque jusqu'à la base de l'aile



Habitat : Présente en moyenne altitude et climat méditerranéen de subhumide à aride au Maroc et Algérie. En Libye, signalée dans des milieux désertiques ou semi-désertiques à végétation clairsemée ; observée également dans les cultures.

Répartition géographique (*acriwafrica.mnhn*)



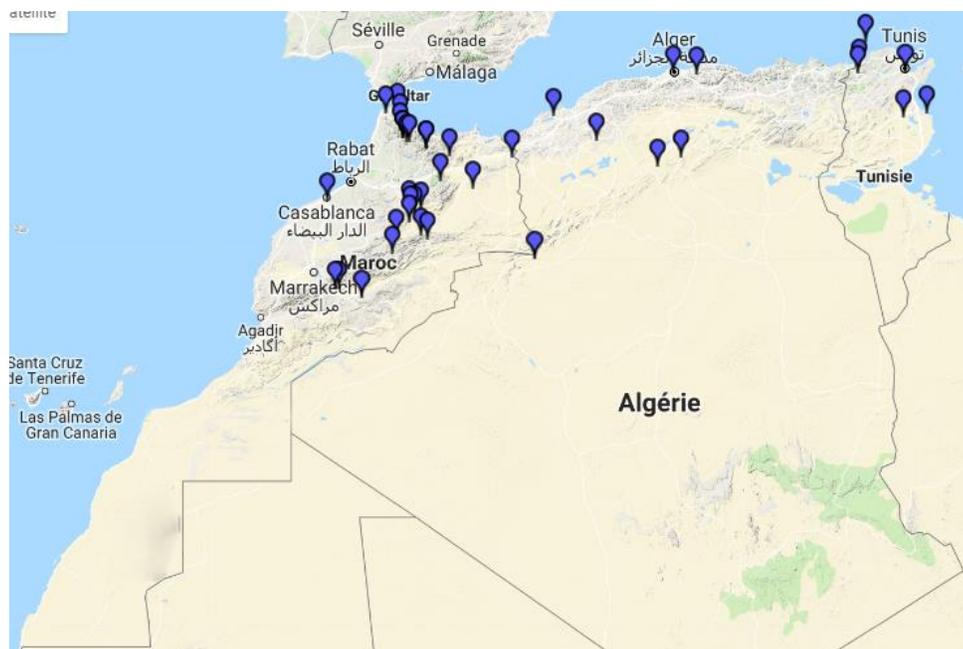
- *Oedaleus decorus*

C'est une espèce de grande taille ayant une coloration généralement vive, verte ou testacée, tachée de brun noirâtre. La tête globuleuse et volumineuse. Le pronotum en toit, convexe et comprimé au milieu, avec un bord postérieur anguleux. On note la présence d'un dessin cruciforme avec des branches claires sur fond brun ou vert ne se touchant pas au milieu et se prolongeant sur la tête en arrière des yeux. Les tibias postérieurs présentent un anneau basal noir, une partie jaune pâle puis rougeâtre au tiers apical. Les ailes sont à base jaunâtre avec une tache sombre très arquée, large jusqu'au bord antérieur de l'aile et un apex hyalin avec quelques petites marques brunes



Habitat : Vit dans les milieux rocaillieux et sableux à végétation basse : falaises littorales, pâturages d'altitude et abords des cultures de céréales. A occasionnellement causer des dommages aux cultures en périodes de sécheresses prolongées au Maroc.

Répartition géographique (*acriwafrica.mnhn*)



3- Détermination du régime alimentaire

La détermination du régime alimentaire des orthoptères acridiens a été largement étudiée (Gangwere *et al.*, 1998 ; Le Gall (1989) ; Poras (1971) ; Andrianasolo (1972) et Tarai et Doumandji (2007) et de nombreuses techniques sont utilisés.

On en distingue celle qui consiste à examiner le contenu du tube digestif, nécessitent le sacrifice des individus et celle qui repose sur l'identification des débris de végétaux dans les fèces (Launois-Luong, 1975), ne perturbent pas l'équilibre démographique des populations par libération des individus après la récolte des fèces. C'est une méthode objective, rapide et précise, ne nécessitant pas du matériel délicat ou coûteux.

Dans le présent travail, nous avons opté la deuxième technique qui consiste en l'identification des débris végétaux dans les fèces. Ainsi nous avons d'abord préparé une épidermothèque de référence et la préparation des fèces afin d'effectuer une comparaison.

3-1 Préparation de l'épidermothèque de référence

Les échantillons de végétaux étudiés sont récoltés dans chacune des stations étudiées et sont ramenés au laboratoire pour la préparation.

Les épidermes sont ainsi détachés délicatement des tissus sous-jacents avec des pinces fines. Ils sont trempés dans de l'eau de javel, pendant 5 minutes, pour éliminer la coloration chlorophyllienne, puis dans de l'eau distillée, durant 10 minutes pour le rinçage.

Par la suite, les fragments épidermiques subissent des bains dans l'éthanol à trois concentrations progressives (70°, 90°, 95°) afin de les déshydrater et sont ensuite placés entre lame et lamelle dans du liquide de Faure. Les lames préparées sont mises sur une plaque chauffante pour un bon étalement du liquide de Faure et l'élimination des bulles d'air.

Sur chacune des lames ainsi préparées, nous mentionnons le nom de l'espèce végétale et la partie traitée, la date et le lieu de sa récolte. Les différents épidermes sont observés au microscope optique.

3-2 Préparation des fèces

Pour étudier la composition des fèces récoltés des différentes espèces acridiennes, des criquets adultes (mâles et femelles) sont récoltés sur le terrain et mis individuellement, dans des petits tubes en plastique et gardés à jeun pendant 12 heures, temps suffisant pour vider leur tube digestif. Les fèces sont ainsi collectées et stockées à sec.

La méthode suivie pour la préparation des fèces a pour but l'identification et la quantification des fragments végétaux contenus dans les fèces des individus capturés.

Les fèces de chaque individu, sont conservées dans des tubes d'Eppendorf (avec les renseignements nécessaires : lieu, date, nom, sexe) pour être analysés ultérieurement.

Les fèces sont trempées ensuite pendant 24h dans l'agent émulsionnant tween 80 %. La technique utilisée dans la préparation des échantillons est celle adoptée par de nombreux auteurs (Ben Halima *et al.*, 1985 ; El Ghadraoui *et al.*, 2002 ; Kherbouche *et al.*, 2010 ; Moussi *et al.*, 2014 et Essakhi *et al.*, 2015). Nous avons analysé cinq excréments par individu, d'un total de 20 individus de chaque espèce.

Les fèces sont ensuite trempées dans une série de bains : d'eau de javel (hypochlorite de sodium) à 12 % pendant 20 minutes, pour éliminer la chlorophylle, puis rincés à l'eau distillée, pour éliminer l'excès d'eau de Javel, ensuite déshydratés par l'éthanol à 75 %. Les préparations sont montées entre lame et lamelle avec une goutte de gélatine liquéfiée de glycérol, puis examinées au microscope optique (Gx100).

Les fragments tissulaires (Figure 23) sont identifiés sur la base de la forme, la taille et l'agencement des cellules végétales, la structure et la longueur des parois cellulaires, l'arrangement et la structure des stomates. Le pourcentage relatif à chaque plante consommée a été ainsi déterminé.

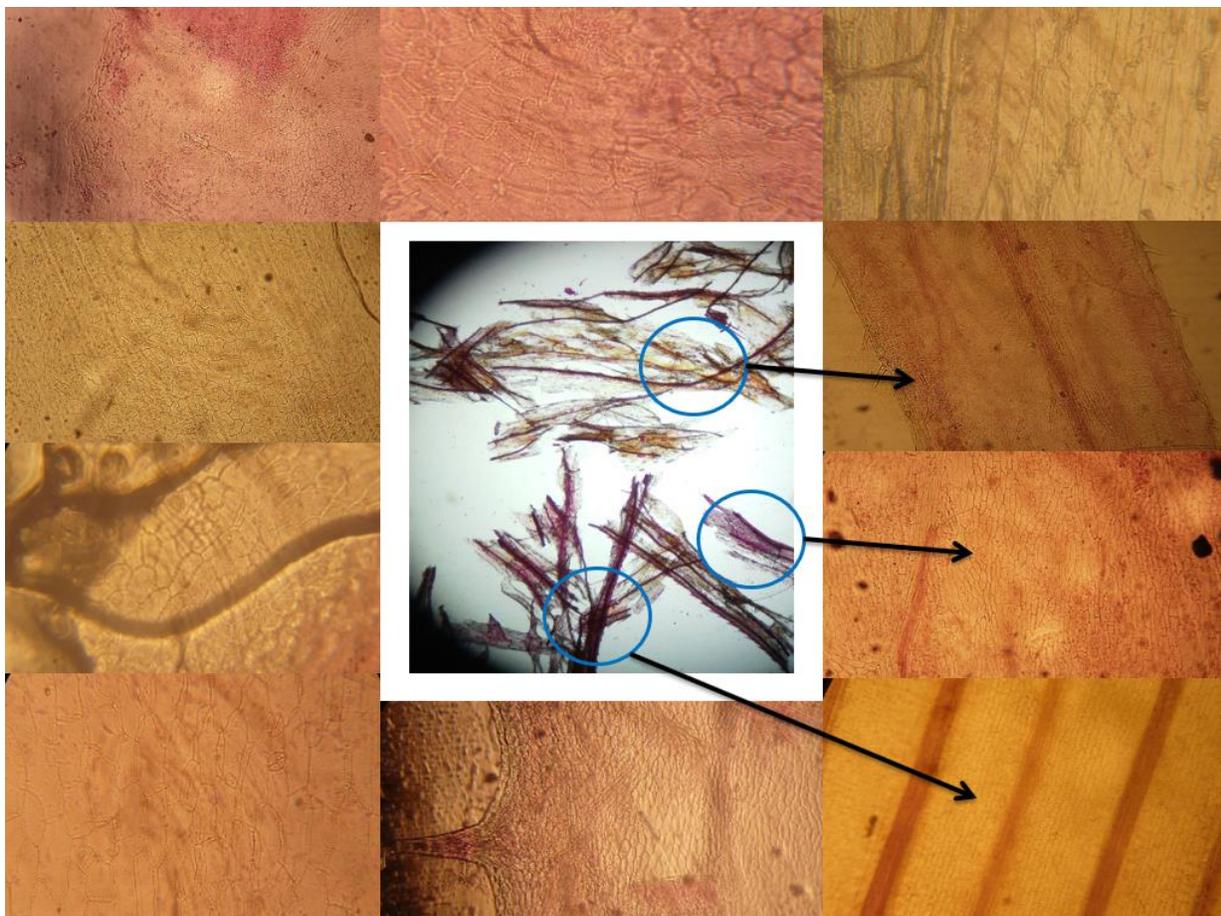


Figure 23 : Comparaison des échantillons identifiés dans les fèces avec les épidermothèques de référence (ERRABHI, 2015)

La technique utilisée pour la détermination du régime alimentaire des différentes espèces étudiées se base donc sur l'analyse de la composition des fèces. Elle consiste à comparer les fragments des végétaux, contenus dans les fèces des individus capturés, à ceux de l'épidermothèques de référence au niveau des espèces végétales, prélevées dans le milieu de vie de l'espèce acridienne étudiée,

Pour procéder à l'analyse des fèces nous avons suivi les étapes suivantes :

- Ils sont ramollis pendant 12h dans de l'eau distillée et sont dissociés, sans que les fragments soient détériorés ;
- Rinçage des fragments avec de l'eau distillée ;

- Les excréments de chaque individu subissent un premier bain d'eau de javel ;
- Déshydratation dans l'alcool à différentes concentrations ;
- Imprégnation au toluène pour une déshydratation des cellules ;
- Etalement entre une lame et une lamelle avec une goutte de liquide de Faure ou Gomme au chloral.

Les principaux critères d'identification que nous pouvons utiliser au cours des analyses sont les suivants :

- Forme, taille et agencement des cellules ;
- Aspect des membranes cellulaires ;
- Localisation et structure des stomates.

3-3 Dénombrement des sensilles

3-3-1 Au niveau du labre

Les sensilles sont des chimiorécepteurs qui se retrouvent au niveau de certaines parties du corps des criquets dont le labre et les antennes. Ils jouent un rôle important dans la détermination du régime alimentaire d'une espèce. On en distingue plusieurs types de sensilles, les sensilles de type (A) au niveau du labre et les sensilles de type trichoïdes, longues basiconiques, courtes basiconiques, courtes basiconiques minces et cœloconiques au niveau des antennes.

Le labre forme la lèvre supérieure autour de l'orifice buccal (Figure 24). La face interne est revêtue par l'épipharynx, richement doté en organes sensoriels (les sensilles). Les sensilles sont des structures cuticulaires rencontrées chez les insectes et autres arthropodes, dont la fonction est l'entrée sensorielle. Elles peuvent prendre des formes variées (soies, plaques, cavité...) et abritent des neurones sensoriels qui assurent la détection des stimuli (odeurs, goûts, chaleur, humidité...), ces neurones sont connectés avec le système nerveux de l'insecte.

Les sensilles sont plus nombreuses sur les organes de sens (antennes, labre, palpes...) mais se trouvent aussi sur tout le corps de l'insecte.

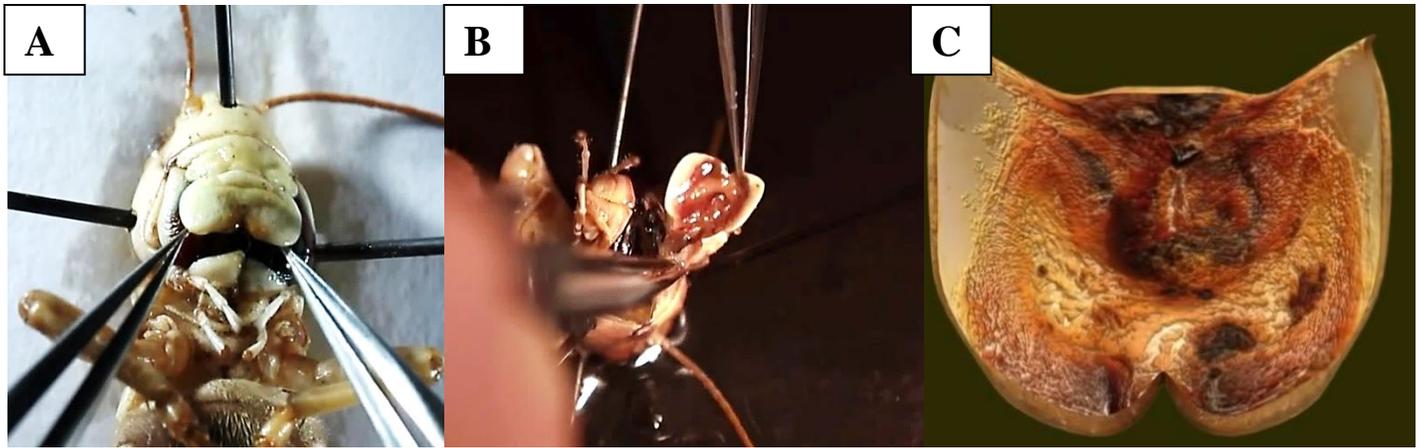


Figure 24 : Dissection du labre chez le criquet pèlerin. Isolement du labre par des pinces fines (A), détachement du labre par un ciseau fin (B), surface épipharyngiale du labre (C)

Dans cette partie d'étude nous avons essayé de déterminer la composition en sensilles (Figure 25) et la mettre en confrontation avec la nature du régime trophique de l'espèce étudiée. Ainsi, la technique utilisée pour le dénombrement des sensilles est celle employée par de nombreux chercheurs (Chapman et Thomas, 1978 ; El Ghadraoui, 2002 ; Zaim, 2008 ; Dumas *et al.*, 2010). Celle-ci, consiste à extraire le labre du criquet, sous la loupe binoculaire, à l'aide d'une pince et une lame de rasoir ou des ciseaux fins.

Les labres extraits sont trempés dans une solution d'iodure de potassium KI à 50 %, pendant une durée moyenne de 6 heures selon la rigidité du labre, pour détacher les tissus adipeux dissimulant l'apparition des sensilles. Les labres sont ensuite, placés entre lame et lamelle, après un rinçage pendant 15 minutes dans de l'eau distillée. La préparation est ainsi fixée par une goutte de glycérol gélatiné.

Le comptage des sensilles est effectué sous microscope optique (Gx100). Les résultats obtenus sont traités statistiquement par MicrosoftTM Excel et Past v.1,82.

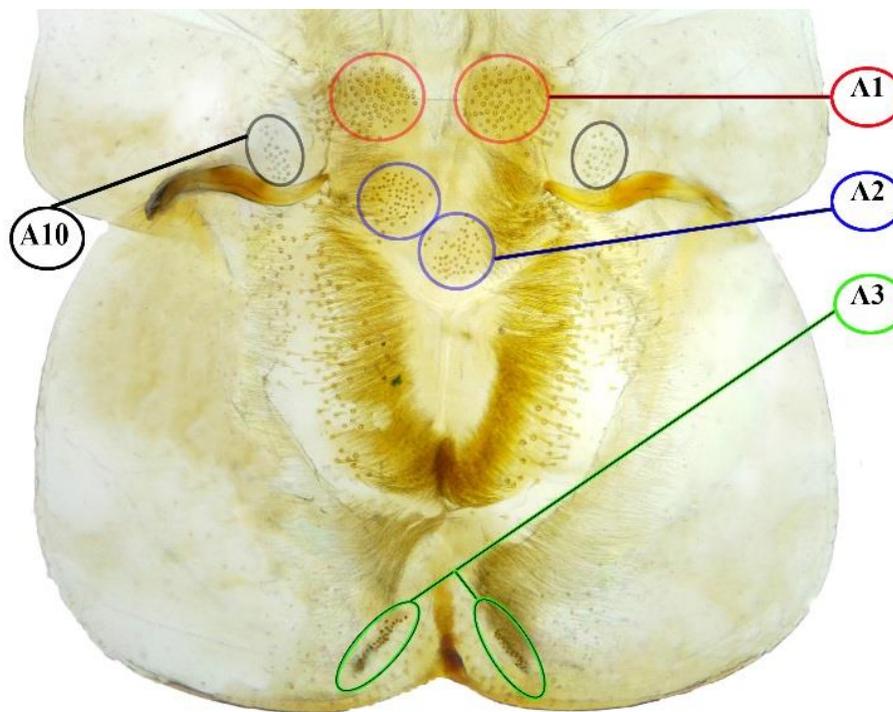


Figure 25 : Position des sensilles de type A sur la surface épipharyngiale du labre chez *D. maroccanus*, (Gx100) (ERRABHI, 2016)

3-3-2 Au niveau des antennes

A côté des chimiorécepteurs du labre des criquets, les sensilles des antennes semblent jouer un rôle, non négligeable, dans la perception des végétaux (Abushama, 1968 ; Chen *et al.*, 2003 ; Dumas *et al.*, 2010). Comme dans le cas des sensilles du labre, nous avons déterminé le nombre de sensilles au niveau des antennes et les mettre en corrélation avec le régime trophique des espèces. Pour cela, nous avons adopté la méthode de Hu-Hai Chen et ses collaborateurs (2003). Ainsi, celle-ci, consiste à procéder comme suit :

Les antennes des individus étudiés (mâles et femelles) ont été enlevées et placées dans une solution à 5% d'iodure de potassium, pendant trois jours, au cours desquelles la solution a été renouvelée chaque jour. Les antennes ont ensuite été rincées à l'eau distillée et séchées à l'air. Chaque échantillon est examiné au microscope électronique à la cité d'innovation de l'USMBA.

4- Etude des capacités des déplacements

Les aptitudes de déplacements des acridiens semblent d'une grande variation en fonction de l'espèce. Cette variation est largement liée à une multitude de paramètres morphométriques, dont on souligne la longueur des organes de vol (ailes et élytres), la longueur du corps, de thorax, d'abdomen, du fémur et la longueur du pronotum (El Ghadraoui *et al.*, 2008).

Dans cette partie d'étude, nous avons essayé de caractériser certaines espèces acridiennes par des approches de morphométrie classique et géométrique. Et ceci afin de mettre en évidence la relation existante entre les différents paramètres biologiques des individus avec leur capacité de déplacement.

3-3 Morphométrie classique

Les mesures des différents traits morphologiques ont été prises sur des individus fixés sur une plaque de polystyrène, à l'aide d'un pied à coulisse électronique, sous la loupe binoculaire. Les valeurs obtenues sont répertoriées dans un tableau Excel et classées en fonction du sexe et de l'espèce.

- Mesure des traits morphologiques

Nous avons utilisé 20 individus adultes pour chacune des espèces étudiées, (10 mâles et 10 femelles). Les traits morphologiques mesurés sont : longueur du corps (LgC), longueur des ailes (LgA), longueur des élytres (LgE), longueur du fémur (LgF), longueur du pronotum (LgP), longueur du thorax (LgTx) et longueur de l'abdomen (Abd). Les mesures sont prises à l'aide d'un pied à coulisse électronique à résolution 0,01 mm de précision.

Afin de comparer les organes liés directement au vol des différentes espèces étudiées, nous avons effectué des mesures relatives aux élytres et ceci en utilisant le logiciel *imageJ*.

Grace à ce logiciel, nous pouvons convertir la taille des pixels en longueur physique. Pour cela, nous devons prendre une échelle sur l'image. À l'aide de l'outil "*straight line*", nous traçons une ligne entre les extrémités de cette échelle comme référence (Figure 26).

La longueur de la ligne (en pixels) s'affiche sur la barre d'outils. Pour passer des pixels à une longueur physique, aller sur *Analyse/Set Scale* et indiquer l'unité de mesure et la longueur dans la

case “*known distance*”. À travers le logiciel, nous pouvons également calculer les angles entre les nervations et même la surface de l'élytre d'une manière aisée, sans se référer aux techniques classiques.

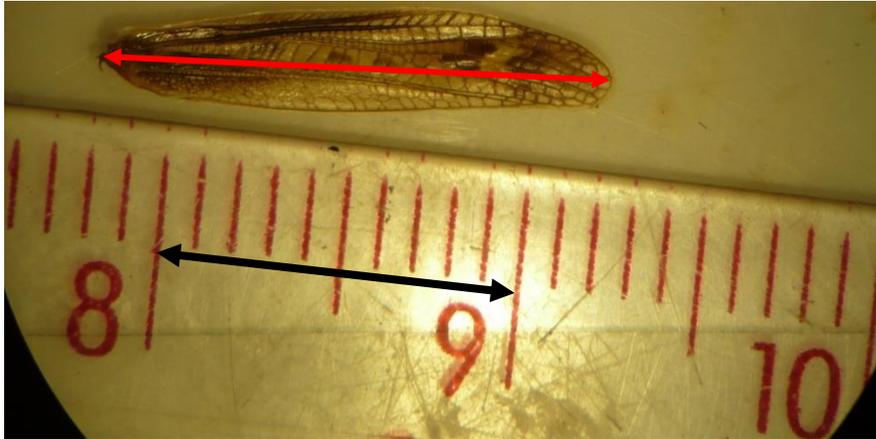


Figure 26 : Etalonnage du logiciel par une règle de distance graduée (ERRABHI, 2017)

3-4 Morphométrie géométrique

4-2-1 Morphométrie des élytres

La morphométrie géométrique est l'une des méthodes qui permettent de s'affranchir des différences de taille entre les échantillons étudiés. Elle prend en compte des points de repères (PR) facilement identifiables d'une espèce acridienne à l'autre, étant la limite entre deux ou trois structures homologues : rencontre ou séparation de deux nervures ou d'une nervure avec un bord (Figure 27). Les élytres sont détachés au préalable avec une pince fine et des ciseaux fins, puis placés entre deux lames et pris en photo, sous une loupe binoculaire.

Pour procéder à la digitalisation, il faut d'abord passer par l'outil *TpsUtil* qui permet de dresser une bibliothèque des fichiers *TPS* et permet de classer ainsi, les images prises, selon le nom de l'espèce.

Le programme *TpsDig* nous permet de digitaliser les points de jonction entre les nervures ou points de repère (PR).

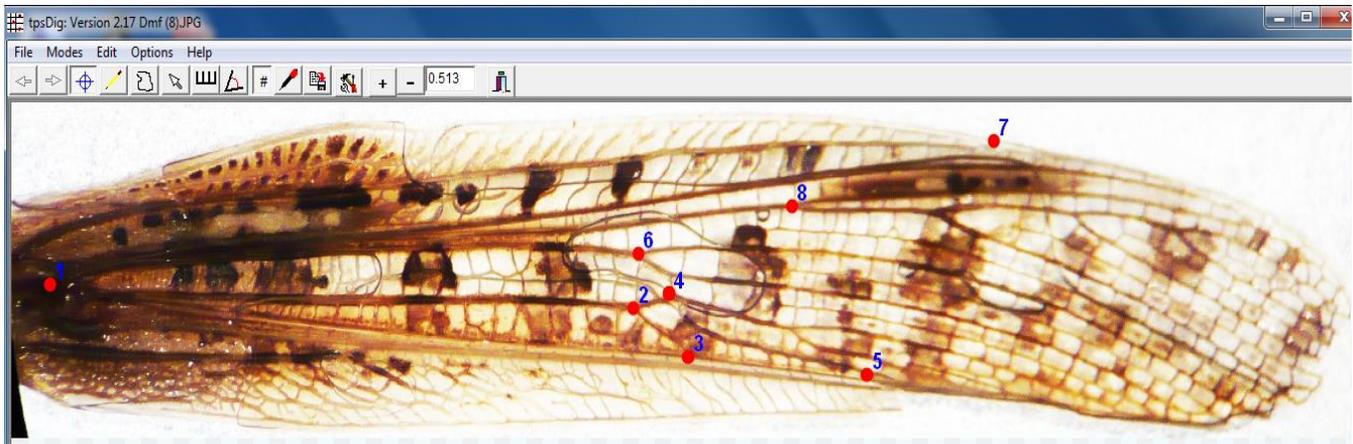


Figure 27 : Répartition des points de repère sur une élytre gauche de *D. maroccanus* (ERRABHI, 2017)

Chaque PR porte un numéro (Figure 29) et est repéré par ses coordonnées (x, y) dans un plan à l'aide du logiciel *TpsDig* (Figure 28). Une translation et rotation sont mises à l'échelle de tous les individus par la technique dite (*APG*) : Analyse Procuste Généralisée.

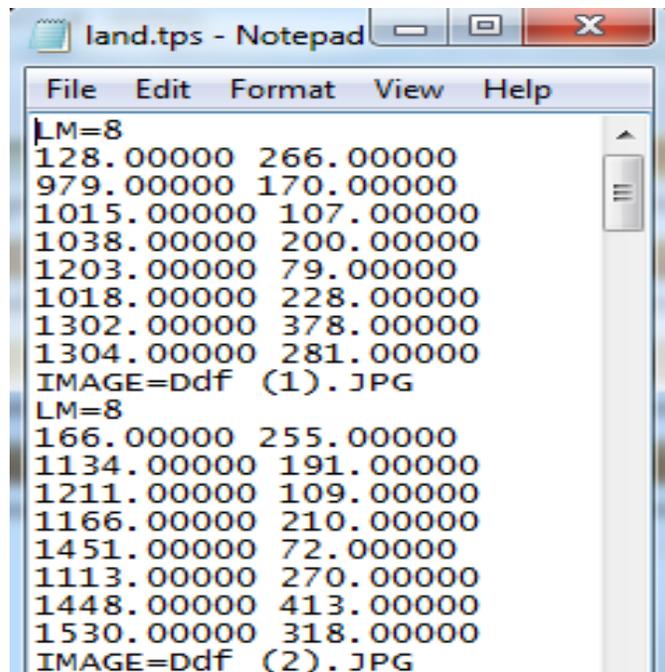


Figure 28 : Exemple de base de données des coordonnées (x,y) des point de repère

Les données de digitalisation sont transmises et analysées par le programme "*morphoJ*" qui est un outil d'une grande performance dans les études de la morphométrie géométrique.

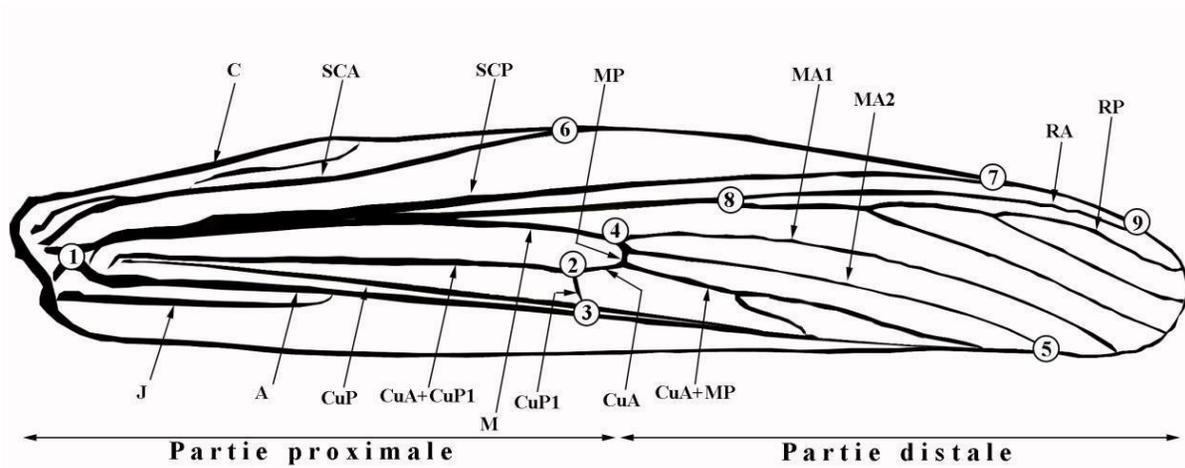


Figure 29 : Localisation des points de repères sur un élytre de criquet (ERRABHI, 2017)

C : Costale ; SC : sous-costale ; R : radiale ; M : médiane ; Cu : cubitale ; A : anale ; J : jugale ; A : antérieure ; P : postérieure

4-2-2 Morphométrie du thorax

Le thorax est le deuxième tagme du corps. Il est situé entre la tête et l'abdomen. Il porte les organes locomoteurs adaptés pour la marche et le vol. Il est composé de trois segments d'avant en arrière : le prothorax, le mésothorax, le métathorax.

Il semble que le thorax est l'un des éléments importants dans le déplacement des criquets. Il constitue le support principal des organes de vol.

L'approche morphométrique de cette partie de corps, nous permettra de mettre en évidence la relation existante entre la capacité de déplacement d'une espèce et le degré de développement de cette partie du corps (thorax).

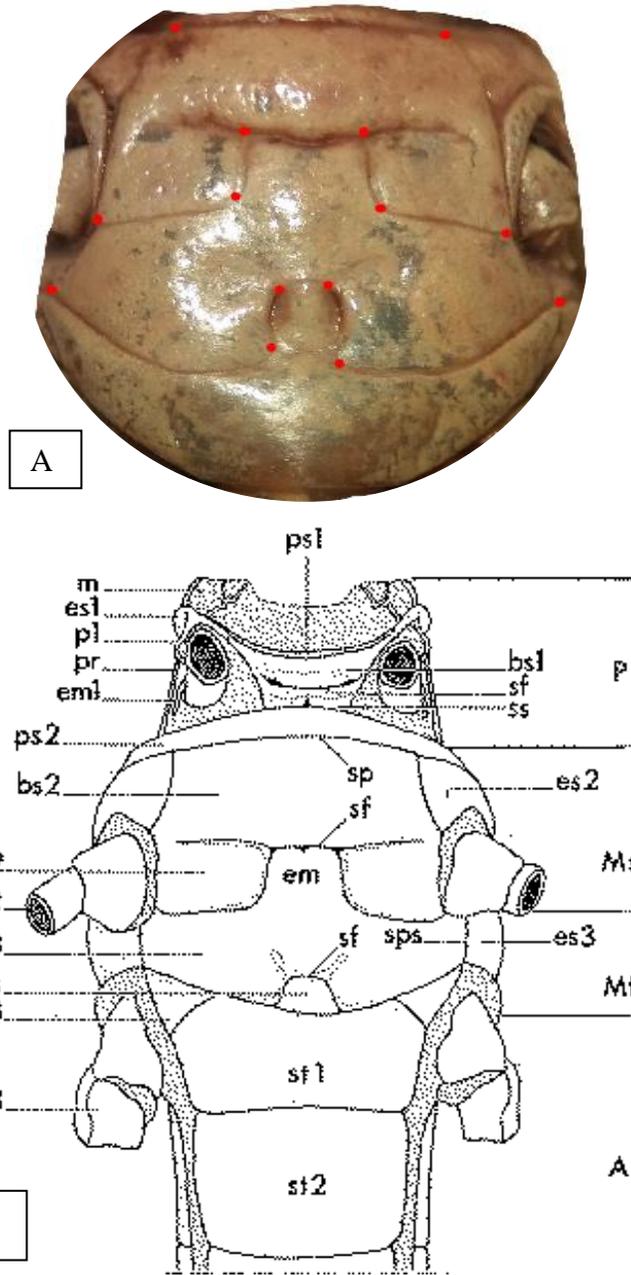


Figure 30 : Image du thorax du criquet (A) schéma du thorax du criquet (B).

A : abdomen, bs1, bs2, bs3 : basisternites, pro, méso et métathoraciques, em: espace mésothoracique, em1 : épimérite prothoracique, es1, es2, es3 : épisternites pro, méso et métathora

Les individus sont mis sur leur face dorsale, sous la loupe binoculaire, afin d'observer le thorax qui est pris ensuite en photo (Figure 30). Les photos ainsi prises, constituent notre base pour le calcul des translations des PR sur le thorax, en utilisant le logiciel "TPS-Dig". Chaque point de repère "PR" est épinglé avec un numéro et est automatiquement, repéré par ses coordonnées (x, y) dans un plan à l'aide du paquet *TPS*. Les données de digitalisation sont transmises et analysées par le programme "*morphoJ*".

5- METHODES DE LUTTE

5-1 Espèces animales

Dans cette partie d'étude, nous avons utilisé les deux principaux acridiens ravageurs qui sont le criquet marocain *Dociotaurus maroccanus* et le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria*.

Les individus de *D. maroccanus* ont été récoltés dans la région de Timahdite au Moyen-Atlas du Maroc. Au stade larvaire (3^{ème} stade), pendant le mois de mai 2013, puis maintenues en élevage dans des cages en bois, à une température de $30\pm 1^\circ\text{C}$ et une photopériode continue (12h jour / 12h nuit). Ils sont nourris de jeune pousse de graminées issus du jardin de Département de Biologie. Quant au criquet pèlerin, comme nous l'avons souligné auparavant, elle est issue d'un élevage massif au laboratoire.

5-2 Espèces végétales

Les plantes aromatiques et médicinales étudiées sont au nombre de cinq. On en distingue : *Origanum compactum*, *Mentha pulegium*, *Artemisia absinthium*, *Eucalyptus globulus* et *Rosmarinus officinalis*. Les plantes étudiées ont été recueillies du jardin botanique de l'Agence National des plantes aromatiques et médicinales de Taounate (34°29'53.5"N 4°48'17.1"W).

- Analyses chromatographiques

L'identification des constituants des huiles essentielles étudiées, a été réalisée, en se basant sur leurs indices de Kováts (IK) et sur la chromatographie en phase gazeuse, couplée à la spectrométrie de masse (CG-SM). Cette dernière est réalisée sur un chromatographe en phase gazeuse de type Trace GC Ultra couplé avec un spectromètre de masse de type Polaris Q.

La fragmentation est effectuée par impact électronique sous un champ de 70 eV. La colonne utilisée est une colonne capillaire apolaire TR-5 60 m x 0.32 mm, l'épaisseur du film est de 0,25 µm. Température d'injection est de 220°C en mode split à raison de 5°C/min jusqu'à 280°C pendant 10 min. Le gaz vecteur est l'hélium dont le débit est fixé à 1,5 mL/min. L'appareil est relié à un système informatique gérant une bibliothèque de spectre de masse.

5-3 Méthodes de lutte

5-3-1 Cas de *D. maroccanus*

Les individus de *D. maroccanus* ont été répartis dans des boîtes en plastique avec deux faces aérées de dimensions : 30 cm de longueur, 20 cm de largeur et 10 cm de hauteur, à raison de 10 individus par boîte. Trois répétitions ont été effectuées pour chacun des lots étudiés. Les mâles et les femelles ont été séparés, afin d'étudier le facteur sexe. Nous avons utilisé 90 mâles et 90 femelles, soit au total 180 individus.

- Lot d'individus nourris de graminées imprégnées d'eau : témoin 1 ;
- Lot d'individus nourris de graminées imbibées d'éthanol dilué à 75 % : témoin 2 ;
- Lot d'individus nourris de graminées imbibées d'HE + d'éthanol 75 % (1V/9V) : lot traité.

Les individus étudiés ont été préalablement mis à jeûne, pendant 24 heures, avant de les nourrir aux régimes alimentaires précités. Des observations comportementales ont été apportées tout au long de cette expérience. Le nombre de morts est ainsi relevé, une fois par jour, jusqu'à mortalité totale des individus traités. Les graminées sont remplacées chaque jour, afin d'éviter toute évaporation des huiles essentielles, de l'eau et de l'éthanol utilisés.

5-3-2 Cas de *Schistocerca gregaria*

Les individus adultes sont isolés au préalable, pour le test dans des lots de 30 cm de longueur, 20 cm de largeur et 10 cm de hauteur. Le facteur sexe a été pris en considération. Le comportement alimentaire, locomoteur et la survie des individus sont analysés après l'administration du produit testé.

La technique d'étude utilisée dans cette partie d'étude diffère de celle utilisée chez *D. maroccanus*. Celle-ci consiste en injection des HE, à des concentrations bien définies, au niveau des différentes parties du corps. Et ceci afin d'essayer de mettre en évidence la bonne méthode efficace sur la survie des individus

Trois types d'administration des HE sont étudiées :

- Injection topicale : les huiles injectées sous le pronotum de l'insecte (2 doses : 2 µL et 3 µL).
- Injection abdominale : avec une micro-seringue, on injecte dans la 5^{ème} tergite 2 µL de l'HE
- Administration buccale : l'insecte est maintenu sur la face dorsale, la tête entre le pouce et l'index et un volume de 2 µL de l'HE est administré par voie buccale.

5-4 Etude des mortalités

Au cours de notre expérimentation, nous avons noté le nombre de morts par jour :

Les résultats obtenus sont donnés sous forme de pourcentages corrigés, en tenant compte des mortalités observées dans le témoin.

Ces pourcentages ont été soustraits des pourcentages des mortalités observées dans les lots traités pour calculer les pourcentages de mortalités corrigées.

L'évaluation de l'efficacité de la toxicité de l'HE a été effectuée en calculant le pourcentage de mortalité observée, qui est corrigée par la formule d'Abbott (1925).

$$\% \text{ de mortalité corrigé} = \frac{M2 - M1}{100 - M1} \times 100 / \text{avec,}$$

M1 : % de mortalité dans le lot témoin,

M2 : % de mortalité dans le lot traité.



Résultats et discussions



III - RESULTATS ET DISCUSSION

1- COMPOSITION FLORISTIQUE

1-1 Dénombrement des espèces végétales

Les résultats sont donnés sur le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Composition floristique (familles, genre et espèces) des 4 stations d'étude

Stations	Familles	Genres et espèces
Sefrou	Asteraceae	<i>Leontodon automnalis</i> , <i>Chrysanthemum</i> , <i>Anacyclus clavatus</i> , <i>Scolymus hispanicus</i> .
	Fabaceae	<i>Ononis spinosa</i> , <i>Medicago polymorpha</i>
	Poaceae	<i>Hordeum vulgare</i> (orge), <i>Hordeum murinum</i> , <i>Hordeum maritimum</i> , <i>Hordeum jubatum</i>
	Papaveraceae	<i>Papaver rhoeas</i>
	Brassicaceae	<i>Diplotaxis muralis</i>
Mazdou	Asteraceae	<i>Leontodon hispidus</i> , <i>Leontodon automnalis</i> , <i>Anacyclus clavatus</i>
	Fabaceae	<i>Medicago polymorpha</i>
	Poaceae	<i>Hordeum jubatum</i> , <i>Hordeum murinum</i> , <i>Avena sp</i>
	Papaveraceae	<i>Papaver rohoeas</i>
	Lamiaceae	<i>Thymus praecox</i>
	Polygonaceae	<i>Rumex crispus</i>
	Brassicaceae	<i>Diplotaxis muralis</i>
Guigou	Asteraceae	<i>Silybum marianum</i> , <i>Scolymus hispanicus</i>
	Fabaceae	<i>Medicago polymorpha</i>
	Poaceae	<i>Hordeum murinum</i>
	Rutaceae	<i>Rutagra veolens</i>
	Zygophyllaceae	<i>Peganum harmala</i>
	Thymélacae	<i>Daphne gnidium</i>
Timahdite	Poaceae	<i>Hordeum murinum</i> , <i>Hordeum jubatum</i> , <i>Aegilops ovata</i>
	Polygonaceae	<i>Rumex crispus</i>
	Asteraceae	<i>Anacyclus clavatus</i> , <i>Leontodon autumnalis</i> , <i>Scolymus hispanicus</i>
	Brassicaceae	<i>Diplotaxis muralis</i> , <i>Isatis tinctoria</i>

Le couvert végétal, dans les quatre stations d'étude, est caractérisé par une diversité importante dont les espèces végétales sont répertoriées dans le tableau ci-dessous. Celles-ci, sont regroupées en dix familles de plantes herbacées, appartenant aux familles des Poaceae, Asteraceae, Fabaceae, Brassicaceae, Polygonaceae, Lamiaceae, Papaveraceae, Rutaceae, Zygophyllaceae et Thymélacées, les Poacées étant les plus dominante sur le terrain.

1-2 Identification spécifique des criquets

Les individus récoltés dans chacun des sites étudiés sont répartis en différents groupes, caractérisés par une variation spécifique importante. L'identification a été effectuée, en se basant sur un ensemble de critères utilisés par de nombreux chercheurs (Chopard, 1943, 1951 ; Chenery, 1988 et Defaut, 2003).

Au cours de cette étude, nous avons pu montrer que les quatre stations prospectées abritent une multitude d'espèces orthoptéroïdes, dont on compte au moins douze espèces. Celle-ci, sont répertoriées dans le tableau ci-dessous, selon leur présence dans chacune des stations d'étude.

Tableau 5 : Distribution des espèces dans les quatre stations. (+) = présence, (-) = absence)

	Sefrou	Mazdou	Guigou	Timahdite
<i>Dociostaurus maroccanus</i>	+	+	+	+
<i>Dociostaurus dantini</i>	-	-	-	+
<i>Dociostaurus jagoi</i>	+	+	-	+
<i>Calliptamus wattenwylanus</i>	-	+	+	+
<i>Calliptamus barbarus</i>	+	+	-	-
<i>Oedipoda miniata</i>	+	-	+	-
<i>Oedipoda fuscocincta</i>	+	+	-	-
<i>Aiolopus strepens</i>	+	-	-	-
<i>Chorthypus parallelus</i>	-	+	-	-
<i>Acrotylus insubricus</i>	+	+	-	-
<i>Oedaleus decorus</i>	-	+	-	-
<i>Euchorthypus elegantulus</i>	+	+	-	-

Les résultats obtenus nous montrent que la répartition des espèces, varie en fonction des stations. Ainsi on en distingue, des stations qui abritent peu d'espèces, telle que la station de Guigou avec trois espèces, suivie de la station de Timahdite avec quatre espèces et celles avec plus d'espèces, comme la station de Séfrou, dont on rencontre huit espèces et la station de Mazdou avec sept espèces.

Nous avons bien remarqué que certaines espèces sont omniprésentes dans les quatre stations d'étude et plus particulièrement *D. maroccanus*, d'autres espèces qui sont présentes dans certaines stations sont absentes dans d'autres telles que *D. jagoi*, *C. wattenwylanus*, *O. miniata*, *O. fuscocincta*, *A. insubricus* et *E. elegantulus*

En 2007 Mokhlesse a constaté que la période d'apparition des deux espèces *O. miniata* et *O. fuscocincta* est différente, la première apparait avant mai et atteint son pic en juin alors que la deuxième apparait après le mois de mai avec un faible effectif et augmente légèrement jusqu'au mois de juillet, puis commence à diminuer. Par contre, certaines espèces se montrent spécifiques à des stations particulières, comme *C. barbarus* et *A. strepens* qui ne sont présentes que dans la station de Séfrou ; *D. dantini* dans la station de Timahdite et en fin *C. parallelus* et *O. decorus* dans la station de Mazdou.

2- Détermination du régime alimentaire

Le régime alimentaire des différentes espèces étudiées, se montre très variable en fonction de l'espèce. Ainsi, le nombre d'espèces végétale consommé varie de 2 % à 20 %.

Les espèces *C. wattenwylanus* et *C. barbarus* montrent un large spectre au niveau des plantes consommées, elles s'attaquent à plusieurs familles (Figure 32). Le pourcentage des plantes consommées, est généralement variable dans le même genre, néanmoins, les différentes espèces végétales existante ne font pas toutes parties de leur régime alimentaire, comme le cas de *Thymus praecox* bien tolérée chez *C. barbarus* et absente chez *C. wattenwylanus*, ceci témoigne d'un comportement de choix alimentaire au sein du même genre.

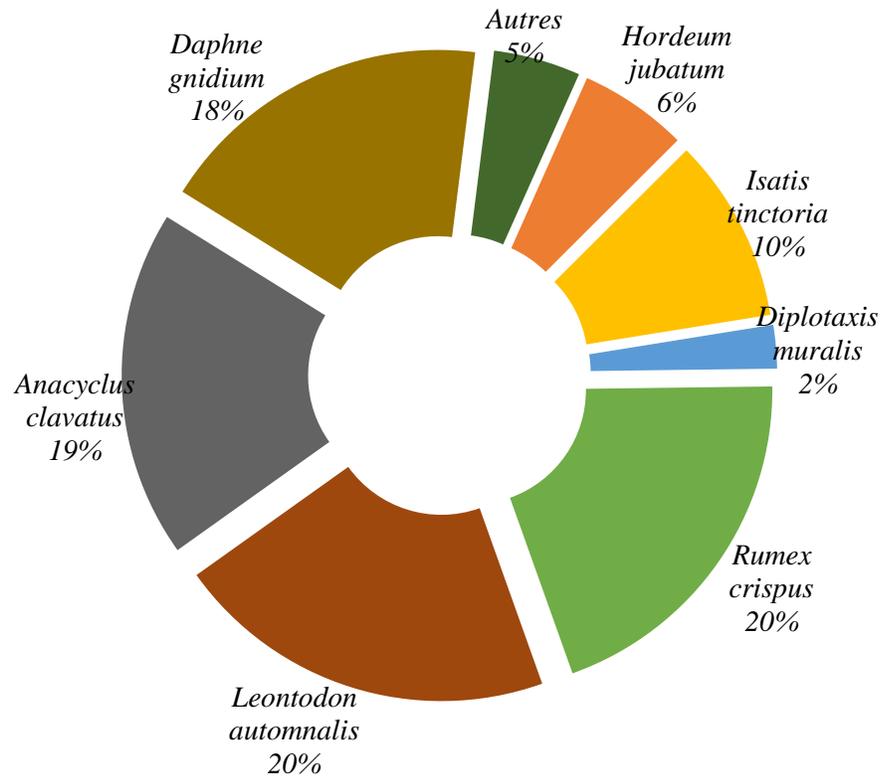


Figure 31 : Pourcentage d'espèces végétales consommées par *Calliptamus wattenwylanus*

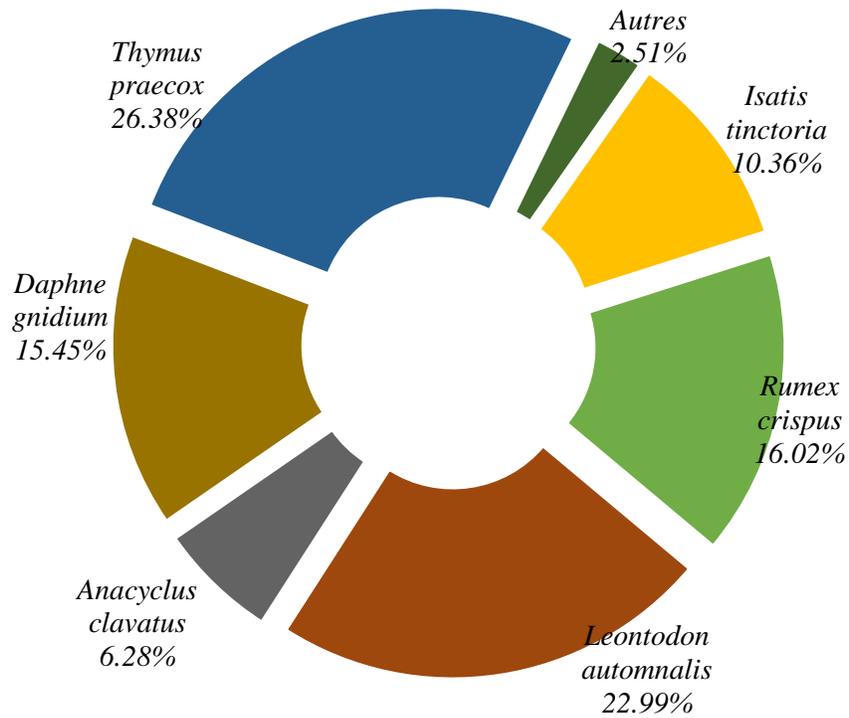


Figure 32 : Pourcentage d'espèces végétales consommées par *Calliptamus barbarus*

Selon Essakhi et ses collaborateurs (2015), certaines espèces acridiennes manifestent une diversité importante au niveau de leur régime trophique, telle que *D. maroccanus*, *C. parallelus*, *E. elegantulus*, *C. wattenwylianus*, *O. miniata*, *O. fuscocincta* et *A. fischeri*. Celles-ci, s'alimentent sur plusieurs familles végétales, elles sont donc, qualifiées de polyphages.

L'espèce *D. dantini* qui est étudiée pour la première fois, dans le Moyen-Atlas s'est montrée polyphage, par contre, l'espèce *D. jagoi* se restreint à un régime oligophage, même si elle fait partie du même genre que *D. maroccanus*. Ce résultat est en accord avec ceux obtenus par certains auteurs (Ben Halima 1983 et Le Gall 1989) ayant montré qu'il n'existe pas de relation entre la nature du régime alimentaire d'une espèce acridienne et sa position taxonomique.

2-1 Comparaison du régime alimentaire

2-1-1 Analyse des fèces

En utilisant la technique des fèces, qui consiste à comparer les fragments des végétaux contenus dans les fèces des espèces étudiées, avec ceux des lames de référence, établies des espèces végétales récoltées sur leur milieu de vie.

Les espèces étudiées dans le cas échéant sont toutes du genre *Dociostaurus*. Nous avons constaté qu'au sein du même genre, les trois espèces *D. maroccanus*, *D. dantini* et *D. jagoi* ont une tendance graminivore, ainsi parmi les neuf espèces végétales recensées dans la station de Timahdite (Tableau 4), trois sont consommées par *D. jagoi* et qui sont : *Hordeum murinum*, *Hordeum jubatum* et *Aegilops ovata* et qui appartiennent à la famille des poacées.

L'explication la plus plausible est en relation avec l'abondance des graminées au niveau des stations. Donc nous pouvons conclure que *D. jagoi* est oligophage par nature. Cependant, dans le site Al-Azaghar, elle se retrouve contraint de diversifier son régime alimentaire (El Ghadraoui *et al.*, 2002).

Le cortège floristique de l'espèce *D. dantini* est très diversifié et plus ou moins similaire à celui de *D. maroccanus*. Nous avons noté que chez *D. maroccanus*, *Hordeum jubatum* est l'espèce la plus consommée, avec un taux de 31%, suivie par *Hordeum murinum*, avec un taux de 22%, le 3^{ème} choix étant *Aegilops ovata*, après viennent 3 espèces appartenant à 3 familles différentes et qui

sont : *Isatis tinctoria*, *Scolymus hispanicus* et *Rumex crispus*, avec des taux respectivement de 3%, 6% et 13%, d'autres fragments restent non identifiés, avec un taux de 5%, ces fragments peuvent augmenter le spectre du régime alimentaire de l'espèce.

Les résultats obtenus peuvent être expliqués, d'une part, par l'abondance de certains végétaux dans la station, d'autre part, par la présence de moins de métabolites secondaires chez les graminées que chez les dicotylédones. Ces résultats semblent en accord avec ceux de Le Gall (1989) qui souligne que des métabolites, dont les alcaloïdes du groupe des pyrrolizidines (Boppré *et al.*, 1984), quinolizidines (Picaud *et al.*, 2003), glucosides (Mainguet *et al.*, 2000) ou les tannins (Boppré *et al.*, 1994) sont généralement répulsifs pour les acridiens.

D'autre part, *D. jagoi* est qualifiée d'espèce oligophage puisque 73 % de son cortège végétal est constitué du genre *Hordeum*, en contrepartie, elle est souvent classée comme espèce polyphage à tendance graminivore, comme ceci a été souligné par Benkenana et ses collaborateurs, (2013).

De ce fait, les deux espèces *D. maroccanus* et *D. dantini* présentent une polyphagie traduite par la consommation de plusieurs espèces appartenant à quatre familles végétales (Figure 33), alors que *D. jagoi* consomme moins d'espèces végétales.

Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par certains auteurs (Ben Halima *et al.*, 1984 ; Le Gall *et al.*, 1989 et Picaud *et al.*, 2003), qui confirment que les espèces acridiennes, sont capables d'effectuer un choix alimentaire, au niveau de leur milieu de vie. Ce choix peut être influencé par de nombreux facteurs, dont la nature du couvert végétal ou l'abondance des espèces dans une station donnée.

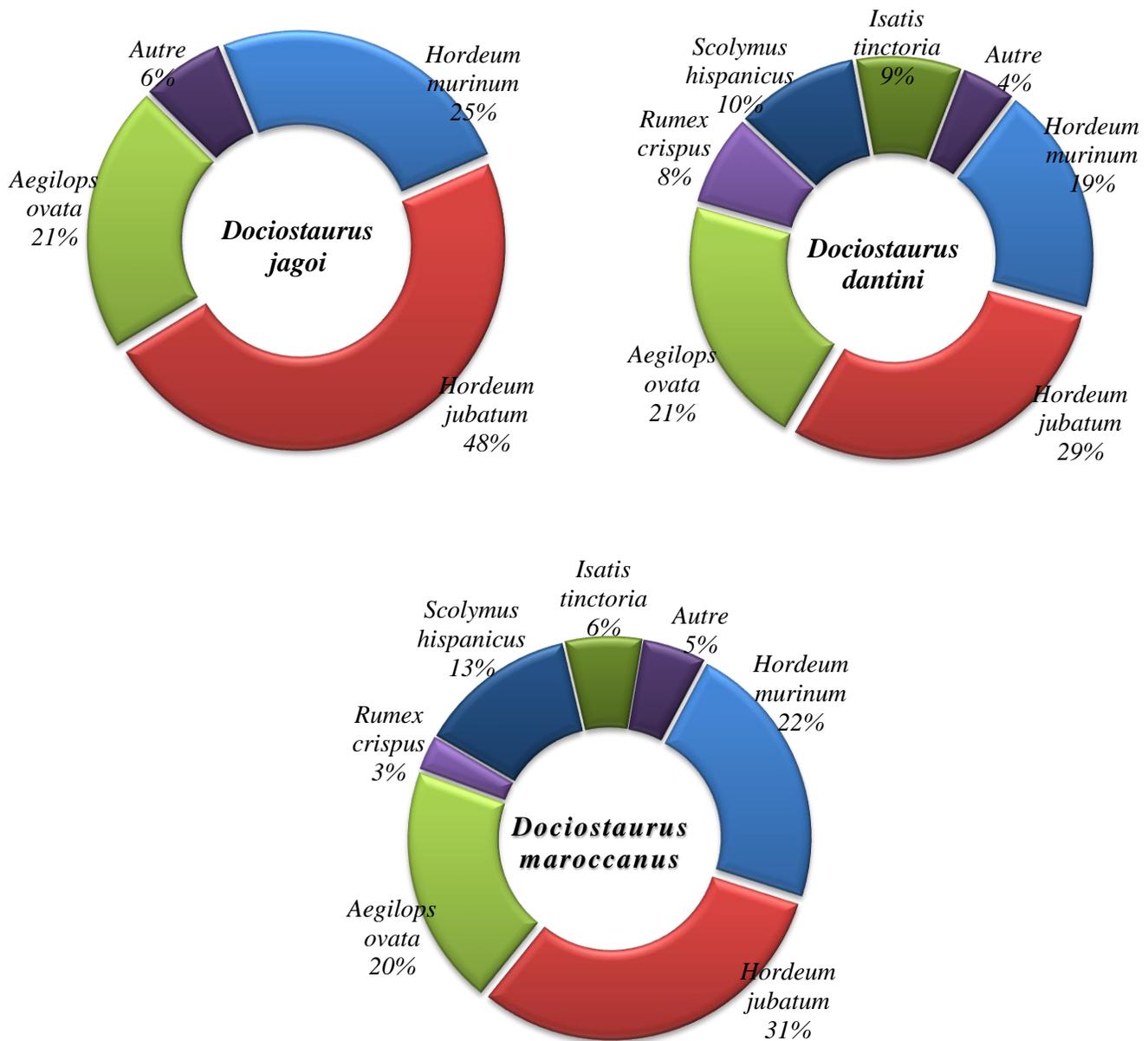


Figure 33 : Pourcentage des espèces végétales consommées par *D. maroccanus*, *D. dantini* et *D. jagoi*. *Hordeum jubatum*, *Hordeum murinum*, *Aegilops ovata*, *Scolymus hispanicus*, *Rumex crispus* et *Isatis tinctoria*.

Ces résultats montrent que les espèces étudiées et plus particulièrement *D. jagoi* sont capables de manifester un choix nutritionnel entre les différentes espèces végétales présentes dans son biotope. Il semble que l'espèce *D. jagoi* est une espèce oligophage à tendance pour l'espèce *Hordeum jubatum*.

Il ressort de ces résultats que *D. jagoi* est l'une des espèces à large spectre alimentaire. Elle se montre capable d'adapter son comportement trophique en fonction des ressources végétales présentes dans son milieu, des résultats semblables ont été obtenus par Uvarov (1977) en travaillant sur *Melanoplus sanguinipes*.

Les mêmes constatations ont été soulignées par Benkinana, (2006), chez l'espèce *Tropidopola cylindrica* qui exerce un choix alimentaire envers *Phragmites australis* en Algérie et *Glyptobothrus binotatus binotatus* se nourrissant que sur *Ulex spp* en France (Picaud *et al.*, 2002, 2003).

Le cortège floristique des deux espèces *D. maroccanus* et *D. dantini* est intermédiaire entre celui d'un ambivore et d'un graminivore, comme chez le cas d'*Ocneridia volxemii* en Algérie (Ben kenana *et al.*, 2013), et chez *D. maroccanus* au Maroc (El Ghadraoui *et al.*, 2003 ; Zaim *et al.*, 2013 et Essakhi *et al.*, 2015).

La préférence du genre *Dociostaurus* pour les Poacées, est l'un des éléments expliquant les attaques causées par l'espèce *D. maroccanus* sur les cultures céréalières au Maroc (El Ghadraoui *et al.*, 2002).

D'autre part, afin d'apporter d'autres éléments explicatifs de la nature de préférence alimentaire observée chez certaines espèces acridiennes il semble d'une grande importance d'approfondir cette étude comparative de la composition des fèces avec la préférence nutritionnelle, similaires à celles menées par Richards (1954) et Mulkern (1967). En outre, leurs besoins nutritionnels, en particulier (protéines et teneur en glucides) doivent être aussi pris en considération, comme cela a été soulevé chez d'autres acridiens par certains auteurs (Simpson *et al.*, 2001 et Raubenheimer *et al.*, 2003).

2-1-2 Dénombrement des sensilles du labre des treize espèces étudiées

La détermination des sensilles du labre des acridiens étudiés, nous a permis d'identifier 4 groupes de sensilles de type A₁, A₂, A₃ et A₁₀ et les résultats obtenus sont représentés sur la figure ci-dessous.

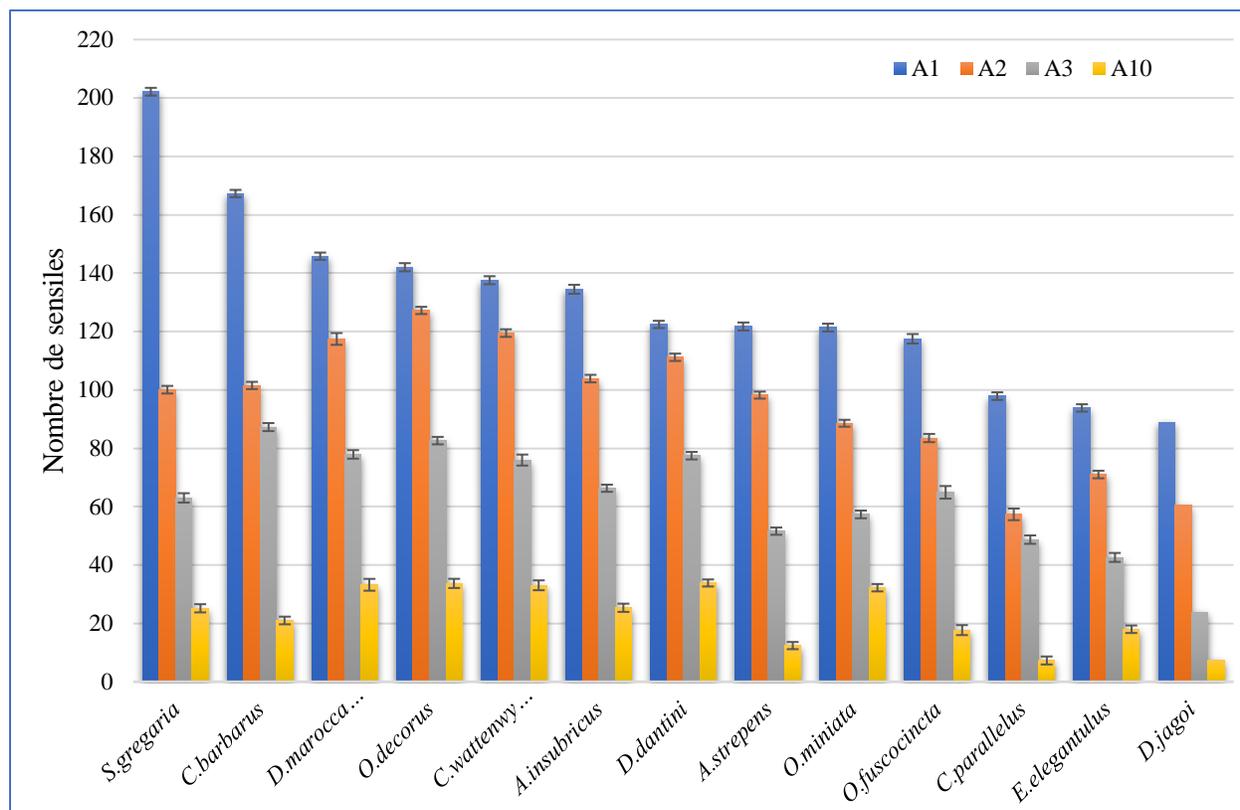


Figure 34 : Variation du nombre de sensilles de type A en fonction de l'espèce

Le nombre de sensilles des différentes espèces étudiées, se montre d'une grande variation interspécifique, ainsi, il est plus élevé chez *S. gregaria*, par contre, il est plus faible chez *D. jagoi*, *E. elegantulus* suivie par *C. parallelus*, sauf chez cette dernière espèce, les sensilles de type A₂ sont plus élevées par rapport à celles de *E. elegantulus*. En outre, nous avons constaté qu'il y a une variation interspécifique chez les différentes espèces du même genre *Dociostaurus*, à savoir *D. dantini*, *D. maroccanus* et *D. jagoi*, où le nombre de sensilles le plus élevé est observé chez l'espèce ravageuse *D. maroccanus*, avec souvent une similitude presque totale, entre les mâles et les femelles.

Ces variations observées au niveau du nombre de sensilles ont été soulignées également, chez le genre *Pamphagus* et l'espèce *Ocneridia volxemii* par Benkenana (2013) et peuvent être expliquées par l'existence d'un mécanisme de choix alimentaire dans le même genre et par conséquent, la position taxonomique ne détermine pas le régime alimentaire d'une espèce donnée.

Le nombre de sensilles observés, chez les deux espèces *C. barbarus* et *C. wattenwylianus* affirme l'hypothèse du choix alimentaire, vu le manque de cohérence entre les sensilles A₁ et A₂ ce qui confirme que ces derniers sont impliqués dans la détermination du régime alimentaire, comme l'a bien souligné Ben kinana et ses collaborateurs (2006).

L'analyse des sensilles chez l'espèce *A. strepens*, révèle une certaine similarité avec l'espèce *O. miniata*, *O. fuscocincta* qui sont caractérisées par un régime alimentaire polyphage (Mokhlesse, 2007) et vu le nombre semblable de sensilles chez les trois espèces, nous pouvons conclure que l'espèce *A. strepens* est une espèce polyphage.

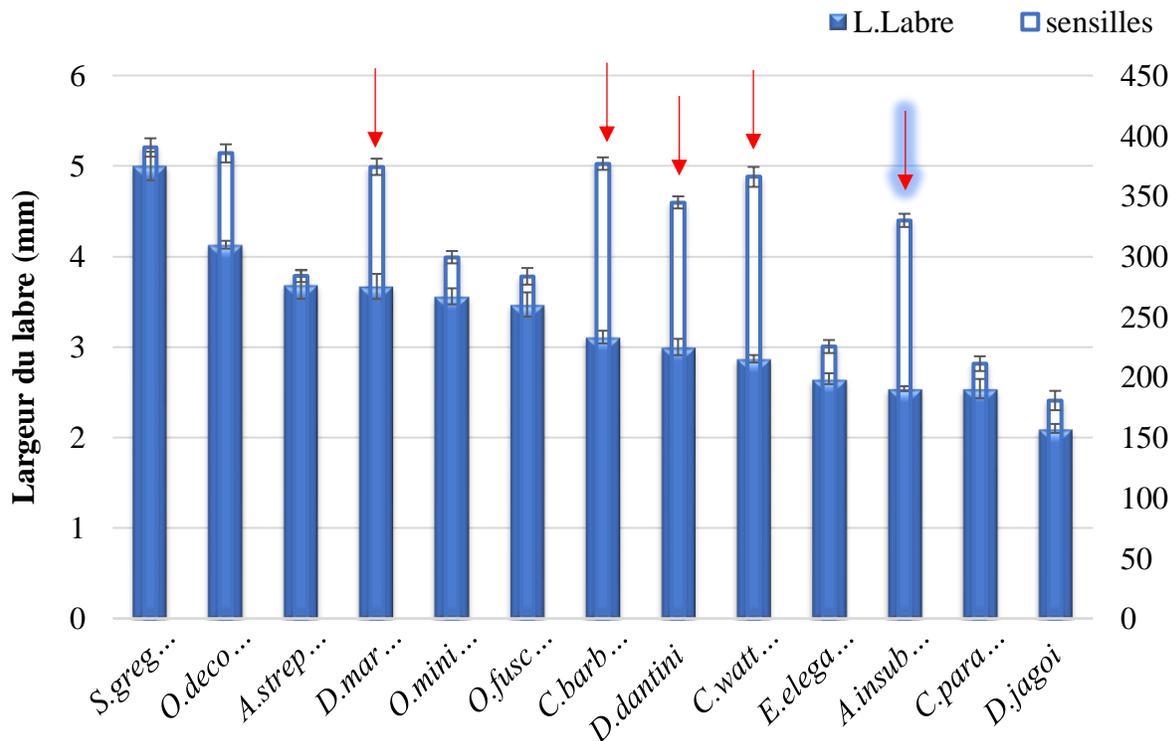


Figure 35 : variation du nombre de sensilles en fonction de la largeur du labre

L'analyse des résultats obtenus sur le nombre de sensilles (Figure 35), révèle qu'il y a une variation plus ou moins importante chez les différentes espèces. Ces variations sont dues d'une part, à la taille de l'individu et d'autre part, à la nature de son régime alimentaire.

Ainsi, nous avons déterminé la relation existante entre la largeur du labre et le nombre de sensilles de l'espèce. Les moyennes de la largeur du labre, de chaque espèce sont considérées comme co-variables et les sensilles comme variables, les résultats obtenus sont présentés ci-dessus.

Les résultats obtenus sur la corrélation entre la largeur du labre et le nombre de sensilles sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6 : Corrélation entre la largeur du labre et le nombre de sensilles (p = 0,001)

	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>A3</i>	<i>A10</i>	<i>L.lab</i>
A1	1				
A2	0,918	1			
A3	0,941	0,952	1		
A10	0,494	0,543	0,566	1	
L.lab	0,629	0,564	0,657	0,532	1

Les résultats obtenus montrent qu'il existe une relation étroite d'une part, entre les trois groupes de sensilles A₁, A₂ et A₃, la largeur du labre et le nombre de sensilles d'autre part, au moins pour les groupes A₁, et A₃. Ces résultats révèlent une corrélation significative entre le nombre de sensilles et la taille de l'insecte. Nous avons remarqué que plus la taille du labre augmente, plus le nombre de sensilles devient important.

Néanmoins, différents facteurs influencent le nombre de sensilles, soit directement comme la taille de l'espèce, ou indirectement, comme la composition floristique de leur milieu de vie ; mettant en évidence l'importance du nombre de sensilles dans la perception des molécules.

Cependant, la cohérence entre l'abondance des plantes sur le terrain et le nombre de sensilles des criquets n'est pas suffisamment absolue, les criquets préfèrent consommer certaines espèces de

plantes, comme c'est le cas chez *Schistocerca gregaria* (Guendouz-Benrima *et al.*, 2010) et *Melanoplus sanguinipes* (Uvarov, 1977). En outre, le nombre de sensilles chez les espèces monophages, n'est pas systématiquement confirmé, comme par exemple, l'espèce *Tropidopola cylindrica* qui ne se nourrit que de *Phragmites australis* en Algérie (Benkenana, 2006), *Glyptobothrus binotatus binotatus* qui se nourrit d'*Ulex spp* en France (Picaud *et al.*, 2002, 2003) ou bien l'espèce *Hypochlora alba*.

Nous avons remarqué précédemment que l'espèce *D. jagoi* a un cortège floristique qui est limité, n'atteignant pas celui de *D. maroccanus*, selon Essakhi (2015), cette espèce est plutôt oligophage, néanmoins elle se caractérise par une plasticité trophique envers la disponibilité alimentaire.

Les résultats obtenus sont en concordance avec certains auteurs (El Ghadraoui *et al.*, 2002 et Benkenana *et al.*, 2013). Une constatation primordiale dans le même genre, nous renseigne d'un effet reverse du régime alimentaire par la tendance de certaines espèces à s'adapter à la disponibilité du biotope en végétaux et par conséquent, un phénomène de choix alimentaire est exercé au sein d'une même espèce.

Benkenana et ses collaborateurs (2013), avait montré l'existence d'une forte relation entre le régime trophique et les chimiorécepteurs chez les Orthoptères polyphages, disposant d'un nombre plus important de sensilles de type A, par rapport aux espèces monophages présentant moins de chimiorécepteurs.

En comparaison avec les études précédentes (Zaim *et al.*, 2013 et Essakhi *et al.*, 2015), nous avons pu montrer que l'espèce *D. jagoi* montre une plasticité trophique intraspécifique. De ce fait, il semble être difficile de situer cette espèce dans le contexte du régime alimentaire, vu cette caractéristique phagique instable. Par ailleurs, il serait d'une grande importance d'approfondir une étude comportementale de régime alimentaire de cette espèce, afin de mettre en évidence les éléments impliqués dans la sélection des plantes consommées et situer la position trophique de cette espèce.

Il n'est en tout cas plus possible, dans le domaine de l'acridologie, de supposer que le régime alimentaire de chaque individu est représentatif de l'ensemble de la population, comme l'avaient

souligné Bernays en (1975), pour *Zoiiocerus variegatus* et aussi Joern en (1979), chez d'autres espèces acridiennes.

2-1-3 Analyse multivariée du nombre de sensilles de type A

Une analyse discriminante des composantes principales du nombre de sensilles a été réalisée avec la procédure PCA scatter Biplot du logiciel Past v1.82b. Cette analyse permet de projeter les individus sur un plan, dont les axes sont définis, comme de nouvelles variables composites indépendantes. Chaque axe (variable composite) est une combinaison des nombres de sensilles des espèces pondérés par le niveau d'explication de la variabilité globale des descripteurs. Ainsi, la représentation des données (Figure 36) optimise la différence entre individus.

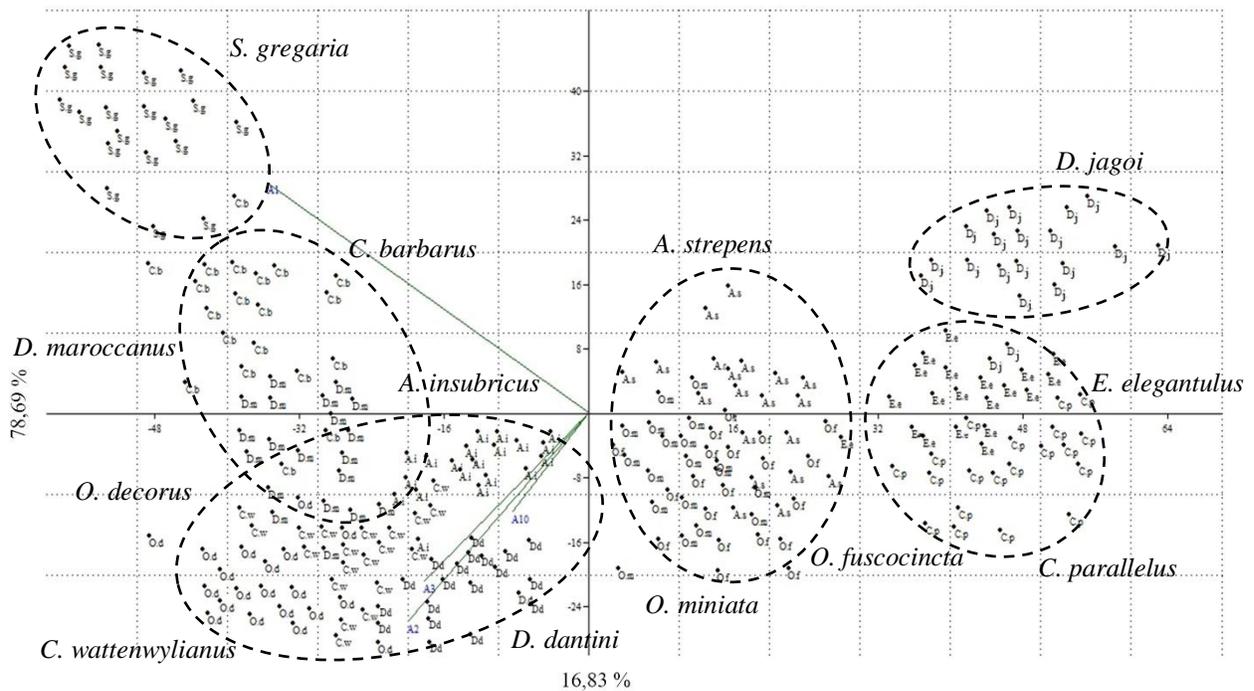


Figure 36 : Analyse en Composantes Principales (ACP) du nombre de sensilles de type A chez les différentes espèces étudiées

La projection du nombre de sensilles sur les deux premiers axes démontre une nette distinction au niveau des individus étudiés. Ainsi, on en distingue, le premier groupe représenté par *S. gregaria*, se caractérisant par un grand nombre de sensilles, plus spécialement A_1 .

Le 2^{ème} groupe étant constitué par *D. maroccanus* et *C. barbarus* qui, en revanche, se caractérisent par un nombre relativement important de sensilles où A₁ constitue le type de sensilles le plus élevé par rapport à A₂.

Le 3^{ème} groupe constitué par *D. dantini*, *O. decorus*, *A. insubricus* et *C. wattenwylianus* présentant un nombre moyen de sensilles de type A₂ et A₃. Le 4^{ème} groupe rassemble *O. miniata*, *O. fuscocincta* et *A. strepens*, ayant un nombre de sensilles inférieur légèrement de la moyenne. La 5^{ème} ellipse regroupant l'espèce *E. elegantulus* et *C. parallelus* qui sont caractérisés par un nombre faible de sensilles. Et enfin, le dernier groupe se composant de *D. jagoi* ayant le nombre le plus faible de sensilles.

2-1-4 Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

En utilisant les données relatives au nombre de sensilles, nous avons recherché à mettre en évidence la relation existante entre les différentes espèces étudiées. Ainsi, nous avons établi un dendrogramme par la CAH. Celui-ci, représente la similarité entre les espèces, selon le nombre de sensilles (Figure 37). Nous avons remarqué que cette classification ne fait que confirmer les résultats de l'analyse en composantes principales.

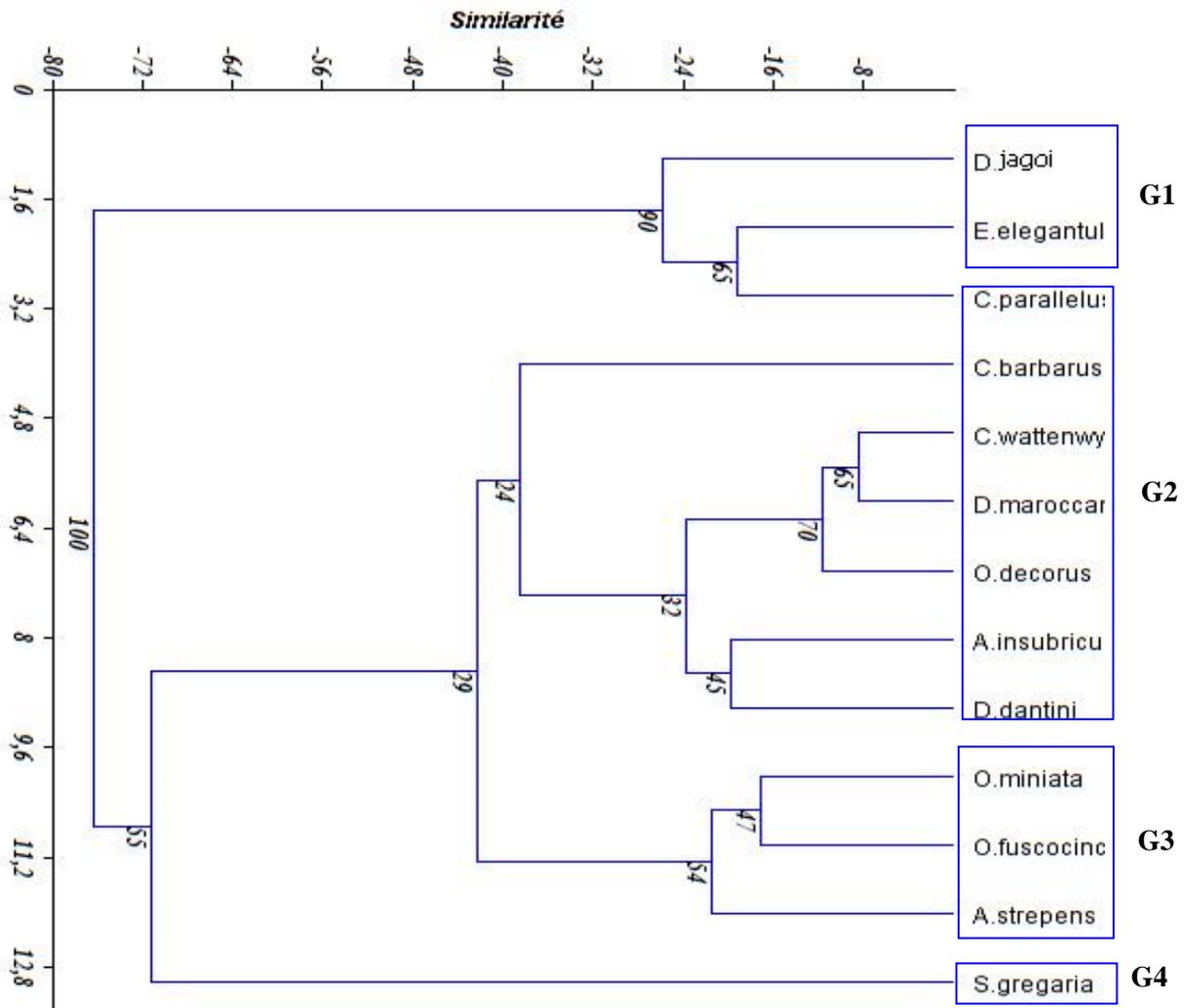


Figure 37 : Dendrogramme des quatre groupes d'espèces, en utilisant l'indice de similarité Euclidien comme mesure de dissimilarité

La classification verticale des espèces, selon leur régime alimentaire est largement étudiée par de nombreux chercheurs (Ben Halima *et al.*, 1983 ; Le Gall 1989 et Essakhi *et al.*, 2015), ainsi, au sein du même genre, deux espèces ne montrent pas la même distribution des sensilles et par conséquent ne présentent pas le même régime alimentaire, de ce fait, l'existence d'une relation entre le régime alimentaire et la position systématique semble être négligeable.

Selon la distribution des résultats obtenus, on en distingue quatre principaux groupes :

- Le premier groupe est constitué de l'espèce *D. jagoi* caractérisée par sa petite taille et est classée par certains chercheurs, parmi les espèces polyphages avec les deux autres espèces qui sont

E. elegantulus et *C. parallelus* (Ebeling *et al.*, 2013). Et ceci, malgré que ces dernières présentent un nombre de sensilles faible lié à la taille de l'espèce.

- Le second groupe rassemble, *D. maroccanus* et l'espèce *C. barbarus* ces deux espèces, dont l'aire de répartition diffère, présentent aussi un caractère polyphage, traduit par le nombre élevé de sensilles, l'espèce *D. maroccanus* est largement étudiée par de nombreux chercheurs (Gillon, 1989 ; El Ghadraoui, 2002 ; Zaim, 2013 ; Djouji, 2013 ; Benkinana, 2013 ; Petit, 2015 ; Essakhi 2015) et *C. barbarus* par (Latchininsky, 1998 ; Benfekih, 2006 ; Harrat, 2007 ; Fallis, 2013).

La présence de l'espèce *O. decorus* dans ce groupe contenant les espèces *D. dantini*, *D. maroccanus*, *A. insubricus*, *C. wattenwylianus*, *C. barbarus* est un peu surprenant, car elle est souvent mentionnée dans la littérature, comme espèce monophage (Zaim *et al.*, 2013). La position que prend cette espèce dans ce groupe, est plutôt influencée par la taille des individus, qui retombe sur la composition en sensilles. Par contre, les cinq autres espèces sont connues par leur caractère polyphage, surtout l'espèce *D. dantini* qui est une espèce sédentaire et les espèces *C. wattenwylianus* et *D. maroccanus* ayant un nombre de sensille relativement élevé et qui engendre des dégâts non négligeables, dans le Moyen-Atlas marocain.

Il se peut que cette espèce suive le même principe que chez *D. jagoi* dans le caractère flexible envers la disponibilité alimentaire, ces constatations sont en désaccord avec ceux de Hui Lu et ses collaborateurs (2011) qui confirment que cette espèce est strictement polyphage.

- Les deux espèces qui présentent les mêmes allures morphologiques *O. miniata* et *O. fuscocincta* se distinguent avec l'espèce *A. strepens* polyphage à tendance graminivore dans le 3^{ème} groupe et par conséquent leur régime alimentaire, peut être proche des polyphages. D'ailleurs cette constatation est soulignée par Essakhi et ces collaborateurs (2015).

- Le dernier groupe est attribué à l'espèce dévastatrice *S. gregaria* séparée des autres espèces, car cette dernière présente un nombre élevé de sensilles sur son labre principalement A₁ et A₂ Benkinana (2013). Le régime alimentaire de cette espèce est strictement polyphage vu la voracité que montre lors des invasions.

Donc, en principe, la systématique ordinaire ne reflète pas forcément le régime alimentaire d'une espèce donnée.

3- Étude des sensilles antennaires

A côté des sensilles du labre, les espèces acridiennes présentent des sensilles antennaires qui semblent avoir un rôle non négligeable dans la détermination du régime alimentaire d'une espèce. On en distingue cinq types majeurs de sensilles antennaires : trichoïdes, longues basiconiques, courtes basiconiques, courtes basiconiques minces et cœloconiques. Les différents types de sensilles sont présentés sur les images ci-dessous.

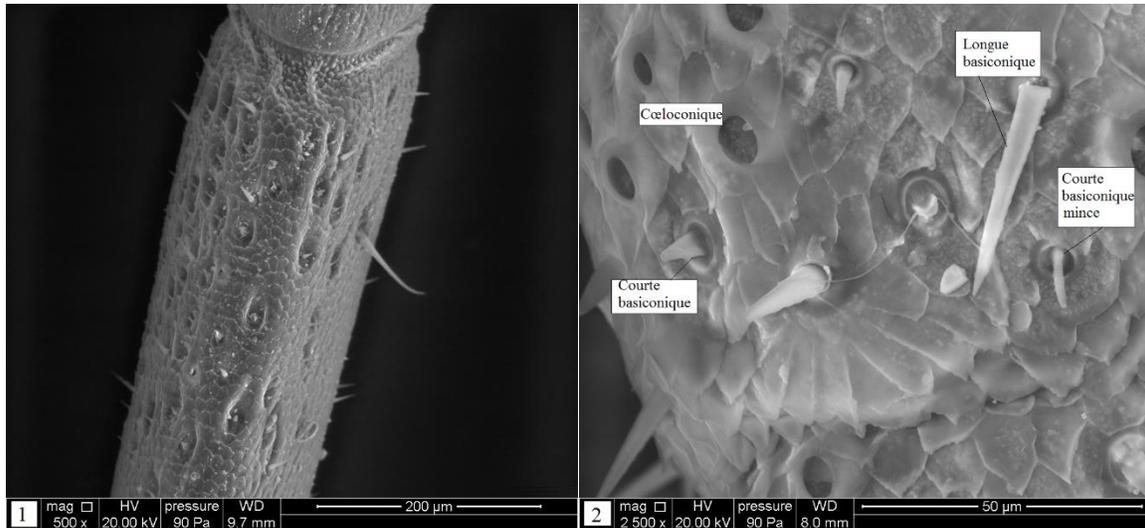


Figure 38 : Cinq principaux types de sensilles antennaires. Sensilles trichoïdes (1), sensilles basiconiques longues, basiconiques courtes, basiconiques courtes minces et cœloconiques (2)

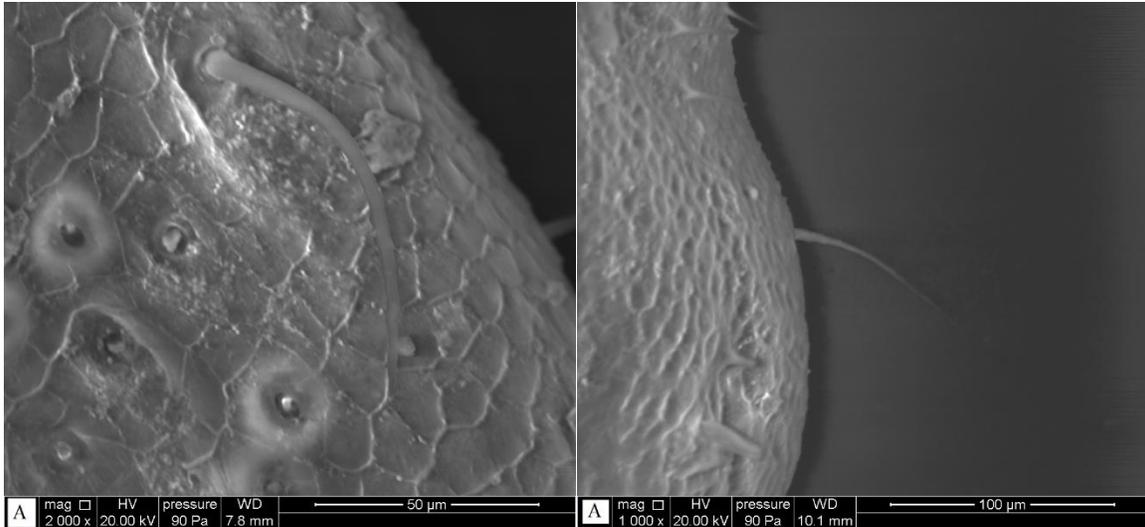


Figure 39 : Sensilles trichoïdes, 100 µm- 120 µm chez *O. decorus* (A)

Les sensilles trichoïdes ont une forme de poils filiformes avec une insertion basale sur la cuticule. Les surfaces de ces sensilles sont généralement minces (Figure 39) et leur longueur varie d'environ 50 µm à 150 µm. Ces sensilles se trouvent exclusivement sur quelques segments proximaux, avec le scape et pédicelle montrant le nombre maximum de ces sensilles trichoïdes, ces derniers sont probablement des baro-récepteurs (Zacharuk 1985 ; Bland 1989).

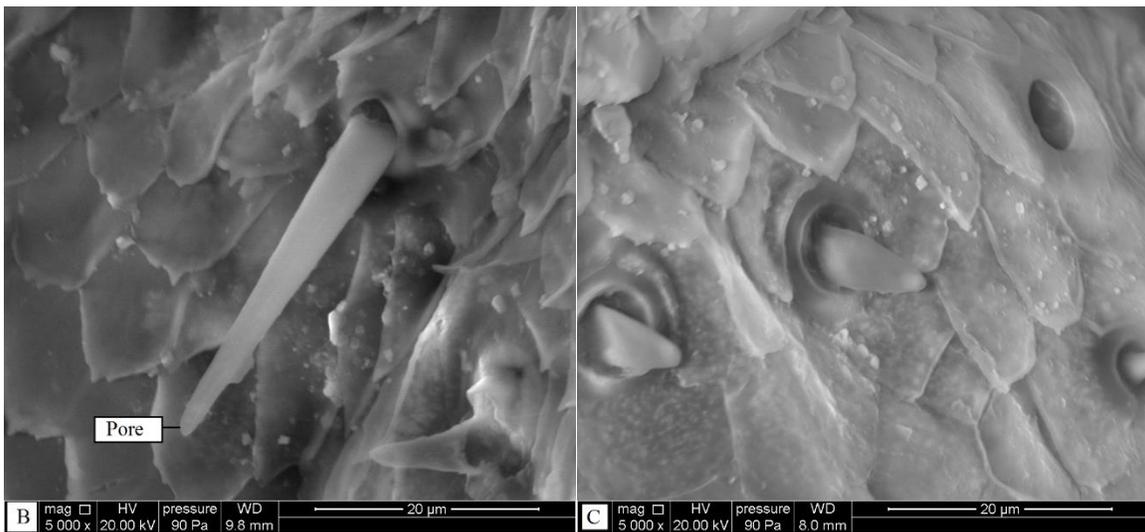


Figure 40 : Sensilles basiconiques : longue basiconique avec surface striée et un pore apical chez *C. barbarus* (B). Courte basiconique typique avec pore à l'apex chez *D. dantini* (C)

Les sensilles longues basiconiques sont étroites à l'apex et leur pore apical est parfois visible (Figure 40 B). Ces sensilles peuvent être des chimiorécepteurs de contact (Chapman, 1982).

Nous avons observé ces sensilles à partir du premier segment distal avec une abondance dans les segments proximales et nul ne s'est observé sur le scape ou le pédicelle chez les différentes espèces étudiées. Leur longueur varie entre 15 μm à 50 μm .

Au cours de cette étude, nous avons montré que les différentes espèces étudiées sont caractérisées par une diversité importante au niveau des sensilles antennaires. On en distingue, celles ayant un nombre élevé de sensilles trichoides, comme les espèces *S. gregaria*, *D. maroccanus*, les femelles d'*A. insubricus*. Celles ayant les sensilles longues basiconiques plus élevées que les autres comme *S. gregaria*, *C. barbarus*, *C. wattenwylianus* et *D. dantini*, alors que plusieurs espèces avaient des sensilles de type courtes basiconiques en nombre élevé.

Les sensilles courtes basiconiques (Figure 40 C) sont plus abondantes que les longues basiconiques (Figure 40 D) et elles sont considérées comme des récepteurs olfactifs (Chapman 1982, Zacharuk 1985). La longueur de ce type de sensilles varie d'environ 8 μm à 15 μm . Ces sensilles ont été observées sur presque tous les segments antennaires dans les dépressions cuticulaires, avec une concentration dans les segments du milieu.

En se basant sur la forme de l'apex, nous avons constaté que l'espèce *C. barbarus* a un nombre relativement important de ce type de sensilles.

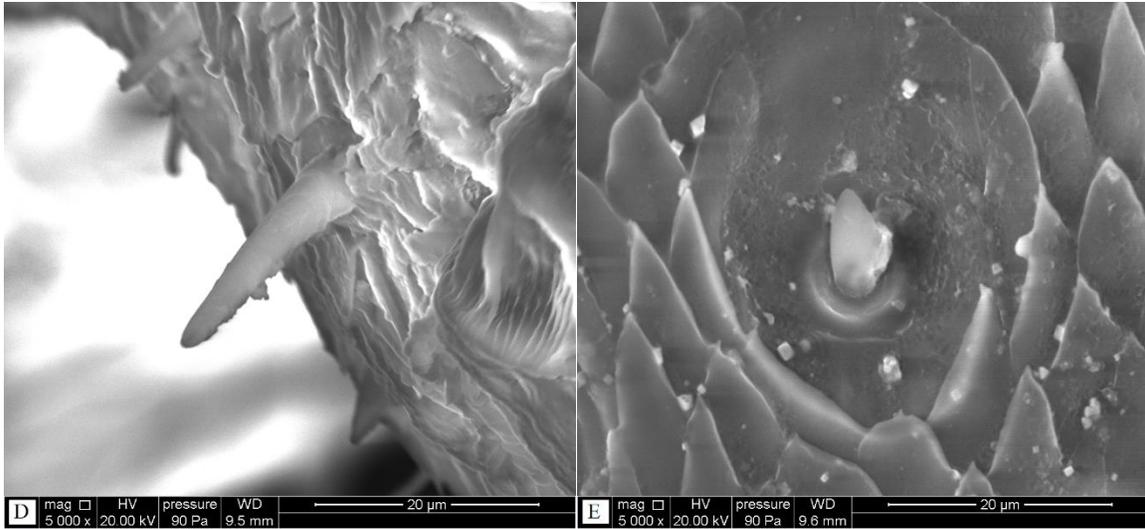


Figure 41 : Sensilles courtes basiconiques : courte basiconique élargie à la base chez *A. insubricus*(D). : sensilles basiconiques courtes avec une dépression cuticulaire ondulée chez *D. maroccanus* (E)

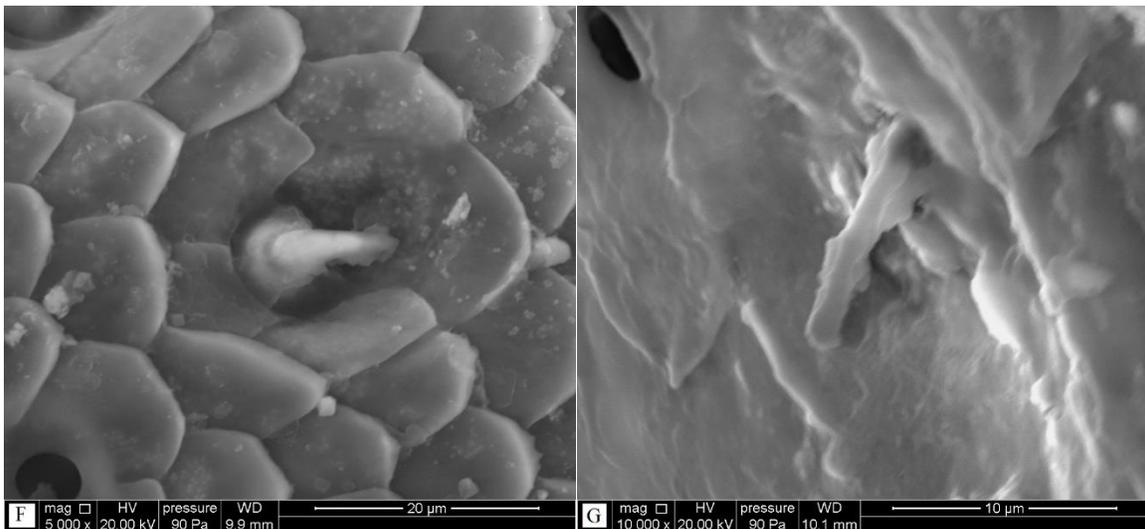


Figure 42 : Sensille basiconique courte entourée d'un anneau de cuticule chez *A. strepens* (F), courte basiconique sous forme de doigt chez *O. miniata* (G)

Nous avons observé une variation de ce type de sensilles : ovale sous forme de grène de riz chez *C. wattenwylanus*, généralement, dans les segments proximaux (Figure 41 E) ; entourée de dépression cuticulaire concentrique incomplète chez *A. strepens*, sous forme de doigt, ou de bâtonné chez *O. miniata* (Figure 42 G) ; avec une base élargie chez *D. dantini* (Figure 41 D).

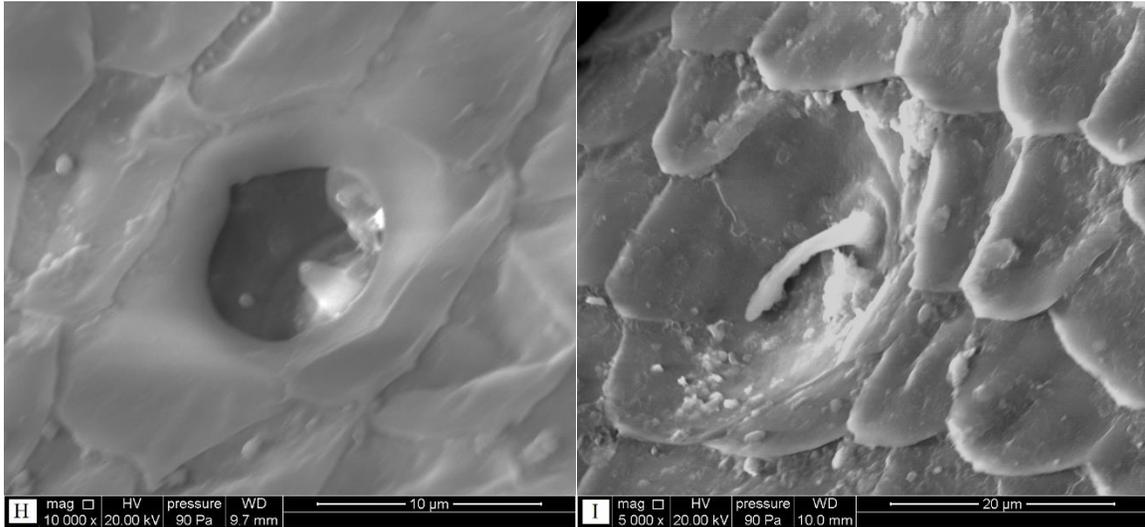


Figure 43 : Sensille cœloconique striée avec pore à l’apex chez *D. dantini* (H), courte basiconique mince chez *O. fuscocincta* (I)

Les sensilles courtes basiconiques minces ont une forme plus étroite que les sensilles courtes basiconiques. Elles sont souvent observées en abondance chez l’espèce *S. gregaria*, *D. maroccanus*, *O. fuscocincta* et *C. parallelus* (Figure 43 I) ; la longueur des deux types de sensilles est semblable et sont considérés comme des récepteurs olfactifs (Ameismeier, 1987).

En dernier lieu, les sensilles cœloconiques, environ 2,5 à 4 µm de longueur, ayant une forme de cavité ouverte avec un piquet strié placé sur le fond et un pore sur l’apex (Figure 43 H), sont souvent observées du premier segment distal et occupant plus le milieu des segments antennaires. Les espèces disposant d’un nombre élevé de ce type de sensilles sont : *E. elegantulus*, *D. jagoi*, *A. strepens* et *D. dantini*.

Aucune sensille cœloconique n'a été observée sur le scape et le pédicelle chez les différentes espèces. Ces sensilles peuvent être des récepteurs olfactifs à distance (Chapman 1982, Zacharuk 1985, Ocheing *et al.*, 1998).

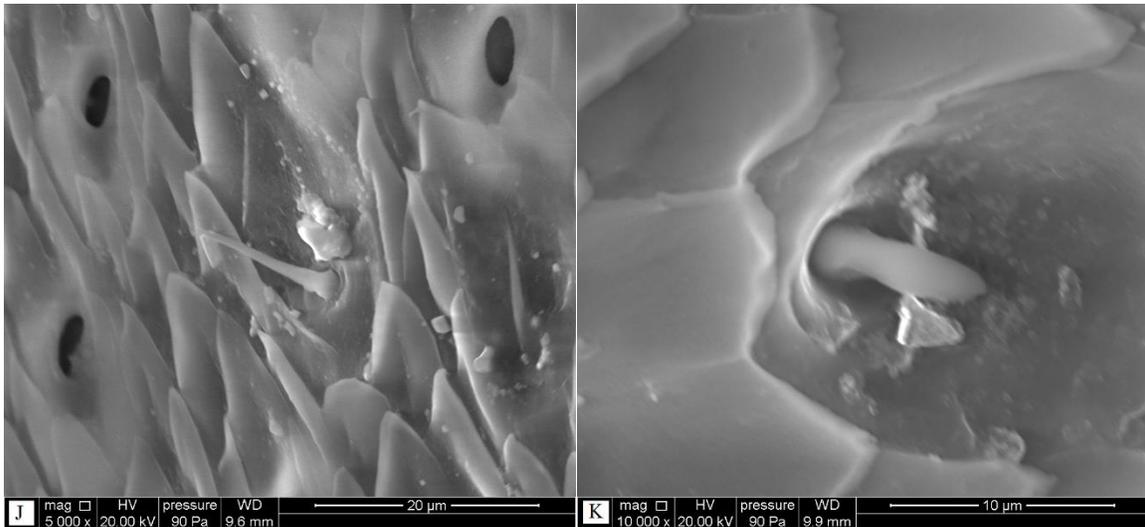


Figure 44 : Courte basiconique à apex pointu chez *C. wattenwylanus* (J), sensille sous forme de pagaie chez *D. jagoi* (K)

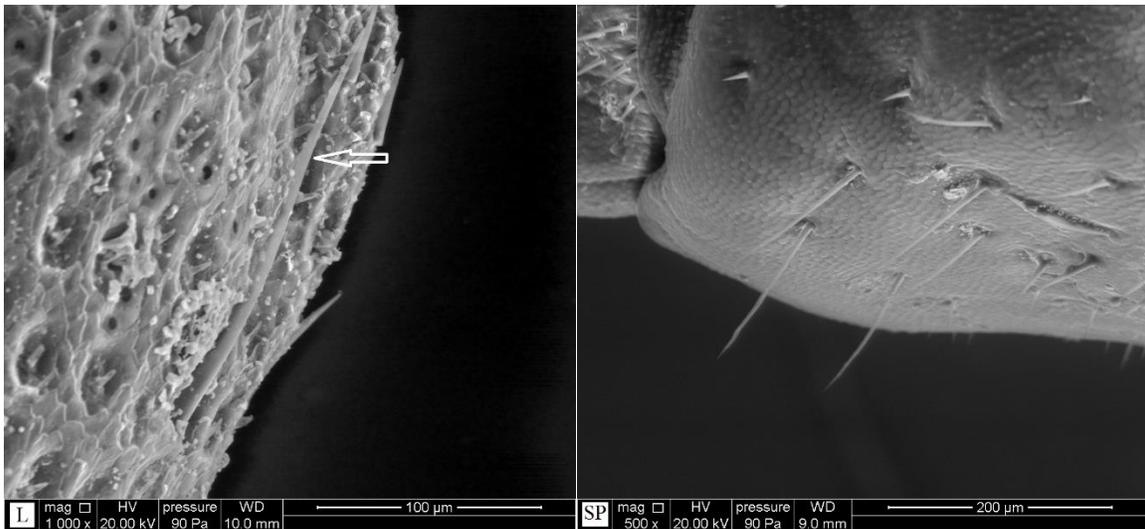


Figure 45 : Forme de sensille trichoïde très longue dans les segments médians chez *S. gregaria* (L), sensilles trichoïde sur le scape et le pédicelle (SP)

Chez *S. gregaria* une forme de sensille rare dépassant les 200 µm de longueur, au milieu de l'antenne (Figure 45 L) reste imperceptible chez les autres espèces.

3-1 Dénombrement des sensilles au niveau des antennes

Les résultats obtenus montrent que le nombre de sensilles varie en fonction du sexe. Ainsi, les mâles avaient en général, plus de sensilles que les femelles. Chapman (1982) et Bland (1989) ont attribué le dimorphisme de nombre sensilles antennaires à l'attraction des mâles par les phéromones des femelles ou bien à la préférence alimentaire chez les deux sexes.

Il semble que cette diversité de sensilles antennaires est en relation avec la nature du régime alimentaire des espèces. Ainsi, celles qui sont strictement polyphages sont caractérisées globalement par un nombre élevé de sensilles antennaires, mais elles se caractérisent par un nombre relativement faible de sensilles Cœloconiques. Le nombre et le type de sensilles par antenne diffère d'une espèce à l'autre, ainsi, parmi les 13 espèces étudiées (Tableau 7), les sensilles trichoïdes ont toujours le nombre le plus petit parmi les cinq types de sensilles. Le nombre le plus faible de sensilles trichoïdes est enregistré chez *C. barbarus* et le plus élevé chez *S. gregaria*.

Les sensilles trichoïdes des femelles de *E. elegantulus* sont beaucoup plus nombreuses que chez les mâles. Le plus grand nombre de sensilles courtes basiconiques, a été enregistré chez les mâles d'*O. miniata*, tandis que pour les longues basiconiques, le nombre le plus élevé a été enregistré chez les mâles de *S. gregaria*.

Tableau 7 : Nombre moyen de chaque type de sensille par antenne et nombre moyen de sensilles par segment des 13 espèces étudiées

Espèces	Sexe	Trichoïde	Longue basiconique	Courte basiconique	Coute basiconique mince	Cœloconique	Totale	Seg-ments	moy/seg
<i>S. gregaria</i>	M	40,57	558,75	1313,02	502,11	428,82	2843,27	24	118,46
	F	27,03	533,13	923,59	429,08	419,26	2332,09	24	97,17
<i>C. barbarus</i>	M	7,86	546,28	1473,42	317,01	591,97	2936,54	23	127,67
	F	3,54	498,29	1219,05	424,14	448,49	2593,51	23	112,76
<i>C. wattenwylanus</i>	M	5,33	488,37	829,45	281,05	430,29	2034,49	23	88,45
	F	4,01	432,23	904,29	177,07	411,27	1928,87	23	83,86
<i>A. insubricus</i>	M	13,53	440,45	1046,11	203,37	394,5	2097,96	24	87,41
	F	34,77	378,42	1293,06	220,35	375,53	2302,13	24	95,92
<i>O. decorus</i>	M	9,05	320,15	679,26	163,26	683,46	1855,18	23	80,66
	F	26,33	431,38	646,37	222,37	422,88	1749,33	23	76,05
<i>D. maroccanus</i>	M	38,3	213,45	1190,15	478,3	381,37	2301,57	25	92,06
	F	19,48	208,6	1238,41	434,2	320,75	2221,44	25	88,85
<i>D. dantini</i>	M	16,02	486,52	942,68	307,2	426,26	2178,68	18	121,03
	F	7,43	455,33	1004,16	248,37	233,41	1948,7	18	108,26
<i>D. jagoi</i>	M	17,62	364,61	769,2	246,19	875,61	2273,23	20	113,66
	F	13,39	347,66	813,03	189,04	690,73	2053,85	20	102,69
<i>O. miniata</i>	M	26,85	461,63	1538,16	362,36	592,47	2981,47	23	129,62
	F	10,35	448,09	973,72	428,28	342,58	2203,02	23	95,78
<i>O. fuscocincta</i>	M	23,74	409,7	1230,01	441,2	790,6	2895,25	23	125,88
	F	13,17	380,39	1034,16	412,38	486,31	2326,41	23	101,14
<i>A. strepens</i>	M	18,06	351,33	898,67	254,38	828,96	2351,4	19	123,75
	F	13,04	360,13	598,47	177,37	771,42	1920,43	19	101,07
<i>E. elegantulus</i>	M	11,67	242,26	1184,12	307,31	891,25	2636,61	20	131,83
	F	24,38	278,57	722,1	220,21	469,96	1715,22	20	85,76
<i>C. parallelus</i>	M	13,12	420,33	746,4	504,13	500,98	2184,96	24	91,04
	F	9,2	307,94	624,59	436,13	471,92	1849,78	24	77,07

Les sensilles de type courtes basiconiques minces, tout sexe confondu (Figure 44 J), sont en nombre supérieur chez *C. parallelus* et inférieur chez *O. decorus*. Cette dernière, considérée comme espèce monophage, présente un nombre relativement élevé de sensilles cœloconiques avec l'espèce *O. fuscocincta*, *A. strepens*, *D. jagoi* et *E. elegantulus*.

Les mâles ont plus de sensilles antennaires que les femelles, principalement, en raison de l'abondance de sensilles cœloconiques et courtes basiconiques. Ces deux types de sensilles, sont considérées comme des sensilles olfactives.

Il a été démontré que les sensilles basiconiques ont une fonction olfactive chez *abietis* (Mustaparta, 1975) *Locusta migratoria* (Ameismeier 1987), *Hylobius* et *Leptinotarsa lineata* (Ma et Visser, 1987) et *Schistocerca gregaria* (Ocheing et Hansson, 1996) et. La présence des sensilles cœloconiques, peut impliquer la réponse à de nombreuses odeurs de plantes hôtes chez *L. migratoria* (Kafka 1970).

Par exemple, les deux sexes de *E. elegantulus* ont la même préférence alimentaire (Essakhi *et al.*, 2015) alors que le nombre total des sensilles antennaires est beaucoup plus élevé chez les mâles, cela peut être dû à la sédentarité des femelles, vu leurs élytres qui n'atteignent pas les lobes géniculaires postérieurs et ne parviennent pas à conquérir plusieurs plantes.

Un dimorphisme sexuel de taille du corps et par conséquent la taille des antennes, peut aussi être observé chez *O. decorus*, les mâles ont une petite taille que les femelles, alors que ces dernières sont plus vigoureuses et peuvent conquérir une large gamme de plantes que les mâles, ce qui explique en partie la différence de sensilles antennaires.

Il semble que plus de sensilles, génère une grande sensibilité aux odeurs, comme il peut aider les mâles à localiser les femelles et les plantes hôtes. Il a été montré que chez certaines espèces où les différences de sensilles entre les sexes, sont petites, les indices visuels et auditifs peuvent être plus importants que l'olfaction pour rapprocher les sexes (Chen *et al.*, 2003).

Plus de sensilles basiconiques (notamment les basiconiques courtes) et cœloconiques chez les mâles, peut indiquer que les mâles peuvent avoir différentes sensibilités olfactives, par rapport aux

femelles, et par conséquent un dimorphisme sexuel dans la perception au niveau des sensilles antennaires.

La distribution des sensilles basiconiques et cœloconiques, est observées sur l'ensemble des segments antennaires, avec une concentration dans les segments du milieu. Ces résultats sont en accord avec ceux d'Ocheing (1998).

La réponse aux composés volatils des plantes, est détectée principalement par les sensilles antennaires au-delà des segments proximaux. Chen et ses collaborateurs (2003) ont pu également indiquer que les sensilles basiconiques et cœloconiques servent de récepteurs olfactifs et la perception olfactive est principalement accomplie par la partie distale de l'antenne en dehors des segments de la partie proximales.

Pour conclure, le nombre total de sensilles antennaires varie largement chez les espèces acridiennes. Cette variation semble être liée à de nombreux facteurs, dont la forme de vie, du dimorphisme sexuel ou de taille, de la diversité du régime alimentaire qui est aussi lié à l'abondance des sensilles courtes basiconiques et / ou cœloconiques. En outre, l'abondance d'un type de sensilles reflète un niveau de perception chez une espèce donnée et par conséquent, un déterminisme de choix ou de préférence alimentaire des criquets.

Les signaux olfactifs reçus par les sensilles antennaires sont conduits vers le centre olfactif primaire du cerveau, du lobe antennaire. Une étude antérieure montre que les propriétés anatomiques et physiologiques du lobe antennaire et de ses neurones reflètent dans une large mesure les changements de comportement olfactif au cours du développement et entre les phases du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Anton *et al.*, 2002).

4- Étude morphométrique

4-1 Morphométrie classique

Dans cette partie d'étude, nous avons effectué des mesures biométriques des différentes espèces étudiées. Les résultats obtenus de différents traits morphologiques des 13 espèces étudiées sont reportées sur les figures ci-dessous.

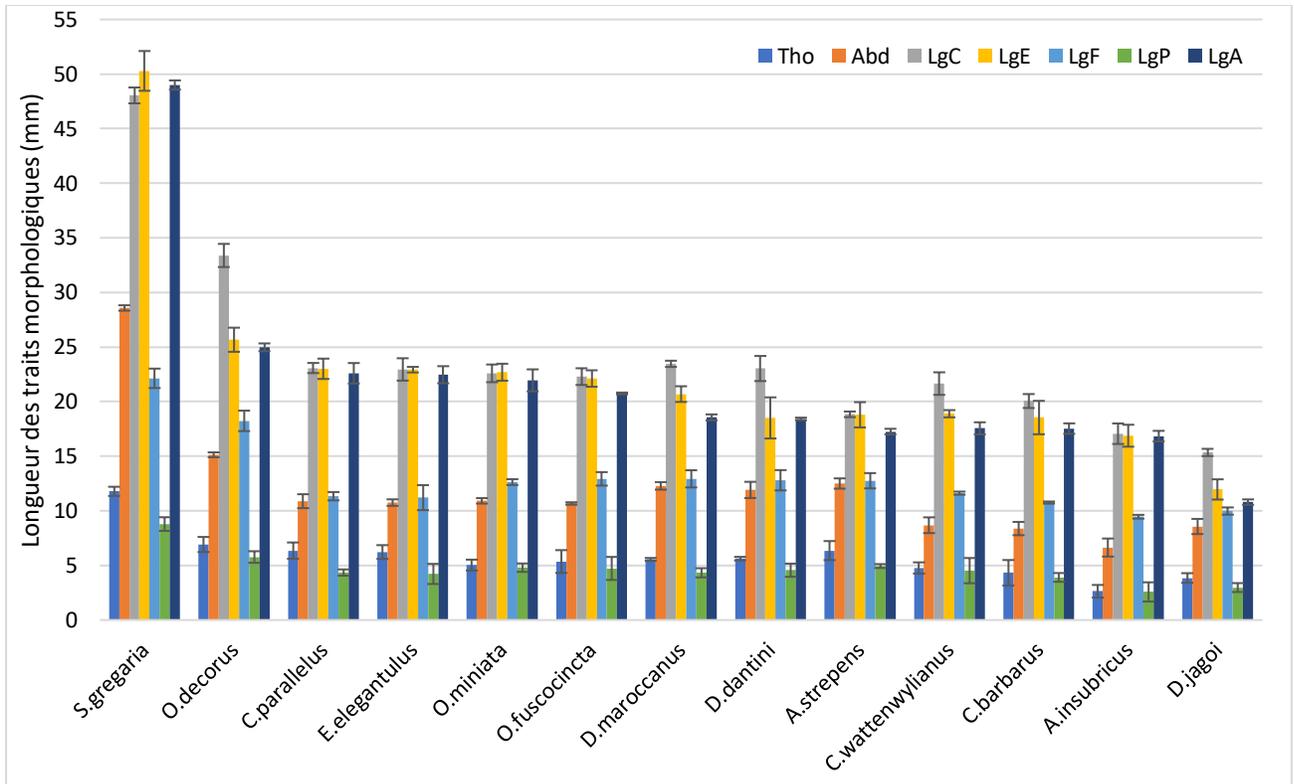


Figure 46 : Variation des traits morphologiques des individus mâles des 13 espèces

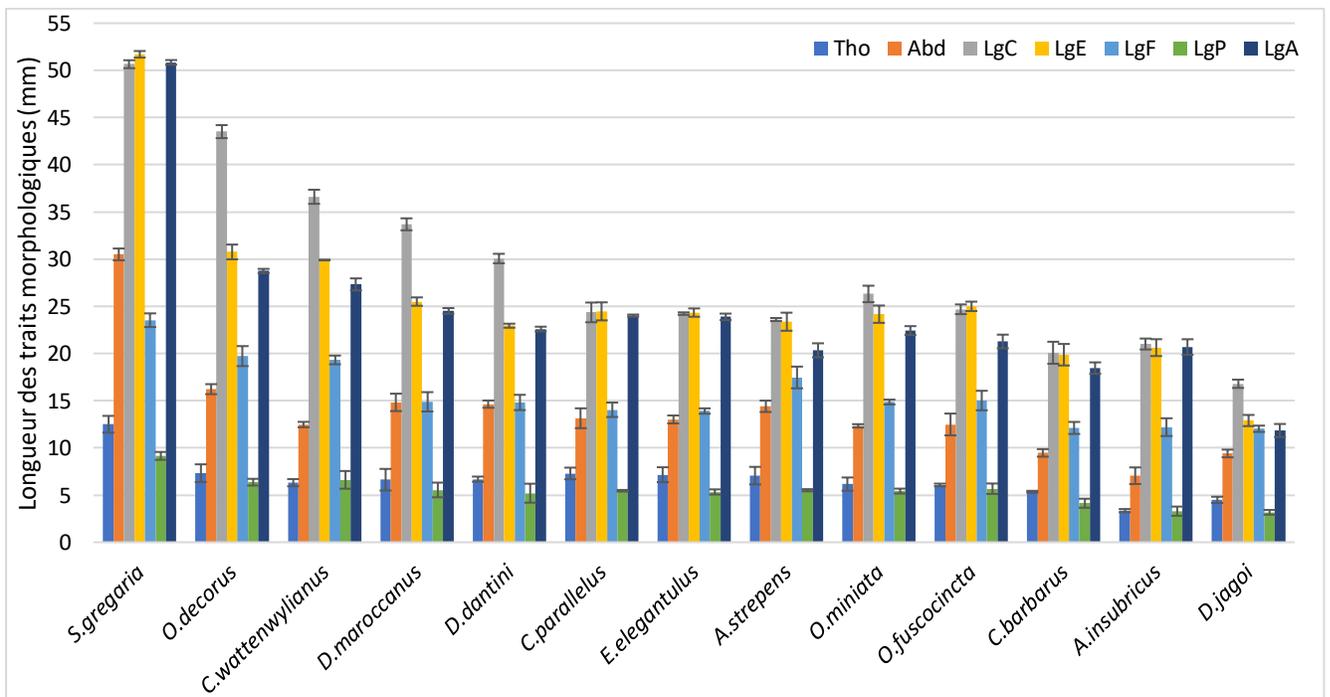


Figure 47 : Variation des traits morphologiques des individus femelles des 13 espèces

Les représentations graphiques des différents paramètres biologiques étudiés nous ont permis de souligner que les espèces étudiées montrent une grande variation au niveau de leurs traits morphologiques. Ainsi, *S. gregaria* et *O. decorus* sont les deux espèces, ayant une taille plus grande par rapport aux autres espèces. Par contre, *D. jagoi* étant l'espèce la plus petite pour la majorité des traits morphologiques. Quant aux autres espèces, *O. miniata*, *O. fuscocincta*, *A. strepens*, *E elegantulus* et *C. parallelus* ont une taille relativement semblable.

Quant aux espèces *D. maroccanus*, *D. dantini* et *C. barbarus* ont une taille généralement moyenne par rapport à l'ensemble des espèces étudiées (Figure 46 et Figure 47). En outre, nous avons remarqué que les caractères morphologiques étudiés varient en parallèle avec la taille du corps de chacune des espèces et que les femelles ont toujours une taille plus grande que celle des mâles.

Ce résultat est en accord avec ceux obtenus par de nombreux auteurs (Roff 1986, Roff & Fairbairn 1991, Mokhlesse, 2007, El Ghadraoui 2008, Picaud, 2009 et Claudio 2012). L'existence du dimorphisme sexuel est très visible chez l'espèce *D. maroccanus* et l'espèce *C. wattenwylianus* où les mâles ont une petite taille par rapport aux femelles.

Afin de visualiser la variation globale des différents paramètres étudiés chez toutes les espèces, nous avons donné une représentation graphique des mesures moyennes des traits morphologiques pris en compte (Figure 48).

Celle-ci, nous a permis de souligner que, globalement plus la taille d'une espèce est plus importante, plus la majorité des traits morphologiques sont bien développés. Ainsi, nous avons pu montrer que les organes du vol, sont très liés à la taille des individus. De même, la longueur des fémurs et de l'abdomen est plus importante

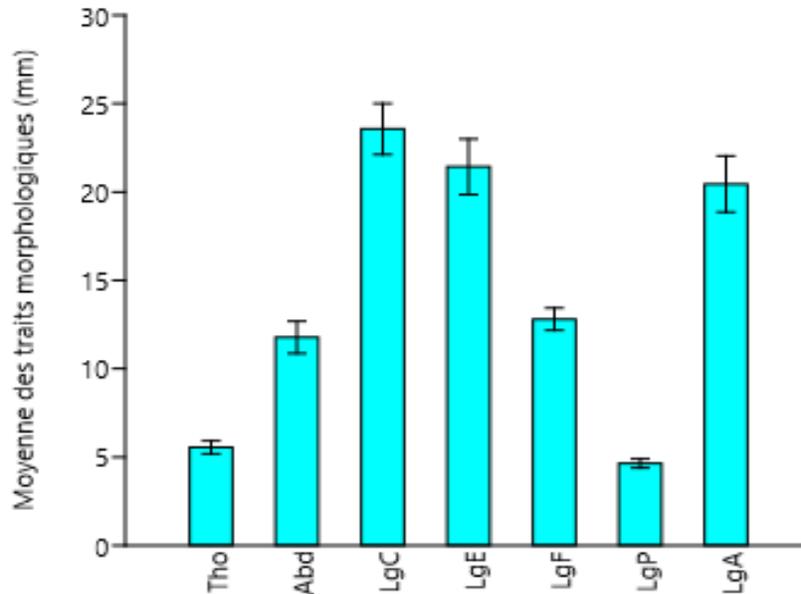


Figure 48 : Diagramme des moyennes des traits morphologiques de l'ensemble des espèces étudiées

Il apparaît d'après le graphe des mesures moyennes des traits morphologiques que d'une part, ces traits morphologiques sont liés à la taille générale de l'insecte, plus la taille augmente plus les mesures biométriques des autres traits morphologiques augmentent, d'une autre part, les variations observées au niveau des différents paramètres morphométriques des espèces étudiées, semblent être liés à de nombreux facteurs dont la nature de leur milieu de vie et leur capacité de déplacement. Comme ceci a été largement souligné par certains auteurs (Picaud, 1998, 2007 ; El Ghadraoui, 2002, 2008) ayant montré que les espèces acridiennes qui sont capables d'effectuer des déplacements de grandes amplitudes ont la grandeur des organes locomoteurs très importantes.

Afin de mettre en évidence la relation existante entre les différents caractères étudiés, nous avons utilisé une analyse multivariée en composantes principale.

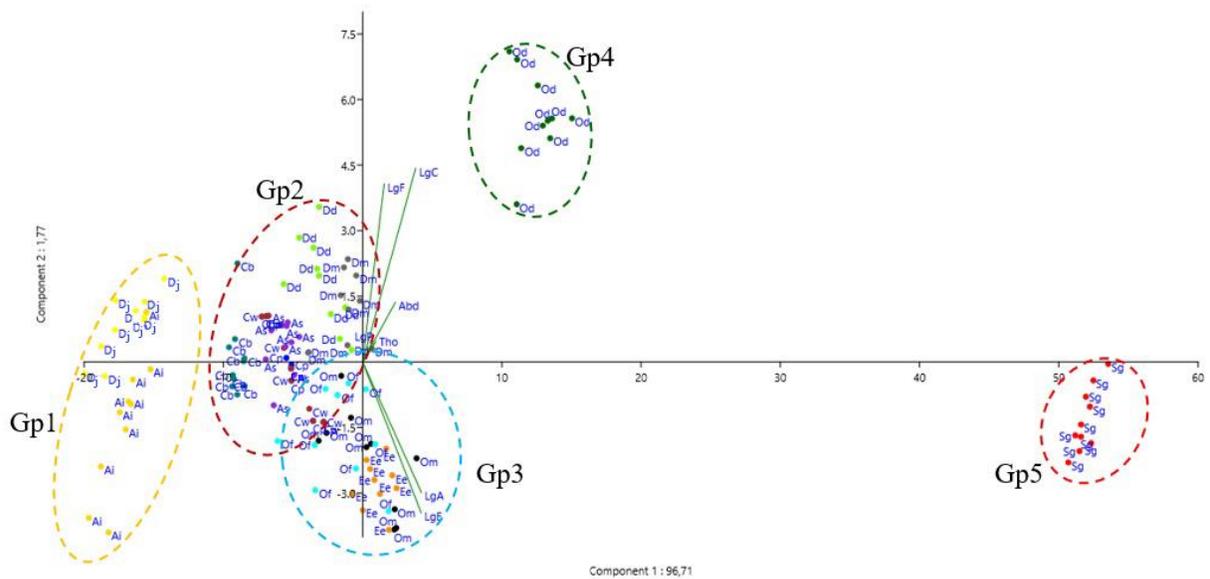


Figure 49 : Analyse en Composantes Principales (ACP) des traits morphologiques des mâles des différentes espèces étudiées

La projection de l'ensemble des données des différents paramètres mesurés, nous a permis de caractériser les espèces étudiées. Ainsi, on en distingue cinq groupes en fonction de la corrélation existante entre les paramètres étudiés.

Le pourcentage d'information issu de la projection des données sur les deux axes dépasse largement les 50 %. La représentation statistique des données, est qualifiée de bonne.

La projection des données obtenues des différents traits morphologiques étudiés, sur les deux premiers axes (axe 1 : 96,71 % ; axe 2 : 1,77 %), montrent une distinction nette, entre les divers groupes d'individus appartenant à différentes espèces acridiennes, chez les mâles comme chez les femelles. Ainsi, on distingue chez les mâles, 4 ellipses mettant en apparence 4 groupes d'individus.

- La 1^{ère} ellipse regroupe deux espèces *D. jagoi* et *A. insubricus*, caractérisées par une taille très petite accompagnée d'une réduction au niveau des traits morphologiques étudiés.

- La 2^{ème} ellipse regroupe 5 espèces ; *D. dantini*, *C. barbarus*, *C. wattenwylanus*, *D. maroccanus* et *A. strepens*, ces espèces sont caractérisées par une taille généralement moyenne,

avec des variations au niveau des organes locomoteurs où nous avons constaté que l'espèce *D. dantini* se caractérise par une réduction des ailes et des élytres (G2).

- Le groupe 3 rassemble trois espèces *O. miniata*, *O. fuscocincta* et *E. elegantulus*, Celles-ci se caractérisent par des mesures moyennes des différents organes étudiés. Leurs capacités de déplacements peuvent être moyennes à limitées.

- 4^{ème} groupe renferme *O. decorus*, cette espèce présente à la fois une grande taille et des élytres qui sont bien développés, cette espèce est caractérisée par une longueur importante du corps ainsi que les autres paramètres. Elle est aussi connue par ses déplacements occasionnels qui peuvent être de grandes ampleurs (Louveaux *et al.*, 1996).

G5- Enfin la pionnière des acridiens au niveau des déplacements *S. gregaria* s'isole dans la 5^{ème} ellipse et est caractérisée par un développement important des ailes, des élytres et des fémurs par rapport aux autres espèces (G5). Ces distinctifs constituent le pilier des déplacements de grandes ampleurs de cette espèce migratrice.

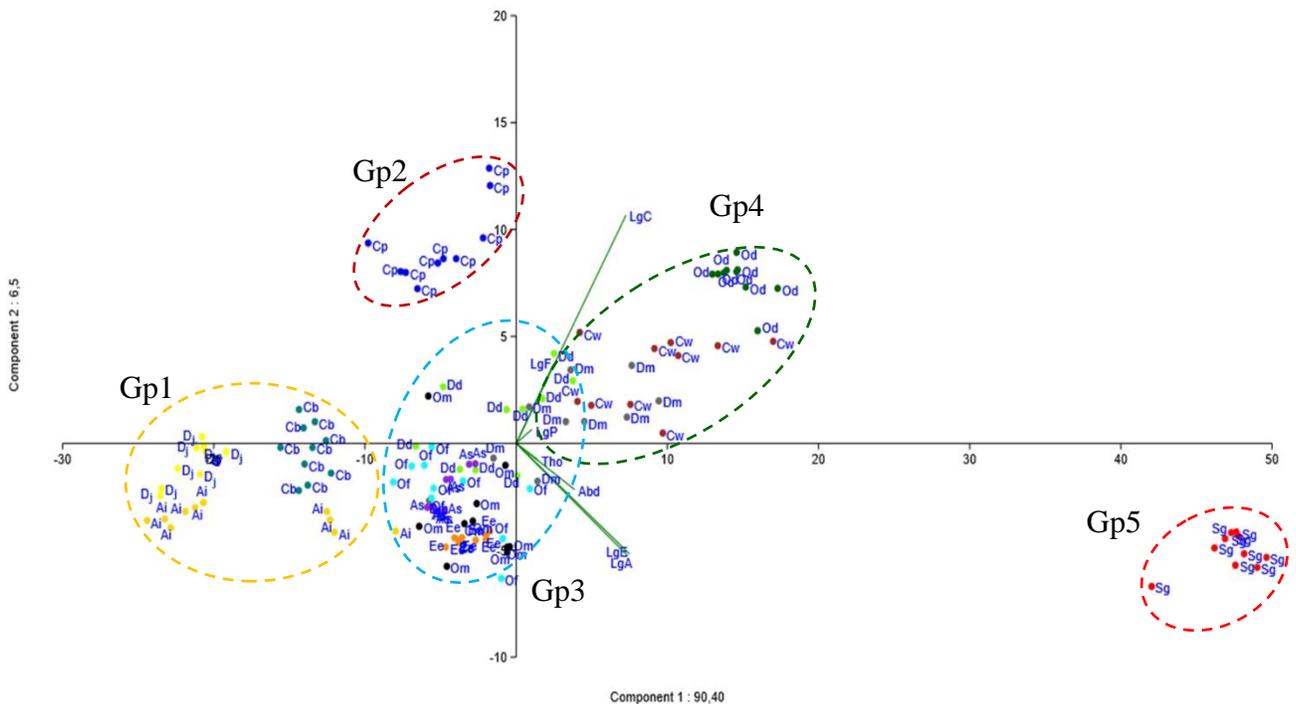


Figure 50 : Analyse en Composantes Principales (ACP) des traits morphologiques des femelles des différentes espèces étudiées

Nous avons bien remarqué que cette distinction se conserve généralement, aussi bien, chez les mâles que chez les femelles, sauf exception chez *C. wattenwylianus* et *D. maroccanus* qui sont caractérisées par un dimorphisme sexuel très marqué : les femelles sont beaucoup plus grandes que les mâles. Ceci explique bien la distinction de l'ellipse représentative de cette espèce. Celles-ci, ont une longueur du corps plus importante avec les fémurs et le pronotum bien développés.

- Chez les femelles nous avons distingué que l'espèce *C. barbarus* s'intègre dans le 1^{er} groupe avec *A. insubricus* et *D. jagoi*. L'espèce *C. parallelus* se sépare toute seule des autres espèces, car celle-ci, est caractérisée par un dimorphisme sexuel au niveau des ailes et des élytres, les femelles présentent des élytres qui sont très réduites que les mâles qui ont la longueur du corps bien réduite. Cinq espèces partagent le 3^{ème} groupe et qui sont caractérisées par une taille du corps, moyenne à savoir ; *O. miniata*, *O. fuscocincta*, *A. strepens*, *D. dantini* et *E. elegantulus*, ces espèces sont d'une taille moyenne, mais se caractérisent par des ailes et des élytres généralement longues. Leurs capacités de déplacements peuvent être moyennes à limitées.

Deux espèces s'ajoutent à *O. decorus* et qui présentent une taille du corps relativement supérieure par rapport au groupe 3 ce sont *D. maroccanus* et *C. wattenwylianus*, qui sont caractérisées par une taille élancée et se trouvent disposés d'organes de vol de grande envergure et une homogénéisation relative dans leurs traits morphologiques. De ce fait, ces espèces sont largement fréquentées dans le Moyen-Atlas marocain.

Le dernier groupe, comme chez les mâles, est occupé par l'espèce *S. gregaria* vers l'extrême droit, elle se distingue principalement, par la longueur de ses organes de vol ayant un rôle majeur dans le déplacement de cette espèce.

D'après les résultats de l'analyse en composantes principales des organes de déplacement, il nous en résulte une grande distinction morphologique, soulignée entre l'espèce migratrice *Schistocerca gregaria* et les autres espèces. Celle-ci, effectue des déplacements de très grande ampleur (Hassani, 2013). Ceci peut expliquer le développement important de ses organes de vol, pour qu'elle puisse traverser de long trajets (Mokhlesse *et al.*, 2007). Pour les autres espèces, leurs aptitudes migratoires restent très limitées, même si l'espèce *D. maroccanus* peut avoir une aire de répartition beaucoup plus envahissante, mais elle ne peut être comparable à celle de *S. gregaria*. Celle-ci peut réaliser des micro-migrations, mais sans être engagée dans une tendance vers des

possibilités migratoires (El Ghadraoui *et al.*, 2008). Cet élément (micro-migration) semble être l'explication de la réduction des organes de vol (longueur de l'aile, de l'élytre) chez les espèces proches de *Dociostaurus maroccanus* (Figure 49 et Figure 50).

L'isolement de *Dociostaurus jagoi* vers l'extrême droit chez les mâles comme chez les femelles, traduit l'effet conjoint d'une réduction importante de la longueur des ailes, des élytres et des fémurs, comme organes locomoteurs, ce même constat est remarqué chez *A. insubricus* et successivement chez les autres espèces de taille réduite caractérisées par des paramètres de vol de même taille que *Dociostaurus jagoi*, (Mokhlesse *et al.*, 2007 et El Ghadraoui *et al.*, 2008).

4-2 Morphométrie géométrique

Dans cette partie d'étude, nous avons étudié la structure des organes de vol en se basant sur les points de repère appelés "Landmark des élytres", afin de mettre en évidence la déformation des élytres correspondant au positionnement des points de rencontre des nervures. Cette déformation semble être liée aux capacités de déplacement des espèces acridiennes.

Cette approche de morphométrie géométrique est abordée chez les élytres (organe de vol) qui sont liés directement aux aptitudes du vol d'une espèce et chez les thorax constituant le support principal de ces organes de vol.

a- Morphométrie géométrique des élytres

Les résultats obtenus nous ont permis de montrer que l'allométrie est largement caractérisée par une régression multivariée de la forme, de telles régressions correspondent souvent, aux changements de forme allométrique, qui ont tendance à affecter l'ensemble des structures, comme ceci a été largement souligné par certains auteurs (Klingenberg et Marugán-Lobón, 2013).

Afin de mieux visualiser les différences existantes chez les différentes espèces étudiées, nous avons essayé de mettre en évidence les différents types de déformations relatives aux élytres de ces espèces, par utilisation de la morphométrie géométrique des élytres, mettant en évidence la position des landmarks, des plaques minces de toutes les espèces, par rapport à la plaque de référence (figures ci-dessous). Ainsi, nous avons analysé les translocations des Landmarks des différentes espèces sur une lame de référence qui nous permet de mettre en apparence, les déformations relatives au positionnement de ces Landmarks.

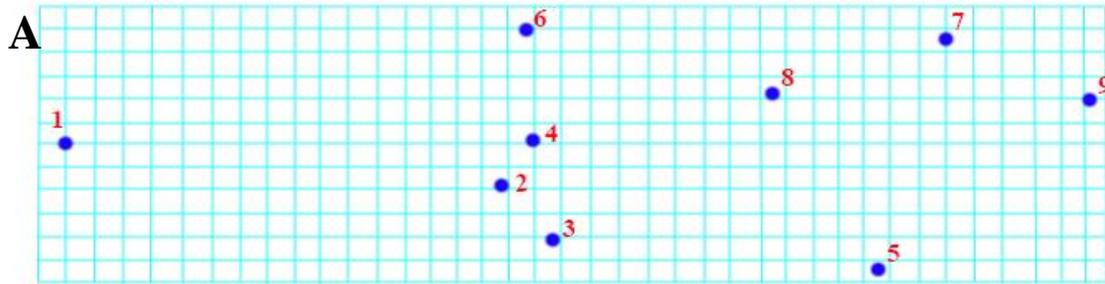


Figure 51 : Plaque mince de référence des différentes espèces étudiées. Le bord antérieur est orienté vers le bas, la partie proximale vers la gauche, la partie distale vers la droite

Nous avons pris en considération les 9 points de repère qui sont communs à toutes les espèces Figure 51. Les différentes cellules sont montrées sur la Figure 52.

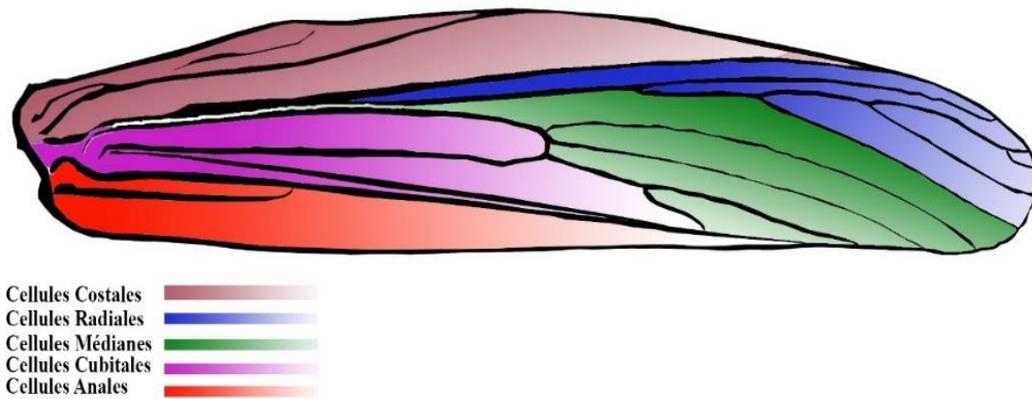


Figure 52 : Disposition des cellules qui constituent l'élytre (ERRABHI, 2017)

Il est à noter que les élytres sont disposés sur le côté antérieur et les différentes parties sont limitées comme suit : le champ proximal est limité par les points 1 et le trio 2, 3 et 4, le champ médian situé entre les PR 4, 6 et 8, le champ distal limité par les PR 5, 8, 7, et 9 (Figure 53).

Les résultats obtenus sur les déformations des élytres nous ont permis de répartir les espèces en trois catégories. On en distingue celles dont la partie distale est bien développée, suite à l'étirement des PR 2,3,4 et 8 vers le côté gauche (vers le champ proximal), créant ainsi, une déformation au niveau de la partie médiane et ceci, comme le montre l'espèce *S. gregaria* ayant la partie distale très étendue, suivie par l'espèce *D. maroccanus*, *C. parallelus*, *O. fuscocincta*, *O. miniata*, *D. jagoi* et *A. strepens*.

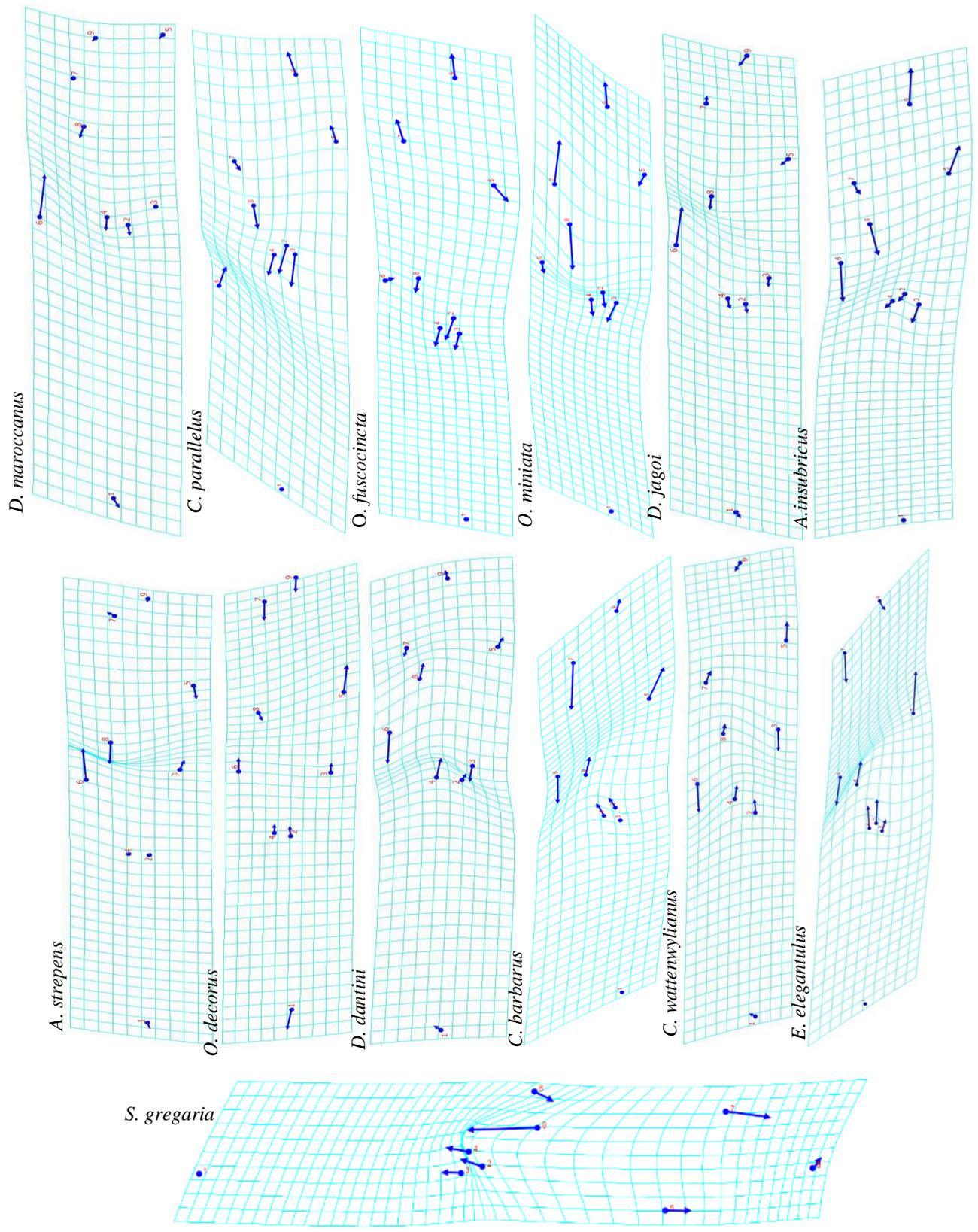


Figure 53 : Grilles de déformation des élytres des différentes espèces étudiées

La structure morphologique de cette plaque mince nous a permis de souligner la contribution de chaque point de repère à la variabilité totale par espèce est calculée, en prenant en considération pour chaque PR, la somme des distances euclidiennes de chaque individu, par rapport au consensus du PR correspondant.

Par comparaison de tous les élytres des différentes espèces étudiées à la plaque mince de référence, nous avons pu mettre en évidence les déformations correspondantes au positionnement des Landmarks.

Les grilles de déformation montrent que chez l'espèce *S. gregaria* les points de repère 5, 6, 7 et 9 se déplacent distalement, tandis que les points de repère 2, 3, 4 et 8 se déplacent proximement, créant un champ médian plus large et une partie apicale plus étendue. De plus, les points de repère 7 et 8 se sont éloignés de manière à écarter les cellules de la MA1 et MA2 avec la MP, ou proprement dit, le champ discoïdal (Figure 52), ce qui a rendu la zone radiale et médiane de plus en plus large. Au total, ces changements ont produit la zone apicale de l'élytre relativement plus étendue et plus longue.

La projection de l'élytre de *D. maroccanus* sur les grilles de déformation (Figure 53) se manifeste par une réduction de la longueur du champ discoïdale (au voisinage des PR 2 et 4) et l'élargissement de la partie distale, d'une part, entre le PR 8 et le bord postérieur de l'élytre et d'autre part, entre le PR 7 et 8 c'est-à-dire dans la partie terminale du secteur de la radiale.

Au niveau de la partie distale, nous avons distingué que les cellules du champ médiane se prolongent et les cellules du champ radial se développent comme c'est le cas chez *S. gregaria*.

La réduction de la partie distale de l'élytre se manifeste de manière nette chez *Doclostaurus dantini* (Figure 53) et ceci est à mettre en relation avec le comportement sédentaire de cette espèce. On retrouve parfaitement cette situation chez les espèces à capacité de déplacement limités. Il est clair que ce caractère de réduction de la partie terminale des élytres, est corrélé avec des capacités de vol limitées, comme ceci a été largement souligné par El Ghadraoui (2002).

Cependant, l'espèce *D. jagoi* suit le schéma général de *D. maroccanus* avec moins de performances envisagées au niveau du vol, car nous avons constaté qu'un amincissement de l'élytre n'aboutit pas à une réduction au niveau des capacités de déplacement sur de longues

distances, puisque cette espèce a été rencontrée dans les $\frac{3}{4}$ des stations étudiées. Ceci nous permet de suggérer que *D. jagoi* se montre capable d'effectuer des déplacements importants, mais elle ne peut être comme *D. maroccanus*.

Chez *Calliptamus wattenwylanus* (Figure 53) les points 3 et 6 subissent un déplacement vers la partie proximale alors que les points 4 et 2 se déplacent vers la partie distale, ce qui engendre un rétrécissement de la partie située entre ces points. Ceci semble générer une augmentation de la longueur du champ proximal.

Chez l'espèce *Oedaleus decorus* (Figure 53), les points 7 et 9 subissent une transposition liée à la déformation de la partie distale : plus celle-ci est rétrécie, plus le point 7, 8 et 9 se déplacent vers la gauche. Les déformations de l'élytre sont dans le sens opposé du PR 5, la limite de la cubitale antérieure avec un restrictivement de l'extrémité de la partie distale accompagnée d'un élargissement des cellules sous-costales antérieures et postérieures de la partie proximale.

Le déplacement des PR 2, 3 et 4 est plus proximal chez *Oedaleus decorus*, se manifestant par une augmentation de la longueur du champ proximal, inversement chez *D. maroccanus* où le champ distal qui est plus allongé.

Les élytres alors, montrent une diminution du champ distal en faveur du champ proximale, cela affirme que chez cette espèce, les individus ayant une taille moyennement grande ne parviennent pas à parcourir des distances de grandes ampleurs à cause de la relation, poids du corps et l'inadaptation des élytres avec la capacité de vol.

L'espèce *Schistocerca gregaria* (Figure 53) est connue par la grande taille de ses élytres, lui donnant une capacité de vol étendue, cela peut être dû à l'élargissement du champ distal situé entre le PR 8 et PR 7 et l'élongation des cellules délimitant les nervures radiales avec l'aplatissement de la sous-costale.

Les élytres de cette espèce diffèrent clairement de celles des autres espèces par une compression de la médiane (PR 6 et 8), un élargissement de toute la partie distale, manifesté par une migration des PR 7, 5 et 8 délimitant une enveloppe membraneuse constituée de cellules médianes et radiales bien développées, en plus d'un allongement de la partie cubitale et du champ discoïdal.

Il semble clair que le prolongement de la partie distale des élytres chez *D. maroccanus* est corrélé avec son aptitude aux déplacements sur des grandes surfaces, comme l'a montré El Ghadraoui (2002), alors que l'espèce *D. dantini* est envisagée avoir un comportement plus sédentaire vu le rétrécissement de ses élytres.

Par ailleurs, le développement du champ distal est particulièrement net chez *S. gregaria* et *D. maroccanus*. Le déplacement des PR 5 et 7 chez *C. barbarus* et *O. decorus* engendre une légère dilatation des cellules médianes et par conséquent, ces espèces ne possèdent pas un facteur de déplacement comparable à celui de *S. gregaria* ou de *D. maroccanus*.

Parallèlement, nous avons constaté que les femelles de grandes tailles ont tendance à se sédentariser, donc l'ampleur des déplacements est gérée par la distance parcourue par les mâles, en raison d'un champ médian large, ce qui est en accord avec les résultats obtenus par El Ghadraoui et ses collaborateurs (2008).

L'espèce *D. dantini* et *D. jagoi* même si elles appartiennent au même genre leur mode de déplacement peut être différent de celui de *D. maroccanus*, cela confirme qu'il n'y a pas de relation entre le mode de déplacement et la position taxonomique, ceci reste à affirmer par des études approfondies sur le terrain.

Certaines suppositions peuvent rendre compte de l'origine de la grande variabilité de la longueur des élytres de *D. dantini*, en se basant sur les variations qui se manifestent dans toutes ses parties corporelles. Cette hypothèse ne peut être retenue, car elle n'est pas confirmée par l'étude du mode de déplacement de cette espèce. *D. dantini* aurait une grande variabilité des élytres en relation avec leur réduction, cette hypothèse est mise en défaut par la considération de *D. maroccanus*, dont leurs traits morphologiques sont presque comparables, avec une relative homogénéité de leur forme.

Si l'on considère maintenant que les mâles et les femelles d'une même espèce possèdent le même appareil de vol (ailes de taille identique), mais que l'abdomen des femelles, distendu par une ponte comprenant plusieurs œufs, est plus de 4 fois plus lourde que celui des mâles, on comprend mieux pourquoi le poids corporel, constituent un handicap beaucoup plus important, pour les femelles que pour les mâles. Si le handicap est plus grand, la pression sélective exercée sur les femelles,

sera également plus importante, ce qui nous pousse à rendre compte de la forte proportion de femelles inaptes au vol Brunhes (1984).

Les capacités de déplacements des espèces ; *A. strepens*, *O. fuscocincta*, et *C. parallelus* ont été largement abordées par Picaud (1998). Cet auteur avait bien étudié le classement de ces espèces en fonction de l'importance de leurs vols. De plus, ses travaux ont souligné le fort dimorphisme sexuel du vol des acridiens, les moins bons voiliers, particulièrement, en raison du développement important de l'abdomen des femelles (Picaud et Petit, 2007).

Le mode de déplacement chez *E. elegantulus* est peu connu, car rare dans la littérature qu'on trouve des recherches sur cette espèce, mais à travers la projection, nous avons pu constater que l'espèce *E. elegantulus* se situe à proximité des espèces *D. dantini*, *O. fuscocincta* qui se caractérisent par des déplacements moins importants et de *C. wattenwylanus*, *C. parallelus*, *D. jagoi* qui sont caractérisées par des déplacements moyennement importants et comme nous avons déjà mentionné les élytre de cette espèce n'atteignent pas les lobes géniculaires postérieurs et ne parviennent pas à parcourir de grandes distances.

b- Morphométrie géométrique du thorax

Le thorax est l'organe d'interconnexion des différentes parties du corps, il porte les organes locomoteurs adaptés à la marche et au vol. Donc il constitue le support principal des différents traits morphologiques de l'insecte.

Comme le thorax est le point d'intersection des organes de vol, il semble jouer un rôle important dans le déplacement et afin de mieux visualiser les différences existantes chez les 13 espèces étudiées, nous avons essayé de mettre en évidence les différents types de déformations relatives aux thorax des espèces, par utilisation de la morphométrie géométrique. Les résultats obtenus sont présentés sur les figures ci-dessous.

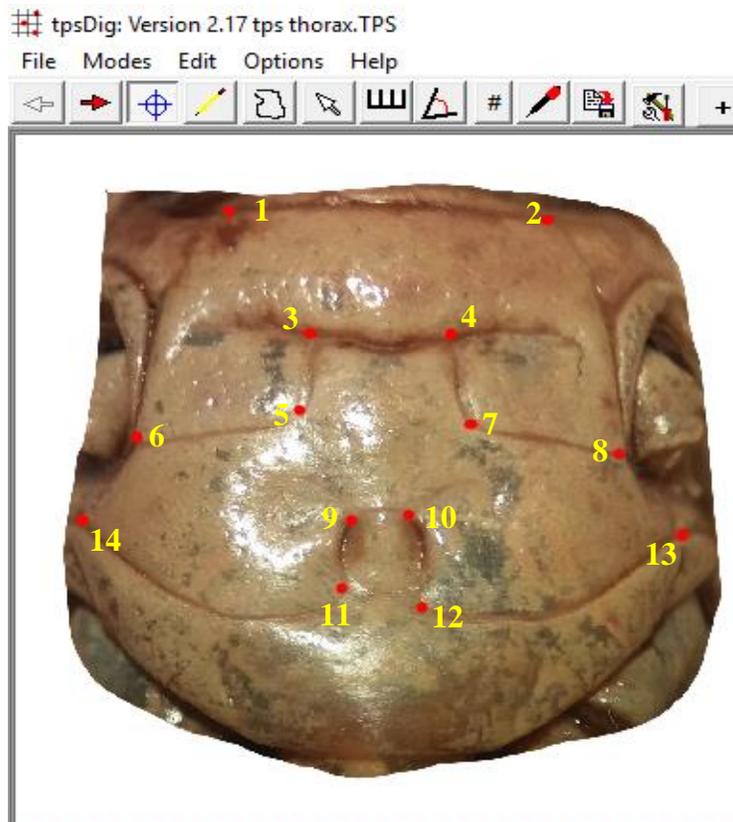


Figure 54 : Position des Landmarks sur le thorax

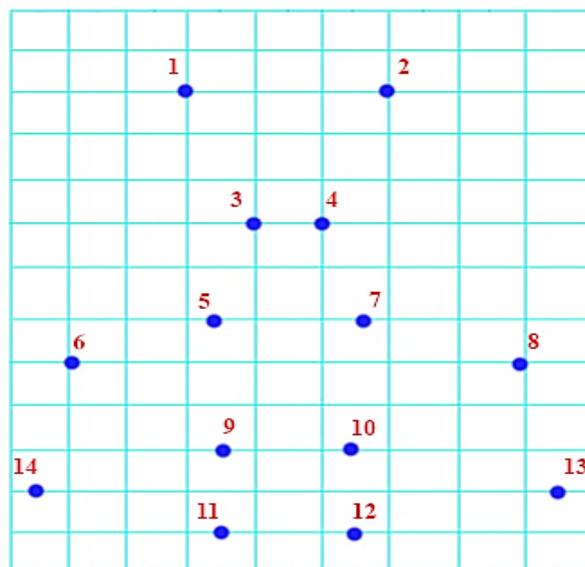
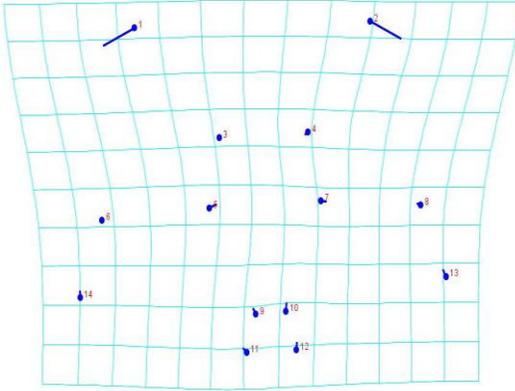
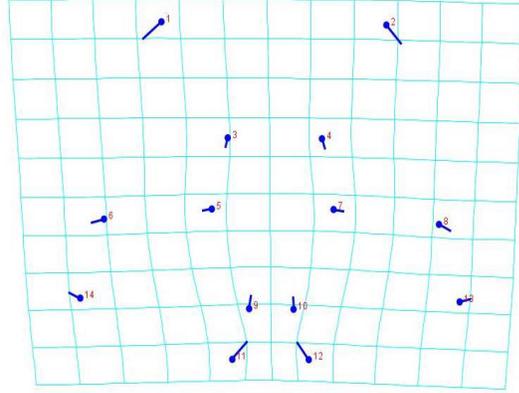


Figure 55 : Lame de référence des grilles de déformation chez les treize espèces

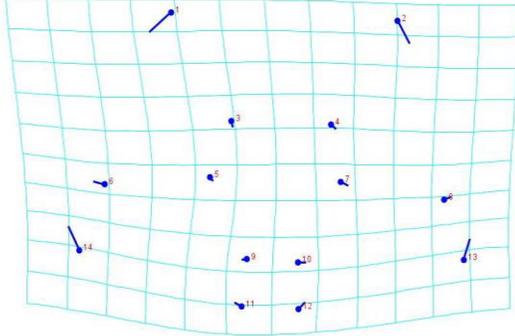
S.g



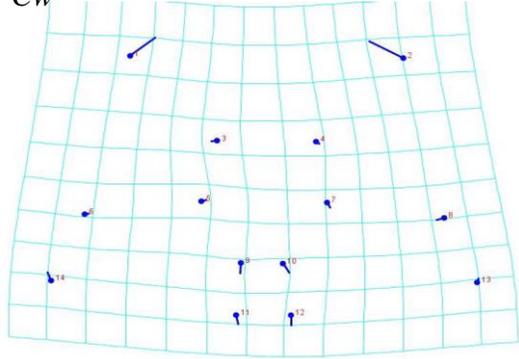
Dm



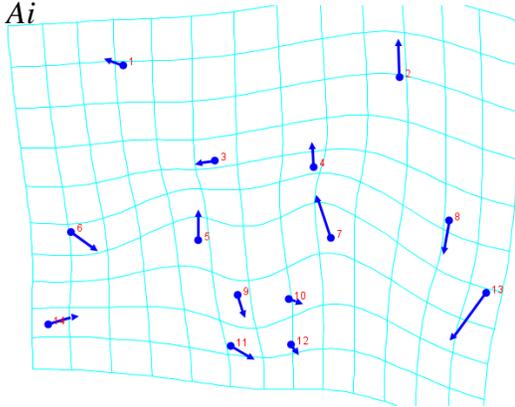
Dg



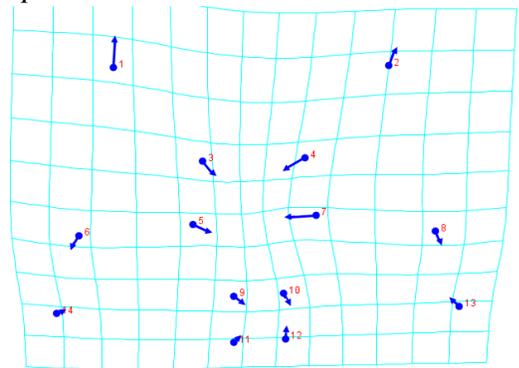
Cw



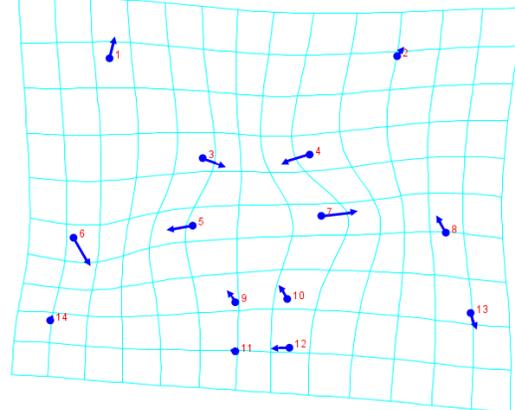
Ai



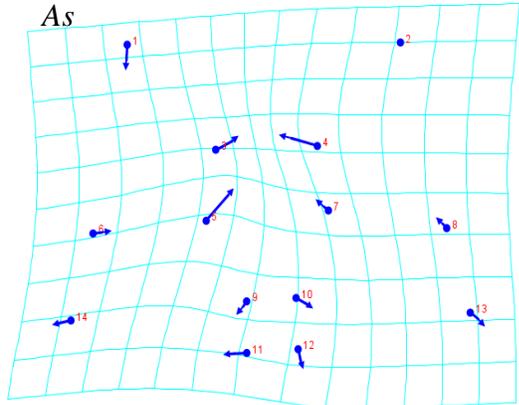
Cp



Cb



As



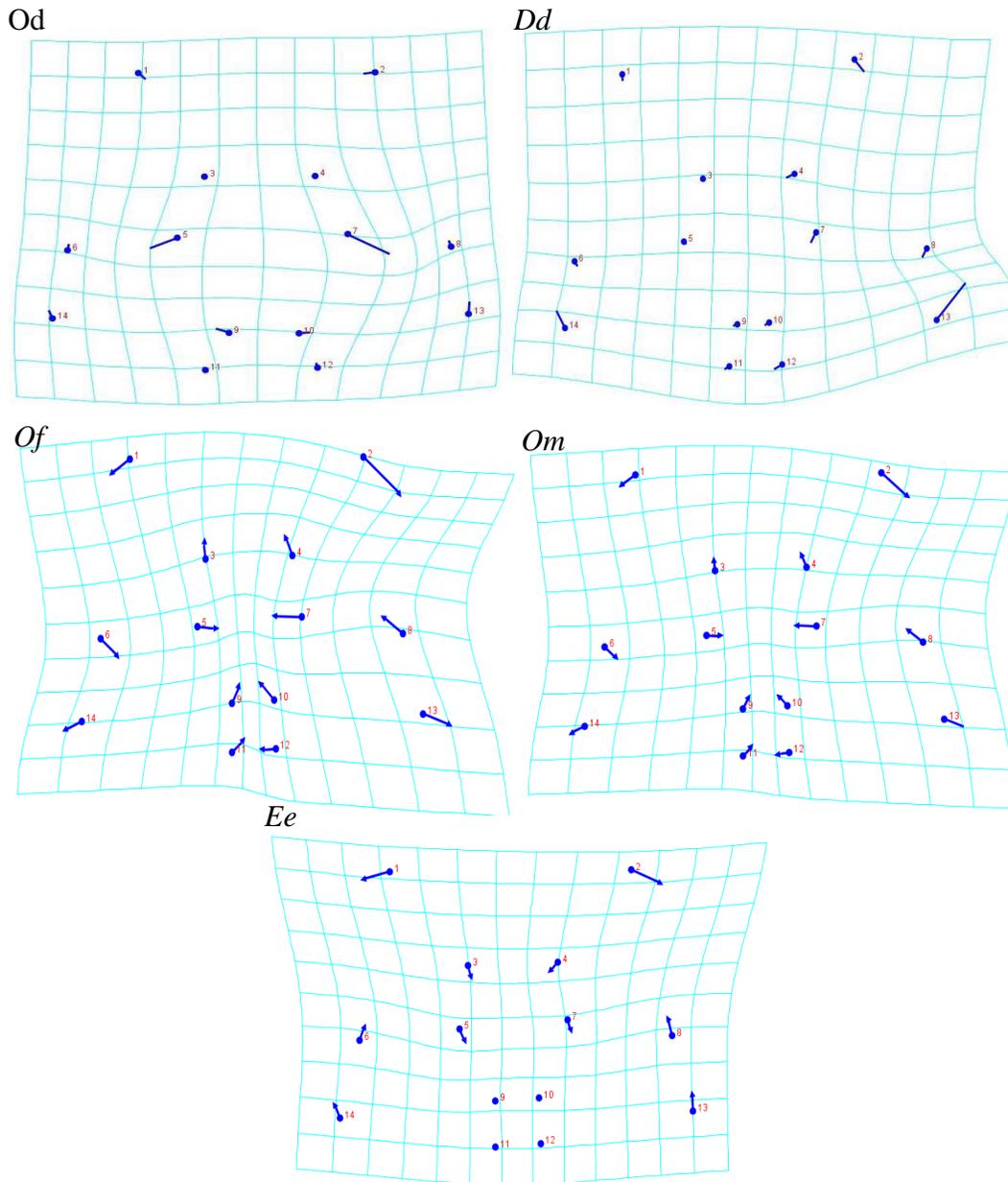


Figure 56 : Grilles de déformation ; Cw : *C. wattenwylanus*, Dd : *D. dantini*, Dg : *D. jagoi*, Of : *O. fuscocincta*, Om : *O. miniata* Ai : *A. insubricus*, Ee : *E. elegantulus*, Cp : *C. parallelus*, Cb : *C. barbarus*, As : *A. strepens*, Dm : *D. maroccanus*, Od : *O. decorus*, Sg : *S. gregaria*

Des résultats obtenus sur la déformation des différentes parties du thorax, en comparaison avec la plaque de référence (Figure 55), nous avons constaté que le déplacement des PR 1 et 2 du prothorax vers le mésothorax est observé principalement chez les espèces ayant un déplacement important, comme l'espèce migratrice *S. gregaria* et *D. maroccanus*.

D'après la grille de déformation de l'espèce *S. gregaria*, on peut constater que le métathorax et le mésothorax sont bien développés par le déplacement de la plupart des PR centraux vers l'élargissement et le développement du mésothorax à savoir les points-repères 5, 7, 13, 11 et 14. Ces variations peuvent expliquer les capacités de vol et de déplacement importantes chez cette espèce. On remarque aussi une augmentation de la longueur du thorax par translation des points de repère 5, 6, 7 et 8 vers les points 1 et 2 et le déplacement des points 12 et 14 vers les extrémités du thorax.

D'autres espèces suivent, le même schéma, que ces derniers mais qui sont caractérisés aussi par le rétrécissement du mésothorax comme chez le cas d'*O. miniata*, *E. elegantulus*, *O. fuscocincta*. *C. wattenwylanus* et *D. jagoi* qui se caractérisent par un thorax moyennement développé par rapport à la lame de référence.

Au niveau de la partie inférieure du thorax (métathorax), nous avons constaté le déplacement des points de repère 13 et 14 chez l'espèce *D. dantini* vers les bords latéraux pour renforcer le maintien de l'insecte au moment du vol, défaut du brachyptérisme que présente cette espèce. Ceci est traduit sur le champ par la sédentarité de l'espèce *D. dantini*, vraisemblablement cette dernière est observée dans une seule station (Tableau 5).

Les grilles de déformation de *D. maroccanus* montrent que le thorax de cette espèce, est caractérisé par un prothorax développé traduit par le déplacement des PR 1 et 2 par contre au niveau du métathorax et mésothorax, les points de repère restent plus ou moins stables, donc, ils sont moins développés. Un déplacement des PR 6, 8, 9 et 10 aboutit au développement successif du métathorax et mésothorax et ceci explique la capacité de cette espèce à réaliser des déplacements sur de longues distances, par saut ou réaliser des micro-migrations par vol.

L'espèce *O. decorus* présente un déplacement au niveau des points 5, 7, 9 et 10 vers les extrémités droite et gauche provoquant ainsi, un élargissement de la partie centrale du thorax et ceci peut être expliqué par les capacités de vol relativement importante chez cette espèce, mais elle ne peut être comme *S. gregaria*.

L'étude par Analyse Procuste Généralisée confirme le rôle du thorax dans le maintien de l'insecte au moment du vol, les ailes et les élytres sont portés par le mésothorax et le métathorax. La forme du thorax varie, selon le type de déplacement privilégié de chaque espèce. Les espèces qui volent

peu, présentent en général un métathorax très développé, alors que chez les espèces qui volent plus et longtemps, ont, au contraire, le prothorax et le mésothorax qui sont beaucoup développés.

Ces variations semblent s'expliquer par l'importance relative de la musculature associée aux membres et aux ailes. L'intérieur du thorax est en effet occupé presque exclusivement par de puissants muscles mettant en mouvement les pattes, les ailes et les élytres.

5- LUTTE ANTI-ACRIDIENNE

5-1 Rendement des huiles essentielles du *Rosmarinus officinalis*

Le rendement moyen des huiles essentielles extraites de la plante étudiée est de l'ordre de 0,8%. Ce rendement est comparable à celui obtenu, pour la même espèce étudiée, dans la région de Tlemcen (Algérie), dont le rendement est 0,8% pour les espèces sauvages et de 0,6% pour les espèces cultivées (Atik Bekkara *et al.*, 2007). En revanche, il a été montré que ce rendement est inférieur à celui donné par la même espèce dans différentes régions de Tunisie (Ayadi *et al.*, 2011) et de Sardaigne (Angioni *et al.*, 2004), dont le rendement peut atteindre 1,2% à 1,75% respectivement. Cette différence peut être attribuée à plusieurs facteurs comme le climat, les conditions géographiques, la période de récolte et de séchage.

De même, il semble que le séchage affecte la performance des huiles essentielles : une plante séchée dans un état, non optimal, peut perdre toutes ses huiles essentielles (Aghfir *et al.*, 2007). En outre, le rendement des huiles essentielles des feuilles du romarin séchés à l'ombre, pour une semaine, est quatre fois plus élevé, que celui d'une plante fraîche (Benjilali *et al.*, 2005). En général, les HE de *Rosmarinus officinalis* marocaine ont une composition chimique relativement similaire à celles obtenues dans plusieurs travaux réalisés sur cette plante. Cependant, les proportions de certains composés peuvent entraîner des variations significatives.

5-2 Composition chimique

L'analyse chromatographique des HE dans notre étude a montré la prédominance de deux monoterpènes, 1,8-cinéole (42,24%) et α -pinène (16,31%), parmi 29 constituants représentant 97,57% de cet extrait (Tableau 8). Certains monoterpènes sont présents avec des pourcentages relativement élevés, tels que le camphre (10,81%), le sabinène (8,64%) et le myrténol (5,01%). Les composants minoritaires avec un pourcentage de 0,01% sont d' α -cubebène, et γ -gurjunène et viridiflorol.

Tableau 8 : Composition chimique des HEs de *Rosmarinus officinalis* (IK = indice de Kováts)

IK	Composition chimique	Pourcentage (%)
931	α -Thujene	0,11
939	α -Pinene	16,31
953	Sabinene	8,64
976	Camphene	3,48
1011	δ -3-Carene	0,05
1033	1,8-cineole	42,24
1068	Trans-sabinene hydrate	0,57
1097	Cis-sabinene hydrate	0,04
1125	α -Campholene	0,02
1143	Camphor	10,81
1165	Borneol	2,84
1204	Verbenone	0,02
1227	Trans-2-Caren-4-ol	0,03
1185	α -Terpineol	0,61
1194	Myrtenol	5,01
1235	Myrtenyl acetate	0,02
1285	Bornyl acetate	0,13
1351	α -Cubebene	0,01
1376	α -Copaene	0,02
1384	β -Bourbonene	0,02
1418	β -Caryophyllene	1,45
1473	γ -Gurjunene	0,01
1499	α -Muurolene	0,15
1513	γ -Cadinene	0,64
1581	Caryophylleneoxyde	4,22
1584	Copaen-4- α -ol	0,04
1590	Viridiflorol	0,01
1611	Tetradecanal	0,03
1653	τ -Cadinol	0,04
Total (%)		97,57

Des études sur l'espèce de *Rosmarinus officinalis* récoltée au Maroc (Chalchat *et al.*, 1993 ; Derwich *et al.*, 2011), Algérie (Atik Bekkara *et al.*, 2007 ; Boutekedjiret *et al.*, 1998), Tunisie (Ayadi *et al.*, 2011), Espagne et France (Chalchat *et al.*, 1993), Italie (Pintore *et al.*, 2002), Turquie (Celiktas *et al.*, 2007) et en Iran (Jamshidi *et al.*, 2009) ont montré des variations dans la composition des HE. On a identifié des groupes de chémotypes parmi les différents échantillonnages, en considérant les 27 principaux composés, représentant une valeur moyenne d'au moins 0,15% de la composition totale. Une première analyse en utilisant la distance euclidienne, comme une mesure de la dissimilitude a donné quatre groupes (Figure 57).

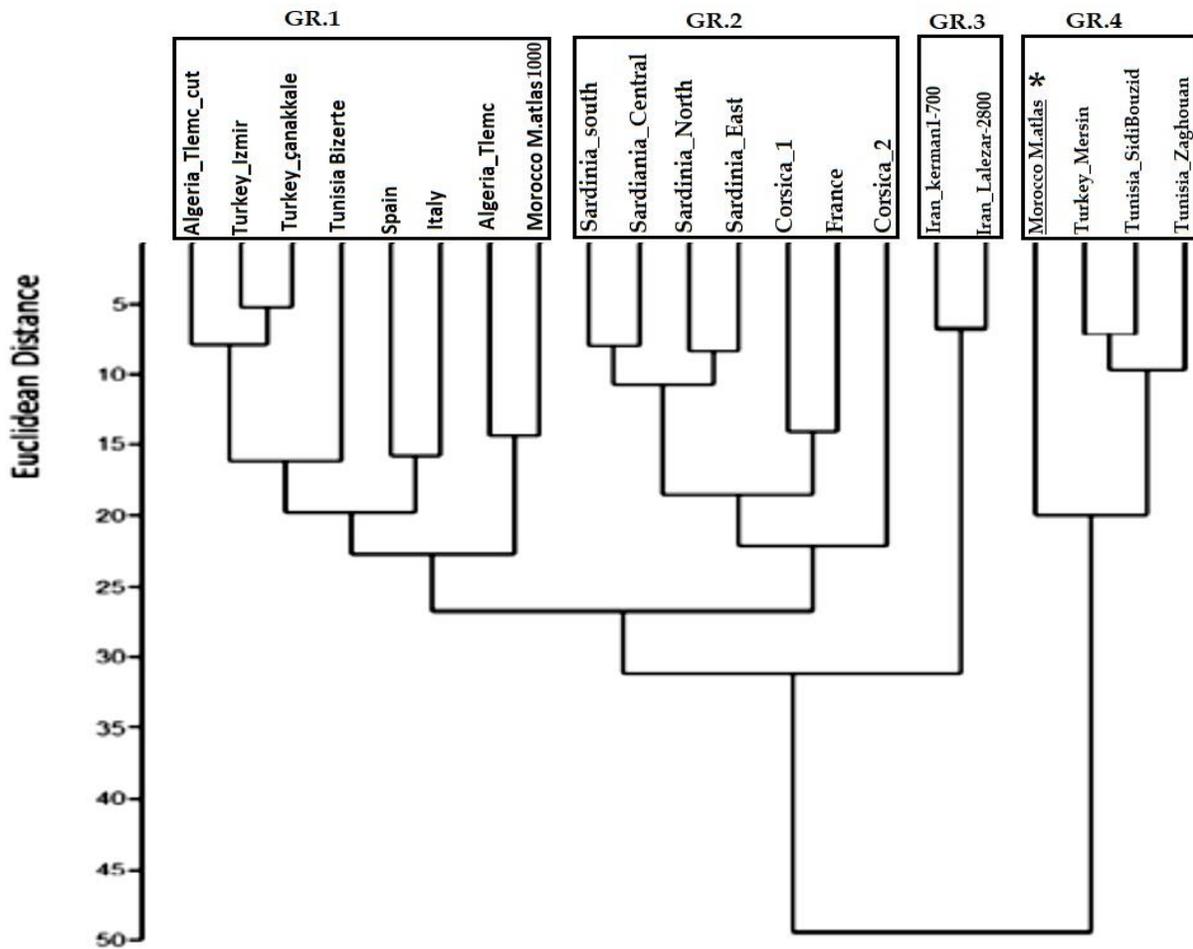


Figure 57 : Dendrogramme des quatre groupes de chémotypes. L'étoile correspond à notre échantillonnage)

Dans cette partie d'étude, nous avons essayé de comparer le rendement de nos échantillons des HE, avec ceux obtenus par différents chercheurs dans différentes régions, les résultats sont répertoriés dans le tableau ci-dessous.

Le premier groupe concerne les individus collectés depuis le Bassin Méditerranéen du Maroc jusqu'en Turquie ; le deuxième groupe est composé d'une population de Corse, Sardaigne et sud de la France ; le troisième groupe est limité aux échantillons provenant d'Iran ; le quatrième englobe différents pays situés dans les parties sud et est de la mer Méditerranée (Figure 57). Pour évaluer la signification statistique des différents groupes, nous avons appliqué un ANOSIM (Analyse de similarité) (Tableau 9).

**Tableau 9 : ANOSIM entre les quatre groupes de chémotypes
(valeurs p données à partir de 10000 permutations)**

	Gp 1	Gp 2	Gp 3	Gp 4
Gp 1		0.0001	0.0207	0.0022
Gp 2	0.0001		0.0275	0.0041
Gp 3	0.0207	0.0275		0.0674
Gp 4	0.0022	0.0041	0.0674	

Il a été révélé que toutes les comparaisons entre les groupes avaient une différence significative vis-à-vis de la compositions chimiques (Tableau 10), sauf pour les groupes 3 et 4, où la différence n'était que marginalement significative ($p = 0,067$). Cela signifie que chaque groupe a son propre chémotype d'HE, au moins pour les principaux composés. L'analyse SIMPER montre que les portions des 27 composés majoritaires représentent 99,8% de dissimilarité entre les groupes.

NB. La procédure SIMPER est utilisée pour calculer la contribution des espèces à la similarité moyenne d'un groupe à condition que ce dernier comprenne au moins deux échantillons. Cette procédure permet d'identifier les composés qui sont les plus importantes dans la mesure des proportions de similarité entre les différents groupes d'échantillons.

Tableau 10 : Composition moyenne des quatre groupes de chémotype du Romarin par analyse de SIMPER, (Les valeurs $p < 0,05$ correspondent aux différences entre chaque groupe de couple de chémotype)

Compound	Contrib. %	Cumulative %	M. abund. Gr1	M abund. Gr2	M abund. Gr3	M. abund. Gr4
1,8-Cineole	59.2	59.2	14.7	2.84	11.1	52.5
α -Pinene	17.2	76.4	17.8	23.6	45.1	11.4
Bornyl acetate	5.27	81.7	1.79	12.3	2.65	0.23
Camphor	4.7	86.4	13.1	3.7	3.85	11.8
Verbenone	3.98	90.3	5.54	9.57	2.45	0.81
Borneol	3.82	94.1	7.12	11.5	3.4	2.44
Camphene	0.96	95.1	4.71	6.82	9.1	3.54
β -Pinene	0.84	96	3.12	1.04	1.9	1.1
Sabinene	0.72	96.7	0.17	1.87	2.3	2.16
Limonene	0.42	97.1	3.12	3.9	0.6	0.6
β -Cymene	0.34	97.4	0.25	2.58	0	0
Linalool	0.31	97.7	2.65	2.24	1.9	0.53
Myrcene	0.28	98	1.97	2.03	3.9	2.63
Iso-Pinocamphone	0.22	98.2	1.79	0.56	0	0
β -Phellandrene	0.22	98.5	0.08	1.96	0.65	0
Geraniol	0.22	98.7	0	0.93	0	0
α -Phellandrene	0.22	98.9	0	1.8	0.1	0
Myrtenal	0.18	99.1	0.31	0	0	1.33
P-Cymene	0.14	99.2	0.56	0.01	0.65	1.88
Caryophyllene oxide	0.12	99.3	0.36	0	0.1	1.08
α -Terpineol	0.11	99.4	1.62	1.22	0.4	0.8
Trans-verbenol	0.09	99.5	0.11	1.02	1.15	0.05
β -caryophyllene	0.07	99.6	1.33	0.73	0.85	0.64
O-cymene	0.05	99.7	0.56	0	0	0
d-3-Carene	0.04	99.7	0.74	0.47	0	0.04
Terpinen-4-ol (4-Terpineol)	0.04	99.7	1.01	0.77	0.1	0.48
Cis-Calamenene	0.02	99.8	0.38	0	0	0

Le groupe 3 et 4 (y compris l'échantillon marocain utilisé dans le présent travail) sont caractérisés par des pourcentages élevés d' α -pinène et 1,8 cinéole respectivement, tandis que les groupes 1 et 2 partagent des valeurs intermédiaires pour les deux composés (Figure 58).

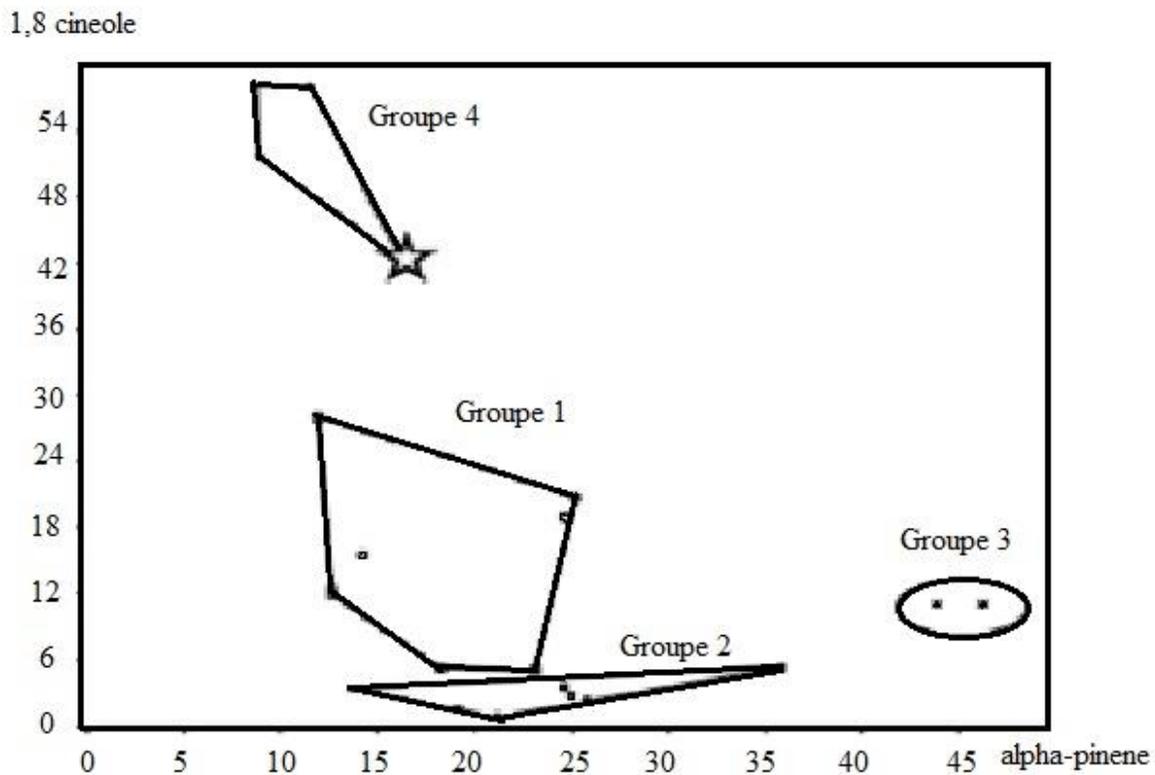


Figure 58 : Pourcentages moyens d' α -pinène et 1,8 cinéole dans les quatre chémotypes du Romarin. L'étoile correspond à notre échantillon

Le groupe 1 a un pourcentage supérieur en camphor, par contre le groupe 2 est majoritaire en Bornyl acétate, Verbenol et Bornéol. D'après la présente synthèse, il est difficile d'évaluer la signification de ces différents chémotypes en termes d'aspects phylogénétiques dans les échantillons du romarin et de l'adaptation à diverses contraintes environnementales.

5-3 Activité acridicide des huiles essentielles du Romarin

Les observations comportementales faites sur les individus traités montrent une perturbation dans leur activité locomotrice. Les insectes traités paraissent faibles et accomplissent des mouvements très limités, par rapport aux individus témoins. De même, nous avons remarqué une diminution de

la quantité de nourriture consommée au fil du temps. En outre, les individus traités présentent une perturbation digestive, mise en évidence par une forte humidité de leurs excréments. Cela peut être expliqué par l'effet perturbateur et anti-appétant des huiles essentielles et en particulier, par un dérèglement du contrôle hydrique après l'inhibition de l'absorption d'eau par le rectum. Ce phénomène a été largement observé chez le criquet migrateur "*Locusta migratoria*" exposés à un insecticide synthétique (Moréteau, 1991 ; Proux, 1993), chez le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* se nourrissant de *Peganum harmala* (Abbassi, 2003) et *Euchorthippus albolineatus* traité par *Artemisia herba-alba* (Zaim, 2012).

Les huiles essentielles du Romarin marocain se montrent d'un effet préjudiciable sur la survie des criquets marocains ; chez les mâles, comme chez les femelles. Cet effet est exprimé dans le premier jour du traitement avec un taux de mortalité de 35% chez les femelles et de 30% chez les mâles. Il augmente progressivement pour atteindre son maximum dans le cinquième jour chez les mâles et le sixième jour chez les femelles. En revanche, le taux de mortalité dans le témoin n'a pas dépassé 20% jusqu'à la fin de l'expérience (Figure 59).

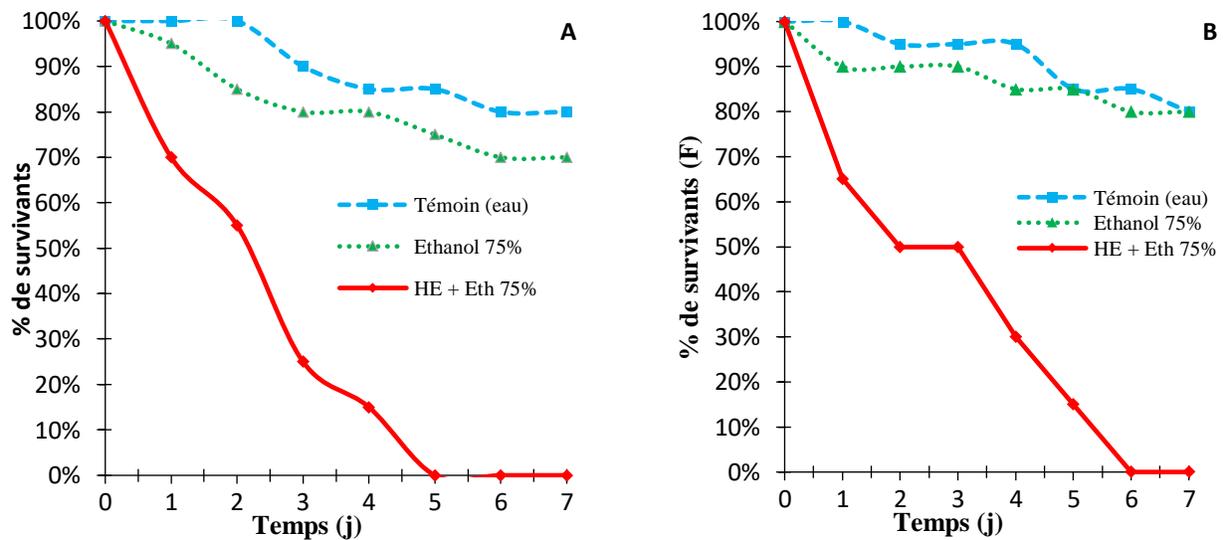


Figure 59 : Variations temporelles de la survie chez les mâles (A) et les femelles (B)

L'importance de la toxicité de ces HE pour les criquets, est estimée en déterminant le TL50 (temps létale 50), basé sur la régression de taux de mortalité au fil du temps (Figure 60). TL50 obtenu est d'environ 2,30 jours chez les femelles et 1,85 jours chez les mâles.

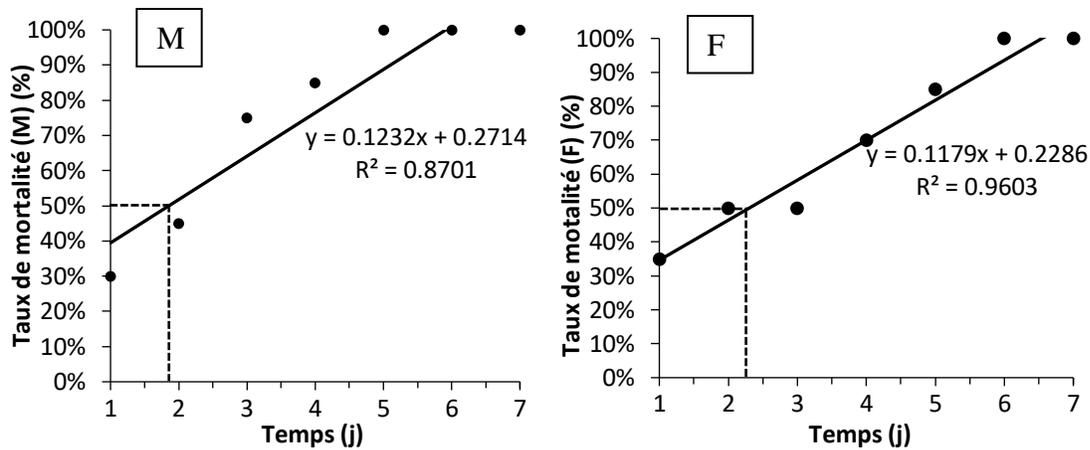


Figure 60 : Variations temporelles de la régression du taux de mortalité chez les mâles (M) et les femelles (F)

Au cours de cette étude, nous avons apporté des observations des individus traités et nous avons remarqué des perturbations au niveau des différentes activités locomotrices, des troubles comportementaux et physiologiques que présentent les criquets traités par l'huile essentielle du *Rosmarinus officinalis*, peuvent être expliqués par l'effet de certains composés toxiques de ces essences végétales. Ainsi, il a été démontré que le monoterpène α -pinène a une activité insecticide (Lee *et al.*, 2001), comme le pipéritone a montré une activité insecticide contre *Callosobruchus maculatus* (Ketoh *et al.*, 2006). En outre, la toxicité du Myrcène a été rapportée sur les Curculionidae *Sitophilus oryzae* (Coats *et al.*, 1991).

D'autres effets semblables révélés de la plante *Azadirachta indica*, possédant des propriétés insectifuges qui interrompent la mue des insectes, en inhibant la sécrétion de l'hormone ecdysone. Les huiles essentielles peuvent également servir de répulsif contre certains insectes, comme le criquet pèlerin et réduire sa capacité de déplacement (Ministère américain de l'agriculture. 2001).

Au Maroc, les populations solitaires du criquet marocain ont toujours été considérées, comme essentiellement sédentaires, évoluant dans des micro-habitats au sein des cultures et des endroits arides. En effet, cet acridien est souvent rencontré à l'état isolé sur de petites superficies cultivées ; ses populations très dispersées ne présentaient donc, pas un intérêt d'étude prioritaire jusqu'à leurs signalisations en densités plus ou moins élevées, avec l'expansion des périmètres de mise en valeur

dans le Moyen-Atlas et les régions Subhumides (Timahdite) et semi-arides (Al-Azaghar) (El Ghadraoui *et al.*, 2002).

L'utilisation des huiles essentielles des plantes aromatiques et médicinales marocaines, semble d'une grande importance dans la substitution des pesticides chimiques qui sont largement, utilisés pour lutter contre ces insectes ravageurs. La recherche de nouvelles molécules bioacridicides plus efficaces et moins polluantes s'avère donc, nécessaire.

L'analyse chromatographique des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* a permis d'identifier 29 constituants différents avec des teneurs qui s'étalent entre 0,01% et 42,24% dont l' α -pinène est le composé prédominant. La toxicité remarquable des huiles essentielles du Romarin, vis-à-vis des criquets testés, semble être le résultat de l'un ou de plusieurs éléments constituants cette essence végétale.

Ces composés naturels pourraient donc, constituer une base pour la synthèse de molécules en meilleure harmonie avec l'environnement et dont, l'usage ou l'implantation de cette espèce végétale, dans des régions menacées par cet insecte nuisible (*D. maroccanus*) serait bénéfique pour la lutte contre les acridiens ravageurs.

Cette étude fournit donc, une base pour un processus de formulation approprié ou synthèse de molécules qui pourraient être utilisées dans le domaine expérimental.

5-4 Activité acridicide de cinq huiles essentielles contre le criquet pèlerin

Les travaux rapportés concernent les effets des huiles essentielles de cinq plantes sur la survie des adultes du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* en élevage expérimental. Ces huiles sont celles des graines administrées par voie buccale, est le volume administré à l'animal étant 3 μ l. Les observations prennent en compte la prise de nourriture, le comportement et la survie de l'animal. Les résultats montrent que les huiles de *Mentha pulegium* provoquent la mortalité des individus adultes durant les 10 premières heures, les survivants présentent une paralysie totale, durant les premières heures, avec une diminution de la consommation.

Les huiles essentielles d'*Origanum compactum* provoquent une modification du comportement et des mouvements désordonnés, avec une diminution de la prise de nourriture, menant à une diminution du poids.

L'étude de la toxicité des huiles essentielles sur les individus du stade L5 du criquet pèlerin de chacune des différentes espèces végétales retenues pour la présente étude, montre une toxicité plus ou moins accentuée (Figure 61). Un taux de mortalité de 50% est atteint au bout de 5h, chez les adultes du Criquet pèlerin traités, par les huiles essentielles de *Mentha pulegium*. Chez le lot des individus traités par *Eucalyptus globulus*, une mortalité de 50% s'est atteinte qu'au bout de 25h. Elle est de 33h pour le lot des adultes traités par *Origanum compactum*.

Pour les individus traités par les huiles essentielles de *Artemisia absinthium*, c'est au bout de 70h, tandis que les huiles essentielles du *Rosmarinus officinalis* étaient moins toxiques et le temps létale 50 a dépassé les 70h. En outre, aucune mortalité n'est enregistrée chez les individus des lots témoins.

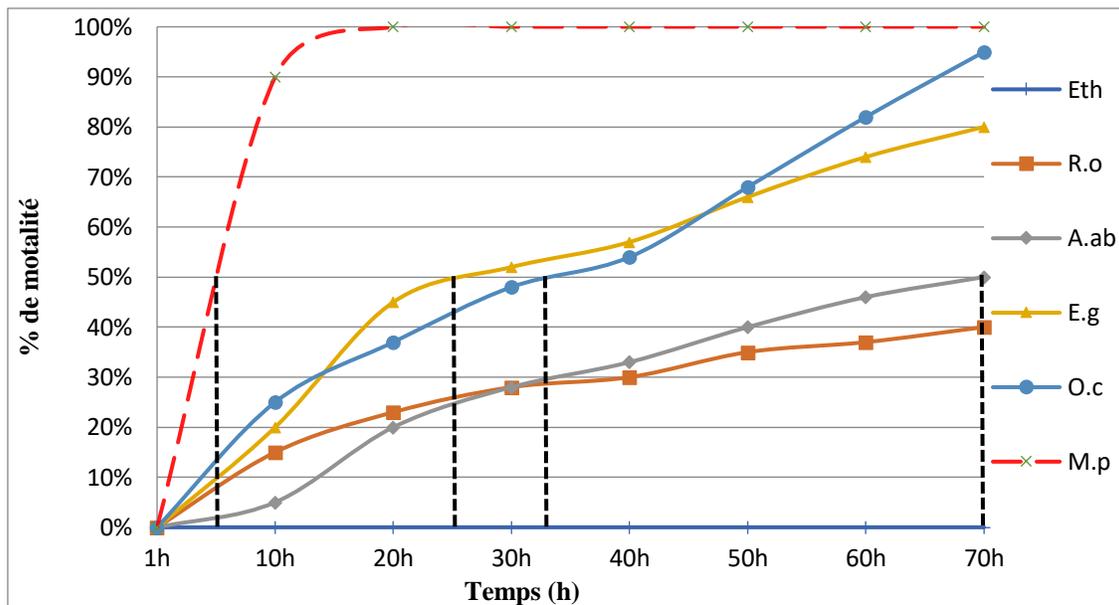


Figure 61 : Évolution de la mortalité des individus traités due aux HE en fonction du temps.

Eth= éthanol, R.o= *Rosmarinus officinalis* E.g= *Eucalyptus globulus*, A.ab= *Artemisia absinthium*, O.c= *Origanum compactum*, M.p=*Mentha pulegium*

D'après les résultats obtenus, nous avons remarqué que l'effet létal observé varie en fonction de l'HE et le stade de développement de l'insecte. Les larves L5 semblent plus sensibles à leurs

actions que les adultes. Il apparaît que les durées d'action les plus courtes sont estimées pour les huiles essentielles de *Mentha pulegium*, suivie de celles d'*Origanum compactum* puis les huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus*.

Les huiles essentielles de *Mentha pulegium* sont plus toxiques que celles des quatre autres. Ngamo (2007) a signalé que les huiles essentielles exercent des effets physiologiques et autres physiques. Les effets physiologiques peuvent affecter les neurotransmetteurs des invertébrés dont l'octopamine qui a un effet régulateur sur les battements du cœur, la motricité, la ventilation, le vol et le métabolisme des invertébrés, (Chiasson H et Beloin., 2007).

L'analyse des résultats obtenus montre que pour les cinq HE testées, 3 entre eux présentent des effets secondaires très marqués. Le temps létale 50 (TL50) le plus court est obtenu avec les huiles essentielles de *Mentha pulegium* (5h), puis *Eucalyptus globulus* (25h) et en 3^{ème} lieu les huiles essentielles d'*Origanum compactum* (33h).

La toxicité observée au niveau des individus traités, pourrait être liée à l'un ou à plusieurs composés chimiques des essences végétales qui agissent en synergie. De ces résultats, nous pouvons annoncer les huiles essentielles de certaines plantes aromatiques et médicinales, pourraient être exploitées pour la formulation de nouveaux produits bioacridicides et les utiliser donc, comme moyens alternatifs pour lutter contre les acridiens ravageurs.



Conclusion générale



CONCLUSION GENERALE

Notre travail témoigne d'abord, d'une grande richesse en espèces acridiennes appartenant à différentes sous familles, au niveau de différentes stations étudiées du Moyen-Atlas marocain. Quant au régime trophique, des espèces acridiennes étudiées, nous avons pu montrer que les individus étudiés manifestent des préférences envers certaines plantes, plus que d'autres. Dans le même sens, ces acridiens se caractérisent par des spectres trophiques généralement élargis, à l'exception de *Dociostaurus jagoi*, consommant seulement trois plantes des graminées du même genre (*Hordeum*). L'existence d'une éventuelle variation du régime trophique d'une station à l'autre, peut être due à la densité et la nature du couvert végétal au niveau de chaque station.

Les résultats concernant les sensilles de type A, exhibent que les espèces de très grande taille (reflétée par la largeur du labre) disposent d'une part, d'un nombre plus élevé de sensilles aussi bien au niveau du labre qu'au niveau des antennes, au moins pour les espèces étudiées, d'une autre part, il semble qu'il y a une relation entre les sensilles et le régime trophique de l'acridien.

Les espèces disposant d'un régime trophique diversifié, comme *Schistocerca gregaria* et *Dociostaurus maroccanus*, se caractérisent par des niveaux supérieurs de sensilles. Mais certaines autres espèces peuvent présenter une plasticité trophique, selon la disponibilité du biotope, ainsi plusieurs chercheurs ont classé l'espèce *Oedaleus decorus*, comme espèce polyphage, alors que d'autres l'ont classée, comme espèce monophage donc, cette espèce montre un régime alimentaire instable et par conséquent, une vérification de la relation "nombre de sensilles-régime alimentaire" mérite d'être approfondie.

Il est généralement admis que la spécialisation du régime alimentaire est liée à une diminution du nombre de sensilles du labre et plus particulièrement pour les sensilles de type A1, A2 et A3 et ceci comme l'avaient souligné certains auteurs (Chapman et Thomas, 1978 ; Chapman, 1982). En effet le nombre de sensilles peut augmenter quand le régime alimentaire est plus diversifié. L'insecte doit faire face à un grand nombre de stimuli, parvenant des métabolites secondaires des plantes.

La plupart des espèces étudiées se montrent strictement graminivores, la plasticité évolutive de la composition en chimiorécepteurs a permis une augmentation du nombre de sensilles par rapport à

la diversification du régime alimentaire. Comme Haskell et Schoonhoven l'ont montré en (1969) chez *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*, les sensilles de type A1 et A2 seraient liées à la perception des molécules phagostimulantes, comme les sucres, tandis que les sensilles de types A3 semblent liées aux molécules répulsives. Cependant, l'importance du nombre de sensilles de type A3 reste peu claire. En effet, nous pouvons avancer que, le lien entre le régime alimentaire et le nombre de sensilles du labre, peut encore avoir une définition qui reste mal définie.

Dans la partie d'étude portant sur les capacités de déplacements des acridiens, les résultats obtenus ont révélé une dépendance entre la taille des acridiens et celle des organes (ailes, élytres et fémurs) déterminant leurs capacités locomotrices. Ainsi, *Schistocerca gregaria* et *Calliptamus wattenwylanus*, caractérisées par des corps élancés, se trouvent disposés d'organes du vol de grande envergure, par contre, *Dociostaurus jagoi* caractérisée par une petite taille, dispose d'organes du vol réduits. La même constatation semble être valable pour les mâles de *D. dantini* qui présentent un caractère sédentaire.

Concernant la relation existante avec le régime trophique, les acridiens réalisant de grands déplacements, se caractérisent par des spectres trophiques les plus larges. Ceci peut être expliqué par une sorte d'adaptation de la part de l'acridien, pour faire face aux variations du couvert végétal, au niveau de différentes stations de leurs circuits. Autrement dit, les individus qui sont capables de se déplacer sur de grandes distances, auront la possibilité d'augmenter leur spectre alimentaire.

Dans leurs travaux sur les déplacements des acridiens, El Ghadraoui et ses collaborateurs (2008) ont montré une probable relation entre le régime alimentaire et les déplacements chez ces insectes. Dans le présent travail, nous avons bien confirmé l'existence d'une relation positive entre les déplacements et le spectre trophique des acridiens. Ainsi, les espèces ayant des capacités de déplacements de grandes ampleurs montrent des régimes trophiques très diversifiés. En effet, *Schistocerca gregaria*, comme espèce migratrice consomme une dizaine de plantes (Kherbouche *et al.*, 2010 et Reggani, 2010) et *Dociostaurus jagoi*, avec des capacités de déplacement très limités ne consomme que peu de plantes appartenant au même genre (*Hordeum*). La variation du régime trophique chez l'espèce est donc, une sorte d'accommodation avec son habitat comme ceci a été bien souligné par Moussi et ses collaborateurs (2014). De même, les espèces migratrices doivent disposer de spectres très larges, concernant les végétaux appréciés, car les déplacements impliquent

la confrontation de nouvelles espèces végétales ; alors sans spectre élargi, ces acridiens ne peuvent pas subsister dans ces nouveaux milieux colonisés ou traversés.

De la composition des sensilles antennaires, nous avons remarqué que les mâles avaient plus de sensilles que les femelles, notamment en raison de l'abondance de sensilles cœloconiques et courtes basiconiques. Ces deux types de sensilles sont considérés, comme des sensilles olfactives chez certaines espèces.

Nous pouvons donc conclure que les sensilles antennaires semblent générer sensibilité très importante aux odeurs. Dans le même sens, elles peuvent jouer un rôle important dans le comportement sensoriel des espèces, leur permettant de localiser facilement leur partenaire sexuelle et les plantes hôtes. Il semble que chez les espèces dont les différences au niveau du nombre de sensilles entre les sexes sont faibles, les indices visuels et auditifs peuvent être plus importants que l'olfaction pour rapprocher les sexes et ceci comme l'avait bien souligné Chen et ses collaborateurs (2003).

Des résultats obtenus sur l'effet des huiles essentielles des plantes aromatiques étudiées, nous avons pu montrer que ces essences végétales ont un effet néfaste sur la survie des acridiens étudiés, cet effet varie en fonction de la nature de l'HE testé et plus particulièrement à sa composition chimique. Ainsi, il semble que certains composés chimiques aient une influence plus importante que d'autres, mais l'hypothèse d'une synergie entre les différents éléments ne peut pas être écartée.

Les HE de certaines plantes aromatiques et médicinales étudiées et notamment *Mentha pulegium* et *Origanum compactum* pourraient jouer un rôle important dans l'élaboration de nouveaux produits biologiques comme moyen de lutte alternative aux produits chimiques utilisés massivement dans la lutte antiacridienne.

PERSPECTIVES

A l'issue de ce travail, il semble qu'un certain nombre de points pourraient bénéficier d'autres axes de recherche bien approfondis. Ceci, constitue un point de départ pour de futures recherches, en raison de l'originalité et de la nouveauté de cette étude.

Il sera souhaitable de poursuivre le processus d'inventaire d'une manière plus exhaustive, à travers les différentes régions du Maroc, ceci nous permettra de dresser un bilan entomofaune de toutes les espèces acridiennes présentes à l'échelle nationale et donc, établir une carte de répartition géographique de ces espèces.

Etudier le cycle biologique des Orthoptères acridiens, leur comportement alimentaire et leur adaptation à des milieux.

Afin de déterminer d'une manière précise, la relation existante entre la nature trophique d'une espèce et la composition des sensilles du labre et des antennes, il serait d'une grande importance de traiter séparément les espèces polyphages, oligophages et monophages.

Le problème acridien suppose une connaissance approfondie de la bio-écologie des Orthoptères. Il serait alors intéressant d'élargir l'échantillonnage des espèces d'importance économique pour mieux comprendre le phénomène de pullulation acridienne des dégâts énormes sur les productions agricoles et pastorales.

L'un des objectifs le plus insistant, consiste à l'orientation de la recherche vers l'étude des éléments actifs dans les bio-pesticides voire même la synergie de ces composés dans la lutte alternative.



Références bibliographiques



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbassi K, L. Mergaoui, Z. Atay-Kadiri, A. Stambouli and S. Ghaout. 2003. Effets des extraits de *Peganum harmala* (Zygophyllaceae) sur le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria* Forskål, 1775. J. Orthopt. Res. 12,71-78.
- Abbott, W.B. 1925. A method for computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology, 18 : 265-267.
- Abushama F.T., 1968. - Food-plant selection by *Poeciloceris hieroglyphicus* (Klug) (Acrididae : Pyrgomorphidae) and some receptors involved. Proc. R. ent. Soc. Lond. (A), 43,96104.
- Aghfir M, M. Kouhila, A. Jamali and L. Ait Mohamed. 2007. Séchage solaire convectif pour la conservation des feuilles du Romarin. 13ème journée internationale de séchage thermique. Albi, France 28-30
- Allal – Benfekih, L., 2006 - Recherches quantitatives sur le criquet migrateur *Locusta migratoria* (Orth. Oedipodinae) dans le Sahara algérien. Perspectives de lutte biologique à l'aide de microorganismes pathogènes et de peptides synthétiques. Thèse. Doct. Sciences agronomiques, INA., Alger, 140 pp.
- Allen C.R., Garmestani A.S., Havlicek T.D., Marquet P.A., Peterson G.D., Restrepo C., Stow C.A. et Weeks B.E., 2006. Patterns in body mass distribution: shifting among alternative hypotheses. Ecology letters. 630-643 Pp.
- Ameismeier F 1987 Ultrastructure of the chemosensitive basiconic single-walled wall-pore sensilla on the antennae in adults and embryonic stages of *Locusta migratoria* L. (Insecta, Orthoptera); Cell Tissue Res. 247 605–612.
- Angioni A, A. Barra, E. Cereti, D. Barile, J.D. Coisson, M. Arlorio and P. Cabras. 2004. Chemical composition, plant genetic differences, anti- microbial and antifungal activity investigation of the essential oil of *Rosmarinus officinalis* L. J. Agricult. Food Chem., 52,11, 3530-3535
- Appert J. et Deuse J., 1982- Les ravageurs des cultures vivrières et maraîchères sous les tropiques. Ed. Maison Neuve et Larose, Paris, 419 pp.
- Atik Bekkara F, L. Bousmaha, S.A. Taleb Bendiab, J.B. Boti and J. Casanova. 2007. Composition chimique de l'huile essentielle de *Rosmarinus Officinalis* L. poussant à l'état spontané et cultivé de la région de Tlemcen, Biologie & Santé 7,1, 6-11
- Ayadi S, C. Jerribi and M. Abderrabba. 2011. Extraction et étude des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* cueillie dans trois régions différentes de la Tunisie J. Soc. Alger. chim. 21,1, 25-33

- Barataud J., 2005. Orthoptères et milieux littoraux, Influence de la gestion des habitats herbacés et enjeux pour la biodiversité. BTS Gestion des Espaces Naturels. Session 2003 – 2005, p 48.
- Bellmann H. et Luquet G., 1993. Guide des Sauterelles, Grillons et Criquets d'Europe Occidentale. Ed. Delachaux et Niestlé, Lausanne, 383 pp.
- Bellmann. H et Luquet. G. 1995 Guide des sauterelles grillons et criquets d 'Europe Occidentale. Ed. Delachoux et Nieslé, Paris, 383 pp.
- Ben Halima T., 1983. Etude expérimentale de la niche trophique de *Doclostaurus maroccanus* (Thunberg, 1815) en phase solitaire au Maroc. Thèse Doc Ingénieur, Paris, p 178.
- Benjilali B. and S. Zrira. 2005. Plantes aromatiques et médicinales. Atouts du secteur et exigences pour une valorisation durable. Actes éditions. Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat Maroc
- Benkenana N., 2012. Inventaire et Analyse bio systématique de la famille des Pamphagidae (Orthoptera, Caelifera) de l'Est algérien. Thèse de Doctorat. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Constantine 1, Algérie.
- Benkenana N., Harrat A. and Petit D., 2013. Labrum sensilla analysis and the diet of grasshoppers belonging to Pamphagidae family. Eur. J. Entomol. 110 355–364
- Bland R G 1989 Antennal sensilla of Acrididae (Orthoptera) in relation to subfamily and food preference; Entomol. Soc. Am.n 82 368–384.
- Blondel J. 1976. Stratégies démographiques et successions écologiques. Bull. Soc. Zool . France, 101 (1976) 695-718
- Boitier E., 2004. Caractérisation écologique et faunistique des peuplements d'orthoptères en montagne auvergnate. Matériaux Orthoptériques et Entomocénétiques, pp 43-78.
- Boitier E., 2006 - Inventaire des orthoptères de la tourbière de Sagne Bourue, commune de Jean Sagnière (Loire). Rapport d'étude, Soc. hist. Natu. Alcide-d'Orbigny, 15 p.
- Bonnemaison L., 1961 - Les ennemis animaux des plantes cultivées et des forêts. Ed. Sep. Paris, T1, 336p.
- Boutekedjiret C, F. Bentahar, R. Belabbes and J.M.Bessiere. 1998. The essential oil from *Rosmarinus officinalis* L. in Algeria. J. Essen. Oil Res. 10, 6, 680-682
- Braman S. Kristine 1993 Azadirachtin Affects Growth and Survival of Immature tawny mole crickets (Orthoptera : Gryllotalpidae. Florida Entomologist 76(3).

- Brunhes Jacques et Dufour Christophe (1984). Les différentes étapes de la perte de l'aptitude au vol chez les Tipulidés et les Limonidés (Diptera, Nematocera) vivant sous climat froid. *bull. écol.*, 1984, t.15 : 3, p. 185-198.
- Celiktas O.Y, E.E. Kocabas, E. Bedir, F.V. Sukan, T. Ozek and K.H.C. Baser. 2007. Antimicrobial activities of methanol extracts and essential oils of *Rosmarinus officinalis*, depending on location and seasonal variations. *Food Chemistry* 100, 2, 553-559.
- Chalchat C, R.P. Garry, A. Michet, B. Benjlali and J.L. Chabart. 1993. Essential oils of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). The chemical composition of oils of various origins (Morocco, Spain, France). *J. Essen. Oil Res.* 5, 6, 613-618
- Chapman R.F, - 2003, Contact chemoreception in feeding by phytophagous insects. *Annual Review of Entomology*, 48,455-484
- Chapman R.F. – 1998, *The insects : Structure and function.* cambridge University Press, Cambridge
- Chapman R.F. and Thomas J.G., 1978. The numbers and Distribution of sensilla on the mouth parts of Acridoidea. *Acrida* 7 115-148.
- Chapuis M.-P., 2006. Génétique des populations d'un insecte pullulant, le criquet migrateur, *locusta migratoria*. Thèse de Doctorat de l'ENSAM, Montpellier, 71 p.
- Chara B., 1987- Etude comparée de la biologie et de l'écologie de *Calliptamus barbarus* (Costa, 1836) et de *Calliptamus wattenwylanus* (Pentel, 1896) (Orthoptera-Acrididae) dans l'Ouest algérien. Thèse Doc. Ing., Univ. D'Aix Marseille, 190 p.
- Chen Hu-Hai, Zhao Y X and Kang L 2003 Comparison of the olfactory sensitivity of two sympatric steppe grasshopper species (Orthoptera: Acrididae) to plant volatile compounds; *Sci.China (Ser. C)* (in press).
- Chiasson H., Beloin N., 2007.- Les huiles essentielles, des bio-pesticides, 'Nouveau genre'. *Antennae*, 14 (1) : 3-6.
- Chopard L. 1943. Contribution à l'étude des Orthoptéroïdes du nord de l'Afrique (4 e note). *Revue française d'entomologie* : 144-146.
- Coats J.R, L.L. Karr and C.D. Drewes. 1991. Toxicity and neurotoxic effects of monoterpenoids in insects and earthworms, in *Naturally Occurring Pest Bioregulators*, Ed. PA Hedin.ACS Symposium Series no. 449, American Chemical Society, Washington.

- Copr, 1982. – The locust and grasshopper agricultural manual. – Centre for Overseas Pest Research: London (UK). – 690 p.
- Damerdji A. et Cheikh- Miloud D., 2011- Faune des Invertébrés de l'extrême ouest du littoral algérien : diversité et approche bioécologique. Journée scientifique sur la biodiversité. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers. Université Aboubekr Belkaïd- Tlemcen.
- Damerdji A., 1996- Contribution à la répartition de la faune orthoptérologique (Caelifères, Ensifères) en Algérie. Bull. Zool. Agri., Inst. Nat. Agro. (El Harrach) 13 : 10-13.
- Derwich E, Z. Benziane and R. Chabir 2011. Aromatic and medicinal plants of Morocco: chemical composition of essential oils of *Rosmarinus officinalis* and *Juniperus phoenicea*. Int. J. Appl. Biol. Pharm. Technol. 2, 145-153.
- Didier Samson, 2004-Questions sur une invasion, les criquets. Journal, RFI, Publié le 7-9 – 2004, 2 pp.
- Dirsh V. M., 1965. The African genera of Acridoidea. Cambridge. University Press, Cambridge, 1-579 pp.
- Doumandji S et Doumandji –Mitiche B., 1994. Criquets et sauterelles (Acridologie), Ed. OPU. (Office de Publications Universitaire), p 99.
- Douro K pindoual O., K., Lomeral C.J., Langewaldal J. and Boccoal Y., 2000. Cycle biologique et Durée des Stades Larvaires du Criquet Puant, *Zonocerus variegatus* (Linne,1758) (Orthoptera : Pyrgomorphidae) au Sud du Bénin : International Journal of Tropical Insect Science. Volume 20, pp 109-116.
- Dumas P., Tetreau G. & Petit D. 2010: Why certain male grasshoppers have clubbed antennae? C. R. Biol. 333: 429–437.
- Durant J. F. et Lecoq M., 1990.- Le Criquet pèlerin au Sahel. Coll. Acrid. Opé. (6), CIRAD/PRIFAS, Montpellier : 178 p.
- Durant J. F., Launois M. ; Launois- Luong M.M. ; Lecoq M. et Rachadi T., 1987- Guide antiacridien du Sahel. Min. Coop. Dev. Ed. CIRAD - PRIFAS, Montpellier, 344p
- Durant J.-F., 1989. – Situation acridienne au Niger en novembre 1988, diagnostic, pronostic, suggestions. – D. 324, Ministère de la Coopération et du Développement : Paris / CIRAD-PRIFAS : Montpellier (France). – 77 p.

- Durantou J.-F., Launois M., Launois-Luong M.H. et Lecoq M., 1982- Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche (2 vols). Groupement d'Étude et des Recherches pour le Développement de l'Agronomie Tropicale (G.E.R.D.A.T.), Paris 1496 pp
- Durantou J.F., Launois M., Launois-Luong M.H. et Lecoq M., 1979–Biologie et écologie de *Catantops haemorrhoidalis* en Afrique de l'ouest (Orthopt. Acrididae). *Annls. Soc. Ent.Fr.(N.S)* 15(2), pp.319-343.
- El Ghadraoui L., Petit D. & El Yamani J. 2003. Le site Al-Azaghar (Moyen-Atlas, Maroc) : un foyer grégarigène du criquet marocain *Dociostaurus maroccanus* (Thunb., 1815). *Bull. Inst. Sci., Rabat, section Sciences de la Vie*, 25, 83-88.
- El Ghadraoui L., Petit D., Mokhles R., Azouzi A. et Lazraq A., 2008. Situation du criquet marocain "*Dociostaurus maroccanus* Thunb., 1815" par rapport aux différentes espèces acridiennes : morphométrie et capacités de déplacements. *Afrique Science* 04(1). Pp 125 – 137. ISSN 1813-548X.
- El Ghadraoui L., Petit D., Picaud F. et El yamani J. 2002. Relationship between labrum sensilla number in the Moroccan locust *Dociostaurus maroccanus* and the nature of its diet. *J. Orthopt. Res.*, 11, 1, 11-18.
- El Ghadraoui Lahsen, Essakhi Driss, Benjelloun Meryem, Errabhi Nabil, El Harchli El Hassan, Alaoui Mhamdi Mohammed and Daniel Petit. Chemical Composition of Essential Oils from *Rosmarinus officinalis* L and Acridicide Activity on *Dociostaurus maroccanus* Thunberg, 1815 in Morocco. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 6, Issue 8, August-2015 ISSN 2229-5518
- Essakhi D., El Harchli E.H., Benjelloun M., Maazouzi N., Mansouri I., Azzouzi A. et El Ghadraoui L., 2015. Contribution à L'Étude du Régime Alimentaire des Orthoptères acridiens dans Le Moyen-Atlas (Maroc). *International Journal of Engineering and Science*. Vol.5, Issue 2, pp 60-66.
- Gangwere S.K. and Morales-Agacino E., 1973. Food selection and feeding behaviour in Iberian Orthopteroidea. *An. Inst. Nal. Invest. Agr. (Spain) Ser. Prot. Veg.* 3 251–337.
- Grasse P.P., 1949- *Traité de zoologie. Anatomie, systématique, biologie*. ED. Masson, Paris, t. IX, 1117 p.
- Greathed P., Kooyman C., Launois-Luong M.H., et Popov G.B., 1994. Les ennemis naturels des criquets du Sahel. *Coll. Acrid. Operat.* No 5, Ed. CIRAD/PRIFAS, Montpellier, 147p.

- Guendouz-Benrima A., Duranton J.F. et Doumandji-Mitiche B., 2010. Préférences alimentaires de *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) à l'état Solitaire dans les biotopes du Sud Algérien. J. Orth. Res.19 7–14.
- Halouane F., Benzara A., Doumandji-Mitiche B., et Bouhacein M., 2001. Effet de deux entomopathogènes, *Beauveria bassiana* et *Metarhizium flavoviride* (Hyphomycètes, Deuteromycotina) sur l'hémogramme des larves de 5eme stade de *Locusta migratoria migratorioides* (Orthoptera, Acrididae). Journal of Orthoptera Research 10(2). Pp : 331-334
- Hamdi H., 1992 - Etude bioécologique des peuplements Orthoptérologiques des dunes fixées du littoral Algérois. Thèse de magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach, 167p.
- Haskell P. T. and Schoonhoven L. M. (1969) The function of certain mouthpart receptors in relation to feeding in *Schistocerca gregaria* and *Locusta migratoria migratorioides*. Entomol. exp. Appl. 12, 423-440.
- Hassani F., 2013. Etude des Caelifères (Orthoptères) et caractérisation floristique (biodiversité floristique) de leur biotope dans des stations localisées à Tlemcen et Ain Temouchent. Régime alimentaire de *Calliptamus barbarus* et *Sphingonotus rubescens*. Thèse de Doctorat. Faculté des
- Henry J.E. & OMA E.A., 1974. Effects of infections by *Nosema locustae* Canning, *Nosema acridophagus* Henry and *Nosema cuneatum* Henry (*Microspora* : *Nosematidae*) in *Melanoplus bivittatus* (Say) (*Orthoptera*: *Acrididae*). – *Acrida*, 3 : 223-231.
- Hu-Hai Chen, Yun-Xian Zhao and Le Kang.,2003. Antennal sensilla of grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) in relation to food preferences and habits.
- Jamshidi R, Z. Afzali and D. Afzali. 2009 Chemical composition of hydrodistillation essential oil of rosemary in different origins in Iran and comparison with other Countries. Amer.-Eur. J. Agric. Environ. Sc. 5, 78-81.
- Johnson D.L. *et al.*, 1992. – Field trials with *Beauveria bassiana* in Mali. – IN : Lomer C.J. & PRIOR C. (Ed. Sc.). – Biological control of locusts and grasshoppers, Proceedings of a workshop held at the International Institute of Tropical Agriculture, Cotonou, Benin, April 29-May 1st, 1991. – CAB International : Oxon (UK) : 296-310.
- Kafka W A 1970 Molekulare wechselwirkungen bei der Erregung einzelner Riechzellen; Z. *Vergl. Physiol.* 70 105–143.
- Kara.F.Z. 1997- Etude de quelques aspects écologie et régime alimentaire de *Schistocerca grégaria* (Forsk., 1775) (Orthoptera, Cyrtacantacridinae) dans la région d'Adrar et en conditions contrôlées. Thèse Magister Sci. Agro. Inst. Nat. Agro, El-Harrach, 182 pp

- Ketoh G.K, H.K. Koumaglo, I.A. Glitho and J. 2006. Huignard. Comparative effects of *Cymbopogon schoenanthus* essential oil and piperitone on *Callosobruchus maculatus* development. *Fitoterapia* 77, 506-510.
- Kherbouche Y., Sekour M. et Doumandji-Mitiche B., 2010. Variation du Régime Alimentaire des mâles et des femelles de *Schistocerca gregaria* (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) dans le sahara centrale d'Algérie. Séminaire International sur la Biodiversité Faunistique en Zones Arides et Semi-arides. Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie.
- Klingenberg et Marugán-Lobón, 2013. Evolutionary covariation in geometric morphometric data: analyzing integration, modularity, and allometry in a phylogenetic context. *Syst Biol.* 2013 Jul ;62(4) :591-610.
- Labhar M., 1998. Les milieux forestiers et pré-forestiers du Moyen-Atlas central Nord occidental : approche géographique, phytoécologique et dynamique. Thèse de Doctorat d'état et lettres, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Lettres de Fès, 62p
- Latchininsky A.V., Launois-Luong M.H. 1997 : Le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria* Forskal, 1775) dans la partie Nord-orientale de son aire de distribution = The desert locust (*Schistocerca gregaria* Forskal, 1775) in the North-oriental part of its invasion area 1997. Montpellier : CIRAD-PRIFAS, 210 p.
- Launois M.,1974-Modification du nombre d'ovarioles et de tubes séminifères de la descendance du criquet migrateur *Locusta migratoria capito* (Saussure) par effet de groupement d'adultes solitaires issus de populations naturelles. C.R. A cad.Sc. Paris, T278, pp.3139-3142.
- Launois-Luong M.A., Launois M. et Rachadi T., 1988- La lutte chimique contre les criquets du Sahel. Coll. Acrid. Operat. No 3, Ed. CIRAD/PRIFAS, Montpellier, 125 pp.
- Launois-Luong M.H., 1975- L'alimentation du criquet migrateur *Locusta migratoria capito* (sauss) en phase solitaire à Madagascar : régime et effets. Thèse. Ministère de la coopération, 202 p.
- Launois-Luong M.H., 1979-Etude comparée de l'activité génésique de set acridiens du sahel dans des conditions éco météorologiques semblables. *Ann. Zool. Ecol. Anim.*, 11(2), pp. 209-226.
- Launois-Luong MA. 1978. Méthode pratique d'interprétation de l'état des ovaires des acridiens du sahel. *Annales de Zoologie Ecologie Animale* 10 :569-587
- Le Gall P., 1989. Le choix des plantes nourricières et la spécialisation trophique chez les Acridoidea (Orthoptera). *Bull. écol*, T. 20, pp 245-261.

- Lecoq M. et Mestre J., 1988 – La surveillance des sautériaux du Sahel. Coll. Acrid. Opérat., n°2, CIRAD, PRIFAS, Montpellier, 62p.
- Lecoq M., 1978 - Biologie et dynamique d'un peuplement acridien de zone soudanienne en Afrique de l'ouest (Orthoptera-Acrididae). *Annls. Soc. Ent. Fr. (N.S)* 14(4), pp.603 - 681.
- Lee S.E., Lee R.H, W.S. Choi., B.S. Park, J.G. Kim and B.C. Campbell. 2001. Fumigant toxicity of volatile natural products from Korean spices and medicinal plants towards the rice weevil, *Sitophilus oryzae* L. *Pest. Manag.Sci.* 57, 548-553.
- Louveaux A, Gagnepain C, Demy A, Pennee J.J. 1994. L'élevage des acridiens. *INSECTES* N° 93
- Louveaux A. ; Mouhim A. ; Roux G. ; Gillon Y. ; et Barral H., 1996. Influence du pastoralisme sur les populations acridiennes dans le Massif du Siroua (Maroc). *Revue d'Ecologie (La Terre et la Vie)* 51 : 139-151.
- Louveaux et Ben Halima., 1987. Catalogue des orthoptères Acridoidea d'Afrique du Nordouest. *Bull. Soc. Ent. France*, T.91, pp : 3-67.
- Ma W C and Visser J H 1987 Single unit analysis of odor quality coding by the olfactory antennal receptor system of Colorado beetle; *Ent. Exp. Appl.* 24 520–533.
- Mestre J 1988 Les acridiens des formations herbeuses d'Afrique de l'Ouest (Montpellier : CIRAD PRIFAS)
- Ministère américain de l'agriculture. 2001. Lutte d'urgence contre les invasions transfrontalières de ravageurs en Afrique et en Asie, Service d'inspection de la santé animale et végétale Riverdale, Maryland.
- Mokhlesse R., Lazraq A., Azouzi A, Petit D. and El Ghadraoui L., 2007. Etude des capacités des déplacements des acridiens à Al-Azaghar (Moyen-Atlas, Maroc). *Bull. Inst. Sci. Rabat. Sect. Sci.Vie.* Pp 7–291.
- Mordue A.J., et Blackwell A., 1993. Azadirachtin: an update. *Journal of Insect Physiology* 39(11) pp: 903-924.
- Mordue A.J., Evans K.A., et Charlet M., 1986. Azadirachtin, Ecdysteroids and Ecdysis in *Locusta migratoria*. *Compendium of Biochemical physiology* 85 (2), pp : 297-301.
- Moréteau B. 1991. Etude de certains aspects de la physiotoxicologie d'insecticides de synthèse chez le Criquet migrateur : *Locusta migratoria* R & D. John Libbey Eurotext, Paris, 167-178.

- Mouhim A. 1997. Etude des effets de Nomolt, Fipronil et Malathion sur les acridiens (Criquet marocain et Sautériaux) et les insectes non-cibles dans le massif de Siroua (Haut Atlas). Mém. CEA, Univ. Ibn Zohr, Fac. Sci. Agadir, 44 p.
- Moumen K., 1997. La transformation phasaire chez le criquet pèlerin *S. gregaria* (Forskål, 1775). Mécanisme et action de l'alimentation. Thèse de DEA, Fac., Scien., Biol., Univ., Tunis, 36 p.
- Moussi A., Abd Errahmane A., Harrat A. and Petit D., 2014. Description of *Dociostaurus biskrensis* sp. nov. and male allotypes of four species: *Pamphagulus bodenheimeri dumonti*, *P. uvarovi*, *Sphingonotus ebneri* and *Notopleura pygmaea* (Orthoptera: Acridoidea) in the region of Biskra, Algeria. Magnolia Press. Zootaxa 3755 (4).
- Mustaparta H 1975 Responses of single olfactory cells in the pine weevil *Hylobius abietis* L. (Col. Curculionidae); *J. Comp. Physiol.* 97 271–290.
- Ngamo L. S. T., Hance T. H., 2007.- Diversité des ravageurs, des denrées et méthodes alternatives de luttés en milieu tropical. *Tropiculture*, 25(4): 215-220.
- Nwilén FE., Nwanze KF et Youdeowei A., 2008 – Impact of integrated pest management on food and horticultural crops in Africa. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 128,355-363.
- Ocheing S A and Hansson B S 1996 Morphological types and physiological responses of antennal olfactory receptor neurons in the desert locust, *Schistocerca gregaria* (Orthoptera: Acrididae); *The Proceeding of XX International Congress of Entomology*, Florence, Italy, August 25–31, p 137.
- Ocheing S A, Hallberg E and Hansson B S 1998 Fine structure and distribution of antennal sensilla of the desert locust, *Schistocerca gregaria* (Orthoptera: Acrididae); *Cell Tissue Res.* 291 525–536
- Petit D. 2015. Comment interpréter la variabilité de la longueur des élytres chez deux Acrididae Gomphocerinae des montagnes de Corse ? Parc naturel régional Livradois-Forez et Société d'Histoire naturelle Alcide-d'Orbigny.
- Picaud F. & Petit D. 2007. Primary succession of Acrididae (Orthoptera): differences in displacement capacities in early and late colonizers of new habitats. *Acta Oecologica*, 32, 1, 59-66.
- Picaud F. 1998. Dynamique de colonisation de haldes de mines par les insectes orthoptères. Thèse de Doctorat, Univ. Limoges, 157 p.
- Picaud F. and Petit D. (2009). Body size, sexual dimorphism, and ecological succession in grasshoppers. *PETIT Journal of Orthoptera Research* 2008,17(1): pp.

- Picaud F., Bonnet E., Gloaguen V., et Petit D., 2003. Decision Making for Food Choice by Grasshoppers (Orthoptera: Acrididae): Comparaison Between a Specialist Species on a Shrubby Legume and Three Graminivorous Species. Plant-Insect Interactions. Facul des Scien. E.A. 3176, 123, av. A. Thomas, 87060 Limoges, France
- Pintore G, M. Usai, P. Bradesi, C. Juliano, G. Boatto, F. Tomi, M. Chessa, R. Cerri and J. Casanova. 2002. Chemical composition and antimicrobial activity of *Rosmarinus officinalis* L. oils from Sardinia and Corsica. Flav.Fragr. J. 17, 1, 15-19.
- Popov G. B., Launois-Luong M. H. et Weel J. V. D., 1990. Les oothèques des criquets du Sahel. Collection Acridologie Opérationnelle N°7, Ed. CIRAD/PRIFAS, France 92p.
- Popov G.B., Duranton J.F. et Gigault J., 1991- Etude écologique des biotopes du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) en Afrique nord occidentale. Mise en œuvre et description des unités territoriales écologiquement homogènes. Coll: Les Acridiens, CIRAD-PRIFAS: Montpellier (France), 744 pp.
- Proux J, A. Alaoui, B. Moréteau and A. Baskali. 1993. Deltamethrin induces deregulation of the water balance in the migratory Locust. Comp. Biochem. Physiol. 106, 351-357.
- Puissant S., 2002. – Les Orthoptères comme indicateurs de l'état de santé des milieux. Éd. Opie Lr., Millas, 20 p.
- Purrini K., 1989. – Studies on a new isolate of an entomopoxvirus possessing two types of occlusion bodies found in the locust *Cataloipus fuscocoeruleipes*. – *J. Inver. Path.*, 54 : 242-247.
- Reggani M.E.A., 2010. Contribution à l'étude de la bio-écologie du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Orthoptera, Orthoptera- Acrididae) (Forskål, 1775) dans la région d'Adrar. Mémoire de fin d'études. Université Kasdi Merbah- Ouargla (Algérie).
- Reznik, S.Y. and Vaghina N. P., 2013. Effects of photoperiod and diet on diapauses tendency, maturation and fecundity in *Harmonia axyridis* (Coleoptera : Coccinellidae). *J. Appl. Entomol.* 137. 452-461 Pp.
- Riba G. et Silvy C. 1989- Combattre les ravageurs des cultures, enjeux et perspectives. INRA.
- Ripert C., 2007- Epidémiologie des maladies parasitaires. Affections provoquées ou transmises par les Arthropodes. T4. Ed. Lavoisier, Paris, 580p.
- Rodrigues, A.R.D., Spindola A.F., Oliveira J.E.D. and Torres J.B., 2013. Dietary effects upon biological performance and lambda-cyhalothrin susceptibility in the multicolored Asian lady beetle, *Harmonia axyridis*. *Phytoparasitica* 41. 285-294 Pp.

- Roff D. A. 1986. The evolution of wing dimorphism in insects. *Evolution*, 40(5) 1009-1022.
- Roff D.A., Fairbairn D.J. 1991. Wing dimorphism and the evolution of migratory polymorphisms among the Insects. *American Zoology* 31: 243-251.
- Schaalje G.B., Johnson D.L. & Van Der Vaart H.R., 1992. – Application of competing risks theory to the analysis of effects of *Nosema locustae* and *N. cuneatum* on development and mortality of Migratory Locusts. – *Environ. Entomol.*, 21(5) : 939-948.
- Stanek V. J, 1978 - Encyclopédie illustrée des insectes. Ed.Grund, 548p.
- Tail G., 1998- Action de quelques substrats alimentaires sur quelques 149 paramètres biologiques de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775), (Orthoptera Acrididae) Efficacité entologique de *Pseudomonas fluorescens* (Pseudomonadales) sur quelques aspects physiologiques du criquet pèlerin. Thèse Mag., INA, El Harrach, Alger, 190 p.
- Thaler J.O., Duvic B., Givaudan A., et Boemare N., 1998. Isolation and Entomotoxic properties of the *Xenorhabdus nematophilus* F1 Lecithinase. *Applied and Environmental Microbiology* 64(7): 2367–2373.
- Toure M., et Ndiaye M., 2007. Mécanisme d'infection et effets de la colonisation des œufs du criquet sénégalais : *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877) par un champignon hyphomycète : *Metarhizium sp.* (Metschikoff, Sorokin). The African Association Of Insect Scientists. 17^{ème} Conférence de l'Association Africaine des Entomologistes. Université Cheikh Anta Diop - Dakar, Fann, Senegal.
- Uvarov B.P., 1928. Locust and grasshoppers. A handbook for their study and control.
- Uvarov. B., 1966. Grasshoppers and locusts. Ed. Cambridge Univ., Press, T. 1. P 481.
- Waghmare S, Waghmare D, Bhatnagar PS (2013) Species diversity of short horned grasshopper (Orthoptera: Acrididae) in selected grasslands of solapur district, Maharashtra, India. *Biodivers Endanger Species* 1: 110
- Whitman D.W., 2008. Indeed, The significance of body size in the Orthoptera: *J. Ortho Res.* 17(2), 117-134 pp.
- Zacharuk R Y 1985 Antenna and sensilla; in *Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology* (eds) G A Kerkut and L I Gilbert (Oxford: Pergamon) Vol. 6, pp 1–69
- Zaim A, El Ghadraoui L. and Farah A. 2012. Effets des huiles essentielles d'*Artemisia herba-alba* sur la survie des criquets adultes d'*Euschorthippus albolineatus* (Lucas, 1849). *Bull. Inst. Sci., Rabat* 34 ,2, 127-133.

Zaim A, El Ghadraoui L. and Farah A. Effets des huiles essentielles d'*Artemisia herba-alba* sur la survie des criquets adultes d'*Euchorthippus albolineatus* (Lucas, 1849). Bull. Inst. Sci., Rabat 34 ,2, 127-133 (2012).

Zaim A. 2013 « Etude bioécologique des acridiens du Moyen-Atlas, Perspectives de lutte biologique par les extraits des plantes ». Thèse de Doctorat à l'Université de Fès Maroc.

Zaim A., Petit, D., & Elghadraoui, L. 2013. Dietary diversification and variations in the number of labrum sensilla in grasshoppers: Which came first? Journal of Biosciences, 38(2), 339–349.



Annexes



Annexe

Tableau 11 : Mesures des traits morphologiques des mâles des différentes espèces

	Tho	Abd	LgC	LgE	LgF	LgP	LgA
Sg	11,78	28,58	48,04	50,29	22,14	8,79	50,19
Sg	11,37	29,37	48,6	50,49	22,17	8,77	48,97
Sg	12,43	29,78	50,24	50,7	22,3	8,77	49,17
Sg	11,43	29,22	47,74	50,02	22,11	8,77	49,15
Sg	11,97	28,99	47,12	50,69	22,01	8,8	48,87
Sg	11,43	29,61	48,61	49,91	21,98	8,81	48,93
Sg	12,33	28,71	47,58	50,54	22,05	8,8	48,86
Sg	12,24	28,15	46,3	50,13	22,3	8,81	49,02
Sg	11,64	27,32	50,23	50,52	22,23	8,79	48,99
Sg	11,74	27,39	47,75	50,11	22,3	8,77	49,17
Od	6,67	16,87	34,18	27,2	19,34	6,24	26,81
Od	6,28	14,01	31,62	25,77	17,53	5,39	25,77
Od	6,7	15,03	32,66	25,94	17,64	5,56	24,52
Od	7,04	14,81	34,13	23,83	17,85	5,73	23,7
Od	7,88	15,31	33,89	24,33	18	6,11	23,85
Od	6,95	14,77	34,15	25,95	19,08	5,6	24,91
Od	7,093	14,913	33,230	26,093	19,223	5,743	26,053
Od	7,235	15,055	33,430	26,235	19,365	5,885	26,195
Od	7,378	15,198	33,520	26,378	19,508	6,028	26,338
Od	7,521	15,341	32,740	26,521	19,651	6,171	26,481
Cp	4,71	8,68	21,74	18,51	11,59	4,52	18,06
Cp	4,88	8,43	21,69	20,54	11,69	4,46	18,99
Cp	5,02	8,59	21,87	20,77	12,02	4,93	19,66
Cp	4,77	9,1	21,61	20,02	11,52	4,41	15,8
Cp	4,98	9	21,81	20,74	11,9	4,71	19,62
Cp	4,6	8,52	21,48	17,15	11,37	4,39	15,99
Cp	4,58	8,51	21,7	17,26	11,42	4,48	16,24
Cp	4,63	9,41	21,49	17,3	11,35	4,4	16,17
Cp	4,66	8,47	21,74	18,34	11,60	4,23	18,34
Cp	4,87	8,13	21,42	18,7	11,76	4,71	18,32
Cw	4,71	8,68	21,74	18,51	11,59	4,52	17,06
Cw	4,88	8,43	21,69	20,54	11,69	4,46	18,99
Cw	5,02	8,59	21,87	20,77	12,02	4,93	19,66
Cw	4,77	9,1	21,61	20,02	11,52	4,41	18,8
Cw	4,98	9	21,81	20,74	11,9	4,71	19,62
Cw	4,6	8,52	21,48	17,15	11,37	4,39	15,99
Cw	4,58	8,51	21,7	17,26	11,42	4,48	16,24

Cw	4,63	9,41	21,49	17,3	11,35	4,4	16,17
Cw	4,66	8,47	21,74	18,34	11,60	4,23	18,34
Cw	4,87	8,13	21,42	18,7	11,76	4,71	18,32
Dd	6,23	12,22	22,6	19,82	14,11	4,65	19,75
Dd	5,11	11,3	21,45	17,24	12,4	4,55	16,71
Dd	5,44	11,16	23,56	18,31	12,66	4,56	18,04
Dd	5,72	11,78	23,8	18,38	11,78	4,76	17,88
Dd	5,83	12,12	23,67	20,39	11,89	4,55	20,04
Dd	5,52	11,87	22,5	19,41	13,28	4,54	19,05
Dd	6,07	11,74	22,76	19,82	12,79	4,34	19,75
Dd	5,32	12,74	22,69	17,24	12,54	4,67	16,71
Dd	5,23	11,62	23,54	18,37	12,91	4,55	17,21
Dd	5,74	12,63	23,77	17,83	13,67	4,47	17,34
Om	4,85	8,93	23,33	21,44	12,86	4,65	19,57
Om	5,32	11,91	23,67	24,54	13,63	5,13	23,91
Om	4,53	10,66	22,87	22,36	12,49	5,06	22,13
Om	5,43	12,17	22,5	21,97	11,55	4,34	21,67
Om	4,44	9,52	22,61	20,7	10,46	4,7	19,66
Om	5,32	10,53	23	24,77	11,5	5	23,2
Om	4,55	10,6	22,44	24,75	12,2	4,95	23,35
Om	5,4	9,68	22,15	24,76	13,6	5,44	23,4
Om	5,4	10,02	22,25	21,62	13,02	4	20,94
Om	4,72	10,2	22,65	20,18	9,01	4,84	19,18
Dg	4,46	9,28	17,02	12,71	10,8	3,18	11,64
Dg	3,62	7,39	14,49	11,34	10,04	2,89	10,42
Dg	4,29	8,93	15,19	12,39	10,77	2,99	11,3
Dg	2,94	7,95	14,38	11,16	8,5	2,3	9,39
Dg	3,95	9,29	15,65	12,2	9,8	3,52	11,24
Dg	3,92	9,37	15,69	12,79	10,52	2,69	10,44
Dg	2,81	7,8	13,87	10,53	6,99	2,61	8,88
Dg	3,64	9,24	15,29	12,1	10,12	2,9	10,56
Dg	2,65	8,32	14,42	11,7	7,51	2,68	9,43
Dg	3,85	8,69	14,78	11,66	9,91	2,75	9,17
As	6,33	12,29	17,4	18,74	12,35	4,77	16,72
As	6,29	11,83	20,39	18,74	12,76	4,88	17,47
As	5,38	12,51	18,92	19,09	12,89	5,11	17,52
As	6,32	12,38	19,65	18,62	13,03	5,02	16,31
As	6,31	12,25	19,52	18,49	12,90	4,89	17,18
As	6,13	12,07	19,34	18,31	12,72	4,71	17,00
As	5,95	11,89	20,16	18,13	12,54	4,53	16,82
As	6,78	12,72	18,85	17,96	13,37	4,36	16,65

As	5,60	11,54	17,81	17,78	13,19	5,18	16,47
As	5,42	12,36	18,63	17,60	13,01	5,15	16,29
Ee	6,33	10,67	22,89	22,7	9,5	3,43	21,65
Ee	6,85	9,89	23,23	22,79	11,23	3,76	22,4
Ee	5,32	11,4	23,56	22,97	12,1	4,34	22,56
Ee	6,83	11,64	22,27	23,02	11,32	4,8	22,6
Ee	6,73	10,43	22,49	22,17	11,8	4,83	22
Ee	5,76	9,76	22,21	22,22	10,67	4,39	21,44
Ee	5,93	10,32	22,64	22,7	12,02	3,87	22,13
Ee	5,84	10,85	23,55	23,67	9,78	4,66	23,23
Ee	6,83	11,84	22,99	23,21	11,98	3,69	23,19
Ee	5,85	10,75	23,67	23,7	11,7	4,43	23,46
Dm	6,05	11,72	23,67	21,78	13,79	4,55	20,81
Dm	5,3	12,72	21,05	18,74	11,81	4,07	18,23
Dm	5,24	11,61	24,96	20,34	12,8	4,36	18,03
Dm	5,7	12,58	24,96	19,91	12,65	4,48	18,37
Dm	5,81	12,11	23,78	20,42	12,93	4,4	19,17
Dm	5,33	12,72	21,95	21,44	14,01	4,26	19,04
Dm	5,45	12,55	23,87	20,22	12,53	4,17	18,26
Dm	5,32	12,74	21,07	18,76	11,83	4,09	18,25
Dm	5,26	11,63	24,98	20,36	12,82	4,38	20,05
Dm	5,76	12,6	24,98	19,93	12,67	4,5	19,39
Of	4,58	12,65	21,16	21,87	13,92	5,48	19,52
Of	5,36	11,92	23,38	21,94	12,45	4,19	20,68
Of	5,29	8,9	21,89	21,09	13,89	4,1	20,35
Of	5,32	10,53	23	24,77	11,5	5	22,2
Of	5,27	9,77	22,11	19,9	12,21	4,48	19,85
Of	6,33	10,27	22,21	23,14	13,61	5,11	21,91
Of	4,95	10,67	21,74	22,18	12,11	4,17	21,54
Of	4,46	8,4	20,34	21,27	11,74	3,24	20,04
Of	3,42	7,03	20,02	19,22	12,02	2,23	18,48
Of	3,45	10,2	21,97	20,62	10,24	2,39	19,05
Ai	2,55	6,47	17	12,7	8,89	2,48	12,68
Ai	2,72	6,81	17,13	12,06	10,03	2,67	12
Ai	2,81	8,26	14,58	12,33	9,41	2,4	11,68
Ai	2,7	6,69	12,76	13,23	5,88	2,56	11,42
Ai	2,53	8,13	14,18	12,32	9,01	3,05	11,99
Ai	2,54	7,21	13,31	12,11	6,4	2,65	10,59
Ai	2,74	7,58	13,67	12,89	8,8	2,9	11,55
Ai	2,47	7,92	14,24	12,76	9,07	2,64	11,34
Ai	2,36	6,35	12,42	12,66	5,54	2,75	10,08

Ai	2,19	7,79	13,84	12,89	8,67	3,1	10,65
Cb	4,57	8,1	20,22	15,96	10,53	3,89	15,41
Cb	4,41	8,49	21,4	15,27	11,35	4,28	14,82
Cb	4,09	8,08	19,89	15,94	10,46	3,35	15,17
Cb	4,15	8,35	18,72	16,17	10,69	4,1	16,03
Cb	4,49	9,08	18,71	16,239	10,29	4,33	16,29
Cb	4,39	8,39	18,809	16,09	10,779	4,89	15,89
Cb	4,65	9,25	19,12	16,26	11,09	4,99	16,19
Cb	4,63	9,13	19,65	16,28	10,70	4,38	16,11
Cb	4,43	9,31	18,91	16,81	10,81	4,23	16,21
Cb	4,37	8,37	18,81	16,09	10,76	4,87	16,07

Tableau 12 : Mesures des traits morphologiques des femelles des différentes espèces

	Tho	Abd	LgC	LgE	LgF	LgP	LgA
Sg	11,26	27,24	46,27	49,79	21,93	8,81	48,86
Sg	12,55	30,49	50,77	51,86	23,21	8,61	51,32
Sg	12,47	30,67	50,51	51,01	23,47	8,79	49,92
Sg	12,54	30,44	51,18	51,22	23,38	8,86	50,84
Sg	12,43	30,72	49,83	50,95	23,14	8,6	49,47
Sg	12,51	30,42	49,84	51,51	23,51	8,8	51,44
Sg	12,55	30,26	51,21	53,09	23,86	9,76	52,13
Sg	12,51	30,54	50,91	51,49	23,6	9,33	49,74
Sg	12,47	30,72	51,04	51,98	23,8	9,57	49,55
Sg	12,45	30,47	50,47	52,66	23,82	9,47	52,13
Od	7,26	15,68	42,34	32,27	19,27	6,56	30,21
Od	7,34	16,63	44,20	31,98	21,19	6,27	30,02
Od	7,39	16,77	44,69	29,34	19,16	6,35	27,76
Od	7,29	15,80	42,82	29,46	19,28	6,28	26,99
Od	7,46	15,97	42,99	29,63	19,40	6,45	27,16
Od	7,97	16,15	43,17	29,70	19,60	6,68	27,34
Od	7,82	16,33	43,30	29,55	19,80	6,85	27,55
Od	7,94	16,50	43,59	30,19	19,99	6,65	27,69
Od	8,17	16,49	43,49	30,34	20,49	7,12	27,49
Od	7,32	16,22	43,55	30,75	19,50	6,35	28,75
Cp	5,95	11,55	30,29	15,1	19,4	7,05	14,03
Cp	6,65	13,36	30,38	16,13	19,6	6,2	15,85
Cp	5,99	13,05	31,18	17,34	17,15	6,54	16,94
Cp	7,44	14,65	29,96	16,23	20,88	7,21	15,39
Cp	5,89	10,68	32,97	18,51	18,87	6,24	17,91
Cp	6,31	14,14	37,46	18,34	19,33	7,07	17,23
Cp	6,23	11,19	37,95	18,62	20,21	6,9	17,65
Cp	7,13	13,99	33,03	18,09	19,62	6,98	17,52
Cp	5,87	10,56	32,69	18,25	18,58	6,05	17,95
Cp	5,67	11,54	35,19	19,45	19,54	5,88	19,06
Cw	5,95	11,55	34,29	0,1	19,4	7,05	27,03
Cw	6,65	13,36	34,38	30,13	19,6	6,2	29,85
Cw	5,99	13,05	39,18	30,34	17,15	6,54	26,94
Cw	7,44	14,65	41,96	33,23	20,88	7,21	31,39
Cw	5,89	10,68	32,97	27,51	18,87	6,24	26,91
Cw	6,31	14,14	37,46	28,34	19,33	7,07	27,23
Cw	6,23	11,19	37,95	30,62	20,21	6,9	28,65
Cw	7,13	13,99	40,03	31,09	19,62	6,98	29,52
Cw	5,87	10,56	32,69	27,25	18,58	6,05	25,95

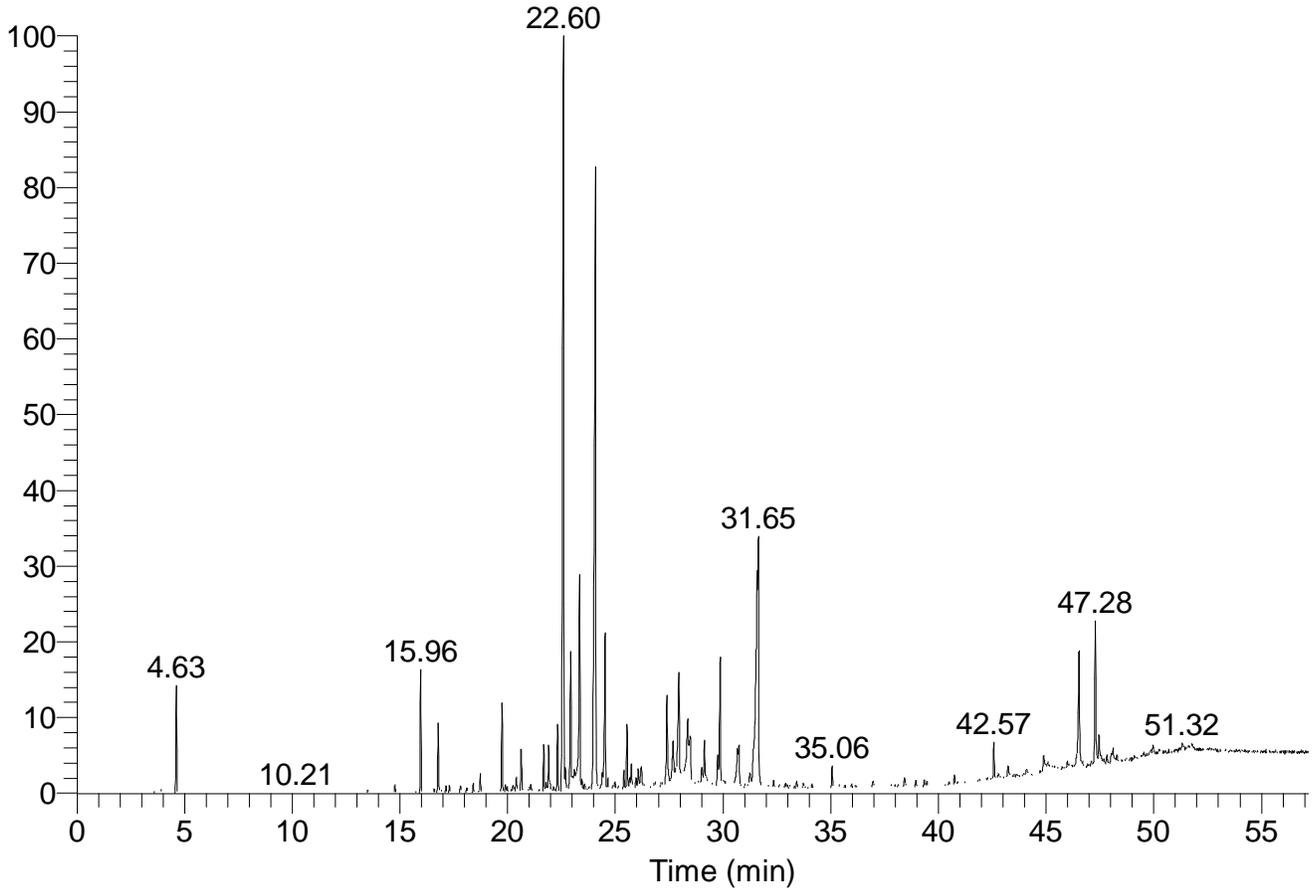
Cw	5,67	11,54	35,19	30,45	19,54	5,88	19,76
Dd	5,91	13,75	25,73	20,3	14,59	4,65	19,85
Dd	7,19	15,26	29,21	19,92	14,22	5,68	19,12
Dd	6,13	14,74	32,54	24,12	14,84	5,85	24
Dd	7,06	13,22	30,7	23,51	14,94	5,3	22,69
Dd	6,76	14,65	26,7	22,75	15,7	5,34	22,65
Dd	6,46	14,74	34,49	24,95	15,02	5,07	24,95
Dd	7,23	15,6	28,39	24,33	14,98	4,78	24,21
Dd	6,34	14,32	31,5	23,66	14,54	4,94	23,46
Dd	7,12	14,9	34,84	24,05	14,92	5,23	23,01
Dd	6,67	15,18	26,54	22	14,37	5,15	21,84
Om	5,96	12,31	28,62	27,43	14,21	5,68	21,49
Om	6,36	11,57	25,61	27,4	15,18	5,59	20,97
Om	6,06	13,22	24,13	25,89	15,76	4,79	21,57
Om	5,84	11,46	28,33	21,09	14,45	5,33	19,19
Om	6,59	13,11	24,87	24,61	14,68	5,72	23,34
Om	6,85	11,93	23,02	23,11	12,87	7,11	21,07
Om	7,73	12,94	25,41	27,18	13,91	7,41	24,61
Om	6,96	13,01	24,85	27,16	14,61	7,36	24,76
Om	7,81	12,09	24,56	27,17	16,01	7,85	24,81
Om	7,81	12,43	21,66	26,03	15,43	6,41	21,65
Dg	4,13	8,92	14,63	12,39	12,09	2,92	11,43
Dg	3,99	9,11	14,87	12,38	12,35	2,9	11,17
Dg	5,45	10,34	18,71	13,85	12,82	3,29	12,72
Dg	4,33	9,21	17,32	13,66	11,27	3,4	12,38
Dg	4,29	10,25	18,68	12,31	11,95	3,13	11,93
Dg	4,77	8,62	16,54	12,79	11,67	3,39	11,39
Dg	4,64	9,03	18,04	13,12	12,68	2,78	12,52
Dg	4,4	9,55	18,19	12,5	11,58	2,72	12,05
Dg	3,99	9,94	18,07	13,37	12,01	2,8	12,37
Dg	4,15	9,33	18,12	13,36	12,87	2,78	11,9
As	6,67	14,27	22,84	23,03	17,24	5,94	20,88
As	6,53	14,47	24,53	23,41	17,26	5,98	20,05
As	6,85	14,34	22,8	23,57	17,86	5,04	20,57
As	6,58	14,18	22,57	23,1	17,51	5,87	20,03
As	7,85	14,73	26,17	23,91	17,12	5,12	20,52
As	7,87	14,43	22,69	23,19	17,77	5,12	19,98
As	6,66	14,60	24,66	23,54	17,39	6,11	20,18
As	7,03	14,52	22,98	23,75	18,04	5,22	20,75
As	6,76	14,36	22,75	23,28	17,69	6,05	20,21
As	8,03	14,91	26,35	24,09	17,30	5,30	20,70

Ee	6,83	12,8	23,67	23,81	14,29	4,88	23,45
Ee	7,05	12,66	23,33	23,56	13	5,45	23,33
Ee	7,23	13,23	23,71	23,89	14,32	5,65	23,56
Ee	7,11	11,34	25,1	24,87	12,45	4,94	24,87
Ee	6,93	12,45	24,45	24,53	12,64	6,05	23,43
Ee	7,93	12,98	23,98	24,2	13,13	5,37	23,27
Ee	7,38	13,74	24,65	24,77	14,56	5,73	24,53
Ee	6,99	14,24	24,76	24,8	16	4,68	24,4
Ee	7,69	12,93	23,84	24,04	13,87	4,96	23,5
Ee	6,44	13,73	24,78	24,88	14,79	5,56	24,49
Dm	6,13	14,74	32,54	25,94	14,84	5,85	25,01
Dm	7,12	14,9	34,84	25,06	14,92	5,23	24,02
Dm	7,7	15,54	27,52	23,1	16,38	6,44	22,65
Dm	8,98	17,05	31	22,92	16,01	7,47	22,72
Dm	8,46	16,97	28,33	24,8	16,16	6,94	24,64
Dm	8,85	15,01	32,49	26,31	16,73	7,09	25,49
Dm	8,91	16,69	36,63	26,85	16,71	7,02	25,81
Dm	8,25	16,53	36,28	28,75	16,81	6,86	27,75
Dm	7,92	16,53	34,33	27,73	16,63	7,64	26,8
Dm	7,19	13,13	24,03	22,04	14,26	6,26	21,36
Of	5,79	12,54	23,68	23,08	16,1	5,78	20,97
Of	6,59	13,01	24,82	22,24	15,78	5,59	19,56
Of	5,89	11,23	24,23	27,27	13,39	5,49	26,35
Of	6,01	13,14	26,02	27,4	14,79	5,83	18,23
Of	6,22	12,64	24,45	21,87	15,41	5,22	19,19
Of	6,31	12,91	28,46	27,3	14,81	5,46	24,23
Of	5,99	12,72	24,26	22,99	15,99	5,03	20,77
Of	6,55	12,58	23,77	21,56	13,55	4,34	18,62
Of	5,72	12,36	26,73	21,14	13,65	4,56	21,06
Of	5,71	12,01	25,73	27	14,01	4,71	24,85
Ai	3,13	7,44	20,3	20,27	11,87	2,94	20,23
Ai	3,65	6,87	20	20	13,49	3,75	19,8
Ai	3,5	6,66	23,02	22,91	11,17	3,49	22,87
Ai	3,11	7,23	20,7	19,6	12,26	2,99	19,55
Ai	4,58	10,03	16,35	13,56	11,18	2,89	13,45
Ai	3,47	8,46	14,53	12,78	7,65	3,78	11,19
Ai	4,3	9,9	15,95	13,88	10,78	2,91	12,76
Ai	3,31	8,98	15,08	13,67	8,17	2,88	12,36
Ai	4,51	9,35	15,44	13,87	10,57	3,45	12,32
Ai	4,22	8,34	14,55	12,76	9,89	3,78	12,55
Cb	5,64	10,70	20,11	16,97	12,08	5,49	16,77

Cb	6,11	12,15	20,58	16,80	12,30	5,18	16,70
Cb	6,41	11,01	20,88	15,16	12,62	5,89	15,06
Cb	6,73	11,33	21,20	16,48	12,46	6,03	16,16
Cb	7,14	11,74	21,61	17,89	13,23	6,06	17,02
Cb	7,36	11,96	21,83	16,11	13,36	6,34	16,10
Cb	7,67	12,22	22,09	15,37	13,72	6,74	15,12
Cb	7,83	12,40	22,27	16,55	14,30	6,74	16,18
Cb	6,08	12,60	22,47	15,75	14,83	6,31	15,56
Cb	6,16	12,76	22,63	14,91	14,16	5,37	14,56

Liste des pics CPG/SM (*Eucalyptus globulus*)

RT: 0.00 - 60.02



PEAK LIST

Eucalyptus globulus

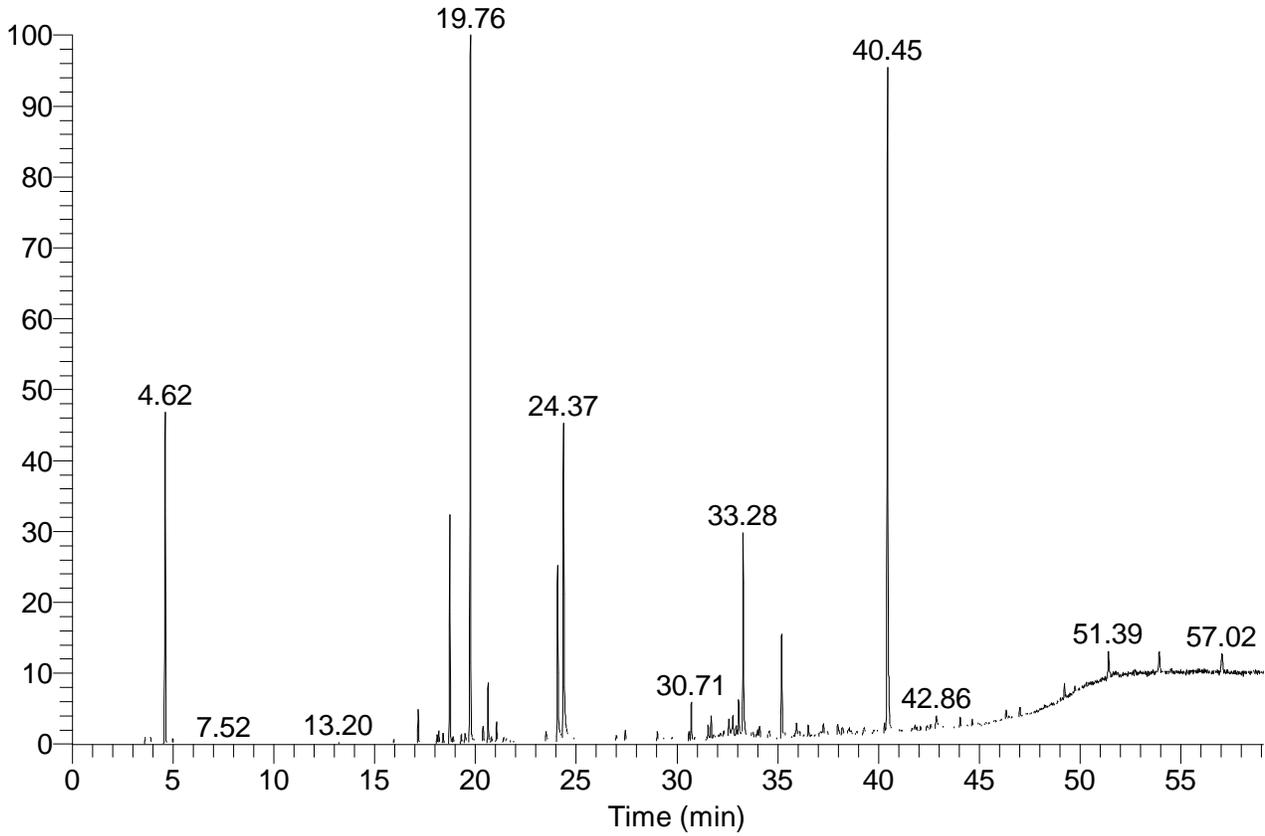
RT: 0.00 - 60.02

Number of detected peaks: 11

Apex RT	Start RT	End RT	Area	%Area	Height	%Height
4.63	3.6	4.68	67522454	2.77	19224179	4.14
15.96	15.9	16.02	53831970	2.2	22046563	4.75
19.74	19.52	19.83	45911590	1.88	15986819	3.44
22.6	22.47	22.73	5.8E+08	23.75	1.35E+08	29.06
24.08	23.91	24.18	5.18E+08	21.22	1.11E+08	23.95
24.53	24.29	24.59	1.04E+08	4.26	27736297	5.97
27.95	27.28	28.62	3.72E+08	15.26	20032001	4.31
29.87	29.69	30.12	98489513	4.03	22663446	4.88
31.65	31.14	31.76	3.95E+08	16.17	44684738	9.63
46.53	46.34	46.71	99180500	4.06	20401422	4.39
47.28	47.16	47.71	1.07E+08	4.39	25414145	5.47

Liste des pics CPG/SM (*Artemisia absinthium*)

RT: 0.00 - 60.03



Artemisia absinthium

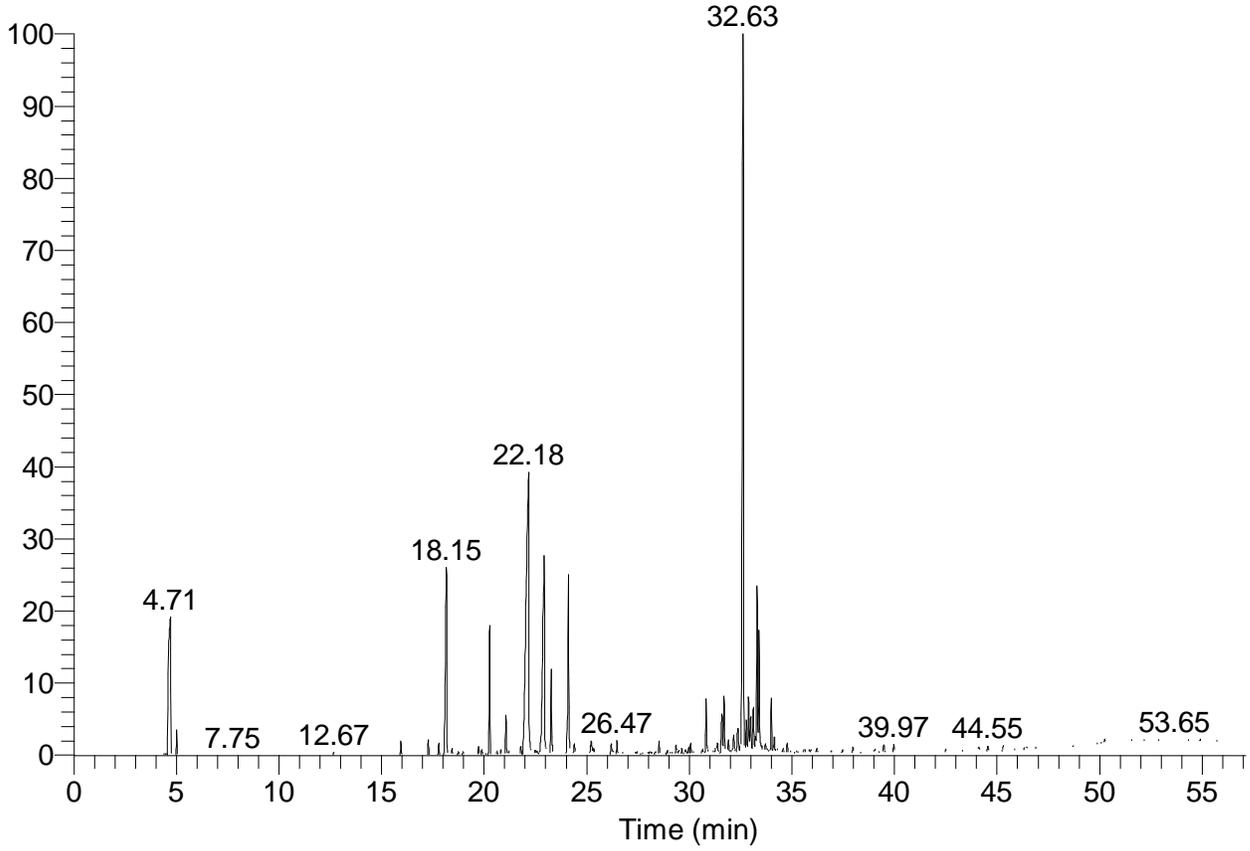
RT: 0.00 - 60.03

Number of detected peaks: 7

Apex RT	Start RT	End RT	Area	%Area	Height	%Height
4.62	3.59	4.68	1.16E+08	13.34	32057133	12.97
18.73	18.68	18.82	55101083	6.34	22052329	8.92
19.76	19.46	19.87	1.97E+08	22.68	68402460	27.68
24.37	24.02	25.09	1.78E+08	20.5	30759921	12.45
33.28	32.9	33.43	73848160	8.49	19685736	7.97
35.19	35.14	35.48	31946275	3.67	9923011	4.02
40.45	40.26	40.64	2.17E+08	24.98	64238862	26

Liste des pics CPG/SM (*Mentha pulegium*)

RT: 0.00 - 60.01



PEAK LIST

Mentha pulegium

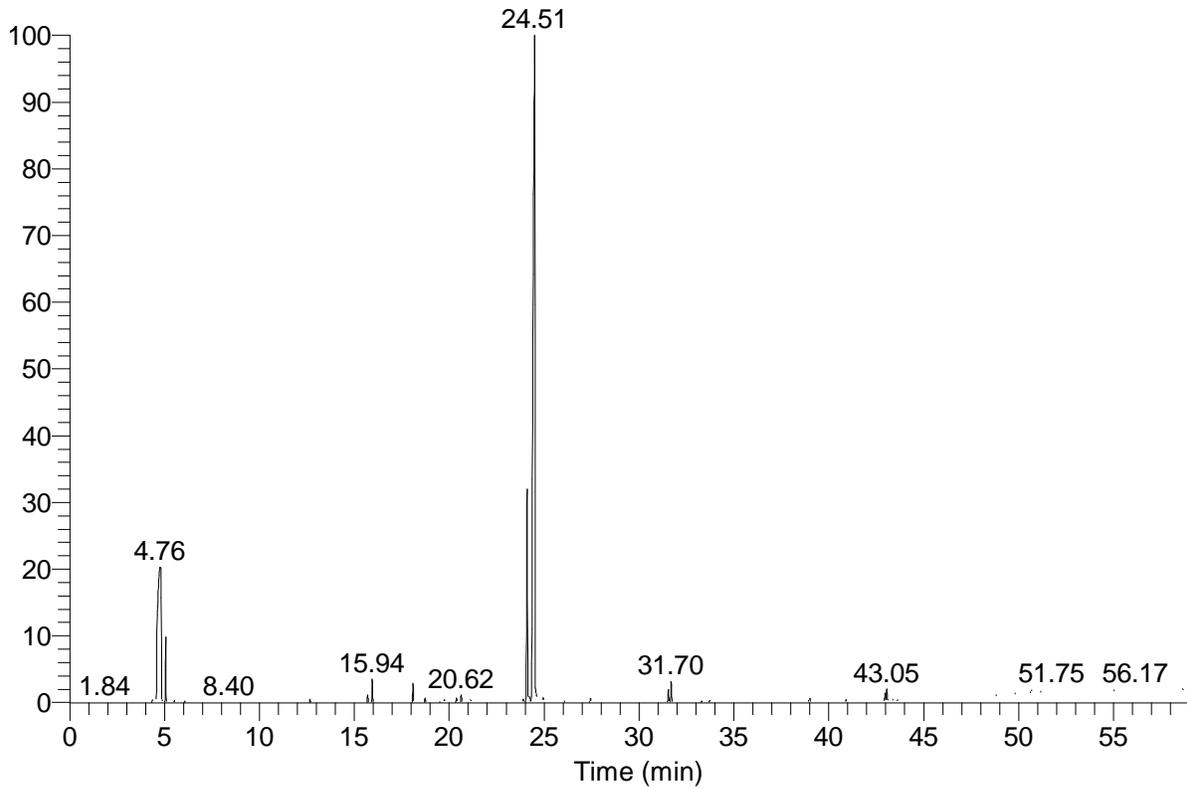
RT: 0.00 - 60.01

Number of detected peaks: 8

Apex RT	Start RT	End RT	Area	%Area	Height	%Height
4.71	3.6	4.81	4.96E+08	9.39	62856601	6.94
18.15	18.02	18.26	3.87E+08	7.32	85099758	9.39
20.27	20.19	20.32	1.58E+08	2.99	58603596	6.47
22.18	21.88	22.36	1.23E+09	23.19	1.28E+08	14.11
22.94	22.66	23.37	7.13E+08	13.48	90101418	9.94
24.11	24	24.48	2.93E+08	5.54	81339784	8.98
32.63	32.3	33.04	1.57E+09	29.64	3.26E+08	35.97
33.3	33.05	33.56	4.46E+08	8.44	74250925	8.2

Liste des pics CPG/SM (*Origanum compactum*)

RT: 0.00 - 60.01



PEAK LIST

Origanum compactum

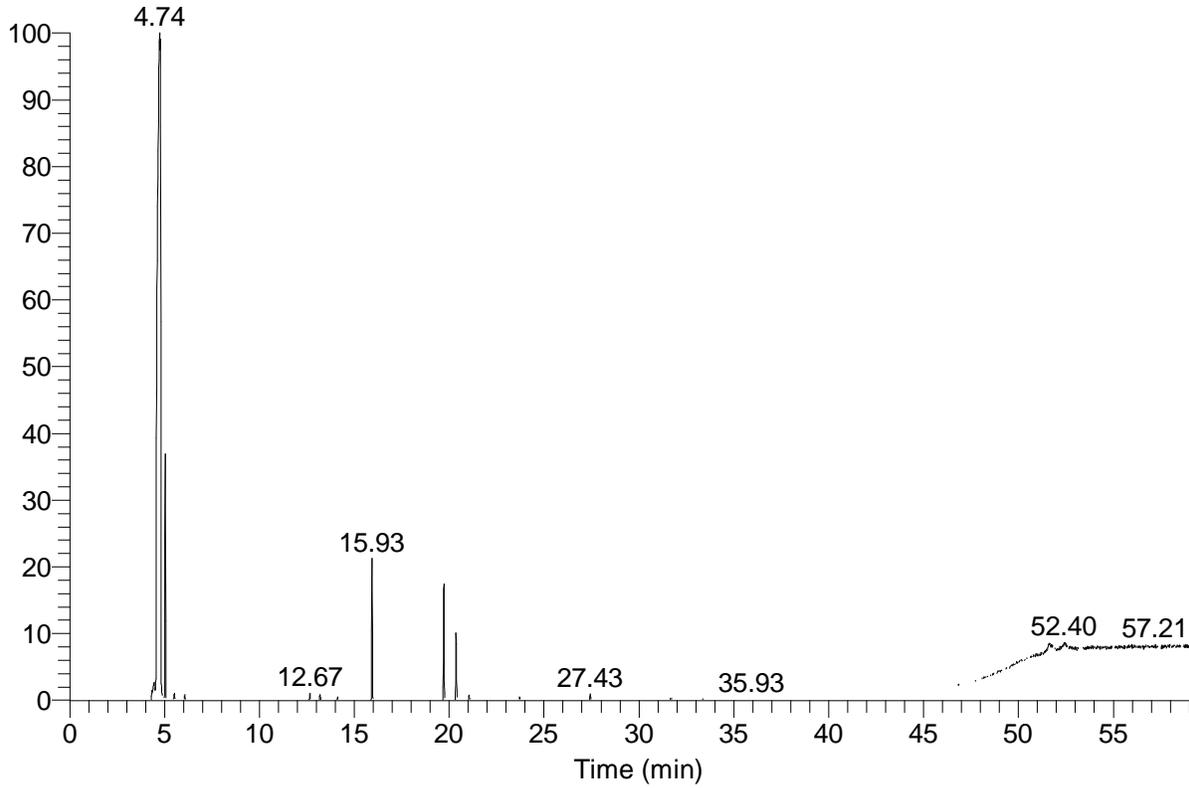
RT: 0.00 - 60.01

Number of detected peaks: 3

Apex RT	Start RT	End RT	Area	%Area	Height	%Height
4.76	4.33	4.94	9.96E+08	26.6	73980534	13.36
24.1	24.03	24.29	3.68E+08	9.82	1.16E+08	20.99
24.51	24.29	24.72	2.38E+09	63.58	3.64E+08	65.65

Liste des pics CPG/SM (*Rosmarinus officinalis*)

RT: 0.00 - 60.03



PEAK LIST

Rosmarinus

officinalis

RT: 0.00 - 60.03

Number of detected peaks: 4

Apex RT	Start RT	End RT	Area	%Area	Height	%Height
4.74	4.3	4.91	9.65E+08	91.08	77649640	67.23
15.93	15.87	16.02	38349231	3.62	16510982	14.3
19.72	19.66	19.86	34395578	3.25	13527570	11.71
20.36	20	20.65	21798390	2.06	7812045	6.76