

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET PUBLIQUE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة الإخوة منتوري قسنطينة
Université Frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie Animale

N° d'ordre

N° de série.....

THESE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
DOCTORAT 3^{EME} CYCLE

Spécialité : Biologie Animale
Option : Biodiversité et écologie des arthropodes

**La faune acridienne inféodée à la végétation
environnante des lacs salés de l'Est algérien (Chott
Tinsilt - Oum El Bouaghi)**

Présentée par :

MAHLOUL SARRA

Devant le jury :

| | | |
|----------------------|-------------------------------|--|
| Président : | Mr. Hamra-Kroua Salah Pr. | Université Frères Mentouri-Constantine |
| Directeur de thèse : | Mr. HarratAbboud Pr. | Université Frères Mentouri-Constantine |
| Examineurs : | Mr. Petit Daniel Pr | Université de Limoges-France |
| | Mme. Allal-Benfekih Leila Pr. | Université Saâd Dahlab Blida |
| | Mr. Moussi Abdelhamid MCA | Université Mohamed Khider Biskra |

Soutenu le : .../.../2017

Remerciements

Je voudrais tout d'abord exprimer ma profonde gratitude à mon directeur de thèse Monsieur HARRAT Abboud, Professeur à l'université des Frères Mentouri de Constantine, pour avoir accepté de diriger ce travail, pour m'avoir fait bénéficier de son expérience et pour m'avoir aidé, conseillé, et orienté. Je lui réitère ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements.

Je tiens tout particulièrement à remercier Monsieur PETIT Daniel, maître de conférence à la Faculté des Sciences et Techniques de Limoges, pour avoir accepté de co-diriger avec beaucoup d'attention et de soin cette thèse. Je lui suis très reconnaissante pour sa disponibilité, sa bienveillance et son soutien permanent, et d'avoir prêté un intérêt constant au sujet de la thèse. Je lui dois beaucoup pour le contenu du travail présenté, pour ses critiques constructives et son aide aux différentes entraves rencontrées, pour sa gentillesse et ses qualités humaines.

Je tiens à remercier Monsieur HAMRA KROUA Salah, Professeur à l'université des Frères Mentouri de Constantine et qui me fait l'honneur de présider mon jury, pour ses conseils et son soutien qui m'étaient d'une grande aide.

J'ai le plaisir, aussi, de remercier Madame ALLAL-BENFEKIH Leila, Professeur à l'université de Blida, pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Je tiens à remercier Monsieur MOUSSI Abderrahmane Maître de conférences à l'université de Biskra d'avoir acceptées d'examiner ce travail.

Je n'oublie pas de remercier mon père, ma mère, mes frères et sœurs ainsi que mes amis pour leurs encouragements et leurs aides.

Enfin, que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| Liste des figures | iv |
| Liste des tableaux | v |
| INTRODUCTION | 2 |
| CHAPITRE I | |
| DONEES BIBLIOGRAPHIQUES | |
| 1. La Faune Acridienne | 6 |
| 1.1. Systématique et classification des Orthoptères | 6 |
| 1.2. Morphologie général des Acridiens | 7 |
| 1.3. Biologie des Acridiens | 8 |
| 1.4. Ecologie des Acridiens | 8 |
| 2. Concepts des Chotts et Sebkhass | 11 |
| 2.1. Les lacs salés dans le monde | 11 |
| 2.2. Les lacs salés en Algérie | 12 |
| 2. 3. Aspect pédologique | 12 |
| 2. 4. Richesse floristique | 13 |
| CHAPITRE II | |
| PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE | |
| ET METHODOLOGIE DE TRAVAIL | |
| 1. Présentation de la région d'étude | 16 |
| 1.1. Cadre général | 16 |
| <i>Généralités sur les zones humides des hautes plaines de l'Est-algérien</i> | |

| | |
|---|-----------|
| 1.2. Présentation du site <i>Chott Tinsilt</i> | 17 |
| 1.2.1. Situation géographique | 17 |
| 1.2.2. Caractéristiques hydrogéologiques | 17 |
| 1.2.3. Caractéristiques édaphiques | 18 |
| 1.2.4. Caractéristiques écologiques | 18 |
| 1.3. Climatologie | 18 |
| 1.3.1. Les précipitations | 19 |
| 1.3.2. Les températures | 20 |
| 1.3.3. L'humidité relative | 20 |
| 1.3.4. Le diagramme Ombrothermique | 21 |
| 1.3.5. Le quotient pluviothermique d'EMBERGER | 22 |
| 1.3.6. Synthèse climatique | 24 |
| 2. Echantillonnage | 25 |
| 2.1. Description de la végétation | 25 |
| 2.1.1. Choix du type des relevés floristiques | 25 |
| 2.1.2. Relève floristique | 25 |
| 2.2. Relevés entomologiques | 26 |
| 2.2.1. Méthode d'échantillonnage | 26 |
| 2.2.2. Déroulement des prospections | 26 |
| 2.2.3. Préparation et conservation des insectes | 27 |
| 2.2.4. Détermination des espèces récoltées | 27 |
| 2.2.5. Etude du régime alimentaire | 28 |
| 2.2.6. Dénombrement des sensilles | 29 |
| 2.2.7. Etude des déplacements | 29 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.8. Morphométrie | 30 |
| 2.3. Échantillonnage du sol et analyse de la salinité | 30 |
| 2.3.1. Dosage des ions CL^- et SO_4^{-2} | 31 |
| 2.3.2. Dosage de Na^+ | 31 |
| 2.4. Analyse statistique des données | 31 |
| 2.4.1. Paramètres descriptifs des peuplements | 32 |
| 2.4.1.1. Nombre d'individus et richesse spécifique | 32 |
| 2.4.1.2. Indice de diversité de Shannon-Weaver (H') | 32 |
| 2.4.1.3. Indice d'équitabilité (E) | 33 |
| 2.4.1.4. Densité | 33 |
| 2.4.2. Exploitation des résultats par les indices écologiques (Analyses multivariées) | 34 |
| 2.4.2.1. Analyse de similarité (ANOSIM) | 34 |
| 2.4.2.2. L'analyse factorielle des correspondances (AFC) | 34 |
| 2.4.2.3. La classification ascendante hiérarchique (CAH) | 34 |
| 2.4.2.4. L'analyse canonique des correspondantes (ACC) | 35 |

CHAPITRE III

RESULTATS

| | |
|--|-----------|
| 1. Etude de la salinité du sol | 37 |
| 2. Description de la végétation | 40 |
| 2.1. Inventaire floristique | 40 |
| 2.2. Caractérisation biologique | 41 |
| 2.3. Analyse de la diversité | 42 |
| 2.4. Analyse des assemblages | 43 |
| 2.5. Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) | 43 |
| 3. Analyse du peuplement Acridien inféodé au <i>Chott Tinsilt</i> | 48 |

| | |
|--|----|
| 3.1. Composition globale de la faune acridienne | 48 |
| 3.2. Paramètre descriptifs du peuplement orthoptère | 49 |
| 3.2.1. Richesse spécifique et effort d'échantillonnage | 49 |
| 3.2.2. Les indices de diversité | 50 |
| 3.2.3 Densité | 51 |
| 3.2.4 Caractéristiques écologiques | 53 |
| 3.2.4.1 Analyse de similarité | 53 |
| 3.2.4.2 Analyse Factorielle des Correspondances | 53 |
| 3.2.4.3 Analyse Canonique des Correspondances | 57 |
| 3.2.5 Biologie des espèces | 59 |
| 3.2.6 Morphométrie et capacité du déplacement | 61 |
| 3.2.7 Régime alimentaire | 64 |
| 3.2.8 Composition des sensilles du labre | 65 |

CHAPITRE IV

DISCUSSION ET CONCLUSION

| | |
|-------------------|-----------|
| Discussion | 72 |
|-------------------|-----------|

| | |
|----------------------------------|-----------|
| Conclusion et perspective | 76 |
|----------------------------------|-----------|

| | |
|------------------------------------|-----------|
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 77 |
|------------------------------------|-----------|

ANNEXES

Liste des figures

| | |
|--|-----------|
| Figure 1. Situation géographique du complexe des zones humides des wilayas d'Oum El-Bouaghi, Khenchela et Batna. | 16 |
| Figure 2. Variations mensuelles des précipitations 2001-2014 dans la région d'étude. | 19 |
| Figure 3. Histogramme des variations de la Température moyenne mensuelle de la région d'étude (2001- 2014). | 20 |
| Figure 4. Diagramme Ombrothermique de la région d'Oum El-Bouaghi. | 22 |
| Figure 4'. Climagramme d'Emberger de la région d'Oum El-Bouaghi de 2001 à 2014. | 23 |
| Figure 5. Variations mensuelles des concentrations du Cl^- et Na^+ dans les trois ceintures à différentes profondeurs (5, 10 et 20 cm). | 37 |
| Figure 6. Variations mensuelles des concentrations du SO_4^{2-} dans les trois ceintures à différentes profondeurs (5, 10 et 20 cm). | 38 |
| Figure 7. Variations mensuelles de la moyenne des salinités enregistrées dans les trois ceintures. | 39 |
| Figure 8. Spectre biologique de la composition floristique. | 42 |
| Figure 9. Représentation des classes phytosociologiques dans le plan F1-F2 de l'Analyse Factorielle des Correspondances. | 44 |
| Figure 10. Dendrogramme des associations phytosociologiques enregistrées Dans les trois ceintures. | 46 |
| Figure 11. La richesse spécifique théorique des ceintures estimée à partir du nombre de prélèvements. | 49 |
| Figure 12. <i>Dericorys millierei</i> (Bonnet & Finot, 1884) | 51 |
| Figure 13. Les variations mensuelles des densités des orthoptères pour chaque ceinture. | 52 |
| Figure 14. Représentation des espèces dans le plan F1-F2 de l'Analyse Factorielle des Correspondances. | 54 |
| Figure 15. Représentation des espèces dans le plan F1-F3 de l'Analyse Factorielle des | 56 |

Correspondances.

- Figure 16.** Projection d'analyse canonique des correspondances en deux dimensions. **58**
- Figure 17.** Variation mensuelles de la densité des espèces caractéristiques dans les trois ceintures. **61**
- Figure 18.** Longueur de vol des mâles et des femelles des deux espèces *Dericorys millierei* et *Calliptamus barbarus* en réponse aux différents stimuli **61**
- Figure 19.** Représentation graphique d'une (ACP) appliquée aux données morphométries de *Calliptamus barbarus* et *Dericorys millierei*. **62**
- Figure 20.** Comparaison par ANCOVA entre les rapports longueur des élytres/ longueur totale des mâles et des femelles des deux espèces *Dericorys millierei* et *Calliptamus barbarus*. **63**
- Figure 21.** Comparaison par ANCOVA entre les rapports largeur des fémurs/ longueur totale des mâles et des femelles des deux espèces *Dericorys millierei* et *Calliptamus barbarus* . **63**
- Figure 22.** Régime alimentaire de *Dericorys millierei* récoltés dans la ceinture interne **64**
- Figure 23.** Photo du labre de *Dericorys millierei*, prise au microscope optique (Gx100) **65**
- Figure 24.** Nombre moyen des sensilles des mâles (a) et des femelles (b) des différentes espèces étudiées. **66**
- Figure 25.** Droites de régression linéaire de la largeur du labre en fonction du nombre de sensilles (A : sensilles A1, B: sensilles A2, C : sensilles A3). **68**
- Figure 26.** Variations du nombre résiduel des sensilles en fonction du régime alimentaire. (A : sensilles A1, B: sensilles A2, C : sensilles A3). **69**

Liste des tableaux

| | |
|--|-----------|
| Tableau 1. La répartition saisonnière des précipitations moyennes mensuelles 2001-2014. | 19 |
| Tableau 2. Moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air (H.R.) en (%) de 2001 à 2014. | 21 |
| Tableau 3. Composition floristique globale de la station d'étude. | 40 |
| Tableau 4. Paramètres descriptifs de la végétation des trois ceintures. | 42 |
| Tableau 5. Comparaison des assemblages par ANOSIM (Bray-Curtis comme mesure de distance à 10000 permutations). | 43 |
| Tableau 6. Inventaire récapitulatif des espèces Orthoptères récoltées au niveau du <i>chott Tinsilt</i> . | 48 |
| Tableau 7. Paramètre descriptifs du peuplement orthoptère dans les trois ceintures. | 50 |
| Tableau 8. Comparaison des assemblages par ANOSIM (Bray-Curtis comme mesure de distance à 10000 permutations). | 53 |
| Tableau 9. Les 5 assemblages Acridiens. | 57 |
| Tableau 10. Coefficients de corrélation de Pearson (r) entre le nombre de sensilles et la largeur du labre. | 67 |

INTRODUCTION

Introduction

De par leur position d'interface entre milieu terrestre et milieu aquatique, les zones humides sont de véritables réservoirs de biodiversité et figurent parmi les écosystèmes les plus riches d'un point de vue écologique. A la fois lieux d'abri, d'approvisionnement et de reproduction, les zones humides hébergent une diversité exceptionnelle d'espèces animales et végétales, dont de nombreuses espèces endémiques parmi lesquelles divers oiseaux, poissons, reptiles, amphibiens, mollusques, crustacés, insectes et autres invertébrés.

Malgré leur rôle fondamental d'un point de vue écologique, économique, social et culturel, les zones humides n'en sont pas moins l'un des écosystèmes les plus menacés. Ces milieux fragiles n'échappent pas à une dynamique de destruction sans pareil qui remet en cause l'existence d'un nombre très important d'espèces floristiques et faunistiques. Diverses pressions, essentiellement anthropiques, menacent les zones humides de dégradation et de disparition : changement d'affectation des terres – principalement pour l'agriculture – surexploitation de l'eau, pollution et eutrophisation, et plus récemment, changements climatiques. Ces pressions peuvent être directes, indirectes ou cumulées, et conduisent le plus souvent à une érosion accélérée de la biodiversité de ces zones.

L'érosion de la biodiversité ne se traduit pas seulement par la réduction du nombre d'espèces, mais aussi par une modification de la structure et de la dynamique des communautés animales et végétales. Les mécanismes qui régulent les effectifs des populations ainsi que la nature et l'intensité des interactions entre ces espèces sont altérés.

Les Orthoptères, insectes dont la biomasse est en général la plus importante de l'entomofaune des cultures, des friches, des jachères ainsi que des pâturages, sont sensibles aux modifications de la structure végétale et représentent de bons indicateurs de la biodiversité, des fluctuations des écosystèmes, et des stress environnementaux (Boitier, 2006). Selon les espèces, les orthoptères présentent des préférences écologiques très divers. A côté d'espèces euryèces qui s'accommodent de conditions très variées et colonisent des milieux très divers, se trouvent des espèces sténoèces qui ne peuvent se développer que dans certains milieux très spécialisés, parfaitement adaptés à leurs exigences écologiques. La présence, l'abondance et la diversité de ces insectes constituent donc des paramètres pertinents pour l'évaluation de la valeur écologique des milieux naturels. Ils constituent à ce titre un sujet de choix pour tout ce qui concerne les problématiques de gestion et de conservation, et plus particulièrement celles concernant les milieux humides.

Bien que, souvent considérés parmi les organismes envahissants, capables de migration spectaculaires et de transformation phasaire (Doré, 2010), De nombreuses espèces d'orthoptères sont aujourd'hui menacées d'extinction par les atteintes à l'environnement. Les espèces hautement spécialisées sur des milieux précis (prés salés, plages de graviers des cours d'eau,...) ainsi que celles inféodées aux milieux humides sont les plus fortement menacées. Des études approfondies en Allemagne ont montré que 49% de la faune *orthoptérique* allemande est menacée à plus ou moins long terme. Six espèces ont déjà disparu et onze sont au bord de l'extinction (Harz, 1984 ; Bellmann 1988). En France, une liste rouge publiée récemment (Sardet *et al.*, 2004) considère que 37% des 216 espèces et sous-espèces françaises méritent un état de veille. Parmi celles-ci, 10 espèces sont proches de l'extinction et doivent faire l'objet d'actions concrètes à court terme, 23 espèces sont fortement menacées et 46 espèces paraissent menacées et sont à surveiller. En Algérie, différents travaux sur les orthoptères ont fait progresser les savoirs sur ces insectes, mais la liste nationale des Orthoptères sur laquelle l'on pourrait s'appuyer pour la gestion patrimoniale de la nature n'est pas encore tout à fait établie. Il n'existe par ailleurs aucune publication scientifique qui établisse un bilan du déclin des espèces orthoptériques en Algérie (Sobhi *et al.*, 2013).

Le bassin méditerranéen dont fait partie l'Algérie se compte parmi les régions du monde les plus riches en terme de biodiversité faunistique et floristique (Myers *et al.*, 2000). Dans cette région, les zones humides regroupent une grande variété d'habitats naturels : deltas des fleuves, lacs et marais (eau douce, saumâtre ou salée), rivières permanentes ou oueds, forêts inondables des bordures de fleuves, ou bien salines et lacs de barrage.

Les dépressions continentales salées occupées par des lacs temporaires (chotts de plus grande surface, sebkhas de plus faible surface) comptent parmi les zones humides les plus étendues. Elles se développent dans les hautes steppes arides ou semi-arides, sous l'effet conjugué de pluies torrentielles subites et d'un ruissellement rapide dans des paysages quasi désertiques. Ces zones constituent non seulement des sites de reproduction et d'hivernage pour l'avifaune mais jouent également le rôle d'étape pour un nombre d'espèces d'oiseaux qui s'y nourrissent et s'y reposent lors de leurs migrations annuelles entre l'Afrique et le nord de l'Europe et de l'Asie (Houhamdi *et al.*, 2009). Ces fonctions reflètent la grande qualité biologique de ces sites et leur assurent le statut de zone protégée par la convention de RAMSAR. Parmi les zones humides nord africaines d'importance internationale, le complexe des chotts des hauts plateaux constantinois situé à l'est de l'Algérie, éparpillés entre les wilayas d'Oum El Bouagui, Khenchela et Batna sur une longueur de 300 Km, couvre une superficie de 55000 ha. Quinze

plans d'eau (dont 9 classés RAMSAR) peu profonds et aux eaux plus ou moins salées composent cet éco-complexe à des altitudes variant entre 800 et 1200 m.

Dans ces chotts, la végétation permanente est éparpillée avec des îlots de verdure chaque fois que l'eau est présente. Les communautés végétales des chotts sont caractérisées par un modèle de zonage distinct qui se définit à travers la capacité et la tolérance des plantes au stress de la salinité les inondations et la concurrence (Pennings *et al.*, 2005). Ces vastes zones humides ne font l'objet de suivis et d'inventaires réguliers de l'avifaune aquatique depuis la découverte de la nidification du Flamant rose dans la région (Houhamdi *et al.*, 2009). La biodiversité faunistique et floristique est très négligée, encore moins l'entomofaune inféodée à la végétation environnant des lacs salés. Chenchouni (2010) donne une liste préliminaire des espèces présente dans le site. De ce fait, notre propos est de se focaliser sur les Acridiens (Orthoptera, Acridomorpha),

Le but de cette étude est dans un premier temps de décrire les peuplements inféodés aux différentes ceintures végétales, leurs variations saisonnières et établir la liste des espèces caractéristiques de chaque groupe. Dans un deuxième temps, nous nous proposons d'étudier précisément les espèces d'acridiens caractéristiques des zones les plus internes, c'est-à-dire les plus proches de l'eau libre. Sachant que les plantes de milieu sont généralement halophiles et que le sol est humide une partie de l'année, on peut se demander s'ils trouvent leurs ressources trophiques au sein de cette même ceinture ou s'ils effectuent des déplacements pour trouver des végétaux appropriés. De même, est-ce que ces espèces pondent dans le sol sur place ou dans une autre ceinture, ou dans des tiges de plantes comme dans le cas de *Chrysochraon dispar* qui évite ainsi la noyade des oothèques. Pour caractériser la biologie de ce genre d'insecte, il sera nécessaire de faire une comparaison avec d'autres espèces abondantes sur les ceintures plus externes. Le travail va consister à décrire la végétation et le sol et particulièrement les variations mensuelles de sels à différentes profondeurs, en relation avec les variations climatiques. Les insectes seront suivis par des relevés mensuels. En outre la biologie des espèces caractéristiques suivront des protocoles établis pour ce qui concerne les déplacements ((Picaud *et al.*, 2007), (Mokhlesse 2008)), les régimes alimentaires (Ben Halima *et al.*, 1984 ; et Allal-Benfekih, 2006) ainsi que la composition de leurs sensilles au niveau de la face épipharyngiale du labre (Picaud *et al.*, 2003, El Ghadraoui, 2002).

CHAPITRE I
DONES
BIBLIOGRAPHIQUES

3. La Faune Acridienne

1.1. Systématique et classification des Orthoptères

Les Orthoptères sont des Insectes regroupés dans l'ordre des *Orthoptera* Latreille, 1793. Ils ont en commun de présenter des ailes droites, dont la paire antérieure (les tegmina) est coriace et protège la paire postérieure ; chez certaines espèces, les ailes sont très réduites, voire inexistantes. Leurs pattes postérieures sont très développées et adaptées au saut. La partie la plus visible du thorax en face dorsale est le pronotum, qui se compose d'une partie supérieure plate et de deux lobes latéraux; il recouvre la base des ailes. Ils émettent pour la plupart des stridulations ; celles-ci servent généralement aux mâles pour attirer les femelles. Ils se divisent en deux sous-ordres :

D'après Eades *et al.*, (2011), les acridiens sont des insectes répartis en superfamilles appartenant à deux groupes: Acridomorpha et Tetrigoidea, infra-ordre Acrididea, sub-ordre des Caelifera et ordre des Orthoptera.

Les Ensifères (sauterelles et grillons) présentent des antennes fines très développées, composées de plus de trente articles et généralement plus longues que le corps. Les femelles sont pourvues à l'extrémité de leur abdomen d'un oviscapte, organe en forme de sabre ou de tube qui sert à déposer les œufs dans le sol ou les végétaux. Leur organe auditif se trouve dans les tibias antérieurs. Les stridulations sont émises en frottant les tegmina l'une sur l'autre, le tegmen gauche comportant une râpe (crête stridulatoire) et le droit un grattoir (archet) et une surface de résonance (miroir). Leur régime alimentaire se compose généralement de végétaux et de petits animaux, mais certaines grandes espèces ne se nourrissent que d'insectes.

Les Caelifères (criquets) sont des criquets (locustes et sautereaux) qui ont des antennes courtes bien que multiarticulées. Les valves génitales des femelles sont robustes et courtes. L'organe stridulant des mâles est constitué par une crête du fémur postérieur frottant sur une nervure intercalaire des élytres. Les organes tympaniques sont situés sur les côtés du premier segment abdominal. Les œufs sont généralement pondus en masse, enrobés ou surmontés de matière spumeuse et enfouis dans le sol par la pénétration presque totale de l'abdomen. Les criquets sont essentiellement phytophages et plus actifs en plein soleil.

Les *Caelifères* anciennement appelés *locustodés*, Leur taxonomie est largement fondée sur les travaux de Chopard (1943) portant sur environ 10.000 espèces acridiennes de la faune du Sahel. Bien qu'ancienne, la faune des Orthoptéroïdes de l'Afrique du Nord (Chopard, 1943)

reste une référence précieuse pour la détermination des acridiens. Depuis son apparition, plusieurs genres ont été révisés et la classification des Orthoptères a subi plusieurs remaniements et des nouvelles espèces ont été décrites (Louveaux *et al.*, 1987). La classification retenue dans Orthoptera Species Files (Eades *et al.*, 2012) cite trois groupes dans ce sous-ordre : Les Tridactyloidea, les Tetrigoidea et les Acridomorpha. Ce dernier comprend sept super-familles (Flook *et al.*, 2000).

1.2. Morphologie général des Acridiens

Les Acridiens sont des *Caelifères* dont la taille varie de 7 mm pour les plus petits, à 12 cm, avec une envergure alaire de 23 cm pour les plus grands. Le corps est plutôt cylindrique, renflé ou rétréci aux extrémités. Les variations selon les espèces portent aussi bien sur la forme générale du corps que sur la coloration, la rugosité des téguments 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 son environnement.

La tête est de type orthognathe, ovale ou parfois conique, le vertex s'avance et présente de chaque côté des fovéoles temporales sous forme de petite fossette quadrangulaire ou triangulaire plus ou moins réduites selon les espèces. Le front vertical ou oblique porte les trois ocelles disposés en triangle : 2 postérieures placés entre les yeux et les antennes et un antérieure au milieu de la côte frontale, cette dernière est large ou rétrécie délimitée par deux carènes longitudinales élevée ou aplatie. Les deux yeux composés formés chacun d'un groupement d'yeux élémentaires. Les antennes généralement filiforme, composés d'un article basale appelé scapte le reste forme le flagelle. Ces insectes sont des broyeurs typiques.

Le thorax est situé entre la tête et l'abdomen, composé de trois segments distincts : le prothorax, le mésothorax, le métathorax, qui portent les organes locomoteurs. Le pronotum est la partie la plus ample du thorax, et présente en générale une carène médiane et deux carènes latérales, interrompues par des sillons transversaux donnant des caractères systématiques importants.

Les trois paires de pattes sont insérées sur le thorax entre les pleurites et le sternite de chaque segment. Chaque patte comporte cinq parties : la hanche, le trochanter, le fémur, tibia et le tarse.

Les ailes sont dépendantes du mésothorax et du métathorax ; la première paire antérieure ou élytre sclérifiée, plus ou moins rigide, recouvrant les ailes postérieures membranaires. Les ailes fournissent un certain nombre de caractéristiques utile à la détermination des espèces.

L'abdomen allongé est formé de 10 tergites (pièces dorsales), 9 sternites (pièces ventrales) chez le mâle, 8 chez la femelle ; le dernier porte le nom de plaque sous génitale (Defaut , 1999). En outre l'anus est entouré par trois petites valves anales (l'épiprote et les paraproctes). Le cerque ne comprend qu'un seule article, généralement court.

L'organe copulateur chez le mâle ; ovipositeur chez la femelle permet de reconnaître le sexe d'un individu au premier coup d'oeil. Il est composé de 6 valves allongées (2 supérieures, 2 internes 2 inférieures) (Chopard, 1965).

1.3. Biologie des Acridiens

Au cours d'une génération complète, les Acridiens se développent en passant par trois états biologiques: l'œuf, la larve et l'imago ou ailé. Chacun de ces états, dont le sexe est génétiquement prédéterminé, se décompose en différentes phases de développement. La durée de chaque stade diffère d'une espèce à l'autre et en fonction des conditions environnementales. Ainsi on distingue :

- les espèces à diapause embryonnaire : se développant en saison des pluies et passant la saison sèche sous forme d'oeufs en arrêt de développement dans le sol.
- les espèces à diapause imaginale : se reproduisant en saison des pluies et passant la saison sèche sous forme d'imagos avec un arrêt de la fonction de reproduction.
- les espèces à quiescence imaginale : ayant un arrêt de maturité sexuelle quand les conditions sont défavorables.

1.4. Ecologie des Acridiens

Les acridiens sont caractérisés par une large distribution géographique dont on trouve une multitude de biotopes dans lesquelles ont pu s'adapter et assurer un équilibre écologique. La faculté à coloniser de nouveaux milieux est liée à une grande tolérance écologique. Cette répartition est largement influencée par de nombreux facteurs dont la température, l'humidité, la lumière, le sol et la végétation (Allen *et al.*, 2006 et Whitman, 2008).

Les acridiens se trouvent dans une grande variété d'habitats, de faible altitude à haute altitude, des zones tropicales à déserts, milieux cultivés, sols dénudés et les terrains boisés (Boitier, 2004). Selon leur préférence écologique, les acridiens peuvent être classés en espèces géophiles (vivent au sol), phytophiles (dans la végétation), herbicoles (sur les plantes basses) ou arboricoles (dans les arbres).

Les acridiens sont poïkilothermes ou de sang-froid, et ils comptent sur leur comportement thermorégulateur pour maintenir leur température corporelle (Uvarov, 1966). Donc la température est un facteur écologique important pour les acridiens. Elle influe directement sur l'activité journalière, le développement embryonnaire et larvaire, le comportement et surtout sur la répartition géographique (Dreux, 1980 ; Duranton *et al.*, 1987).

La végétation sert de lieu d'abri, de perchoir et de nourriture (Duranton *et al.*, 1987 ; le Gall, 1997). Le rôle de perchoir est relativement important pour les espèces acridiennes et leur impose une adaptation morphologique et comportementale. On en distingue les terricoles ou les géophiles qui vivent sur la surface du sol nu, herbicoles qui vivent de plantes herbacées, graminicoles qui vivent sur les graminées et arborescentes qui vivent sur les arbustes et petits arbres. Dans tous les cas, l'acridien reste perché sur les végétaux pour effectuer toutes ses mues, à l'exception de la mue d'éclosion qui se fait dans le sol (Duranton *et al.*, 1987; Uvarov, 1977). Le rôle le plus évident de la végétation est de fournir la nourriture. Parfois les mêmes plantes prennent la place des abris, de nourriture et de perchoir (Le Gall, 1997).

Les criquets sont essentiellement herbivores ou phytophages et se nourrissent de plantes diverses. Ils consomment en grosse majorité des graminées. Certaines espèces oligophages sont spécifiques à l'hôte de certaines plantes d'une même famille ou d'un même genre; d'autres sont polyphages et se nourrissent de nombreuses espèces différentes et même des familles différentes de plantes, et des espèces monophages ne se nourrissent que sur une seule espèce de plantes (Le Gall, 1989 ; Nicole, 2002) La taxonomie des plantes permet de distinguer trois types de régime alimentaire chez les acridiens: graminivore, forbivores (non-graminivore) et mixte (Le Gall, 1989).

Les acridiens choisissent les plantes hôtes par des moyens visuels, tactiles et olfactifs (Nicole, 2002). De plus la sélection des tissus de la plante à manger est déterminée par l'odorat et le goût des tissus végétaux par des récepteurs sensoriels ou des sensilles situés sur les pièces buccales et les antennes (Muralirangan *et al.*, 1985; Ananthakrishnan *et al.*, 1986; Le Gall, 1989; Bernays *et al.*, 1994; El Ghadraoui *et al.*, 2002; Dumas *et al.*, 2010). Les tissus de la plante sont alors mâchés avec les mandibules et consommés.

La plupart des acridiens dépend de bactéries symbiotiques dans leur intestin à digérer les matières végétales (Sinoir, 1968). L'impact de l'herbivorie par les acridiens sur les écosystèmes des terrains de tapis herbacés est considérable. Les orthoptères jouent un rôle très important dans le cycle de la matière organique et favorisent la croissance des plantes à partir de leurs excréments qui sont facilement absorbés (Blummer *et al.*, 1996). La capacité de déplacement des acridiens est d'une grande importance dans la répartition géographique des

espèces, dans la dynamique des populations (brassage génétique) et le déterminisme de leur transformation phasaire et par conséquent dans leur importance économique (Chapuis, 2006). La grande majorité de ces insectes se déplacent par la marche et le saut (Bailey, 2003).

Les acridiens sont des insectes relativement actifs et nécessitent un habitat de structure ouverte où ils sont physiquement libres pour se déplacer.

Les dispersions intra-stationnelles représentent les déplacements de l'insecte à l'intérieur de son milieu de vie. Elles sont soit désordonnées et correspondent alors à l'activité spontanée de l'acridien (Narisu *et al.*, 2000), soit peu orientées et permettent la recherche d'un perchoir, d'un lieu de ponte ou d'une prise de nourriture. Les déplacements importants sont effectués par des vols de longues distances. La dispersion à courte distance est également pratiquée par les ailés pour satisfaire des besoins alimentaires, rechercher un partenaire, une zone d'ombre, ou un abri. Elle est complétée par une possibilité de dispersion à longue distance grâce à l'usage des organes du vol.

Les criquets sont généralement solitaires se déplacent de façon individuelle, sauf pendant le comportement d'accouplement. Il est rare que les criquets effectivement deviennent grégaires et migrent, mais, l'essaimage et la migration se produisent chez certaines espèces lorsque les densités de population sont particulièrement élevées. La migration est bien connue chez les espèces telles que le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*) et le criquet migrateur (*Locusta migratoria*) de l'Asie et l'Afrique. Chez les acridiens en général, les comportements liés à l'accouplement sont connus, en particulier la production des sons, le crépitement des ailes colorées et la production des phéromones (Uvarov, 1966; Popov *et al.*, 1990). Les criquets produisent un son par deux mécanismes appelé stridulation et crépitation. La stridulation se produit lorsqu'un criquet frotte l'intérieur des fémurs postérieurs contre les élytres pour produire un grattage ou un grésillement du son, la plupart des espèces surtout chez les mâles produisent des sons par cette méthode. Le son des Orthoptères peut s'entendre à une centaine de mètres. Mais le son des mâles sert avant tout à attirer les femelles pour donner naissance à une nouvelle génération. La crépitation est un son produit par la flexion des ailes postérieures en vol. Les craquements produits par *Locusta migratoria* en vol en sont un bon exemple (Chopard, 1943).

4. Concepts des Chotts et Sebkhass

L'Algérie est l'un des pays Afro- méditerranéens, dont les ressources en eau sont limitées et dépendantes de l'influence du climat (Ramade, 2005). Néanmoins, la grande variabilité spatiale des conditions climatiques et géologiques accentue sa richesse en créant des types d'écosystèmes aquatiques très variés. Ainsi on compte un nombre important de lacs d'eau douce, lacs salés continentaux, Chotts et Sebkhass. Ces derniers constituent un support d'une grande biodiversité faunistique et floristique. Cependant, ces milieux ne sont pas à l'abri des grandes menaces écologiques qui pesaient sur leur fonctionnement normal et mettent leur survie en parfaite relation avec une prise de conscience de leurs fonctions et de leurs valeurs écologiques.

2.1. Les lacs salés dans le monde

Les lacs salés sont des zones humides géographiquement très répandues, ils se trouvent dans toutes les régions continentales d'Asie, d'Amérique du Sud, d'Australie, aux Etats-Unis et en Afrique du Nord. Ces milieux se limitent généralement dans les zones arides $25 \leq P \leq 200$ à semi-arides $200 \leq P \leq 500$, P exprimé en mm de précipitations annuelles (Williams, 1998). Ils occupent environ 30% de terre émergée de la planète (Gratzfeld, 2004). Ces zones humides incluent le plus grand lac sur terre tel que la Mer Caspienne et beaucoup d'autres grands lacs qui sont situés entre 400 m au-dessous de la mer pour la Mer Morte jusqu'à une très grande altitude (supérieure à 3000 m d'altitude) comme l'Altiplano en Amérique du Sud (Williams, 1996). A l'exception de la Mer Caspienne et la Mer Morte qui ne se dessèchent jamais, cependant les autres lacs qui se trouvent en zone aride et semi aride ne sont remplis d'eau qu'au cours de la saison pluvieuse, comme les Chotts algériens en Afrique du Nord (Aubert, 1976).

Parmi 1308 zones humides classées sites Ramsar pour leur importance internationale, 137 seulement sont représentés par des lacs salés (qui représente 10% des zones humides protégées au niveau international) (Jellison *et al.*, 2008). Ces lacs salés englobent des écosystèmes aquatiques ayant une valeur économique et non économique considérable (Williams, 2001).

Du fait de la diversité particulière qui les caractérise, les lacs ont un intérêt particulier pour de nombreuses disciplines scientifiques y compris l'écologie, la biologie, l'hydrologie, la limnologie, la microbiologie et la modélisation des écosystèmes (Jellison *et al.*, 2008). Ces lacs salés ont une importante richesse au même titre que les zones humides d'eau douce, ils sont

très reconnus pour le rôle qu'ils jouent pour la migration et la reproduction des oiseaux d'eaux (Jellison, 2005).

2.2. Les lacs salés en Algérie

Ces vastes dépressions endoréiques d'Afrique du Nord sont synonymes des Chotts ou Sebkhass, Selon Coque et al. (1972) : sebkha est assimilée à un lac salé (la mer Morte est même citée en exemple) avant d'être correctement définie comme une cuvette (plus exactement un fond plat de cuvette) à inondation temporaire, sans végétation. Quant au terme de Chott, il représente seulement l'auréole plus ou moins large de steppe halophile qui entoure la sebkha. Cependant Stone (1967) définit les sebkhas comme lac salé. Dubost (2002), décrit le Chott comme une zone salée entourant la sebkha, qui est le fond humide de la dépression.

Selon Aubert (1976), les Chotts de l'Afrique du Nord sont des terrains salés souvent couverts de croûtes salines à perte de vue en saison sèche, alors qu'en saison de pluie ne se voit plus que la surface au moins salé, dont les bords ne sont que des kilomètres carrés de boue sodique. Malgré quelques divergences dans la définition de ces milieux (Chott, Sebkhha, Garaet), les géographes, les scientifiques, les biologistes s'accordent pour les considérer comme une dépression fermée qui sont équivalent des lacs salés.

L'Algérie regroupe un nombre important de Chotts (Samraoui, 2002 ; Samraoui *et al.*, 2006). En 2009, les sites Ramsar en Algérie étaient au nombre de 42 et couvrent une superficie totale de 2,959 millions d'hectare. 45,23% de ces sites protégés sont des lacs salés couvrant environ une superficie de 2,07886 millions d'hectares (Koopmanschap *et al.*, 2011). Essentiellement répartis entre les deux chaînes montagneuses l'Atlas tellien, l'Atlas saharien et l'Erg Oriental, la taille et la profondeur des Chotts algériens sont très variables. Leur superficie peut atteindre plusieurs milliers d'hectare (le plus grand est de 55150 ha et le petit est de 76 ha). Ils ont une profondeur variable (la plus petite est d'environ 20 cm, le plus grand peut dépasser 4 m) (Boumezbeur, 2004).

3. 3. Aspect pédologique

Le sol est l'élément du milieu naturel qui sert comme une donnée essentielle et déterminante de la mise en valeur agricole d'une région.

D'un point de vue pédologique, on distingue une diversité des sols, on rencontre des sols salins et des sols à encroutement calcaire, gypseux ou salins (Benchetrit, 1956).

Les sols salins ont une grande extension dans la région saharienne, ils sont aussi très répandus dans les basses plaines, comme la Vallée d'Oranie, la Vallée d'El Menia, dans les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine et en particulier aux bords des Chotts et Sebkhass (Aubert, 1976). Halitim (1985), révèle que les sels, au sens large du terme, constituent les traits caractéristiques des paysages arides d'Algérie, plus de 95% des sols de ces régions sont en effet soit calcaires, gypseux ou salsodiques.

Selon Djili (2000), les sols gypseux se localisent généralement dans les zones dépressionnaires (Chotts). Ils sont partiellement couverts de voiles de sable éolien gypseux siliceux et des nebkhas associés à une végétation gypso-halophile. Cependant les sebkhass offrent toute une gamme de croûtes salines en surface qui vont de quelques millimètres jusqu'à un mètre et plus d'épaisseur ; le cas de sebkhass de Ouargla arrivant jusqu'à 5 à 6 m (Bellaoueur, 2008). La couleur de ces croûtes varie avec l'état hydrique qui fluctue en fonction des remontées des nappes. En horizon de surface, et en particulier en période sèche, il y a formation de nombreuses petite bosses à structure lamellaire et à croûte saline vitreuse, ils se qualifient comme zone subdésertique, dont les sols sont très fortement à excessivement salins avec une texture lourde.

2. 4. Richesse floristique

Au niveau des Chotts, la forte charge saline des eaux et des sols dus en majeure partie à une forte évaporation ainsi qu'aux faibles précipitations et drainage, présentent une contrainte pour le développement des espèces végétales. Cependant, une végétation steppique halophile a pu s'adapter à ces conditions, depuis longtemps les terres des alentours des sebkhass ont constitué un bon pâturage pour les élevages grâce aux espèces répandues (Dresch, 1954). La végétation malgré sa faible diversité présente parfois de bons taux de recouvrement et surtout caractérisée par des espèces et des groupements résistants à la salinité et à la sécheresse (Si Bachir, 2008).

Dubuis *et al.* (1957), signalent que les formations halophiles sont étendues de l'ouest à l'est jusqu'à la région désertique saharienne, et s'installent sur du sol salé sec, humide ou submergé. Les espèces les plus répandues sont représentées par la famille d'Amaranthacées, Zygophyllacées qui poussent sur sol salé un peu sec. Citons, *Salsola foetida*, *S. seiberi*, *S. fruticosa*, *S. vermiculata*, *Truganumnudatum*, *Atriplex halimus*, *Zygophyllum album*, cependant sur sol un peu humide et avec une faible salure ces formations sont remplacées par le *Tamarix* sp. (Tamaricacées), avec l'augmentation de la salure, les sols seront occupé par *Limoniastrum guyonianum* (Ozenda, 1958). Le même auteur signale que les trois familles

sont bien représentées au bord des chotts et sebkha El Goléa. Cependant Bouabdallah (1990), Larafa (2004) et Khaznadar *et al.*, (2009), notent la présence de *Tamarix* sp., *Typha* sp., *Juncus* sp. et *Cyperus* sp. Au bas fond des Chotts. Au niveau de ces zones on trouve d'autres espèces comme *Arthrocnemum macrostachyum*, *Halocnemum strobilaceum* Marsch, qui peuvent constituer une ressource fourragère importante pour l'élevage ovin au niveau des grands Zahres et du chott El Hodna (Bouabdallah, 1990). Notamment, Abdelkefi *et al.* (2004) soulignent que l'*Atriplex* sp., *Salsola* sp., *Traganum* sp., *Arthrocnemum* sp., constituent les principales espèces du couvert végétal des steppes halophiles.

A ce titre d'autres espèces halophiles des Chotts et Sebkhass, qui sont d'intérêts écologiques telles que, *Malcolmia arenaria*, *Ononis antennata* ont été signalé comme des espèces rares et endémiques en Algérie et au Maroc (Hammada *et al.*, 2004). En effet, Khaznadar *et al.* (2009), montrent la présence de six espèces endémiques à savoir, l'*Astragalus armatus*, *Frankenia thymifolia*, *Helianthemum helianthemoides*, *Herniaria mauritanica*, *Hieracium amplexicaule* et *Melilotus indica* au niveau du chott El Beïda. L'utilisation de prés salés pour le pâturage est très fréquent dans la Méditerranée (Dijkema *et al.*, 1984).

CHAPITRE II
PRESENTATION DE LA
REGION D'ETUDE
ET
METHODOLOGIE
DE TRAVAIL

4. Présentation de la région d'étude

1.1. Cadre général

Généralités sur les zones humides des hautes plaines de l'Est-algérien

L'éco-complexe des zones humides des hautes plaines de l'Est algérien, par sa diversité de plans d'eau (Chotts, Sebkhets et Garaets), couvre une superficie très importante, qui dépasse 160 000 ha en crue, il s'étend sur près de 300 km de Ain El-Beida à l'Est jusqu'à Sétif à l'Ouest. Les milieux humides les plus spacieux de ce complexe se situent dans la région des Sebkhats enclavée entre les wilayas d'Oum El-Bouaghi, de Khenchela et de Batna. Ces milieux sont dans leur majorité très salés, difficilement accessibles et très peu de littérature scientifique les décrit (Saheb, 2003). Certaines de ces zones humides de la wilaya d'Oum El-Bouaghi, GaraetTarf, GaraetGuellif, GaraetAnnkDjemel et El-Meghssel ainsi que Chott Tinsilt sont classées comme sites Ramsar et ce depuis 2004. Deux autres zones humides, Garaet Ezzemmoul et le lac de Timerganine viennent d'être classés plus récemment en 2008 (Fig. 1.).

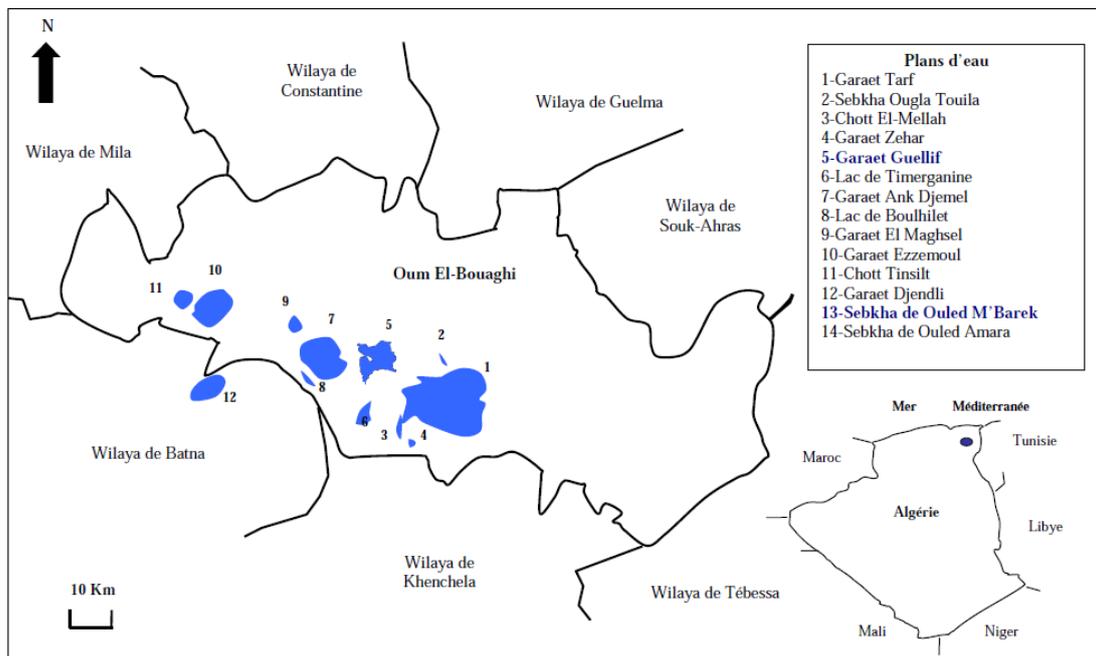


Figure 1. : Situation géographique du complexe des zones humides des wilayas d'Oum El-Bouaghi, Khenchela et Batna.

1.2. Présentation du site *Chott Tinsilt*

1.2.1. Situation géographique

Situé au Nord-Est algérien à 35°53'14'' de latitude Nord et 6°28'44'' de longitude Est, le chott fait partie, sur le plan administratif, de la Wilaya de Oum El Bouaghi de la Daïra de Souk Naâmane et de la Commune de OuledZouïa. Il longe la route nationale 3 desservant Constantine et Batna et la voie ferrée reliant Constantine à Biskra. D'une superficie de 2.154 hectares et une élévation maximale de 792 mètres, le chott s'étend sur 4 Km de long et 2,5 Km de large sur la partie Nord de la plaine d'Ouled Zouaï, au pied du mont *Nif-Ennser*. Il est l'un des plans d'eau formant le complexe des zones humides des hautes plaines de l'Est Algérien.

1.2.2. Caractéristiques hydrogéologiques

La superficie du bassin versant atteint 10 300 hectares et est alimenté par les eaux pluviales provenant d'Oued Ben Zerhaïb et des ruissellements qui se créent dans les massifs Nord- Est (mont Nif-Ennser, Djebel Hamouda), ainsi que par une entrée artificielle, du côté Nord-Ouest, constituée d'eaux usées provenant du village de Souk-Naâmane. La sortie des eaux se fait par évaporation et d'une manière intense au cours de la saison chaude, mais aussi par l'intermédiaire d'un réseau de canaux de drainage, du côté Sud-Ouest, qui se déversent dans un canal d'évacuation contournant le plan d'eau pour rejoindre *Sebkhat Ezzemoul* située à proximité. Le chott peut être sec, inondé en permanence et intermittent en fonction des ans et des précipitations qui agissent directement sur l'alimentation du bassin versant en eau. Le niveau d'eau est sujet à des fluctuations importantes des précipitations, des températures et du vent, celui de l'étiage est fréquemment atteint en été, et à part quelques années exceptionnellement pluvieuses, il est rarement plein. La profondeur maximale est de 0,5 mètres, mais elle varie très régulièrement. L'eau du chott est saumâtre avec un Ph alcalin (Boumezbeur, 2004) et une salinité très élevée, Nadjjet (2009) estime la conductivité électrique des eaux du chott à 11200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

1.2.3. Caractéristiques édaphiques

Le sol est constitué de terrains sédimentaires du Quaternaire, caractérisés par une texture riche en limon grossier (Mokrani, 2011). Le pourtour du lac périodiquement inondé s'enrichit en sels (Nadjet, 2009). Le calcaire transporté par les eaux du ruissellement des collines qui entourent le chott se dépose au niveau de la dépression donnant une couleur assez blanchâtre aux berges (Boumezbeur, 2004).

1.2.4. Caractéristiques écologiques

Le site est composé d'un plan d'eau libre relativement salé appelé sebkha et d'une prairie humide appelée chott. Selon Moali *et al.* (2009) les pourtours du chott montrent une partie humide côté interne et une autre habituellement sèche vers l'extérieur. Ces pourtours sont recouverts d'une prairie constituée par une végétation herbacée. On y trouve des plantes halophiles, appartenant principalement à deux grandes familles, les Amaranthacées et les Aizoacées : *Mesembryanthemum nodiflorum*, *Salicornia arabica*, *Arthrocnemum glaucum*, et *Atriplex sp* (Boumezbeur, 2004).

Dans le stade actuel des connaissances et en l'absence d'un inventaire exhaustif, les mammifères sont représentés par *Vulpes vulpes*, *Canis aureus*, *Lepus capensis* et *Rattusrattus*, les amphibiens par *Bufo mauritanica*, les reptiles par *Acanthodactylus sp.*, *Emys orbicularis* et les invertébrés par *Daphnia sp.*, *Artémia sp.* et *Helix pyramidata*. Bien plus étudiée, notamment à travers les recensements hivernaux, l'avifaune est représentée par plusieurs espèces d'Anatidés qui hivernent sur le site ainsi que des Limicoles qui se nourrissent dans les vasières.

1.3. Climatologie

Le climat est un facteur déterminant de premier ordre pour une approche du milieu, c'est un ensemble de phénomènes météorologiques qui sont principalement la température, les précipitations et les vents. Ce climat se place en amont de toute étude relative au fonctionnement des écosystèmes écologiques (Thornthwaite, 1948).

Les facteurs climatiques nécessaires à notre étude sont recueillis auprès de la station météorologique *Lazrou* (Batna), située à moins de 30 Km du chott, à une altitude de 827 m. la période concernée est comprise entre 2001 et 2014.

1.3.1. Les précipitations

Elles représentent la totalité de la lame d'eau recueillie (pluies, neiges, gelée). La pluviométrie de la zone d'étude est comprise entre 250 et 400 mm. L'analyse des données recueillies, nous a permis de tracer le graphique des hauteurs des précipitations moyennes mensuelles (Fig. 2.).

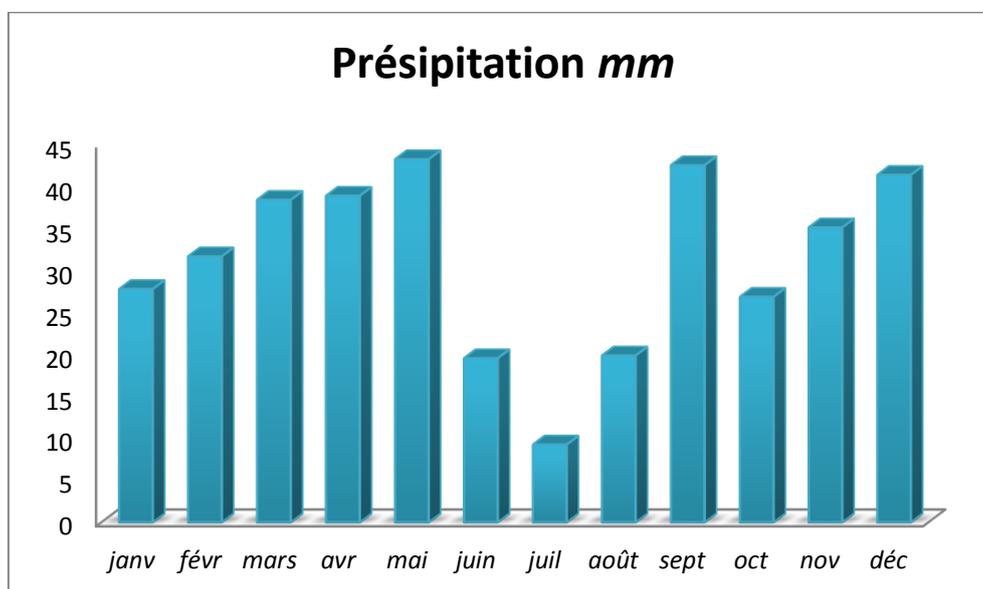


Figure 2. Variations mensuelles des précipitations 2001-2014 dans la région d'étude.

La figure 2., montre que le mois de Mai est le plus pluvieux, la pluviométrie est de l'ordre de 43,2 mm. Les mois de septembre et de décembre enregistrent des valeurs aussi importantes et très proches avec 42,5 mm et 41,3 mm respectivement. Le minimum est atteint au mois de juillet avec 9,2 mm.

1.3.2. Répartition saisonnière des précipitations

Les moyennes annuelles calculées est de l'ordre de 347.2 mm/an, la subdivision des pluies de l'année pour chaque saison est faite suivant les saisons agricoles (Tab. 1.).

Tableau 1. La répartition saisonnière des précipitations moyennes mensuelles 2001-2014.

| | Automne | | | Hiver | | Printemps | | | Eté | | | TOTAL mm | |
|--|---------|-------|-------|--------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|-------------|-------|
| | Sept | Oct | Nov | Déc | Janv | Févr | Mars | Avr | Mai | Juin | Juil | | Août |
| Précipitation mm | 42.51 | 26.82 | 35.09 | 41.34 | 27.75 | 31.64 | 38.38 | 38.86 | 43.22 | 19.51 | 9.23 | 19.83 | 374.2 |
| Répartition Saisonnière des pluies | 104.41 | | | 100.73 | | 120.46 | | | 48.57 | | | | |
| | 28% | | | 27% | | 32% | | | 13% | | | | |

Le tableau précédent, montre que la saison printanière est la plus pluvieuse, les précipitations cumulent en moyenne 120 mm, soit autour de 32 % du total annuel. L'automne et l'hiver, se caractérisent par une pluviométrie allant de 104 mm à 100 mm respectivement, soit un pourcentage de 28 % à 27 % des pluies totales annuelles. En été, la pluviométrie est faible, ne dépassant pas 49 mm, soit 13% du total des pluies. Le climat présente donc une saison relativement pluvieuse allongée qui comprend l'automne, l'hiver et s'étale jusqu'à la fin du printemps. Quand à la saison sèche elle correspond à l'été.

1.3.2. Les températures

La température est un facteur très important dans l'étude du climat de la région. L'histogramme (Fig. 3.) illustre les variations des Températures mensuelles la région d'étude durant la période comprise entre 2001 et 2014.

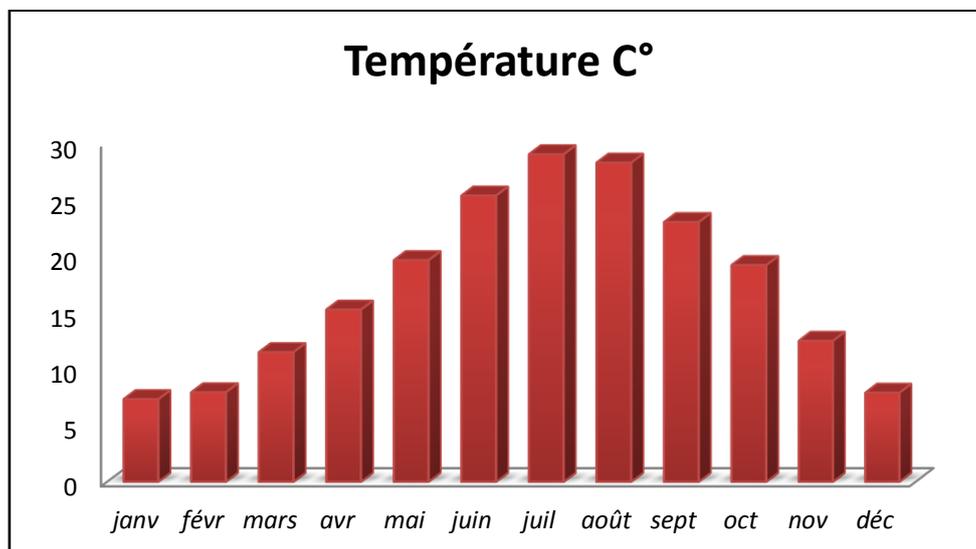


Figure 3. Histogramme des variations de la Température moyenne mensuelle de la région d'étude (2001- 2014).

L'histogramme montre que les températures maximales sont enregistrées au cours du mois de juillet (29°C). Le minimum est enregistré au mois Janvier avec une moyenne de 7,3 °C. La moyenne annuelle atteint 17,2 °C.

1.3.3. L'humidité relative

L'humidité relative de l'air est la mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans des conditions données. Ce paramètre intervient comme coefficient de l'évapotranspiration lorsqu'il est inférieur à 50%. Les moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air de 2001 à 2014 (Tab. 2.), fluctue entre 38.5 % et

74,1%. Les valeurs maximales sont notées au cours des mois de Janvier et décembre. Les minimales sont enregistrées durant la saison d'été.

Tableau 2. Moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air (H.R.) en (%) de 2001 à 2014.

| | Janv | Févr | Mars | Avr | Mai | Juin | Juil | Août | Sept | Oct | Nov | Déc |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Humidité relative % | 70.96 | 67.09 | 61.58 | 58.01 | 51.65 | 42.26 | 38.43 | 40.37 | 52.04 | 56.04 | 67.80 | 74.16 |

1.3.4. Le diagramme Ombrothermique

Le diagramme Ombrothermique de *Gausson & Bagnouls* permet de distinguer la période sèche de l'année. Elle apparaît lorsque les températures sont deux fois plus élevées que les précipitations. Le diagramme est conçu de sorte que l'échelle de la pluviométrie (P exprimée en millimètres) est inférieure ou égale au double de celle de la température moyenne mensuelle (T en C°) (*Bagnouls et al., 1953*). De manière empirique les mois pour les quels la courbe des précipitations se trouve en dessous de la courbe des températures sont considérés comme des mois secs. A partir des données fournies par l'Office National de Météorologie, nous avons considéré deux périodes 1984-2001 et 2001-2014 pour les quelles nous avons pu tracer les courbes ombrothermiques (Fig. 4.). Celles ci feront ressortir une période sèche qui s'étale sur six mois allant du mois d'avril au début septembre pour la première période (1984-2001); et de mai jusqu'au mois de novembre pour la deuxième (2001-2014), les températures maximales sont enregistrées au mois de juillet.

Ces résultats sont soutenus par les indices mensuels d'aridité AI_i , calculés à partir de l'équation suivante : $AI_i = ETP_i / R_i$

Où ETP_i est l'évaporation potentielle pour un mois donné (i),

Et R_i précipitations pour le même mois.

Pour cela nous avons utilisé les estimations de l'évaporation potentielle données par *Thornthwaite (1948)*. Les résultats illustrent bien l'intensité de la sécheresse pour les deux périodes qui s'étale sur une période montrent que, la saison sèche s'étalant de mai à octobre, enregistre des indices d'aridité mensuels inférieure à 0,5 (Annexe 1).

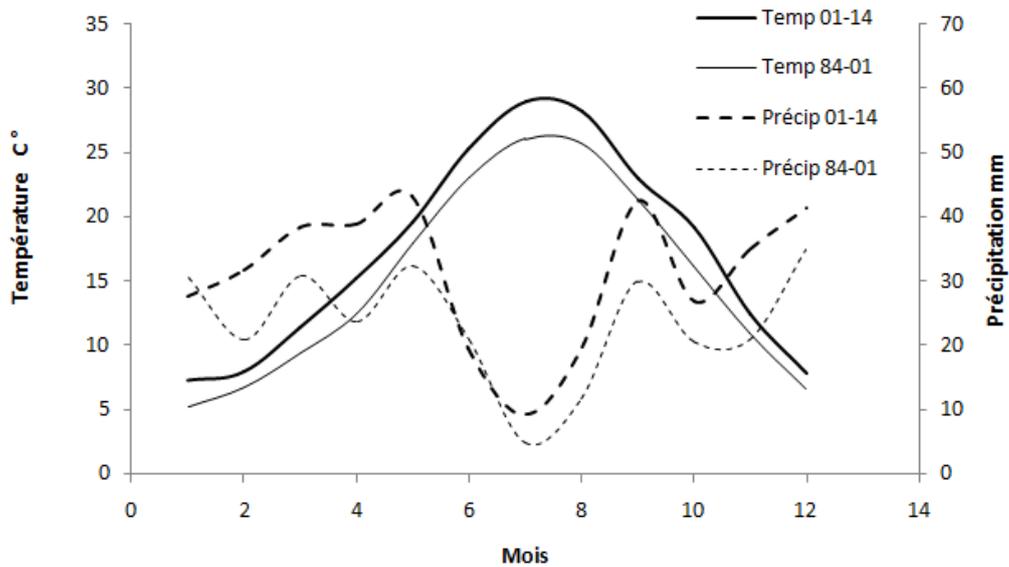


Figure 4. Diagramme Ombrothermique de la région d'Oum El-Bouaghi.

1.3.5. Le quotient pluviothermique d'EMBERGER

D'après Daget (1977), le climagramme d'Emberger permet la classification des différents climats Maghrébins, grâce au calcul du Quotient pluviométrique d'Emberger Q_2 :

$$Q_2 = 3,43 * P / (M - m)$$

Q_2 : Quotient pluviométrique

P: Précipitation moyenne annuelle exprimée en mm

M: Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en degrés Celsius.

m: Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en degrés Celsius.

La valeur du quotient Q_2 combinée à celle de la moyenne des températures minimales du mois le plus froid (m) sur le climagramme d'Emberger, permet de déterminer l'étage et les variations climatiques.

Les données météorologiques de la région d'étude (2001-2014) sont consignées dans l'Annexe 2. Sur la base de ces données, nous constatons que la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud est égale à $M = 35.05^\circ\text{C}$, elle est enregistrée durant le mois de juillet. La moyenne des températures minimales du mois le plus froid est $m = 1.16^\circ\text{C}$, elle est enregistrée durant le mois de janvier. Nous constatons aussi que la précipitation annuelle est de 374.2 mm. Le quotient calculé est égale à ($Q_2 = 37.87$).

A la lumière de ces données, la région d'étude prend place dans le climagramme d'Emberger dans l'étage bioclimatique semi-aride à aride à hiver froid (Fig. 5).

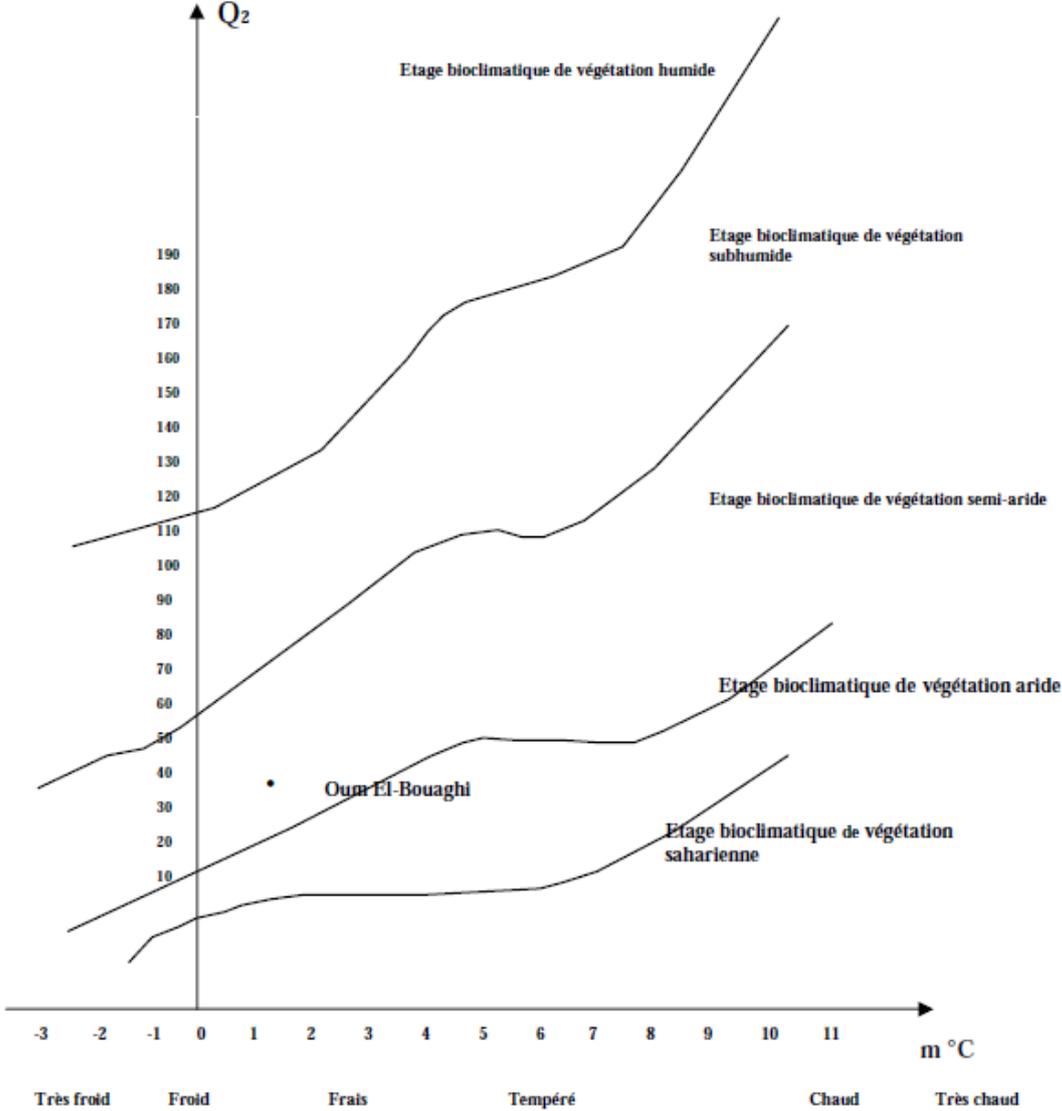


Figure 4'. Climagramme d'Emberger de la région d'Oum El-Bouaghi de 2001 à 2014.

1.3.6. Synthèse climatique

Le site fait partie de l'étage bioclimatique semi-aride à hiver froid. La répartition saisonnière est marquée par la prédominance des pluies d'automne au printemps avec un minimum pluviométrique assez net en janvier. Les températures moyennes mensuelles varient entre 7C° et 19C°.

La période chaude sèche favorable au développement des Acridiens, s'étend d'avril au début septembre, elle est caractérisée par des précipitations orageuses dont la fréquence est maximale vers la fin de la saison. Ces averses brutales qui s'abattent sur la région remplissent le chott, mais il est aussitôt mis à sec par drainage ou par évaporation à cause des températures saisonnières très élevées atteignant 40C°.

Bien que nos résultats ne décèlent pas une tendance d'aridification de la région au cours des 30 dernières années, d'autres études récentes ont démontré l'augmentation des températures moyennes maximales dans cette région durant la période de 1980 à 2010 (Petit, 2014).

Si l'on tient compte des données plus anciennes, la pluviométrie annuelle moyenne entre 1926 et 1946 était de 449 mm, cette valeur est caractéristique d'un climat semi-aride (Seltzer, 1946). Au cours des dernières années, la pluviométrie annuelle moyenne enregistré et de l'ordre de 282 mm pour (1984-2001) et 374 mm entre 2001 et 2014, ce qui est indicatif d'un climat aride supérieur (LeHouérou, 2001).

5. Echantillonnage

Le but d'un échantillonnage est de fournir un échantillon qui représentera la population étudiée et reproduira aussi fidèlement que possible ses principales caractéristiques.

2.1. Description de la végétation

2.1.1. Choix du type des relevés floristiques

La végétation se définit comme étant l'ensemble de communautés végétales structurées, occupant un écosystème déterminé (Vallet *et al.*, 2012).

Dans le but d'avoir un bon aperçu de la diversité floristique et l'hétérogénéité des formations végétales du chott *Tinsilt*, de nombreux relevés floristiques ont été effectués sur le côté Nord-Est des berges du lac. Selon Gounot (1969), le choix du type des relevés floristiques doit tenir compte de la physionomie de la végétation ainsi que des conditions écologiques du milieu. En zones humides les différentes contraintes liées au développement des végétaux entraînent une zonation des différentes espèces végétales selon leurs adaptations aux différents facteurs limitant (Pennings *et al.*, 2005). Pour cela, nous avons privilégié un échantillonnage stratifié qui prend en considération l'hétérogénéité du milieu.

L'idée de base d'un échantillonnage stratifié est de diviser un peuplement hétérogène en sous-peuplements, habituellement appelées strates, constituées d'éléments homogènes, un petit échantillon prélevé d'une strate donnée nous fournira une estimation précise de la population de cette strate, ainsi qu'une estimation précise de l'ensemble du peuplement, en combinant les différents résultats (Jayaraman, 1999).

2.1.2. Relève floristique

Dans le cas du chott *Tinsilt*, la végétation se dispose en ceintures ou zones concentriques par rapport au centre du point d'eau. Les limites de ces zones sont plus ou moins précises, fortement influencées par la hauteur de l'eau, l'importance des périodes d'assèchement et le taux de salinité. La station d'étude a été subdivisée en trois ceintures de 50 m à 200 m de largeur, dans les quelles nous avons effectué des relevés phytoécologiques. Nous avons utilisé pour nos relevés 5 transects définis aléatoirement au sein de chaque ceinture selon la méthode de Mayer (Ould El Hadj, 2004). Un comptage du nombre de pieds de chaque espèce est effectué le long d'une corde de 10 m de long. L'opération est répétée 5 fois pour chaque ceinture en respectant une distance entre transects d'au moins 10 m. Pour limiter les ambiguïtés de localisation, les cordes ont été placées vers le centre de chaque ceinture, à

distance de la ceinture adjacente. Le recensement est effectué entre février et avril 2013 et 2014, période de développement des espèces annuelles.

Les plantes ont été récoltées dans des sacs en plastiques et étalées dans du papier journal pour leur séchage. Un herbier a été constitué indiquant la date de récolte, la ceinture et le nom de l'espèce. Les déterminations des espèces ont été effectuées selon les clés de détermination de la flore de Quézel et Santa (1962, 1963), la nomenclature a été actualisée en utilisant la base de données de *Telabotanica*, section Nord D'Afrique <<http://www.telabotanica.org/page:bdafn?langue=fr>>, une liste des espèces inventoriées dans chaque ceintures a été dressée. Pour déterminer les groupements végétaux, les espèces ont été confrontées à la base de données phytosociologique de Julve (1998), ainsi qu'aux travaux de Kaabeche (1996). Le pourcentage des familles, les types biologiques et les paramètres de diversité ont été prises en compte dans l'analyse globale.

2.2. Relevés entomologiques

2.2.1. Méthode d'échantillonnage

Le but des relevés entomologiques est d'obtenir une image instantanée de la structure de la population acridienne et d'estimer sa diversité (Lamotte *et al.*, 1969 ; Lecoq, 1978). La méthodologie adoptée dans la présente étude est celle des quadrats. Il s'agit d'effectuer un recensement des individus de chaque espèce présente sur une surface bien déterminée. Cette approche systématique permet de fournir une carte complète de la diversité et la distribution des différentes espèces dans la station étudiée. Lors d'opérations répétées à des intervalles de temps réguliers, il devient possible de mesurer les changements dans la distribution et l'abondance des différentes espèces et de comprendre les changements globaux du site (Barbault, 1981).

2.2.2. Déroulement des prospections

Nos prospections sur terrain ont débuté en 2012 jusqu'à 2014, La chronologie des opérations tient compte du rythme saisonnier d'activités des orthoptères à raison d'une à deux visite par mois. La première année d'investigation nous a permis de dresser une liste des espèces présentes sur le site.

De mars 2013 à septembre 2014, pour chacune des ceintures végétales, la diversité et la densité des peuplements sont étudiées grâce à des quadrats de 100 m² (surfaces carrées de 10 x 10 m). Le choix du nombre de prélèvements par mois est fixé à 6 (2 dans chaque ceinture).

Les quadrats ont été définis aléatoirement au sein de chaque ceinture. Pour chaque relevé, le carré est parcouru des abords vers le centre selon un trajet concentrique. Les prospections se sont déroulées entre 10 h et 15 h, période de la journée où les acridiens sont actifs. Les insectes qui s'enfuient de la végétation sont capturés au moyen d'un filet fauchoir ou à la main. Comme la densité est d'environ 0,5 individus par m², cette méthode de récolte est presque exhaustive. On estime à moins de 5% le nombre d'individus qui parviennent à s'échapper et ne pas être comptés. Les stades larvaires à partir du 3^{ème} stade ont été comptés seulement pour *Derycoris millierei*.

Les insectes sont habituellement relâchés après identification en dehors du périmètre d'échantillonnage pour ne pas appauvrir le milieu. Pour un petit nombre d'espèces, des individus ont été récoltés et placés séparément dans des petits tubes pour une détermination ultérieure au laboratoire.

2.2.3. Préparation et conservation des insectes

Les espèces recueillies sont sacrifiées dans un flacon contenant un tampon de coton imbibé d'acétate d'éthyle. Chaque individu est piqué à l'aide d'une épingle entomologique au niveau du pronotum, les élytres et les ailes sont bien étalés. Lorsqu'il s'agit de grosses espèces, à l'aide d'une petite pince, la cavité abdominale de chaque insecte est vidée et remplie avec du coton. Les insectes ainsi préparés sont desséchés à l'air libre durant plusieurs jours avant d'être placés dans des boîtes de collection contenant de la naphthaline.

Tous les taxons doivent être munis d'une étiquette qui contient : La station, la ceinture, la date de récolte et le légataire.

2.2.4. Détermination des espèces récoltées

Les déterminations ont nécessité l'utilisation de la faune de Chopard (1943) et Massa (2013). La dissection des génitalia a été indispensable pour les espèces de la famille des Pamphagidae. L'actualisation de la nomenclature s'est faite à travers les sites Web d'Eades *et al.*, (2013) et de Louveaux *et al.*, (2013).

2.2.5. Etude du régime alimentaire

Pour étudier le régime alimentaire, nous avons procédé à l'analyse microscopique des débris végétaux contenus dans les fèces des individus capturés. Cette méthode est celle préconisée par Uvarov (1977). Elle consiste à comparer les fragments d'épidermes des plantes ingérées

avec ceux d'une collection préparée à partir des espèces végétales prélevées du biotope étudié. Fiable et précise (Launois-Luong, 1975) cette méthode a été utilisée par de nombreux auteurs tels que Ben Halima *et al.*, (1984, 1985); Damerdji *et al.*, (2000) et Allal-Benfekih, (2006).

A ces fins, une collection des épidermes de référence des plantes ayant été prélevées dans la station d'étude entre 2013 et 2014 a été créée (lame référentielles et photo numériques). Le protocole de préparation des épidermothèques est celui utilisé par Doumandji-Mitiche *et al.*, (1993) et Chara *et al.*, (1986). Il consiste au préalable à ramollir le végétal dans de l'eau distillée. Les cuticules des différents organes du végétal sont ensuite détachées délicatement des tissus sous-jacents, sous loupe binoculaire, avec des pinces fines. Une fois récupérés, les fragments d'épidermes sont passés dans de l'eau de Javel afin d'éliminer la chlorophylle. Cette opération est suivie par un rinçage à l'eau distillée, et des bains d'alcool à différentes concentrations (70°, 90°, 95°). Le montage des fragments végétaux se fait entre lame et lamelle dans une goutte du baume de Canada. Sur chaque lame ainsi préparée, 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 photonique et photographiés afin de réaliser des images de référence.

L'étude est réalisée sur les adultes de deux espèces *Dericorys millierei* et *Calliptamus barbarus*. 10 mâles et 10 femelles de chaque espèce sont capturés et placés séparément dans des tubes perforés de petits trous pour l'aération. Les excréments, résultant des récents repas de chaque individu identifié, sont récupérés dans des tubes Eppendorf. La méthode suivie pour la préparation des fèces est celle utilisée par Allal-Benfekih (2006) : cette méthode consiste à ramollir les fèces pendant 24 heures dans de l'eau et à les faire passer dans une série de bains d'eau de Javel, d'eau distillée, et dans de l'éthanol à différentes concentrations (75°, 90°). Les préparations sont ensuite placées dans des verres de montre ou des boîtes de pétri et examinées au microscope photonique. Les structures épidermiques rejetées sont comparées à ceux de la collection de référence, leurs déterminations se basent sur de nombreux critères (forme et taille des cellules, disposition des stomates, parois des cellules, phytolithes, poils, épines, etc.).

2.2.6. Dénombrement des sensilles

Le régime alimentaire des acridiens est largement diversifié, celui-ci est influencé par plusieurs paramètres dont la nature des pièces buccales, les sensilles " chimiorécepteurs" des antennes et des palpes, notamment celles situées au niveau de la face épipharyngiale du labre des criquets. Pour compter le nombre de ces sensilles épipharyngiennes, nous avons utilisé la technique déjà employée par El Ghadraoui (2002) et Picaud *et al.*, (2003). Celle-ci consiste à extraire le labre de l'acridien, sous la loupe binoculaire, à l'aide d'une pince et un cutter ou des ciseaux fins. Le labre est par la suite trempé dans de la potasse diluée 50 % pour une durée de 1 à 6 heures en fonction de sa taille pour éclaircir les tissus. Après rinçage, le labre est placé entre lame et lamelle dans une goutte de glycérine gélatinée qui se solidifie fixant ainsi la préparation. Les lames sont examinées au microscope optique à différents grossissements. L'observation de l'ensemble du labre s'effectue au faible grossissement, afin de localiser les différentes plages. Thomas (1996) et El Ghadraoui (2002) définissent quatre groupes principaux de sensilles (chimiorécepteurs) sur la face épipharyngienne du labre. Les sensilles de type A1 sont situées dans la partie inférieure du labre, les A2 sont caractérisés par leur position dans la partie centrale, les A3 sont insérées sur le bord distal du labre et les sensilles de type A10 dans la partie transversale au niveau intermédiaire entre les deux groupes A1 et A2. Un grossissement plus fort est utilisé pour dénombrer les différents types de sensilles (A1, A2, A3, A10) des deux côtés du labre.

2.2.7. Etude des déplacements

Le protocole d'étude des capacités de déplacement des insectes utilisé est celui décrit par Picaud (1998) et Picaud *et al.*, (2007), il consiste à déranger volontairement l'acridien par des stimuli différents simulant des prédateurs et suivre ainsi son déplacement.

Les déplacements des criquets adultes *Dericorys millierei* et *Calliptamus barbarus* récoltés respectivement dans la ceinture interne et la ceinture moyenne ont été étudiés pendant le mois de juillet 2013. Les expériences ont été réalisées en plein air, en début de matinée (de 9 h à 10h) à des températures avoisinant 25 °C. A cette plage horaire, le temps est favorable pour étudier la capacité de déplacement des acridiens : ceux-ci sont assez actifs sans être trop excités, ce qui ne complique pas la poursuite des individus (Mouhim, 1997 ; El Ghadraoui, 2003). Nous avons fixé le nombre de 20 individus pour chaque espèce (10 mâles et 10 femelles), soit au total 40 individus étudiés. Pour éviter toute confusion dans la détermination

des espèces acridiennes, notamment au stade larvaire, nous n'avons travaillé que sur les criquets adultes.

Les criquets ont été capturés individuellement et marqués sur leur pronotum par un feutre. Ils ont été par la suite relâchés dans le même endroit de capture, la technique de marquage n'a aucun effet sur le comportement de fuite des criquets (BenHalima 1983). Les individus se cachent habituellement à la base des touffes de plantes. L'expérimentateur s'approche jusqu'à faire bouger la plante refuge de manière à provoquer la fuite de l'insecte par un saut volant. La distance parcourue est mesurée, il se rapproche de nouveau pour faire fuir l'insecte et l'opération est conduite en tout quatre fois.

2.2.8. Morphométrie

Nous proposons d'étudier les différents traits morphologiques des individus adultes récoltés durant l'année 2013. Les mesures des différentes parties du corps à savoir la longueur du pronotum, du sternum, des fémurs postérieurs, des tegmina (jusqu'à la disparition de la nervure radiale sous le pronotum) et de l'abdomen (dans sa partie ventrale), ont été effectuées à l'aide d'un pied à coulisse ou sur des individus fixés sur un support couvert de papier millimétré permettant une précision de 1/10 mm. La largeur maximale de la tête et la hauteur maximale du fémur ont été réalisées avec une loupe échelonnée. Les valeurs obtenues sont répertoriées et classées en fonction de l'espèce le sexe et la date de récolte.

2.3. Échantillonnage du sol et analyse de la salinité

Dans le but d'évaluer la salinité du sol, des échantillons ont été prélevés. Le principe réside dans l'exécution d'un certain nombre de prélèvements élémentaires dans une zone présumée homogène et une couche d'épaisseur choisie et de profondeur donnée, puis constitution, par mélange et réduction d'un échantillon représentatif du niveau moyen d'une ou plusieurs caractéristiques données du sol (Mathieu *et al.*, 2003).

Pour chaque ceinture, chaque profondeur et chaque date de prélèvement, 8 à 10 sous-échantillons de sol séparés par un intervalle régulier de 10 m environ sont prélevés puis rassemblés et homogénéisés pour constituer un échantillon « final ». Les profondeurs considérées étaient de 5 cm, 10 cm et 20 cm. Les prélèvements avec un rythme mensuel se sont succédé de mars à septembre 2014. Chaque échantillon final a été tamisé à 2 mm et réduit à 500 g de poids frais pour être conservé dans des sacs en plastique référencés. Dans un

laboratoire d'analyse pédologique, ces échantillons ont été par la suite soumis aux différentes procédures de dosage de CL^- , SO_4^{2-} et NA^+ . Les protocoles suivis se détaillent comme suit :

2.3.1. Dosage des ions CL^- et SO_4^{2-}

La méthode utilisée consiste à faire des extractions aqueuses de rapports 1 sol / 2 eau distillée fixes, pour obtenir des fortes dilutions (Mathieu *et la.*, 2003) ; ce rapport restant constant quelle que soit la nature de l'échantillon et l'élément à doser.

Les chlorures sont dosés avec une solution de nitrate d'argent.

$$\text{Teneur en chlorures } Cl \text{ mé.L} = V \times D$$

Ou V : solution de nitrate d'argent utilisée pour le dosage des chlorures en mL ,

D : niveau de dilution (10 ou 100).

Le dosage des SO_4^{2-} s'effectue par spectrophotomètre à absorbance optique (JENWAY 7300).

2.3.2. Dosage de Na^+

La détermination du Na^+ s'effectue sur le filtrat récupéré lors de la saturation du sol avec l'acétate d'ammonium par photomètre à flamme (SHERWOOD M 410). Les mesures s'opèrent à partir d'un volume initial de 250 ml.

$$Na \text{ mé. } kg^{-1} = R \frac{V}{G} \times \frac{100}{1\,000}$$

R : résultat selon le graphe ($en\text{mé.L}^{-1}$) : courbe étalon avec des solutions de concentrations connues en Na^+

V : volume de l'extrait des cations échangeables (250 ml).

G : poids de la prise de terre en g (20 g).

2.4. Analyse statistique des données

Afin d'identifier les traits impliqués dans la structuration du peuplement acridien, nous avons procédé étape par étape en utilisant différents types d'analyses univariées (les descripteurs statistiques et indices de diversité) et d'analyses multivariées (ANOSIM, AFC, CHA). La manipulation du jeu de données et les analyses statistiques ont été conduites avec le logiciel PAST 3.17 (Hammer *et al.*, 2001).

2.4.1. Paramètres descriptifs des peuplements

2.4.1.1. Nombre d'individus et richesse spécifique

Une énumération des individus de chaque espèce est réalisée pour chaque ceinture (N). La richesse spécifique (S), qui correspond au nombre total d'espèces rencontrées sur une zone donnée peut être calculée. Elle est égale au nombre d'espèces différentes pour tous les trajets et prélèvements confondus. Ces paramètres vont permettre de comparer les différentes ceinture selon leur diversité et le nombre d'individus et mettre en avant le type d'habitat le plus intéressant.

2.4.1.2. Indice de diversité de Shannon-Weaver (H')

L'indice de diversité de Shannon (H') mesure le degré et le niveau de complexité d'un peuplement. Plus il est élevé, plus il correspond à un peuplement composé d'un grand nombre d'espèces avec une faible représentativité. A l'inverse, une valeur faible traduit un peuplement dominé par une espèce ou un peuplement à petit nombre d'espèces avec une grande représentativité (Blondel, 1975). Il s'exprime en Bit (binary digit unit) et calculé par la formule suivante:

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i \log_2 (p_i)$$
$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

H' : indice de diversité *Shannon-Weaver*

n_i: Effectif de l'espèce i

S : Richesse spécifique

N : Effectif total du peuplement

La valeur de H' varie de 0 quand la communauté n'est composée que d'une seule espèce ($\log_2 1 = 0$) à 4.5 ou 5 bits/individus pour les communautés les plus diversifiées. Les valeurs les plus faibles, inférieures à 1.5 bit/individu, sont associées à des peuplements dominés par 01 ou quelques espèces (Faurie *et al.*, 2003).

2.4.1.3. Indice d'équitabilité (E)

Indice d'équitabilité (E) est calculé à partir de l'indice de diversité *Shannon-Weaver* Elle est définie comme étant le rapport de la diversité spécifique réelle à la diversité maximale. Ce rapport mesure l'homogénéité de la distribution des individus entre les espèces.

$$E = \frac{H'}{H_{\max}}$$
$$H_{\max} = \text{Log}_2(S)$$

H' : indice de diversité

S : Richesse spécifique

L'équitabilité varie de 0 à 1. Elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs est concentrée sur une espèce. Elle est de 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance (Barbault, 1981). Une valeur d'équitabilité supérieure à 0,80 est considérée comme l'indice d'un peuplement équilibré (Daget, 1976).

Ces mesures de la biodiversité ont été considérées pour la communauté végétales des trois ceintures, ainsi qu'au peuplement acridiens inféodé aux différentes ceintures. La significativité des différences entre les ceintures a été déduite selon la méthode de bootstrap à 1000 permutations.

2.4.1.4. Densité

La densité totale en individu (D) pour une ceinture est estimée à partir de la moyenne des nombres d'individus par quadrat (100 m²) (Voisin, 1986). Le coefficient de corrélation linéaire de Pearson (*r*) est utilisé pour mesurer la relation linéaire entre la densité et la diversité des orthoptères dans les trois ceintures. L'analyse de variance à un facteur (One-way ANOVA) est utilisée pour tester l'effet d'un facteur qualitatif (ici milieu ayant trois modalités) sur une variable quantitative (dans notre cas les moyennes de densité). L'analyse de la covariance (ANCOVA) permet de réduire la variabilité de l'erreur par l'ajout d'une covariable dans le modèle d'ANOVA.

2.4.2. Exploitation des résultats par les indices écologiques

Analyses multi-variées

2.4.2.1. Analyse de similarité (ANOSIM)

C'est une méthode développée par Clarke (1993) visant à tester les différences de composition entre des groupes de relevés (> 5 si possible) par un test de permutation. L'indice de similarité préconisé est celui de Bray-Curtis. Une p-value inférieure à 5% indique une différence significative entre les groupes de relevés, que l'on peut alors qualifier d'assemblages. Ce test peut être à un seul facteur si on ne considère que des groupes de relevés, mais aussi à 2 facteurs si on tient compte en plus de la saison ou d'un autre facteur.

2.4.2.2. L'analyse factorielle des correspondances (AFC)

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) consiste à rechercher la meilleure représentation simultanée entre les lignes et les colonnes d'un tableau de type stations/espèces. Elle permet d'individualiser de façon objective et statistiquement fiable les groupements. Les graphiques utilisés représentent une projection simultanée des stations et des espèces dans un espace ayant autant de dimensions que de variables mesurées. En général, on utilise une représentation des plans formés par deux axes orthogonaux, ces axes étant ceux représentant un maximum de variance pour l'analyse (la plupart du temps, les deux ou trois premiers axes sont utilisés) (Gray *et al.*, 1982). L'interprétation des résultats se fait en termes de proximité entre stations, entre espèces ou entre stations et espèces. Une AFC à 2 dimensions a été utilisée pour exploiter les affinités des espèces végétales des différentes ceintures. Pour déterminer les groupements d'espèces à l'intérieur des acridiens, une AFC à 3 dimensions a été conduite sur les différents relevés.

2.4.2.3. La classification ascendante hiérarchique ou CAH

La classification ascendante hiérarchique ou CAH mesure la similarité entre les paires d'échantillons à l'aide d'indices comme Bray-Curtis, par exemple. Les résultats sont affichés dans un dendrogramme. L'objectif principal des méthodes de classification automatique est de répartir les éléments d'un ensemble en groupes et de les hiérarchiser. Généralement ces regroupements sont réalisés à partir d'une matrice de distances inter-sites calculées à l'aide d'un algorithme de classification, selon un ordre décroissant de niveaux de ressemblance

(Lebart *et al.*, 1984). Il existe plusieurs méthodes de classification et plusieurs choix de calcul de la distance entre deux entités.

2.4.2.4. L'analyse canonique des correspondantes (ACC)

L'étude des relations espèces-milieu peut s'effectuer par une analyse canonique des correspondantes (Ter Braak, 1986). Les analyses inter-intra groupes permettent de prendre en compte une éventuelle partition des individus. Cette méthode dont le développement est assez récent, permettent d'analyser les variations spatio-temporelles d'une structure écologique (Chessel *et al.*, 1996) ou d'une co-structure (Simier *et al.*, 1999). Ce type de couplage permet d'analyser plus finement les liens qui existent entre les variables sédimentaires et la répartition des espèces.

CHAPITRE III

RESULTATS

1. Etude de la salinité du sol

Les bilans ioniques (teneur en ions échangeables (Cl^- et SO_4^{2-}) et l'apport en sodium échangeable Na^+), réalisés sur les extraits de la pâte saturée des échantillons du sol prélevés sur 3 profondeurs (5, 10 et 20 cm), montrent que les trois ceintures présentent des concentrations très importantes en ions échangeables (Annexe 3).

L'évolution de la salinité du sol est caractérisée par un gradient croissant du point le plus profond vers la surface du sol. En effet, pour les trois ions mesurés, nous avons remarqué que les valeurs minimales sont enregistrées dans les échantillons prélevés à 20cm de profondeur et les valeurs maximales sont enregistrées à la surface (5cm), avec parfois quelques fluctuations intermédiaires. La figure 5. montre que la teneur en Cl^- est beaucoup plus importante en surface qu'en profondeur à l'exception du mois de mai où c'est le contraire. Le mois d'août enregistre le taux de Cl^- le plus fort. Les variations des teneurs en Na^+ sont comparables au cas précédent, mais le pic enregistré au mois d'août est moins prononcé.

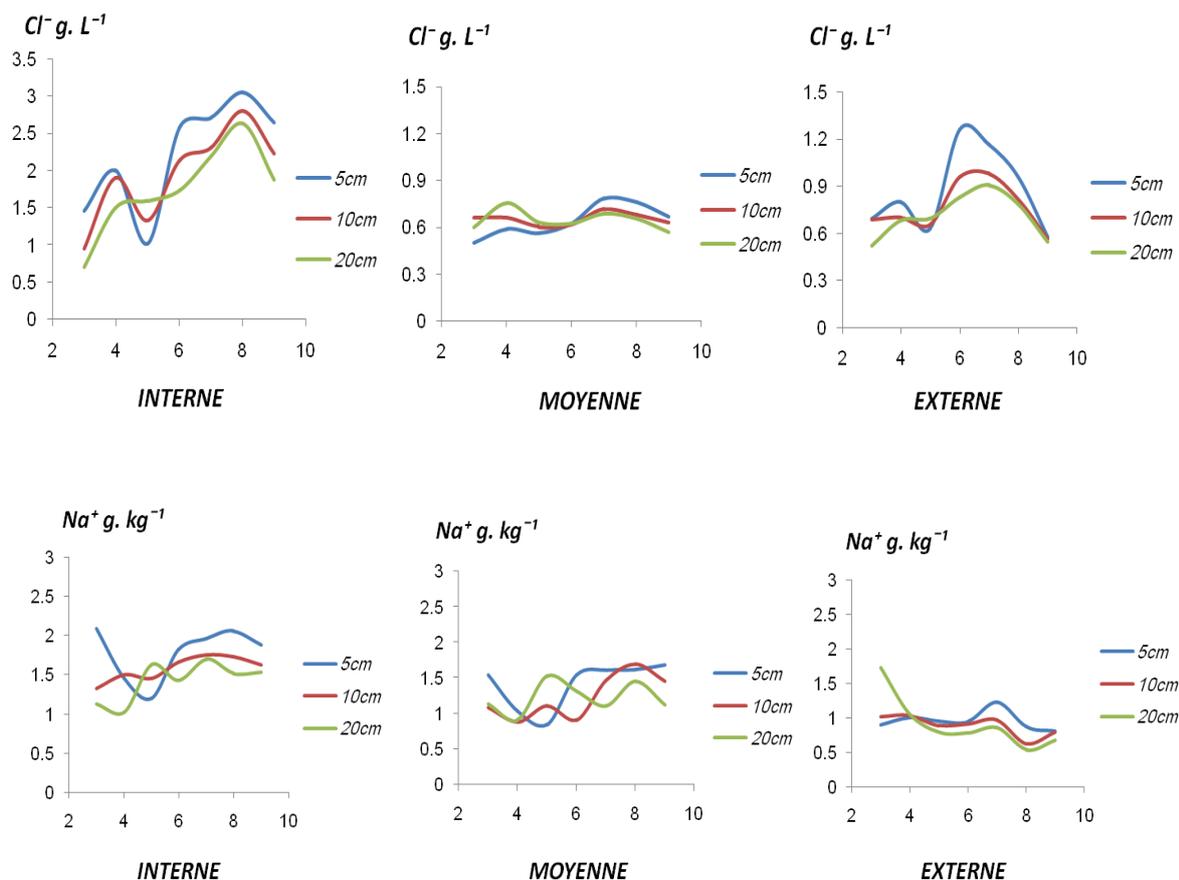


Figure 5. Variations mensuelles des concentrations du Cl^- et Na^+ dans les trois ceintures à différentes profondeurs (5, 10 et 20 cm).

Dans la gamme des teneurs en So_4^{2-} (Fig. 6), la valeur la plus élevée est enregistrée au mois d'août. En revanche nous n'avons pas observé un croisement des courbes au mois de mars et les taux varient très peu selon les profondeurs.

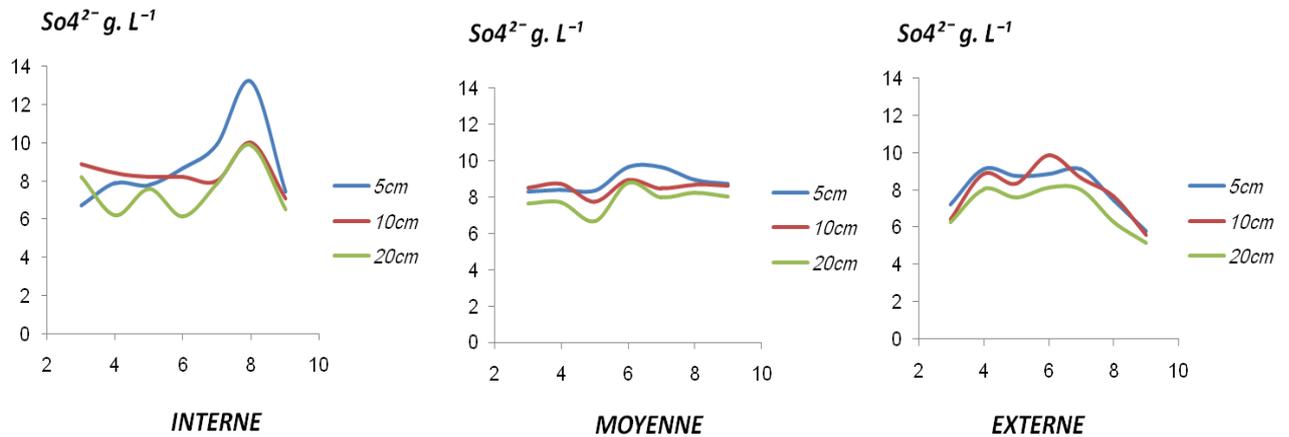
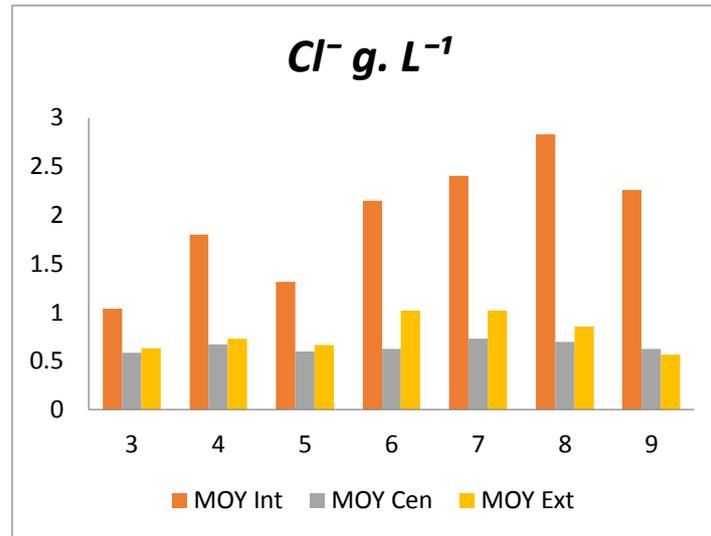


Figure 6. Variations mensuelles des concentrations en So_4^{2-} dans les trois ceintures à différentes profondeurs (5, 10 et 20 cm).

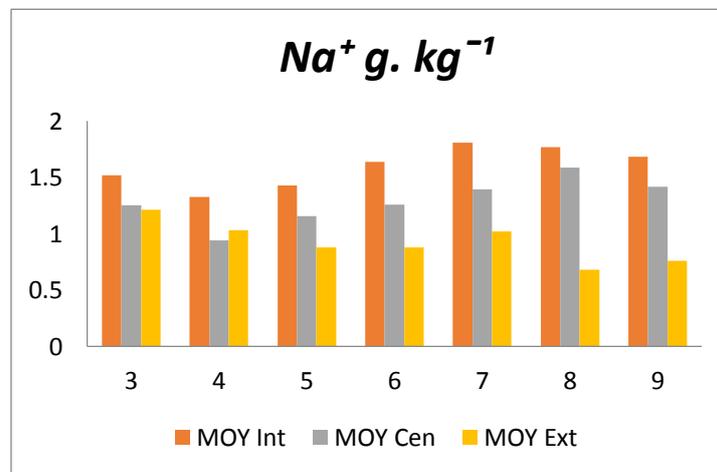
Pour comparer les variations de salinité entre les 3 ceintures, nous avons calculé la moyenne des taux enregistrés sur les trois profondeurs pour chaque élément (Fig. 7)

Le cation sondé dans la solution du sol est le sodium (Na^+), ses concentrations sont plus ou moins homogènes aux mois de mars et avril dans les trois ceintures, avec des concentrations faibles allant de 0.94 g. kg^{-1} à 1.51 g. kg^{-1} ; à partir du mois de mai, la ceinture interne se démarque des deux autres avec des valeurs plus importantes oscillent entre 1.42 g. kg^{-1} et 1.80 g. kg^{-1} . Les chlorures (Cl^-) présentent des teneurs plus abondantes, leurs concentrations varient entre 0.56 g. L^{-1} et 2.82 g. L^{-1} . Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans la ceinture interne avec une distribution variable d'un mois à un autre, contrairement aux deux autres ceintures qui enregistrent des taux très proches, moins importants et peu variables. Les sulfates (So_4^{2-}) sont les anions les plus fréquents dans les trois ceintures, avec des concentrations allant de 5.51 g. L^{-1} enregistrée dans la ceinture externe à 11.03 g. L^{-1} enregistrée dans la ceinture interne.

A



B



C

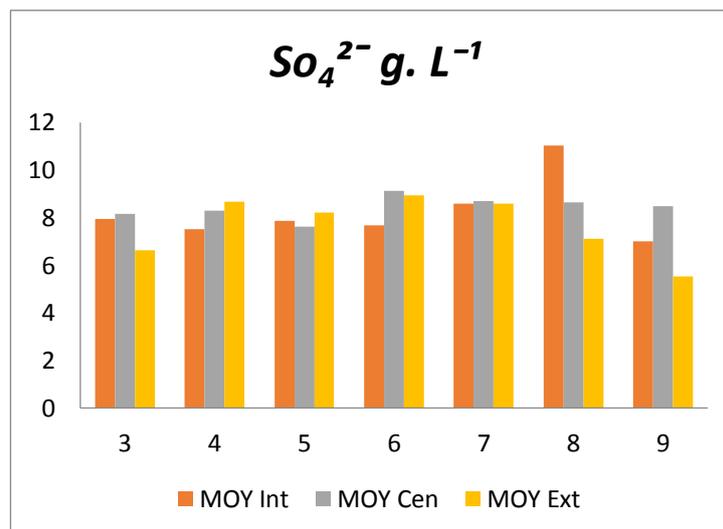


Figure 7. Variations mensuelles de la moyenne des salinités enregistrées dans les trois ceintures. (A : Cl^- ; B : Na^+ ; C : So_4^{2-}).

2. Description de la végétation

2.1. Inventaire floristique

A l'issue des prospections réalisées, nous avons dressé une liste floristique comportant 61 espèces végétales appartenant à 18 familles différentes (Tab. 3). Les *Poaceae* et les *Asteraceae* montrent à peu près le même nombre de taxons (respectivement 12 et 14 espèces) ce qui constitue plus de la moitié de la flore recensée, les Amaranthacées sont représentées par quatre espèces constituant 6,7% de l'ensemble de la végétation.

Tableau 3. Composition floristique globale de la station d'étude.

| Famille | Espèces |
|---------------|--|
| AMARANTHACEAE | <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> (Moric.) C. Koch. |
| | <i>Atriplex halimus</i> L. |
| | <i>Beta vulgaris</i> ssp. <i>maritima</i> L. |
| | <i>Sarcocornia fruticosa</i> (L.) AJ Scott. |
| ASTERACEAE | <i>Anacyclus clavatus</i> (Desf.) Pers. |
| | <i>Anacyclus valentinus</i> (Desf.) Pers. |
| | <i>Artemisia herba-alba</i> Asso . |
| | <i>Calendula arvensis</i> L. |
| | <i>Carthamus lanatus</i> L. |
| | <i>Centaurea calcitrapa</i> L. |
| | <i>Centaurea sicula</i> (L.) Soják |
| | <i>Echinops spinosus</i> ssp. <i>Bovei</i> (Boiss.) Murb. |
| | <i>Galactites tomentosa</i> Moench. |
| | <i>Hertia cheirifolia</i> (L.) Kuntze. |
| | <i>Picris cupuligera</i> (Durieu) Walp. |
| | <i>Scolymus hispanicus</i> L. |
| | <i>Senecio leucanthemifolius</i> ssp. <i>poiretianus</i> Poir. |
| | <i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertn. |
| POACEAE | – |
| | <i>Anisantha madritensis</i> (L.) Nevski. |
| | <i>Anisantha rubens</i> (L.) Nevski. |
| | <i>Anisantha sterilis</i> (L.) Nevski. |
| | <i>Anisantha tectorum</i> (L.) Nevski. |
| | <i>Avena sterilis</i> L. |
| | <i>Bromus hordeaceus</i> ssp. <i>hordeaceus</i> L. |
| | <i>Hordeum murinum</i> L. |
| | <i>Lolium rigidum</i> Gaudin |
| | <i>Lygeum spartum</i> L. |
| | <i>Piptatherum miliaceum</i> (L.) Coss. |
| | <i>Poa bulbosa</i> L. |

Suite Tableau 3.

| | |
|-----------------|--|
| RESEDACEAE | <i>Reseda arabica</i> Boiss. |
| | <i>Reseda alba</i> L. |
| APIACEAE | <i>Eryngium ilicifolium</i> Lam. |
| | <i>Torilis arvensis</i> ssp. <i>neglecta</i> (Rouy & Camus) Thell. |
| ASPARAGACEAE | <i>Muscari comosum</i> (L.) Mill. |
| BORAGINACEAE | <i>Echium humile</i> Desf. |
| | <i>Echium plantagineum</i> L. |
| BRASSICACEAE | <i>Biscutella auriculata</i> ssp. <i>auriculata</i> L. |
| | <i>Cynoglossum tubiflorum</i> (Murb.) |
| | <i>Diplotaxis virgata</i> (Cav.) DC. |
| | <i>Eruca vesicaria</i> ssp. <i>Vesicaria</i> (Miller) Thell. |
| | <i>Neslia paniculata</i> (L.) Desv. |
| | <i>Sisymbrium runcinatum</i> Lag. Ex DC. |
| CARYOPHYLLACEAE | <i>Mesembryanthemum nodiflorum</i> L. |
| | <i>Silene cinerea</i> Desf. |
| | <i>Vaccaria hispanica</i> (Mill.) Raushcert. |
| EUPHORBIACEAE | <i>Euphorbia helioscopia</i> L. |
| FABACEES | <i>Astragalus armatus</i> ssp. <i>armatus</i> Willd. |
| | <i>Medicago truncatula</i> Gaertn. |
| | <i>Vicia peregrina</i> L. |
| GERANIACEAE | <i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hérit. |
| LAMIACEAE | <i>Marrubium alysson</i> L. |
| | <i>Salvia verbenaca</i> L. |
| MALVACEAE | <i>Malva aegyptiaca</i> L. |
| | <i>Malva sylvestris</i> L. |
| PAPAVERACEAE | <i>Papaver hybridum</i> L. |
| | <i>Glaucium corniculatum</i> (L.) Rudolph. |
| | <i>Plantago afra</i> L. |
| PLANTAGINACEAE | <i>Plantago albicans</i> L. |
| THYMELAEACEAE | <i>Thymelaea hirsuta</i> (L.) Endl. |
| ZYGOPHYLLACEAE | <i>Peganum harmala</i> L. |

2.2. Caractérisation biologique

Selon la participation de chaque type biologique à l'ensemble de la flore, le spectre biologique peut être dressé; ainsi, au niveau du territoire étudié, les thérophytes apparaissent nettement majoritaires avec 24 espèces (48 %), suivis de 17 espèces d'hémicryptophytes soit 34 % de l'ensemble de la végétation. Les chamaephytes avec 6 espèces (14%) sont composées principalement d'Amaranthacées. Les géophytes avec 02 espèces (4 %). Les nanophanéophytes sont représentées par une seule espèce (*Atriplex halimus*) (Fig. 8).

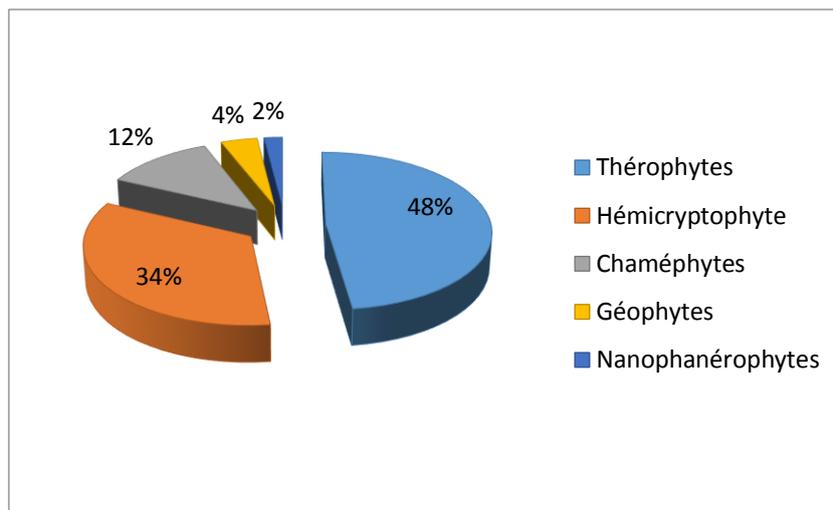


Figure 8. Spectre biologique de la composition floristique.

2.3. Analyse de la diversité

Bien que le recouvrement général de la végétation caractérise celui des milieux ouverts et espacés, la répartition de la flore, notamment celle en bordure du plan d'eau, est structurée suivant un modèle de zonation précis. En effet, la végétation dans la parcelle échantillonnée reflète une disposition concentrique des espèces dominantes suivant un gradient des facteurs édaphiques notamment la salinité et l'humidité du sol.

Les résultats obtenus par l'échantillonnage de 5 transects pour chaque ceinture, nous ont permis de calculer les indices de peuplements pour chaque ceinture (Richesse spécifique, Densité, Indice de Shannon H'). La significativité des différences entre les trois ceintures a été déduite par la l'indice de Bootstrap à 1000 permutation.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau. 4.

Tableau 4. Paramètres descriptifs de la végétation des trois ceintures. a , b et c sont différentes lorsque les tests indiquent une différence significative au seuil de 5 %.

| | Ceinture interne | Ceinture moyenne | Ceinture externe |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
| Richesse spécifique S | 8 a | 46 b | 31 c |
| Densité | 187,8 a | 292,4 b | 367.8 c |
| Dominance | 0,32 a | 0,041 b | 0,048 b |
| Shannon H' | 1,27 a | 3,464 b | 3,218 c |

La Richesse spécifique S est représentée par le nombre total d'espèces recensées. Elle marque la valeur la plus élevée dans la ceinture moyenne. L'indice de Shannon H' permet d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces. La ceinture moyenne présente une diversité légèrement supérieure à celle de la ceinture externe, cependant que la végétation de la ceinture interne est beaucoup plus pauvre. Les trois ceintures diffèrent significativement par leur richesse et leur diversité (teste de permutation, $p < 1 \%$) (Annexe 4). La dominance enregistre des valeurs faibles dans les deux ceintures moyenne et externe (teste de permutation, $p < 1 \%$) ce qui traduit un meilleur équilibre d'abondance entre les espèces.

2.4. Analyse des assemblages

La comparaison des assemblages de la flore par ANOSIM (Analysis Of SIMilarity) (Bray-Curtis comme mesure de distance, 10000 permutations) (Tab. 5), démontre une variation significative de la composition floristique entre les trois ceintures ($P \leq 0.01$).

Tableau 5. Comparaison des assemblages par ANOSIM (Bray-Curtis comme mesure de distance à 10000 permutations).

| | Ceinture interne | Ceinture moyenne | Ceinture externe |
|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Ceinture interne | - | 0,010 | 0,010 |
| Ceinture moyenne | 0,010 | - | 0,008 |
| Ceinture externe | 0,010 | 0,008 | - |

2.5. Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)

Pour exploiter les affinités des espèces végétales dans les différentes ceintures, une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été appliquée aux nombres d'espèces appartenant à des unités phytosociologiques reconnues au sein de chaque ceinture (soit une matrice de 13 classes phytosociologiques par 3 ceintures). Les scores des espèces et des milieux dans les 2 premières dimensions ont servi à effectuer une *Cluster Analysis*.

L'étude de la carte factorielle relative aux relevés phytosociologiques, suivant les deux premiers axes (F1_F2) (Fig. 9), ainsi que l'utilisation complémentaire de la classification ascendante hiérarchique (Fig. 10), nous ont permis d'individualiser trois ensembles bien distincts correspondant à des groupements végétaux. Les fortes contributions relatives des différentes classes aux axes (Annexe 5) ainsi que les caractéristiques écologiques de chaque

classe, nous ont conduits à déterminer les facteurs écologiques prépondérants, responsables de la répartition et la composition floristique de la station d'étude.

Il est à remarquer que l'axe 1 est caractérisé par des groupes syntaxonomique à forte contribution relative (78.72%). Quatre classes phytosociologiques ont une contribution supérieure à la moyenne et participent pour 75 % à sa détermination.

- Du côté positif de l'axe 1 se distinguent les classes de végétation halophile des *Arthrocnemetea Fruticosi* (R. Tüxen Et Oberdorfer 1958), *Pegano Harmalae-Salsoletea Vermiculatae* (Br.-Bl. Et Bolos 1957) et *Asteretea Tripolii* (Westhoff et Beeftink in Beeftink, 1962). Ces classes phytosociologiques sont composées en grande partie de sujets halophytes appartenant à la famille des Amaranthacées à port chaméphytique. Ce type de formation d'aspect steppique dense, est adapté aux sols hydrophile salinisés (pourtour des dépressions salées lagunes, chotts, sebkhas) (kaabèche, 2000 ; Braun-Blanquet *et al.*, 1957).
- Un peu plus centrée vers l'origine, la classe des *Agrostiostoloniferae Arrhenatheretea elatioris subsp. elatioris* (Tüxen 1937 em.1970) représente les prairies mésohydriques permanentes et les pâturages à fort contraste d'humidité, sur sol non ou peu salées (Kluszczewski, 2016).
- Situées sur le côté négatif, la classe des *Stipo capensis - Brachypodietea distachyi* (Braun-Blanquet 1947 Brullo 1985) se développe sur des substrats mésoxérophiles oligohaline (Kluszczewski, 2016).

L'axe 1 semble être corrélé avec deux variables édaphiques. Il explique l'influence des facteurs humidité et salinité du sol. Ceci se traduit par l'opposition d'un milieu très salin et humide d'un côté, contre un substrat plus sec et moins salé de l'autre.

Il est à souligner que la ceinture interne située dans la partie positive de l'axe 1, s'oppose aux deux ceintures moyenne et externe localisées dans la partie négative de l'axe.

L'axe 2 absorbe 21.27 % de l'inertie totale. Six classes phytosociologiques ont une contribution supérieure à la moyenne et contribuent par 85 % à sa détermination.

- Cet axe met en évidence, du côté négatif, l'ensemble des communautés végétales caractéristiques des Hautes Plaines steppiques d'Algérie, relevant de la classe des *Lygeo-Stipetea* (Rivas-Martinez 1978 in. Kaabèche 1990) constituée pour la plupart de plantes herbacées ou sous-frutescentes croissant en touffes espacées (Kaabèche 1990), ainsi que la classe des *Tuberarietea Guttatae* (Rivas-Martinez 1978 in. Braun-Blanquet 1952), unité

regroupant les communautés thérophytes éphémères adaptées aux milieux arides (Kaabéche, 2000).

- Le côté positif de l'axe 2 s'avère correspondre globalement aux classes des végétations rudérales à caractère nitrophiles qui se développent sur les reposoirs des troupeaux (*Sisymbrietea Officinalis* (Gutte & Hilbig 1975) et *Dactylo glomeratae subsp. hispanicae* (*Brachypodietea retusi* Julve 1993)) (Kaabéche, 2000), ainsi qu'aux messicoles associées aux cultures et aux friches (*Saginetea Maritimae* (West., V. L. et Adriani 1961 *em.* Géhu et Biondi 1986)). Ces types de formation témoignent d'une altération anthropogène des communautés initiales (Kaabéche, 2000).

L'axe 2 semble exprimer un gradient de dégradation de la végétation steppique spontanée opposé à une végétation pionnière représentatives de milieux perturbés sous l'action de l'homme (cultures, jachères, friches et pâturage).

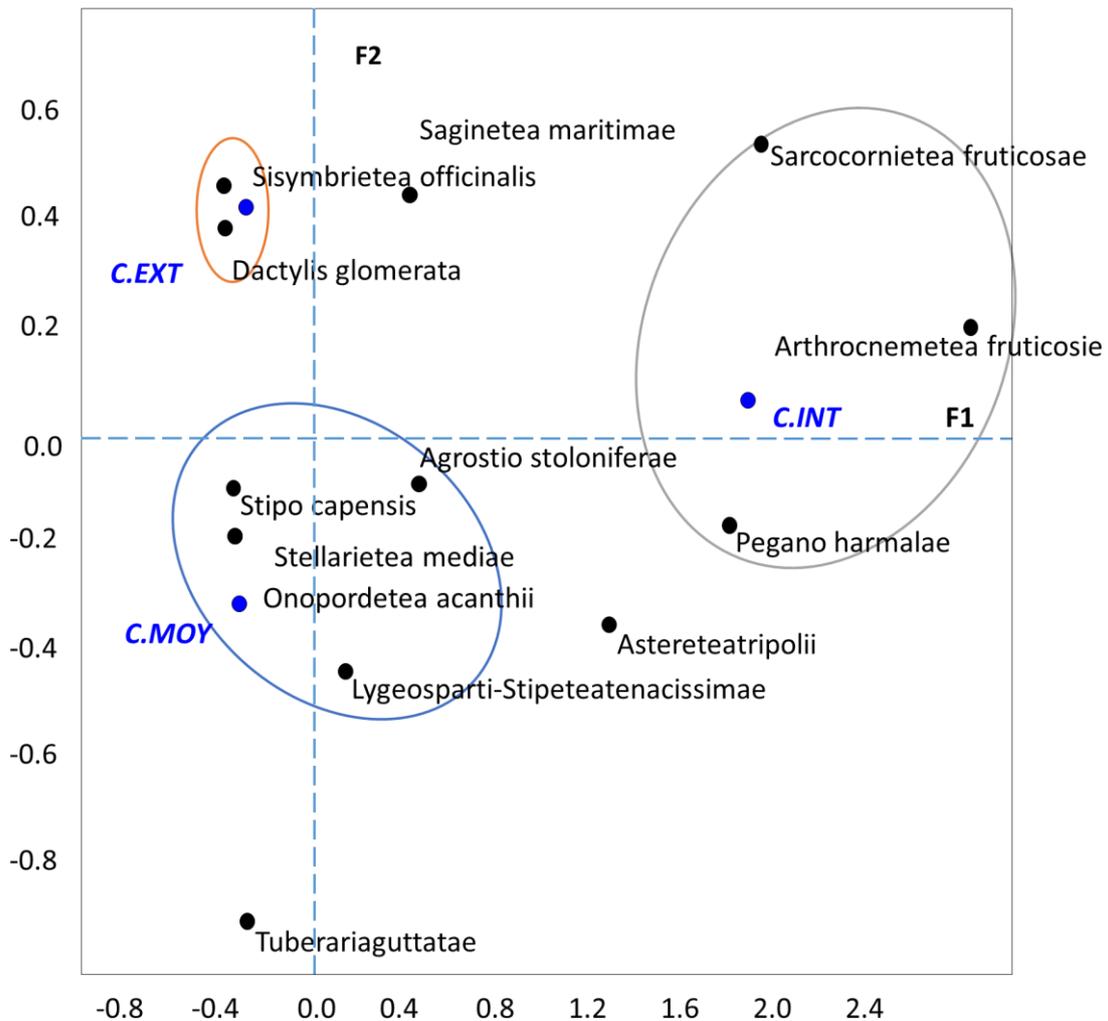


Figure 9. Représentation des classes phytosociologiques dans le plan F1-F2 de l'Analyse Factorielle des Correspondances.

La classification hiérarchique ascendante basée sur les scores des classes phytosociologiques et des trois ceintures dans les 2 premières dimensions de l'AFC, apporte une confirmation à l'interprétation précédente (Fig. 10, Annexe 5).

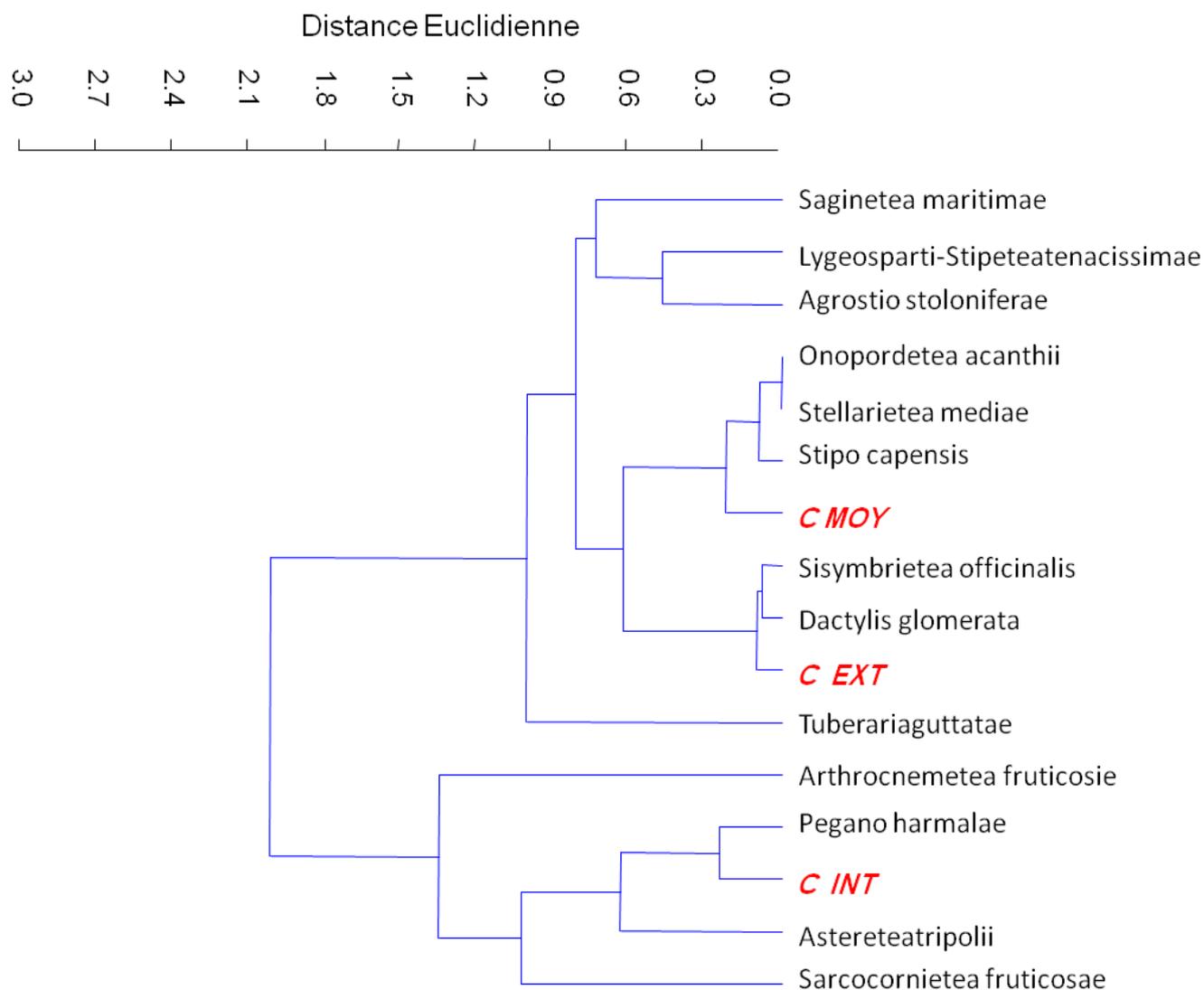


Figure 10. Dendrogramme des associations phytosociologiques enregistrées dans les trois ceintures.

Voir Annexe 5 pour les noms complets des associations phytosociologiques.

La ceinture interne est colonisée par des halophytes à port chaméphytique, relatives à la végétation à caractère steppique colonisant les dépressions salées. Ainsi, les groupements végétaux constitués de *Salicornia fruticosa*, *Arthrocnemum macrostachyum* et *Thymelaea hirsuta* forment une ceinture soudée entourant tout le pourtour du Chott. Celle-ci est toutefois intercalée par

d'autres espèces telles que *Beta vulgaris*, *Peganum harmala* et *Artemisia herba alba*. En effet, cette distribution et structure reflète une image fidèle de la composition du substrat en sels.

Les végétaux de la ceinture moyenne appartiennent aux classes associées aux steppes aride et semi-aride. Cependant nous retrouvons également un aspect de steppe dégradée dans cette ceinture. L'apparition d'unités de *Peganum harmala* espèces non supportées par les troupeaux (Pouger, 1980) indique un surpâturage et montre l'ampleur de l'action anthropozoogène (Nedjraoui *et al.*, 2009). La ceinture externe est associée aux cultures ou aux friches. Au sein de la ceinture moyenne les plantes halophiles sont peu présentes, en effet on trouve trois plantes tolérantes de degrés élevés de sels à savoir *Beta vulgaris* ssp *maritima*, *Peganum harmala* et *Artemisia herba-alba*. De même dans la ceinture externe on note la présence d'*Atriplex halimus* qui selon Chenchouni (2009) exige habituellement des profils où la conductivité électrique est moyenne ou faible.

3. Analyse du peuplement Acridien inféodé au *Chott Tinsilt*

3.1. Composition globale de la faune acridienne

À travers les 72 prélèvements effectués au cours de la période de l'étude (2013 et 2014) dans les trois ceintures, 3315 individus appartenant à 18 espèces ont été enregistrées (Tab. 6).

Ces espèces se répartissent en 4 familles : les Pamphagidae, les Pyrgomorphidae, les Acrididae et les Dericorythidae. La famille des Acrididae est la mieux représentée, elle compte 10 espèces inféodées aux deux ceintures externe et moyenne à l'exception des espèces de la sous-famille des Calliptaminae qu'on trouve également dans la ceinture interne, les 5 espèces de Pamphagidae sont recensées dans les ceintures externe et moyenne, de même pour les 2 Pyrgomorphidae. Les Dericorythidae sont représentées par une seule espèce strictement inféodée à la ceinture interne.

Tableau 6. Inventaire récapitulatif des espèces Orthoptères récoltées au niveau du *chott Tinsilt*.

| Famille | Sous Famille | Espèces |
|-------------|---------------|---|
| ACRIDIDAE | Calliptaminae | <i>Calliptamus barbarus</i> (Costa, 1836) |
| | | <i>Calliptamus wattenwylanus</i> (Pantel, 1896) |
| | Gomphocerinae | <i>Dociostaurus marrocanus</i> (Thunberg, 1815) |
| | | <i>Dociostaurus jagoi jagoi</i> (Soltani, 1978) |
| | Oedipodinae | <i>Acrotylus patruelis</i> (Herrich-Schäffer, 1838) |
| | | <i>Aiolopus strepens</i> (Latreille, 1804) |
| | | <i>Oedaleus decorus</i> (Germar, 1825) |
| | | <i>Oedipoda caerulescens</i> (Linnaeus, 1758) |
| | | <i>Oedipoda miniata</i> (Pallas, 1771) |
| | | <i>Sphingonotus azureus</i> (Rambur, 1838) |
| PAMPHAGIDAE | Pamphaginae | <i>Acinipe calabra</i> (Costa, 1836) |
| | | <i>Ocneridia volxemi</i> (Bolívar, 1878) |
| | | <i>Pamphagus cristatus</i> (Descamps & Mounassif, 1972) |
| | Thrinchinae | <i>Tmethis pulchripennis</i> (Serville, 1838) |
| | | <i>Tmethis cisti cisti</i> (Fabricius, 1787) |

Suite tableau 6.

| | | |
|----------------|----------------|---|
| DERICORYTHIDAE | Dericorythinae | <i>Dericorys millierei</i> (Bonnet & Finot, 1884) |
| PYRGOMORPHIDAE | Pyrgomorphinae | <i>Pyrgomorpha conica</i> (Olivier, 1791) |
| | | <i>Pyrgomorpha cognata</i> (Krauss, 1877) |

3.2. Paramètre descriptifs du peuplement orthoptère

3.2.1. Richesse spécifique et effort d'échantillonnage

La richesse spécifique (S), qui correspond au nombre total d'espèces rencontrées sur une zone donnée a été calculée pour chaque ceinture. Nous constatons que la richesse spécifique des deux ceintures moyenne et externe est assez proche avec 15 et 16 espèces respectivement. Elle décroît très significativement dans la ceinture interne où nous avons recensé 3 espèces seulement (Annexe 8).

L'indice de raréfaction fait apparaître le nombre théorique de relevés nécessaires pour que la richesse cumulée soit représentative de la richesse réelle.

La courbe cumulée relevés / nombre d'espèces (Fig. 11) montre que 13 relevés réalisés dans la ceinture interne permettent d'arriver à l'asymptote. Pour les ceintures moyenne et externe l'asymptote semble se profiler vers l'horizon au bout du 23^{ème} relevé. Cela valide une intensité de prospection a priori suffisante.

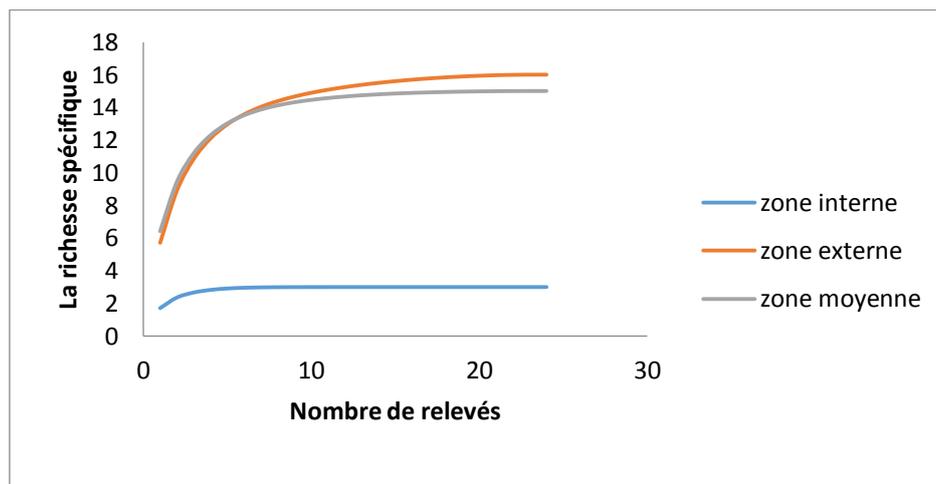


Figure 11. La richesse spécifique théorique des ceintures estimée à partir du nombre de prélèvements.

3.2.2. Les indices de diversité

Les indices de diversité permettent d'évaluer de façon plus précise, la diversité du milieu en fonction de la répartition des espèces dans chaque ceinture. Les valeurs des indices de diversité Shannon- Weaver **H**, d'équitabilité de Piélou **E**, la Dominance **D**, et la densité sont consignées dans le tableau .7, les différentes lettres (a, b, c) illustrent la significativité des différences entre ces indices déduite selon la méthode de bootstrap et teste de permutation.

Tableau 7. Paramètre descriptifs du peuplement orthoptère dans les trois ceintures. a, b et c sont différentes lorsque les tests indiquent une différence significative au seuil de 5 %.

| | Ceinture Interne | Ceinture Moyenne | Ceinture Externe |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Richesse _S | 3 a | 15 a | 16 b |
| Sample rarefaction | 3 | 16 | 16 |
| Densité Moyenne/100m ² | 32.5 a | 66.58 b | 38.87 c |
| Dominance_D | 0.647 a | 0.116 b | 0.105 b |
| Shannon_H | 0.657 a | 2.346 b | 2.435 c |
| Equitabilité_E | 0.598 a | 0.866 b | 0.878 b |

Pour ce qui est de l'indice de diversité de Shannon, la ceinture externe présente la diversité la plus importante (H= 2.435 bits). Une valeur légèrement inférieure a cependant été enregistrée pour la ceinture moyenne (H= 2,346 bits). L'indice d'équitabilité supérieure à 0.8 dans les deux ceintures moyenne et externe, atteste d'une répartition homogène des espèces dans les deux ceintures ; cette homogénéité se confirme par un indice de dominance relativement faible (D= 0.1).

L'indice de bootstrap atteste d'une ressemblance de la diversité et de la dominance entre les ceintures moyenne et externe. Ces deux ceintures se distinguent significativement de la ceinture interne ($p \leq 0.001$).

En effet, la ceinture interne enregistre une diversité spécifique très faible (H= 0,658), contrairement à la dominance qui est plus importante (D= 0,647). Cette dominance se traduit par une forte proportion de *Dericorys millierei* qui représente 79% de la biomasse orthoptérique rencontrée dans cette ceinture. Effectivement, cette espèce présente localement des densités atteignant 51 individus par 100m². Le principal intérêt orthoptérique de ces milieux est donc la présence de cette espèce très spécialisée qui est en outre l'un des orthoptères les plus remarquables (Fig. 12).



Figure 12. *Dericorys millierei* (Bonnet & Finot, 1884) sur un buisson de *Thymelaea hirsuta* (L.) Endl. (*photo originale*)

3.2.3 Densité

Dans bien des cas, la densité et la diversité spécifique évoluent de la même façon.

Les résultats de notre inventaire dans les deux ceintures moyenne et externe n'échappent pas à cette règle (Coefficient de corrélation de Pearson $r = 0,90$; $P < 0,0001$). Cependant la ceinture interne déroge à cette règle, ou la corrélation entre densité et diversité est faible (Coefficient de Pearson $r = 0,42$; $P = 0,06$).

Les variations des densités illustrées dans la figure 13. montrent que les premiers adultes sont observés début avril. Dans la ceinture moyenne c'est le mois de Juin (119.75 individus /100 m²), suivi par le mois de mai (100 individus /100 m²), qui enregistrent la plus grande densité spécifique. Dans la ceinture externe, le pic de densité est atteint au mois de mai avec 69.5 individus /100 m². Cet enrichissement des effectifs dans ces deux ceintures va de paire avec l'augmentation de leur diversité spécifique qui passe entre avril et juin, de 7 à 11 espèces dans la ceinture moyenne, et de 6 à 13 espèces dans la ceinture externe.

Dans la ceinture interne nous avons constaté un retard dans l'apparition des orthoptères: les premiers adultes ne sont observés qu'au mois de Mai. La densité augmente progressivement, le nombre maximal en individu est atteint au mois d'août.

D'un point de vue général, la densité du peuplement acridien présente des variations temporelles et spatiales. Le degré de significativité de ces différences a été testé à l'aide d'une analyse de la variance (ANOVA). Le résultat de l'analyse permet de déceler des différences significatives entre les trois ceintures en mai ($p=0.003$), juin ($p=0.0001$) et juillet ($p=0.002$). Au mois d'avril les variations des densités entre la ceinture moyenne et externe sont peu significatives ($p=0.05$). Pour les mois d'août et septembre les relevés de densités ne diffèrent pas selon le milieu ANOVA ($P > 0.08$). En revanche si on élimine l'effet de la diversité, l'ANOVA conduite sur le résidu de la droite de régression linéaire montre une signification élevée des variations de la densité entre les trois ceintures au mois d'août et de septembre ($p < 0.002$). Nous pourrions conclure que les trois ceintures sont indépendantes du point de vue de la densité orthoptérique.

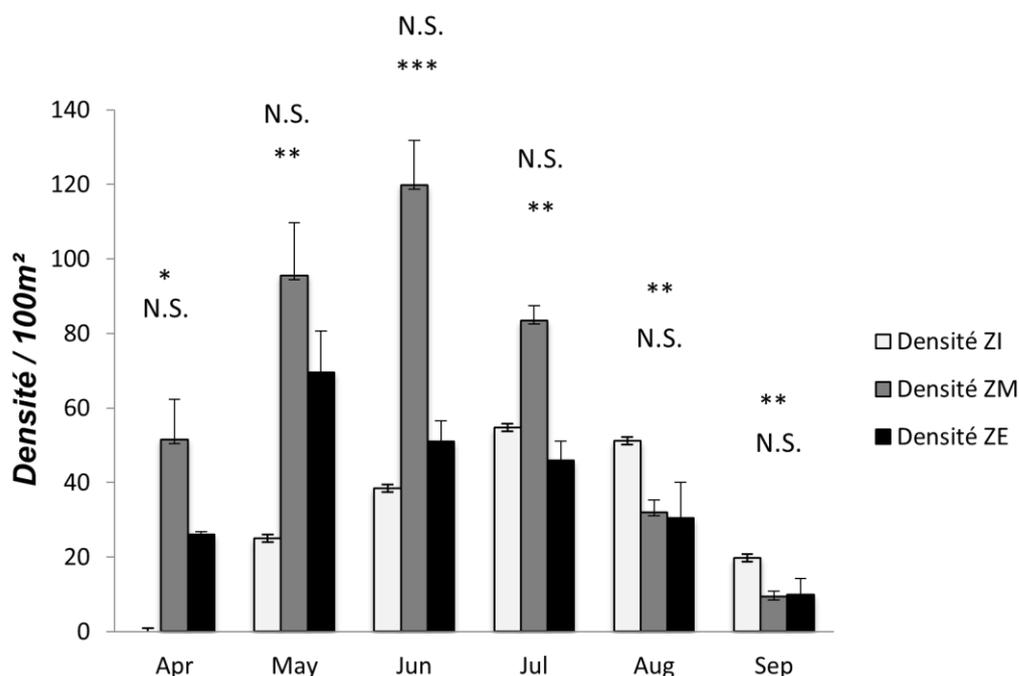


Figure 13. Les variations mensuelles des densités des orthoptères pour chaque ceinture.

Signe inférieur: Significativité des différences de densité par ANOVA

Signe supérieur: Significativité des différences de densité après l'élimination de l'effet de la diversité

Abréviations: N.S Non significatif ; * $p < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $p < 0.001$.

ZI ceinture interne ; ZM ceinture moyenne ; ZE ceinture externe.

3.2.4 Caractéristiques écologiques

3.2.4.1 Analyse de similarité

Nous avons cherché à dégager les paramètres qui structurent en premier lieu le peuplement observé dans ces ceintures. L'analyse de similarité ANOSIM utilisant Bray-Curtis comme mesure de distance à 10000 permutations, permet de comparer les assemblages deux à deux. $P \leq 0.01$ quelle que soit la combinaison (Tab. 8), le résultat indique des variations significatives de la composition du peuplement acridien d'une ceinture à une autre.

Tableau 8. Comparaison des assemblages par ANOSIM (Bray-Curtis comme mesure de distance à 10000 permutations).

| | Ceinture Interne | Ceinture Moyenne | Ceinture Externe |
|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Ceinture Interne | 0 | 0.0001 | 0.0001 |
| Ceinture Moyenne | 0.0001 | 0 | 0.0182 |
| Ceinture Externe | 0.0001 | 0.0182 | 0 |

Tow-way ANOSIM (Bray-curtis comme indice de distance, 10000 permutations) permet de prendre en considération l'effet de deux variables qualitatives, le milieu avec ses 3 modalités (ceinture interne, moyenne et externe) ainsi que le facteur saison (printemps, été-automne). Le résultat est encore une fois significatif pour les deux facteurs ($p < 1 \%$), ce qui démontre des différences de composition entre les trois ceintures durant les 2 saisons. Nous en déduisons que les deux paramètres milieu et saison influencent la distribution du peuplement d'Orthoptères dans le site d'étude.

3.2.4.2 Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)

L'ensemble des données correspond à une matrice de 36 relevés x 18 espèces a été soumis à une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC), dans le but de mettre en évidence les différents assemblages d'orthoptères ainsi que les espèces caractéristiques de chaque assemblage.

L'AFC fournit respectivement 34.3 %, 23.12 % et 12.6 % de l'inertie du nuage pour les trois premiers axes factoriels. Ces résultats révèlent l'influence prépondérante de plusieurs facteurs écologiques sur l'orthoptérofaune. L'interprétation des axes principaux (facteurs) peut s'effectuer indirectement en fonction des espèces présentant une forte contribution relative aux valeurs propres de chacun des axes, compte-tenu de leur écologie et de leur chorologie.

La projection F1-F2 illustrée dans la figure 14. révèle une configuration du nuage de points nettement étiré dans deux directions principales :

- La première direction s'exprime selon l'axe F1. Plus qu'il ne gradue le nuage de points, cet axe isole surtout *Dericorys millierei* en coordonnée positive des autres espèces situées du côté négatif de l'axe.
- La deuxième direction allonge le nuage de point le long de l'axe F2 selon un gradient décroissant expliquant la distribution chronologique des espèces, en poussant vers l'extrémité positive de l'axe les relevés les plus hâtifs (par voie de conséquence les espèces les moins thermophiles).

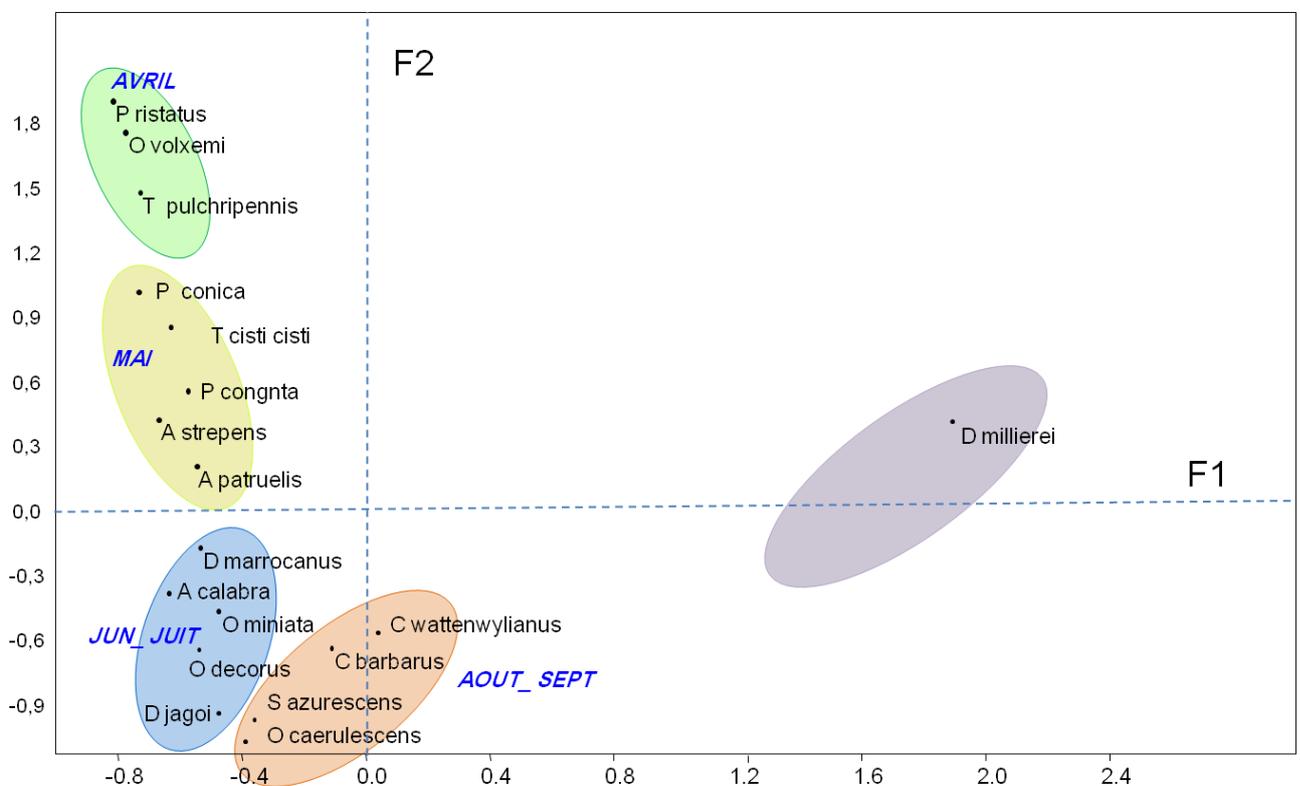


Figure 14. Représentation des espèces dans le plan F1-F2 de l'Analyse Factorielle des Correspondances.

L'examen des cartes factorielles relatives aux axes 1-3 (Fig. 15) conduit à discriminer 5 assemblages bien séparés les uns des autres, la délimitation des ensembles de relevés, ainsi que leurs constitution, ont été largement facilitées par la classification hiérarchique ascendante, calculée à partir des distances euclidiennes entre les espèces et les relevés d'après les trois premiers scores de l'AFC (Annexe 6). La liste des espèces appartenant à chaque ensemble est consignée dans le tableau 9.

- En coordonnées positives de l'axe F1, le 1^{er} groupe (ZI) nettement discriminé du nuage global, est associé exclusivement aux relevés provenant de la ceinture interne avec *Dericorys millierei* comme seule espèce caractéristique. C'est une espèce généralement signalée sur les buissons des plantes halophiles (Korsakoff, 1958; Chopard, 1943; Moussi *et al.*, 2011). Elle est strictement liée aux milieux halophiles (Finot, 1896(1895)).

L'axe 1 s'avère donc représentatif d'un facteur édaphique, opposant la ceinture interne à sol très salinisé aux deux autres ceintures à salinité plus modérée.

- En coordonnées négatives de l'axe F3, les deux groupes *ZM spring* et *ZM summer* réunissent les relevés provenant de la ceinture moyenne. Ils rassemblent un cortège conséquent des espèces les plus géophiles, adeptes d'une végétation très basse, lacunaire ou discontinu à sols caillouteux et bien ensoleillés en l'occurrence *Oedipoda miniata* (Savitsky, 2010), *Oedipoda caerulescens* (Defaut, 2010 ; Boitier, 2004), *Sphingonotus azurescens*, *Calliptamus barbarus* (Puissant *et al.*, 2002 ; Louveaux *et al.*, 1988), *Dociostaurus marrocanus* (Louveaux *et al.*, 1996), *Tmethis cisti cisti*, *Pyrgomorpha cognata* (Lecoq, 1989). Cependant, on note une nette ségrégation entre les relevés printaniers avec 5 espèces caractéristiques (*T. pulchripennis*, *T. cisti cisti*, *O. volxemi*, *P. cognata* et *A. patruelis*), et les relevés estivales avec 6 espèces caractéristiques (*O. caerulescens*, *O. miniata*, *S. azurescens*, *C. barbarus*, *D. marrocanus*, *C. wattenwylanus*).
- Du côté opposé en coordonnées positives de l'axe F3 les relevés provenant de la ceinture externe, nous avons noté la présence des espèces adeptes d'une végétation basse mais un peu plus fournie, continue ou presque. Le groupe *ZE spring* compte 3 espèces caractéristiques *A. strepens*, *P. conica*, *P. cristatus*. Se sont des espèces mésothermophiles qui apparaissent très tôt au printemps (Chopard, 1943). Le groupe *ZE summer* renferme 2 espèces *O. decorus* et *D. jagoi*. Elles sont essentiellement liées à une strate herbacée ouverte (friches et pelouses sèches) (Jaulin, 2009). *O. decorus* peut être considérée comme espèce indicatrice des milieux subissant une forte pression de pâturage (Louveaux *et al.*, 1996).

L'axe F3 semble ordonner les espèces selon un gradient croissant de taux de recouvrement de la végétation ; il oppose les végétations herbacées, et les espèces qui y sont associées, aux ceintures à recouvrement végétal discontinu, qui hébergent des espèces volontiers géophiles.

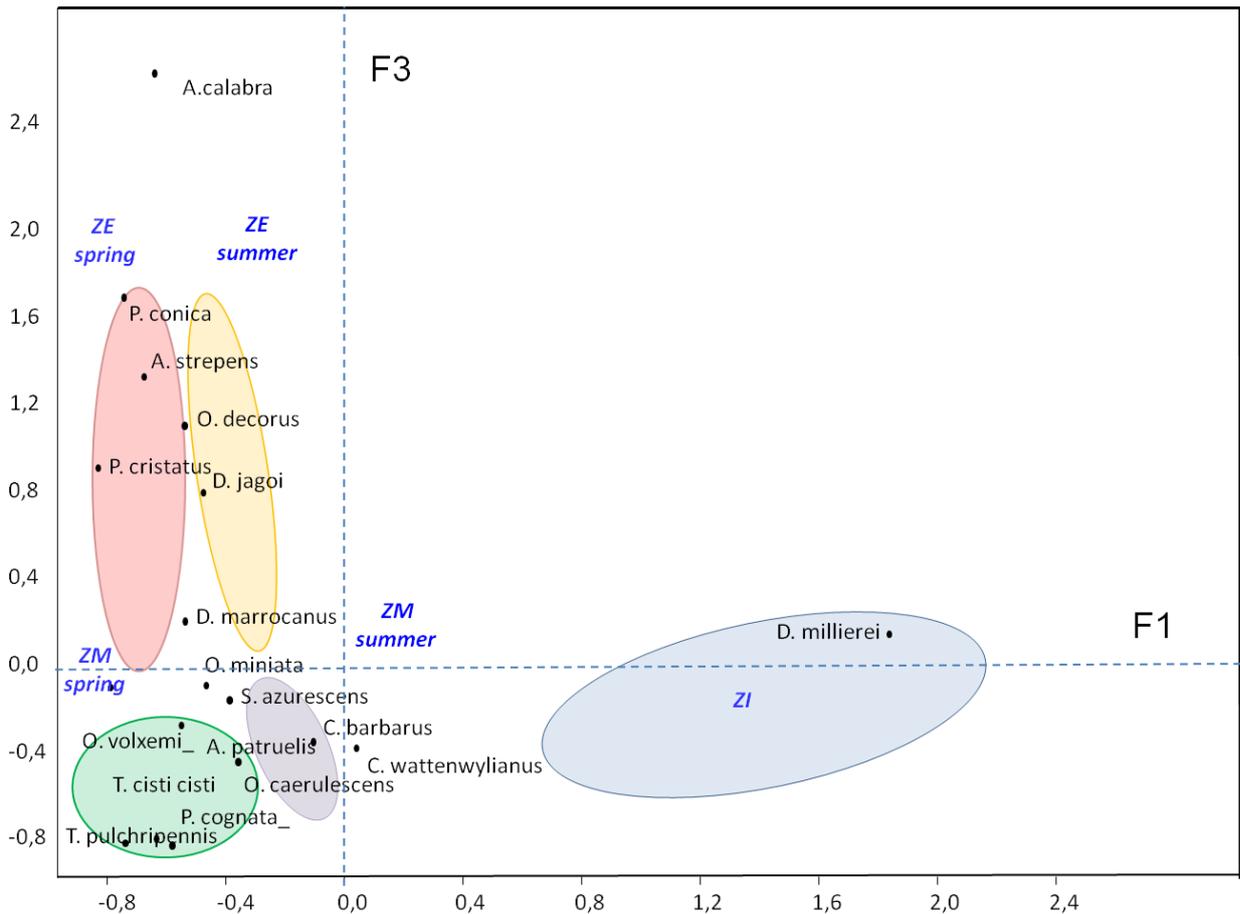


Figure 15. Représentation des espèces dans le plan F1-F3 de l'Analyse Factorielle des Correspondances.

Abréviations: ZI ceinture interne ; ZM ceinture moyenne ; ZE ceinture externe.

Le peuplement se structure donc en premier lieu en fonction de son halotolérance (résistance des espèces à la présence de sel à de fortes concentrations dans le milieu). Dans un second lieu le peuplement se structure également selon les besoins des espèces en terme de recouvrement végétal, depuis les espèces qui recherchent des végétations fournies et continues, jusqu'aux éléments adeptes des habitats à végétation lacunaire ou absente. De plus et d'une manière tout à fait classique les variations saisonnières jouent un rôle important dans la distribution des espèces. La liste des espèces appartenant à chaque ensemble est consignée dans le tableau 9.

Tableau 9. Les 5 assemblages Acridiens.

| | Printemps | | Eté | |
|------------------|--|------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Ceinture Interne | <i>Dericorys millierei</i> sub monophage on Chenopodiaceae | | | |
| Ceinture Moyenne | <i>Tmethis pulchripennis</i> | Ambivore ² | <i>Oedipoda caerulescens</i> | Forbivore ⁵⁻⁷ |
| | <i>Tmethis cisti cisti</i> | Ambivore ² | <i>Oedipoda miniata</i> | Oligophages ¹ |
| | <i>Ocneridia volxemi</i> | Ambivore ⁶ | <i>Sphingonotus azurescens</i> | Oligophages ¹ |
| | <i>Pyrgomorpha cognata</i> | ? | <i>Calliptamus barbarus</i> | Ambivore ⁸⁻¹ |
| | <i>Acrotylus patruelis</i> | Ambivore ⁷ | <i>Dociostaurus marrocanus</i> | Ambivore ¹ |
| | | | <i>Calliptamus wattenwylanus</i> | ? |
| Ceinture Externe | <i>Aiolopus strepens</i> | Ambivore ⁴ | <i>Dociostaurus jagoi</i> | Ambivore ³ |
| | <i>Pyrgomorpha conica</i> | Forbivore ⁷ | <i>Oedaleus decorus</i> | Oligophages ¹ |
| | <i>Pamphagus cristatus</i> | Ambivore ² | | |

Abréviations: Forbivore: différents genres de dicotylédone, Oligophages: différents genres de poacées; Ambivore: dicotylédones et poacées.

¹ : (Zaim et al., 2013); ² : (Benkenana et al., 2011); ³ : (Moussi et al., 2014) ; ⁴ : (Bonnet, 1997); ⁵: (Savitsky, 2010); ⁶ : (Bounechada and Doumandji, 2011); ⁷ : (Gangwere and Morales-Agacino, 1973); ⁸ : (Benzara and al., 2003).

3.2.4.3 Analyse Canonique des Correspondances

Dans le but de relier les abondances d'espèces aux variables environnementales structurantes une Analyse Canonique des Correspondances ACC a été conduite sur les données correspondantes aux effectifs des 18 espèces par mois, dans les 3 ceintures. En considérant

5 variables quantitatives décrivant les 3 sites (Humidité moyenne, Température moyenne, salinité du sol à savoir : taux de Cl^- g. L^{-1} , taux de Na^+ g. kg^{-1} , taux de So_4^{2-} g. L^{-1}).

L'analyse des valeurs propres de l'Analyse Canonique des Correspondances permet de voir que les deux premiers axes cumulent 87.29 % de l'inertie. Cela signifie que la représentation de l'ACC en deux dimensions est suffisante pour analyser les relations entre les espèces, les ceintures et les variables. Les p-values du Test de permutation (1000 permutations) affichent des valeurs de 0.01 pour les deux axes, nous en concluons que l'effet des variables sur les effectifs observés est significatif.

L'ACC aboutit à la projection de la Figure 16. Nous pouvons voir sur ce graphique que pour la majorité des espèces de la famille des Acrididae (*C. wattenwylanus*, *C. barbarus*, *D. jagoi*, *O. decorus*, *O. caerulescens*, *O. miniata*, *S. azurescens*), les effectifs élevés sont associés à des températures culminantes. Alors que *D. marrocanus*, *A. patruelis* et *T. cisti* semblent affectionner particulièrement des taux d'humidité importante. L'espèce *D. millierei* paraît plus sensible au taux de Cl^- g. L^{-1} , Na^+ g. kg^{-1} .

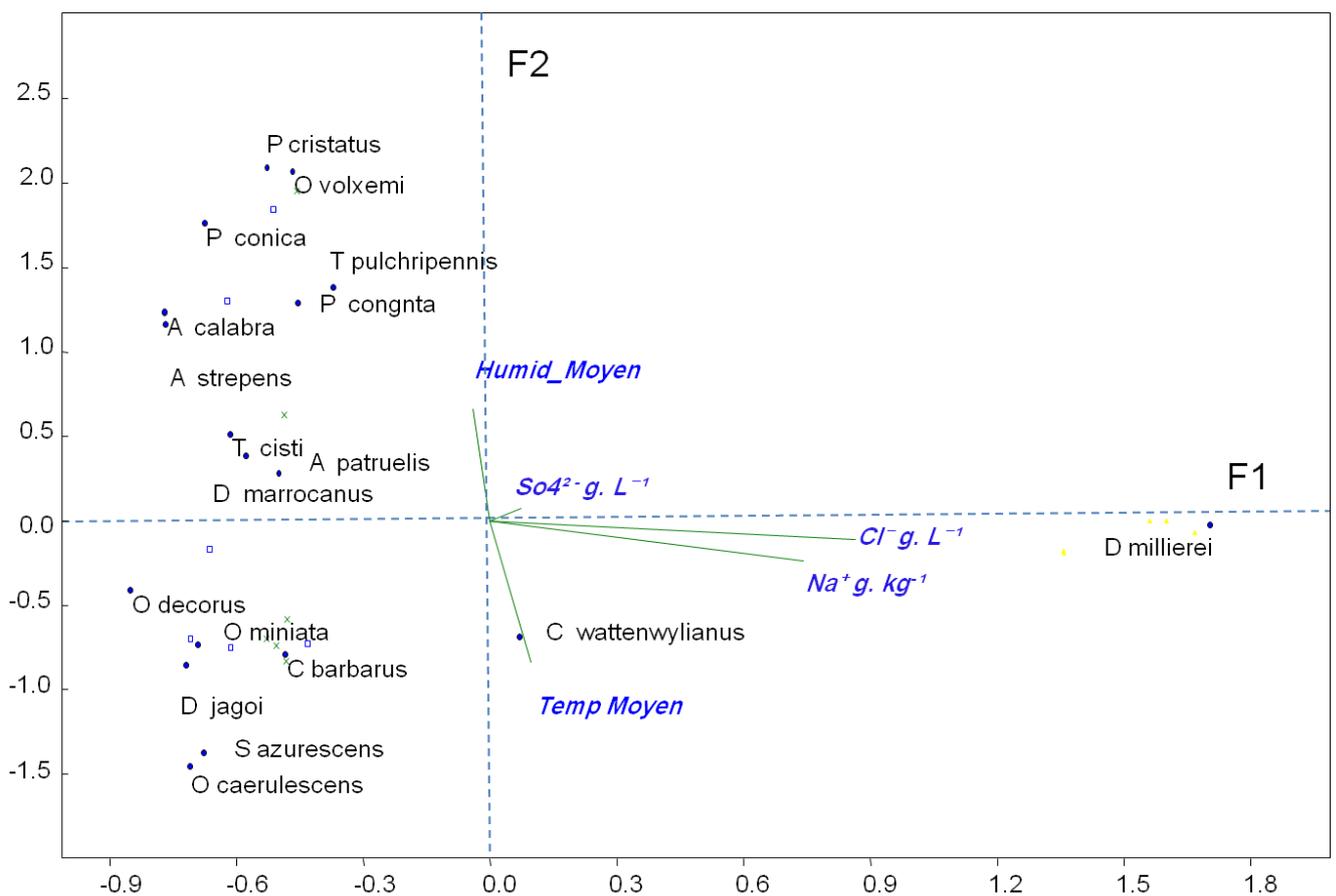


Figure 16. Projection d'analyse canonique des correspondances en deux dimensions.

3.2.5 Biologie des espèces

Pour visualiser les variations temporelles d'abondance des espèces d'acridiens adultes au sein des différentes ceintures, nous avons retenu les espèces caractéristiques de chaque milieu.

La figure 17. montre qu'au cours de la période estivale et sur une même ceinture, les espèces précoces se font progressivement remplacer par des espèces plus tardives. En effet, les Pamphagidae (*Ocneridia volxemii*, *Pamphagus cristatus*) ne sont présents qu'au cours de la période printanière et préférentiellement dans la ceinture moyenne pour *Ocneridia volxemii* (Fig. 17D), et externe pour *Pamphagus cristatus* (Fig. 17G). À partir du mois de mai leurs densités baissent progressivement. Cette diminution est accompagnée par une augmentation des effectifs des Oedipodinae. Au mois de juin, *Oedipoda miniata* et *Oedaleus decorus* sont principalement abondants dans la ceinture moyenne (Fig. 17E) et externe (Fig. 17H) respectivement, de même pour les Gomphocerinae, *Dociostaurus maroccanus* (Fig. 17F) et *Dociostaurus jagoi* (Fig. 17I).

Dericorys millierei est présent exclusivement dans la ceinture interne. Les premiers spécimens sont observés au mois de mai et le nombre maximal en individu est atteint au mois de juillet (Fig. 17A).

En revanche, les quadrats ont mis en évidence certaines différences dans le comportement des Calliptaminae, ceux-ci sont largement dominants dans la ceinture moyenne sauf au mois d'août et de septembre où on les retrouve préférentiellement dans la ceinture interne (Fig. 17B, 17C).

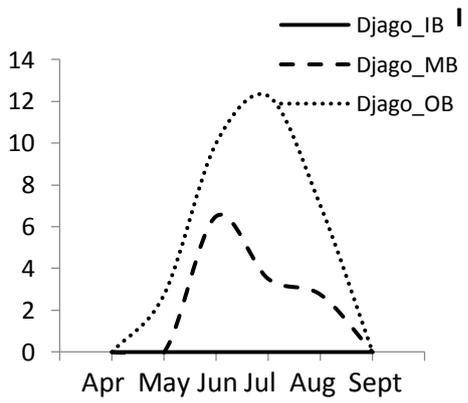
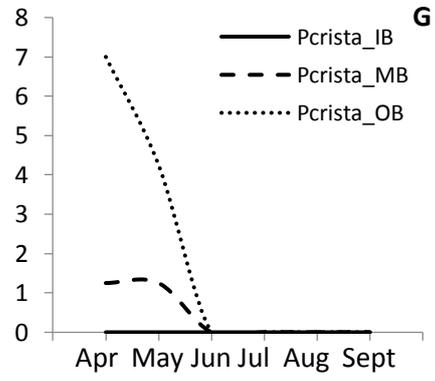
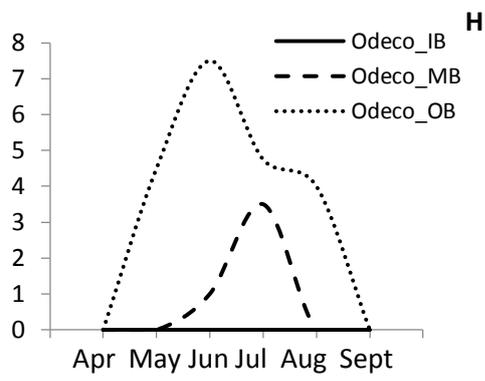
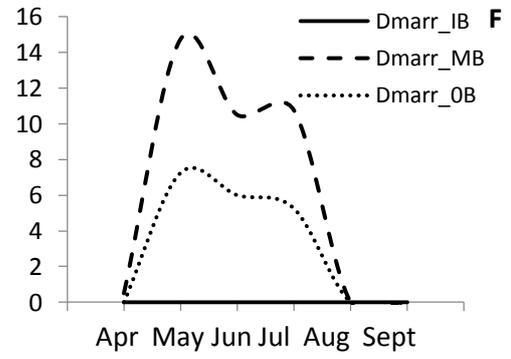
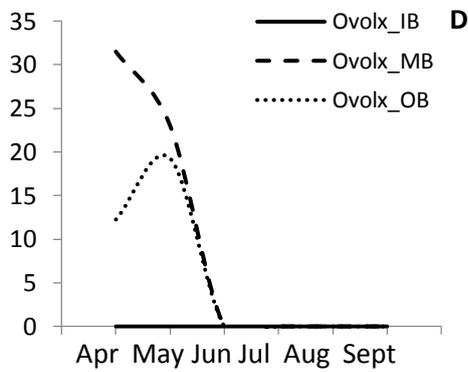
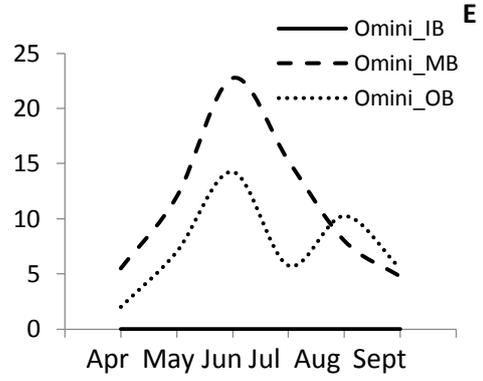
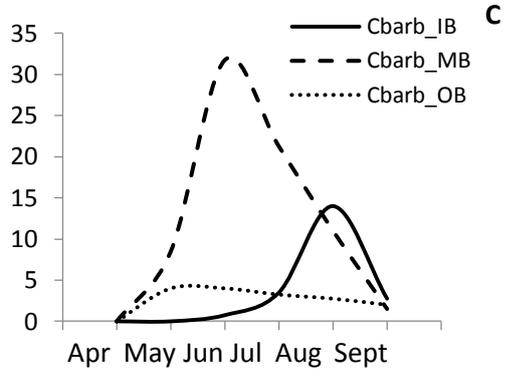
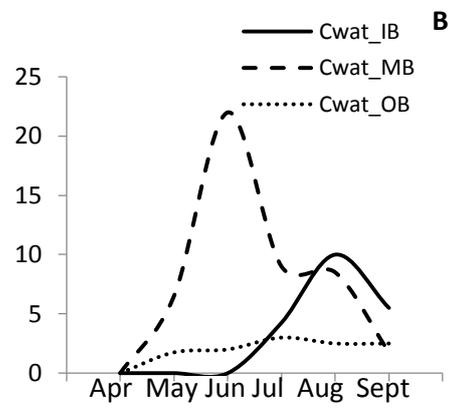
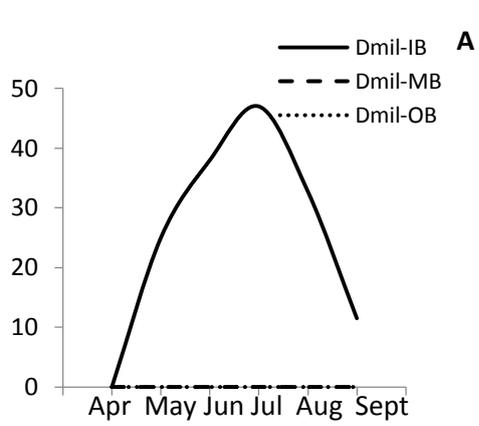


Figure 17. Variation mensuelles de la densité des espèces caractéristiques dans les trois ceintures

Abréviations: *Dmil* - *Dericorys Millierei*; *Cbarb* - *Calliptamus barbarus*; *Cwat* - *Calliptamus wattenwylanus*; *Ovolx* - *Ocneridia volxemii*; *Omini* - *Oedipoda miniata*; *Dmar*- *Dociostaurus maroccanus*; *Pcrista* - *Pamphagus cristatus*; *Odeco* - *Oedaleus decorus*; *Djago* - *Dociostaurus jagoi*.

3.2.6 Morphométrie et capacité du déplacement

Pour comprendre les variations de distribution en fonction du temps nous avons focalisé nos études sur deux espèces, en premier *Dericorys millierei* considérée comme espèce caractéristique de la ceinture interne, et ensuite *Calliptamus barbarus* qui se déplace de la ceinture moyenne vers l'interne à la fin de l'été. D'après ces observations, on pourrait supposer que la capacité de déplacement est plus développée chez *C. barbarus* que chez *D. millierei*.

En soumettant des individus mâles et femelles des deux espèces à des simulations de capture successives, nous avons calculé la signification des différences entre longueurs de vols par une analyse d'ANOVA. Il apparaît que lors du premier saut volant, les *Calliptamus barbarus* des deux sexes mâles et femelles sautent plus loin que *Dericorys millierei*. Comme réponse au deuxième stimulus les deux espèces effectuent un saut plus long que le premier, mais avec des valeurs comparables pour les deux espèces (Fig. 18). Lors des stimulations ultérieures, les mâles et les femelles de *Calliptamus barbarus* parcourent des distances plus longues par vol que *Dericorys millierei* qui se réfugie dans les touffes des plantes halophiles.

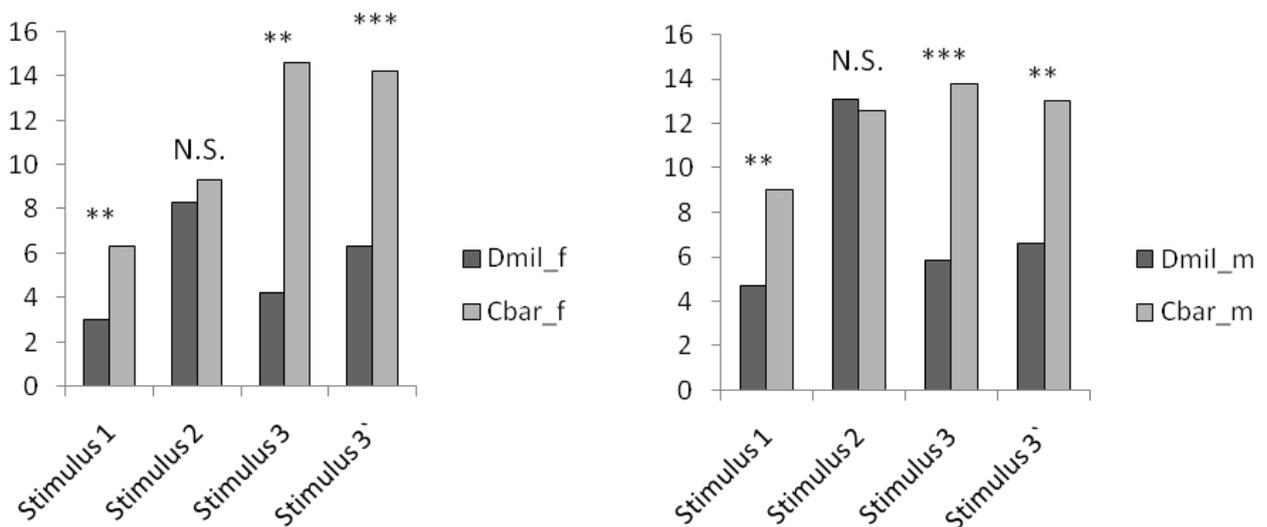


Figure 18. Longueur de vol des mâles et des femelles des deux espèces *Dericorys millierei* et *Calliptamus barbarus* en réponse aux différents stimuli

Abréviations: N.S Non significatif ; * $p < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $p < 0.001$.

Nous nous attendons donc à ce que la longueur relative des ailes par rapport à la longueur du corps soit plus importante chez *Calliptamus barbarus* que chez *Dericorys millierei*.

L'analyse multivariée des données morphométriques se prête bien à l'étude de l'importance relative des mesures des organes liés au déplacement par rapport à la taille de l'insecte. Elle met en avant les corrélations entre les différentes variables (la taille de l'abdomen, la tête, la longueur du corps, les tegmina (élytres) et largeur et longueur des fémurs des pattes postérieures). D'autre part, elle permet d'identifier les critères morphologiques différenciant les deux espèces. En effet, les espèces sont distribuées selon deux directions que nous pouvons interpréter grâce aux projections issues de l'Analyse en Composantes Principales (A.C.P) appliquée aux mesures morphométriques des deux espèces, où le pourcentage de variabilité représenté sur les deux premiers axes est particulièrement élevé (81.32%). Chez les mâles comme chez les femelles, *Dericorys millierei* se caractérise par des ailes plus développées, à l'opposé de *Calliptamus barbarus* qui semble avoir des fémurs nettement plus larges. Toutefois, nous avons pu noter un chevauchement entre les ellipses de confiance des femelles des deux espèces comme le montre la Figure 19.

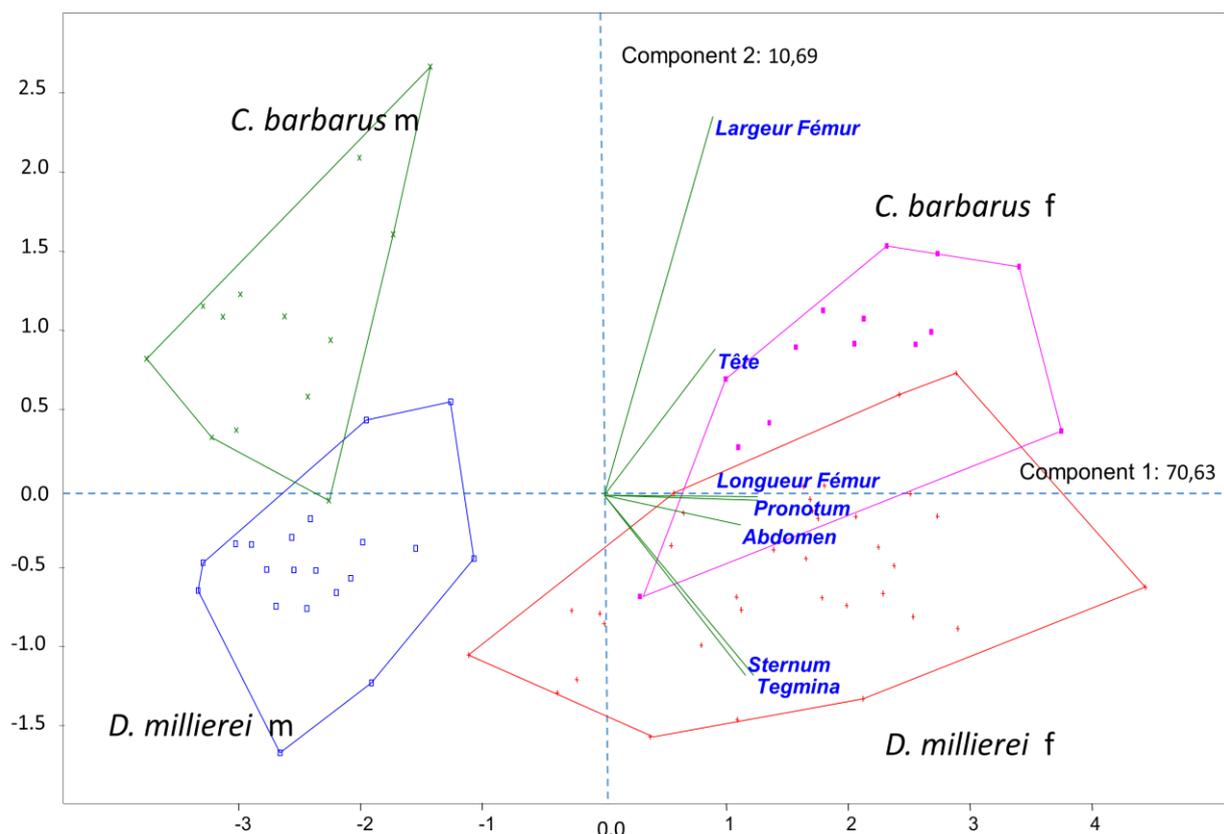


Figure 19. Représentation graphique d'une (ACP) appliquée aux données morphométriques de *Calliptamus barbarus* et *Dericorys millierei*. (m: mâles, f: femelles)

Ce résultat a été affirmé par l'analyse de l'ANCOVA menée dans un premier temps sur les élytres, ensuite sur largeur des fémurs des pattes postérieures, en considérant à chaque fois la

longueur du corps (tête, pronotum et abdomen) comme covariable. La comparaison indique que pour les mâles les ailes de *D. millierei* sont relativement plus développées ($P=5.19 \cdot 10^{-7}$, $N=35$) que celles de *C. barbarus* (Fig. 20), alors que chez les femelles la différence est moins marquée ($P=0.059$, $N=50$).

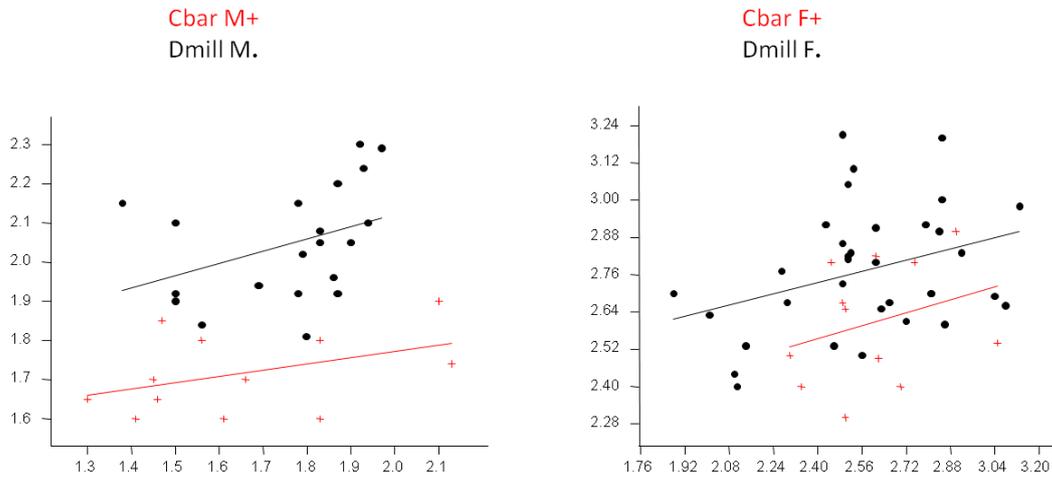


Figure 20. Comparaison par ANCOVA entre les rapports longueur des élytres/ longueur totale des mâles et des femelles des deux espèces *Dericorys millierei* et *Calliptamus barbarus*.

En revanche, les mâles ainsi que les femelles de *Calliptamus barbarus* se distinguent de ceux de *Dericorys millierei* par un élargissement du fémur des pattes postérieures avec ($P=9.36 \cdot 10^{-9}$, $N= 32$) pour les mâles et ($P= 2.16 \cdot 10^{-12}$, $N= 48$) pour les femelles (Fig. 21).

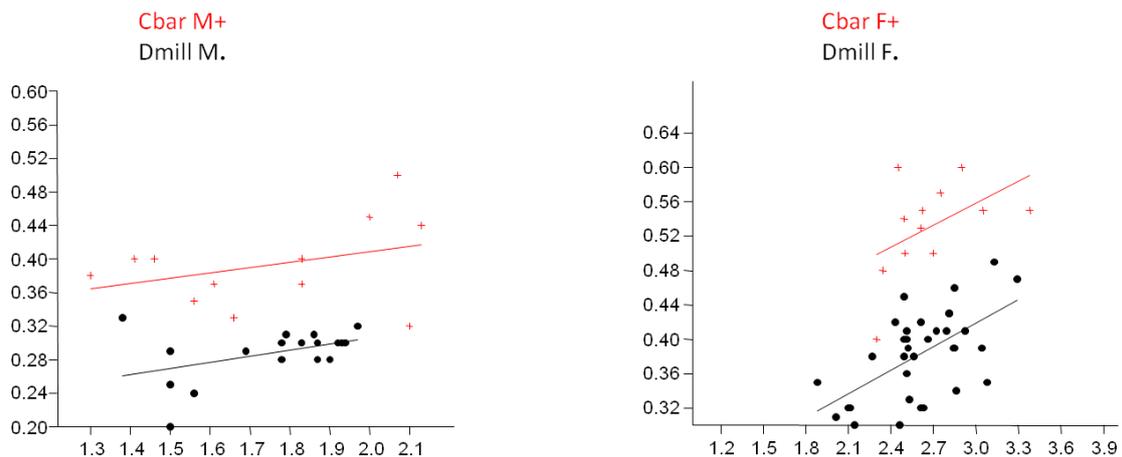


Figure 21. Comparaison par ANCOVA entre les rapports largeur des fémurs/ longueur totale des mâles et des femelles des deux espèces *Dericorys millierei* et *Calliptamus barbarus*.

3.2.7 Régime alimentaire

Dans le but d'expliquer l'étroite association entre *Dericorys millierei* et la ceinture interne, et de confirmer l'hypothèse du déplacement des *Calliptaminae* à la recherche de nourriture, nous avons procédé à l'étude du régime alimentaire de *Dericorys millierei*, ainsi que celui des individus *Calliptamus barbarus* capturés dans la ceinture moyenne, et d'autre capturés dans la ceinture interne.

Nous avons considéré les fèces de 9 mâles et 7 femelles de *Dericorys millierei* collectées au mois de mai et juin. Les pourcentages de consommation de chaque espèce végétale sont en rapport avec leurs abondances dans la ceinture interne. En effet, l'analyse de la corrélation de Pearson sur les valeurs log transformées des abondances des plantes est significative ($P \leq 0.1\%$). Les mâles et les femelles s'alimentent principalement d'*Amaranthacées* (72%) et de *Thymelaeaceae* (28%) (Fig. 22), cependant certaines espèces ne sont pas consommées comme *Mesembryanthemum nodiflorum*, *Beta vulgaris ssp maritima*, *Peganum harmala*, et *Artemisia herba-alba*. Cette espèce possède donc un spectre alimentaire très réduit et un régime alimentaire adapté à la forte salinité des halophytes.

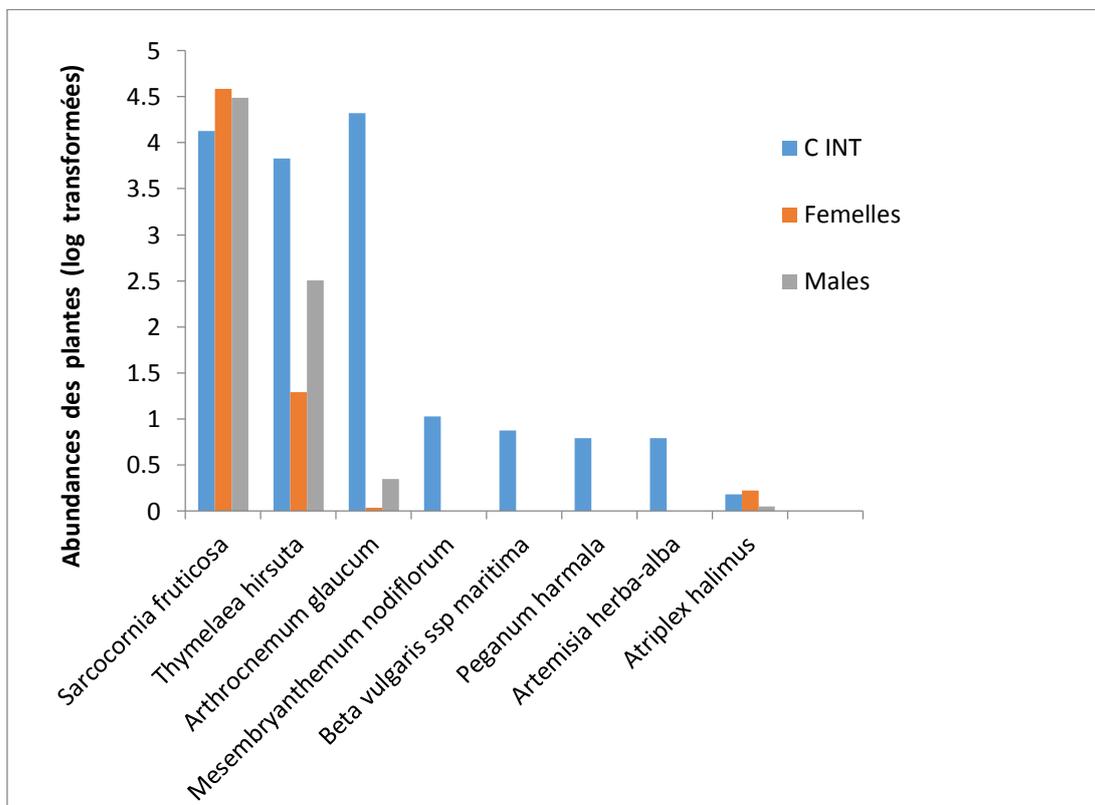


Figure 22. Régime alimentaire de *Dericorys millierei* récoltés dans la ceinture interne

Le régime alimentaire du *Calliptamus barbarus* est beaucoup plus diversifié, nous avons pu dénombrer les débris de 22 espèces végétales présentes dans les fèces de 5 mâles et 5 femelles examinés, la famille des Asteraceae compte 7 espèces consommées, suivie des Poaceae avec 6 espèces consommées, et les Plantaginaceae en troisième position avec 3 espèces végétales consommées. L'analyse de la corrélation de Pearson sur les valeurs log transformées des abondances des plantes est significative ($p = 0.044$), cela signifie que *Calliptamus barbarus* s'alimente sur les espèces végétales les plus répandues sur le terrain, parmi ces espèces *Scolymus hispanicus*, *Carthamus lanatus*, *Hordeum murinum*, *Lygeum spartum*, *Anisantha madritensis*.

Les espèces *Calliptamus barbarus* récoltées dans la ceinture interne (3 mâles et 2 femelles) introduisent des plantes halophiles à leur régime alimentaire. L'analyse des excréments de ces espèces a dévoilé la présence des débris de 2 espèces d'Amaranthacée (*Sarcocornia fruticosa*, *Arthrocnemum macrostachyum*), ainsi que 6 Asteraceae (*Artemisia herba-alba*, *Calendula arvensis*, *Carthamus lanatus*, *Centaurea calcitrapa*, *Echinops spinosus*, *Scolymus hispanicus*), Poaceae (*Lygeum spartum*), Fabaceae (*Astragalus armatus*) et Plantaginaceae (*Plantago albicans*).

3.2.8 Composition des sensilles du labre

Les sensilles "chimiorécepteurs" situées au niveau de la face épipharyngiale du labre des criquets jouent un rôle important dans l'analyse des propriétés chimiques des plantes ingérées, et préviennent toute décision de préférence ou d'évitement. Nous avons cherché à savoir s'il y a une dépendance entre la nature du régime alimentaire des espèces et le nombre de sensilles de leur labre. Pour ce faire, nous avons dénombré les sensilles des différents types A1, A2, et A3, chez 7 espèces présentes dans le site (Fig. 23).



Figure 23. Photo du labre de *Dericorys millierei*, prise au microscope optique (Gx100)

Nous avons noté une variabilité interspécifique de la composition des trois types de sensilles épipharyngiales des sept espèces étudiées ; *Oedipoda caerulescens* présente le plus grand nombre de chimiorécepteurs, alors que *Dericorys millierei* enregistre le nombre le plus petit. Pour *O decorus*, *O caerulescens*, *O miniata*, *D marrocanus* et *S azurescens* chez les mâles comme chez les femelles, Les nombres de sensilles conservent globalement la même distribution. Le nombre de sensilles de type A1 est le plus important suivie du type A2, et enfin le type A3. Par contre pour *Dericorys millierei* le nombre de sensilles de type A1 est le plus faible, alors que les A2 et les A3 enregistrent des valeurs relativement proches, le nombre de sensilles A10 est particulièrement nul (Fig. 24).

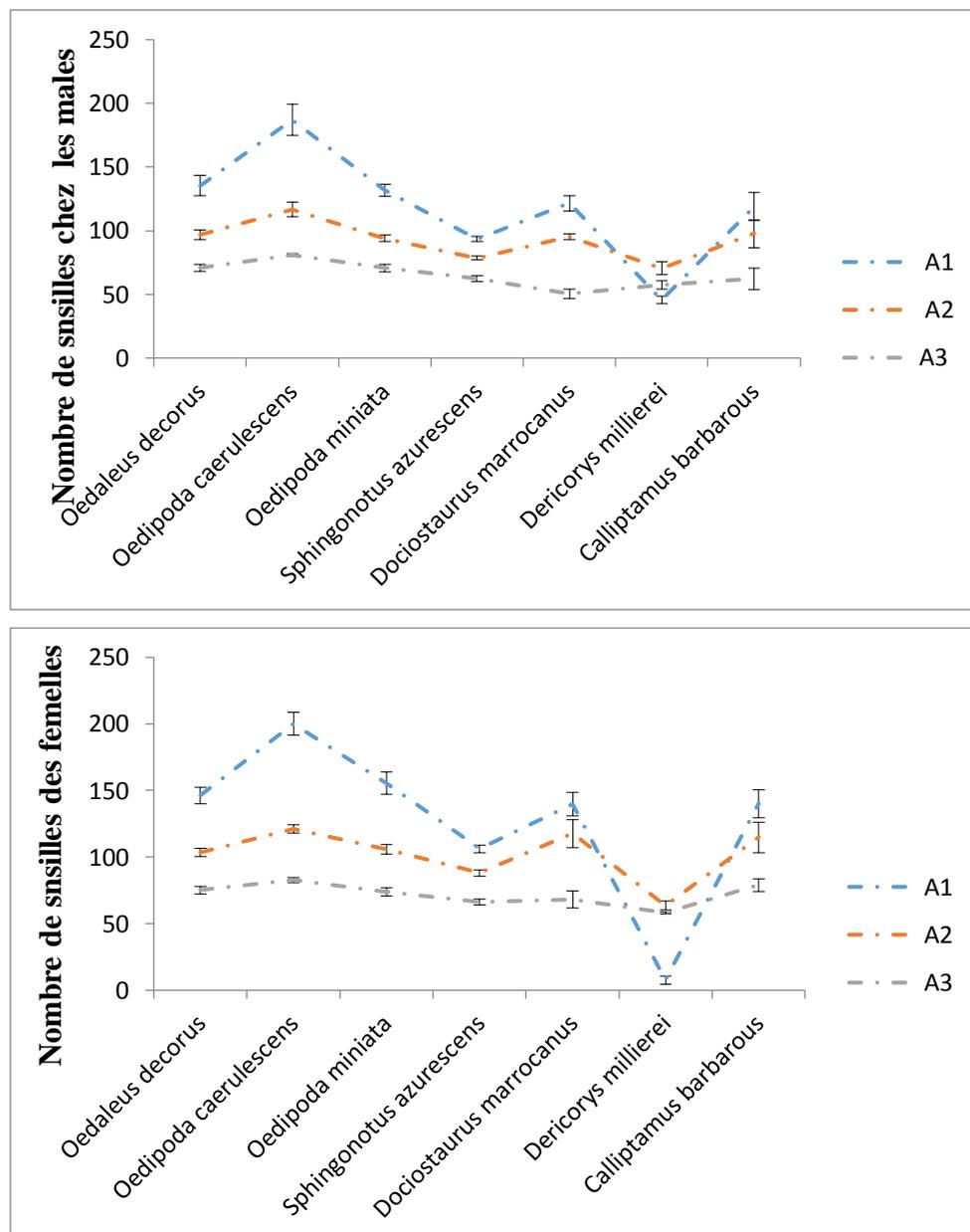


Figure 24. Nombre moyen des sensilles des mâles (a) et des femelles (b) des différentes espèces étudiées.

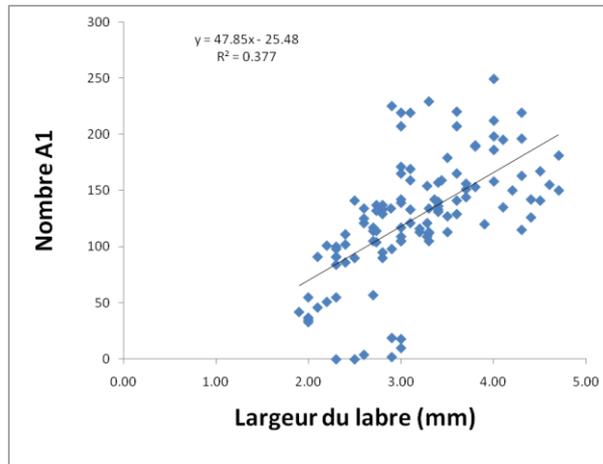
Le coefficient de corrélation Pearson r témoigne d'une relation entre la largeur du labre et le nombre de sensilles A1, A2 et A3 (Tab.10), Le coefficient de détermination r^2 est égal à 0.37, 0.36, 0.34 respectivement, nous pouvons alors dire que 37% de la variance des sensilles A1 est expliquée par la taille de labre, 36% de la variance des sensilles A2 et 34% variance des sensilles de type A3 sont expliquées par la taille de labre.

Tableau 10. Coefficients de corrélation de Pearson (r) entre le nombre de sensilles et la largeur du labre.

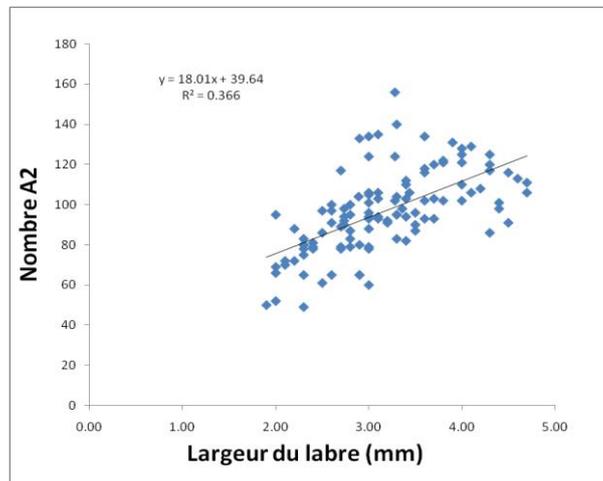
| | Largeur du labre (mm) | sensilles A1 | sensilles A2 | sensilles A3 |
|------------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Largeur du labre (mm) | | 3.53E-12 | 4.89E-12 | 4.70E-11 |
| sensilles A1 | 0.61096 | | 1.81E-27 | 4.92E-13 |
| sensilles A2 | 0.60777 | 0.82448 | | 7.79E-13 |
| sensilles A3 | 0.58464 | 0.62948 | 0.62527 | |

Ainsi pour éliminer l'effet de la taille sur le nombre de sensilles, nous avons tracé les droites de régression linéaire de la largeur du labre en fonction du nombre de sensilles (Fig. 25). Les équations de ces droites de régression sont utilisées pour calculer les résidus du nombre de sensilles pour les 7 espèces.

A



B



C

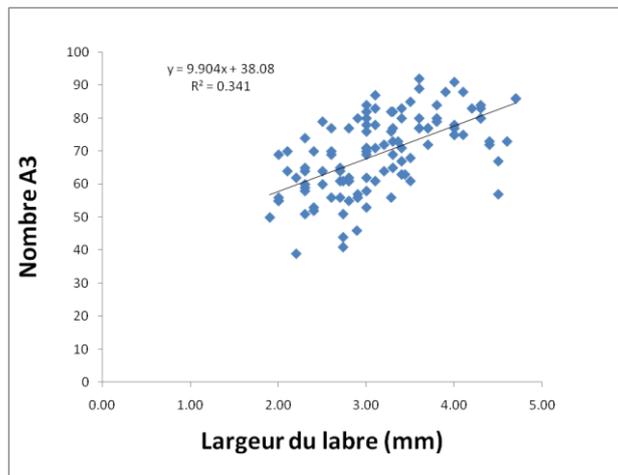


Figure 25. Droites de régression linéaire de la largeur du labre en fonction du nombre de sensilles (A : sensilles A1, B: sensilles A2, C : sensilles A3).

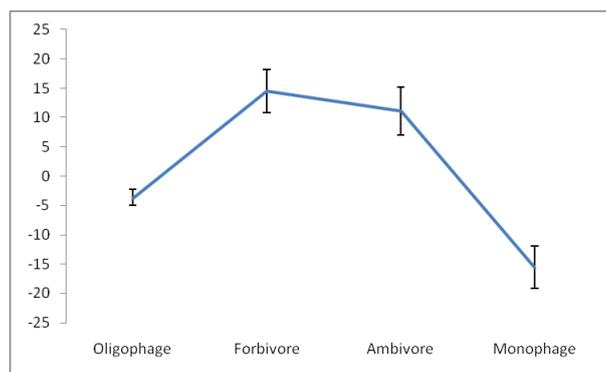
Afin d'évaluer la corrélation entre le nombre des sensilles et le type du régime alimentaire, nous avons réalisé une analyse de la variance ANOVA sur le résidu des différents types de

sensilles (Fig. 26) avec les quatre types de régimes alimentaires (monophage, oligophage, forbivore et ambivore).

A



B



C

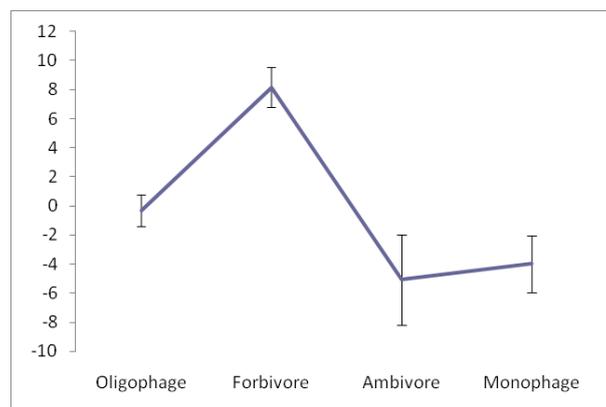


Figure 26. Variations du nombre résiduel des sensilles en fonction du régime alimentaire. (A : sensilles A1, B : sensilles A2, C : sensilles A3).

Les figures ci-dessus montre que les espèces forbivore ont des résidus positifs important pour les 3 type de sensille chez les espèces oligophages, les résidus correspondant aux 3 types de sensilles est très proche du 0, à l'opposer des espèces monophages qui comptent des résidus négatifs pour les sensilles de type A1 et A2 et dans une moindre mesure, des sensilles de type A3. Les espèces ambivore montre des résidus positifs pour les A2, négatifs pour les A3 et nul pour les A1.

On peut dire que la spécialisation du régime alimentaire d'une espèce acridienne est liée à une réduction du nombre de sensilles du labre.

CHAPITRE IV
DISCUSSION
ET
CONCLUSION

Discussion

L'origine de la salinité du sol peut s'expliquer par le lessivage du Trias gypso-salifère affleurant la région et qui forme à l'ouest du *Chott Tinsilt*, le substrat de la nappe phréatique superficielle (Nadjet, 2009).

Au début de la saison sèche, qui a connu une forte demande évaporatoire, la salinité du sol augmente remarquablement dans les 3 ceintures. Il y a donc eu, durant cette période, un stockage des sels de la nappe dans les couches superficielles du sol. Cette salinisation des sols est accentuée par le phénomène de remontée capillaire (Djili *et al.*, 2000).

La salinité est plus importante dans la ceinture interne, ceci est dû à l'apport en sel de l'eau de la sebkha qui enrichie la ceinture en sel soluble. En effet, avec l'augmentation de la température et la baisse des précipitations, la ceinture interne gagne du terrain avec le rabattement de l'eau de la sebkha et l'installation des halophytes sur le sol.

La dominance des ions SO_4^{2-} avec des concentrations peu variables entre les 3 ceintures peut être expliquée par la dissolution du gypse qui se présente à l'état diffus dans les terrains argileux du site (Chenchouni, 2009). Par ailleurs, une deuxième hypothèse peut être avancée pour expliquer la forte concentration en sulfates, il s'agit de l'influence de la carrière d'extraction de *KAOLINS* qui exploite le sol de la colline qui surplombe le côté Sud-Ouest du chott.

Nos analyses montrent une différence marquée entre les trois ceintures du chott, en termes de recouvrement végétales ainsi que des assemblages d'acridiens.

Les halophytes typiques des sols salés ou saumâtres (Ghezlaoui *et al.*, 2011 ; Chenchouni, 2009), ont une distribution très restreinte dans le site. Ces formations, ayant une large valence écologique vis-à-vis de la salinité ainsi qu'aux différentes conditions pédologiques, peuvent coloniser de vastes territoires et avoir de ce fait une large distribution. Toutefois, le chott *Tinsilt* ne compte que sept espèces à caractère halophytes composées principalement d'Amaranthaceae chamephytiques, avec une distribution limitée à la ceinture interne. Les groupements végétaux constitués de *Salicornia fruticosa*, *Arthrocnemum macrostachyum* et *Thymelaea hirsuta* forment une ceinture soudée entourant tout le pourtour du Chott. Celle-ci est toutefois intercalée par d'autres espèces telles que *Beta vulgaris*, *Peganum harmala* et *Artemisia herba alba*. Cette distribution et structure reflète une image fidèle de la composition du substrat en sels. Une forte pression anthropique peut expliquer la régénération de ces taxons. Cette dégradation s'exprime par la disparition de nombreuses espèces caractéristiques des ceintures humides salés et de l'arrivée d'espèces plus ou moins ubiquistes.

Le cortège floristique est composé essentiellement de thérophytes et de hémicryptophytes. Ces deux types biologiques sont regroupés sous les vocables d'éphémères (Aïdoud *et al.*, 2006), en raison de leur dormance physiologique estivale. Un tel agencement est déterminant pour la composition et la diversité spécifique des steppes semi arides. Du point de vue évolutif, les thérophytes représentent l'expression actuelle de l'adaptation au milieu aride (Negre, 1966), selon Le Houerou, (1992) ces formations ont une bonne adaptation aux conditions du milieu, ce qui leur permet d'occuper des territoires plus ou moins étendus. Leurs dominance est une caractéristique des ceintures arides grâce à leurs stratégies de résistance aux rigueurs climatiques (Daget, 1980). Les hémicryptophytes sont décrits comme étant le mieux adapté à l'aridité et s'installe progressivement avec la dégradation des écosystèmes forestiers (Ghezlaoui *et al.*, 2011). L'abondance de ce type biologique peut s'expliquer par l'enrichissement du sol en matières organiques, suite à une forte action anthropologique Le Houerou (1979). Ce phénomène a été confirmé par Barbero *et al.* (1989). La faible proportion des géophytes témoigne de l'aridité de la ceinture (Gamoun, 2012).

Les végétaux de la ceinture moyenne appartiennent aux classes associées aux steppes aride et semi-aride. Cependant nous retrouvons également un aspect de steppe dégradée dans cette ceinture; l'apparition d'unités de *Peganum harmala*, espèces non supportées par les troupeaux (Pouger, 1980) indique un surpâturage et montre l'ampleur de l'action anthropozoogène (Nedjraoui *et al.*, 2009). La ceinture externe est associée aux cultures ou aux friches. Au sein de la ceinture moyenne les plantes halophiles sont peu présentes, en effet on trouve trois plantes tolérantes de degrés élevés de sels à savoir *Beta vulgaris ssp maritima*, *Peganum harmala* et *Artemisia herba-alba*. De même dans la ceinture externe on note la présence d'*Atriplex halimus* qui selon Chenchouni (2009) exige habituellement des profils où la conductivité électrique est moyenne ou faible.

Avec 18 espèces, l'inventaire des Orthoptères Caelifères du *chott Tinsilt* révèle une richesse spécifique notable comparé aux travaux réalisés dans l'est Algérien. En effet Benharzallah (2011) a recensé 21 dans la région des Aurès, 30 espèces ont été signalées à Constantine (Benkenana, 2009), tandis que la totalité des espèces inventoriées dans la région de Sétif est de l'ordre de 36 espèces, dont 18 recensées au bord du lac salé *Bazer-Sakhra* (Sofrane, 2016). Toute fois une absence totale des Dericorythidae ainsi que des Pamphagidae est remarquée dans ce site, contrairement à notre travail où elles ont des effectifs assez importants.

La composition floristique des trois zones conditionne l'abondance, la richesse ainsi que la diversité des Acridiens. Comme mentionné plus tôt, la ceinture interne ne comprend que des

plantes halophiles ou plantes tolérante au sel, en plus d'une absence totale des plantes de la famille des Poaceae qui représente la première ressource trophique préférée des orthoptères (Uvarov, 1977). Cela explique le taux de diversité relativement important dans les deux ceintures externe et centrale qui comptent 16 et 17 espèces respectivement contre 3 seulement dans la ceinture interne.

Les plantes annuelles représentent 66% de la végétation de la ceinture moyenne et 70% de la ceinture externe, se dessèchent en début d'été. Ceci explique la succession de deux faunes successives, une au printemps et une deuxième en été automne. Les Pamphagidae (*Ocneridia volxemii*, *Pamphagus cristatus*) ne sont présents qu'au cours de la période printanière. À partir du mois de Mai leurs densités baissent progressivement ; Benkenana *et al.* (2013) explique que ces espèces se nourrissent de plantes annuelles. Cette diminution est accompagnée par une augmentation des effectifs des Oedipodinae (*Oedipoda miniata* et *Oedaleus decorus*) et Gomphocerinae (*Dociostaurus maroccanus*, *Dociostaurus jagoi*).

À l'issue des études des variations temporelle de présence des différentes espèces, il apparaît que seul les *Calliptaminae* se déplacent significativement entre les différentes ceintures. Ce comportement trouve son origine dans la plasticité du régime alimentaire de ces espèces, en plus de la grande variété de plantes que nous avons pu déterminer dans les fèces de ces espèces, il a été démontré que *Calliptamus barbarus* peut se nourrir de plante halophile. On peut donc interpréter le déplacement des *Calliptaminae* par leurs capacités d'ingérer des halophytes, ainsi qu'à leurs capacités de déplacement. En effet, les espèces qui sont aptes à se déplacer rapidement et activement sont les premières à coloniser un nouveau biotope (El Ghadraoui *et al.*, 2003). En revanche les autres espèces n'ont pas cette tolérance aux plantes halophiles. *Dericorys millierei* est présent exclusivement dans la ceinture interne. Nous avons pu vérifier l'étroite association biologique entre cette espèce et ce type de végétation. Le régime alimentaire de *D. millierei* est strictement original parmi les acridiens. On trouve dans les excréments de cette espèce des débris de plante Amaranthacée et Thymelaeacée, cette originalité rappelle ce qu'il a été trouvé pour d'autres espèces, Savitsky (2010) rapports que *Dericorys tibialis* (Pallas, 1773) consomme *Anabasis Aphylla*, *Caroxylon orientale* et *Salsola incanescens*. Dans les îles Canaries le régime de *D. lobata lobata* (Brullé, 1840) est principalement composé d'Amaranthaceae (Gangwere *et al.*, 1998). De même les espèces du genre *Pamphagulus* à savoir *P. bodenheimeri dumonti* (Uvarov, 1929) et *P. uvarovi* (Ramme, 1931), se nourrissent d'Amaranthaceae dans la steppe et la palmeraie de l'oasis de Biskra

(Moussi *et al.*, 2014). Ce qui nous pousse à suggérer que les espèces de la famille *Dericorythidae* sont des espèces sub-monophages sur des *Chenopodiaceae* principalement. Outre l'alimentation, Les buissons des plantes halophiles lui servent de refuge. Nous avons montré que lorsqu'ils sont dérangés, les mâles et aux femelles de *D. Millierei* s'échappent en sautant au centre de ces plantes, comme précédemment rapporté par Moussi *et al.* (2014) pour *Pamphagulus spp.* à Biskra.

L'utilisation de buissons de plantes d'*Amaranthaceae* comme sources trophique et refuges peuvent expliquer la présence *D. millierei* sur des branches d'*Anabasis*, *Zygophyllum* et *Atriplex* et *D. Albidula* (Serville, 1838) sur une végétation halophile près de la Mer Morte en Palestine et en Jordanie (Katbeh-Bader, 2001) et sur *Haloxylon* en Asie centrale (Bei-Bienko *et al.*, 1963). L'évitement de *Mesembryanthemum nodiflorum* et *Peganum harmala* pourrait être due à leur toxicité comme démontré par Jacob *et al.* (1989) et Hassani *et al.* (2008).

Ces critères font l'originalité de ces espèces, mais leur expose à des risque imminent, vu l'ampleur et le rythme de la dégradation de leurs habitat. Une espèce proche en fait l'exemple. *Dericorys minutus* (Chopard, 1954) endémique du Maspalomas (Grande Canarie, Espagne) où elle a été enregistrée pour la dernière fois en 1949, est inscrite dans la Liste rouge des espèces menacées de l'UICN (*International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*) (Eades *et al.*, 2011). L'espèce est principalement affectée par les transformations de son habitat causées par les activités touristiques dans la région de Maspalomas.

Conclusion et perspective

Pour conclure, l'entomofaune des sebkhas est très peu évaluée néanmoins l'acridofaune contient des espèces remarquables avec en particulier *Dericorys millierei* dont il faudrait approfondir les connaissances, la résistance des oothèques à des taux élevés de sel et à la submersion périodique par l'eau de la sebkha. Par ailleurs le *Pamphagus cristatus* inféodé dans la zone moyenne a des exigences inconnues. L'importance de cette entomofaune mérite d'être approfondie.

Ces études peuvent être étendues à des écosystèmes comparables de l'Espagne à l'Asie pour la zone paléarctique.

Les menaces qui pèsent sur ces zones humides ne sont pas d'ordre climatique depuis 30 ans cependant les principales contraintes sont le surpâturage et défrichement qui affectent la faune et la flore engendrant ainsi un déséquilibre irréversible de ces milieux, l'agriculture menée autour des zones humides est liée à l'augmentation de la population rurale et du bétail qui a pratiquement éliminé la végétation émergente sur les bords de ces dernières conduisant à une érosion sévère et une mauvaise régénération (Medail et Quezzel, 1999 ; Green et *al.*, 2002).

En plus du braconnage et le détournement des eaux pour l'irrigation, le danger potentiel en termes d'érosion des monts qui entourent le bassin versant. Tous ces facteurs engendrent la disparition progressive de ces écosystèmes et la biodiversité qui ils'abritent.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Abdelkefi A., Ben Fadhel N., Ben Salah A., Boussaid M., Zaouali Y. (2004). Plantes pastorales en milieux arides de l'Afrique du Nord. *Options Méditerranéennes*, 62: 55-59.

Aïdoud, A. (1983). Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du Sud Oranais: Phytomasse, productivité primaire et application pastorale. Thèse doct. USTHB. Alger. 180 p.

Aïdoud, A., Le Floch, É., & Le Houérou, H. N. (2006). Les steppes arides du nord de l'Afrique. — *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 17(1) : 19-30.

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. Univ. Limoges. France.

Allen CR., Garmestani AS., Havlicek TD., Marquet PA., Peterson GD., Restrepo C., Stow CA. & Weeks, BE. (2006). Patterns in body mass distribution: shifting among alternative hypotheses. — *Ecologie letters*. 9: 630-643.

Ananthkrishnan T. N., Suresh Kumar N., & Sanjayan K. P. (1986). Sensillar diversity, density and distribution during post-embryonic development of *Cyrtacanthacris ranaceae* stoll and their role in feeding. — *Proc. Indian Acad. Sci.*, 95(2): 117-124.

Aubert, G. (1976). Les sols sodiques en Afrique du Nord. — *Annales de l'Institut National Agronomique - El Harrach*, 7: 185-196.

Bagnouls F. & Gaussen H. (1953). Saison sèche et indice xérothermique. — *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse* 88: 193-240.

Bailey RIAC., Lineham MEB., Thomas CDA., & Butlin RKA. (2003). Measuring dispersal and detecting departures from a random walk model in a grasshopper hybrid zone. — *Ecol. Entomol.* 28: 129-138.

Barbault, R. (1981). *Ecologie des populations et des peuplements*. Ed. Masson. Paris. 200p.

Barbero M., Bonnin G., Loisel R. & Quezel P. (1989). Sclerophyllous *Quercus* forests of the mediterranean area: Ecological and ethological significance. — *Bielefelder OkolBeitr* 4: 1-23p

Bei-Bienko G. & Mishchenko L. (1963). *Locusts and Grasshoppers of the USSR and Adjacent Countries*. Part I. — Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem, 400 pp.

Bellaoueur, A. (2008). Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla Soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et Perspectives de solutions palliatives (Sahara Nord-Est Septentrional - Algérie). Mém. Magis, Univ El-Hadj Lakhdar, Batna (Algérie).

Bellmann, H. (1988). *A field guide to the grasshoppers and crickets of Britain and Northern Europe*. HarperCollins. 75p.

Ben Halima T. (1983). Etude expérimentale de la niche trophique de *Dociostaurus maroccanus* (Thunberg, 1815) en phase solitaire au Maroc. Thèse de Docteur Ingénieur, Univ. Paris Sud, Orsay, 178p.

Ben Halima T.B., Gillon Y. & Louveaux A. (1984). Utilisation des ressources trophiques par *Dociostaurus maroccanus* (Thunberg, 1815) (Orthopt.: Acrididae): choix des espèces consommées en fonction de leur valeur nutritive. — *Acta Oecol.* 5: 383–406.

Ben Halima T.B., Gillon Y. & Louveaux A. (1985). Spécialisation trophique individuelle dans une population de *Dociostaurus maroccanus* (Orthopt.: Acrididae). — *Acta Oecol.* 6: 17–24.

Benchetrit, M., (1956). Les sols d'Algérie. — *Revue de Géographie Alpine*, 44: 749-761.

Benfekih L. & Petit D. (2010). The annual cycle of Saharan populations of *Locusta migratoria cinerascens* (Orthoptera: Acrididae: Oedipodinae) in Algeria. — *Ann. Soc. Entomil. Fr.* 46: 351–358.

Benharzallah, N. (2011). Inventaire et Bio-Ecologie des acridiens dans deux étages Bioclimatiques différents (Aride et Semi-aride). Actes Seminaire International sur la Biodiversite Faunistique en Zone Arides et Semi-arides, pp 22-24.

Benkenana N., Harrat A. (2009). Contribution to the systematic study of grasshopper fauna (Orthoptera, Caelifera) and some bio-ecological aspects of economic importance of species in the Constantine region (Eastern Algeria). — *Emir. J. Food Agric.* 21 (1): 40-47

Benkenana N., Harrat A. & Petit D. (2012). The Pamphagidae (Orthoptera) from East Algeria and description of a new species. — *Zootaxa* 3168: 22–38.

Benkenana N., Harrat A. & Petit D. (2013). Analysis of the number of sensilla on the labrum and the diet of grasshoppers belonging to the family Pamphagidae (Orthoptera). — *Eur. J. Entomol.* 110: 355–364.

Bernays E A. Et Chapman R. F. (1994). Host plant selection by phytophagous insects. — Chapman & Hall. New York. 312p

Blásquez J.R.E., Moreno J.M.P. & Camacho V. (2012). Could grasshoppers be a nutritive meal? — *Food Nutr. Sci.* 3: 164–175.

Blondel J. (1975). Analyse des peuplements d'oiseaux d'eau. Elément d'un diagnostic écologique. I : La méthode des échantillonnages fréquentiels . — *Terre et Vie* 29: 533-589.

Blummer, P. Et Diemer, M. (1996). The occurrence and consequences of grasshoppers herbivory in an alpine grassland, Swiss central Alps. — *Arctic and Alpine Research*, 28 (4) : 435-440.

Boitier, E. (2004). Caractérisation écologique et faunistique des peuplements d'Orthoptères en montagne auvergnate. — *Mat. Orthopt. Entom.* 9 : 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.

Bonnet E. (1997). Phylogénie et partage des ressources chez les Orthoptères Acridiens. Thès. Doct, Univ. Limoges, (France). 160p.

Bouabdallah E.H. (1990). La végétation steppique sur sols salés des hautes-plaines sud algéroises. Composition, Structure et Production. Thès. Doct. Univ Paris-Sud, Centre d'Orsay (France).

Boukhemza M., Doumandji S., Voisin C. & Voisin J.F. (2004). Comparative utilization pattern of trophic resources by White storks *Ciconia ciconia* and Cattle egrets *Bubulcus ibis* in Kabylia (Algeria). — *Terre et Vie (Rev. Ecol.)* 59: 559–580.

Boumezbeur, A. (2004). ATLAS des zones humides algériennes d'importance internationale. Ed. Direction Générale des Forêts. Alger. 107p

Bounechada M., & Doumandji S. (2011). Régime alimentaire et évolution de la consommation des feuilles de blé dur (*Triticum durum*) chez *Ocneridia volxemii* (Insecta, Orthoptera) dans la région de Sétif. — *Agriculture* 2: 33–42.

Braun-Blanquet, J. & De Bolos, O. (1957). Les groupements végétaux du bassin moyen de l'Ebre et leur dynamisme. *Ann. Estac. Exp. de Aula dei*, 5 (1-4) : 266 p.

Britton R.H., & Crivelli A.J. (1993). *Wetlands of southern Europe and North Africa: Mediterranean wetlands.* In Whigham D.F., Dykyjová D. & Hejný S. (eds): *Wetlands of the World: Inventory, Ecology and Management.* — Kluwer, Dordrecht, pp.129–194.

Brouwer C., Goffeau A. & Heibloem M. (1985). Irrigation Water Management: Training Manual No. 1 – Introduction to Irrigation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 152 pp.

Chapuis MP. (2006). Génétique des populations d'un insecte pullulant, le criquet migrateur, *locusta migratoria*. Thès. Doct. l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Montpellier.

Chara B., Bigot C. & Loisel R. (1986). Contribution à l'étude du régime alimentaire de *Omocestus ventralis* (Zetterstedt, 1821) (Orthop. Acrididae) dans les conditions naturelles. — *Rev. Biol. Med.* 12(3-4) : 16-31.

Chenchouni H. (2010). Statuts de protection et de conservation des oiseaux recensés dans les Aurès et ses alentours (nord-est Algérien). Actes du Séminaire International sur la Biodiversité Faunistique en Zones Arides et Semi-arides, Ouargla University, Algeria, pp. 56–75.

Chenchouni, H. (2009). Place des argiles dans la caractérisation écopédologique du Chott de Djendli (Batna, Algérie) et mise en évidence de la relation salinité-répartition des halophytes. — In *Proceedings of the 3rd Maghreb Symposium on Clays* 3:23-25.

Chessel D. & Hanafi M. (1996). Analyse de la co-inertie de k nuages de points. — *Rev. statistique appliquée*, 44 : 35-60.

Chopard L. (1943). Orthoptéroïdes de l'Afrique du Nord. Librairie Larose, Paris, 450 pp.

Chopard, L. (1965). Atlas des Aptérygotes et Orthoptères de France. Edition N.Boubée & Cie, 111 pp.

Clarke K.R. (1993). Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. — *Austr. J. Ecol.* 18: 117–143.

Coque R., Tricat J., Cailleux A. (1972). Le modèle des régions sèches, traité de géomorphologie. — *Annale de Géographie*, 81: 734-740.

Daget, P. (1976). Les modèles mathématiques et écologiques. Ed. Masson.Paris. 478 p.

Daget, P. (1977). Mediterranean bioclimate-general characteristics and modes of definition. *Vegetatio*, 34(1) : 1-20.

Daget, P. (1980). Sur les types biologiques en tant que stratégie adaptative (cas des thérophytes). Pp 89-114 in : R. Barbault, P. Blandin & J.A.Meyer (éds). Recherches d'écologie théorique, les stratégies adaptatives. Maloine, Paris

Damerdji A, Mekkioui A & Doumandji-Mitiche B. (2000). Mise en évidence d'*Ampelodesma mauritanicum* (diss) dans les fèces de différentes espèces de Caelifères (orthoptères) récoltées dans les monts de Tlemcen; Etude qualitative. — *Revue I.N.R.A.A.* 1 67–75

Defaut, B. (2010). La pratique de l'entomocénotique. Application à la gestion des milieux. — *Materiaux Orthopteriques*, 93p.

Descamps, M. (1970). Contribution a la faune du Maroc. III. Acridoidea du Maroc saharien et Dericorythinae. — *Soc Entomol France Bull.* 75(1-2) : 24-36.

Dijkema K.S., Beeftink W.G., Doody J.P., Gehu J.M., Heydemann B., Rivas Martinez S. (1984). La végétation halophile en Europe (prés salés). — *Strasbourg: Council of Europe edition.*

Djili K. (2000). Influence des hauteurs des précipitations sur la répartition du calcaire et du pourcentage de sodium échangeable dans les sols du Nord de l'Algérie. — *Sécheresse*, 11: 37- 43.

Djili, K., & Daoud, Y. (2000). Influence des hauteurs des précipitations sur la répartition du calcaire et du pourcentage de sodium échangeable dans les sols du Nord de l'Algérie. — *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 11(1) : 37-43.

Doré, A. (2010). Comment gérer une prolifération. *Etudes rurales*, (1) : 119-132.

Doumandji-Mitiche, B., Doumandji, S. & Benfekih, L. (1993). Régime alimentaire du Criquet marocain *Dociostaurus maroccanus* (Thunberg, 1815), (Orthoptera, Acrididae) dans la région de Ain-Boucif (Médéa, Algérie). — *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent* 58(2) :347–53.

Dresch J. (1954). Mouvements du sol quaternaire au Maghreb Oriental. — *Annale de Géographie*, 63: 61-62.

Dreux P. (1980). Précis d'écologie. Ed. Presses universitaires de France, Paris, 231p.

Dubost D. (2002). Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Biskra: — C.R.S.T.R.A. édition.

Dubuis A., Simonneau P. (1957). Les unités phytosociologiques des terrains salés de l'Ouest Algérien. — *Bulletin des Travaux des Sections Pédologie et Agrologie.* 3: 5-23.

Dumas, P., Tetreau, G. & Petit, D. (2010). Why certain male grasshoppers have clubbed antennae? — *C R Biol.* 333: 429-437.

Durantou J.F., Launois M., Launois-Luong M.H. Et Lecoq M. (1987). Guide antiacridien du sahel. Min. Coop. Dev., — Ed. CIRAD-PRIFAS, Montpellier, 344 pp.

Durantou, J.-F & Lecoq, M. (1990). Lecriquet pèlerin au sahel. — CIRAD/PRIFAS. p 83.

Eades D.C., Otte D., Cigliano M.M. & Braun H. (2013). *OSF2. Version 2.0/4.1.* URL: <http://Orthoptera.SpeciesFile.org>.

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., Picaud F & El Yamani J. (2002). Relationship between labrum sensilla number in the moroccan locust *Dociostaurus maroccanus* and the nature of its diet. — *Journal of Orthoptera Research*, 11(1): 11–18.

Faurie C., Ferra C., Medori P., Dévot J. Et Hemptienne J. L. (2003). Ecologie. Approche scientifique et pratique. *Tec. & Doc. ISBN: 2-7430-0565-3.* 407 p.

Finot, A. (1895–1896). Faune de l'Algérie et de la Tunisie. Insectes Orthoptères. — *Annales de la Société entomologique de France*, 64 : 57–120,

Flook PK., Klee S. & Rowell CHF. (2000). Molecular phylogenetic analysis of the basal Acridomorpha (Orthoptera, Caelifera): resolving morphological character conflicts with molecular data. — *Mol Phyl Evol.* 15: 345-354.

Gamoun, M., Ouled Belgacem, A., Hanchi, B., Neffati, M., & Gillet, F. (2012). Effet du pâturage sur la diversité floristique des parcours arides du sud tunisien. — *Rev Ecol Terre Vie*, 67: 271-282.

Gangwere S.K. & Morales-Agacino E. (1973). Food selection and feeding behavior in Iberian Orthopteroidea (1) (2). — *An. Inst. Nac. Invest. Tecn. Agr. Alim. (Prot. Veg.)* 3: 251–337.

Gangwere S.K. & Spiller D.O. (1995). Food selection and feeding behavior in selected Orthoptera sen. lat. of the Balearic Islands, Spain. — *J. Orthopt. Res.* 4: 147–160.

Gangwere S.K., Mckinney J.C., Ernemann M.A. & Bland R.G. (1998). Food selection and feeding behavior in selected Acridoidea (Insecta: Orthoptera) of the Canary Islands, Spain. — *J. Orthopt. Res.* 7: 1–21.

Gardiner T., Hill J. & Chesmore, D. (2005). Review of the methods frequently used to estimate the abundance of Orthoptera in grassland ecosystems. — *J. Insect Conserv.* 9: 151–173.

Ghezlaoui, B., Benabadji, N. & Benmansour, D.(2011). Analyse des peuplements végétaux halophytes dans le chott el-gharbi (oranie-algérie). — *Acta Botanica Malacitana*, 11336 : 113-124.

Gounot, M. (1969). *Méthode d'étude quantitative de la végétation*, Ed.Mass & Cie., Paris.314p

Gratzfeld J. (2004). Industries dans les zones arides et semi aride. Planification et gestion de l'environnement. Gland et Cambridge : *UICN édition*.

Green A.J., Hamzaoui M.E., Elagbani M.A. & Franchimont J. (2002). The conservation status of Moroccan wetlands with particular reference to waterbirds and to changes since 1978. — *Biol. Conserv.* 104: 71–82.

Guendouz-Benrima A., Doumandji Mitiche B. & Petit D. (2011). Effects of weak climatic variations on assemblages and life cycles of Orthoptera in North Algeria. — *J. Arid Envir.* 75: 416–423.

Guido M. & Gianelle D. (2001). Distribution patterns of four Orthoptera species in relation to microhabitat heterogeneity in an ecotonal area. — *Acta Oecol.* 22: 175–185.

Halitim, A. (1985). *Sols des régions arides d'Algérie.* — Alger: O.P.U. édition.

Hammada S., Dakki M., Ibn Tattou M., Ouyahya A., Fennane M. (2004). Analyse de la biodiversité floristique des zones humides du Maroc. Flore rare, menacée et halophile. *Acta Botanica Malacitana*, 29 : 43-66.

Hammer D.A.T., Harper P.D. & Ryan P. (2001) PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. — *Palaeont. Electr.* 4(1), 9 pp.

Harz, K. (1984). Rote Liste der Geradflügler (Orthoptera s. lat.). *Rote Liste der gefährdeten Tiere und Pflanzen in der Bundesrepublik Deutschland*, 4: 114-115.

Hassani L.I. & Hermas J. (2008). Effets de l'alimentation en *Peganum harmala* L. (Zygophyllaceae) sur le tube digestif du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forsk. (Orthoptera, Acrididae). — *Zool. Baetica* 19: 71–84.

Houhamdi M., Maazi M.C., Seddik S., Bouaguel L., Bougoudjil S. & Saheb M. (2009). Statut et écologie de l'Érismature à tête blanche (*Oxyura leucocephala*) dans les hauts plateaux de l'Est de l'Algérie. — *Aves* 46: 9–19.

IUCN. 2014. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.1. Available at: www.iucnredlist.org.

Jacob R.H. & Peet R.L. (1989). Acute oxalate toxicity of sheep associated with slender iceplant (*Mesembryanthemum nodiflorum*). — *Austr. Vet. J.* 66: 91–92.

Jaulin, S., & Gaymard, M. (2009). Etude des Orthoptères des sites expérimentaux du LIFE Basses Corbières. Synthèse des 4 années de prospection. — Rapport d'étude de l'OPIE. Perpignan, 51p.

Jayaraman, K. (1999). Manuel de statistiques pour la recherche forestière. — FAO, Peechi, India, 242pp.

Jellison, R. (2005). IX international conference on Salt Lake research: Research opportunities and management challenges. — *Saline Systems*, 1: 12.

Jiguet, F. (2002). Arthropods in diet of Little Bustards *Tetrax tetrax* during the breeding season in western France: Seasonal, age-and sex-related variations in the diet were studied during March to October. — *Bird Study* 49: 105–109.

Jourde P., Sardet E., Perru S. & Barataud J. (2005). Contribution à la connaissance de la répartition de l'Oedipode des salines *Epacromius tergestinus tergestinus* (Charpentier, 1825) en Charente-Maritime (Orthoptera, Caelifera). — *Ann. Soc. Sci. Nat. Charente-Maritime* 9: 523–528.

Julve, P. (1998). ff. Baseveg. *Index phytosociologique synonymique de la végétation de la France. Version 20th of August, 2010. Programme Catminat.* URL: <http://perso.wanadoo.fr/philippe.julve/catminat.htm>.

Kaabeche, M. (1996). La végétation steppique du Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Essai de synthèse phytosociologique par application des techniques numériques d'analyse. — *Doc. Phytosoc. N.S. (Camerino)* 16: 45–58.

Kaabèche M., (2000). Guide des habitats aride et saharien. Typologie phytosociologique de la végétation d'Algérie. — *Conservation de la biodiversité et gestion durable des ressources naturelles (Setif, Algérie)* p.59

Kaabèche, M. (1990). Les groupements végétaux de la Région de Bou-Saada. Essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb Thès. Doct. es Sce. Univ. Paris-Sud. Fac. Sces, Orsay).

Kanoun A., Kanoun M., Yakhlef H. & Cherfaoui M.A. (2007). Pastoralisme en Algérie: Systèmes d'élevage et stratégies d'adaptation des éleveurs ovins. — *Renc. Rech. Ruminants* 14: 181–184.

Katbeh-Bader, A. (2001). Acridoidae (Orthoptera) of Jordan. — *Zoology in the Middle East*, 23(1): 89-100.

Khaznadar M., Vogiatzakis I.N., & Griffiths G.H. (2009). Land degradation and vegetation distribution in Chott El Beida wetland, Algeria. — *Journal of Arid Environments*, 73: 369-377.

Kleszczewski, M. (2006). Les habitats naturels Les identifier, évaluer et gérer, — *SupAgro Florac*, 80p.

Koopmanschap E., Hammami M., Klok C. (2011). Lac Ayata dans la Vallée d'Oued Righ. Quick-scan of options and preliminary recommendations for the Management of Lake Ayata in the Valley of Oued Righ. — *Wageningen, Centre for Development Innovation Wageningen UR* edition.

Korsakoff, M. N. (1958). Notes sur quelques insectes de Beni-Ounif. — *Eos*, 34 : 135-148.

Lamotte, M. & Bourlier, F. (1969). Problèmes d'écologie : l'échantillonnage des peuplements animaux des milieux terrestres. — Ed. Masson et Cie ,Paris,303p.

Larafa M. (2004). Dynamique de la végétation halophile en milieu aride et semi- aride au niveau des chotts (Melghir, Merouane et Bendjeloud) et Oued Djeddi en fonction des conditions du milieu. Thès. Doct, Univ Badji Mokhtar, Annaba (Algérie).

Launois-Luong, M.A. & Lecoq, M. (1989). *Vade Mecum des criquets du Sahel.* — Coll. Acrid. Oper.,Ed. CIRAD-PRIFAS, Montpellier, France, 125 pp

Launois-Luong, M.A. (1975). L'alimentation du criquet migrateur *Locusta migratoria capito* (Sauss.) en phase solitaire à Madagascar : régimes et effets. Thèse. Ministère de la Coopération, 202 pp.

Le Gall, P. (1989). Le choix des plantes nourricières et la spécialisation trophique chez les Acridoidea (Orthoptères).- Bulletin d'Écologie, Paris, 20 (3) : 245-261

Le Gall, P. (1997). La fidélité à l'arbre hôte chez un acridien sédentaire, *Stenocrobylus festivus* (Orthoptera, Acridoidea).- Journal of african Zoology, 111 (1) : 39-45, 2 fig.

Le Houerou H. N. (1995). Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. *Options méditerranéennes*, Série B, études et recherches, 10, 396p.

Le Houérou H.N. (2001). Biogeography of the arid steppeland north of the Sahara. — *J. Arid Envir.* 48: 103–128.

Le Houérou H.N., Claudin J., Pouget M. & Amrani D. (1977). Etude bioclimatique des steppes algériennes (avec une carte bioclimatique à 1/1 000 000ème). — *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord* 68: 33–74.

Le Houerou, H. N. (1979). La désertification des régions arides. — *Rev. La recherche* 99: 336-334.

Lebart L., Morineau A. & Warwick K. M. (1984). *Multivariate descriptive analysis: Correspondence analysis and related techniques for large matrices.* — New York.

Lecoq, M. (1978). Bioécologie et dynamique d'un peuplement Acridien de zone soudanienne en Afrique de l'Ouest (Orthoptéra, Acrididae). — *Anuls. Soc., ent. Fr. (N.S)* 14 (4) : Pp. 603-681

Lecoq, M. (1989). les criquets du sahel. — CIRAD - PRIFAS, France, pp. 14-83.

Louveaux A., Amedegnato C., Poulain S. & Desutter-Grandcolas L. (2013). *Acridomorpha de l'Afrique du Nord-Ouest.* — URL: <http://acrinwafrica.mnhn.fr>.

Louveaux, A., Mouhim, A., Roux, G., Gillon, Y., & Barral, H. (1996). Influence du pastoralisme sur les populations acridiennes dans le massif du Siroua (Maroc).

Louveaux A., & Ben Halima T. (1987). Catalogue des Orthoptères Acridoidea d'Afrique du Nord-Ouest. — *Bull. Soc. Ent. Fr.*, 91 (3 -4) : 73 – 86.

Louveaux, A., Peyrelongue, J. Y., & Gillon, Y. (1988). Analyse des facteurs de pullulation du criquet italien (*Calliptamus italicus* (L.)) en Poitou-Charentes. — *Comptes Rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France*, 74(8) : 91-102.

Massa, B. (1978). Observations on Eleonora's falcon *Falco eleonora* in Sicily and surrounding islets. — *Ibis* 120: 531–534.

Massa , B. (2013). Pamphagidae (Orthoptera: Caelifera) of North Africa: key to genera and the annotated check-list of species. — *Zootaxa* 3700: 435–475.

Mathieu, C. & Pieltain, F. (2003). *Chemical Soil Analysis: Chosen Methods.* — Lavoisier, Paris, 408 pp.

Médail, F. & Quézel, P. (1999). Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: setting global conservation priorities. — *Conserv. Biol.* 13: 1510–1513.

Mokhlesse R., Lazraq A., Azouid A., Petit D. & Elghadraoui L. (2007). Etude des capacités des déplacements des acridiens à Al-Azaghar (Moyen Atlas, Maroc). — *Bull. Inst. Sci. Rabat (Sci. Vie)* 29: 21–26.

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, Maroc. 44 p.

Moussi A., Abba A., Harrat A. & Petit D. (2011). Desert acridian fauna (Orthoptera, Acridomorpha): comparison between steppic and oasian habitats in Algeria. — *C. R. Biol.* 334: 158–167.

Moussi A., Abba A., Harrat A. & Petit D. (2014). Description of *Doclostaurus 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. — *Zootaxa* 3755: 379–390.

Muralirangan, M. C & Muralirangan, M. (1985). Physico-chemical factors in the acridid feeding behaviour (Orthoptera: Acrididae). — *Proc. Indian Acad. Sci. (Anim. Sci.)*, 94(3): 283-294.

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. — *Nature*, 403(6772): 853-858.

Nadjet, Z. (2009). Etude hydrogéologique et problèmes de vulnérabilité des nappes aquifères dans la région d'Oum El-Bouaghi. Thes. Doct, Univ Badji Mokhtar (Annaba).

Narisu L., & Schell S. (2000). Rangeland grasshopper movement as a function of wind and topography: implications for pest management. *J. Orthopt. Res.* 9, 111–120.

Nedjraoui D. & Bédrani S. (2008). La désertification dans les steppes algériennes: causes, impacts et actions de lutte. — *Vertigo* 8(1). URL: <http://vertigo.revues.org/5375>; doi: 10.4000/vertigo.5375.

Negre R. (1966). Les thérophytes. — *Soc. Bot. Fr.*, 92-108.

Nicole, M. C. (2002). Les relations des insectes phytophages avec leurs plantes hôtes. — *Antennae*, 9(1): 5-9.

Ould El Hadj M. (2004). *Le problème acridien au Sahara algérien*. Thès. Doct, Institut National Agronomique El Harrach, Alger, 85 pp.

Ozenda, P. (1958). *Flore du Sahara Septentrional et Central*. — Paris : C.N.R.S. édition.

Pantone N., Bux M. & Scillitani G., (1999). Dieta del Grillaio Falco naumanni nell'Italia Peninsulare. — *Avocetta* 23: 171.

Penman H.L. (1948). Natural evaporation from open water, baresoil and grass. — *Proc. R. Soc. Lond.* 193: 120–145.

Pennings, S. C., Grant, M. B., & Bertness, M. D. (2005). Plant zonation in low-latitude salt marshes: disentangling the roles of flooding, salinity and competition. —*Journal of ecology*, 93(1): 159-167.

Petit, D. (2014). Climatic changes in Algeria and responses from acridian insects. —*Agrobiologia* 6: 5-12.

Picaud, F. (1998). *Dynamique de colonisation de haldes de mines par les insectes orthoptères*. Thèse. Doct, Univ. Limoges, (France) 157 p.

Picaud F., Bonnet E., Gloaguen V. & Petit D. (2003). Decision making for food choice by grasshoppers (Orthoptera: Acrididae): Comparison between a specialist species on a shrubby legume and three graminivorous species. —*Environ Entomol.* 3: 680-688.

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.

Pons, A., & Quézel, P. (1998). A propos de la mise en place du climat méditerranéen. —*Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science*, 327(11) : 755-760.

Poole R.W. (1974). *An Introduction to Quantitative Ecology*. —McGraw-Hill, New York, 480 pp.

Popov, G.-B, Launois-Luong, M & Van Der Weel, P. (1990). Les Oothèques des criquets du Sahel. *CIRAD/PRIFAS*, p. 92.

Popov, G.-B. (1996). Quelques effets de la sécheresse saharienne sur la dynamique des populations acridiennes. —*Sécheresse*. Juin 1996, Vol. 7, 2, pp. 91-97.

Pouget M. (1980). les relations sol-végétation dans les steppes sud-Algéroises. —*O.R.S.T.O.M.* Paris. 135, 142p.

Puissant, S., & Voisin, J. F. (2002). Liste commentée des espèces d'Orthoptères rencontrées sur la Réserve naturelle de Mantet (Pyrénées-Orientales). Première approche faunistique. —*Matériaux entomocénologiques*, 7 : 23-37.

Quézel P. & Santa S. (1962–1963). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. CNRS, Paris, 566 pp.

Ramade F. (2005). *Eléments d'écologie. Ecologie appliquée*. Dunod édition, Paris.

Saheb, M. (2003). *Cartographie et rôle de la végétation dans le maintien de l'avifaune aquatique des sebkhas de Guellif et de Boucif (Oum-El-Bouaghi)*. Mém. Magis, Univ. d'Oum El-Bouaghi. (Algérie) 59p.

Samraoui B. (2002). Branchiopoda (Ctenopoda and Anomopoda) and Copepoda from eastern Numidia, Algeria. *Hydrobiologia*, 470: 173–179.

Samraoui B., Chakri K., Samraoui F. (2006). Large branchiopods (Branchiopoda: Anostraca, Notostraca and Spinicaudata) from the salts lakes of Algeria. *Journal of Limnology*, 65: 83-88.

Sardet, E., & Defaut, B. (2004). Les orthoptères menacés en France. Liste rouge nationale et listes rouges par domaines biogéographiques.—*Matériaux Orthoptériques et Entomocénétiques*, 9 : 125-137.

Savitsky V.Y. (2010). Trophic relationships and their importance for biotopic distribution of grasshoppers (Orthoptera, Acridoidea) in semi-deserts and deserts of the lower Volga river area. — *Entomol. Rev.* 90: 830–856.

Seltzer P. (1946). *Le climat de l'Algérie. Vol. 1.* Carbonel, Alger, 312 pp.

Si Bachir A., Ferrah F., Barbraud C., Céréghino R., Santoul F. (2011). The recent expansion of an avian invasive species (the Cattle Egret *Ardea ibis*) in Algeria. —*Journal of Arid Environments*, 75: 1232-1236.

Simier M., Blanc L., Pellegrin F. & Nandris D. (1999). Approche simultanée de K couples de tableaux: Application à l'étude des relations pathologie végétale-environnement= Simultaneous approach of K pairs of tables: Application to the study of the relations Vegetal pathology-Environment. —*Revue de statistique appliquée*, 47: 31-46.

Sinoir Y. (1968). Etude de quelques facteurs conditionnant la prise de nourriture chez les larves du criquet migrateur, *Locusta migratoria migratorioides* (Orthoptera, Acrididae). I. Facteurs externes. —*Ent. exp. & appl.* U: 195-210.

Sobhi, Z., Allal-Benfekih, L., & Petit, D. (2013). Biodiversité acaridienne des zones humides et des écosystèmes forestiers (de *Quercus suber* et de *Q. canariensis*): effets du climat et de la végétation. — *Bull Soc Zool Fr*, 138 : 229-50.

Sofrane , Z. (2016). Biodiversité de l'Orthoptérofaune (Criquets et Sauterelles) de la région de Sétif et étude de quelques aspects chimique et génétique, thèse.Doct, Univ, Sétif .(Algérie), 164p.

Souttou K., Baziz B., Doumandji S., Denys C. & Brahimi R. (2007). Prey selection in the common kestrel, *Falco tinnunculus*(Aves, Falconidae) in the Algiers suburbs (Algeria). — *Folia Zool. (Praha)* 56: 405–415.

Symmons, P & Cressman, K. (2001). Directives sur le Criquet pèlerin.Biologie et comportement. —*Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture*. 2001, p. 43.

Ter Braak C. J. F. (1986). Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. — *Ecology*, 67: 1167-1179.

Thomas j.G. (1966). The sense organs on the mouthparts of the desert locust (*Schistocerca gregaria*). —*Journal of Zoology*, London, 148: 420-448.

Thorntwaite C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climates. — *Geogr. Rev.* 38: 55–94.

Uvarov B. (1977). *Grasshoppers and Locusts. A Handbook of General Acridology. Vol. 2. Behaviour, Ecology, Biogeography, Population Dynamics.* —Centre for Overseas Pest Research, Cambridge University Press, 613 pp.

- Uvarov. B. (1966).** *Grasshoppers and locusts*, Ed. Cambridge Univ., Press, T. 1, 481 pp.
- Vallet, J., Rambaud, M., Coquel, L., Poncet, L., & Hendoux, F. (2012).** Effort d'échantillonnage et atlas floristiques—exhaustivité des mailles et caractérisation des lacunes dans la connaissance. —*Comptes Rendus Biologies*, 335(12): 753-763.
- Voisin, J. F. (1986).** Une méthode simple pour caractériser l'abondance des Orthoptères en milieu ouvert. —*L'entomologiste*, 42(2): 113-119.
- Whitman D.W. (2008).** The significance of body size in the Orthoptera: a review. — *J Ortho Res.* 17(2): 117-134.
- Williams W.D. (1996).** What future saline lakes? — *Environment*, 38: 12-20, 38-39.
- Williams W.D. (1998).** Salinity as a determinant of the structure of biological communities in salt lakes—*Hydrobiologia*, 381: 191-201.
- Williams W.D. (2001).** Anthropogenic salinisation of inland waters— *Hydrobiologia*, 466: 329-337.
- Zaim A., Petit D. & Elghadraou I. L. (2013).** Dietary diversification and variations in the number of labrum sensilla in grasshoppers: Which came first? — *J. Biosci*, 38: 339–349.

ANNEXES

Annexe 1. Indices d'aridités mensuelles considérées pour les deux périodes 1984-2001 et 2001-2014

| Mois | Indice d'aridité 2014 | Indice d'aridité 2000 |
|--------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Janv. | 2.608 | 4.689 |
| Févr. | 2.357 | 1.965 |
| Mars | 1.304 | 1.56 |
| Avar | 0.711 | 0.691 |
| Mai | 0.46 | 0.489 |
| Juin | 0.125 | 0.204 |
| Juil. | 0.047 | 0.04 |
| Août | 0.112 | 0.104 |
| Sept | 0.385 | 0.391 |
| Oct. | 0.375 | 0.466 |
| Nov. | 1.197 | 0.969 |
| Déc. | 3.482 | 3.765 |

Annexe 2. Données météorologiques de la région d'étude (2001-2014)

| Température moyenne mensuelle C° | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
| Janv | | 5.4 | 8.4 | 7.6 | 5 | 5.3 | 9.1 | 8.2 | 7.2 | 8.2 | 8.1 | 6.5 | 7.6 | 8.6 |
| Févr | | 8.4 | 6.1 | 10.6 | 5.1 | 7.4 | 10 | 10 | 7.6 | 10.2 | 6.9 | 4.2 | 6.7 | 9.9 |
| Mars | | 11.4 | 11.4 | 12.4 | 12 | 12.8 | 9.8 | 11.2 | 11.2 | 12.6 | 10.6 | 11.6 | 13 | 9.3 |
| Avr | | 14.2 | 15.5 | 13.5 | 15 | 17.8 | 14.2 | 16.1 | 11.9 | 15.8 | 16.1 | 15.6 | 16.7 | 15.8 |
| Mai | 19.2 | 18.2 | 20.7 | 16.8 | 22.3 | 21.9 | 19.9 | 20.3 | 19.6 | 17.6 | 18.3 | 20.7 | 19.3 | 19.9 |
| Juin | 23.8 | 24.7 | 26.8 | 23.8 | 25.7 | 27.1 | 27 | 24.1 | 26.1 | 24.8 | 23.5 | 29 | 23.9 | 24.4 |
| Juil | 27.8 | 25.1 | 30.9 | 28.1 | 30.1 | 28.2 | 29.2 | 30.1 | 31 | 28.9 | 29 | 30.2 | 28.3 | 28.9 |
| Août | 26.8 | 24.7 | 29 | 29 | 27.5 | 27.5 | 28.5 | 28.4 | 28.1 | 28.1 | 28.7 | 30.4 | 26.8 | 31.9 |
| Sept | 21.8 | 20.7 | 23.3 | 22.5 | 22.6 | 22.9 | 23.2 | 23.5 | 21.7 | 22.6 | 24.5 | 23.7 | 23.2 | 25.7 |
| Oct | 20.2 | 18.8 | 20 | 21.3 | 18.9 | 20.7 | 18 | 17.7 | 16.6 | 17.8 | 16.5 | 20.1 | 21.8 | 20.2 |
| Nov | 10.3 | 12.1 | 12.7 | 10 | 18.5 | 13.5 | 11 | 10.5 | 13.3 | 12.2 | 12.7 | 14.4 | 11.1 | |
| Déc | 6 | 9 | 7.8 | 7.7 | 6.8 | 8.3 | 6.7 | 6.6 | 10.4 | 9.1 | 8 | 8.6 | 7.6 | |

| Précipitation moyenne mensuelle mm | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
| Janv | | 11.7 | 5.3 | 17.5 | 25.9 | 52.8 | 10.2 | 7.6 | 71.4 | 50.6 | 14.7 | 28.5 | 29.7 | 34.8 |
| Févr | | 22.6 | 34.6 | 7.9 | 38.6 | 55.4 | 13.7 | 2.0 | 14.7 | 14.2 | 98.0 | 48.3 | 39.6 | 21.6 |
| Mars | | 13.7 | 45.5 | 52.9 | 16.0 | 7.4 | 52.3 | 55.6 | 26.2 | 36.3 | 32.2 | 34.0 | 24.9 | 101.9 |
| Avr | | 27.7 | 101 | 17.8 | 22.6 | 57.4 | 46.7 | 25.9 | 98.8 | 16.5 | 33.0 | 24.4 | 29.7 | 2.8 |
| Mai | 0.0 | 18.5 | 21.8 | 93.2 | 2.5 | 84.6 | 39.1 | 67.6 | 46.5 | 19.3 | 98.8 | 47.0 | 18.0 | 48.0 |
| Juin | 0.0 | 12.5 | 21.6 | 86.9 | 19.3 | 10.2 | 5.1 | 14.0 | 0.5 | 37.1 | 43.4 | 4.6 | 3.1 | 15.0 |
| Juil | 0.3 | 20.6 | 15.0 | 0.0 | 11.9 | 13.2 | 0.0 | 27.9 | 2.0 | 0.0 | 1.0 | 12.2 | 25.1 | 0.0 |
| Août | 2.8 | 86.9 | 12.2 | 33.8 | 11.4 | 6.6 | 14.7 | 35.6 | 12.7 | 10.7 | 3.8 | 4.6 | 41.9 | 0.0 |
| Sept | 98.3 | 51.1 | 18.0 | 20.8 | 32.5 | 20.6 | 43.4 | 71.6 | 62.2 | 19.1 | 42.2 | 41.4 | 60.5 | 13.5 |
| Oct | 19.1 | 36.8 | 31.5 | 9.7 | 4.8 | 29.2 | 15.2 | 20.3 | 26.9 | 28.2 | 97.8 | 20.3 | 22.1 | 13.5 |
| Nov | 27.4 | 75.4 | 15.0 | 137 | 2.5 | 10.9 | 25.1 | 28.7 | 1.0 | 62.3 | 3.3 | 13.7 | 53.6 | |
| Déc | 11.7 | 58.4 | 63.5 | 123 | 47.5 | 90.2 | 24.9 | 30.7 | 19.3 | 15.5 | 33.3 | 5.1 | 13.7 | |

Annexe 3. Dosage des ions Cl^- et SO_4^{2-} et des cations Na^+ à différentes profondeurs dans les 3 ceintures

Ceinture interne

| | Cl^- g. L ⁻¹ | | | Na^+ g. kg ⁻¹ | | | So_4^{2-} g. L ⁻¹ | | |
|-------------|---------------------------|---------|--------|----------------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|
| | 5cm | 10cm | 20cm | 5cm | 10cm | 20cm | 5cm | 10cm | 20cm |
| Mars | 1.45687 | 0.94567 | 0.7023 | 2.093 | 1.332 | 1.134 | 6.723 | 8.886 | 8.225 |
| Avr | 2 | 1.9 | 1.5 | 1.457 | 1.505 | 1.026 | 7.9 | 8.402 | 6.228 |
| Mai | 1.0175 | 1.3273 | 1.593 | 1.201 | 1.456 | 1.632 | 7.796 | 8.23 | 7.59 |
| Juin | 2.57665 | 2.13475 | 1.73 | 1.823 | 1.665 | 1.426 | 8.65 | 8.201 | 6.132 |
| Juil | 2.705 | 2.3 | 2.187 | 1.965 | 1.754 | 1.7 | 9.899 | 8.009 | 7.85 |
| Août | 3.05 | 2.798 | 2.633 | 2.059 | 1.732 | 1.52 | 13.203 | 10.02 | 9.87 |
| Sept | 2.65 | 2.229 | 1.879 | 1.877 | 1.632 | 1.54 | 7.452 | 7.055 | 6.521 |

Ceinture moyenne

| | Cl^- g. L ⁻¹ | | | Na^+ g. kg ⁻¹ | | | So_4^{2-} g. L ⁻¹ | | |
|-------------|---------------------------|---------|---------|----------------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|
| | 5cm | 10cm | 20cm | 5cm | 10cm | 20cm | 5cm | 10cm | 20cm |
| Mars | 0.4998 | 0.65925 | 0.60125 | 1.55 | 1.084 | 1.134 | 8.285 | 8.5 | 7.651 |
| Avr | 0.59 | 0.66005 | 0.754 | 1.03 | 0.886 | 0.912 | 8.415 | 8.728 | 7.727 |
| Mai | 0.56 | 0.603 | 0.632 | 0.847 | 1.105 | 1.525 | 8.372 | 7.752 | 6.698 |
| Juin | 0.6273 | 0.621 | 0.62447 | 1.54 | 0.91 | 1.32 | 9.652 | 8.955 | 8.765 |
| Juil | 0.785 | 0.716 | 0.685 | 1.61 | 1.47 | 1.11 | 9.654 | 8.478 | 7.985 |
| Août | 0.762 | 0.678 | 0.654 | 1.62 | 1.7 | 1.45 | 8.954 | 8.7 | 8.231 |
| Sept | 0.67081 | 0.63245 | 0.569 | 1.69 | 1.45 | 1.12 | 8.745 | 8.632 | 8.025 |

Ceinture externe

| | Cl^- g. L ⁻¹ | | | Na^+ g. kg ⁻¹ | | | So_4^{2-} g. L ⁻¹ | | |
|-------------|---------------------------|---------|---------|----------------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|
| | 5cm | 10cm | 20cm | 5cm | 10cm | 20cm | 5cm | 10cm | 20cm |
| Mars | 0.6905 | 0.68595 | 0.51977 | 0.9 | 1.013 | 1.732 | 7.195 | 6.414 | 6.263 |
| Avr | 0.79803 | 0.70259 | 0.68247 | 1.004 | 1.034 | 1.065 | 9.1 | 8.83 | 8.031 |
| Mai | 0.63 | 0.656 | 0.696 | 0.96 | 0.89 | 0.79 | 8.745 | 8.31 | 7.589 |
| Juin | 1.261 | 0.95636 | 0.82971 | 0.952 | 0.911 | 0.782 | 8.827 | 9.841 | 8.121 |
| Juil | 1.1594 | 0.98001 | 0.90575 | 1.23 | 0.97 | 0.86 | 9.102 | 8.625 | 8.002 |
| Août | 0.96 | 0.819 | 0.785 | 0.868 | 0.63 | 0.54 | 7.45 | 7.632 | 6.254 |
| Sept | 0.57386 | 0.563 | 0.545 | 0.812 | 0.79 | 0.68 | 5.799 | 5.601 | 5.149 |

Annexe 4. La significativité des différences entre les indices de diversité du peuplement orthoptère dans les trois ceintures (Bootstrap et Teste de peremutation)

| | ZI | ZM | Boot P | Perm P | ZI | ZE | Boot P | Perm P | ZM | ZE | Boot P | Perm P |
|--------------------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| Taxa S | 3 | 15 | 0.00 1 | 0.00 1 | 3 | 16 | 0.00 1 | 0.00 1 | 15 | 16 | 0.90 3 | 0.92 6 |
| Individuals | 31 | 60 | 0 | 0 | 31 | 32 | 0 | 0 | 60 | 32 | 0 | 0 |
| Dominance | 0.711 8 | 0.143 3 | 0.00 1 | 0.00 1 | 0.711 8 | 0.155 5 | 0.00 1 | 0.00 1 | 0.143 3 | 0.155 5 | 0.71 1 | 0.67 1 |
| Equitabilit é | 0.582 2 | 0.918 7 | 0.00 1 | 0.00 1 | 0.582 2 | 0.981 5 | 0.00 1 | 0.00 1 | 0.918 7 | 0.981 5 | 0.18 8 | 0.18 5 |

Annexe 5. Tableau des contributions des classes phytosociologiques à la détermination des axes de l'AFC

| classes phytosociologiques | Poids (relatif) | AXE F1 | AXE F2 |
|---|--------------------|--------|--------|
| Sarcocornietea fruticosae Braun-Blanquet & Tüxen 1943 ex A. & O. de Bolòs in A. de Bolòs 1950 | 0.03 | 9% | 13% |
| Pegano harmalae - Salsolitea vermiculatae Braun-Blanquet & O. de Bolòs 1958 | 0.04 | 30% | 1% |
| Arthrocnemetea fruticosie R. Tüxen et oberdorfer 1958 | 0.01 | 25% | 0% |
| Saginetea maritimae Westhoff, van Leeuwen & Adriani 1962 | 0.06 | 2% | 10% |
| Asteretea tripolii Westhoff & Beeftink in Westhoff, van Leeuwen & Adriani 1962 | 0.03 | 10% | 3% |
| Tuberaria guttatae Br-Blanquet 1952 emend. Rivas-Martinez 1978 | 0.01 | 0% | 10% |
| Lygeo sparti - Stipetea tenacissimae Rivas-Martínez 1978 | 0.10 | 0% | 16% |
| Agrostio stoloniferae - Arrhenatheretea elatioris subsp. elatioris (Tüxen 1937 em. 1970) de Foucault 1984 | 0.06 | 3% | 0% |
| Onopordetea acanthii subsp. acanthii Braun-Blanquet 1964 em. Julve 1993 | 0.21 | 6% | 6% |
| Stipo capensis - Brachypodietea distachyi (Braun-Blanquet 1947) Brullo 1985 | 0.11 | 3% | 1% |
| Sisymbrietea officinalis Gutte & Hilbig 1975 | 0.15 | 5% | 29% |
| Stellarietea mediae (Braun-Blanquet 1921) Tüxen, Lohmeyer & Preisig in Tüxen 1950 em. Schubert in Schubert, Hilbig & Klotz 1995 | 0.13 | 3% | 4% |
| Dactylis glomerata subsp. hispanicae - Brachypodietea retusi Julve 1993 | 0.07 | 2% | 9% |

Annexe 6. Distances euclidiennes entre les espèces et les relevés d'après les trois premiers scores de l'AFC

| | Axis 1 | Axis 2 | Axis 3 |
|----------------------------------|----------|----------|----------|
| <i>Dericorys_millierei_</i> | 1.8389 | 0.30541 | 0.11456 |
| <i>Calliptamus_barbarous_</i> | -0.10273 | -0.57281 | -0.38169 |
| <i>Calliptamus_wattenwylanus</i> | 0.04148 | -0.51149 | -0.40825 |
| <i>Purgomorpha_congnta_</i> | -0.57882 | 0.46413 | -0.85698 |
| <i>Tmethis_pulchripennis</i> | -0.73656 | 1.2676 | -0.8486 |
| <i>Tmethis_cisti_cisti_</i> | -0.63332 | 0.72123 | -0.82706 |
| <i>Oedipoda_caerulescens</i> | -0.35623 | -0.95962 | -0.47218 |
| <i>Ocneridia_volxemi_</i> | -0.78638 | 1.5102 | -0.12942 |
| <i>Pamphagus_cristatus</i> | -0.82827 | 1.6348 | 0.88012 |
| <i>Oedipoda_miniata_</i> | -0.46336 | -0.42234 | -0.1214 |
| <i>Sphingonotus_caerulans_</i> | -0.38463 | -0.99499 | -0.18935 |
| <i>Acrotylus_patruelis_</i> | -0.54806 | 0.15917 | -0.30651 |
| <i>Dociostaurus_marrocanus</i> | -0.53619 | -0.17184 | 0.17428 |
| <i>Dociostaurus_jagoi</i> | -0.47351 | -0.84432 | 0.76758 |
| <i>Oedaleus_decorus_</i> | -0.53766 | -0.5866 | 1.0753 |
| <i>Aiolopus_strepens_</i> | -0.6733 | 0.34419 | 1.2991 |
| <i>Purgomorpha_conica_</i> | -0.74074 | 0.86075 | 1.6628 |
| <i>Acinip_calabra_</i> | -0.63885 | -0.36255 | 2.6953 |
| Iavr13 | 0 | 0 | 0 |
| Imai13 | 2.006 | 0.40553 | 0.20576 |
| Ijun13 | 1.9346 | 0.36623 | 0.17571 |
| Ijuit13 | 1.6533 | 0.21107 | 0.050873 |
| Iaout13 | 0.71986 | -0.30365 | -0.35909 |
| Isep13 | 0.91699 | -0.19549 | -0.28429 |
| Iavr14 | 0 | 0 | 0 |
| Imai14 | 2.006 | 0.40553 | 0.20576 |
| Ijun14 | 2.006 | 0.40553 | 0.20576 |
| Ijuit14 | 1.8018 | 0.29254 | 0.10795 |
| Iaout14 | 1.5043 | 0.12852 | -0.02232 |
| Isep14 | 1.4614 | 0.10423 | -0.05507 |
| Mavr13 | -0.76896 | 1.3802 | -0.53809 |
| Mmai13 | -0.61069 | 0.70261 | -0.56432 |
| Mjun13 | -0.30745 | -0.65064 | -0.39893 |
| Mjuit13 | -0.35259 | -0.76387 | -0.18972 |
| Maout13 | -0.20227 | -0.765 | -0.5583 |
| Msep13 | -0.32189 | -0.60026 | -0.38977 |
| Mavr14 | -0.83972 | 1.8954 | -0.44271 |
| Mmai14 | -0.59205 | 0.50118 | -0.42311 |
| Mjun14 | -0.31224 | -0.56407 | -0.42706 |
| Mjuit14 | -0.33562 | -0.72322 | -0.32491 |
| Maout14 | -0.26811 | -0.80376 | -0.29445 |
| Msep14 | -0.30706 | -0.63351 | -0.42959 |

| | | | |
|----------------|----------|----------|----------|
| Eavr13 | -0.7806 | 1.4181 | 0.10837 |
| Emai13 | -0.62985 | 0.54343 | 0.5648 |
| Ejun13 | -0.49076 | -0.58953 | 0.81969 |
| Ejuit13 | -0.52971 | -0.6761 | 1.6409 |
| Eaout13 | -0.41499 | -0.88699 | 0.33268 |
| Esep13 | 0.70764 | -0.15789 | -0.1104 |
| Eavr14 | -0.83696 | 1.7592 | 0.6271 |
| Emai14 | -0.74928 | 0.81859 | 1.502 |
| Ejun14 | -0.53794 | -0.44095 | 0.7971 |
| Ejuit14 | -0.42668 | -0.86812 | 0.33067 |
| Eaout14 | -0.46407 | -0.70262 | 0.28428 |
| Esep14 | -0.27406 | -0.63088 | -0.45206 |

Annexe 7. Relève floristique (moyennes d'abondances dans les 3 ceintures).

| Famille | Espèces | ZI | ZM | ZE |
|-----------------------|--|------|------|----|
| AMARANTHACEAE | <i>Sarcocornia fruticosa</i> | 61 | 0 | 0 |
| THYMELAEACEAE | <i>Thymelaea hirsuta</i> | 45 | 0 | 0 |
| AMARANTHACEAE | <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> | 74.2 | 0 | 0 |
| CARYOPHYLLACEA | <i>Mesembryanthemum nodiflorum</i> | 1.8 | 0 | 0 |
| E | | | | |
| AMARANTHACEAE | <i>Beta vulgaris ssp maritima</i> | 1.4 | 1.6 | 0 |
| ZYGOPHYLLACEAE | <i>Peganum harmala</i> | 1.2 | 9.4 | 0 |
| ASTERACEAE | <i>Artemisia herba-alba</i> | 1.2 | 3.2 | 0 |
| BRASSICACEAE | <i>Diploxaxis virgata</i> | 0 | 8.6 | 0 |
| BRASSICACEAE | <i>Neslia paniculata</i> | 0 | 6.4 | 0 |
| CARYOPHYLLACEA | <i>Vaccaria hispanica</i> | 0 | 13.4 | 0 |
| E | | | | |
| POACEAE | <i>Avena sterilis</i> | 0 | 13.6 | 0 |
| EUPHORBIACEAE | <i>Euphorbia helioscopia</i> | 0 | 17 | 0 |
| APIACEAE | <i>Torilis arvensis ssp neglecta</i> | 0 | 2.4 | 0 |
| PLANTAGINACEAE | <i>Plantago afra</i> | 0 | 3.4 | 0 |
| APIACEAE | <i>Eryngium ilicifolium</i> | 0 | 4.2 | 0 |
| FABACEES | <i>Medicago truncatula</i> | 0 | 9 | 0 |
| CARYOPHYLLACEA | <i>Silene cinerea</i> | 0 | 2.6 | 0 |
| E | | | | |
| BRASSICACEAE | <i>Cynoglossum tubiflorum</i> | 0 | 3.6 | 0 |
| FABACEES | <i>Astragalus armatus ssp armatus</i> | 0 | 1.2 | 0 |
| POACEAE | <i>Lygeum spartum</i> | 0 | 2 | 0 |
| POACEAE | <i>Poa bulbosa L.</i> | 0 | 10.8 | 0 |
| POACEAE | <i>Bromus hordeaceus subsp hordeaceus L.</i> | 0 | 31.4 | 0 |
| POACEAE | <i>Anisantha madritensis</i> | 0 | 20 | 0 |
| ASPARAGACEAE | <i>Muscari comosum</i> | 0 | 1 | 0 |
| ASTERACEAE | <i>Centaurea sicula</i> | 0 | 1.6 | 0 |
| ASTERACEAE | <i>Galactites tomentosa</i> | 0 | 1.4 | 0 |

| | | | | |
|-----------------------|--|---|------|-----|
| ASTERACEAE | <i>Centaurea calcitrapa</i> | 0 | 4.2 | 0 |
| PAPAVERACEES | <i>Glaucium corniculatum</i> | 0 | 6.4 | 0 |
| LAMIACEAE | <i>Marrubium alysson</i> | 0 | 1.6 | 0 |
| BRASSICACEAE | <i>Biscutella auriculata</i> ssp <i>auriculata</i> | 0 | 2 | 7 |
| BRASSICACEAE | <i>Eruca vesicaria</i> ssp <i>vesicaria</i> | 0 | 2.4 | 8 |
| PAPAVERACEES | <i>Papaver hybridum</i> | 0 | 17.4 | 23 |
| BORAGINACEAE | <i>Echium humile</i> | 0 | 1.4 | 4 |
| RESEDACEAE | <i>Reseda arabica</i> | 0 | 1.4 | 9 |
| MALVACEAE | <i>Malva aegyptiaca</i> | 0 | 3.8 | 3.8 |
| ASTERACEAE | <i>Echinops spinosus</i> ssp <i>bovei</i> | 0 | 4.6 | 18 |
| BORAGINACEAE | <i>Echium plantagineum</i> | 0 | 5.2 | 7 |
| MALVACEAE | <i>Malva sylvestris</i> | 0 | 13 | 5 |
| GERANIACEAE | <i>Erodium cicutarium</i> | 0 | 9 | 9 |
| FABACEES | <i>Vicia peregrina</i> | 0 | 4.2 | 5.6 |
| POACEAE | <i>Hordeum murinum</i> | 0 | 6.8 | 35 |
| POACEAE | <i>Alopecurus pratensis</i> ??? | 0 | 7 | 9 |
| ASTERACEAE | <i>Carthamus lanatus</i> | 0 | 2.8 | 9 |
| BRASSICACEAE | <i>Sisymbrium runcinatum</i> | 0 | 5.6 | 17 |
| ASTERACEAE | <i>Anacyclus clavatus</i> / <i>Anacyclus valentinus</i> | 0 | 8.4 | 8 |
| ASTERACEAE | <i>Picris cupuligera</i> | 0 | 1.8 | 12 |
| LAMIACEAE | <i>Salvia verbenaca</i> | 0 | 2.4 | 4 |
| RESEDACEAE | <i>Reseda alba</i> | 0 | 0.6 | 12 |
| PLANTAGINACEAE | <i>Plantago albicans</i> | 0 | 3.2 | 4 |
| ASTERACEAE | <i>Scolymus hispanicus</i> | 0 | 9.4 | 16 |
| ASTERACEAE | <i>Silybum marianum</i> | 0 | 0 | 7 |
| AMARANTHACEAE | <i>Atriplex halimus</i> | 0 | 0 | 5 |
| POACEAE | <i>Anisantha sterilis</i> | 0 | 0 | 31 |
| POACEAE | <i>Anisantha rubens</i> | 0 | 0 | 12 |
| POACEAE | <i>Anisantha tectorum</i> | 0 | 0 | 29 |
| POACEAE | <i>Lolium rigidum</i> | 0 | 0 | 8.4 |
| ASTERACEAE | <i>Calendula arvensis</i> | 0 | 0 | 7 |
| ASTERACEAE | <i>Senecio leucanthemifolius</i> ssp <i>poiretianus</i> | 0 | 0 | 4 |
| ASTERACEAE | <i>Hertia cheirifolia</i> | 2 | 0 | 24 |
| POACEAE | <i>Piptatherum miliaceum</i> (L.) Coss. | 0 | 0 | 15 |

Annexe 8. Relevés entomologiques (moyennes d'abondances dans les 3 ceintures).

| | | ZI | ZM | ZE |
|-----------------------|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Dericorythidae | <i>Dericorys millierei</i> | 25.70833 | 0 | 0 |
| Acrididae | <i>Calliptamus barbarus</i> | 3.5 | 12.33333 | 2.666667 |
| Acrididae | <i>Calliptamus wattenwylanus</i> | 3.291667 | 7.958333 | 1.958333 |
| Pyrgomorphidae | <i>Purgomorpha congnta</i> | 0 | 1.625 | 0 |
| Pamphagidae | <i>Tmethis pulchripennis</i> | 0 | 3.583333 | 0.166667 |
| Acrididae | <i>Tmethis cisti cisti</i> | 0 | 2.458333 | 0.083333 |
| Pamphagidae | <i>Oedipoda caerulescens</i> | 0 | 2.75 | 0.333333 |
| Pamphagidae | <i>Ocneridia volxemi</i> | 0 | 9.083333 | 5.25 |
| Acrididae | <i>Pamphagus cristatus</i> | 0 | 0.416667 | 1.875 |
| Acrididae | <i>Oedipoda miniata</i> | 0 | 11.375 | 7.458333 |
| Acrididae | <i>Sphingonotus azurescens</i> | 0 | 3.333333 | 1.291667 |
| Acrididae | <i>Acrotylus patruelis</i> | 0 | 2.416667 | 0.75 |
| Acrididae | <i>Dociostaurus marrocanus</i> | 0 | 6.083333 | 3.083333 |
| Acrididae | <i>Dociostaurus jagoi</i> | 0 | 2.125 | 5.333333 |
| Acrididae | <i>Oedaleus decorus</i> | 0 | 0.75 | 3.458333 |
| Pyrgomorphidae | <i>Aiolopus strepens</i> | 0 | 0.291667 | 1.666667 |
| Pamphagidae | <i>Purgomorpha conica</i> | 0 | 0 | 2.166667 |
| Dericorythidae | <i>Acinip calabra</i> | 0 | 0 | 1.333333 |



Diversity of grasshoppers (Caelifera) recorded on the banks of a Ramsar listed temporary salt lake in Algeria

SARAH MAHLOUL¹, ABBOUD HARRAT¹ and DANIEL PETIT^{2,*}

¹Laboratoire de biosystématique et écologie des arthropodes, Université Mentouri Constantine I, route d'Ain-El-Bey, 25000 Constantine, Algeria; e-mails: sarah.mahloul@gmail.com, abboud52@yahoo.fr

²UMR 1061 INRA, Université de Limoges, 123, avenue A. Thomas, 87060 Limoges cedex, France; e-mail: daniel.petit@unilim.fr

Key words. Caelifera, grasshopper, *Dericorys*, *Calliptamus*, temporary salt lake, halophytes, food sources, dispersal, Algeria

Abstract. The chotts in Algeria are temporary salt lakes recognized as important wintering sites of water birds but neglected in terms of the diversity of the insects living on their banks. Around a chott in the wetland complex in the high plains near Constantine (eastern Algeria), more than half of the species of plants are annuals that dry out in summer, a situation that prompted us to sample the vegetation in spring over a period of two years. Three zones were identified based on an analysis of the vegetation and measurements of the salt content of the soils. Surveys carried out at monthly intervals over the course of a year revealed temporal and spatial variations in biodiversity and abundance of grasshoppers. The inner zone is colonized by halophilic plants and only one grasshopper species (*Dericorys millierei*) occurs there throughout the year. Two polyphagous species of *Calliptamus*, which can feed on halophilic plants migrate from adjacent areas into the inner zone in August to feed on the plants growing there. The other species of grasshoppers remain in outer zones as they are unable to feed on halophilic plants. The greatest abundance of grasshoppers from August to winter was recorded in the inner zone and in spring and early summer in the outer zones. The dependence of *D. millierei* on bushes of Amaranthaceae and its moderate flight ability, features of the family Dericorytidae, limit this species ability to colonize neighbouring chotts.

INTRODUCTION

Wetlands in the Mediterranean basin are rare and their estimated total surface area is 21,000 km², of which 4,700 km² are coastal lagoons, 2,800 km² freshwater lakes and marshes and 11,600 km² temporary salt lakes, the last of which occur mainly in North Africa (Britton & Crivelli, 1993).

In dry parts of North Africa, sebkhas and chotts are continental depressions occupied by salty temporary lakes, which are the result of a combination of torrential rain storms and rapid runoff in quasi-desert landscapes. These areas are not only breeding and over wintering sites for birds but also feeding and resting sites for numerous species of birds that annually migrate between Africa, northern Europe and Asia (Houhamdi et al., 2009). These features reflect the high biological quality of these sites and many of them are protected by the Ramsar Convention. There is a need to record the biodiversity at these sites and develop effective strategies for their conservation.

Among the North African wetlands of international importance, the chott complex on the Constantine plateau in eastern Algeria is located between the wilayas of Oum-El-

Bouagui, Batna and Khenchela. There are fifteen chotts and sebkhas of which 9 are listed under the Ramsar Convention, which span a distance of 300 km, and cover an area of 55,000 ha, at altitudes between 800 and 1200 m a.s.l., and the water is characteristically shallow and more or less salty. Their banks are colonized by permanent vegetation with islands of greenery whenever water is present. Plant communities around chotts occur in more or less distinct zones, defined in terms of the ability of the plants to tolerate salinity, floods and competition (Pennings et al., 2005).

These vast wetlands are monitored regularly in terms of the aquatic birds since the discovery of flamingos nesting in this region. In contrast, the terrestrial habitats contiguous with the wetlands are often ignored or undervalued by scientists. The fauna and flora was neglected, especially the insect fauna living on the vegetation surrounding the salt lakes, in spite of their vital role in sustaining biological diversity on a global basis. Grasshoppers (Caelifera: Acridomorpha) are recognized as a very important source of mainly protein food for birds (Massa, 1978; Pantone et al., 1999; Si Bachir et al., 2001; Jiguet, 2002; Souttou et al., 2007). They are also important bio-indicators because

* Corresponding author; e-mail: daniel.petit@unilim.fr

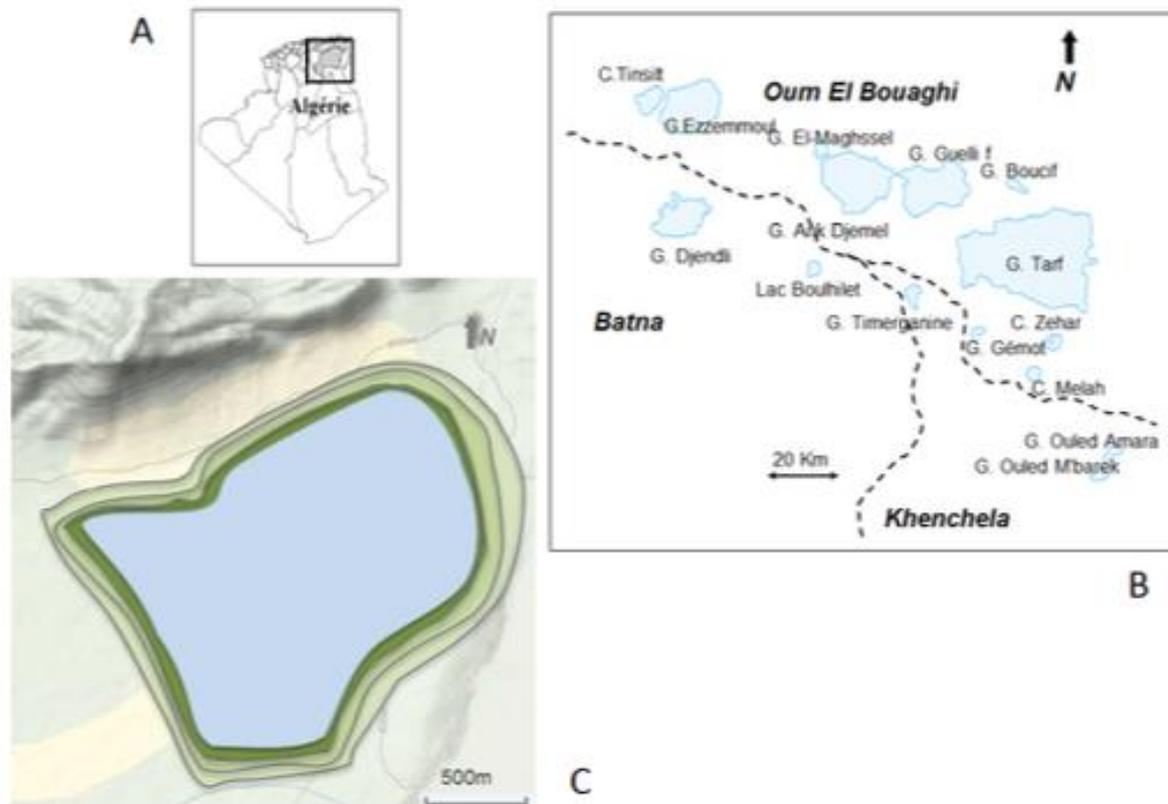


Fig. 1. Location of chott Tinsilt. A – location in Algeria; B – the chott and sebkha complex on the southern part of the Constantine plateau. Most salt lakes are in Oum-El-Bouaghi Wilaya. C – diagram showing the three zones around chott Tinsilt.

of their specific microhabitat preferences and sensitivity to any changes in their habitats (Guido & Gianelle, 2001).

Our first goal was to describe the composition of grasshopper assemblages in the different plant zones and seasons. Given the dependence of grasshopper assemblages on the structure and type of vegetation in Algeria (Guendouz-Benrima et al., 2011; Moussi et al., 2011; Sobhi et al., 2013) and Europe (Bonnet et al., 1997), it was first necessary to describe the vegetation and soil. In particular, we focused on the monthly changes in salt concentrations at different depths in the soil in relation to variations in climate. Our second aim was to investigate the possible movement of species between the different zones taking certain factors into consideration. First, the progressive drying out of the vegetation during spring, which affects outer zones first and then the inner ones. So we expected the species in the outer zones to move into the inner zones at the end of spring in order to find areas where the humidity is higher and there are living plants. Second, since plants growing in the inner zones are generally halophytes and grow in soil that is wet most of the year, there could be a problem in terms of the food there as most species of grasshoppers feed on grasses, i.e. Poaceae and allied families (Uvarov, 1977). So it is questionable whether the grasshoppers in the inner zone can feed on the plants there, or alternatively move frequently to outer zones to find edible plants. In order to address this problem we studied

their ability to move between zones and the diets of the most abundant species in the three zones using the methods adopted in previous studies (Ben Halima et al., 1984, 1985; Mokhlesse et al., 2007; Picaud & Petit 2007). Regarding the cycle (Benfekih & Petit, 2010; Guendouz-Benrima et al., 2011; Moussi et al., 2011), comparison between species will be addressed in another paper. Finally, the analyses revealed the species that were most threatened by the changes occurring in these areas.

MATERIAL AND METHODS

Site description

Chott Tinsilt is 5 km south east of Souk-Naâmane and 17 km south of the town of Ain-M'lila (35°53'14"N, 6°28'44"E, Oum-El-Bouaghi Wilaya), with a surface of 2154 ha and a maximum altitude of 792 m a.s.l. It is part of the wetland complex of the high plains of eastern Algeria (Fig. 1). The watershed is 10,300 ha in area and includes rainwater from Oued Ben Zerhaïb and wastewater from the village of Souk-Naâmane. Water is lost from this area via evaporation and southwest drainage canals that flow into a discharge channel that goes as far as the nearby Sebkhât Ezzemoul. Chott Tinsilt is dry or occasionally flooded depending on the year and the amount of rainfall. The maximum depth is usually 0.5 m, but the water level is subject to significant fluctuations depending on rainfall, temperature and wind. During the years 2013–2014, the chott was flooded in autumn, winter and early spring.

The soil consists of Quaternary sedimentary clays and silts rich in limestone. According to Boumezbear & Khalfallah (2005), the

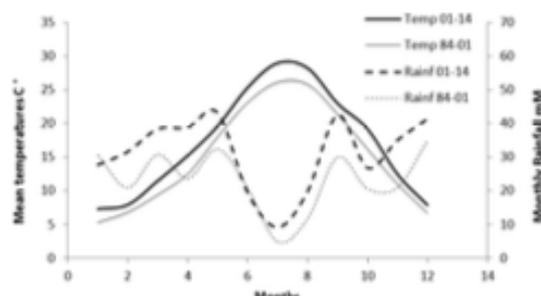


Fig. 2. Ombrothermic diagram of Gausson based on meteorological data collected at Oum-El-Bouaghi. Thick lines: period 2001–2014; thin lines: period 1984–2001. Continuous lines: mean monthly temperatures. Dashed lines: mean monthly rainfall.

inner edges of the chott are usually wetter than the dryer outer edges. These edges are covered with herbaceous vegetation, which consists of salt-tolerant plants, belonging mainly to two large families, Amaranthaceae and Aizoaceae (*Mesembryanthemum nodiflorum*, *Salicornia arabica*, *Arthrocnemum glaucum* and *Atriplex* sp.).

Data on the climate in the period 1984–2014 was obtained from the Algerian Meteorological Office. This data was split into two periods (1984–2001 and 2001–2014). The average temperatures and monthly precipitation in this data set was used to plot a climatogram using Gausson's method (Bagnouls & Gausson, 1953). The months in which the rainfall curve is below the temperature curve are considered as dry months (Fig. 2). The dry season is from April to September in the first and from May to November in the second period, the maximum temperatures were recorded in July. This is supported by monthly aridity indices, AI_i, obtained using the formula $AI_i = ETP_i/R_i$, where ETP_i is the Potential Evaporation for month *i*, and R_i the rainfall for the same month. As the data needed for calculating Penman's evaporation index (1948) are lacking, we used the estimate given by Thornthwaite (1948). In both periods, the driest months are the same and run from May to October with AI_s below 0.5 (Appendix 1). In September there are sudden rain showers that affect the area and fill the temporary chotts, but the water quickly disappears due to evaporation or drainage. There is no tendency toward increasing aridification over the last 30 years, although a recent study indicated an increase in mean maximal temperatures in this region over the period 1980 to 2010 (Petit, 2014). If we take into account more ancient data, the mean annual rainfall was 449 mm in the 20 year period ending in 1946 (Seltzer, 1946), which is characteristic of a semi-arid climate. In the more recent years, 282 mm (1984–2001) and 374 mm (2001–2014) were recorded, which is indicative of an arid climate (Le Houérou, 2001).

Soil sampling

In each zone and on each date sampled, 8–10 soil subsamples were collected at intervals of 10 m and then combined, the "final" sample. Depths sampled were 5, 10 and 20 cm. The samples were collected monthly from March to September 2014. Each sample was reduced to 500 g fresh weight and kept in a plastic bag. The particle size recorded in the different zones did not differ significantly and consisted of fine particles without gravel.

The Cl⁻ and SO₄²⁻ was quantified using aqueous extractions of soil (sieved to 2 mm) obtained using 2 volumes of distilled water to one of soil (Mathieu & Pielain, 2003). The chloride was determined using a solution of silver nitrate and the formula:

$$Cl \text{ (g. L}^{-1}\text{)} = V \times D$$

with: V = volume in ml of silver nitrate needed to measure the chloride content, D = dilution level (10 or 100). The quantity of SO₄²⁻ was determined using an absorbance spectrophotometer (JENWAY 7300).

Na⁺ was quantified using the filtrate recovered from soil saturated with ammonium acetate (1/2 vol) and a flame photometer (SHERWOOD M 410) using the following equation:

$$Na \text{ (g.k}^{-1}\text{)} = R \frac{V}{G} \times \frac{100}{1000}$$

for which R is obtained from the standard curve, V = volume of the filtrate (250 ml), G = weight of the soil in g (20 g).

Description of the vegetation

The zones of vegetation occur in belts of 20 to 150 m in width, i.e. in concentric zones around these temporary lakes. The boundaries between these zones are more or less precise, heavily influenced by the depth of the water, the importance of dry periods and salinity.

To provide quantitative data on plant abundances, we established five transects randomly within each zone following the method of Mayer (Ouelid El Hadj, 2004). Briefly, counting of individuals of each species was done along a chord 10 m long. This was repeated five times in each zone with a distance of at least 10 m between transects. To limit errors in assessing ecological preferences of plants, the chords were placed into the center of each zone at some distance from the adjacent zone(s). Vegetation was surveyed between February and April in 2013 and 2014, when the annual species were present.

Plants were collected and placed in plastic bags and kept in newspaper for drying. A herbarium was created with records of the date collected, the zone and the name of the species. The identifications were done using the flora of Quézel & Santa (1962, 1963) and the nomenclature updated using the Tela-botanica electronic flora database, section north Africa, available at the web address <http://www.tela-botanica.org/page:bdafin?langue=fr>. To determine plant communities, the phytosociological databases of Kaabeche (1996) and Julve (1998) were used.

Sampling of grasshoppers

For each zone, grasshopper diversity and abundance were estimated using quadrates of 100 m² (square areas of 10 × 10 m). Six samples were recorded each month, two in each zone. Quadrates were randomly located in each zone. The sampling period was from March 2013 to September 2014 with one visit per month. For each survey, the square was searched from the periphery to the center along a concentric path (Gardiner et al., 2005), between 10 am and 15 pm, i.e. at times of day when the grasshoppers are most active. Adult grasshoppers fleeing vegetation were captured using a sweep net or by hand. As the abundance was about 0.5 individuals per m², this method of sampling was almost completely successful as less than 5% of the estimated number of individuals escaped and were not counted.

After identification, grasshoppers were usually immediately released in order to avoid impoverishing the environment. A small number of the critical species were collected for further examination in the laboratory, in particular the dissection of genitalia, essential for the identification of species of the family Pamphagidae (Benkenana et al., 2012). Determinations were done using the keys of Chopard (1943) and Massa (2013). The updating of the nomenclature was done using the websites of Eades et al. (2013) and Louveaux et al. (2013).

Diet of grasshoppers

Their diet was determined by a microscopic analysis of plant debris in the faeces of captured grasshoppers. This study was

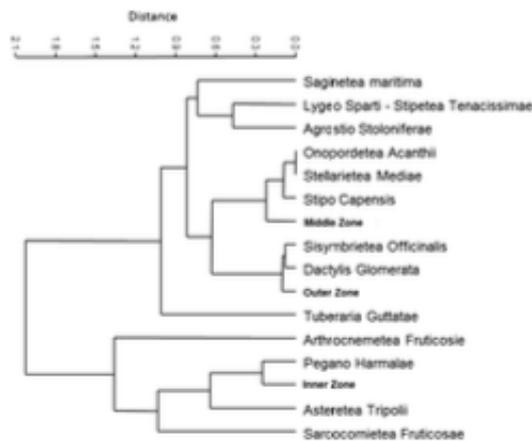


Fig. 4. Dendrogram of the phytosociological associations recorded in the three zones. The Euclidean distance was calculated based on the scores of the 2 first axes of Correspondence Analysis. See appendix 2 for the complete names of phytosociological associations.

The morphometrics of grasshoppers recorded in the different zones were compared using ANCOVA (body length taken as covariable) and MANOVA (the zones considered as a factor). All these operations were carried out using PAST software 3.17 (Hammer et al., 2001).

RESULTS

Salinity

In the inner zone (Fig. 3A), the content of Cl^- was higher at the surface than at deeper levels with the exception of May when it was the opposite. The highest concentrations of Cl^- were recorded in August. There were similar changes in the values of Na^+ , but the peak recorded in August was less pronounced. The highest concentration of SO_4^{2-} was also recorded in August. The curves of the concentrations, however, did not cross in March and there was very little difference in the concentrations recorded at the different depths.

To compare the salinity in the 3 zones, the average concentrations of each ion at the three depths were calculated (Fig. 3B). Chloride concentration was consistently higher in the inner zone than in the other two zones, where lower and very similar concentrations were recorded. There were high concentrations of SO_4^{2-} in the all three zones. For Na^+ the concentrations were similar in March and April, but from May onwards the concentrations were higher in the inner zone than in the other two zones.

Vegetation

The vegetation in the three zones consisted of 60 species of plants belonging to 18 different families (Appendix 2). Poaceae and Asteraceae, with 12 and 14 species, respectively, made up half of the flora and there were four species of Amaranthaceae. The distribution of the species in the three zones reflects very closely their tolerance of salinity.

The vegetation in the three zones differed significantly in its richness and diversity, with the middle zone slightly

Table 1. Parameters of plant assemblages recorded in each zone. The different letters correspond to significant differences (permutation test).

| | Inner zone | Middle zone | Outer zone |
|--------------------|------------|-------------|------------|
| Taxa S | 8a | 46b | 31c |
| Sample rarefaction | 8 | 46 | 31 |
| Individuals | 187.80a | 292.40b | 367.80c |
| Dominance D | 0.32a | 0.041b | 0.048b |
| Shannon H' | 1.27a | 3.46b | 3.22c |

more diverse than the outer zone, and the inner zone the poorest (permutation test, $p < 1\%$). Dominance was lower in the two outer zones (permutation test, $p < 1\%$), which reflects a more equal balance between species abundances (Table 1). The comparison of floras using ANOSIM (Bray-Curtis as the distance measure, 10,000 permutations) revealed that the species composition in the three zones differed significantly ($p \leq 0.01$).

The cluster analysis of the phytosociological classes recorded in the three zones indicates that the inner zone is colonized by halophytic vegetation and salt tolerant species (Fig. 4). These species belong to classes of the Mediterranean to sub-desert chamaephytic halophiles (*Pegano harmalae*), littoral micro-mangroves (*Sarcocornieteae fruticosae*), European salty meadows (*Asteretea tripoli*) and Mediterranean sansouires (*Arthrocnemetea fruticosae*).

Plants in outer and middle zones belong to the classes associated with the steppes (*Lygeo sparti-Stipetea tenacissimae*: five species) and to a lesser extent with subnitrophile therophytes (*Saginetea maritima*: two species) and European prairies (*Agrostio stoloniferae*: one species). In the middle zone the perennial xerophyte of fallow lands (*Onopordetea acanthii*: 10 species), annual weeds (*Stellarietea mediae*: six species) and other European therophytes (*Stipo capensis Brachypodietea distachyi*: five species) that occur in degraded steppes were recorded. In the middle zone, halophilic species are rare as only three species of plants that are tolerant of salt, namely *Beta vulgaris ssp. maritima*, *Pegano harmala* and *Artemisia herba-alba*, occurred there. The flora in the outer zone includes therophytes of fallow lands (*Sisymbrietea officinalis*: seven species) and Mediterranean grasslands (*Dactylo glomeratae-Brachypodietea retusi*: three species).

Grasshopper assemblages

A total of 3315 grasshoppers belonging to 17 species were recorded in the three zones. These species belong to four families: Pamphagidae, Pyrgomorphidae, Acrididae and Dericorythidae. Ten species of the family Acrididae were recorded in both the outer and middle zones and only species of the subfamily Calliptaminae were recorded in the inner zone. The four species of Pamphagidae and two of Pyrgomorphidae were recorded in the outer and middle zones. There was only one species of Dericorythidae recorded and only in the inner zone.

At the zone level, whether the main community parameters differed significantly was determined using permutation tests. The results in Table 2 indicate that significantly lower values were recorded in the inner zone (richness S,

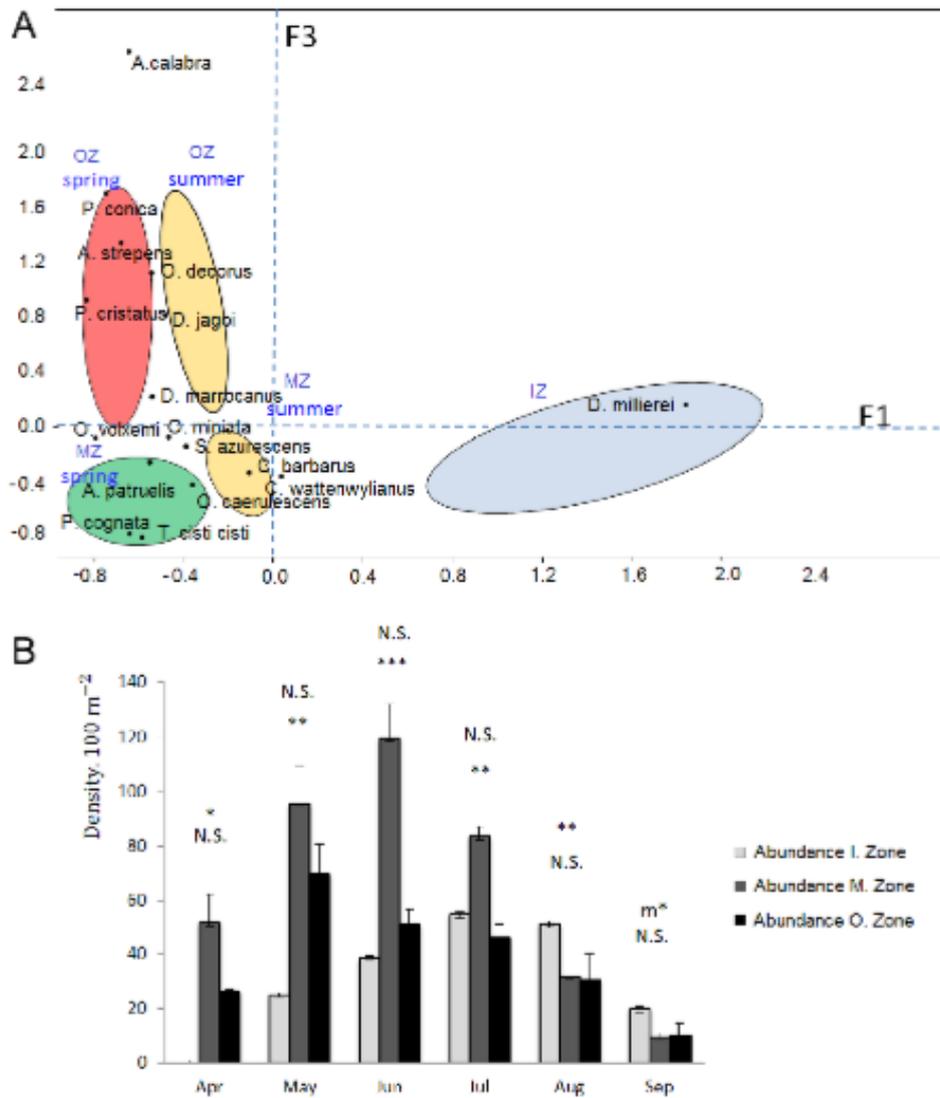


Fig. 5. Assemblage analysis of grasshoppers. A – correspondence analysis (CA) of grasshopper populations. The five assemblages revealed by a cluster analysis using the 3 first scores of the CA and Euclidean distance. B – numbers of grasshoppers per unit area recorded in the three zones (based on 4 measures per month and per zone). Lower significances: differences in numbers per unit area; upper significances: differences in numbers per unit area after removal of richness. Abbreviations: * $p < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $p < 0.001$.

density, Dominance D, and Shannon index H') and significantly higher density and diversity (indicated by H') in the middle zone than in the outer zone. The ANOSIM (Bray-

Curtis as distance measure, 10,000 permutations) revealed that the compositions of grasshopper assemblages in the three zones differed significantly ($p \leq 0.01$).

Table 2. Parameters of grasshopper assemblages recorded in each zone. The different letters correspond to significant differences (permutation test).

Taking into consideration both month and zone as factors, we determined whether the assemblages defined above could be split into sub-groups. A Correspondence Analysis followed by a Cluster Analysis of the scores on the three first axes revealed five well separated assemblages (Fig. 5A). The first is that recorded in the inner zone with *Dericorys millierei* the characteristic species. Distinct spring and summer assemblages were recorded in the middle and outer zones. The lists of the species in each

| | Inner zone | Middle zone | Outer zone |
|-----------------------------------|------------|-------------|------------|
| Taxa_S | 3a | 14b | 15b |
| Sample rarefaction | 3 | 14 | 15 |
| Mean density / 100 m ² | 32.50a | 66.58b | 38.87c |
| Dominance D | 0.65a | 0.12b | 0.11b |
| Shannon H' | 0.66a | 2.28b | 2.43c |

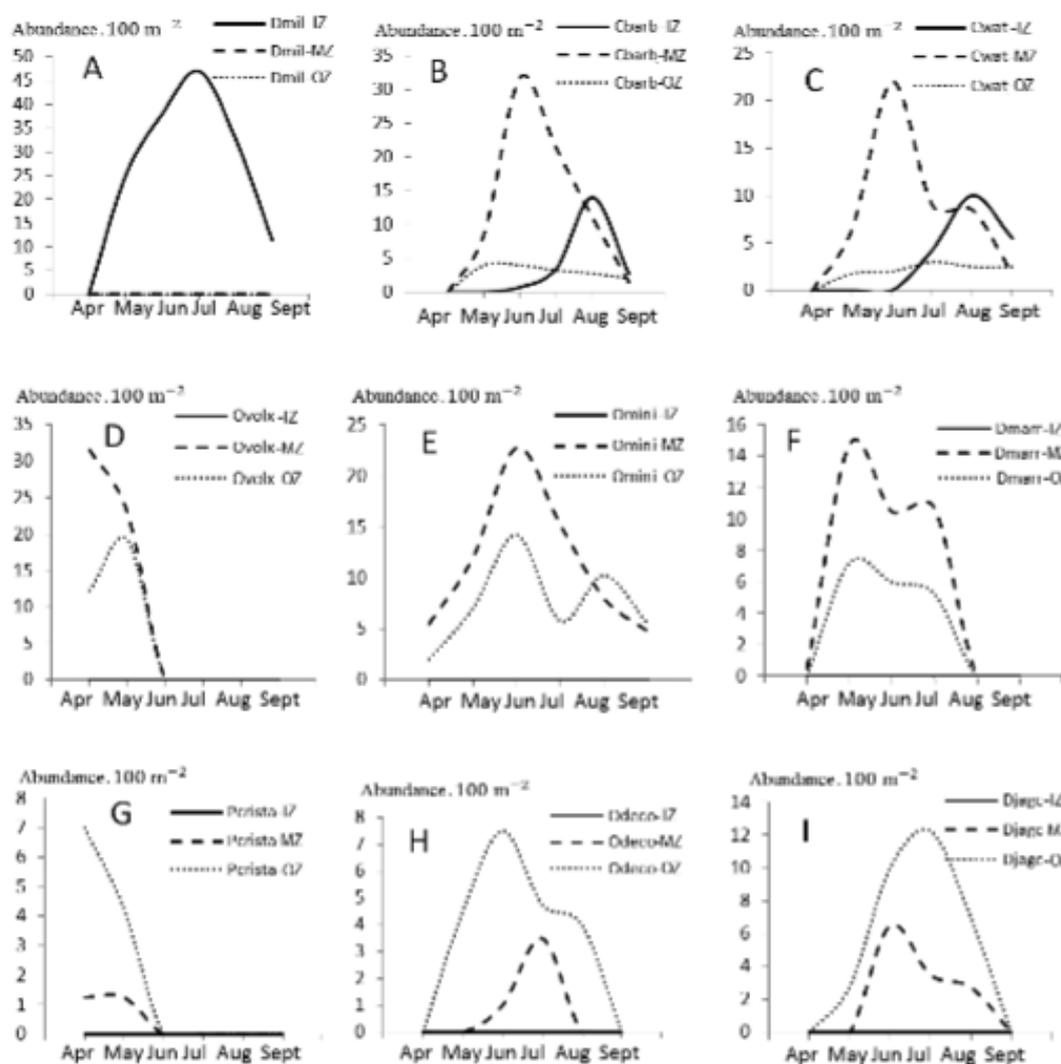


Fig. 6. Monthly numbers of dominant species of grasshoppers recorded per unit area in the three zones. Abbreviations: Dmil – *Dericorys millierei*; Cbarb – *Calliptamus barbarus*; Cwat – *Calliptamus wattenwylanus*; Ovolx – *Ocneridia volxemii*; Omni – *Oedipoda miniata*; Dmar – *Doclostaurus maroccanus*; Prista – *Pamphagus cristatus*; Odeco – *Oedaleus decorus*; Djago – *Doclostaurus jagoi*.

Table 3. The five acridian assemblages according to zone and season.

| | Spring | Summer – Autumn | |
|-------------|--|----------------------------------|--------------------------|
| Inner zone | <i>Dericorys millierei</i> : Sub-monophagous on <i>Amaranthaceae</i> | | |
| | | <i>Oedipoda caeruleascens</i> | Forbivore ^{5,7} |
| | <i>Tmethis cisti</i> | <i>Oedipoda miniata</i> | Oligophage ¹ |
| Middle zone | <i>Ocneridia volxemii</i> | <i>Sphingonotus azurescens</i> | Oligophage ¹ |
| | <i>Pyrgomorpha cognata</i> | <i>Calliptamus barbarus</i> | Ambivore ¹ |
| | <i>Acrotylus patruelis</i> | <i>Doclostaurus maroccanus</i> | Ambivore ¹ |
| | | <i>Calliptamus wattenwylanus</i> | ? |
| Outer zone | <i>Aiolopus strepens</i> | <i>Doclostaurus jagoi</i> | Ambivore ³ |
| | <i>Pyrgomorpha conica</i> | <i>Oedaleus decorus</i> | Oligophage ¹ |
| | <i>Pamphagus cristatus</i> | | |

¹ Zaim et al. (2013); ² Benkenana et al. (2012); ³ Moussi et al. (2014); ⁴ Bonnet (1997); ⁵ Savitsky (2010); ⁶ Bounechada & Doumandji (2011); ⁷ Gangwere & Morales-Agacino (1973).

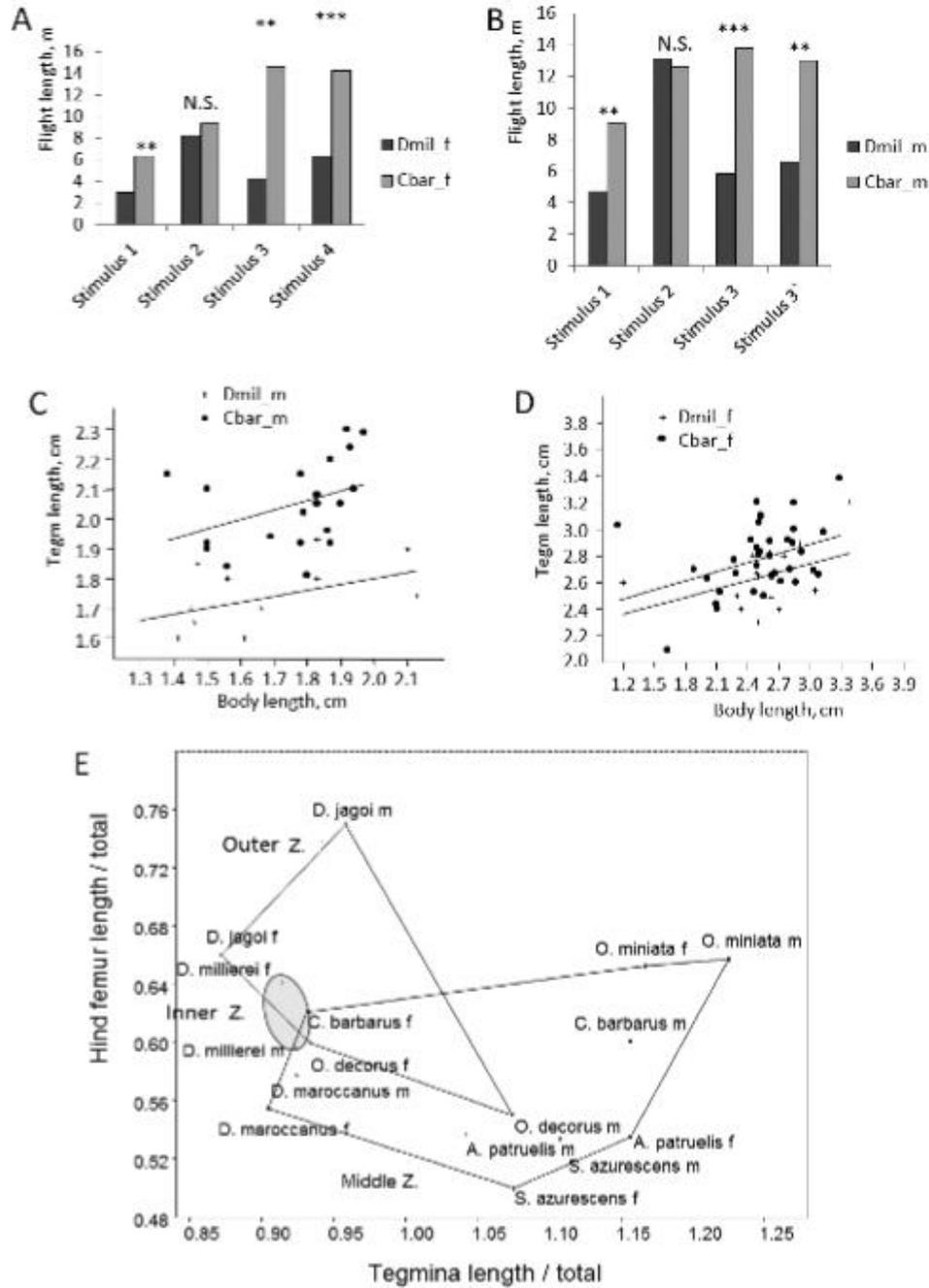


Fig. 7. Dispersal abilities of *Dericorys millierei* and *Calliptamus barbarus*. Flight length of males (A) and females (B) of both species (recorded for 10 males and 10 females of each species). ANCOVA of tegmen length relative to total length for males (C) and females (D) of both species (35 males and 50 females). E – relative femur length over relative tegmina length of the grasshoppers of the three zones. Abbreviations: * $p < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $p < 0.001$.

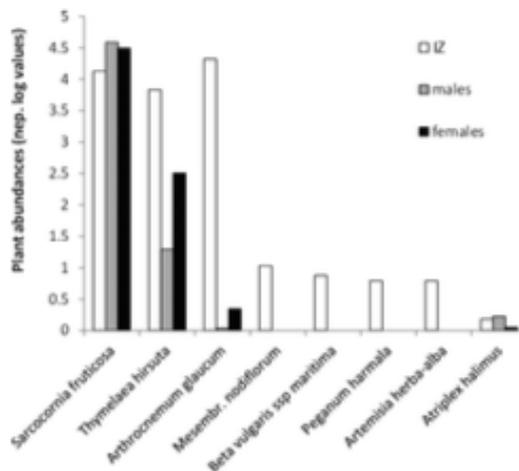


Fig. 8. Diet of *Dericorys millierei* collected in the inner zone. The histogram shows the log-transformed values of the abundance of particular species of plants in the inner zone and of the surface area (in mm²) of the microscope slide covered fragments of those plants.

the assemblages are in Table 3. To verify that the species compositions of the assemblages differed significantly, an ANOSIM (Bray-Curtis as an index of distance, 10,000 permutations) with two factors, the seasons (spring versus summer-autumn) and zones, was used. The result revealed significant differences in the composition in terms of both factors ($p < 1\%$).

The comparison of the abundances in the different months and zones (Fig. 5B) revealed that the maximum abundances were recorded in the middle zone in June with approximately 120 individuals per 100 m², whereas in the outer zone the greatest abundances were recorded in May. In the inner zone, the first adults were recorded at the beginning of May after which the numbers increased gradually and peaked in August. There were significant differences in abundances in the three zones in May ($p = 0.003$), June ($p = 0.0001$) and July ($p = 0.002$), but the difference in September was only marginally significant ($p = 0.083$). If the species richness in each zone is not taken into consideration (inner zone $r = 0.066$; middle zone $r = 9.7 \cdot 10^{-10}$; outer zone $r = 1.1 \cdot 10^{-9}$), however, the ANOVAs of the residuals reveal significant differences in the abundances in the different zones in August and September ($p < 0.01$).

Grasshopper phenology

During this study, the occurrence of grasshopper instars differed for the different species with those of the Pamphagidae the first to appear at the beginning of April, followed by the Oedipodinae and Gomphocerinae. *Calliptamus barbarus*, *C. wattenwylanus* Pantel, 1896 and *Dericorys millierei* appeared in late May–early June, in the middle zone in the case of *Calliptamus* spp and in the inner zone in the case of *D. millierei*.

To determine the temporal changes in abundance of adult grasshoppers in the different zones, we concentrated on the most characteristic species in each zone (Fig. 6). This fig-

ure shows the exclusive presence of *Dericorys millierei* in the inner zone. However, the maximum abundance of the Calliptaminae was recorded in the middle zone except in August and September, when they were mostly recorded in the inner zone (Fig. 6B, C).

The Pamphagidae, *Ocneridia volxemii* (Bolivar, 1878) and *Pamphagus cristatus* Descamps & Mounassif, 1972 were present only during the spring and mainly in the middle zone in the case of *Ocneridia volxemii* (Fig. 6D) and the outer zone for *Pamphagus cristatus* (Fig. 6G). The Oedipodinae, *Oedipoda miniata* and *Oedaleus decorus* (Germar, 1825) were most abundant in the middle zone (Fig. 6E) and the outer zone (Fig. 6H), respectively, as were the Gomphocerinae, *Dociostaurus maroccanus* (Thunberg, 1815) (Fig. 6F) and *Dociostaurus jagoi* Soltani, 1978 (Fig. 6I).

Dispersal

To understand the temporal changes in distribution we focused our studies on two species, *Dericorys millierei* a characteristic of the inner zone and *Calliptamus barbarus*, which moves from the middle zone to the inner zone at the end of summer. Based on these observations, it was predicted that the flight activity *C. barbarus* would be more marked than that of *D. millierei*.

By subjecting males and females of both species to a succession of simulated attempts at capturing them, we determined whether their flight activity differed significantly. The ANOVAs revealed that in the first flying jumps, *Calliptamus barbarus* of both sexes flew further than *Dericorys millierei*. In a response to the second stimulus both species flew the same distance but further than previously (7A, 7B). In subsequent stimulations, males and females of *Calliptamus barbarus* flew further than *Dericorys millierei*, which tended to seek refuge in the centre of dwarf bushes.

Based on the above the expectation was that the relative length of the tegmina (fore wings) over body length is greater in *Calliptamus barbarus* than in *Dericorys millierei*. ANCOVAs of tegmina length with body length as a covariate, indicated that the wings of male *C. barbarus* are clearly relatively longer than those of *D. millierei* ($p = 5.19 \cdot 10^{-7}$, $N = 35$, Fig. 7C), but for females there was no significant difference ($p = 0.059$, $N = 50$, Fig. 7D). To illustrate this idea, we plotted (Fig. 7E) the ratios of tegmen length and hind femur length over total length of the most frequent species in the three zones. We excluded wingless species because they have maximized egg production by investing less in flight ability. The MANOVAs of the 2 ratios indicated a significant difference between middle and outer zone grasshoppers (Hotelling's $p = 0.012$) but none between other zone combinations. The centroid of outer zone grasshoppers is displaced more towards relatively longer hind femurs and shorter tegmina than the middle zone grasshoppers.

Diet

For *D. millierei* the percentage of their diet made up of each species of plant reflects the abundance of these plants in the inner zone. Indeed, the Pearson correlation with log-

transformed values of plant abundances is significant ($p \leq 0.1\%$). Of the four plant species consumed, grasshoppers fed primarily on Amaranthaceae (around 72%) and Thymelaeaceae (28%) (Fig. 8). It is striking that some abundant plants in the inner zone were not eaten, such as *Mesembryanthemum nodiflorum*, *Beta vulgaris* ssp. *maritima*, *Peganum harmala* and *Artemisia herba-alba*.

The diet of *Calliptamus barbarus* was much more diverse as pieces of 22 species of plants were identified in their faeces. The most frequently consumed families were Asteraceae (7 species), Poaceae (6 species) and Plantaginaceae (3 species). If we compare the plants consumed to their abundances in the field (log-transformed values), there was a significant correlation with the abundance of the plants in the middle zone ($p = 0.044$).

DISCUSSION

Our analyses show a marked difference between the inner and the two outer zones, in terms of their plant associations and grasshopper assemblages. The inner zone contains only halophytes and salt tolerant plants, whereas the outer zones are colonized by steppe land and fallow land species. As the chloride content of the soil is higher in the inner than in outer zones, whereas the concentration of sulphate ion is similar, it is concluded that the different vegetation types are determined mainly by the concentration of chlorides. If the concentrations of all the different exchangeable ions measured are considered, the soil is of intermediate salinity, except in July and August in the inner zone when it is highly saline (Brouwer et al., 1985).

In both the middle and outer zones there were steppe plants, as defined by Le Houérou et al. (1977), mainly *Artemisia herba-alba*, *Astragalus armatus* ssp. *armatus*, *Lygeum spartum* and *Hertia cheirifolia*, which made up only 2.5% of vegetation cover in the middle zone and 6.5% in the outer zone. This indicates anthropic disturbance in the middle and outer zones. In addition, in these two zones there are wasteland species of plants and crop weeds suggesting that these two zones were cultivated in the past. Indeed, on rare occasions we recorded individual wheat plants, which indicates the nature of these ancient crops, and wheat is still commonly cultivated around the chotts in this area (Boumezbear & Khalfallah, 2005). In terms of the fallow-land species, there was a greater proportion of therophytes in the outer zone and of perennial species in the middle zone. This indicates that the outer zone was more recently cultivated than the middle zone. In addition, as a result of regular grazing by sheep flocks, the soil was devoid of plants in many places, which favours the growth of annual Mediterranean pioneer plant species.

The plant species composition of the vegetation in the three zones, conditions, abundance and species composition of grasshopper assemblages were recorded. As mentioned earlier, no plants of the family Poaceae were recorded in the inner zone. In contrast, there are seven species of this plant family in both the middle and outer zones. Given the importance of Poaceae as food for grasshoppers (Uvarov, 1977), it accounts for the richer diversity grass-

hoppers in these zones, with 15 species of grasshoppers in both the middle and outer zones. It is noteworthy, that annual plants make up 66% of the vegetation in the middle zone and 70% in the outer zone. As these plants dry out in early summer, this could account for the temporal succession of the two faunas, one in spring and the other in summer-autumn.

The species that develop early, especially those of the family Pamphagidae feed on annual species (Benkenana et al., 2013). This is in marked contrast to the species that develop later, the Oedipodinae (*Oedaleus decorus*, *Oedipoda miniata*) and Gomphocerinae (*Dociostaurus jagoi*). The temporal variations in the distributions of the grasshoppers indicate that only the Calliptaminae moved between zones. This behaviour is associated with polyphagy, as the analysis of the faeces of these species revealed they fed on wide variety of plants in May and June. We did not study their diet in late summer when they moved towards the inner zone, but *Calliptamus barbarus* feeds on *Sarcocornia fruticosa* and *Halocnemum strobilaceum* at chott Ezzmoul, which is only a few kilometers from chott Tinsilt (Benkenana & Harrat, 2007). Thus, the summer movement of Calliptaminae is to find the fresh plants they need. In contrast, the other species of grasshoppers did not feed on halophilic plants and stayed in the same zone. Analysis of literature (see legend of Table 3) indicates that several species of grasshoppers have diverse diets (grasses and dicotyledonous plants), e.g., *C. barbarus*, that is they are omnivores. Unlike *C. barbarus*, there are species that remain in the same zone, but this behaviour is not associated with the availability of food as there are edible species of plants in both zones. One can invoke the weak dispersal ability of the wingless species of Pamphagidae, *O. volxemii*, *P. cristatus* and *A. calabra* or a preference for a particular density of vegetation, as the vegetation in outer zone is denser than in the middle zone. The hind femurs of grasshoppers in the outer zone are relatively more developed than those in the middle zone (ratios over total body length around 0.75 and 0.60, respectively). This indicates that the grasshoppers of the outer zone are better at walking, which could be advantageous for colonizing areas recently abandoned.

There is only one species strictly associated with the inner zone, namely *Dericorys millierei* (Dericorythidae). Two factors determine the strong association between this species and the vegetation in the inner zone. First, faeces of *D. millierei* contained only plant debris of Amaranthaceae and Thymelaeaceae. This is similar to that recorded for other species of the genus *Dericorys*. Savitsky (2010) reports that *Dericorys tibialis* (Pallas, 1773) consumes *Anabasis aphylla*, *Caroxylon orientale*, and *Salsola incanescens* and Gangwere et al. (1998) that the diet of *D. lobata* (Brullé, 1840) is mainly composed of Amaranthaceae in the Canary Islands. This is similar to that reported for another genus of the same family, e.g. *Pamphagus*: *P. bodenheimeri dumonti* (Uvarov, 1929) and *P. uvarovi* (Ramme, 1931), feed on Amaranthaceae in the steppe and the palm oasis of Biskra (Moussi et al., 2014). This indicates that species of the family Dericorythidae are almost

monophagous in feeding mainly on Amaranthaceae. This hypothesis needs to be tested by studying other genera. This ability to consume halophilic plants is very rare and only recorded in Western Europe for *Epacromius tergestinus tergestinus* (Charpentier, 1825) (Jourde et al., 1995). It is likely that *Tropidopola cylindrica* (Marschall, 1836) also belongs to this category as it feeds on *Phragmites australis* (Gangwere & Spiller, 1995) growing in salt humid environments (Benkenana, pers. comm.). Second, bushy halophyte plants serve as a refuge for males and females of *D. millierei*. We have shown that when disturbed, they escape by jumping into the center of these plants, as previously reported by Moussi et al. (2014) for *Pamphagulus* spp. at Biskra. The use of bushes of plants of Amaranthaceae as sources of food and refuges may account for *D. millierei* on branches of *Anabasis*, *Zygophyllum* and *Atriplex* and *D. albidula* Serville, 1838 on halophilic vegetation near the Dead Sea in Palestine (Fishelson, 1985) and on *Haloxylon* in central Asia (Bei-Bienko & Mishchenko, 1963). The avoidance of *Mesembryanthemum nodiflorum* and *Peganum harmala* could be due their toxicity as demonstrated by Jacob & Peet (1989) and Hassani & Hermas (2008).

Grasshoppers are important species in food chains due to their limited and daily activity, ease of capture and richness in protein (Blásquez et al., 2012). They are an attractive prey for birds in the breeding season. We observed Cattle Egret (*Bubulcus ibis*) in the inner zone and White Stork (*Ciconia ciconia* L.) in both the inner and middle zones, both of which feed on insects, particularly grasshoppers, which make up 50%–60% of the insects they consume (Si Bashir et al., 2001; Boukhemza et al., 2004). We also found another insectivorous bird nesting in the middle zone, the Eurasian skylark (*Alauda arvensis* L., 1758). Furthermore Chenchouni (2010) reports the presence of *Neophron percnopterus* (L.) 1758 in this chott, where it occasionally consumes insects, this bird being mainly a scavenger. Its presence in August coincides with when grasshoppers are most abundant on the salt-tolerant shrubs. Although this bird list is less from exhaustive, it illustrates the high potential of the inner and middle zones as sources of food for birds, the middle zone from April to July and the inner zone from July, although the abundance there was low.

The main threat to the salt lake complex on the Constantine plateau is not of climatic origin, although this area was classified as semi-arid in 1946 and arid in 1990, but human populations that have used the resources of this area for centuries. There has been a recent increase in the rural population, more pronounced on the steppes than in the rest of Algeria (Nedjraoui & Bédrani, 2008). Between 1968 and 2006, the livestock on Algerian steppes increased from 6 10⁶ to 19 10⁶ animals (Kanoun et al., 2007). The human effect around wetlands has dramatically worsened due to poaching, water abstraction and pollution. These factors together have resulted in the virtual elimination of vegetation in the humid areas, severe erosion and poor regeneration (Medail & Quézel, 1999; Green et al., 2002). The areas between the chotts are used for growing crops

that replace the indigenous flora (Boumezbeur & Khalfallah, 2005), creating ecological islands.

In conclusion, the immediate environment around the chotts and the spaces between them are severely affected by human activity, which has reduced the number of species, their distribution and abundance, structure of the communities and productivity, and overall biodiversity. The different organisms respond differently due to differences in their ability to disperse. The most remarkable grasshopper in this area, *D. millierei*, is dependent on bushes of Amaranthaceae, a strategy that is highly risky if the risk of perturbations that destroy these plants is high. This is partly counterbalanced by their ability to move out of the area by means of long-distance flights. In the chott complex on the high plateau of Constantine, the different chotts are not more than 30 km apart. But a step by step movement is only possible if the grasshoppers find suitable bushes between neighbouring chotts. The increase in the area covered by crops in recent years has resulted in the destruction of Amaranthaceae bushes, which makes it difficult for *D. millierei* to escape from its native chott.

ACKNOWLEDGEMENTS. We thank A. Blondeau-DaSilva for her helpful comments on the draft manuscript and F. Vallet for her technical assistance.

REFERENCES

- BAGNOULS F. & GAUSSEN H. 1953: Saison sèche et indice xérothermique. — *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse* 88: 193–240.
- BEI-BIENKO G. & MISHCHENKO L. 1963: *Locusts and Grasshoppers of the USSR and Adjacent Countries. Part I*. Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem, 400 pp.
- BENFEKIH L. & PETIT D. 2010: The annual cycle of Saharan populations of *Locusta migratoria cinerascens* (Orthoptera: Acrididae: Oedipodinae) in Algeria. — *Ann. Soc. Entomol. Fr.* 46: 351–358.
- BEN HALIMA T.B., GILLON Y. & LOUVEAUX A. 1984: Utilisation des ressources trophiques par *Dociostaurus maroccanus* (Thunberg, 1815) (Orthopt.: Acrididae): choix des espèces consommées en fonction de leur valeur nutritive. — *Acta Oecol.* 5: 383–406.
- BEN HALIMA T.B., GILLON Y. & LOUVEAUX A. 1985: Spécialisation trophique individuelle dans une population de *Dociostaurus maroccanus* (Orthopt.: Acrididae). — *Acta Oecol.* 6: 17–24.
- BENKENANA N. & HARRAT A. 2007: Contribution à l'inventaire de la faune acridienne dans la région de Ain-Mlila (Sebkha) et régime alimentaire de *Calliptamus barbarus* (Costa, 1836) et *Ochrilidia geniculata* (I. Bolivar, 1918). In: *Actes des Journées Internationales sur la Zoologie Agricole et Forestières, Institut National Agronomique (I.N.A.), El-Harrach, Alger, 8 Avril 2007*.
- BENKENANA N., HARRAT A. & PETIT D. 2012: The Pamphagidae (Orthoptera) from East Algeria and description of a new species. — *Zootaxa* 3168: 22–38.
- BENKENANA N., HARRAT A. & PETIT D. 2013: Analysis of the number of sensilla on the labrum and the diet of grasshoppers belonging to the family Pamphagidae (Orthoptera). — *Eur. J. Entomol.* 110: 355–364.
- BLÁSQUEZ J.R.E., MORENO J.M.P. & CAMACHO V.H.M. 2012: Could grasshoppers be a nutritive meal? — *Food Nutr. Sci.* 3: 164–175.

- BONNET E. 1997: *Phylogénie et partage des ressources chez les Orthoptères Acridiens*. PhD Thesis, Université de Limoges, 160 pp.
- BOUKHEMZA M., DOUMANDJI S., VOISIN C. & VOISIN J.F. 2004: Comparative utilization pattern of trophic resources by White storks *Ciconia ciconia* and Cattle egrets *Bubulcus ibis* in Kabylia (Algeria). — *Terre et Vie (Rev. Ecol.)* 59: 559–580.
- BOUMEZBEUR A. & KHALFALLAH Y. 2005: *Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar chott Tinsilt (Wilaya d'Oum El Bouaghi). Rapport direction générale des forêts*. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Algérie, 9 pp.
- BOUNECHADA M. & DOUMANDJI S. 2011: Régime alimentaire et évolution de la consommation des feuilles de blé dur (*Triticum durum*) chez *Ocnieridia volxemii* (Insecta, Orthoptera) dans la région de Sétif. — *Agriculture* 2: 33–42.
- BRITTON R.H. & CRIVELLI A.J. 1993: *Wetlands of southern Europe and North Africa: Mediterranean wetlands*. In Whigham D.F., Dykxjová D. & Hejný S. (eds): *Wetlands of the World: Inventory, Ecology and Management. Vol. 1*. Kluwer, Dordrecht, pp. 129–194.
- BROUWER C., GOFFEAU A. & HEIBLOEM M. 1985: *Irrigation Water Management: Training Manual No. 1 – Introduction to Irrigation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 152 pp.
- CHENCHOUNI H. 2010: *Status de protection et de conservation des oiseaux recensés dans les Aurès et ses alentours (nord-est Algérie)*. Actes du Séminaire International sur la Biodiversité Faunistique en Zones Arides et Semi-arides, Ouargla University, Algeria, pp. 56–75.
- CHOPARD L. 1943: *Orthoptéroïdes de l'Afrique du Nord*. Librairie Larose, Paris, 450 pp.
- CLARKE K.R. 1993: Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. — *Austr. J. Ecol.* 18: 117–143.
- EADES D.C., OTTE D., CIGLIANO M.M. & BRAUN H. 2013: *OSF2. Version 2.0/4.1*. URL: <http://Orthoptera.SpeciesFile.org>.
- FISHELSON L. 1985: *Fauna Palaestina: Insecta III. Orthoptera: Acridoidea*. The Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem, 229 pp.
- GANGWIRE S.K. & MORALES-AGACINO E. 1973: Food selection and feeding behavior in Iberian Orthopteroidea (1) (2). — *An. Inst. Nac. Invest. Tecn. Agr. Alim. (Prot. Veg.)* 3: 251–337.
- GANGWIRE S.K. & SPILLER D.O. 1995: Food selection and feeding behavior in selected Orthoptera sen. lat. of the Balearic Islands, Spain. — *J. Orthopt. Res.* 4: 147–160.
- GANGWIRE S.K., MCKINNEY J.C., ERNEMANN M.A. & BLAND R.G. 1998: Food selection and feeding behavior in selected Acridoidea (Insecta: Orthoptera) of the Canary Islands, Spain. — *J. Orthopt. Res.* 7: 1–21.
- GARDINER T., HILL J. & CHESMORE D. 2005: Review of the methods frequently used to estimate the abundance of Orthoptera in grassland ecosystems. — *J. Insect Conserv.* 9: 151–173.
- GREEN A.J., HAMZAOUI M.E., ELAGBANI M.A. & FRANCHIMONT J. 2002: The conservation status of Moroccan wetlands with particular reference to waterbirds and to changes since 1978. — *Biol. Conserv.* 104: 71–82.
- GUENDOUBENRIMA A., DOUMANDJI MITICHE B. & PETIT D. 2011: Effects of weak climatic variations on assemblages and life cycles of Orthoptera in North Algeria. — *J. Arid Envir.* 75: 416–423.
- GUIDO M. & GIANELLE D. 2001: Distribution patterns of four Orthoptera species in relation to microhabitat heterogeneity in an ecotonal area. — *Acta Oecol.* 22: 175–185.
- HAMMER D.A.T., HARPER P.D. & RYAN P. 2001: PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. — *Palaeont. Electr.* 4(1) 9 pp.
- HASSANI L.I. & HERMAS J. 2008: Effets de l'alimentation en *Peganum harmala* L. (Zygophyllaceae) sur le tube digestif du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forsk. (Orthoptera, Acrididae). — *Zool. Baetica* 19: 71–84.
- HOUHAMDI M., MAAZI M.C., SEDDIK S., BOUAGUEL L., BOUGOUDJIL S. & SAHEB M. 2009: Statut et écologie de l'Érismature à tête blanche (*Oxyura leucocephala*) dans les hauts plateaux de l'Est de l'Algérie. — *Aves* 46: 9–19.
- JACOB R.H. & PEET R.L. 1989: Acute oxalate toxicity of sheep associated with slender iceplant (*Mesembryanthemum nodiflorum*). — *Austr. Vet. J.* 66: 91–92.
- JIGUET F. 2002: Arthropods in diet of Little Bustards *Tetrax tetrax* during the breeding season in western France: Seasonal, age- and sex-related variations in the diet were studied during March to October. — *Bird Study* 49: 105–109.
- JOURDE P., SARDET E., PERRU S. & BARATAUD J. 2005: Contribution à la connaissance de la répartition de l'Oedipode des salines *Epacromius tergestinus tergestinus* (Charpentier, 1825) en Charente-Maritime (Orthoptera, Caelifera). — *Ann. Soc. Sci. Nat. Charente-Maritime* 9: 523–528.
- JULVE P. 1998: *Jf. Baseveg. Index phytosociologique synonymique de la végétation de la France. Version 20th of August, 2010. Programme Catminat*. URL: <http://perso.wanadoo.fr/philippe.julve/catminat.htm>.
- KAABEICHE M. 1996: La végétation steppique du Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Essai de synthèse phytosociologique par application des techniques numériques d'analyse. — *Doc. Phytosoc. N.S. (Camerino)* 16: 45–58.
- KANOUN A., KANOUN M., YAKHLEF H. & CHERFAOUI M.A. 2007: Pastoralisme en Algérie: Systèmes d'élevage et stratégies d'adaptation des éleveurs ovins. — *Rech. Rech. Ruminants* 14: 181–184.
- LE HOUEIROU H.N. 2001: Biogeography of the arid steppeland north of the Sahara. — *J. Arid Envir.* 48: 103–128.
- LE HOUEIROU H.N., CLAUDIN J., POUGET M. & AMRANI D. 1977: Etude bioclimatique des steppes algériennes (avec une carte bioclimatique à 1/1 000 000ème). — *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord* 68: 33–74.
- LOUVEAUX A., AMEDEGNATO C., POULAIN S. & DESUTTER-GRANDCOLAS L. 2013: *Acridomorpha de l'Afrique du Nord-Ouest*. URL: <http://acrinwafrica.mnhn.fr>.
- MASSA B. 1978: Observations on Eleonora's falcon *Falco eleonora* in Sicily and surrounding islets. — *Ibis* 120: 531–534.
- MASSA B. 2013: Pamphagidae (Orthoptera: Caelifera) of North Africa: key to genera and the annotated check-list of species. — *Zootaxa* 3700: 435–475.
- MATHEU C. & PIETAIN F. 2003: *Chemical Soil Analysis: Chosen Methods*. Lavoisier, Paris, 408 pp.
- MÉDAIL F. & QUÉZEL P. 1999: Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: setting global conservation priorities. — *Conserv. Biol.* 13: 1510–1513.
- MOKHLESSE R., LAZRAQ A., AZOUZID A., PETIT D. & ELGHADRAOUI L. 2007: Etude des capacités des déplacements des acridiens à Al-Azghar (Moyen Atlas, Maroc). — *Bull. Inst. Sci. Rabat (Sci. Vie)* 29: 21–26.
- MOUSSI A., ABBA A., HARRAT A. & PETIT D. 2011: Desert acridian fauna (Orthoptera, Acridomorpha): comparison between steppe and oasian habitats in Algeria. — *C. R. Biol.* 334: 158–167.
- MOUSSI A., ABBA A., HARRAT A. & PETIT D. 2014: Description of *Dociostaurus biskrensis* sp. nov. and male allotypes of four species: *Pamphagus bodenheimeri dumonti*, *P. uvarovi*, *Sphingonotus ebneri* and *Notopleura pygmaea* (Orthoptera: Acridoidea) in the region of Biskra, Algeria. — *Zootaxa* 3755: 379–390.

- NEDIRAQI D. & BÉDRANI S. 2008: La désertification dans les steppes algériennes: causes, impacts et actions de lutte. — *Vertigo* 8(1). URL: <http://vertigo.revues.org/5375>; doi: 10.4000/vertigo.5375.
- OULD EL HADI M. 2004: *Le problème acridien au Sahara algérien*. PhD Thesis, Institut National Agronomique El Harrach, Alger, 85 pp.
- PANTONE N., BUX M. & SCILLITANI G. 1999: Dieta del Grillai Falco naumanni nell'Italia Peninsulare. — *Avocetta* 23: 171.
- PENMAN H.L. 1948: Natural evaporation from open water, bare soil and grass. — *Proc. R. Soc. Lond.* 193: 120–145.
- PENNINGS S.C., GRANT M.B. & BERTNESS M.D. 2005: Plant zonation in low latitude salt marshes: disentangling the roles of flooding, salinity and competition. — *J. Ecol.* 93: 159–167.
- PETIT D. 2014: Climatic changes in Algeria and responses from acridian insects. — *Agrobiologia* 6: 5–12.
- PICAUD F. & PETIT D.P. 2007: Primary succession of Acrididae (Orthoptera): Differences in displacement capacities in early and late colonizers of new habitats. — *Acta Oecol.* 32: 59–66.
- POOLE R.W. 1974: *An Introduction to Quantitative Ecology*. McGraw-Hill, New York, 480 pp.
- QUÉZEL P. & SANTA S. 1962–1963: *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. CNRS, Paris, 566 pp.
- SAVITSKY V.Y. 2010: Trophic relationships and their importance for biotopic distribution of grasshoppers (Orthoptera, Acridoidea) in semi-deserts and deserts of the lower Volga river area. — *Entomol. Rev.* 90: 830–856.
- SELTZER P. 1946: *Le climat de l'Algérie. Vol. 1*. Carbonel, Alger, 312 pp.
- SI BACHIR A., HAFNER H., TOURENQ J.N., DOUMANDJI S. & LEX S. 2001: Diet of adult cattle egrets (*Bubulcus ibis*) in a new North African colony (Soummam, Kabylie, Algeria): taxonomic composition and seasonal variability. — *Ardeola* 48: 217–223.
- SOBHI Z., ALLAL-BENFEKIH L. & PETIT D. 2013: Biodiversité acridienne des zones humides et des écosystèmes forestiers (de *Quercus suber* et de *Q. canariensis*): Effets du climat et de la végétation. — *Bull. Soc. Zool. Fr.* 138: 229–250.
- SOUTTOU K., BAZIZ B., DOUMANDJI S., DENYS C. & BRAHIMI R. 2007: Prey selection in the common kestrel, *Falco tinnunculus* (Aves, Falconidae) in the Algiers suburbs (Algeria). — *Folia Zool. (Praha)* 56: 405–415.
- THORNTON C.W. 1948: An approach toward a rational classification of climates. — *Geogr. Rev.* 38: 55–94.
- UVAROV B. 1977: *Grasshoppers and Locusts. A Handbook of General Acridology. Vol. 2. Behaviour, Ecology, Biogeography, Population Dynamics*. Centre for Overseas Pest Research, Cambridge University Press, 613 pp.
- ZAIM A., PETIT D. & ELGHADRAOUI L. 2013: Dietary diversification and variations in the number of labrum sensilla in grasshoppers: Which came first? — *J. Biosci.* 38: 339–349.

Received July 18, 2015; revised and accepted November 27, 2015
Published online February 5, 2016

Appendix 1. The months considered as dry are on grey background.

| Months | Aridity index 2014 | Aridity index 2000 |
|-----------|--------------------|--------------------|
| January | 2.608 | 4.689 |
| February | 2.357 | 1.965 |
| March | 1.304 | 1.560 |
| April | 0.711 | 0.691 |
| May | 0.460 | 0.489 |
| June | 0.125 | 0.204 |
| July | 0.047 | 0.040 |
| August | 0.112 | 0.104 |
| September | 0.385 | 0.391 |
| October | 0.375 | 0.466 |
| November | 1.197 | 0.969 |
| December | 3.482 | 3.765 |

Appendix 2. Plants recorded in the three zones of Chatt Tinsit. The abundances for each species and each zone are the counting means along the 10 m-long rope (five repetitions).

| Family | Species | IZ | MZ | OZ | Phytosociological classes |
|-----------------|--|------|------|-----|---|
| AMARANTHACEAE | <i>Sarcocornia frutescens</i> (L.) AJ Scott | 61 | 0 | 0 | Sarcocornetea fruticosae Braun-Blanquet & Tüxen, 1943 ex A. & O. de Bolòs in A. de Bolòs, 1950 |
| THYMELAEACEAE | <i>Thymelaea hirsuta</i> (L.) Endl. | 45 | 0 | 0 | Pegano harmalae – Salsoletea vermiculatae Braun-Blanquet & O. de Bolòs, 1958 |
| AMARANTHACEAE | <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> (Moric.) C. Koch | 74.2 | 0 | 0 | Arthrocnemetea fruticosae R. Tüxen et Oberdorfer, 1958 |
| CARYOPHYLLACEAE | <i>Mesembryanthemum nodiflorum</i> L. | 1.8 | 0 | 0 | Saginea maritima Westhoff, van Leeuwen & Adriani, 1962 |
| AMARANTHACEAE | <i>Beta vulgaris</i> ssp. <i>maritima</i> L. | 1.4 | 1.6 | 0 | Asteretea tripoli Westhoff & Beeftink in Westhoff, van Leeuwen & Adriani, 1962 |
| ZYGOPHYLLACEAE | <i>Peganum harmala</i> L. | 1.2 | 9.4 | 0 | Pegano harmalae – Salsoletea vermiculatae Braun-Blanquet & O. de Bolòs, 1958 |
| ASTERACEAE | <i>Artemisia herba-alba</i> Asso | 1.2 | 3.2 | 0 | Lygeo sparti – Stipetea tenacissimae Rivas-Martínez, 1978 |
| BRASSICACEAE | <i>Diptaxis virgata</i> (Cav.) DC. | 0 | 8.6 | 0 | |
| BRASSICACEAE | <i>Neslia paniculata</i> (L.) Desv. | 0 | 6.4 | 0 | Stellarietea mediae (Braun-Blanquet, 1921) Tüxen, Lohmeyer & Preising in Tüxen, 1950 em. Schubert in Schubert, Hilbig & Klotz, 1995 |
| CARYOPHYLLACEAE | <i>Vaccaria hispanica</i> (MILL.) Rauschert. | 0 | 13.4 | 0 | Stellarietea mediae (Braun-Blanquet, 1921) Tüxen, Lohmeyer & Preising in Tüxen, 1950 em. Schubert in Schubert, Hilbig & Klotz, 1995 |
| POACEAE | <i>Avena sterilis</i> L. | 0 | 13.6 | 0 | Stellarietea mediae (Braun-Blanquet, 1921) Tüxen, Lohmeyer & Preising in Tüxen, 1950 em. Schubert in Schubert, Hilbig & Klotz, 1995 |
| EUPHORBACEAE | <i>Euphorbia helioscopia</i> L. | 0 | 17 | 0 | Stellarietea mediae (Braun-Blanquet, 1921) Tüxen, Lohmeyer & Preising in Tüxen, 1950 em. Schubert in Schubert, Hilbig & Klotz, 1995 |
| APIACEAE | <i>Torilis arvensis</i> ssp. <i>neglecta</i> (Rouy & Camus) Thell. | 0 | 2.4 | 0 | |
| PLANTAGINACEAE | <i>Plantago afra</i> L. | 0 | 3.4 | 0 | Stipo capensis – Brachypodetea distachyi (Braun-Blanquet, 1947) Brullo, 1985 |
| APIACEAE | <i>Eryngium ilicifolium</i> Lam. | 0 | 4.2 | 0 | Tuberaria guttatae Braun-Blanquet, 1952 emend. Rivas-Martínez, 1978 |
| FABACEAE | <i>Medicago truncatula</i> Gaertn. | 0 | 9 | 0 | Stipo capensis – Brachypodetea distachyi (Braun-Blanquet, 1947) Brullo, 1985 |
| CARYOPHYLLACEAE | <i>Silene cinerea</i> Desf. | 0 | 2.6 | 0 | |
| BRASSICACEAE | <i>Cynoglossum tubiflorum</i> (Murb.) Greut. & Burd. | 0 | 3.6 | 0 | |
| FABACEAE | <i>Astragalus armatus</i> ssp. <i>armatus</i> Willd. | 0 | 1.2 | 0 | Lygeo sparti – Stipetea tenacissimae Rivas-Martínez, 1978 |
| POACEAE | <i>Lygeum spartum</i> L. | 0 | 2 | 0 | Lygeo sparti – Stipetea tenacissimae Rivas-Martínez, 1978 |
| POACEAE | <i>Poa bulbosa</i> L. | 0 | 10.8 | 0 | |
| POACEAE | <i>Bromus hordeaceus</i> ssp. <i>hordeaceus</i> L. | 0 | 31.4 | 0 | |
| POACEAE | <i>Anisantha madritensis</i> (L.) Nevski | 0 | 20 | 0 | Sisymbrietea officinalis Gutte & Hilbig, 1975 |
| ASPARAGACEAE | <i>Muscari comosum</i> (L.) Mill. | 0 | 1 | 0 | Onopordetea acanthii ssp. acanthii Braun-Blanquet, 1964 em. Julve, 1993 |
| ASTERACEAE | <i>Centaurea sicula</i> (L.) Soják | 0 | 1.6 | 0 | Onopordetea acanthii ssp. acanthii Braun-Blanquet, 1964 em. Julve, 1992 |
| ASTERACEAE | <i>Galactites tomentosa</i> Moench | 0 | 1.4 | 0 | Onopordetea acanthii ssp. acanthii Braun-Blanquet, 1964 em. Julve, 1993 |
| ASTERACEAE | <i>Centaurea calcitrapa</i> L. | 0 | 4.2 | 0 | Onopordetea acanthii ssp. acanthii Braun-Blanquet, 1964 em. Julve, 1993 |
| PAPAVERACEAE | <i>Glaucium comiculatum</i> (L.) Rudolph | 0 | 6.4 | 0 | Onopordetea acanthii ssp. acanthii Braun-Blanquet, 1964 em. Julve, 1993 |
| LAMIACEAE | <i>Marrubium alysson</i> L. | 0 | 1.6 | 0 | Onopordetea acanthii ssp. acanthii Braun-Blanquet 1964 em. Julve, 1993 |
| BRASSICACEAE | <i>Biscutella auriculata</i> ssp. <i>auriculata</i> L. | 0 | 2 | 7 | Stipo capensis – Brachypodetea distachyi (Braun-Blanquet 1947) Brullo, 1985 |
| BRASSICACEAE | <i>Eruca vesicaria</i> ssp. <i>vesicaria</i> (Mifer) Thell. | 0 | 2.4 | 8 | Stellarietea mediae (Braun-Blanquet, 1921) Tüxen, Lohmeyer & Preising in Tüxen, 1950 em. Schubert in Schubert, Hilbig & Klotz, 1995 |
| PAPAVERACEAE | <i>Papaver hybridum</i> L. | 0 | 17.4 | 23 | Stellarietea mediae (Braun-Blanquet, 1921) Tüxen, Lohmeyer & Preising in Tüxen, 1950 em. Schubert in Schubert, Hilbig & Klotz, 1995 |
| BORAGINACEAE | <i>Echium humile</i> Desf. | 0 | 1.4 | 4 | |
| RESEDACEAE | <i>Reseda arabica</i> Boiss. | 0 | 1.4 | 9 | |
| MALVACEAE | <i>Malva aegyptiaca</i> L. | 0 | 3.8 | 3.8 | |
| ASTERACEAE | <i>Echinops spinosus</i> ssp. <i>bovei</i> (Boiss.) Murb. | 0 | 4.6 | 18 | Onopordetea acanthii ssp. acanthii Braun-Blanquet, 1964 em. Julve, 1993 |
| BORAGINACEAE | <i>Echium plantagineum</i> L. | 0 | 5.2 | 7 | Onopordetea acanthii ssp. acanthii Braun-Blanquet, 1964 em. Julve, 1993 |
| MALVACEAE | <i>Malva sylvestris</i> L. | 0 | 13 | 5 | Onopordetea acanthii ssp. acanthii Braun-Blanquet, 1964 em. Julve, 1993 |
| GERANIACEAE | <i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hérit. | 0 | 9 | 9 | Stipo capensis – Brachypodetea distachyi (Braun-Blanquet, 1947) Brullo, 1985 |
| FABACEAE | <i>Vicia peregrina</i> L. | 0 | 4.2 | 5.6 | Stipo capensis – Brachypodetea distachyi (Braun-Blanquet, 1947) Brullo, 1985 |
| POACEAE | <i>Hordeum murinum</i> L. | 0 | 6.8 | 35 | Saginea maritima Westhoff, van Leeuwen & Adriani, 1962 |
| POACEAE | – | 0 | 7 | 9 | Agrostio stoloniferae – Arrhenatheretea elatioris ssp. elatioris (Tüxen, 1937 em. 1970) de Foucault, 1984 |
| ASTERACEAE | <i>Carthamus lanatus</i> L. | 0 | 2.8 | 9 | Sisymbrietea officinalis Gutte & Hilbig, 1975 |
| BRASSICACEAE | <i>Sisymbrium runcinatum</i> Lag. Ex DC. | 0 | 5.6 | 17 | Sisymbrietea officinalis Gutte & Hilbig, 1975 |
| ASTERACEAE | <i>Anacyclus clavatus</i> (Desf.) Pers. | 0 | 8.4 | 8 | Sisymbrietea officinalis Gutte & Hilbig, 1975 |
| ASTERACEAE | <i>Pteris cupuligera</i> (Durieu) Walp. | 0 | 1.8 | 12 | |
| LAMIACEAE | <i>Salvia verbenaca</i> L. | 0 | 2.4 | 4 | Dactylo glomeratae ssp. hispanicae – Brachypodetea retusi Julve, 1993 |
| RESEDACEAE | <i>Reseda alba</i> L. | 0 | 0.6 | 12 | Dactylo glomeratae ssp. hispanicae – Brachypodetea retusi Julve, 1993 |
| PLANTAGINACEAE | <i>Plantago albicans</i> L. | 0 | 3.2 | 4 | Lygeo sparti – Stipetea tenacissimae Rivas-Martínez, 1978 |
| ASTERACEAE | <i>Scolymus hispanicus</i> L. | 0 | 9.4 | 16 | Onopordetea acanthii ssp. acanthii Braun-Blanquet, 1964 em. Julve, 1993 |
| ASTERACEAE | <i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertn. | 0 | 0 | 7 | Onopordetea acanthii ssp. acanthii Braun-Blanquet, 1964 em. Julve, 1993 |
| AMARANTHACEAE | <i>Atriplex halimus</i> L. | 0 | 0 | 5 | Sarcocornetea fruticosae Braun-Blanquet & Tüxen, 1943 ex A. & O. de Bolòs in A. de Bolòs, 1950 |
| POACEAE | <i>Anisantha sterilis</i> (L.) Nevski | 0 | 0 | 31 | Sisymbrietea officinalis Gutte & Hilbig, 1975 |
| POACEAE | <i>Anisantha rubens</i> (L.) Nevski | 0 | 0 | 12 | Sisymbrietea officinalis Gutte & Hilbig, 1975 |
| POACEAE | <i>Anisantha tectorum</i> (L.) Nevski | 0 | 0 | 29 | Sisymbrietea officinalis Gutte & Hilbig, 1975 |
| POACEAE | <i>Lolium rigidum</i> Gaudin | 0 | 0 | 8.4 | Sisymbrietea officinalis Gutte & Hilbig, 1975 |
| ASTERACEAE | <i>Calendula arvensis</i> L. | 0 | 0 | 7 | Stellarietea mediae (Braun-Blanquet, 1921) Tüxen, Lohmeyer & Preising in Tüxen, 1950 em. Schubert in Schubert, Hilbig & Klotz, 1995 |
| ASTERACEAE | <i>Senecio leucanthemifolius</i> ssp. <i>poiretianus</i> Poir. | 0 | 0 | 4 | Saginea maritima Westhoff, van Leeuwen & Adriani, 1962 |
| ASTERACEAE | <i>Hertia cheirifolia</i> (L.) Kuntze | 2 | 0 | 24 | |
| POACEAE | <i>Piptatherum miliaceum</i> (L.) Coss. | 0 | 0 | 15 | Dactylo glomeratae ssp. hispanicae – Brachypodetea retusi Julve, 1993 |

Appendix 3. Grasshoppers recorded in the three zones of Chott Tinsilt. The densities are expressed by adult numbers per 100 m².

| Family | Species | Inner Zone | Middle Zone | Outer Zone |
|----------------|---|------------|-------------|------------|
| Dericorythidae | <i>Dericorys millierei</i> Bonnet & Finot, 1884 | 25.71 | 0 | 0 |
| Acrididae | <i>Calliptamus barbarus</i> (Costa, 1836) | 3.5 | 12.33 | 2.67 |
| Acrididae | <i>Calliptamus wattenwylianus</i> Pantel, 1896 | 3.3 | 7.96 | 1.96 |
| Pyrgomorphidae | <i>Pyrgomorpha cognata</i> Krauss, 1877 | 0 | 1.62 | 0 |
| Pamphagidae | <i>Tmethis cisti cisti</i> (Fabricius, 1787) | 0 | 6.04 | 0.25 |
| Acrididae | <i>Oedipoda caerulea</i> (Linnaeus, 1758) | 0 | 2.75 | 0.33 |
| Pamphagidae | <i>Ocneridia volxemii</i> (Bolivar, 1878) | 0 | 9.08 | 5.25 |
| Pamphagidae | <i>Pamphagus cristatus</i> Descamps & Mounassif, 1972 | 0 | 0.42 | 1.87 |
| Acrididae | <i>Oedipoda miniata</i> (Pallas, 1771) | 0 | 11.37 | 7.46 |
| Acrididae | <i>Sphingonotus azureus</i> (Rambur, 1836) | 0 | 3.33 | 1.29 |
| Acrididae | <i>Acrotylus patruelis</i> (Herrich-Schäffer, 1838) | 0 | 2.42 | 0.75 |
| Acrididae | <i>Dociostaurus maroccanus</i> (Thunberg, 1815) | 0 | 6.08 | 3.08 |
| Acrididae | <i>Dociostaurus jagoi</i> Soltani, 1978 | 0 | 2.12 | 5.33 |
| Acrididae | <i>Oedaleus decorus</i> (Germar, 1825) | 0 | 0.75 | 3.46 |
| Acrididae | <i>Aiolopus strepens</i> (Latreille, 1804) | 0 | 0.29 | 1.67 |
| Pyrgomorphidae | <i>Pyrgomorpha conica</i> (Olivier, 1791) | 0 | 0 | 2.17 |
| Pamphagidae | <i>Acinipe calabra</i> (Costa, 1836) | 0 | 0 | 1.33 |

إحصاء الجراد المتواجد في النباتات المحيطة للبحيرات المالحة (سبخة تنسيلت، أم البواقي) الجزائر

الملخص

انتهت عملية احصاء الجراد في منطقة سبخة تنسيلت بأم البواقي بإحصاء 18 نوع ينتمي إلى 4 عائلات مختلفة .
كما تمكنا من تصنيف 60 نوع نباتي موزعة في المنطقة بترتيب يعكس إحتياجات كل منها من رطوبة التربة و نسبة الأملاح المتواجدة فيها .
يأثر ترتيب النباتات على توزيع الجراد و تنوعه في المنطقة ، حيث تحتوي المنطقة المحايدة للبحيرة على نباتات ملحية halophyte و نظم 3 انواع من الجراد، حيث تعتبر الأقل تنوع. المناطق الخارجية تحتوي على أعشاب و هي الأكثر تنوع من حيث النباتات و انواع الجراد.
Calliptamus barbarus و *Dericotys millierie* يتواجدان في المنطقة الداخلية يتكون غذاء الأول من نباتات halophytes فقط أما النوع الثاني فغذاه أكثر تنوع لكن يملك القدرة على تناول les halophyte.

الكلمات المفتاحية

الجراد، المصدر الغذائي، النبات الملحية، التنوع، السبخة، الجزائر

**Diversity of grasshoppers (Caelifera) recorded on the banks of temporary
salt lake in Algeria
(Chott Tinsilt - Oum El Bouaghi)**

Abstract.

The chotts in Algeria are temporary salt lakes recognized as important wintering sites of water birds but neglected in terms of the diversity of the insects living on their banks. Around a chott in the wetland complex in the high plains near Constantine (eastern Algeria), more than half of the species of plants are annuals that dry out in summer, a situation that prompted us to sample the vegetation in spring over a period of two years. Three zones were identified based on an analysis of the vegetation and measurements of the salt content of the soils. Surveys carried out at monthly intervals over the course of a year revealed temporal and spatial variations in biodiversity and abundance of grasshoppers. The inner zone is colonized by halophilic plants and only one grasshopper species (*Dericorys millierei*) occurs there throughout the year. Two polyphagous species of *Calliptamus*, which can feed on halophilic plants migrate from adjacent areas into the inner zone in August to feed on the plants growing there. The other species of grasshoppers remain in outer zones as they are unable to feed on halophilic plants. The greatest abundance of grasshoppers from August to winter was recorded in the inner zone and in spring and early summer in the outer zones. The dependence of *D. millierei* on bushes of Amaranthaceae and its moderate flight ability, features of the family Dericorytidae, limit this species ability to colonize neighbouring chotts.

Key words.

Temporary salt lake, grasshopper, *Dericorys millierei*, *Calliptaminae*, halophytes, trophic sources, dispersal, Algeria

La Faune Acridienne Inféodée A La Végétation Environnante Des Lacs Salés De l'Est Algérien (Chott Tinsilt - Oum El Bouaghi)

Résumé.

A l'issue des prospections réalisées au niveau du chott Tinsilt (Oum El Bouaghi), nous avons recensé une liste floristique comportant 61 espèces végétales appartenant à 18 familles différentes. La distribution de la végétation dans la parcelle échantillonnée reflète une disposition concentrique des espèces dominantes suivant un gradient des facteurs édaphiques notamment la salinité et l'humidité du sol, nous avons pu définir trois ceintures leurs compositions varient significativement. Les *Poaceae* et les *Asteraceae* constituent plus de la moitié de la flore recensée, les Amaranthacées sont représentées par quatre espèces constituant 6,7% de l'ensemble de la végétation, avec une distribution limitée à la ceinture interne.

L'analyse du peuplement Acridien montre que la composition floristique des Trois zones conditionne l'abondance, la richesse ainsi que la diversité des Acridiens. Le taux de diversité est relativement important dans les deux ceintures externe et centrale avec 16 et 17 espèces respectivement, contre 3 seulement dans la ceinture interne. L'étude des variations temporelle de présence des différentes espèces, illustre une succession de deux faunes successives, une au printemps et une deuxième en été automne.

Nous avons pu vérifier l'étroite association biologique entre *Dericorys millierei* et les halophytes de la ceinture interne. Les buissons des plantes halophiles lui servent de refuge et sources trophique. Le régime alimentaire de *D.millierei* est sub-monophage sur des Chenopodiaceae, contrairement aux *Calliptaminae* qui ont un régime alimentaire polyphage, et peuvent se nourrir de plantes halophiles.

Mots clés : Chott salé, Acridiens, diversité, halophytes, sources trophique, *Dericorys millierei*, *Calliptaminae*, Algérie.

Soutenu le : .../.../2017

Présentée par : MAHLOUL SARRA

La Faune Acridienne Inféodée A La Végétation Environnante Des Lacs Salés De l'Est Algérien (Chott Tinsilt - Oum El Bouaghi)

Résumé.

A l'issue des prospections réalisées au niveau du chott Tinsilt (Oum El Bouaghi), nous avons recensé une liste floristique comportant 61 espèces végétales appartenant à 18 familles différentes. La distribution de la végétation dans la parcelle échantillonnée reflète une disposition concentrique des espèces dominantes suivant un gradient des facteurs édaphiques notamment la salinité et l'humidité du sol, nous avons pu définir trois ceintures leurs compositions varient significativement. Les *Poaceae* et les *Asteraceae* constituent plus de la moitié de la flore recensée, les Amaranthacées sont représentées par quatre espèces constitue 6,7% de l'ensemble de la végétation, avec une distribution limité à la ceinture interne.

L'analyse du peuplement Acridien montre que la composition floristique des Trois zones conditionne l'abondance, la richesse ainsi que la diversité des Acridiens. Le taux de diversité est relativement important dans les deux ceintures externe et centrale avec 16 et 17 espèces respectivement, contre 3 seulement dans la ceinture interne. L'étude des variations temporelle de présence des différentes espèces, illustre une succession de deux faunes successives, une au printemps et une deuxième en été automne.

Nous avons pu vérifier l'étroite association biologique entre *Dericorys millierei* et les halophyte de la ceinture interne. Les buissons des plantes halophiles lui servent de refuge et sources trophique. Le régime alimentaire de *D.millierei* est sub-monophage sur des *Chenopodiaceae*, contrairement aux *Calliptaminae* qui ont un régime alimentaire polyphage, et peuvent se nourrir de plantes halophiles.

Mots clés : Chott salé, Acridiens, diversité, halophytes, sources trophique, *Dericorys millierei*, *Calliptaminae*, Algérie.

Département de Biologie Animale
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Université Frères Mentouri Constantine

Directeur de thèse : Mr. Harrat Abboud Pr.