

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Larbi Tébessi -Tébessa-
Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie
Département : des Etres Vivants

Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat es Sciences

Spécialité : Sciences Biologiques

Titre

***Evaluation de la diversité de l'entomofaune
carabique (Coleoptera : Carabidae) dans les
Chotts de l'Est Algérien***

Présentée par : Mme. Amri Cherine

Devant le jury :

Pr. Tine-Djebbar Fouzia	Université de Tébessa	Présidente
Dr. Neffar Souad	Université de Tébessa	Promotrice
Dr. Ouchtati Nadia	Université de Guelma	Co-promotrice
Pr. Houhamdi Moussa	Université de Guelma	Examineur
Pr. Maazi M ^{ed} Cherif	Université de Souk-Ahras	Examineur
Dr. Tine Samir	Université de Tébessa	Examineur

Année universitaire : 2019/2020.

Remerciements

Cette thèse n'est plus que la mienne, de nombreux auteurs ont contribué, de près ou de loin, à sa réalisation. En tout premier lieu, je remercie cordialement la directrice de ma thèse Dr. Neffar Souad de m'avoir aidée à mener ce travail jusqu'au bout et d'avoir toujours voulu obtenir le meilleur de moi-même, en donnant des idées et apportant toutes ses expertises, malgré mes moments de manque de confiance en moi. Merci d'avoir trouvé des solutions quand je n'en voyais aucune et d'avoir toujours été disponible et réactive lorsque j'en avais besoin. Je suis fière d'être votre première thésarde.

Mes remerciements profonds et chaleureux sont aussi adressés à ma co-encadrante Dr. Ouchtati Nadia, sans elle, ce travail n'aurait pas pu être terminé. Grâce à elle, j'ai appris que l'identification des espèces est un plaisir à vivre et pas une obligation de recherches. J'espère avoir été à la hauteur de vos ambitions.

Je remercie énormément les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail, j'espère que vous apprécierez la lecture.

Un grand merci au Dr. Chenchouni Haroun pour le temps qu'il a accordé à mes nombreuses questions en statistiques ou autres, et soyez sûr que vos efforts ne sont pas déployés vainement. Je remercie également mon ami Walter Andres Garcia de l'université militaire de biologie, de Nueva Granada, Colombie pour son aide précieuse en statistiques.

Ma reconnaissance va également à l'ingénieur du laboratoire M. Ferhi Faouaz qui a tout mis à ma disposition pour mener à bien mes manipulations et observations au laboratoire.

Je remercie beaucoup ma collègue Mme. Hioun Soraya pour son aide dans l'identification des espèces végétales.

Je tiens à remercier vivement M. Chaib Faouzi pour son aide dans les analyses du sol.

Je n'oublierai jamais le soutien et l'épaullement de mon mari Adel et mon co-équipier sur terrain, avec qui je partage ma vie depuis plus de 11 ans, et qui m'a toujours soutenue quels que soient mes choix.

Enfin, merci à ma famille pour leur soutien sans faille, pour qui le nombre de mercis ne sera jamais suffisant, notamment mes deux enfants Ammar et Loudjaine, ma très chère mère Fatima Zohra, ma sœur Bouthaina et mon frère Youcef.

Cherine

Résumé

Les carabidés représentent un groupe taxonomique très utilisé comme bioindicateurs de l'état de santé des écosystèmes. Toutefois, les facteurs clés expliquant leur diversité dans les zones humides salées sont peu révélés. La présente étude a pour but de fournir, d'un côté, des données sur les différents niveaux de diversité (alpha et bêta), la structure et les traits fonctionnels de la communauté carabique, inféodée aux zones humides de l'étage bioclimatique semi-aride de l'Est Algérien et, d'un autre côté, identifier les facteurs environnants (sol, climat et recouvrement végétal) responsables du pattern de distribution.

À l'aide de pots Barber et de façon systématique, un inventaire carabique a été effectué tous les 15 jours durant l'année 2016-2017, dans les 2 lacs salés : Chott Tinsilt et Sebkhia Ezzemoul (Wilaya Oum El Bouaghi). Plusieurs paramètres de diversité, tels que la richesse spécifique, l'abondance, les indices de diversité (Shannon, Simpson et équitabilité), les indices de similarité et les traits fonctionnels (pouvoir de dispersion, type biogéographique, taille, affinité à l'humidité et régime alimentaire) ont été analysés. D'autres paramètres liés au sol et à la végétation ont été également évalués : texture, pH, conductivité électrique, taux de matière organique, taux d'humidité et taux de recouvrement.

Au total, 1294 individus rattachés à 45 espèces, 26 genres et 12 sous familles, ont été recensés, avec prédominance de la sous famille des Harpalinae (14 espèces, 31,11% du total). En terme d'occurrence, les assemblages carabiques sont dominés par des espèces très accidentelles avec 20 espèces à Tinsilt et 10 à Ezzemoul, et le type biogéographique méditerranéen (66,66% du total), avec la présence de deux espèces endémiques du Nord-Africain: *Harpalus lethierryi* et *Graphipterus exclamationis*.

L'analyse de la diversité alpha et bêta a montré que : (i) l'assemblage du Chott Tinsilt est plus riche en espèces, mais moins diversifié ($S = 42$, $H' = 2,18$, $E = 0,58$), que la Sebkhia Ezzemoul qui s'est avérée, moins riche mais plus diversifiée et équilibrée ($S = 18$, $H' = 2,08$, $E = 0,72$), (ii) les assemblages carabiques des deux lacs, et même des quatre stations, sont faiblement similaires dans leurs compositions ($\beta_{jac} = 0,35$, $\beta_{bc} = 0,08$), (iii) une très grande variation spatiotemporelle des paramètres de diversité mesurés est enregistrée.

L'effet spatiotemporel est statistiquement significatif, sur l'abondance et la richesse spécifique des assemblages. De surcroît, les courbes de raréfaction et l'estimateur de la richesse spécifique Chao1 indiquent que la richesse en espèces serait plus élevée en améliorant l'effort d'échantillonnage.

L'analyse des traits fonctionnels a révélé la dominance des espèces de taille moyenne (> 55%), avec une grande capacité de dispersion (> 95%), une grande affinité à l'humidité (52%) et un régime alimentaire de type zoophage (> 60%).

La diversité s'est avérée importante et inattendue dans ces milieux salés, et les facteurs environnementaux pris en compte dans la présente étude ont indiqué un effet significatif de deux facteurs: la salinité et le couvert végétal, à la fois, sur l'abondance et la richesse spécifique des deux écosystèmes étudiés.

Mots clés : zones humides, biodiversité, traits fonctionnels, facteurs environnementaux, Est Algérien.

Abstract

Carabid beetles represent a taxonomic group which is widely used as bioindicators of the ecosystems health status. However, the key factors explaining their diversity in salt wetlands are poorly revealed. The purpose of this study is to provide, on one side, data on the different levels of diversity (alpha and beta), the structure and the functional traits of the carabid community, subservient to the wetlands of the semi-arid bioclimatic stage, of Eastern Algeria and, on the other side, identify the surrounding factors (soil, climate and vegetation cover) responsible for the pattern of distribution.

Systematically by using pitfall traps, a carabid inventory was carried out fortnightly, during the year 2016-2017, in two salt lakes: Chott Tinsilt and Sebkha Ezzemoul (Wilaya Oum El Bouaghi). Several diversity parameters, such as species richness, abundance, Shannon and Simpson indices, equitability, similarity indices, and functional traits (dispersal power, biogeographic type, body size, humidity requirement and diet) were analyzed. Other parameters related to soil and vegetation were also assessed: texture, pH, electrical conductivity, organic matter content, moisture content and vegetation cover rate.

A total of 1294 individuals, belonging to 45 species, 26 genera and 12 subfamilies, were collected, with the predominance of Harpalinae subfamily (14 species, 31.11% of the total). In terms of occurrence, the ground beetle assemblages are dominated by the very accidental species, with 20 species in Tinsilt and 10 in Ezzemoul, and the Mediterranean biogeographic type (66.66% of the total), with the presence of two North Africa endemic species: *Harpalus lethierryi* and *Graphipterus exclamationis*.

The alpha and beta diversity analysis showed that: (i) the Chott Tinsilt assemblage is richer in species but less diversified ($S = 42$, $H' = 2.18$, $E = 0.58$), than Sebkha Ezzemoul, which proved to be less rich but more diversified and balanced ($S = 18$, $H' = 2.08$, $E = 0.72$), (ii) the carabid assemblages of the two lakes, and even the four stations, are weakly similar in their compositions ($\beta_{jac} = 0.35$, $\beta_{bc} = 0.08$), (iii) a very large spatiotemporal variation of the measured diversity parameters is recorded.

The spatiotemporal effect is statistically significant on the assemblages abundance and specific richness. In addition, the rarefaction curves and the Chao1 species richness estimator indicate that the species richness would be higher by improving the sampling effort.

Functional trait analysis revealed the dominance of medium-sized species (> 55%), with high dispersal capacity (> 95%), high affinity for humidity (52%) and a zoophagous diet (> 60%).

Diversity was important and unexpected in these salt environments, and the environmental factors considered in this study indicated a significant effect of two factors: salinity and vegetation cover, at the same time, on abundance and the specific richness of the two studied ecosystems.

Key words: wetlands, biodiversity, functional traits, environmental factors, East Algeria.

ملخص

تمثل الخنافس الأرضية مجموعة تصنيفية تستخدم على نطاق واسع كمؤشرات حيوية للحالة الصحية للانظمة البيئية. ومع ذلك، فإن العوامل الرئيسية التي تفسر تنوعها في الأراضي الرطبة المالحة تبقى غير مكشوفة. يكمن الغرض من هذه الدراسة في توفير، من ناحية، بيانات عن مستويات التنوع المختلفة (α و β)، التشكيلة و الخصائص الوظيفية لمجتمع الخنافس الأرضية التابعة للمناطق الرطبة ذات المناخ شبه الجاف المتواجدة شرق الجزائر، ومن ناحية أخرى، تحديد العوامل المحيطة (التربة المناخ والغطاء النباتي) المسؤولة عن نمط التوزيع.

باستخدام المصائد الأرضية وبصورة منهجية، تم إجراء جرد للخنافس الأرضية، كل 15 يوماً خلال العام 2016-2017، في البحيرتين المالحتين: شط تينسيلت وسبخة الزمول (ولاية أم البواقي). تم تحديد العديد من معايير التنوع، مثل ثراء الأنواع، الوفرة، مؤشرات كل من Simpson، Shannon، والتوازن مؤشرات التشابه، والخصائص الوظيفية (قوة النثر، النوع الجغرافي الحيوي، مقياس الجسم، درجة التقارب للرطوبة والنظام الغذائي). كذلك تم قياس معايير أخرى متعلقة بالتربة والنبات: نسيج التربة درجة الحموضة، الناقلية الكهربائية، محتوى المادة العضوية، محتوى الرطوبة ومعدل الغطاء النباتي.

أظهرت النتائج تواجد 1294 فرداً ينتمون إلى 45 نوعاً، 26 جنساً و12 تحت عائلة، حيث أن تحت العائلة Harpalinae هي السائدة (14 نوعاً، 31,11% من المجموع). من حيث الظهور، يهيمن على تجمعات الخنافس الأرضية أنواع شديدة الصدف مع 20 نوعاً في تينسيلت و10 أنواع في الزمول، والنوع الجغرافي الحيوي المنتمي للبحر الأبيض المتوسط (66,66% من المجموع)، مع وجود نوعين إقليميين للشمال الأفريقي: *Harpalus lethierryi* و *exclamationis Graphipterus*.

يوضح تحليل تنوع α و β أن: (1) تجمع الخنافس في شط تينسيلت أكثر ثراءً من ناحية الأنواع، ولكنه أقل تنوعاً ($S = 42$ ، $H' = 2,18$ ، $E = 0,58$) من سبخة الزمول، هذه الأخيرة أثبتت أنها أقل ثراءً ولكنها أكثر تنوعاً وتوازناً ($S = 18$ ، $H' = 2,08$ ، $E = 0,72$)، (2) تجمعات الخنافس الأرضية في البحيرتين متشابهة بشكل ضعيف في تكويناتها ($\beta_{bc} = 0,08$ ، $\beta_{jac} = 0,35$)، (3) تم تسجيل تباين زمني و مكاني كبيرين جداً لمعايير التنوع المقاسة.

إن التأثير المكاني والزمني ذو دلالة إحصائية، على كل من الوفرة والثراء النوعي للتجمعات. بالإضافة إلى ذلك، تشير منحنيات الندرة ومقدر ثراء الأنواع Chao1 إلى أن ثراء الأنواع كان سيكون أعلى لو تم تحسين جهد أخذ العينات. يكشف تحليل الخصائص الوظيفية عن هيمنة الأنواع متوسطة الحجم (< 55%)، ذات قدرة التشتت العالية (< 95%)، والتقارب العالي للرطوبة (52%) وكذا ذات نظام غذائي حيواني (< 60%).

كان التنوع البيولوجي مهماً وغير متوقع في هذه البيئات المالحة، وأشارت العوامل البيئية التي تم بحثها في هذه الدراسة إلى وجود تأثير كبير لعاملين هما: درجة الملوحة ونسبة الغطاء النباتي، سواء على الوفرة أو الثراء النوعي، على مستوى النظامين البيئيين المدروسين.

الكلمات المفتاحية: المناطق الرطبة، التنوع البيولوجي، الخصائص الوظيفية، العوامل المحيطة، الشرق الجزائري.

Sommaire

Résumé.....	<i>i</i>
Abstract.....	<i>ii</i>
ملخص	<i>iii</i>
Sommaire.....	<i>iv</i>
Liste des tableaux et des figures.....	<i>viii</i>
Production et activités scientifiques.....	<i>xii</i>

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre 1. Etat de l'art

1. Origine et histoire.....	6
2. Position systématique.....	6
3. Morphologie générale	9
3.1. Adulte	9
3.2. Larve	10
3.3. Nymphe	11
4. Traits fonctionnels	12
4.1. Taille	12
4.2. Spectre alimentaire	13
4.3. Mode de déplacement	14
4.4. Reproduction et rythme d'activité	14
5. Ecologie de la communauté carabique	15
5.1. Effet des facteurs biotiques	16
5.2. Effet des facteurs abiotiques	17
6. Intérêts des carabidés	18
6.1. Carabidés et lutte biologique	18
6.2. Carabidés comme bioindicateurs	19

Chapitre 2. Matériel et méthodes

1. Description des sites d'étude.....	21
1.1. Chott Tinsilt.....	21
1.2. Sebkha Ezzemoul	22
1.3. Choix des stations.....	22
2. Climatologie.....	23
3. Echantillonnage et identification.....	26
3.1. Méthode d'échantillonnage	26
3.2. Design expérimental.....	26
3.3. Préparation et identification des espèces.....	28
3.4. Traits fonctionnels.....	28
4. Mesure des variables environnementales	29
4.1. Végétation	29
4.2. Variables physico-chimiques	30
5. Analyse des données	30
5.1. Paramètres de la biodiversité.....	30
5.1.1. Abondance et occurrence	30
5.1.2. Diversité alpha.....	31
5.1.3. Estimation de la richesse spécifique.....	31
5.1.4. Diversité bêta.....	32
5.1.4.1. Indices de similarité	32
5.1.4.2. Groupement et ordination.....	32
5.1.4.3. Espèces bioindicatrices	32
5.1.4.4. Diagramme de Venn.....	33
5.2. Analyses statistiques	33

Chapitre 3. Résultats

1. Description de l'édaphotope des sites étudiés.....	35
2. Inventaire et composition de la carabidofaune.....	35
2.1. Toute la zone d'étude	35
2.2. Chott Tinsilt.....	39
2.3. Sebkha Ezzemoul	39

3. Evaluation de la biodiversité	40
3.1. Abondance et occurrence	40
3.1.1. Chott Tinsilt.....	40
3.1.2. Sebkha Ezzemoul	42
3.2. Diversité alpha.....	44
3.2.1. Chott Tinsilt.....	44
3.2.2. Sebkha Ezzemoul	45
3.3. Estimation de la richesse spécifique.....	46
3.3.1. Chott Tinsilt.....	46
3.3.2. Sebkha Ezzemoul	48
3.4. Diversité bêta.....	50
3.4.1. Chott Tinsilt.....	51
3.4.2. Sebkha Ezzemoul	52
3.4.3. Analyse des espèces indicatrices (ISA).....	54
4. Etude des traits fonctionnels	54
4.1. Tailles	55
4.2. Statuts trophiques	55
4.3. Types alaires.....	56
4.4. Affinités à l'humidité	57
4.5. Appartenance biogéographique.....	57
5. Dynamique des carabidés et effets des facteurs environnementaux	59
5.1. Variation spatiotemporelle de l'abondance et de la richesse spécifique.....	59
5.1.1. Chott Tinsilt.....	59
5.1.2. Sebkha Ezzemoul	60
5.2. Effet des facteurs édaphiques et de la végétation sur l'abondance et la richesse spécifique des carabidés	60
5.2.1. Chott Tinsilt.....	61
5.2.2. Sebkha Ezzemoul	61
5.3. Effet des facteurs climatiques	62
5.3.1. Chott Tinsilt.....	62
5.3.2. Sebkha Ezzemoul	63

Chapitre 4. Discussion générale

1. Réflexion sur la méthodologie	65
2. Caractérisation des sites étudiés en fonction des variables mesurées.....	65
3. Inventaire et composition	66
4. Evaluation de la diversité	67
5. Analyse des traits fonctionnels.....	73
6. Etude des variations spatiotemporelles et effets des facteurs environnementaux	67
Conclusion générale et perspectives	79
Références bibliographiques	83
Annexes	98

Les tableaux

N°de tableau	Titre	Page
1	Récapitulation de la classification proposée par Jeannel (1942).	7
2	Récapitulation de la classification proposée par Bouchard <i>et al.</i> (2011).	8
3	Caractéristiques et valeurs moyennes (\pm écart type) des facteurs environnementaux pour chaque station dans les deux sites, Chott Tinsilt et Sebkha Ezzemoul (les valeurs représentent la moyenne de 48 répétitions).	35
4	Liste systématique des espèces inventoriées dans les quatre stations des deux sites d'étude, Chott Tinsilt (T1 : Tinsilt 1, T2 : Tinsilt 2) et Sebkha Ezzemoul (E1 : Ezzemoul 1, E2 : Ezzemoul 2), (+) présence, (-) absence.	36
5	Abondance absolue [AA], abondance relative [AR%] et occurrence [Occ %] des espèces récoltées dans le Chott Tinsilt, Vac : espèce très accidentelle, Acc : espèce accidentelle, Cst : espèce constante, Cmt : espèce commune.	41
6	Abondance absolue [AA], abondance relative [AR%] et Occurrence [Occ%] des espèces récoltées dans la Sebkha Ezzemoul, Vac : espèce très accidentelle, Acc : espèce accidentelle, Cst : espèce constante, Cmt : espèce commune.	43
7	Variations mensuelles des indices non paramétriques de la diversité des carbidés dans les stations (T1, T2) et pour tout le site, Chott Tinsilt.	44
8	Variations mensuelles des indices non paramétriques de la diversité des carbidés dans les stations (E1, E2) et pour tout le site, Sebkha Ezzemoul.	45
9	Valeurs mensuelles des indices de similarité, indice de Jaccard (au-dessus du diagonal) et indice de Bray-Curtis (au-dessous du diagonal), Chott Tinsilt.	51
10	Valeurs mensuelles des indices de similarité, indice de Jaccard (au-dessus du diagonal) et indice de Bray-Curtis (au-dessous du diagonal), Sebkha Ezzemoul.	53
11	Liste des espèces indicatrices associées à leurs sites selon leur indice Indval à une P -value $< 0,05$.	54
12	Nombre d'espèces et pourcentage de chaque type biogéographique rencontré aux deux lacs salés, Chott Tinsilt et Sebkha Ezzemoul.	58
13	Modèle linéaire mixte et généralisé (GLMM) testant la variation spatiotemporelle de l'abondance (N) et de la richesse spécifique (S) des carabidés, Chott Tinsilt.	59
14	Modèle linéaire mixte et généralisé (GLMM) testant la variation spatiotemporelle de l'abondance (N) et de la richesse spécifique (S) des	60

	carabidés, Sebkha Ezzemoul.	
15	Modèle linéaire mixte et généralisé (GLMM) testant l'effet des facteurs environnementaux sur l'abondance (N) et la richesse spécifique (S) des carabidés, Chott Tinsilt.	61
16	Modèle linéaire mixte et généralisé (GLMM) testant l'effet des facteurs environnementaux sur l'abondance (N) et la richesse spécifique (S) des carabidés, Sebkha Ezzemoul.	62
17	Modèle linéaire mixte et généralisé (GLMM) testant l'effet des facteurs climatiques sur l'abondance (N) et la richesse spécifique (S) des carabidés, Chott Tinsilt.	62
18	Modèle linéaire mixte et généralisé (GLMM) testant l'effet des facteurs climatiques sur l'abondance (N) et la richesse spécifique (S) des carabidés, Sebkha Ezzemoul.	63

Les figures

N°de figure	Titre	Page
1	Morphologie générale d'un carabidé adulte (Du Chatenet, 1986).	9
2	La forme larvaire d'un carabidé (campodéiforme) (Lindroth, 1974).	11
3	Localisation géographique des deux lacs salés, Chott Tinsilt et Sebkha Ezzemoul, dans la wilaya d'Oum El Bouaghi, Est Algérien (Bezzalla <i>et al.</i> , 2019).	23
4	Les quatre stations d'étude (T1, T2, E1, et E2) au niveau des deux sites (Chott Tinsilt et Sebkha Ezzemoul) (Cliché Amri, 2017).	24
5	Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls de la région d'étude appliqué pour la période (1973-2017) à gauche, et l'année de l'étude (2016-2017) à droite.	25
6	Positionnement de la zone d'étude sur le climagramme d'Emberger (1973-2017).	25
7	Le design expérimental adopté dans les quatre stations d'étude.	27
8	Méthode de mesure du taux de recouvrement (%) sur terrain (Cliché Amri, 2017).	29
9	Répartition globale de la richesse spécifique par sous familles dans la zone d'étude.	38
10	Richesse spécifique par site et dans toute la zone d'étude.	38
11	Répartition globale de la richesse spécifique par sous familles dans le Chott Tinsilt. .	39
12	Répartition globale de la richesse spécifique par sous familles dans la Sebkha Ezzemoul.	40
13	Richesse spécifique observées et estimée (\pm SD) des carabidés dans le Chott Tinsilt.	46
14	Courbes de rarefaction (ligne continue) et d'extrapolation (ligne discontinue) de la richesse spécifique estimée des carabidés dans le Chott Tinsilt. Le cercle blanc indique l'échantillon de référence. La zone grise représente l'intervalle de confiance (95%) pour $S_{(est)}$. La zone bleue indique l'écart type (\pm SD).	47
15	Richesse spécifique observées et estimée (\pm SD) des carabidés dans la Sebkha Ezzemoul.	48
16	Courbes de rarefaction (ligne continue) et d'extrapolation (ligne discontinue) de la richesse spécifique estimée des carabidés dans la Sebkha Ezzemoul. Le cercle blanc indique l'échantillon de référence. La zone grise représente	49

	l'intervalle de confiance (95%) pour $S_{(est)}$. La zone rouge indique l'écart type (\pm SD).	
17	Diagramme de Venn montrant la richesse en espèces (S) enregistrée (a) dans les deux sites d'étude (Tinsilt et Ezzemoul), (b) dans les quatre stations d'étude (T1, T2, E1, E2).	50
18	Dendrogramme de classification hiérarchique illustrant la similarité des espèces de carabidés basée sur l'abondance des mois dans le Chott Tinsilt (groupe apparié Euclidien, UPGMA).	52
19	Dendrogramme de classification hiérarchique illustrant la similarité des espèces de carabidés basée sur l'abondance des mois dans la Sebkha Ezzemoul (groupe apparié Euclidien, UPGMA).	53
20	Tailles des espèces capturées au niveau des deux sites, Chott Tinsilt et Sebkha Ezzemoul.	55
21	Statuts trophiques des espèces capturées au niveau des deux sites, Chott Tinsilt et Sebkha Ezzemoul.	56
22	Types alaires des espèces capturées au niveau des deux sites, Chott Tinsilt et Sebkha Ezzemoul.	56
23	Affinités à l'humidité des espèces capturées au niveau des deux sites, Chott Tinsilt et Sebkha Ezzemoul.	57
24	Photo montrant l'activité anthropogénique (extraction de sel) exercée au niveau de la Sebkha Ezzemoul (Cliché Amri, 2017).	69
25	Reproduction printanière : à gauche cycle de vie des espèces spring breeders (Roger <i>et al.</i> , 2010), à droite variation temporelle de H' des carabidés, Chott Tinsilt.	72
26	Reproduction automnale : à gauche cycle de vie des espèces autumn breeders (Roger <i>et al.</i> , 2010), à droite variation temporelle de H' des carabidés, Sebkha Ezzemoul.	72

Article publié

Amri C., Neffar S., Ouchtati N., Chenchouni H. (2019). Spatiotemporal patterns of ground beetle diversity (Coleoptera: Carabidae) in a Ramsar wetland (chott Tinsilt) of Algeria. Turkish Journal of Zoology 43: 502-515. Doi: 10.3906 / zoo-1904-19.

Communications scientifiques

- Cherine Amri, Souad Neffar, Nadia Ouchtati. Composition et biodiversité de l'assemblage carabique (Coleoptera : Carabidae) dans un écosystème salé (site RAMSAR), Est algérien. Le 30^{ème} congrès international de l'association tunisienne des sciences biologiques. Tunisie, Sousse, du 25 au 28 Mars 2019 (orale).

- Cherine Amri, Souad Neffar, Nadia Ouchtati. Premières observations sur la carabidofaune (coleoptera : carabidae) dans un écosystème salé Ramsar (chott tinsilt, est algérien). La première journée scientifique sur la biodiversité, des gènes aux écosystèmes, méthodes innovantes d'évaluation. Algérie, Tébessa, le 6 Octobre 2019 (poster).

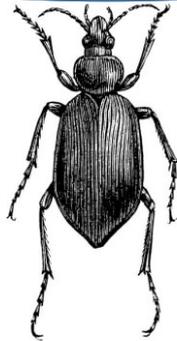
- Cherine Amri, Souad Neffar, Nadia Ouchtati. Diversity and composition of ground beetles (Coleoptera : Carabidae) in a RAMSAR salt wetland, Algeria. The 19th European Carabidologists Meeting. Italie, du 16 au 20 Septembre (poster).

- Cherine Amri, Souad Neffar, Nadia Ouchtati. Taxonomic diversity of ground beetle assemblages (Coleoptera : Carabidae) in a semi-arid zone. 1^{er} Séminaire National sur l'Etat de la biodiversité dans les parcours steppiques : inventaire et valorisation. Algérie, Tébessa, 28 et 29 Octobre 2019 (orale).

Projet de recherche

Membre dans un projet de recherche PRFU, dont le titre est : les entomophages des milieux steppiques dégradés et salés : diversité et potentialités des habitats. Le projet est sous la direction de Dr. Neffar Souad. Code du projet : D01N01UN120120180001.

Introduction générale



Preamble

Les zones humides fournissent de multiples services écosystémiques. Elles régulent les eaux en les stockant à court terme en période de crues, et jouent un rôle de tampon et de filtre épurateur en retenant les matières en suspension, le phosphore et le carbone, et en éliminant l'azote (De Sartiges & Fromont, 2013). Ces écosystèmes sont des écotones hébergeant un nombre d'espèces charismatiques, notamment des oiseaux, mais également des végétaux, des invertébrés et d'autres vertébrés (Fustec & Leufoevre, 2000), et s'avèrent les plus productifs constituant d'importants réservoirs de biodiversité (Maman & Vienne, 2010). Pour ces raisons, elles font l'objet de nombreux accords internationaux, tels que: (i) La convention de Ramsar en 1971, (ii) Directive Habitats en 1992 et (iii) La convention sur la biodiversité (Maman & Vienne, 2010).

En Algérie, plus de 2000 zones humides ont été énumérées, dont la plupart (Sebkhas, Chotts et Oasis) est située dans les régions arides et semi-arides au Nord-Est du pays (Chenchouni, 2010). Au total, l'autorité de la Convention de Ramsar a procédé au classement de 47 sites sur la liste Ramsar entre 1982 et 2011. Les derniers à être classés sur la liste sont: Garaet Timerganine, lac Boulhilet, Sebkhia Ezzemoul (Oum El Bouaghi), Vallée de Oued Soummam (Kabylie), Ile de Rachgoun (Ain Timouchente) (Oudihat, 2011).

Dans le présent travail, deux lacs salés, classés Ramsar situés dans l'éco-complexe des zones humides des Hautes plaines de l'Est Algérien ont été choisis : Chott Tinsilt et Sebkhia Ezzemoul. Exceptionnellement sur ces sites, à part quelques travaux sur la végétation (Mahloul *et al.*, 2016 ; Bezzalla *et al.*, 2019a) et les microorganismes (Kharroub *et al.*, 2015 ; Menasria *et al.*, 2018), la plupart d'entre eux a ciblé l'avifaune (Houhamdi *et al.*, 2008; Boukhssaim *et al.*, 2016; Bezzalla *et al.*, 2019b). En revanche, l'entomofaune a reçu peu d'attention, à part ceux de Zerguine (2014) sur les Chironomidae (Diptera) et Mahloul *et al.* (2016) sur les Caelifera (Orthoptera).

Ce qui est intéressant à signaler est qu'en dépit de leur statut en tant que sites Ramsar, en Algérie, ces zones ne sont pas à l'abri d'utilisations irrationnelles, en particulier leur drainage au profit de l'agriculture (Benhassine Gherzouli, 2013), le braconnage des oiseaux d'eau et le surpâturage des ceintures d'halophytes (Bezzalla *et al.*, 2019b).

La famille des Carabidae est la plus speciose et la plus abondante de la faune coléoptérique, avec plus de 40 000 espèces connues, appartenant à 86 tribus (Erwin, 1979 ; Lövei &

Sunderland, 1996). Généralement, leur écologie et systématique sont profondément connues (Thiele, 1977; Dajoz, 2002). Cette famille regroupe les taxa qui réagissent différemment aux conditions biotiques et abiotiques, et sont très sensibles aux changements des microclimats (Gutierrez *et al.*, 2004; Lambrechts *et al.*, 2008). Effectivement, les écologues se sont focalisés à étudier les Carabidae afin de tester les questions des recherches écologiques, vu que l'utilisation de groupes taxonomiques pour évaluer la qualité écologique des milieux est une méthode bien répandue en écologie des milieux et de la conservation (Kotze *et al.*, 2011; Pradervand *et al.*, 2013).

En Algérie, ce groupe d'insectes, bien qu'il soit écologiquement important, reste méconnu et mal étudié, encore plus dans les zones humides salées, à l'exception de ceux effectués par Ouchtati *et al.* (2012) dans les steppes et les milieux cultivés de Tébessa (parcours steppiques semi-arides), Belhadid *et al.* (2014) dans les forêts de Chréa, Saouache *et al.* (2014) dans les paysages agricoles de Constantine, et Chenchouni *et al.* (2015) dans Sebkhia Djendli. À l'Ouest Algérien, les carabidés ont été étudiés dans la Sebkhia d'Oran (Boukli & Hassaine, 2009), les marais salés de l'embouchure de la Tafna (Boukli Hacene *et al.*, 2011), et dans Dayet El Ferd (Matallah *et al.*, 2016).

Problématique et hypothèses

Les écosystèmes choisis dans la présente étude, étant des zones humides salées, nous mènent à poser une question importante: en tant qu'écosystèmes spécifiques et sélectifs à cause de leur grande salinité et leur statut en tant que zones humides Ramsar, ils sont manifestement, colonisés par une entomocénose spécifique, inféodée à ces milieux au même titre que la végétation dominante. En est-il de même pour les Carabidae ?

Dans le cadre de cette question plusieurs hypothèses peuvent être émises :

Hypothèse (1) : la forte salinité aurait un effet-filtre sur la diversité de la carabidofaune (richesse et abondance), en ne favorisant l'installation que des espèces halophiles, typiquement inféodées à ce milieu. Par voie de conséquence, la richesse serait faible voire non importante.

Hypothèse (2) : vu que les deux sites d'étude sont très proches, et appartiennent au même type d'écosystèmes, on prédit que les peuplements qui y sont rencontrés soient très identiques dans la structure et dans la composition.

Hypothèse (3) : une variation spatiotemporelle des différents paramètres de la biodiversité, notamment la richesse et l'abondance, est attendue.

Hypothèse (4) : les facteurs abiotiques choisis dans la présente étude (facteurs édaphiques et facteurs climatiques) expliqueraient mieux les variations au sein du peuplement carabique que les facteurs biotiques (taux de recouvrement), dans ce type d'écosystèmes. En l'occurrence, la salinité serait à l'origine du pattern de distribution des carabidés.

Objectifs et organisation du manuscrit

L'objectif général de ce travail est de déterminer les patterns de répartition spatiale et temporelle de la carabidofaune, en termes d'abondance, de richesse spécifique et de traits biologiques et écologiques des espèces récoltées, pour mieux comprendre les processus écologiques et dynamiques contrôlant cet assemblage dans les écosystèmes salés. En sus, des facteurs biotiques, tels que le taux de recouvrement et les espèces végétales dominantes, des facteurs abiotiques de nature édaphique, tels que le pH, la conductivité, le taux de matière organique et l'humidité du sol, et autres climatiques (température et précipitation) sont également impliqués pour évaluer leur impact sur cette distribution.

Cette dissertation est rédigée en respectant le modèle de rédaction IMRAD, composée de quatre chapitres. Préalablement à ces chapitres, vient une introduction contenant un préambule sur les carabes, exposant la problématique et les objectifs, et émettant les hypothèses de base.

Chapitre 1. Etat de l'art : ce chapitre résume l'ensemble d'informations biologiques, systématiques et écologiques disponibles dans la littérature sur ce groupe d'insectes.

Chapitre 2. Matériel et méthodes : cette section fournit toutes les données climatiques, géographiques et autres caractéristiques jugées nécessaires de la zone d'étude, ainsi que la méthodologie adoptée et le matériel utilisé pour mener cette étude. Autrement dit, les méthodes et les dispositifs qui nous ont aidés à collecter les résultats, sont décrits en détail.

Chapitre 3. Résultats : il rassemble l'ensemble des résultats obtenus dans cette étude, résumés comme suit :

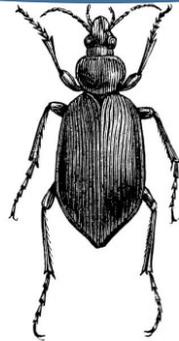
- Biologie de la communauté carabique : inventaire et traits bioécologiques,
- Evaluation de la diversité dans les sites étudiés et,

- Impacts de quelques facteurs biotiques et abiotiques sur les patterns de distribution de ce peuplement.

Chapitre 4. Discussions : cette partie synthétise et discute les résultats obtenus afin de proposer de nouvelles perspectives d'étude.

Les quatre chapitres sont suivis d'une conclusion générale et quelques perspectives, une liste de références bibliographiques, et enfin une série d'annexes.

Chapitre 1. Etat de l'art



1. Origine et histoire

À l'origine, dans la Pangée tropicale, les carabidés étaient probablement des coléoptères adaptés aux habitats rivulaires (Erwin, 1979). Une succession d'événements aurait permis à la famille de coloniser les forêts et les milieux montagneux. La spéciation des principaux groupes remonte au Trias, durant l'ère secondaire (Thiele, 1977). Les fossiles sont cependant beaucoup plus abondants dans les dépôts du Tertiaire, période au cours de laquelle l'évolution a été très rapide. Si les espèces datant du début de Tertiaire n'existent plus actuellement, il n'en est pas de même pour les espèces de la fin du Pliocène. Bien que vieilles de 3 à 5 millions d'années, elles sont, sur le plan morphologique au moins, en tout point de vue identiques à celles observées actuellement. Seuls de rares cas de spéciation sont attribués à des phénomènes géologiques ou climatiques récents, comme les dernières glaciations (Erwin, 1979).

2. Position systématique

Les carabidés appartiennent à l'embranchement des arthropodes, ordre des coléoptères, sous ordre Adephaga terrestre ou Geodephaga, classe des insectes. Ils représentent l'une des familles les plus riches en espèces. Dans son ouvrage '*Coléoptères du Nord de l'Afrique*', Bedel (1895) utilisa le terme Caraboidea qui englobe sept familles : (i) Cicindelidae, (ii) Carabidae, (iii) Paussidae, (iv) Haliplidae, (v) Hygrobiidae, (vi) Dyticidae, (vii) Gyrinidae.

À l'instar de tous les Adephaga terrestres, la systématique des coléoptères carabiques a connu beaucoup de remaniements, cas de ceux faits par Jeannel (1941 et 1942), publiés dans son livre '*Faune de France*', où il proposa six divisions du sous ordre Adephaga dont une, est celle des Caraboidea. Cette dernière est scindée en trois autres divisions : (i) Caraboidea Isochaeta, (ii) Caraboidea Simplicia et (iii) Caraboidea Limbata (Tab. 1). Ces modifications, bien qu'elles soient lourdes pour certains carabidologues à l'époque, ont été adoptées par d'autres comme Antoine (1955, 1957, 1959, 1961 et 1962) après vérification et correction. Bouchard *et al.* (2011) ont synthétisé les données disponibles de tous les coléoptères, y compris les carabidés. Ces derniers sont regroupés dans la famille des Carabidae, subdivisée en vingt-trois sous familles (Tab. 2).

Tableau 1. Récapitulation de la classification proposée par Jeannel (1942).

	Divisions (D)	Groupes (G)	Familles (F)
Caraboidea	D1. Isochaeta	G1. Isochaeta	F1. Paussidae
	D2. Simplicia	G2. Simplicia	F2. Carabidae
			F3. Nebriidae.
			F4. Cicindelidae
	D3. Limbata	G3. Scrobifera	F5. Elaphridae
			F6. Omophronidae
			F7. Loroceridae
F8. Siagonidae			
F9. Scaritidae.			
D3. Limbata	G4. Stylifera	F10 Apotomidae	
		F11. Broscidae	
		F12. Psydridae	
D3. Limbata	G5. Conchifera	F13. Trechidae	
		F14. Patrobidae	
		F15. Perigonidae	
		F16. Harpalidae	
		F17. Pterostichidae	
D3. Limbata	G5. Conchifera	F18. Licinidae	
		F19. Callistidae	
		F20. Panagaeidae	
		F21. Odacanthidae	
		F22. Masoreidae	
		F23. Lebiidae	
		F24. Zuphiidae	
		F25. Dryptidae	
D3. Limbata	G6. Balteifera	F26. Brachinidae	

Tableau 2. Récapitulation de la classification proposée par Bouchard *et al.* (2011)

Famille	Sous famille (S/F)
Carabidae	S/F1. Protorabinae (Ponomarenko, 1977)
	S/F2. Coniunctiinae (Ponomarenko, 1977)
	S/F3. Nebriinae (Laporte, 1834)
	S/F4. Cicindinae (Csiki, 1927)
	S/F5. Cicindelinae (Latreille, 1802)
	S/F6. Carabinae (Latreille, 1802)
	S/F7. Loricarinae (Bonelli, 1810)
	S/F8. Omophroninae (Bonelli, 1810)
	S/F9. Elaphrinae (Latreille, 1802)
	S/F10. Migadopinae (Chaudoir, 1861)
	S/F11. Hiletinae (Schjødte, 1848)
	S/F12. Scaritinae (Bonelli, 1810)
	S/F13. Broscinae (Hope, 1838)
	S/F14. Apotominae (LeConte, 1853)
	S/F15. Siagoninae (Bonelli, 1813)
	S/F16. Melaeninae (Csiki, 1933)
	S/F17. Gehringiinae (Darlington, 1933)
	S/F18. Trechinae (Bonelli, 1810)
	S/F19. Patrobinae (Kirby, 1837)
	S/F20. Psydrinae (LeConte, 1853)
	S/F21. Nototylinae (Bänninger, 1927)
	S/F22. Brachininae (Bonelli, 1810)
	S/F23. Harpalinae (Bonelli, 1810)

3. Morphologie générale

3.1. Adulte

Les carabidés sont physiquement et physiologiquement robustes et figurent parmi les animaux les plus performants en termes de diversité (Evan & Forsythe, 1984). Comme tous les insectes adultes, le corps d'un individu est composé de trois principales parties : la tête, le thorax et l'abdomen (Fig. 1).

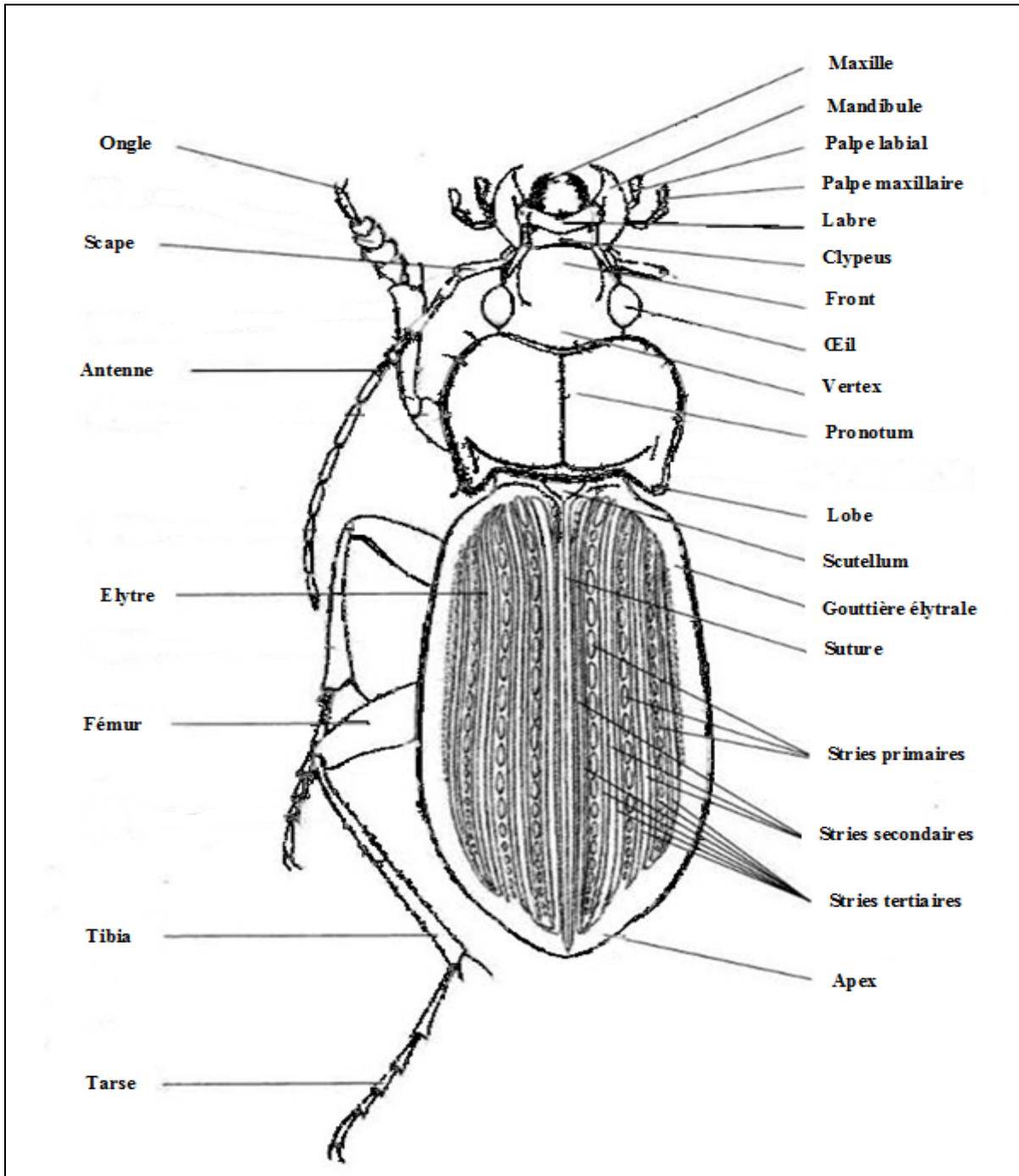


Figure 1. Morphologie générale d'un carabidé adulte (Du Chatenet, 1986).

La tête des carabidés est insérée dans l'axe du prothorax, où elle s'articule par une sorte d'enarthrose. Elle est robuste, en général arrondie, et consiste en plusieurs sclérites fusionnés, homologues des segments thoraciques ou abdominaux. Le *clypeus* est généralement bien séparé du front, sans limite claire avec le *vertex*.

Derrière les yeux composés, se trouve parfois une constriction : la nuque. Le dessous de la tête est composé d'un *labium* divisé en *mentum* et *gula*. Les appendices mobiles de la tête sont les antennes de type filiforme, possédant onze articles, et les pièces buccales constituées de mandibules, le *labrum*, les maxilles portant les palpes maxillaires et une paire de palpes labiaux fixée sur le *mentum* (Jeannel, 1941; Lindroth, 1974).

La face supérieure du prothorax est appelée *pronotum*, par opposition à sa face inférieure, *prosternum*. Le mésothorax et le métathorax porteurs d'ailes sont cachés sous les élytres, à l'exception du *scutellum*, appartenant au mésothorax. Les élytres au repos se rencontrent le long de la suture, leur partie latérale repliée, non visible d'en haut, est l'*épipleura*, les stries et les intervalles élytraux, s'ils sont présents, sont numérotés et rejoignent la marge latérale; la strie scutellaire abrégée habituellement présente à l'intérieur de la première strie ou entre les deux premières stries, n'est pas comptée (Lindroth, 1974). Si la patte est placée perpendiculairement à l'axe du corps, dans un plan frontal, l'axe de la hanche étant vertical, celui du fémur horizontal, celui du tibia et de la tarse, perpendiculaire au fémur, donc vertical. Ainsi les deux faces du fémur et du tibia seront antérieures et postérieures, leurs deux bords sont respectivement dorsal et ventral pour le fémur, externe et interne pour le tibia (Jeannel, 1941).

L'abdomen est couvert de sclérites, tergites sur le dessus, et sternites sur le côté inférieur. Seulement 6 sternites (1 - 6) sont visibles (sauf chez les *Brachinus*), le dernier tergite, s'il est visible, s'appelle le *pygidium* (Lindroth, 1974).

3.2. Larve

Les larves des carabidés sont campodéiformes (Fig. 2), ou mieux mélolonthoïdes, terrestres, à respiration subaérienne, sans labre ni canal mandibulaire avec des pattes formées de six articles. Elles sont minces, à longues pattes, munies d'un cerque bien développé sur le neuvième segment abdominal. Elles sont agiles et, en général, plus prédatrices que les adultes.

L'épistome a une forme vaguement pentagonale et sa partie antérieure est souvent saillante, et prend le nom de nasal pouvant être, selon les groupes, saillant ou tronqué, tuberculé ou

denticulé. Il forme deux longues pointes chez les *Nebria* et les *Leislus*, une saillie anguleuse unique chez les *Omopron* et les *Elaphrus*. Sa forme et sa denticulation diffèrent souvent chez la larve au premier stade et aux stades âgés. Les antennes s'articulent sur une large membrane tendue dans le cadre du sclérite antennifère. Elles sont grêles et allongées, formées de quatre articles.

Les deux premiers articles sont de longueur variable selon les groupes, parfois aussi selon l'âge des larves, le *pullus* les ayant proportionnellement plus courts que les larves au deuxième et au troisième stade (Lindroth, 1974).

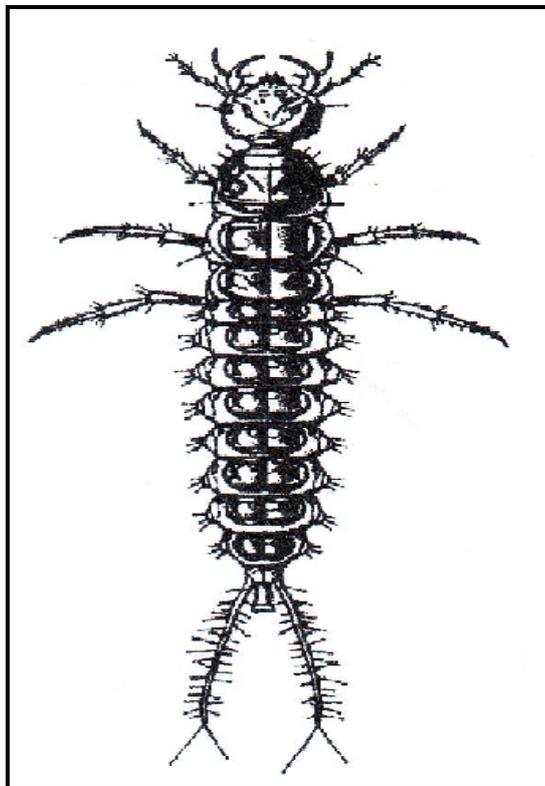


Figure 2. La forme larvaire d'un carabidé (campodéiforme) (Lindroth, 1974).

3.3. Nymphe

Les nymphes des *Caraboidea* sont nues, à abdomen mobile et appendices détachés du corps. Elles sont souvent hérissées de longues soies, et portent des expansions latérales sur le *pronotum* ou les segments abdominaux. Tous ces organes transitoires ont pour rôle d'isoler la nymphe des parois de la logette dans laquelle la larve s'est transformée. La tête est toujours infléchie, avec les étuis des pièces buccales dressés. Les ptérothèques sont obliquement dirigées en sautoir sur les côtés du corps. La ptérothèque 1 renferme l'ébauche de l'élytre; son

extrémité distale forme un diverticule en doigt de gant, vestige sans doute de la partie apicale de l'aile primitive, disparue au cours de l'évolution qui en a fait un élytre (Jeannel, 1941).

4. Traits fonctionnels

Les traits fonctionnels sont les caractéristiques bioécologiques des espèces, permettant de survivre dans leur environnement, et rassemblant leurs caractéristiques morphologiques, physiologiques et comportementales (Gerisch, 2011). Le succès de cette famille s'explique par la diversité et le polymorphisme des traits fonctionnels des espèces qui la composent (Dufrêne, 1992).

La théorie actuelle, comme la théorie des modèles d'habitat (Townsend *et al.*, 1997), prédit que les caractères des espèces sont principalement limités par la variabilité de leurs habitats, et que les facteurs abiotiques agissent comme filtres, en triant les organismes selon des combinaisons de traits uniques appropriés à des conditions d'habitats spécifiques (Statzner *et al.*, 2004 ; Gerisch, 2011). À titre d'exemple, dans les écosystèmes des régions alpines et sub-alpines, les espèces se caractérisent par une petite taille et des ailes réduites (Hiramatsu & Usio, 2018).

4.1. Taille

La taille du corps de l'organisme est un trait fondamental en écologie (Kingsolver & Huey, 2008). Elle est en corrélation avec les processus écologiques à différentes échelles, y compris la biologie des populations (White *et al.*, 2007). En effet, une base de données à long terme sur les carabidés démontre que les espèces de grande taille, mais pas les petites, ont diminué de taille dans un laps de temps de 30 ou 100 années. De plus, ce schéma de taille corps-température est étroitement liée à la température, mais pas aux changements de précipitations (Tseng *et al.*, 2018).

D'après Cole *et al.* (2002), les carabidés sont divisés en trois classes : les petites espèces, les espèces moyennes et les grandes espèces. Ce caractère morphologique est tributaire du type de milieu (Dufrêne, 1992 ; Chungu *et al.*, 2017), son état de stabilité (Blake *et al.*, 1994 ; Aviron *et al.*, 2005 ; Mullen *et al.*, 2008) et la structure du paysage (Yunhui *et al.*, 2015).

Effectivement, les espèces de grande taille fréquentent les milieux forestiers (milieux fermés), les moins perturbés et sont fortement associées à la structure du paysage, alors que les petites

espèces, très mobiles, colonisent les milieux perturbés et ouverts et sont grandement affectées par la diversité végétale locale (Dufrêne, 1992).

D'un autre côté, dans le même habitat Boetzl *et al.* (2019) avancent que dans des champs de colza, plus on s'éloigne des bordures, plus la taille des carabidés augmente.

4.2. Spectre alimentaire

Généralement, les carabidés sont considérés comme des prédateurs ou carnivores, toutefois le régime alimentaire de l'ensemble de la famille est très diversifié. Conséquemment, le terme de polyphages convient beaucoup mieux que celui de carnivores (Den Boer & Den Boer-Daanje, 1990). Le spectre trophique rassemble les phytophages spécialisés comme certains *Amara*, *Harpalus*, *Bradycellus*, et les prédateurs spécialistes, comme les *Notiophilus*, les *Cychrus* ou *Loricera pilicornis*, en passant par une majorité d'espèces polyphages (Thielle, 1977). En outre, ces insectes sont parfois capables d'explorer les différentes strates de la végétation à la recherche de nourriture (Young, 2008), et même au cours du développement de l'espèce, les mœurs alimentaires changent, cas de l'espèce *Synuchus nivalis* dont les larves sont carnassières, alors que les adultes seraient principalement phytophages (Lindroth, 1986). Les carabidés omnivores sont fortement affectés par la diversité végétale locale, tandis que les prédateurs sont fermement liés à la structure du paysage (Yunhui *et al.*, 2015).

Certaines espèces polyphages ou phytophages de la tribu des Harpalini ou de celle des Zabринi engendrent des dégâts dans les cultures, c'est le cas du zabre des céréales (*Zabrus tenebrioides*) qui peut causer des dommages importants dans les cultures de céréales à pailles et dans les prairies temporaires de graminées françaises, notamment le Sud-Ouest de la France (Roume, 2011).

Il serait judicieux de noter que la mention « carnassier » ne signifie pas obligatoirement être prédateur et que la majorité des carabes ne s'attaquent pas à des proies en santé, mais sont plutôt de grands opportunistes (Lindroth, 1986). En revanche, les stades larvaires semblent être davantage carnivores et sélectifs dans le choix de leur nourriture que ne le sont les adultes (Larochelle & Larivière, 2003).

En se basant sur le spectre alimentaire, plusieurs classifications ont été proposées, on en cite : la classification de Zhavoronkova (1969) et la classification de Thiele (1977). Le premier auteur divise les carabidés adultes en trois guildes alimentaires: (i) prédateurs stricts (zoophages obligatoires), (ii) zoophages prédominants (plus prédateurs que phytophages); (iii)

phytophages prédominants (omnivores prédateurs qui consomment plus de matériel végétal que de tissu animal). Le second auteur les classe comme suit: (i) prédateurs oligophages ; (ii) prédateurs polyphages; (iii) phytophages.

4.3. Mode de déplacement

Les carabidés se déplacent essentiellement au sol mais de nombreuses espèces sont également aptes au vol. Cette dernière aptitude semble résulter d'une interaction complexe et dynamique entre la physiologie des espèces, les conditions environnementales et le mode de transmission des caractères liés au vol (Kamenova, 2013). Les différences de morphologie alaires pourraient donc être un proxy de la capacité de dispersion (Kotze *et al.*, 2011).

Sur la base de l'état de développement des ailes, quatre groupes sont observés: les brachyptères (individus sans ailes), les macroptères (individus ailés), les dimorphiques et les polymorphiques (individus dotés d'une plasticité quant à l'appareil alaire) (Kamenova, 2013). Des mesures par radar harmonique chez quatre espèces de taille moyenne indiquent que les carabes sont capables de parcourir en moyenne entre 2 et 6,5 m/heure, selon les espèces (Wallin & Ekbohm, 1988). Leur capacité de dispersion est fonction de la taille de leurs pattes (Roume, 2011) et de la couverture végétale mise en place (Duchazabeneix Labruyere, 2016). Selon Dufrière (1992), les espèces brachyptères dominent dans les milieux forestiers, alors que les macroptères, qui forment la fraction principale des espèces, colonisent les habitats ouverts (les habitats rivulaires, les marais salants, les pelouses calcaires, les cultures, ...). Enfin, les espèces dimorphiques possèdent une très large gamme d'habitats.

4.4. Reproduction et rythme d'activité

Les carabidés peuvent être nocturnes, diurnes ou crépusculaires (Dennison & Hodkinson, 1984). Ces rythmes peuvent varier selon le type d'habitat (Greenlade, 1963), la période de l'année (Thiele, 1977) ou en synchronie avec les rythmes d'activité des proies (Stork, 1990). En zone tempérée, la majorité des espèces sont univoltines (Thiele, 1977), toutefois, certaines espèces ont un cycle bisannuel comme l'espèce *Harpalus rufipes* (Zhang, 1993).

Plusieurs classifications des modes de reproduction ont été proposées. La première est celle de Larsson (1939), fondée uniquement sur l'examen de collections des musées, qui a fait ressortir deux catégories de carabidés selon deux critères : la saison de reproduction (soit au printemps ou à l'automne) et le moment de la diapause (soit immédiatement après

l'émergence des adultes, pour certaines espèces, ou en réponse à un facteur climatique, pour d'autres). Bien qu'elle soit très ancienne, cette classification reste très utilisée dans la littérature (Duchazabeneix Labruyere, 2016).

La deuxième classification émise par Thiele (1977), ne donna pas d'importance à la saison de reproduction (printemps ou automne), vu que le niveau d'activité des stades varie d'un habitat à l'autre et d'une région géographique à l'autre. En contrepartie, il a introduit plusieurs nuances au niveau de la période de présence des larves et de la diapause. Cette dernière peut être facultative ou obligatoire. Par conséquent, cinq catégories carabiques ont été distinguées :

- des espèces ayant une reproduction printanière avec présence de larves en été et d'adultes en hiver,
- des espèces avec larve hibernante et dont la reproduction est en été et/ou à l'automne, mais sans diapause de l'adulte,
- des espèces avec larve hibernante et dont les jeunes adultes émergent au printemps et doivent subir une diapause estivale avant la reproduction, qui serait automnale,
- des espèces avec une période de reproduction flexible, où la reproduction printanière ou automnale est possible et où le développement des larves semble se faire aussi bien en été qu'en hiver et,
- des espèces qui exigent plus d'une année pour compléter un cycle vital.

Cette classification a été controversée par la communauté scientifique puisqu'elle n'englobe pas toutes les espèces (Holland & Luff, 2000).

Den Boer et Den Boer-Daanje (1990), en se basant sur des observations échelonnées sur 10 ans aux Pays-Bas, ont proposé une classification plus simple excluant les notions de saison de reproduction et de diapause. Ils classifient les carabes en se référant uniquement à la période d'observation des larves, soit en saison estivale ou hivernale.

5. Écologie de la communauté carabique

Le type de milieu et les conditions abiotiques et biotiques influencent fortement les assemblages d'arthropodes épigés (Gobbi & Fontaneto, 2008). Si on prenait le cas des carabidés, le type d'habitat a joué un rôle prédominant dans l'évolution de leur diversité (Yunhui *et al.*, 2015). D'ailleurs, certaines espèces généralistes se trouvent dans divers types

de culture, alors que d'autres ont des préférences bien marquées (Duchazabeneix Labruyere, 2016). L'habitat et la microdistribution des carabidés sont régis par des facteurs abiotiques et biotiques tels que la lumière, la température, l'humidité, l'approvisionnement alimentaire, la présence et la distribution des prédateurs, et les stratégies du cycle vital (Thiele, 1979 ; Lövei & Sunderland, 1996).

5.1. Effet des facteurs biotiques

D'après Den Boer (1986), les facteurs biotiques comme la compétition ne jouent qu'un rôle mineur, et il serait préférable d'introduire le principe de la coexistence que celui de l'exclusion compétitive. À titre illustratif, une étude réalisée à l'Ouest Européen par Loreau (1990), a révélé que la plupart des espèces n'entre pas en compétition, minimisant ainsi son effet primaire dans la relation entre les carabidés, exception signalée dans certains cas.

D'autres observations ont enregistré un partage de la niche écologique temporelle des ressources chez des espèces écologiquement proches (Loreau, 1984 ; Müller, 1985). De ce fait, seules les espèces dominantes seraient soumises à des pressions de compétition. Les autres espèces seraient beaucoup plus influencées par la prédation et la variabilité temporelle des facteurs environnementaux (Loreau, 1990). Il en est de même pour le parasitisme, qui n'est probablement pas un régulateur majeur des densités, puisqu'il a été rapporté par Dufrêne (1992), que le nombre de carabidés infectés par les Laboulbéniales et les Acariens est négligeable.

Une forte association a été observée entre les changements dans la composition de la communauté carabique et la composition des espèces végétales (Yunhui *et al.*, 2015).

Les caractéristiques de la végétation sont positivement liées à la richesse en espèces carabiques à l'échelle régionale et dans la steppe typique, parce que les plantes fournissent à la fois l'abri et la nourriture, directement (pour les herbivores) et indirectement (des proies aux prédateurs) (Tsafack *et al.*, 2019). D'un autre côté, les habitats ayant un couvert végétal dense sont caractérisés par une richesse spécifique plus importante en carabidés (Magura *et al.*, 2001).

En effet, le couvert végétal pourrait accélérer l'établissement de la communauté carabique, en lui procurant un espace de vie et en modifiant le microclimat, créant ainsi un microenvironnement hétérogène et stratifié soutenant différentes espèces (Rahman *et al.*, 2015).

Cependant, une étude en Angleterre a révélé que le couvert de la canopée était la seule variable permettant d'expliquer de manière significative la diversité fonctionnelle des carabidés dans une forêt, et a exclu l'effet de la diversité fonctionnelle et taxonomique de la végétation (Spake *et al.*, 2016).

5.2. Effet des facteurs abiotiques

L'analyse des facteurs de distribution des carabidés indique, qu'en général, les facteurs abiotiques expliquent mieux les distributions des espèces que les facteurs biotiques (Dufrêne, 1992).

L'impact des facteurs édaphiques est le mieux étudié. D'après Descender *et al.* (1984), l'humidité du sol est le facteur-clé de la distribution des carabidés car le dépôt des œufs et le développement larvaire s'effectuent dans le sol (Kamenova, 2013). D'ailleurs, Magagula (2003) a prouvé que 86% de la variabilité environnementale des carabidés s'explique par l'humidité du sol et la litière, cas de l'abondance de certaines espèces (Kagawa & Maeto, 2014). En revanche, Tsafack *et al.* (2019) ont constaté un effet négatif de l'humidité du sol sur la richesse en espèces carabiques à l'échelle régionale, dans les steppes désertiques et dans les steppes typiques. Conséquemment, en fonction du niveau de ce paramètre dans le sol, les carabidés se regroupent en hygrophiles, mésophiles ou xérophiles (Ball & Bousquet, 2001).

Ce groupe d'insectes est également lié au contenu du sol en matière organique (Magura *et al.*, 2003) et à la salinité dans un marais salé (Pétillon *et al.*, 2008).

Il en est de même pour la texture du sol. Ce paramètre physique peut influencer l'assemblage des carabidés (Boivin & Hance, 2003). En effet, d'après Dajoz (2002), les carabidés sont plus abondants dans le sol argileux que le sol sableux. Cependant, Viric Gasparic *et al.* (2017) ont montré que ce groupe d'insectes préfère les sols légèrement acides avec une proportion élevée en limon.

Aussi, l'acidité du sol a été identifiée comme étant responsable de la distribution spatiale et des préférences d'habitat de plusieurs espèces carabiques (Thiele, 1977). Un effet significativement positif de ce paramètre sur l'abondance des carabidés est signalé par Garcia-Suabita *et al.* (2019). En revanche, Guillemain *et al.* (1997) et Tsafack *et al.* (2019) ont constaté l'absence de tout effet du pH sur leur structure dans un milieu forestier.

Bien que la plupart des carabidés soit ubiquiste, beaucoup d'espèces sont hautement sélectives et limitées à un habitat particulier (Thiele, 1977). Dans ce sens, une étude menée par Larsen *et al.* (2003) dans six types d'habitats (prairie, champ d'avoine, champ de maïs, champ de soja, vieux champ et forêt), a montré qu'en termes d'abondance et de richesse, la prairie vient en première position suivie par la forêt et les champs de culture (moins diversifiés).

Ajoutons qu'au même titre que les facteurs édaphiques, les facteurs climatiques contribuent en partie à expliquer la variation de la diversité alpha des coléoptères épigés, dans des aires géographiques larges (Field *et al.*, 2009). Effectivement, l'étude réalisée par Yu *et al.* (2016) dans les prairies de la Mongolie intérieure sur les Carabidae et les Tenebrionidae, a révélé que le gradient longitudinal des variables climatiques, notamment la température et les précipitations, a un effet sur leur abondance et leur richesse et ont ajouté que cette dernière augmente avec les fortes précipitations et les courtes périodes de gel. Cette relation est positive entre la richesse spécifique et la température et l'humidité et négative avec les précipitations (Tsafak *et al.*, 2019). De même, Thiele (1979) a rapporté que 59% des espèces vivant sur terrain avaient des préférences pour les conditions xériques.

En Belgique, Dufrière (1992) a trouvé que 15 à 20 % de la variance totale des données de répartition des carabidés est directement interprétable par le gradient topographique. En Mongolie, la richesse augmente de l'Ouest à l'Est jusqu'à environ 117° E, et de là, un déclin modéré est observé (Yu *et al.*, 2016).

6. Intérêts des carabidés

6.1. Carabidés et lutte biologique

Les carabidés sont un groupe diversifié de coléoptères qui ont été largement étudiés en tant que prédateurs d'organismes nuisibles aux cultures comme les pucerons (Sunderland, 2002 ; Roubinet *et al.*, 2017), ainsi que mangeurs de graines d'adventices (Tooley & Brust, 2002 ; Frei *et al.*, 2019).

Les carabidés prédateurs ou polyphages contribuent au contrôle biologique en tant que prédateurs généralistes, ce qui les rend complémentaires des prédateurs spécialistes des ravageurs de cultures, car les généralistes peuvent s'alimenter de proies alternatives avant le développement des organismes dévastateurs. Ils sont présents dès l'arrivée de ces derniers et peuvent limiter leur effet nuisible, assurant le relai avant que des prédateurs plus spécialistes ne se manifestent (Symondson *et al.*, 2002).

6.2. Carabidés comme bioindicateurs

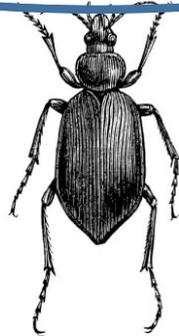
Les carabidés sont des indicateurs environnementaux capables de refléter les altérations des habitats (Rainio & Niemela, 2003); car ils sont affectés par les activités anthropiques telles que l'urbanisation et la gestion des cultures et des forêts (Avgin & Iuff, 2010). Cette aptitude leur est attribuée à cause de la faible capacité de dispersion de certaines espèces, liée à l'atrophie des ailes postérieures (Erwin, 1979).

Lövei et Sunderland (1996) suggèrent qu'ils pourraient servir d'indicateurs de la biodiversité, en représentant la façon dont d'autres invertébrés et autres biotes réagiront au changement de l'habitat. À titre d'exemple, leur réponse au changement de l'habitat est parallèle à celle des araignées, bien que le facteur sous-jacent du changement soit différent (Niemelä, 1997; Rainio & Niemel, 2003).

Ils ont été considérés aussi comme des bioindicateurs des effets toxiques des métaux (Simon *et al.*, 2016), cas de l'espèce *Chlaenius olivieri* (Ghannem *et al.*, 2016) et de *Parallelomorphus laevigatus* (Conti, 2017).

L'étude de l'influence de l'ingestion de métaux (Cu, Zn et Hg) sur les performances d'orientation spatiale de l'espèce *Parallelomorphus laevigatus*, a indiqué une altération des choix directionnels corrects par cet insecte. Cette altération s'est traduite par un déplacement progressif et significatif de l'angle d'orientation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, ainsi qu'une réduction progressive correspondante de la précision des choix directionnels. Autrement dit, il a été déduit que cette espèce pourrait servir comme biomarqueur comportemental pour l'exposition à la contamination par les métaux (Conti, 2017).

*Chapitre 2. Matériel et
méthodes*



1. Description des sites d'étude

Les deux lacs salés (Tinsilt et Ezzemoul) qui ont fait l'objet de cette étude, se localisent dans la Wilaya d'Oum El Bouaghi, située à l'Est Algérien (Fig. 3). Elle est délimitée au Nord par la Wilaya de Constantine, au Sud par la Wilaya de Khenchela, à l'Est par les Wilayas de Guelma et Souk Ahras, à l'Ouest par la Wilaya de Mila, au Sud-Ouest par la Wilaya de Batna et au Sud-Est par la Wilaya de Tébessa. Ils font partie de l'éco-complexe des zones humides des Hauts plateaux Constantinois, et sont classés sites Ramsar, en 2004 pour Tinsilt et en 2009 pour Ezzemoul (Zedam, 2015).

Selon la définition française, une zone humide est un terrain, exploité ou non, inondé ou gorgé d'eau (douce, salée ou saumâtre), de façon permanente ou temporaire, la végétation y est hygrophile pendant au moins une partie de l'année (Fustec & Lefeuvre, 2000).

1.1. Chott Tinsilt

Selon le système Ramsar de classification, le Chott, dérivé du mot arabe شط, est une zone humide continentale de type R Ss Y (R : lacs salés et étendus/saumâtres/alcalins saisonniers/intermittent, Ss : mares/marais salins/ saumâtres/alcalins saisonniers/intermittents, Y : sources d'eau douce-oasis) (Zedam, 2015). 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 n'est visible que la surface salée, dont les bords sont des kilomètres carrés de boue sodique (Aubert, 1976). En plus, Dubost (2002), décrit le Chott comme une zone salée entourant la Sebkhia, qui est le fond humide de la dépression.

Le Chott sus-cité fait partie de la commune d'Ouled Zouai située à 17 km au Sud de la ville d'Ain M'lila. Il longe la route nationale N°3 desservant Constantine et Batna et s'étend sur 4 Km de long et 2,5 Km de large. Sa superficie est de 2154 ha, aux coordonnées géographiques : 35°53'14" N, 6°28'44" E, et une élévation de 792 m. Le pourtour du lac, périodiquement inondé, est riche en sels (Zair, 2009) et la couleur blanchâtre caractérisant ses berges est due au calcaire transporté par les eaux de ruissellement des collines (DGF, 2004).

Mahloul *et al.* (2016) ont recensé 60 espèces végétales appartenant à 18 différentes familles, où les Poaceae et les Asteraceae constituent plus de la moitié de la flore recensée avec respectivement 12 et 14 espèces. En outre, Bezzalla *et al.* (2019a) rapportent que la communauté végétale est représentée par 34 espèces, appartenant à 16 familles, à dominance halophytique.

1.2. Sebkha Ezzemoul

Une Sebkha du mot arabe "سبخة", que l'on trouve en pays désertique ou presque, est une dépression temporairement occupée par un lac, en général salé et où se déposent des évaporites. Les eaux proviennent du ruissellement et des nappes phréatiques (Foucault & Raoult, 2001).

Ce lac est connu également par lac salé Mzouri ou Garaêt El Zemoul. Il est localisé à l'Ouest de la Wilaya d'Oum El Bouaghi dans la commune Ouled Zouaï, à 20 Km de la ville d'Ain M'lila, et à proximité du Chott Tinsilt. Au Nord, il est limité par des champs céréaliers, à l'Est par la commune d'El Harmelia et Djebel Hanout Kebir, à l'Ouest par la route nationale N°3 qui relie les deux Wilayas Constantine et Batna. Sa superficie est de 6400 ha aux coordonnées géographiques : 35° 53' 137" N, 6° 30' 200" E, et une élévation de 900 m. Bezzalla *et al.* (2019a) ont répertorié 43 espèces appartenant à 17 familles, majoritairement des halophytes.

1.3. Choix des stations

Au niveau de chaque site, deux stations d'étude ont été choisies : Tinsilt 1 (T1) et Tinsilt 2 (T2), Ezzemoul 1 (E1) et Ezzemoul 2 (E2) (Fig. 4). Le choix de ces stations repose sur plusieurs critères: (i) le couvert végétal (présence ou absence et le type de végétation dominant), (ii) l'éloignement par rapport au lac, (iii) les stations sont assez loin (4 Km) l'une de l'autre dans le même site, (iv) aucune étude récente ou ancienne n'a été effectuée sur la faune carabique dans ces stations et, (v) l'accessibilité et la sécurité. L'utilisation d'un appareil GPS, type Colorado/ Gramin 300, a permis de localiser exactement les quatre stations comme suit :

- Tinsilt 1 (35° 53' 29" N, 6° 27' 29" E, altitude: 791 m): située à l'Ouest, à 80 m du lac, sa superficie est de 1200 m².
- Tinsilt 2 (35° 53' 16" N, 6° 29' 59" E, altitude: 792 m): située à l'Est, à 3 m du lac, sa superficie est de 1200 m².
- Ezzemoul 1 (35° 52' 52" N, 6° 20' 10" E, altitude: 790 m): située à l'Ouest, à 4 m du lac, sa superficie est de 1500 m².
- Ezzemoul 2 (35° 55' 01" N, 6° 34' 26" E, altitude: 795 m): située au Nord-Est, à 220 m du lac, sa superficie est de 1200 m².

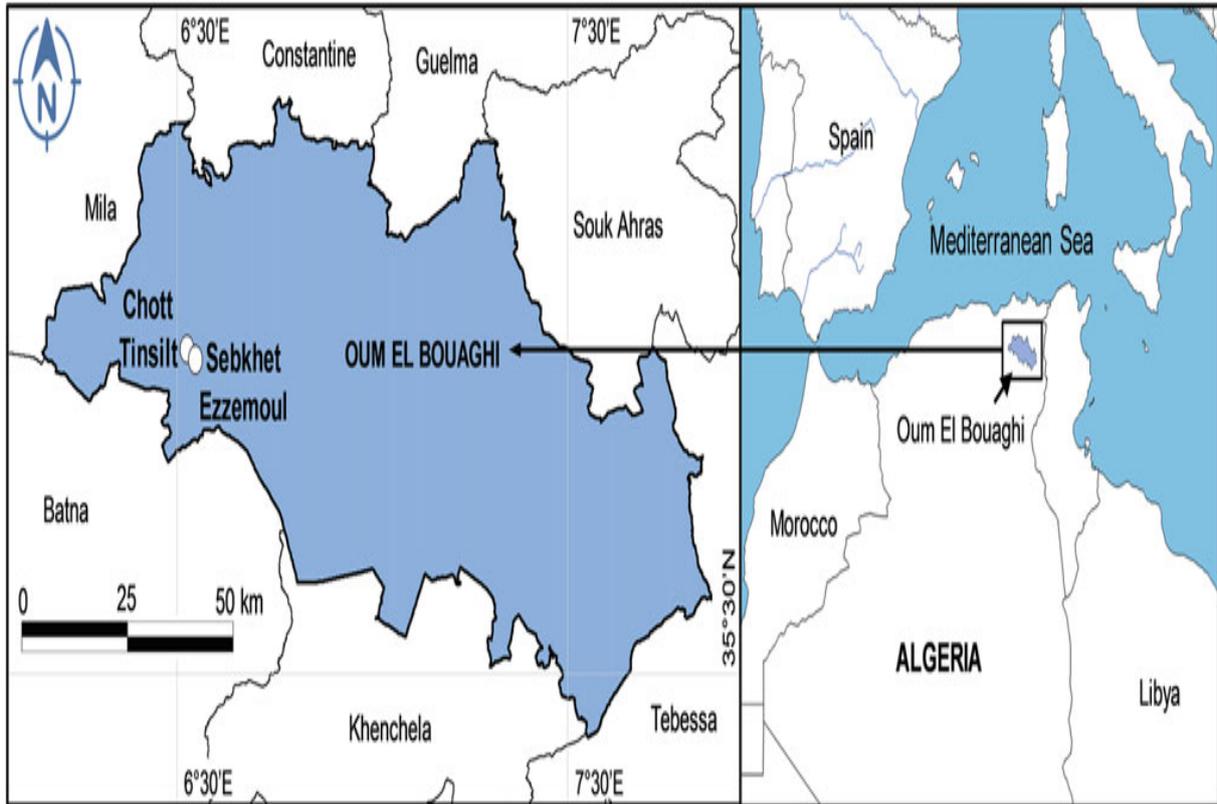


Figure 3. Localisation géographique des deux lacs salés, Chott Tinsilt et Sebkheta Ezzemoul, dans la wilaya d'Oum El Bouaghi, Est Algérien (Bezzalla *et al.*, 2019a).

2. Climatologie

La description climatique de la zone d'étude est faite sur la base des données météorologiques de 44 ans (1973-2017), fournies par la station météorologique de Batna, située à 15 Km des deux sites.

L'analyse des variations mensuelles des précipitations et des températures sur une période de 44 ans, montre que les mois les plus arrosés sont Janvier (36,59 mm) et Mars (33,25 mm). Cependant, le mois le plus sec est Juillet avec une moyenne de 8,64 mm. Les températures maximales sont enregistrées le mois de Juillet avec 27 °C et les minimales en Janvier avec 5,68 °C. Quant à la période d'étude (2016-2017), l'analyse des variations mensuelles des précipitations et des températures révèle que les mois les plus pluvieux sont le mois de Novembre avec 35,55 mm et le mois de Janvier avec 25,78 mm. Tandis que le mois le moins pluvieux est le mois de Mai avec 3,36 mm. Les températures maximales et minimales sont signalées respectivement en Juillet (34,79°C) et Janvier (4,54°C) (Annexe 1).

Le diagramme ombrothermique de Gausson et Bagnouls pour la période climatique sus-indiquée montre que la saison sèche s'étend de la mi-Avril jusqu'à la fin de Novembre. La saison sèche de l'année d'étude (2016-2017) s'avère plus longue et s'étend de la mi-Février jusqu'à la fin d'Octobre (Fig. 5).

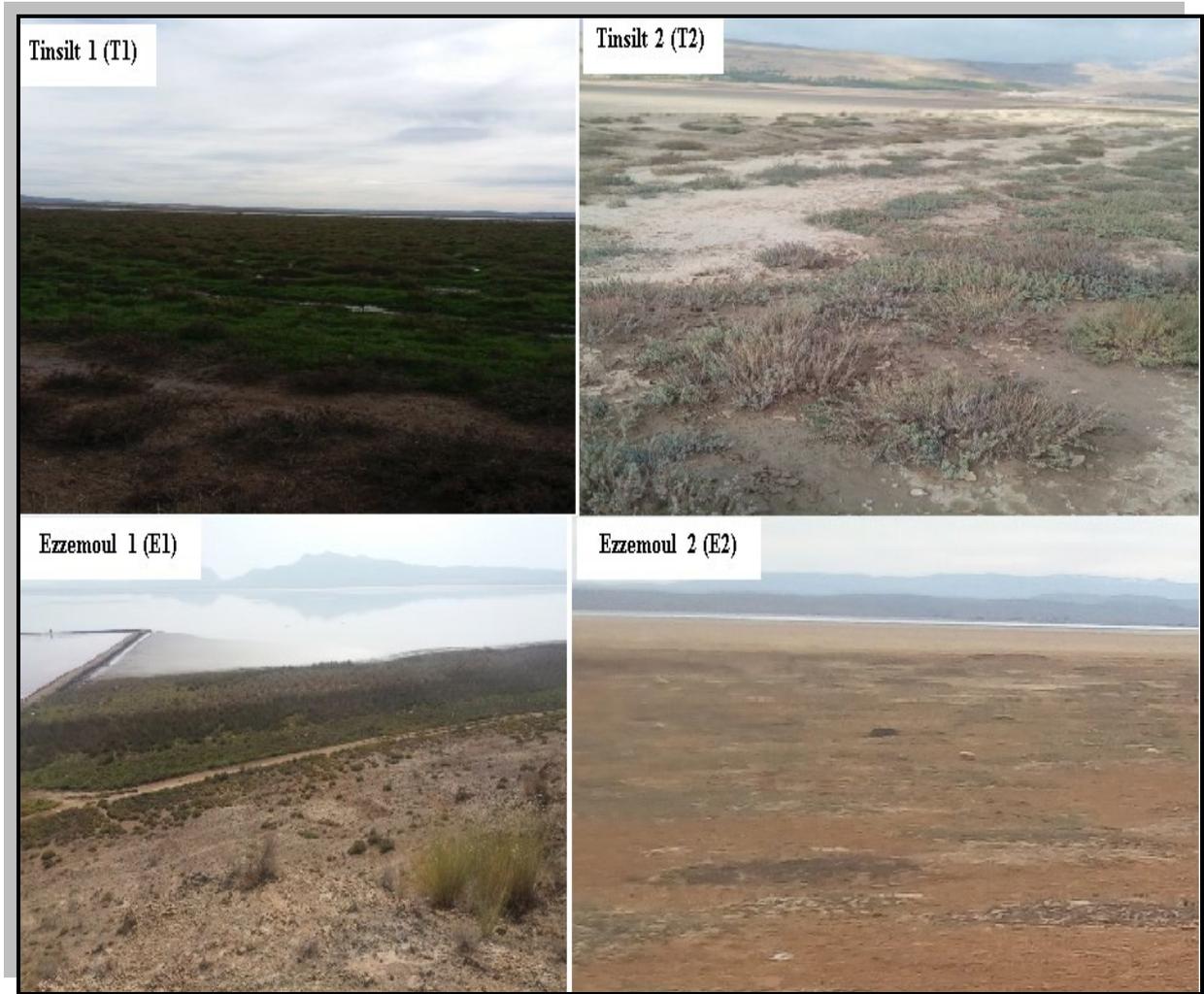


Figure 4. Les quatre stations d'étude (T1, T2, E1, et E2) au niveau des deux sites (Chott Tinsilt et Sebkhâ Ezzemoul) (Cliché Amri, 2017).

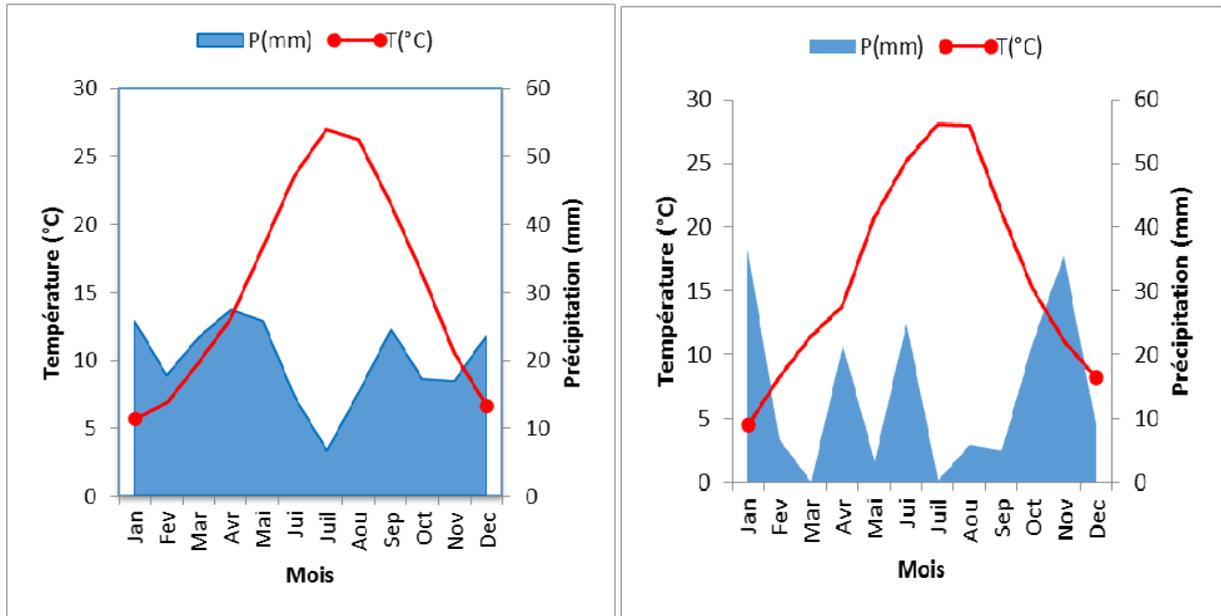


Figure 5. Diagramme ombrothermique de Gausse et Bagnouls de la région d'étude appliqué pour la période (1973-2017) à gauche, et l'année de l'étude (2016-2017) à droite.

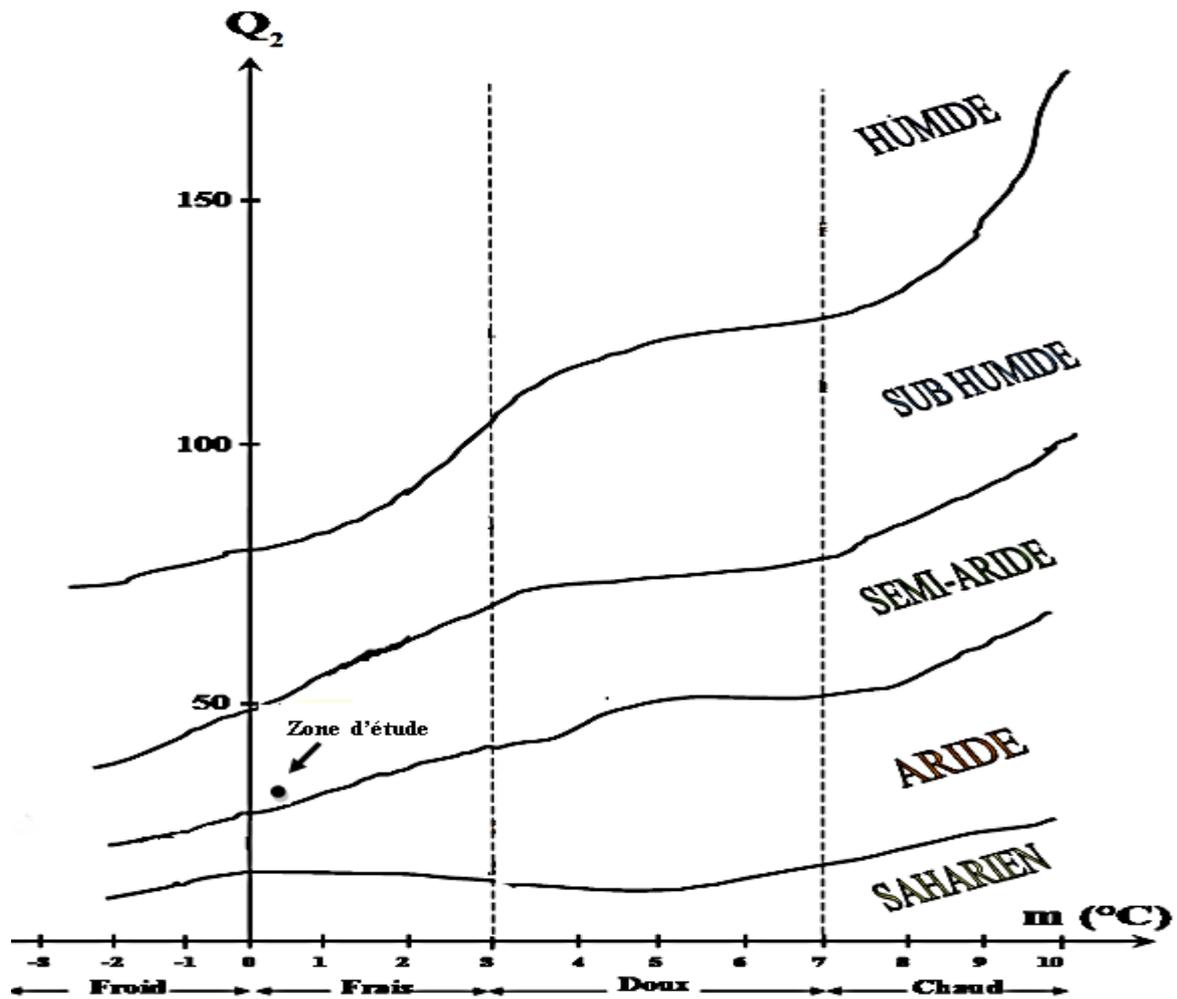


Figure 6. Positionnement de la zone d'étude sur le climagramme d'Emberger (1973-2017).

Le calcul du quotient d'Emberger, (1973- 2017), a permis de placer la zone d'étude dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais, soit $Q=29,38$ et $m = 0,54^{\circ}\text{C}$ (Fig. 6). Selon De Martonne, la zone est soumise à un climat semi-aride avec un indice $I = 16,55$.

3. Echantillonnage et identification

Les prélèvements des carabidés ont été effectués de façon régulière tous les 15 jours durant une année entière depuis Novembre 2016 jusqu'au mois d'Octobre 2017, hormis quelques décalages, à cause des conditions climatiques inéluctables.

3.1. Méthode d'échantillonnage

L'objectif principal de ce travail est d'avoir une image faunistique la plus complète possible des carabidés inféodés à ces biotopes particuliers et sélectifs (Sebkha et Chott). Etant donné que ces insectes sont terricoles et nocturnes, la méthode d'échantillonnage adoptée est l'utilisation des pièges d'interception, appelés les pots Barber. Ces derniers sont vus comme des outils puissants dans l'échantillonnage quantitatif normalisé des Arthropodes en général, et des carabidés en particulier (Thiele, 1977; Rainio & Niemelä, 2003).

Dans le cas présent, des pots en plastique, avec une profondeur de 10 cm et un diamètre de 9 cm ont été choisis. Ils sont enterrés verticalement de façon à créer des puits dans lesquels les carabidés vont choir, et sont remplis aux deux tiers de leur contenu avec un liquide conservateur, constitué d'un mélange de: 1 L d'eau, 300 g de sel (agent conservateur), des gouttes de vinaigre et quelques gouttes de détergent, jouant le rôle d'un agent mouillant, qui empêche les insectes de remonter le long des parois. Il est notoire que l'installation des pots remue le sol et la couche de litière autour du piège, occasionnant une perturbation de l'efficacité du piège en attirant ou en repoussant certaines espèces de Carabidae (Digweed, 1995). Pour amortir cet effet perturbateur, les pots ont été installés environ 15 jours avant leur première utilisation.

3.2. Design expérimental

Dans chaque station, quarante-huit (48) pots Barber ont été installés, répartis sur trois (3) rangées. Au sein de chacune d'elles, sont placés quatre (4) quadrats équidistants de 50 m. Dans chaque quadrat, dont la surface est de 1 m^2 , quatre (4) pots sont installés. Vu le gradient

de salinité depuis les bords du lac jusqu'à la périphérie, traduit par une végétation dont la physiologie varie au fur et à mesure qu'on s'éloigne du lac, trois ceintures de végétation (C1, C2 et C3) sont délimitées pour Ezzemoul (E1). Le même design a été appliqué aux autres stations, en dépit de l'homogénéité du couvert végétal (Fig. 7).

À chaque collecte, le contenu des pots est versé dans des boîtes en plastique, portant des étiquettes contenant toutes les informations sur l'échantillon (la date, la station, le numéro du quadrat et le numéro de la répétition).

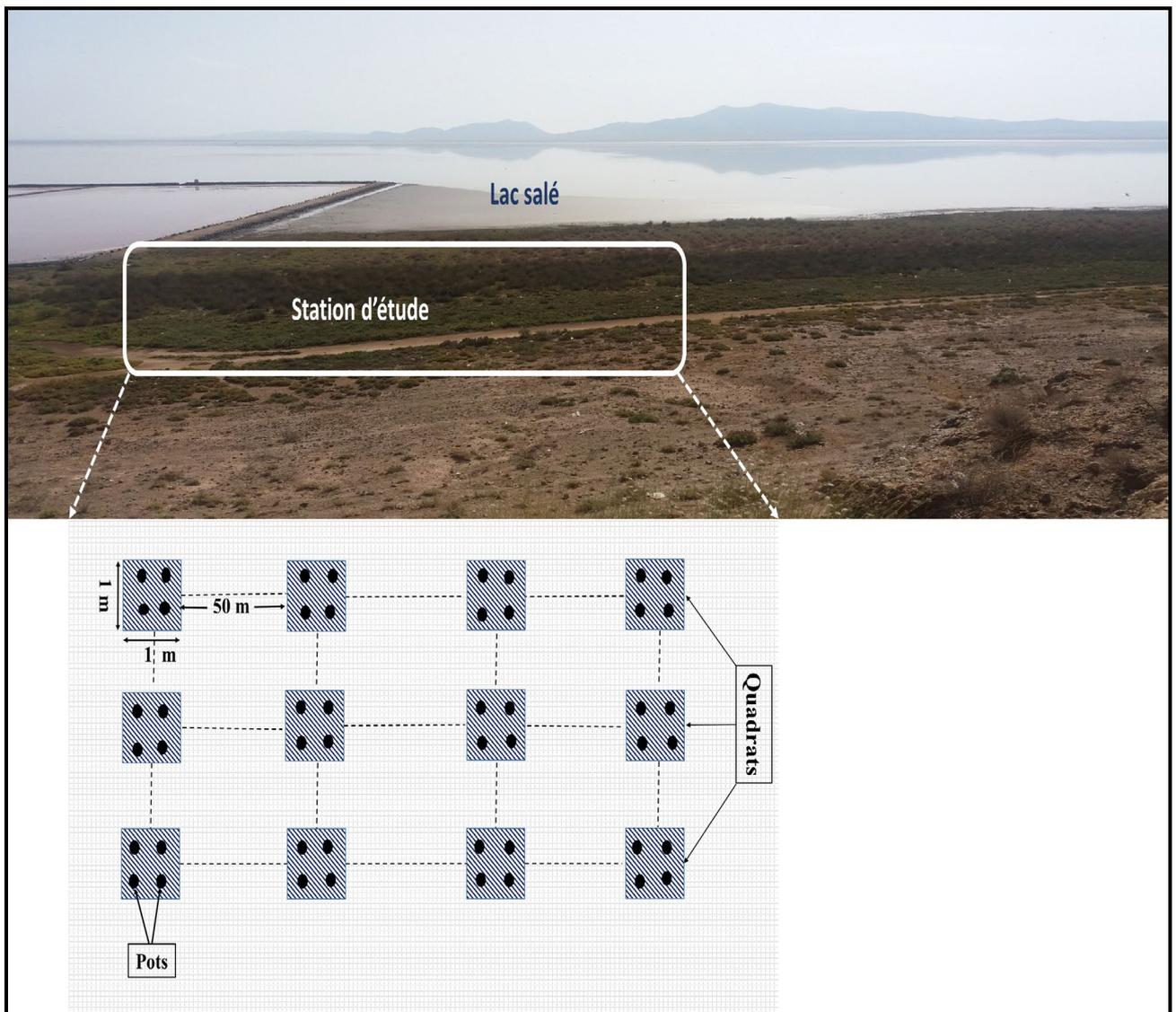


Figure 7. Le design expérimental adopté dans les quatre stations d'étude.

3.3. Préparation et identification des espèces

Une fois transporté au laboratoire, le contenu des boîtes subit un rinçage abondant à l'eau de robinet, puis mis sur du papier absorbant. Après rinçage et séchage, les spécimens sont triés sous une loupe binoculaire, à grossissement suffisant (x10 ou plus), pour séparer les carabidés des autres groupes, notamment les coléoptères qui leur ressemblent. Les spécimens séparés sont conservés, soit dans l'alcool à 70° (espèces non identifiées), soit directement étalés, à l'aide des épingles entomologiques N°2, dans des boîtes entomologiques (espèces identifiées).

L'identification des spécimens piégés a été faite en se basant sur plusieurs clés d'identification : Bedel (1895), Antoine (1955, 1957, 1959, 1961, 1962) et Trautner et Geigenmuller (1987), puis nommés conformément à la nomenclature du site www.carabidae.org. L'identification des espèces a été assurée et confirmée par Docteur Ouchtati Nadia de l'université de Guelma.

3.4. Traits fonctionnels

Les traits écologiques et biologiques de ce groupe d'insectes ont été largement analysés. Dans la présente étude, chaque espèce recensée est caractérisée selon 4 catégories de traits biologiques qui sont les suivantes:

- ✓ la taille des espèces est mesurée de la tête à la fin de l'abdomen de chaque individu (1 à 10 individus / espèce). Selon Cole *et al.* (2002), trois modalités de taille peuvent être distinguées : petite (< 9 mm), moyenne (9 - 15 mm) et grande (>15 mm),
- ✓ le type alaire reflète leur aptitude potentielle à utiliser les différents écosystèmes. Il y a trois types d'ailes : brachyptère, macroptère et dimorphisme,
- ✓ le spectre alimentaire (zoophage, phytophage et polyphage) et,
- ✓ la sensibilité à l'humidité du sol (hygrophile, xérophile et mesophile).

L'attribution de ces traits (type alaire, spectre alimentaire et sensibilité à l'humidité) est tirée de plusieurs références : Bedel (1895), Jeannel (1941-1942), Antoine (1955-1962) et le site spécialisé www.carabidae.org. L'appartenance biogéographique des espèces récoltées a été attribuée, en utilisant les classes zoogéographiques proposées par Serrano *et al.* (2003).

4. Mesure des variables environnementales

Les conditions locales ont été évaluées par des relevés de variables physiques et de variables de végétation, autour des pièges Barber.

4.1. Végétation

Seules les espèces végétales dominantes ont été inventoriées durant la période printanière. Les 2 sites (Chott et Sebkha) sont caractérisés principalement par des halophytes. Le Chott Tinsilt est dominé par les espèces *Atriplex halimus* (L.) dans la station T1, *Salsola vermiculata* (L.) et *Salicornia arabica* (L.) dans la station T2. La Sebkha Ezzemoul est caractérisée, quant à elle, par la dominance des espèces végétales *Salicornia* sp., *Juncus maritimus* (Lam.) et *Salicornia arabica* (L.) dans la station E1, et *Sueda fruticosa* (Forssk.) dans la station E2.

Le taux de recouvrement a été également estimé, en adoptant la méthode linéaire de Canfield (1941), qui consiste à tendre une corde et à compter les points touchés par la végétation au nombre total de points de la corde. Dans notre cas, le comptage est fait selon les deux diagonales croisées du quadrat (Fig. 8). Cette méthode, bien qu'elle soit subjective et moins précise, a l'avantage d'être rapide et facile à appliquer.



Figure 8. Méthode de mesure du taux de recouvrement (%) sur terrain (Cliché Amri, 2017).

4.2. Variables physico-chimiques

Les prélèvements du sol ont été effectués saisonnièrement (automne, hiver, printemps et été). De chaque quadrat, et à une profondeur de 10 cm, environ un (01) kg de sol par échantillon est prélevé et transporté au laboratoire. Ces échantillons sont séchés à l'air ambiant pendant 10 à 15 jours, tamisés à 2 mm pour avoir la terre fine et conservés dans des sachets en plastique. Le sol échantillonné a fait l'objet des analyses pédologiques suivantes (Annexe 2): (i) l'humidité du sol selon la méthode de Mathieu et Pieltain (2003), (ii) le pH et la conductivité électrique sont mesurés par le pH mètre et le conductimètre dans une suspension sol-eau (1/5), (iii) la matière organique estimée par la méthode de Anne (Bonneau & Souchier, 1994) et l'analyse granulométrique sont réalisées aux laboratoires Fertial (Annaba) et Ferphos (Tébessa).

5. Analyse des données

5.1. Paramètres de la biodiversité

Pour décrire les communautés carabiques qui colonisent les stations d'étude, les données obtenues des 48 pots sont groupées pour former un seul relevé/mois/station. L'évaluation de la biodiversité a été déterminée en utilisant plusieurs descripteurs biocénotiques.

5.1.1. Abondance et occurrence

L'abondance relative (AR) représente le rapport entre le nombre d'individus d'une espèce et le nombre d'individus total (N). L'abondance absolue (AA) est déterminée par le nombre d'individus par espèce (Magurran, 2004).

La fréquence d'occurrence (Occ) a été calculée pour chaque espèce par le nombre de fois où l'espèce a été trouvée / le nombre total des relevés. Conséquemment, quatre classes d'espèces peuvent être distinguées : (i) espèces très accidentelles (Vac), dont la fréquence d'occurrence est moins de 10%, (ii) espèces accidentelles (Acc), la fréquence d'occurrence varie entre 10 et 24%, (iii) espèces communes (Cmt), présentes dans 25 – 49% des relevés, (iv) espèces constantes (Cst) présentes dans 50% des relevés ou plus (Bigot & Bodot, 1973).

5.1.2. Diversité alpha

L'analyse de la diversité alpha s'est basée sur différents indices non-paramétriques calculés pour chaque mois par station, et pour tout le site: (i) richesse spécifique (S), qui correspond au nombre total d'espèces que comporte le peuplement considéré effectivement présentes sur un site d'étude et à un moment donné, (ii) indice de Shannon (H') : $H' = - \sum p_i \ln p_i$, où p_i est la proportion du nombre d'individus de l'espèce i (n_i) sur le nombre total des individus de toutes les espèces (N), (iii) indice de Simpson (1 - D) : $D = \sum N_i (N_i - 1) / N (N - 1)$, où N_i est le nombre d'individus de l'espèce donnée, et N est le nombre total d'individus, (iv) équitabilité (E) : $E = H' / H'_{\max}$, $H'_{\max} = \ln S$, où S est le nombre total des espèces. Ces indices ont été calculés par le logiciel Past (Hammer *et al.*, 2001).

5.1.3. Estimation de la richesse spécifique

Les estimateurs asymptotiques non paramétriques de la richesse spécifique sont des méthodes prenant en compte la fréquence des espèces rares dans un échantillon pour estimer le nombre d'espèces non détectées dans un assemblage (Gotelli & Chao, 2013). Le choix a porté sur l'estimateur Chao1 pour chaque station et pour tout le site. Cet estimateur utilise le nombre de singletons (f_1) et de doubletons (f_2) pour prédire la richesse spécifique. Dans notre étude, nous avons utilisé la forme corrigée (biais-corrected form) : $S_{\text{Chao1}} = S_{\text{obs}} + [f_1(f_1 - 1)] / 2 (f_2 + 1)$.

Les courbes de raréfaction et d'extrapolation permettent, à partir des données observées, d'obtenir une estimation de la richesse spécifique cumulée en fonction de l'effort d'échantillonnage fourni (Chenchouni, 2017). Sur la base d'un échantillon de référence de (n) individus, l'extrapolation ou bien le problème de prédiction consiste à estimer le nombre attendu d'espèces (S) dans un échantillon augmenté de (n + m) individus de l'assemblage, où m est supérieur à 0 (Gotelli & Chao, 2013).

Pour comparer la richesse de deux échantillons différents, ils doivent être standardisés en un nombre commun d'individus, pour les échantillons d'abondance (Gotelli & Colwell, 2011). Les calculs ainsi que l'analyse graphique ont été faits par le logiciel EstimateS, la version 9.1.0 (Colwell 2013) et Excel 2016.

5.1.4. Diversité bêta

5.1.4.1. Indices de similarité

Dans le but de décrire la diversité bêta qui s'intéresse aux variations de la composition des communautés entre les différentes stations, deux indices de similarité ont été estimés :

- Indice de similarité de Jaccards (β_{jac}) : Il est donné par la formule suivante : $\beta_{jac} = c / (a + b - c)$, où **c** est le nombre d'espèces communes, **a** est le nombre d'espèces dans la station 1, et **b** est le nombre d'espèces dans la station 2 (De Bello *et al.*, 2007).
- Indice de similarité de Bray-Curtis (β_{bc}) : il est donné par la formule suivante : $1 - (B + C) / 2A + B + C$, où **A** est le nombre d'individus/espèce dans les deux sites, **B** et **C** sont les espèces uniques de chacun des deux sites (Baselga, 2017). Les calculs de ces indices ont été performés par le logiciel Past.

5.1.4.2. Groupement et ordination

Après avoir étudié si les communautés carabiques dans les 4 stations sont similaires ou différentes, nous avons cherché à voir lesquelles sont les plus proches ou les plus éloignées en termes de composition d'espèces en fonction des mois. Pour atteindre ce but, des matrices de distances basées sur la méthode de groupe apparié Euclidien (UPGMA) sont établies pour obtenir des groupements. Les groupements ont été réalisés avec le logiciel Past.

5.1.4.3. Espèces bioindicatrices

Pour terminer l'analyse de la diversité bêta, une analyse des espèces indicatrices (ISA) a été effectuée. Cette dernière a pour but d'identifier les espèces associées à chaque type d'habitat et d'évaluer l'ampleur de cette association, en fonction de leurs abondances (Dufrêne & Legendre, 1997). Donc, elle montre les espèces qui sont indicatrices de différents habitats, en tenant compte de leur *spécificité* (A_{kj}) et leur *fidélité* (B_{kj}). La spécificité est une mesure basée sur les valeurs de l'abondance d'une espèce *j* pour un groupe de sites *k*, et la fidélité est une mesure calculée à partir d'une data de présence de l'espèce *j* (De Cáceres & Legendre, 2009).

$$\text{IndVal}_{kj} = A_{kj} B_{kj}$$

$$A_{kj} = N \text{ individus}_{kj} / N \text{ individus} \text{ et } B_{kj} = N \text{ sites}_{kj} / N \text{ sites}$$

Ainsi, à chaque espèce est attribuée une valeur d'indicateur (IV) comprise entre 0 et 1, étant le produit de la spécificité et de la fidélité. Seules les espèces présentant des $IV < \alpha = 0,05$ ont été conservées dans les résultats. L'analyse a été effectuée avec la fonction `ind.bousque`, package `indicspecies`, sur le logiciel R (version 3.6.1) (R Core Team, 2018).

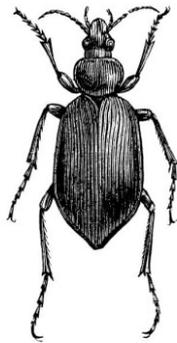
5.1.4.4. Diagramme de Venn

Ce type de diagramme a été réalisé pour évaluer la similitude spatiale entre les deux sites (Chott Tinsilt et Sebkha Ezzemoul), puis entre les quatre stations (T1, T2, E1 et E2). Le programme Venny 2.1 a été utilisé pour dessiner les diagrammes de Venn (Oliveros, 2015).

5.2. Analyse statistique

Une analyse multivariée par le test statistique du modèle linéaire mixte et généralisé (GLMM) a été appliquée pour tester, d'un côté, l'effet spatiotemporel sur la communauté carabique et d'un autre côté, l'effet de plusieurs variables environnementales (facteurs édaphiques, facteurs climatiques et couvert végétal) sur l'abondance et la richesse des Carabidae. Pour réaliser ce test, nous avons utilisé le logiciel R (version 3.6.1) et les deux packages `lme4` et `nlme`.

Chapitre 3. Résultats



1. Description de l'édaphotope des sites étudiés

Le chott Tinsilt se caractérise dans ses deux stations par : (i) un pH qui varie entre $7,90 \pm 0,40$ et $8,20 \pm 0,26$ à T1 et T2 respectivement, (ii) un taux de matière organique de $1,37 \pm 0,41\%$ à T1 et $1,17 \pm 0,53\%$ à T2, (iii) une humidité du sol de l'ordre de $19,00 \pm 7,74\%$ à T1 et $11,00 \pm 7\%$ à T2, (iv) une conductivité égale à $9,26 \pm 4,17$ ms / cm à T1 et $6,90 \pm 4,15$ ms / cm à T2, (v) une texture argileuse pour T1 et limoneuse pour T2 (Tab. 3).

Dans la Sebkhia Ezzemoul, les deux stations sont caractérisées par : (i) un pH de l'ordre de $8,01 \pm 0,33$ à E1 et $8,20 \pm 0,40$ à E2, (ii) un taux de matière organique variant entre $1,65 \pm 0,28\%$ à E1 et $1,22 \pm 0,08\%$ à E2, (iii) une humidité du sol de l'ordre de $21,00 \pm 0,13\%$ et $8,00 \pm 0,04\%$ à E1 et E2 respectivement, (iv) une conductivité égale à $9,46 \pm 3,50$ ms / cm à E1 et $2,57 \pm 3,30$ ms / cm à E2, (v) une texture argileuse pour E1 et limoneuse pour E2 (Tab. 3).

Quant au taux de recouvrement, il fluctue entre $50,00 \pm 34,50\%$ à T1 et $11,00 \pm 15,08\%$ à T2, alors qu'il varie entre $53,00 \pm 38,36\%$ à E1 et $11,00 \pm 14,88\%$ à E2 (Tab. 3).

Tableau 3. Caractéristiques et valeurs moyennes (\pm écart type) des facteurs environnementaux pour chaque station dans les deux sites, Chott Tinsilt et Sebkhia Ezzemoul (les valeurs représentent la moyenne de 48 répétitions).

Stations	Matière organique (%)	Texture	pH	Conductivité (ms/cm)	Humidité du sol (%)	Couvert végétal (%)
T1	$1,37 \pm 0,41$	Argileuse	$7,90 \pm 0,40$	$9,26 \pm 4,17$	$19,00 \pm 7,74$	$50,00 \pm 34,50$
T2	$1,17 \pm 0,53$	Limoneuse	$8,20 \pm 0,26$	$6,90 \pm 4,15$	$11,00 \pm 7,00$	$11,00 \pm 15,08$
E1	$1,65 \pm 0,28$	Argileuse	$8,01 \pm 0,33$	$9,46 \pm 3,50$	$21,00 \pm 0,13$	$53,00 \pm 38,36$
E2	$1,22 \pm 0,08$	Limoneuse	$8,20 \pm 0,40$	$2,57 \pm 3,30$	$8,00 \pm 0,04$	$11,00 \pm 14,88$

2. Inventaire et composition de la carabidofaune

2.1. Toute la zone d'étude

Les résultats révélant l'ensemble des espèces collectées dans les deux sites étudiés (Chott Tinsilt et Sebkhia Ezzemoul) sont consignés dans le tableau 4.

Tableau 4. Liste systématique des espèces inventoriées dans les quatre stations des deux sites d'étude, Chott Tinsilt (T1 : Tinsilt 1, T2 : Tinsilt 2) et Sebkhâ Ezzemoul (E1 : Ezzemoul 1, E2 : Ezzemoul 2), (+) présence, (-) absence.

Sous familles	Espèces	T1	T2	E1	E2
Harpalinae (Har)	<i>Harpalus oblitus</i> Dejean, 1829	+	-	+	+
	<i>Harpalus lethierryi</i> Reiche, 1860	+	-	+	+
	<i>Harpalus tenebrosus</i> Dejean, 1829	+	+	-	-
	<i>Harpalus siculus</i> Dejean, 1829	+	+	-	-
	<i>Harpalus punctatostriatus</i> Dejean, 1829	+	-	-	-
	<i>Harpalus attenuatus</i> Stephens, 1828	+	-	-	-
	<i>Harpalus</i> sp.	+	-	-	-
	<i>Oedesis villosulus</i> (Reiche, 1859)	+	-	+	-
	<i>Dicheirotichus obsoletus</i> (Dejean, 1829)	+	-	-	-
	<i>Anisodactylus virens</i> Dejean, 1829	+	-	-	-
	<i>Acinopus sabulosus</i> Fabricius, 1792	+	-	-	-
	<i>Acinopus gutturosus</i> Buquet, 1840	+	-	-	-
	<i>Ophonus opacus</i> Dejean, 1829	+	-	+	-
	<i>Ophonus cordatus</i> Duftschmid, 1812	+	-	-	-
Licininae (Lic)	<i>Chlaenius chrysocephalus</i> (Rossi, 1790)	+	-	-	-
	<i>Chlaenius spoliatus</i> Rossi, 1792	+	-	-	-
	<i>Chlaenius decipiens</i> (Dufour, 1820)	+	-	-	-
	<i>Chlaenius aeratus</i> Quensel in Schönherr, 1806	+	-	-	-
	<i>Chlaenius velutinus</i> Duftschmid, 1812	+	-	-	-
	<i>Licinus punctatulus</i> Fabricius, 1792	+	-	+	-
Lebiinae (Leb)	<i>Cymindis setifensis</i> Lucas, 1842	+	+	-	-
	<i>Apristus</i> sp.	+	-	-	-
	<i>Graphipterus exclamationis</i> (Fabricius, 1792)	+	-	-	-
Pterostichinae	<i>Amara metallescens</i> (Zimmermann, 1831)	+	+	-	+

(Pte)	<i>Amara rufipes</i> Dejean, 1828	+	-	-	+
	<i>Amara aenea</i> De Geer, 1774	+	-	-	-
	<i>Zabrus ignavus</i> Csiki, 1907	+	-	-	-
	<i>Poecilus nitidus</i> (Dejean, 1828)	+	-	-	-
	<i>Poecilus crenulatus</i> (Dejean, 1828)	+	-	-	-
Platyninae (Pla)	<i>Laemostenus algerinus</i> (Gory, 1833)	+	-	-	+
	<i>Calathus solieri</i> Bassi, 1834	+	-	-	-
	<i>Calathus circumseptus</i> Germar, 1824	+	-	-	+
	<i>Calathus</i> sp.	+	-	-	-
	<i>Sphodrus leucophthalmus</i> Linnaeus, 1758	-	+	-	-
	<i>Agonum nigrum</i> Dejean, 1828	-	-	+	-
Brachininae (Bra)	<i>Brachinus sclopeta</i> Fabricius, 1792	+	+	+	-
	<i>Brachinus plagiatus</i> Reiche, 1868	+	-	+	-
Broscinae (Bro)	<i>Broscus politus</i> Dejean, 1828	+	+	+	+
Scaratinae (Sca)	<i>Distichus planus</i> Bonelli, 1813	+	-	+	-
Nebriinae (Neb)	<i>Nebria andalusia</i> Rambur, 1837	+	-	-	-
Trechinae (Tre)	<i>Pogonus chalceus</i> Marsham, 1802	+	-	+	-
Carabinae (Car)	<i>Campalita maderae</i> Fabricius, 1775	+	-	-	-
Cicindelinae (Cic)	<i>Cicindela lunulata</i> Fabricius, 1781	+	-	+	-
	<i>Cicindela maura</i> Linnaeus, 1758	-	-	+	-
	<i>Megacephala euphratica</i> Dejean, 1822	-	-	+	-
Espèces totales	45	41	7	14	7

Un total de 45 espèces rattachées à 26 genres et 12 familles est inventorié dans la zone d'étude (Tab. 4). La sous famille des Harpalinae s'avère la plus riche en espèces (14 espèces, 31,11% de la richesse totale), suivie par les Licininae, les Platyninae et les Pterostichinae, avec 6 espèces pour chacune (13,33%), et enfin, les Lebiinae avec 4 espèces (8,88%). Le nombre d'espèces des sous familles restantes est de 1 - 3 espèces, soit 2,22 à 6,66% (Fig. 9).

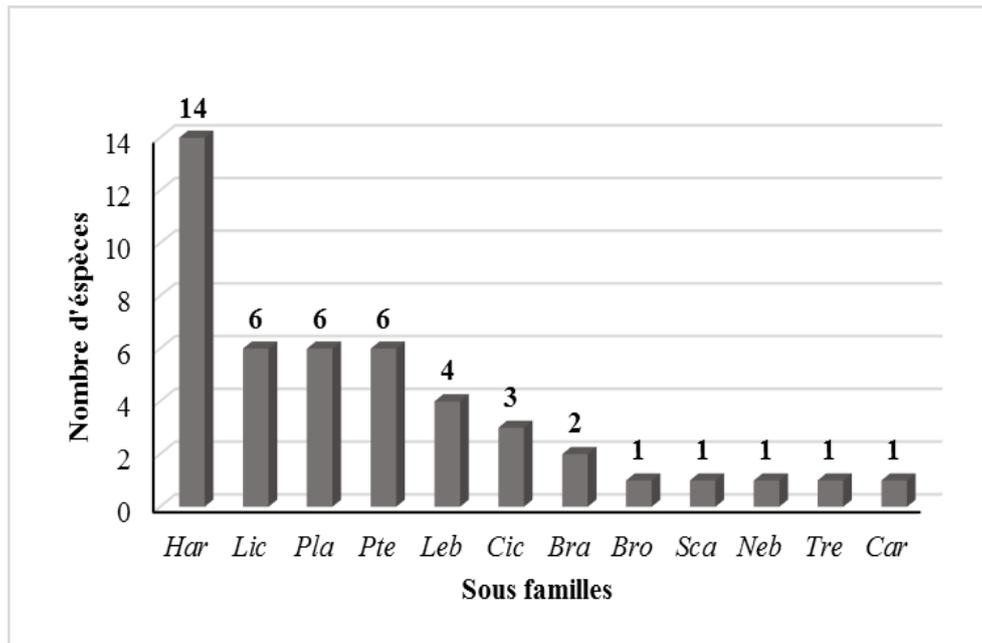


Figure 9. Répartition globale de la richesse spécifique par sous famille dans la zone d'étude.

Le nombre d'espèces dans le Chott Tinsilt est de l'ordre de 42 espèces (93,33%), alors que dans la Sebkhia Ezzemoul 18 espèces ont été répertoriées; soit 40% du total des espèces (Fig. 10).

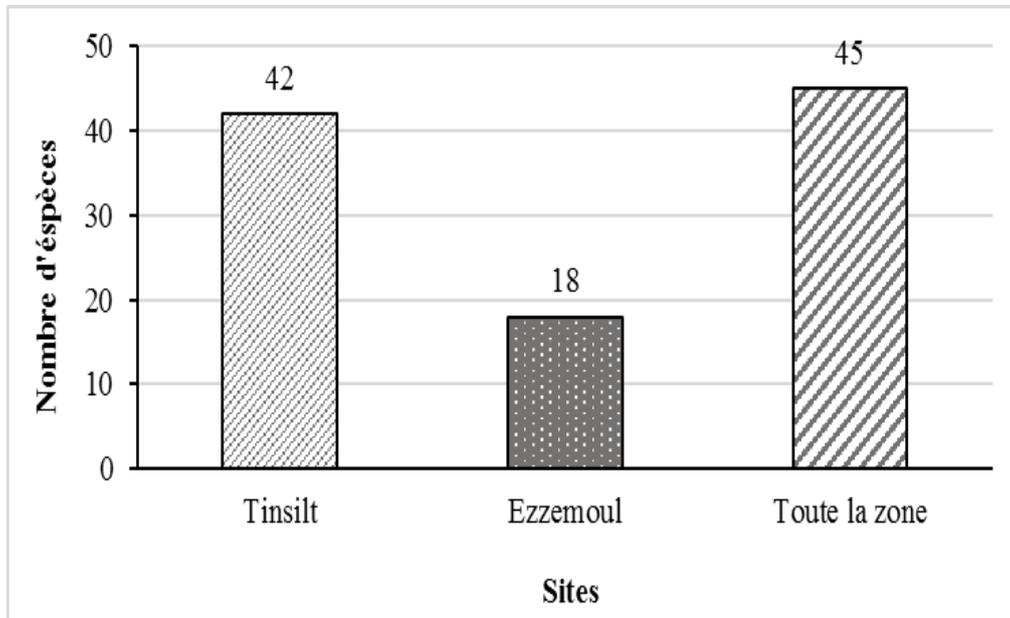


Figure 10. Richesse spécifique par site et dans toute la zone d'étude.

2.2. Chott Tinsilt

Dans le Chott Tinsilt, les individus capturés appartiennent à 12 sous familles, 24 genres et 42 espèces. La station T1 abrite 41 espèces réparties sur 23 genres et 12 sous familles vs. 7 espèces réparties sur 6 genres et 6 sous familles dans la station T2 (Tab. 4).

La sous famille des Harpalinae est la plus riche en espèces (14 espèces, 33,33% de la richesse totale), suivie par celles des Licininae et des Pterostichinae, avec 6 espèces pour chacune (14,28%), et enfin, les Platyninae avec 5 espèces (11,90%). Le nombre d'espèces des sous familles restantes est de 1 - 3 espèces, soit 2,38 à 7,14% du total (Fig. 11).

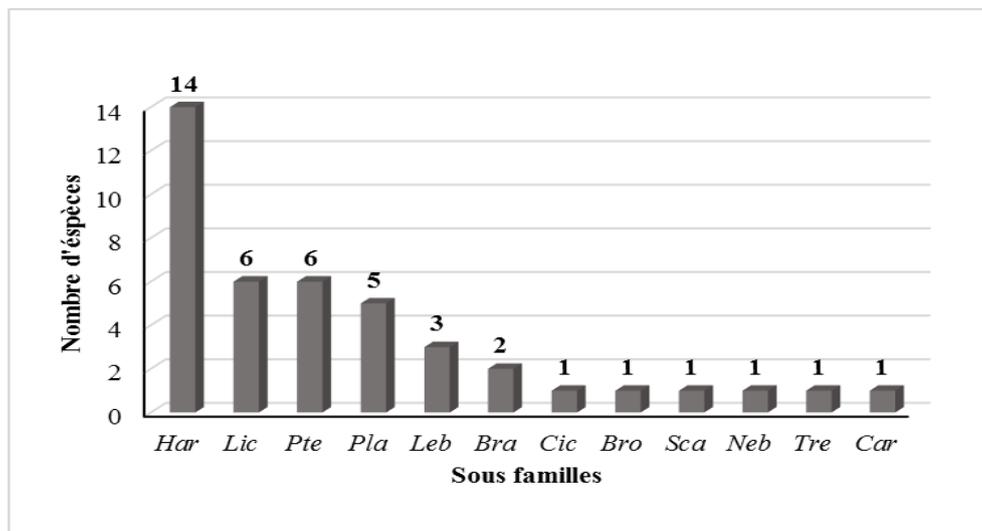


Figure 11. Répartition globale de la richesse spécifique par sous famille dans le Chott Tinsilt.

2.3. Sebkha Ezzemoul

Pour tout le site, les carabidés récoltés appartiennent à 9 sous familles, 14 genres et 18 espèces (Tab. 4). Au niveau de la station E1, 14 espèces réparties sur 11 genres et 8 sous familles ont été capturées vs. 7 espèces sur 5 genres et 4 sous familles dans la station E2.

La sous famille des Harpalinae est représentée par 4 espèces (22,22% de la richesse totale, suivie par les Cicindelinae et les Platyninae, avec 3 espèces pour chacune (16,66%). Le nombre d'espèces des sous familles restantes est de 1 - 2 espèces, soit 5,55 à 11,11% (Fig. 12).

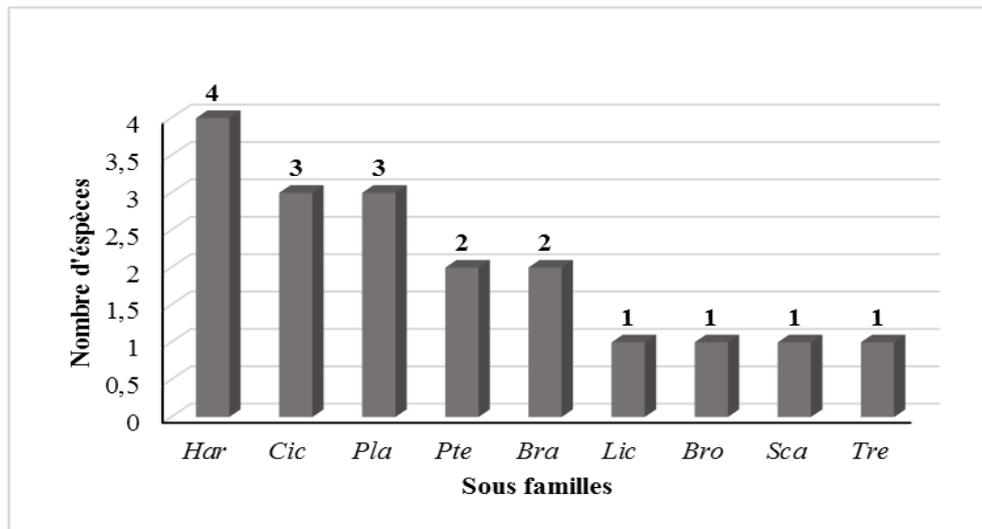


Figure 12. Répartition globale de la richesse spécifique par sous famille dans la Sebkhia Ezzemoul.

3. Evaluation de la biodiversité

3.1. Abondance et occurrence

3.1.1. Chott Tinsilt

En termes d'individus, 1121 individus sont capturés avec 1099 individus dans la station T1 contre 22 individus dans la station T2. En général, la sous famille des Brachininae est la plus représentée avec 469 individus, soit 41,83% du total, suivie par les deux sous familles Licininae (242 individus, 21,85%) et Harpalinae (241 individus, 21,49%). Les autres sous familles sont les moins représentées avec des pourcentages fluctuant entre 0,09% et 9,09%. À l'échelle spécifique, l'espèce *Brachinus sclopeta* a enregistré la plus forte abondance avec 446 individus, soit 39,78% du total, suivie par *Chlaenius chrysocephalus* (214 individus, 19,09%). Le reste des espèces a une abondance relative inférieure à 8% (Tab.5).

Quant aux valeurs de la fréquence d'occurrence (Occ) des 42 espèces capturées, la plupart des espèces est, soit très accidentelle (20 espèces), soit accidentelle (11 espèces). Cependant, cinq d'entre elles sont constantes: *Harpalus oblitus*, *H. lethierryi* (Harpalinae), *Chlaenius chrysocephalus* (Licininae), *Amara metallescens* (Pterostichinae), *Brachinus sclopeta* (Brachininae), et six autres sont communes: *Harpalus tenebrosus*, *H. siculus*, *H. attenuates* (Harpalinae), *Poecilus nitidus* (Pterostichinae), *Brachinus plagiatus* (Brachininae) et *Broscus politus* (Broscinae) (Tab.5).

Tableau 5. Abondance absolue [AA], abondance relative [AR%] et occurrence [Occ %] des espèces récoltées dans le Chott Tinsilt, Vac : espèce très accidentelle, Acc : espèce accidentelle, Cst : espèce constante, Cmt : espèce commune.

Sous familles [AR%]	Espèces	[AA]	[AR%]	[Occ %]	Classe
Harpalinae [21,49]	<i>Harpalus oblitus</i>	54	4,82	58,33	Cst
	<i>Harpalus lethierryi</i>	88	7,85	62,50	Cst
	<i>Harpalus tenebrosus</i>	30	2,68	29,17	Cmt
	<i>Harpalus siculus</i>	16	1,43	25	Cmt
	<i>Harpalus punctatostriatus</i>	6	0,54	12,5	Acc
	<i>Harpalus attenuatus</i>	26	2,32	29,17	Cmt
	<i>Harpalus</i> sp.	1	0,09	4,17	Vac
	<i>Oedesis villosulus</i>	1	0,09	4,17	Vac
	<i>Dicheirotrichus obsoletus</i>	10	0,89	16,67	Acc
	<i>Anisodactylus virens</i>	2	0,18	4,17	Vac
	<i>Acinopus sabulosus</i>	2	0,18	8,33	Vac
	<i>Acinopus gutturosus</i>	1	0,09	4,17	Vac
	<i>Ophonus opacus</i>	1	0,09	4,17	Vac
<i>Ophonus cordatus</i>	3	0,27	4,17	Vac	
Licininae [21,58]	<i>Chlaenius chrysocephalus</i>	214	19,09	95,83	Cst
	<i>Chlaenius spoliatus</i>	7	0,62	16,67	Acc
	<i>Chlaenius decipiens</i>	15	1,34	20,83	Acc
	<i>Chlaenius aeratus</i>	1	0,09	4,17	Vac
	<i>Chlaenius velutinus</i>	1	0,09	4,17	Vac
	<i>Licinus punctatulus</i>	4	0,36	12,5	Acc
Lebiinae [2,70]	<i>Cymindis setifensis</i>	12	1,07	16,67	Acc
	<i>Apristus</i> sp.	2	0,18	8,33	Vac
	<i>Graphipterus exclamationis</i>	17	1,52	12,50	Acc
Pterostichinae	<i>Amara metallescens</i>	82	7,31	54,17	Cst

[9,09]	<i>Amara rufipes</i>	6	0,54	16,67	Acc
	<i>Amara aenea</i>	3	0,27	8,33	Vac
	<i>Zabrus ignavus</i>	1	0,09	4,17	Vac
	<i>Poecilus nitidus</i>	9	0,80	29,17	Cmt
	<i>Poecilus crenulatus</i>	1	0,09	4,17	Vac
Platyninae [0,71]	<i>Laemostenus algerinus</i>	2	0,18	4,17	Vac
	<i>Calathus solieri</i>	1	0,09	4,17	Vac
	<i>Calathus circumseptus</i>	1	0,09	4,17	Vac
	<i>Calathus sp,</i>	1	0,09	4,17	Vac
	<i>Sphodrus leucophthalmus</i>	3	0,27	12,50	Acc
Brachininae [41,83]	<i>Brachinus sclopeta</i>	446	39,79	95,83	Cst
	<i>Brachinus plagiatus</i>	23	2,05	37,50	Cmt
Broscinae [1,33]	<i>Broscus politus</i>	15	1,34	33,33	Cmt
Scaratinae [0,53]	<i>Distichus planus</i>	6	0,54	16,67	Acc
Nebriinae [0,09]	<i>Nebria andalusia</i>	1	0,09	4,17	Vac
Trechinae [0,35]	<i>Pogonus chalceus</i>	4	0,36	16,67	Acc
Carabinae [0,09]	<i>Campalita maderae</i>	1	0,09	4,17	Vac
Cicindelinae [0,09]	<i>Cicindela lunulata</i>	1	0,09	4,17	Vac

3.1.2. Sebkhia Ezzemoul

Dans ce site, 173 individus sont recensés rassemblant 141 et 32 individus respectivement dans les stations E1 et E2. Dans l'ensemble, la sous famille des Cicindelinae montre une abondance de 67 individus (38,72% du total), suivie par les deux sous familles Broscinae et Scaratinae, soit 31 individus (17,91%) pour chacune. Les autres sous familles sont faiblement représentées avec une abondance relative qui varie entre 4,04% et 9,82%. Vis-à-vis des espèces, *Cicindela maura* vient en première position avec 51 individus (29,48%), suivie par les deux espèces *Broscus politus* et *Distichus planus* (31 individus, 17,92%) pour chacune. Le reste des espèces est faiblement représenté (< 10%) (Tab. 6).

En fonction des valeurs de la fréquence d'occurrence (Occ) des 18 espèces récoltées, 10 d'entre elles, sont très accidentelles et 3 sont accidentelles. Les espèces constantes sont au nombre de 3 : *Distichus planus*, *Cicindela maura* et *Megacephala euphratica*. Les 2 espèces restantes sont communes: *Broscus politus* et *Licinus punctatulus* (Tab. 6).

Tableau 6. Abondance absolue [AA], abondance relative [AR%] et Occurrence [Occ%] des espèces récoltées dans la Sebkhia Ezzemoul, Vac : espèce très accidentelle, Acc : espèce accidentelle, Cst : espèce constante, Cmt : espèce commune.

Sous familles [AR%]	Espèces	[AA]	[AR%]	[Occ%]	Classe
Harpalinae [4,04]	<i>Harpalus lethierryi</i>	2	1,16	4,16	Vac
	<i>Harpalus oblitus</i>	3	1,73	4,16	Vac
	<i>Oedesis villosulus</i>	1	0,58	4,16	Vac
	<i>Ophonus opacus</i>	1	0,58	4,16	Vac
Licininae [9,82]	<i>Licinus punctatulus</i>	17	9,83	45,83	Cmt
Platyninae [2,31]	<i>Agonum nigrum</i>	1	0,58	4,16	Vac
	<i>Calathus solieri</i>	1	0,58	4,16	Vac
	<i>Laemostenus algerinus</i>	2	1,16	4,16	Vac
Brachininae [2,31]	<i>Brachinus sclopeta</i>	3	1,73	12,5	Acc
	<i>Brachinus plagiatus</i>	1	0,58	4,16	Vac
Broscinae [17,91]	<i>Broscus politus</i>	31	17,92	45,83	Cmt
Scaratinae [17,91]	<i>Distichus planus</i>	31	17,92	91,66	Cst
Trechinae [2,89]	<i>Pogonus chalceus</i>	5	2,89	16,66	Acc
Cicindelinae [38,72]	<i>Cicindela lunulata</i>	1	0,58	4,16	Vac
	<i>Cicindela maura</i>	51	29,48	58,33	Cst
	<i>Megacephala euphratica</i>	15	8,67	50	Cst
Pterostichinae [4,04]	<i>Amara metallescens</i>	6	3,47	16,66	Acc
	<i>Amara rufipes</i>	1	0,58	4,16	Vac

3.2. Diversité alpha

3.2.1. Chott Tinsilt

Les valeurs des paramètres de diversité obtenues pour le Chott Tinsilt sont consignées dans le tableau 7. Ce site se caractérise par un indice de Shannon de 2,18, un indice d'équitabilité de 0,58 et un indice de diversité de Simpson de 0,78. La station T1 enregistre les valeurs suivantes : $H' = 2,14$, $E = 0,60$ et $1 - D = 0,80$, tandis qu'en station T2, les mêmes indices sont respectivement de l'ordre de 1,70 ; 0,84 et 0,78. Pour l'ensemble du site, durant l'année d'observation, ces descripteurs varient d'un mois à un autre avec les plus fortes valeurs de l'indice de Shannon en Novembre et Avril, soit 2,33 et 2,47 respectivement, alors que la valeur la plus faible est observée en Janvier ($H' = 0,58$). La valeur de l'équitabilité fluctue entre 0,40 en Juillet et 0,88 en Septembre. Celle de Simpson est de 0,86 durant les mois de Novembre, Mars et Avril et 0,40 en Janvier.

Tableau 7. Variations mensuelles des indices non paramétriques de la diversité des carabidés dans les stations (T1, T2) et pour tout le site, Chott Tinsilt.

Mois	Station T1					Station T2					Site				
	N	S	H'	E	1 - D	N	S	H'	E	1 - D	N	S	H'	E	1-D
Nov	205	24	2,31	0,70	0,90	11	4	1,20	0,84	0,62	216	24	2,33	0,73	0,86
Dec	108	16	1,75	0,60	0,70	1	1	0	—	0	109	17	1,79	0,63	0,72
Jan	11	2	0,58	0,80	0,40	—	—	—	—	—	11	2	0,58	0,80	0,40
Fév	41	6	1,36	0,80	0,70	—	—	—	—	—	41	6	1,36	0,80	0,70
Mar	89	16	2,39	0,80	0,90	1	1	0	—	0	90	16	2,24	0,80	0,86
Avr	80	19	2,47	0,80	0,90	—	—	—	—	—	80	19	2,47	0,80	0,86
Mai	54	12	2,10	0,80	0,80	1	1	0	—	0	55	13	2,15	0,84	0,84
Jui	178	15	1,31	0,50	0,50	2	2	0,70	1	0,50	180	16	1,36	0,49	0,55
Juil	203	9	0,89	0,40	0,50	—	—	—	—	—	203	9	0,89	0,40	0,50
Aou	25	4	0,90	0,60	0,50	—	—	—	—	—	25	4	0,90	0,60	0,50
Sep	21	6	1,55	0,90	0,80	2	2	0,70	1	0,50	23	7	1,71	0,88	0,79
Oct	84	9	1,89	0,90	0,80	4	2	0,70	1	0,50	88	10	1,97	0,85	0,83
Global	1099	41	2,14	0,60	0,80	22	7	1,70	0,84	0,78	1121	42	2,18	0,58	0,78

3.2.2. Sebkhia Ezzemoul

Les valeurs des paramètres de diversité calculées sont récapitulées dans le tableau 8. La Sebkhia se caractérise par un indice de Shannon de 2,08, un indice d'équitabilité de 0,72 et un indice de diversité de Simpson de 0,82. La station E1 enregistre les valeurs suivantes : $H' = 1,85$; $E = 0,70$ et $1 - D = 0,78$, alors que dans la station E2, ces indices sont de l'ordre de 1,29 ; 0,66 et 0,60 respectivement. Pour l'ensemble du lac, durant l'année d'observation, les paramètres de diversité varient en fonction des mois d'étude. Effectivement, le mois de Novembre a enregistré la plus forte valeur de l'indice de Shannon (1,70) contre (0,56) en Juin. L'équitabilité oscille entre 0,57 en Mai et 1,00 en Août. Par ailleurs, l'indice de diversité de Simpson a atteint 0,75 en Août contre 0,37 en Juin.

Tableau 8. Variations mensuelles des indices non paramétriques de la diversité des carabidés dans les stations (E1, E2) et pour tout le site, Sebkhia Ezzemoul.

Mois	Station E1					Station E2					Site				
	N	S	H'	E	1 - D	N	S	H'	E	1 - D	N	S	H'	E	1 - D
Nov	8	5	1,49	0,92	0,75	14	7	1,76	0,90	0,79	44	11	1,70	0,71	0,70
Dec	11	3	0,75	0,69	0,42	7	2	0,68	0,98	0,48	36	5	1,33	0,85	0,67
Jan	7	3	1,07	0,98	0,65	2	1	0	—	0	7	3	1,07	0,98	0,65
Fév	5	3	1,05	0,96	0,64	2	1	0	—	0	5	3	1,05	0,96	0,64
Mar	5	3	1,05	0,96	0,64	—	—	—	—	—	5	3	1,05	0,96	0,64
Avr	16	4	0,98	0,71	0,53	—	—	—	—	—	16	4	0,98	0,71	0,53
Mai	40	7	1,12	0,57	0,51	—	—	—	—	—	40	7	1,12	0,57	0,51
Jui	28	2	0,56	0,81	0,37	3	1	0	—	0	28	2	0,56	0,81	0,37
Juil	9	4	1,31	0,94	0,71	—	—	—	—	—	9	4	1,31	0,94	0,71
Août	4	4	1,38	1	0,75	—	—	—	—	—	4	4	1,38	1	0,75
Sep	3	2	0,63	0,91	0,44	2	1	0	—	0	3	2	0,63	0,91	0,44
Oct	5	3	0,95	0,86	0,56	2	1	0	—	0	5	3	0,95	0,86	0,56
Global	141	14	1,85	0,70	0,78	32	7	1,29	0,66	0,60	173	18	2,08	0,72	0,82

3.3. Estimation de la richesse spécifique

3.3.1. Chott Tinsilt

En appliquant l'estimateur Chao1, la valeur de la richesse spécifique estimée pour la totalité de la région est de 60, dépassant celle observée qui est de 42 espèces. Pris séparément, la station T1 a enregistré une valeur estimée de 58 vs. la valeur empirique de 41 espèces, alors qu'elle reste fixe pour la station T2 avec 7 espèces observées et estimées (Fig. 13).

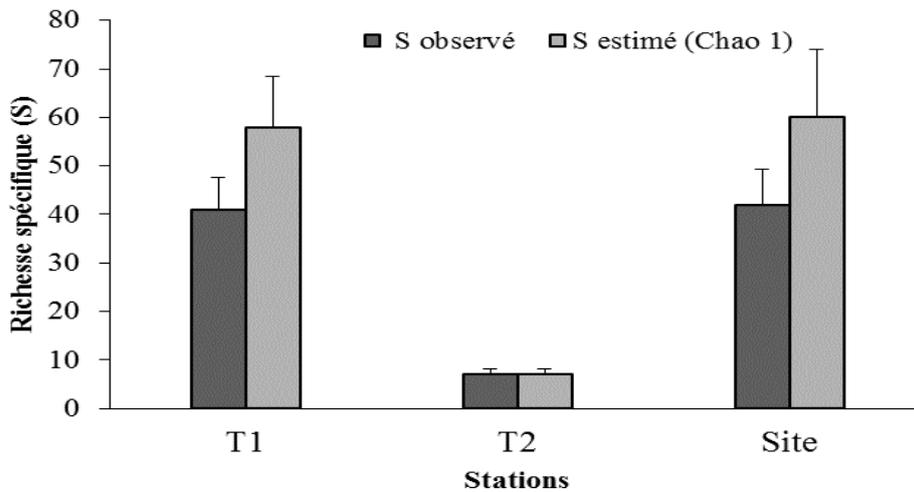


Figure 13. Richesse spécifique observée et estimée (\pm SD) des carabidés dans le Chott Tinsilt.

Selon les courbes d'extrapolation à 500 relevés (pots), la richesse des espèces $S_{(est)}$ atteindrait $61,63 \pm 15,75$ espèces pour un total de 11416 individus pour la station T1, alors qu'elle serait de $7,98 \pm 1,83$ espèces pour un total de 229 individus pour la station T2, et $58,83 \pm 10,07$ espèces pour un total de 5796 individus pour tout le lac. Le plateau est atteint après 200 relevés pour T1, 48 relevés pour T2 et 300 relevés pour tout le site (Fig. 14).

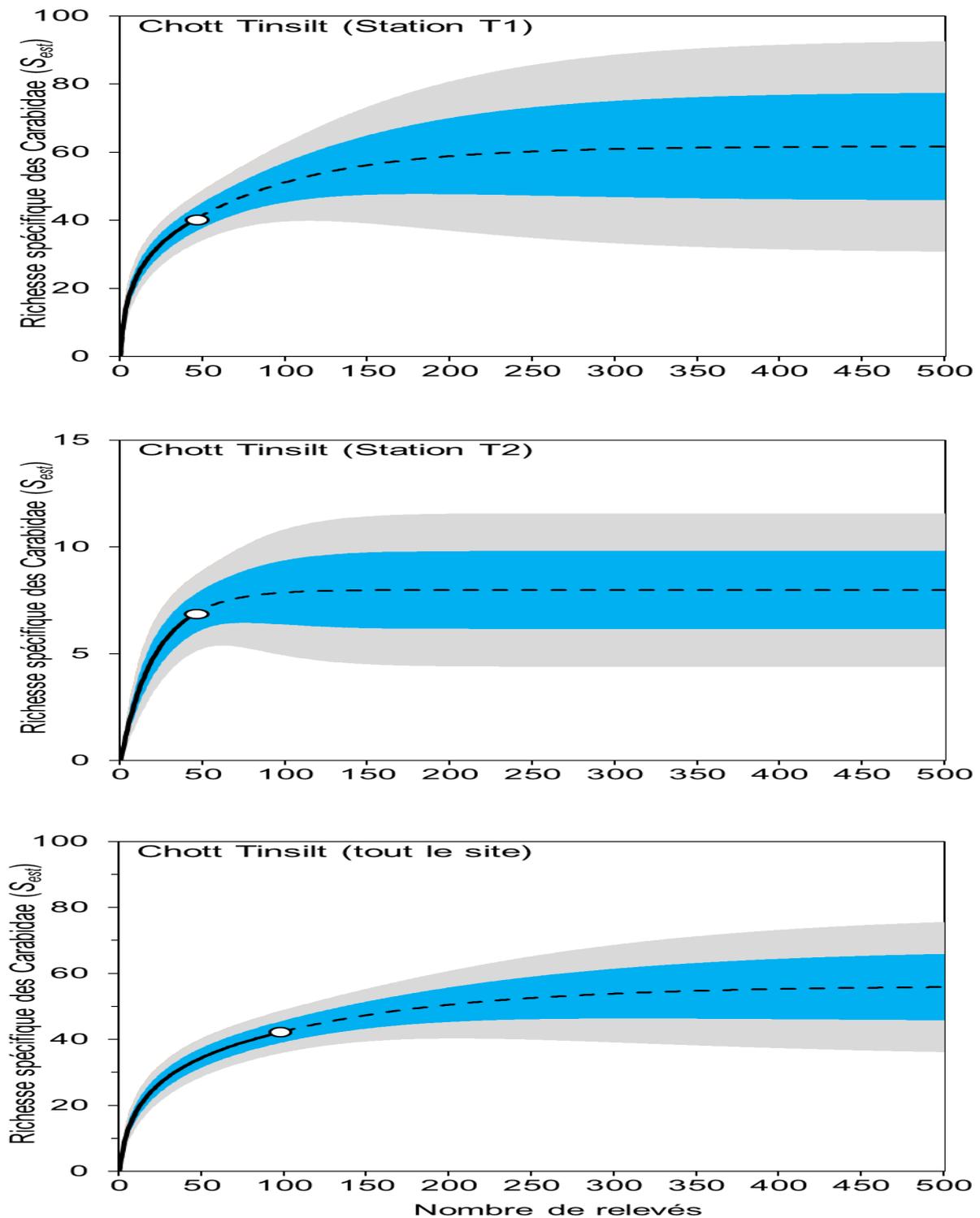


Figure 14. Courbes de rarefaction (ligne continue) et d'extrapolation (ligne discontinue) de la richesse spécifique estimée des carabidés dans le Chott Tinsilt. Le cercle blanc indique l'échantillon de référence. La zone grise représente l'intervalle de confiance (95%) pour S_{est} . La zone bleue indique l'écart type (\pm SD).

3.3.2. Sebkha Ezzemoul

Dans le cas d'Ezzemoul, l'estimateur Chao1 a montré que la richesse spécifique estimée pour la totalité du site est de 25, alors que la valeur observée est de l'ordre de 18 espèces. Pris séparément, la station E1 a enregistré une valeur estimée de 20 vs. la valeur observée de 14 espèces, alors qu'en station E2, les deux valeurs empirique et estimée sont très proches soit respectivement 7 et 8 (Fig. 15).

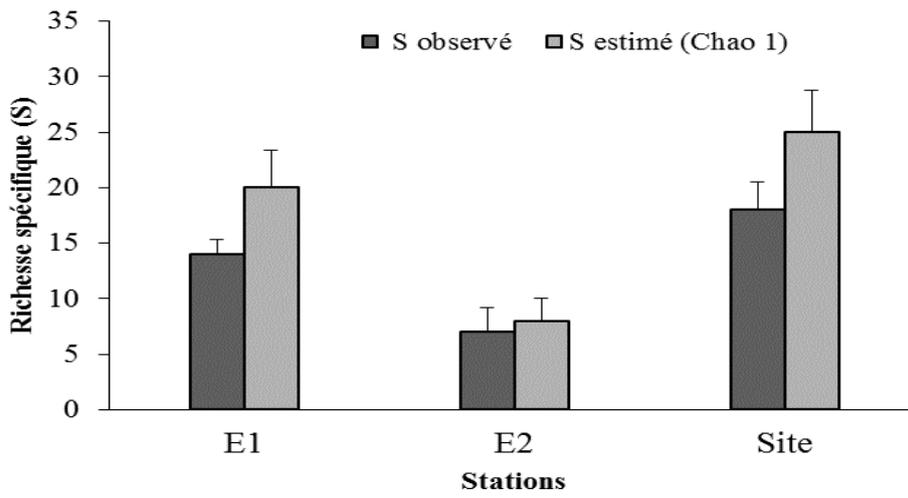


Figure 15. Richesse spécifique observée et estimée (\pm SD) des carabidés dans la Sebkha Ezzemoul.

Selon les courbes d'extrapolation à 500 relevés, la richesse des espèces $S_{(est)}$ atteindrait $32,85 \pm 13,26$ espèces pour un total de 1191 individus pour la station E1 contre $15,64 \pm 8,41$ espèces pour un total de 166 individus pour la station E2 et $32,83 \pm 10,70$ espèces pour un total de 1199 individus pour toute la Sebkha. Le plateau est atteint après 400 relevés pour E1, 200 pour E2 et 450 pour tout le site (Fig. 16).

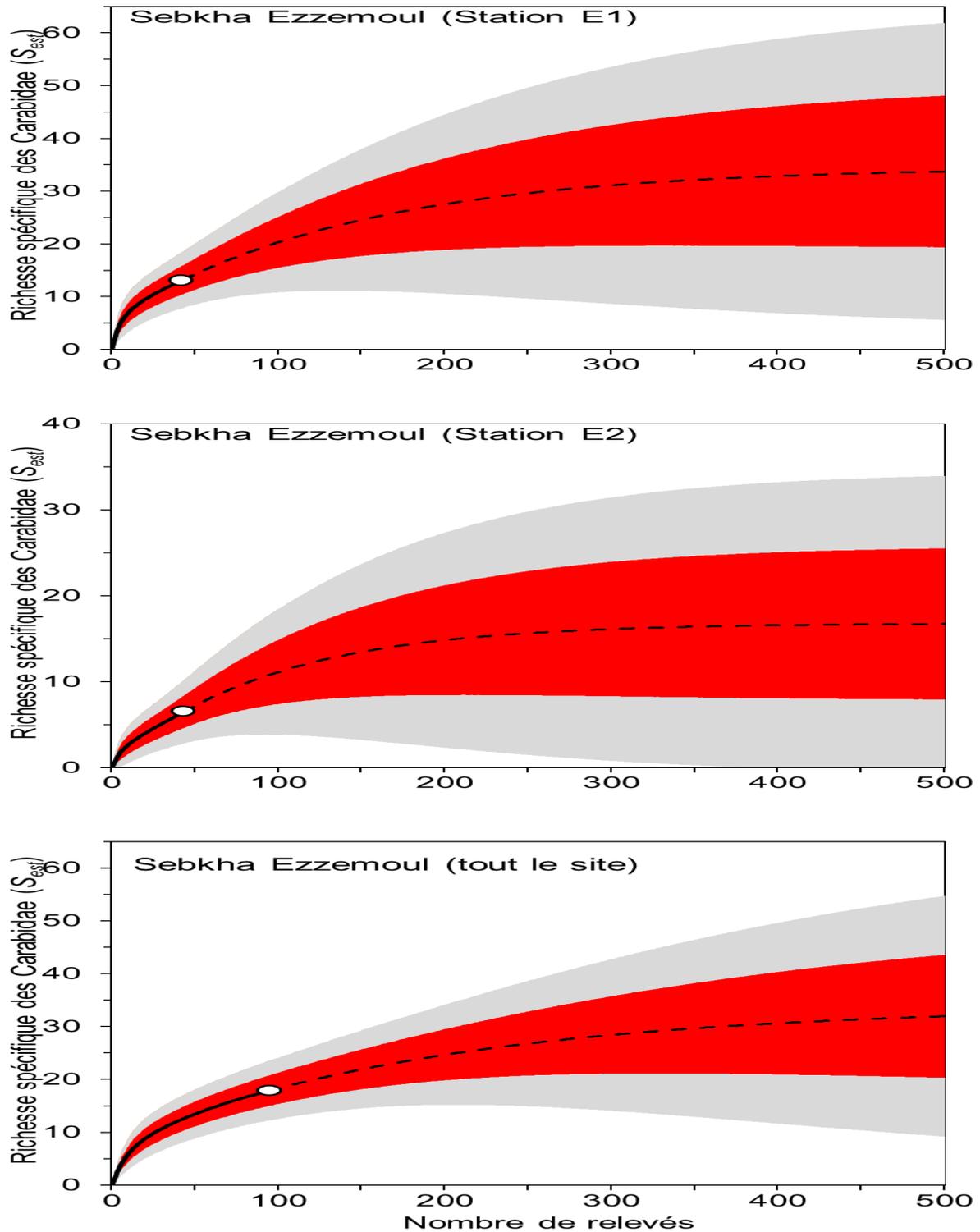


Figure 16. Courbes de rarefaction (ligne continue) et d'extrapolation (ligne discontinue) de la richesse spécifique estimée des carabidés dans la Sebkhah Ezzemoul. Le cercle blanc indique l'échantillon de référence. La zone grise représente l'intervalle de confiance (95%) pour S_{est} .

La zone rouge indique l'écart type (\pm SD).

3.4. Diversité bêta

Dans l'ensemble, les deux indices de similarité Jaccard (β_{jac}) et Bray-Curtis (β_{bc}) ont révélé une très faible similarité entre les deux sites, soit $\beta_{jac} = 0,35$ et $\beta_{bc} = 0,08$. Le diagramme de Venn a montré la présence de 15 espèces (33,3%) communes entre les deux lacs salés, 27 espèces (60%) exclusives au Chott Tinsilt, et 3 espèces (6,70%) exclusives à la Sebkhia (Fig. 17a), soit 33,3% du total récolté, et une seule espèce commune entre les quatre stations, soit 2,2% (*Broscus politus*) (Fig. 17b). Parmi les 45 espèces signalées, 23 espèces sont exclusives à la station T1, une espèce à la station T2 (*Sphodrus leucophthalmus*) et trois espèces à la station E1 (*Cicindela maura*, *Megacephala euphratica* et *Agonum nigrum*).

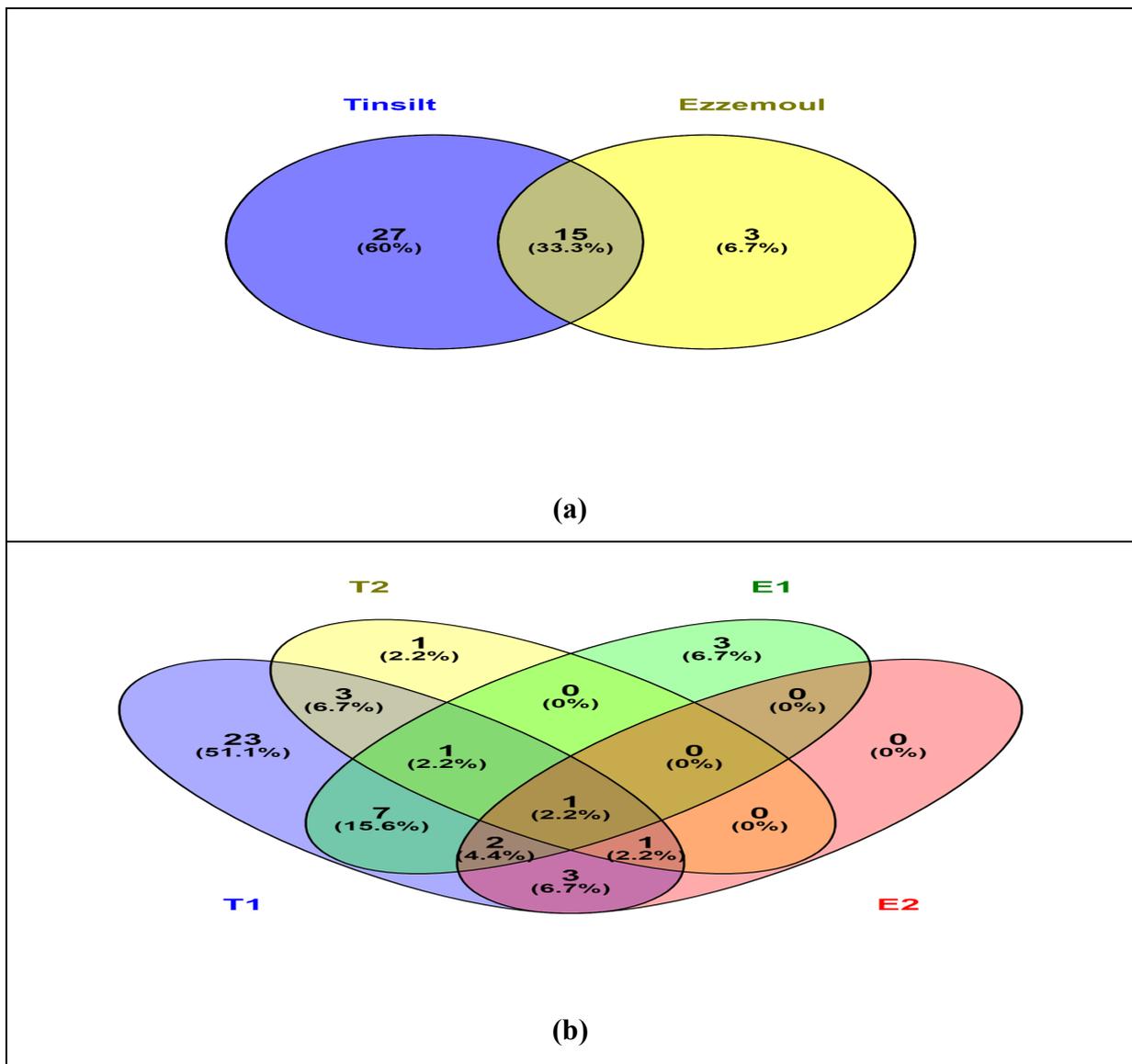


Figure 17. Diagramme de Venn montrant la richesse en espèces (S) enregistrée (a) dans les deux sites d'étude (Tinsilt et Ezzemoul), (b) dans les quatre stations d'étude (T1, T2, E1, E2).

3.4.1. Chott Tinsilt

En appliquant l'indice qualitatif de Jaccard (β_{jac}) et l'indice quantitatif de Bray-Curtis (β_{bc}), les stations T1 et T2 ont révélé une très faible similarité, soit $\beta_{jac} = 0,14$ et $\beta_{bc} = 0,02$. Pour l'ensemble du site, la plupart des valeurs obtenues entre les mois d'étude varie entre 0,07 et 0,52 pour l'indice de Jaccard, et entre 0,10 et 0,63 pour l'indice de Bray-Curtis. Le maximum est signalé par le couple Septembre-Octobre avec ($\beta_{jac} = 0,64$) et par le couple Juin-Juillet ($\beta_{bc} = 0,80$), alors que le minimum est signalé par le couple Novembre-Janvier, soit $\beta_{jac} = 0,07$ et $\beta_{bc} = 0,10$ (Tab. 9).

Tableau 9. Valeurs mensuelles des indices de similarité, indice de Jaccard (au-dessus de la diagonale) et indice de Bray-Curtis (au-dessous de la diagonale), Chott Tinsilt.

	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct
Nov		0,38	0,07	0,21	0,47	0,38	0,28	0,34	0,15	0,10	0,25	0,39
Déc	0,64		0,13	0,29	0,52	0,35	0,26	0,35	0,18	0,25	0,28	0,42
Jan	0,10	0,18		0,33	0,13	0,11	0,15	0,13	0,20	0,50	0,29	0,18
Fév	0,32	0,28	0,42		0,38	0,32	0,36	0,31	0,23	0,25	0,44	0,42
Mar	0,47	0,33	0,22	0,63		0,52	0,38	0,35	0,30	0,18	0,35	0,50
Avr	0,39	0,36	0,24	0,43	0,59		0,39	0,36	0,21	0,21	0,18	0,25
Mai	0,18	0,13	0,15	0,23	0,32	0,37		0,40	0,35	0,31	0,33	0,41
Jui	0,52	0,46	0,12	0,33	0,36	0,36	0,20		0,32	0,19	0,38	0,44
Juil	0,45	0,38	0,10	0,24	0,24	0,21	0,10	0,80		0,27	0,21	0,31
Aout	0,20	0,37	0,61	0,45	0,30	0,44	0,18	0,23	0,21		0,22	0,25
Sep	0,19	0,27	0,59	0,56	0,39	0,35	0,33	0,21	0,12	0,42		0,64
Oct	0,58	0,51	0,22	0,59	0,63	0,54	0,28	0,46	0,33	0,42	0,41	

L'analyse du groupement basée sur le groupe apparié Euclidien (UPGMA) des carabidés a mis en évidence trois groupes bien distincts: le groupe 1, composé des deux mois Juin et Juillet, le groupe 2 rassemble les mois de Décembre et Novembre, et le groupe 3 a englobé les mois restants (Janvier, Février, Mars, Avril, Mai, Septembre, Octobre) (Fig.18).

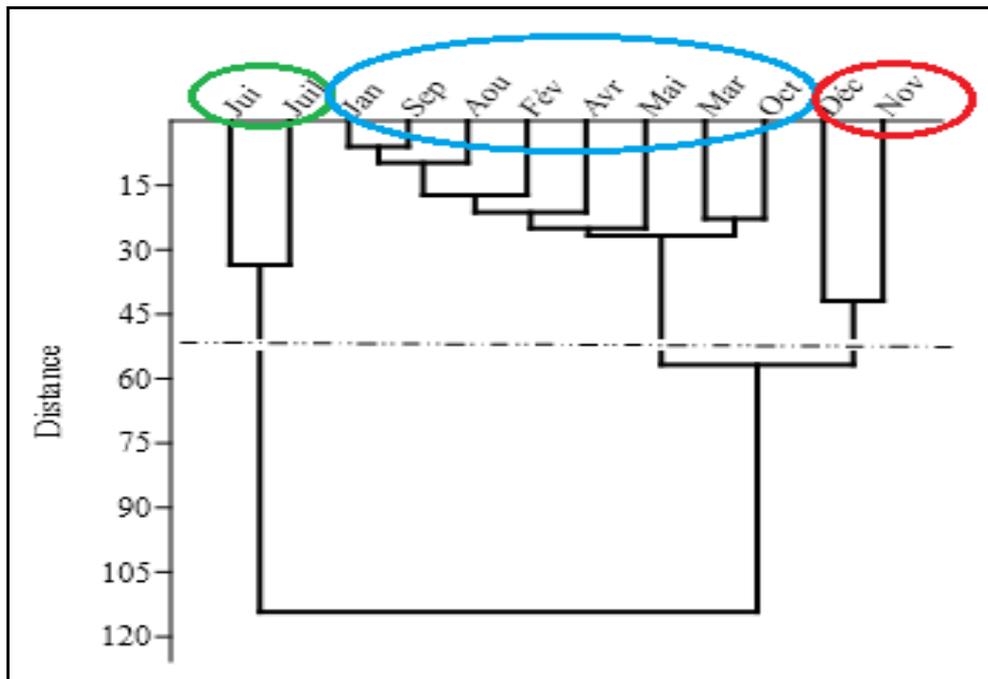


Figure 18. Dendrogramme de classification hiérarchique illustrant la similarité des espèces de carabidés basée sur l'abondance des mois dans le Chott Tinsilt (groupe apparié Euclidien, UPGMA).

3.4.2. Sebkhia Ezzemoul

L'indice qualitatif de Jaccard (β_{jac}) a révélé une similarité de l'ordre de 0,50, alors que l'indice quantitatif de Bray-Curtis ($\beta_{bc} = 0,08$) a montré une très faible affinité entre les deux stations (E1 et E2). Pour l'ensemble du site, la plupart des valeurs obtenues entre les mois d'étude fluctue entre 0 et 1 pour l'indice de Jaccard, et entre 0 et 0,88 pour l'indice de Bray-Curtis. Le maximum est signalé par le couple Janvier-Février avec $\beta_{jac} = 1$ et $\beta_{bc} = 0,88$, alors qu'une dissimilitude est signalée entre les couples Mars-Juin et Avril-Juin pour les deux indices (Tab. 10).

L'analyse du groupement basée sur le groupe apparié Euclidien (UPGMA) des carabidés a mis en évidence trois groupes bien distincts: le groupe 1, composé des deux mois Mai et Juin, le groupe 2 rassemble uniquement le mois d'Avril, et le groupe 3 a englobé les mois restants (Janvier, Février, Mars, Avril, Juillet, Août, Septembre, Octobre, Décembre) (Fig. 19).

Tableau 10. Valeurs mensuelles des indices de similarité, indice de Jaccard (au-dessus du diagonal) et indice de Bray-Curtis (au-dessous du diagonal), Sebkhia Ezzemoul.

	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct
Nov		0,40	0,30	0,30	0,18	0,16	0,31	0,08	0,08	0,17	0,20	0,18
Déc	0,45		0,75	0,75	0,40	0,14	0,22	0,17	0,14	0,33	0,50	0,40
Jan	0,45	0,67		1	0,50	0,17	0,25	0,20	0,17	0,40	0,67	0,50
Fév	0,41	0,56	0,88		0,50	0,17	0,25	0,20	0,17	0,40	0,67	0,5
Mar	0,22	0,35	0,57	0,67		0,17	0,11	0	0,17	0,17	0,25	0,20
Avr	0,11	0,12	0,16	0,17	0,19		0,38	0	0,14	0,14	0,20	0,16
Mai	0,13	0,10	0,12	0,13	0,09	0,25		0,42	0,37	0,38	0,28	0,25
Jui	0,11	0,12	0,15	0,16	0	0	0,73		0,40	0,40	0,25	0,20
Juil	0,06	0,15	0,22	0,25	0,29	0,16	0,32	0,30		0,33	0,20	0,16
Aou	0,15	0,18	0,31	0,36	0,22	0,10	0,13	0,11	0,30		0,50	0,40
Sep	0,37	0,43	0,71	0,67	0,20	0,09	0,08	0,16	0,14	0,44		0,66
Oct	0,28	0,40	0,63	0,71	0,33	0,26	0,17	0,15	0,25	0,36	0,67	

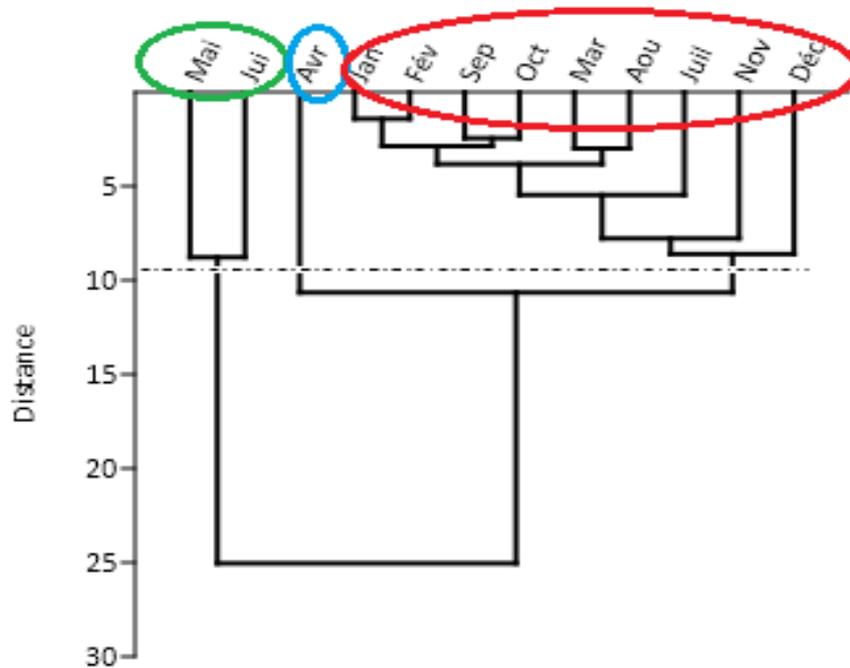


Figure 19. Dendrogramme de classification hiérarchique illustrant la similarité des espèces de carabidés basée sur l'abondance des mois dans la Sebkhia Ezzemoul (groupe apparié Euclidien, UPGMA).

3.4.3. Analyse des espèces indicatrices (ISA)

Dans le Chott Tinsilt, une liste de 7 espèces bioindicatrices est obtenue, ayant toutes une *P*-valeur inférieure à 0,05 validant la significativité de l'indice Indval. Les deux espèces *Brachinus sclopeta* et *Harpalus lethierryi* ont des valeurs d'indice très proches de 1, soit respectivement 0,93 et 0,91, ce qui signifie qu'elles ont été peu trouvées en-dehors de ce site (Tab. 11).

D'un autre côté, il y a quatre espèces bioindicatrices (*P*-value < 0,05) dans la Sebkhia Ezzemoul, ayant des valeurs d'indices remarquablement plus faibles que celles obtenues précédemment. En effet, la valeur la plus élevée étant de l'ordre de 0,57 pour l'espèce *Cicindela maura* (Tab. 11).

Tableau 11. Liste des espèces indicatrices associées à leurs sites selon leur indice Indval à une *P*-value < 0,05.

Sites	Espèces indicatrices	Indval	<i>P</i> -value
Chott Tinsilt	- <i>Brachinus sclopeta</i>	0,93	0,005
	- <i>Harpalus lethierryi</i>	0,91	0,005
	- <i>Chlaenius chrysocephalus</i>	0,89	0,005
	- <i>Amara metallescens</i>	0,81	0,005
	- <i>Harpalus oblitus</i>	0,80	0,005
	- <i>Brachinus plagiatus</i>	0,59	0,005
	- <i>Harpalus tenebrosus</i>	0,53	0,005
Sebkhia Ezzemoul	- <i>Cicindela maura</i>	0,57	0,005
	- <i>Disticus planus</i>	0,54	0,005
	- <i>Megacephala euphratica</i>	0,45	0,005
	- <i>Licinus punctatulus</i>	0,40	0,010

4. Etude des traits fonctionnels

Les traits d'histoire des espèces récoltées dans toute la zone d'étude sont récapitulés dans les annexes 3, 4 et 5.

4.1. Taille

Dans les deux sites d'étude, la majorité des Carabidae piégés appartiennent à des espèces de taille moyenne, soit 27 espèces (64,28%) à Tinsilt et 10 espèces (55,55%) à Ezzemoul. Les autres espèces sont réparties, presque équitablement, entre les deux autres modalités (petites et grandes). En effet, le Chott Tinsilt abrite 8 petites espèces (19,04%) contre 5 espèces (27,77%) à Ezzemoul. Toutefois, les espèces de grande taille sont au nombre de 7 espèces (16,66%) à Tinsilt et de 3 espèces (16,66%) à Ezzemoul (Fig. 20).

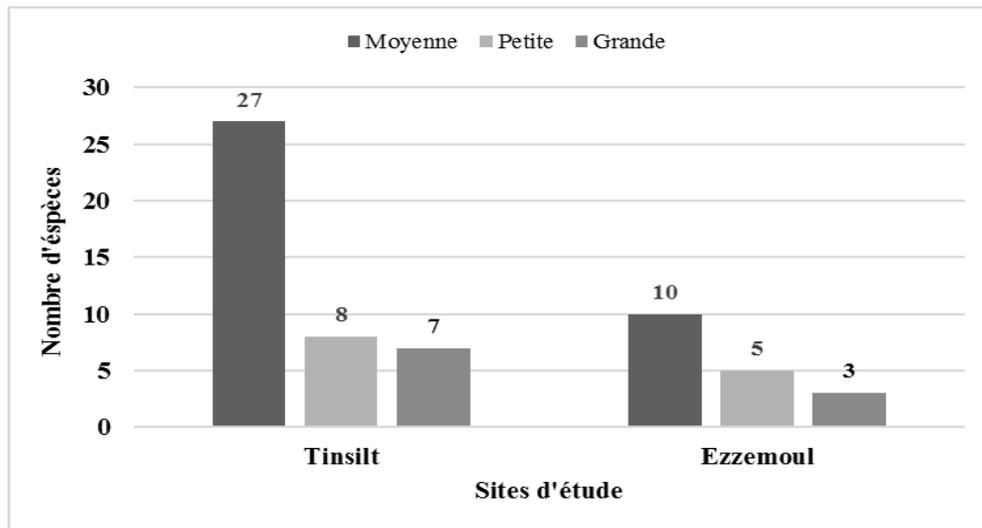


Figure 20. Tailles des espèces capturées au niveau des deux sites, Chott Tinsilt et Sebkhia Ezzemoul.

4.2. Statuts trophiques

Les zoophages sont majoritaires dans les deux lacs, soit 26 espèces (61,90%) à Tinsilt et 13 espèces (72,22%) à Ezzemoul du total de chaque site. Le nombre des polyphages est de 10 espèces (23,80%) à Tinsilt et 3 espèces (16,66%) à Ezzemoul. Les phytophages viennent en dernière position avec 3 espèces (7,14%) à Tinsilt et 2 espèces (11,11%) à Ezzemoul (Fig. 21).

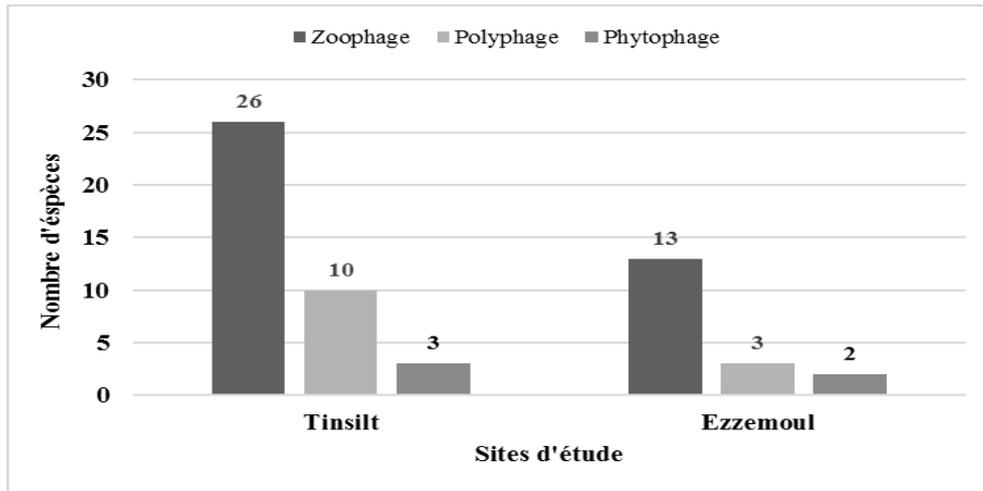


Figure 21. Statut trophique des espèces capturées au niveau des deux sites, Chott Tinsilt et Sebkha Ezzemoul.

4.3. Types alaires

Toutes les espèces capturées sont macroptères (ailes bien développées) dans les deux sites d'étude. À Tinsilt, hormis l'espèce *Sphodrus leucophthalmus* qui est brachyptère (ailes moins développées), les autres sont macroptères, soit 97,61% du total. La même observation est faite à Ezzemoul où une seule espèce (*Megacephala euphratica*) a fait l'exception, en étant brachyptère (Fig. 22).

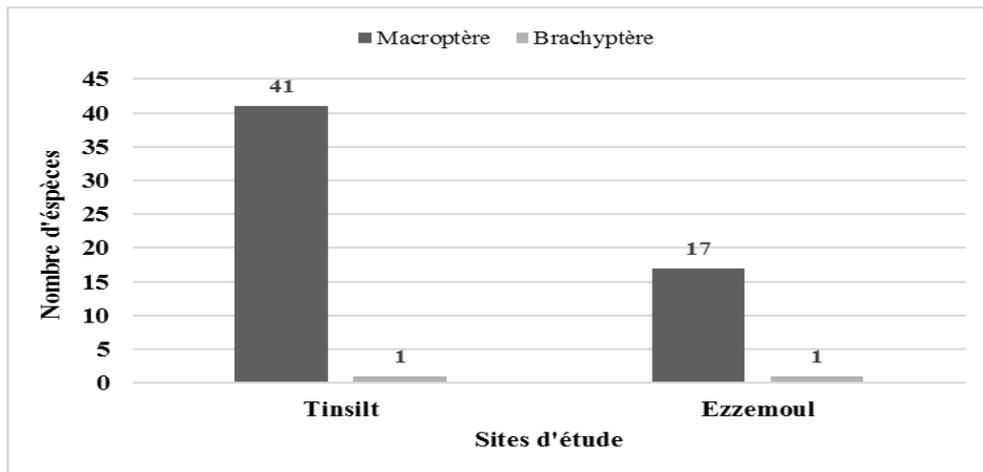


Figure 22. Types alaires des espèces capturées au niveau des deux sites, Chott Tinsilt et Sebkha Ezzemoul.

4.4. Affinité à l'humidité

Les espèces hygrophiles dominent l'assemblage carabique dans les deux sites d'étude, soit 22 espèces (52,38%) à Tinsilt, et 11 espèces (61,11%) à Ezzemoul. Les espèces xérophiles viennent en deuxième position, soit 14 espèces (33,33%) à Tinsilt, et 5 espèces (27,77%) à Ezzemoul. Enfin, les espèces mésophiles sont représentées par 2 espèces (4,76%) à Tinsilt, et une seule espèce (5,55%) à Ezzemoul (Fig. 23).

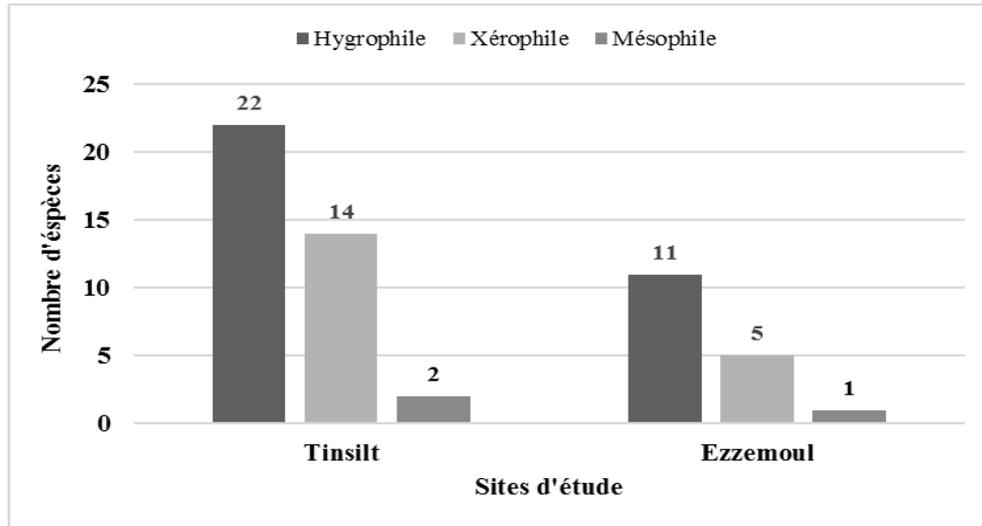


Figure 23. Affinités à l'humidité des espèces capturées au niveau des deux sites, Chott Tinsilt et Sebkha Ezzemoul.

4.5. Appartenance biogéographique

La zone d'étude abrite 15 types biogéographiques (Annexe 5). Les types méditerranéens sont au nombre de 8 et sont représentés par 30 espèces (66,66% d'espèces totales) : Afro – Tropic – Méditerranéen (2,22%), Ouest Méditerranéen (26,66%), Méditerranéen (20%), Asiatique Centrale – Européen – Méditerranéen et Européo – Méditerranéen (4,44% chacun), Turanien – Européen – Méditerranéen (6,66%), Turanien – Méditerranéen et Nord Méditerranéen (2,22% chacun) (Tab. 12).

Les espèces Nord africaines sont représentées par deux types biogéographiques (11,11% d'espèces totales): Nord – Africain (6,66%) et Endémique du Nord – Africain (4,44%), ce dernier est représenté par deux espèces étant : *Harpalus lethierryi* (Harpalinae) et *Graphipterus exclamationis* (Lebiinae). Les espèces Paléarctiques sont au nombre de 2 espèces (4,44%), et les autres types: Turanien – Sud Européen, Ouest Paléarctique et Ibéro –

Maghrébin sont représentés par une seule espèce (2,22%) (Tab. 12). De surcroît, les espèces dont le type biogéographique reste indéfini sont de l'ordre de 4 espèces, soit 8% du total.

Tableau 12. Nombre d'espèces et pourcentage de chaque type biogéographique rencontré aux deux lacs salés, Chott Tinsilt et Sebkhia Ezzemoul.

Types biogéographiques	Nombre d'espèces	%
1- Endémique du Nord – Africain (ENA)	2	4,44
2- Nord – Africain (NA)	3	6,66
3- Afro – Tropique – Méditerranéen (ATM)	1	2,22
4- Ouest Méditerranéen (OM)	12	26,66
5- Méditerranéen (M)	9	20
6- Asiatique Centrale – Européen – Méditerranéen (ACEM)	2	4,44
7- Turanien – Européen – Méditerranéen (TEM)	3	6,66
8- Turanien – Méditerranéen (TM)	1	2,22
9- Turanien – Sud Européen (TSE)	1	2,22
10- Européen – Méditerranéen (EM)	2	4,44
11- Sud Européen (SE)	1	2,22
12- Nord Méditerranéen (NM)	1	2,22
13- Paléarctique (P)	2	4,44
14- Ouest Paléarctique (OP)	1	2,22
15- Ibéro – Maghrébin (IM)	1	2,22
1-Indéfinis	4	8,88

5. Dynamique des carabidés et effets des facteurs environnementaux

5.1. Variation spatiotemporelle de l’abondance et de la richesse spécifique

Le modèle testé prend les stations et les mois comme effets fixes et les quadrats (Q) et les pièges (P) comme effets aléatoires: Modèle1 = lme (N ou S ~ station + mois, random = 1 | Q / P) ou bien Modèle2 = glmer (N ou S ~ station + mois + (1 | Q) + (1 | P), family = poisson, (Link = log), data = data).

5.1.1. Chott Tinsilt

Le GLMM a révélé que la variation spatiotemporelle de l’abondance et la richesse spécifique des carabidés dans le Chott Tinsilt est hautement significative entre les deux stations, où ces 2 paramètres décroissent significativement ($t_{(N)} = - 11,27$, $t_{(S)} = - 20$, $P < 0,001$) dans la station T2. Selon les mois, le GLMM indique que l’abondance connaît une hausse statistiquement significative durant les mois de Décembre ($P = 0,03$), Juin ($P < 0,001$), Juillet ($P < 0,001$) et Novembre ($P < 0,001$) par rapport à l’intercept qui inclut le mois d’Août. Cependant, le même test montre que la richesse spécifique est en hausse statistiquement significative au cours de tous les mois ($P < 0,05$), à l’exception des mois suivants : Février, Janvier, Juillet et Septembre (Tab. 13).

Tableau 13. Modèle linéaire mixte et généralisé (GLMM) testant la variation spatiotemporelle de l’abondance (N) et de la richesse spécifique (S) des carabidés, Chott Tinsilt.

Variables	DF	N				S			
		Value	SE	t-value	P-value	Value	SE	t-value	P-value
Intercept	2196	0,59	0,170	3,50	<0,001	0,3	0,045	6,71	<0,001
Station T2	2196	-0,93	0,082	-11,27	<0,001	-0,47	0,023	-20,00	<0,001
Avril	2196	0,28	0,203	1,41	0,158	0,26	0,057	4,5	<0,001
Décembre	2196	0,43	0,203	2,15	0,031	0,28	0,057	4,95	<0,001
Février	2196	0,08	0,203	0,41	0,681	0,09	0,057	1,62	0,105
Janvier	2196	-0,07	0,203	-0,35	0,719	-0,03	0,057	-0,54	0,588
Juin	2196	0,80	0,203	3,97	<0,001	0,13	0,057	2,34	0,019
Juillet	2196	0,92	0,203	4,56	<0,001	0,07	0,057	1,35	0,176
Mai	2196	0,15	0,203	0,76	0,441	0,15	0,057	2,7	0,006
Mars	2196	0,33	0,203	1,66	0,095	0,29	0,057	5,13	<0,001
Novembre	2196	0,99	0,203	4,89	<0,001	0,7	0,057	12,25	<0,001
Octobre	2196	0,32	0,203	1,61	0,106	0,17	0,057	2,97	0,003
Septembre	2196	-0,01	0,203	-0,05	0,959	0,02	0,057	0,36	0,718

5.1.2. Sebkha Ezzemoul

Le GLMM a montré que la variation spatiotemporelle de l’abondance et de la richesse spécifique des carabidés dans la Sebkha Ezzemoul est hautement significative entre les deux stations où l’abondance et la richesse des carabidés décroissent significativement ($t_{(N)} = - 5,59$, $t_{(S)} = - 5,76$, $P < 0,001$) dans la station E2. Selon les mois, le GLMM montre que l’abondance connaît une hausse statistiquement significative durant les mois de Juin ($P < 0,001$), Mai ($P < 0,001$) et Novembre ($P = 0,023$) par rapport à l’intercept qui inclut le mois d’Août. Toutefois, la richesse a eu sa hausse significative au cours des mois suivants : Décembre ($P = 0,024$), Juin ($P = 0,011$), Mai ($P = 0,001$), et Novembre ($P = 0,005$) (Tab. 14).

Tableau 14. Modèle linéaire mixte et généralisé (GLMM) testant la variation spatiotemporelle de l’abondance (N) et de la richesse spécifique (S) des carabidés, Sebkha Ezzemoul.

Variables	DF	N				S			
		Value	SE	t-value	P-value	Estimate	SE	z-value	P-value
Intercept	2196	0,068	0,031	2,13	0,032	-3,604	0,544	-6,61	< 0,001
Station E2	2196	0,094	0,016	-5,59	<0,001	-1,237	0,214	-5,76	< 0,001
Avril	2196	0,062	0,041	1,50	0,131	0,815	0,591	1,37	0,167
Décembre	2196	0,072	0,041	1,75	0,078	1,258	0,557	2,25	0,024
Février	2196	0,015	0,041	0,37	0,706	0,563	0,616	0,91	0,360
Janvier	2196	0,026	0,041	0,62	0,529	0,565	0,616	0,91	0,359
Juin	2196	0,140	0,041	3,39	<0,001	1,396	0,550	2,53	0,011
Juillet	2196	0,026	0,041	0,62	0,529	0,565	0,616	0,91	0,359
Mai	2196	0,187	0,041	4,52	<0,001	1,709	0,534	3,19	0,001
Mars	2196	0,005	0,041	0,125	0,900	0,005	0,695	0,08	0,993
Novembre	2196	0,093	0,041	2,26	0,023	1,508	0,543	2,77	0,005
Octobre	2196	0,015	0,041	0,37	0,706	0,564	0,616	0,91	0,360
Septembre	2196	0,005	0,041	0,12	0,900	0,227	0,659	0,34	0,730

5.2. Effet des facteurs édaphiques et de la végétation sur l’abondance et la richesse spécifique des carabidés

Le modèle statistique testé prend les facteurs environnementaux comme effets fixes et les quadrats (Q) et les pièges (P) comme effets aléatoires: Modèle1 = lme (N ou S ~ pH + H + MO + Con + CV, random = 1 | Q / P) ou bien Modèle2 = glmer (N ou S ~ pH + H + MO + Con + CV + (1 | Q) + (1 | P), family = poisson, (Link = log), data = data).

5.2.1. Chott Tinsilt

Le test statistique a montré que les deux facteurs conductivité électrique ($t = -2,69, P = 0,007$) et humidité du sol ($t = -2,59, P = 0,010$) avaient un effet significatif négatif sur l'abondance des carabidés. En revanche, le couvert végétal influence positivement l'abondance des Carabidae ($t = 12,14, P < 0,001$). Mis à part le pH de la solution du sol, tous les facteurs environnementaux considérés dans la présente étude, avaient un effet significatif positif sur la variation de la richesse spécifique observée (S) du peuplement carabique au niveau de chaque pot (Tab. 15).

Tableau 15. Modèle linéaire mixte et généralisé (GLMM) testant l'effet des facteurs environnementaux sur l'abondance (N) et la richesse spécifique (S) des carabidés, Chott Tinsilt.

Facteurs environnementaux	DF	Nombre d'individus (N)				Richesse spécifique (S)			
		Value	SE	t-value	P-value	Value	SE	t-value	P-value
Intercept	2302	-0,961	1,157	-0,83	0,406	-0,396	0,348	-1,13	0,255
pH	2302	0,127	0,143	0,89	0,374	0,016	0,043	0,37	0,704
Conductivité électrique [ms/cm]	2302	-0,029	0,011	-2,69	0,007	0,010	0,003	3,08	0,002
Humidité [%]	2302	-0,015	0,006	-2,58	0,010	0,007	0,002	4,18	<0,001
Matière organique [%]	2302	0,137	0,091	1,51	0,131	0,074	0,027	2,74	0,006
Recouvrement végétal [%]	2302	0,021	0,002	12,14	<0,001	0,007	0,001	13,36	<0,001

5.2.2. Sebkhia Ezzemoul

Vu que la matrice obtenue pour cette station contient beaucoup de zéros (zero inflation data), nous avons recouru au package « lme4 » avec la distribution de Poisson. Selon le test GLMM, les deux facteurs conductivité électrique ($z = 2,82, P = 0,004$) et le taux recouvrement ($z = 4,58, P < 0,001$) avaient un effet significatif positif sur l'abondance des carabidés. Les mêmes deux facteurs avaient aussi un effet significatif positif sur la richesse spécifique; soit $z = 3,10, P = 0,001$ pour la conductivité, $z = 2,47, P = 0,01$ pour le taux de recouvrement (Tab. 16).

Tableau 16. Modèle linéaire mixte et généralisé (GLMM) testant l'effet des facteurs environnementaux sur l'abondance (N) et la richesse spécifique (S) des carabidés, Sebkhia Ezzemoul.

Facteurs environnementaux	DF	Nombre d'individus (N)				Richesse spécifique (S)			
		Estimate	SE	z-value	P-value	Estimate	SE	z-value	P-value
Intercept	2302	-7,333	2,020	-3,63	<0,001	-7,415	2,354	-3,14	0,001
pH	2302	0,428	0,224	1,90	0,053	0,376	0,262	1,43	0,150
Conductivité électrique [ms/cm]	2302	0,059	0,020	2,82	0,004	0,072	0,023	3,10	0,001
Humidité [%]	2302	-0,004	0,010	-0,43	0,665	-0,003	0,012	-0,30	0,757
Matière organique [%]	2302	0,033	0,337	0,09	0,921	0,289	0,391	0,73	0,46
Recouvrement végétal [%]	2302	0,016	0,003	4,58	<0,001	0,010	0,004	2,47	0,01

5.3. Effet des facteurs climatiques

5.3.1. Chott Tinsilt

Les résultats ont montré que les deux facteurs température ($t = 2,75$, $P = 0,005$) et précipitation ($t = 2,63$, $P = 0,008$) avaient un effet significatif positif sur l'abondance des carabidés. L'effet de la température était significativement négatif sur la richesse spécifique du peuplement carabique ($t = -2,95$, $P = 0,003$), de même, l'effet de la précipitation était significatif, mais positif, sur la richesse des carabidés ($t = 3,14$, $P = 0,001$) (Tab. 17). Dans ce cas, les effets fixes sont les deux facteurs climatiques, les effets aléatoires sont les quadrats et les pièges.

Tableau 17. Modèle linéaire mixte et généralisé (GLMM) testant l'effet des facteurs climatiques sur l'abondance (N) et la richesse spécifique (S) des carabidés, Chott Tinsilt.

Facteurs climatiques	DF	Nombre d'individus (N)				Richesse spécifique (S)			
		Value	SE	t-value	P-value	Value	SE	t-value	P-value
Intercept	2302	0,073	0,159	0,46	0,642	0,293	0,045	6,46	<0,001
Température [°C]	2302	0,016	0,006	2,75	0,005	-0,005	0,001	-2,95	0,003
Précipitation [mm]	2302	0,009	0,003	2,63	0,008	0,010	0,001	3,14	0,001

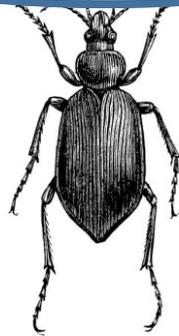
5.3.2. Sebkha Ezzemoul

Les résultats ont montré que les deux facteurs température ($z = 2,42, P = 0,015$) et précipitation ($z = 2,81, P = 0,004$) ont un effet significatif positif sur l'abondance des carabidés. En revanche, l'effet de la température ($z = 0,79, P = 0,428$) et de la précipitation ($z = 1,88, P = 0,059$) n'est pas significatif sur la richesse spécifique (Tab. 18). Dans ce cas, les effets fixes sont les deux facteurs climatiques, les effets aléatoires sont les quadrats et les pièges.

Tableau 18. Modèle linéaire mixte et généralisé (GLMM) testant l'effet des facteurs climatiques sur l'abondance (N) et la richesse spécifique (S) des carabidés, Sebkha Ezzemoul.

Facteurs climatiques	DF	Nombre d'individus (N)				Richesse spécifique (S)			
		Estimate	SE	z-value	P-value	Estimate	SE	z-value	P-value
Intercept	2302	-3,539	0,364	-9,71	<0,001	-3.508	0,378	-9,26	<0,001
Température [°C]	2302	0,026	0,010	2,42	0,015	0.010	0,012	0,79	0,428
Précipitation [mm]	2302	0,018	0,006	2,81	0,004	0.014	0,007	1,8	0,059

*Chapitre 4. Discussion
générale*



1. Réflexion sur la méthodologie

Dans la présente étude, seuls les pots Barber ont été utilisés pour capturer les carabidés. Le nombre de pots était relativement élevé, soit 48 pots / station, répartis selon un design bien précis. D'après les courbes de raréfaction et les valeurs de l'estimateur non paramétrique Chao1, les pots installés ont permis d'obtenir une richesse spécifique suffisante pour supposer une asymptote pour les deux stations T2 et E2. En revanche, l'asymptote n'est pas bien marquée pour les deux autres stations (T1 et E1). Donc, un effort d'échantillonnage supplémentaire est nécessaire et consolideraient davantage les données obtenues, afin d'établir un inventaire d'espèces assez complet, autrement dit, rencontrer toutes les espèces rares attendues.

Il est bien évident que lorsque l'effort d'échantillonnage augmente, la probabilité de rencontrer de nouvelles espèces augmente également (Colwell, 2013). Beaucoup sont les études qui ont discuté l'efficacité des pièges d'interception dans l'échantillonnage. Effectivement, plusieurs caractéristiques pourraient influencer le pouvoir de capture: (i) l'effet de la végétation environnante et la position du piège (Ward & Ward, 2001), (ii) l'effet du microclimat et du climat (Mitchell, 1963 ; Chenchouni *et al.*, 2015), (iii) l'influence du liquide utilisé comme agent pour tuer et conserver les spécimens (Jud & Schmidt-Entling, 2008) et (iv) les densités des peuplements et le patron d'activité des espèces collectées (Mitchell, 1963). Il a été rapporté par Csaszar *et al.* (2018) que les pièges couverts par un toit capturent plus efficacement les carabidés, surtout ceux de grande taille ou qui volent bien. Dans le présent cas, les pièges n'étaient pas couverts, vu leur nombre élevé, ce qui expliquerait en partie la différence entre la richesse spécifique empirique et la richesse spécifique estimée dans les deux stations T1 et E1.

D'un autre côté, en dépit de la large utilisation de la méthode des pots Barber, celle des pièges lumineux a prouvé son efficacité vis-à-vis de la capture des coléoptères carabiques (Liu *et al.*, 2007). Mais, vu que la zone d'étude est loin, l'utilisation de tout autre dispositif expérimental était quasi impossible, par conséquent, le recours aux pièges enterrés était le seul choix disponible et pratique.

2. Caractérisation des sites étudiés en fonction des variables mesurées

Dans toute étude biocénotique, une caractérisation du biotope s'impose. Soumise à un climat semi-aride (Cf. Chapitre Matériel et méthodes), dans sa globalité, le sol de la région se caractérise par : (i) un pH alcalin (7,90 - 8,20) (Pansu & Gautheyrou, 2006), (ii) un faible taux

de matière organique (1,17% - 1,65%) (Duchaufour, 1977), (iii) un sol extrêmement salé (Mathieux & Pieltain, 2003), avec une valeur de conductivité électrique moyenne égale à $7,04 \pm 3,20$ mS/cm, (iv) des textures fines entre argileuse à T1 et E1, et limoneuse à T2 et E2, (v) une humidité du sol variant sensiblement d'une station à une autre, avec 19% à T1, 21% à E1 11% à T2 et 8% à E2. Le taux de recouvrement fluctue entre 50 et 53% à T1 et E1, contre 11% à T2 et E2.

3. Inventaire et composition

Bien qu'elle soit riche en zones humides, la littérature révèle peu d'études sur les carabidés des milieux salés de l'Afrique du Nord. L'échantillonnage de ce groupe d'insectes effectué le long d'une année (2016-2017) dans la zone d'étude (Chott Tinsilt et Sebkha Ezzemoul) a signalé la présence de 45 espèces, réparties sur 26 genres et 12 sous familles, s'opposant à l'hypothèse (1), selon laquelle la richesse spécifique serait faible voire médiocre à cause de la grande salinité.

La différence entre les deux lacs est très substantielle. En effet, à Tinsilt, les individus capturés appartiennent à 12 sous familles, 24 genres et 42 espèces, alors qu'à Ezzemoul, les carabidés récoltés appartiennent à 9 sous familles, 14 genres et 18 espèces. La grande différence de la composition de la communauté carabique est aussi observée entre les stations du même site : 41 espèces à T1, 7 espèces à T2, 14 espèces à E1, et 8 espèces à E2.

En dépit du caractère commun entre ces deux écosystèmes, en tant que zones humides salées situées dans l'étage bioclimatique semi-aride, la différence observée pourrait être attribuée à maints facteurs, comme la composante végétale et la présence intermittente ou permanente de l'eau. Effectivement, le lac Tinsilt est dominé par *Atriplex halimus* et *Salsola vermiculata*, tandis que le lac Ezzemoul est colonisé par les espèces végétales: *Juncus maritimus*, *Salicornia arabica*, et *Sueda fructicosa*. Une forte association a été déjà observée par Yunhui *et al.* (2015) entre les changements dans la composition de la communauté carabique et celle des espèces végétales et confirmée par Teofilova et Kodzhabashev (2015). Cependant, quelle que soit la composition floristique, les plantes fournissent directement et simultanément l'abri et la nourriture aux herbivores, et indirectement des proies aux prédateurs (Tsafack *et al.*, 2019). Ce rythme d'eau (permanent ou intermittent) qui a certainement un effet sur le degré de salinité de la masse d'eau pourraient aussi expliquer cette différence dans la composition de la faune carabique. Tinsilt s'avère un lac salé temporaire généralement séché, mais Ezzemoul est

un lac salé permanent. Foster et Treherne (1976) rapportent que les inondations et la salinité sont les deux facteurs majeurs qui affectent les insectes colonisant les marais salés.

Au cours de l'étude, il a été remarqué que la Sebkha Ezzemoul est beaucoup plus exposée aux inondations récurrentes, engendrant une perte partielle de l'information. Des valeurs proches sont signalées par Boukli Hacene *et al.* (2011) dans un marais salé de l'embouchure de la Tafna à l'Ouest Algérien avec 42 espèces et Zanella et Scarton (2017) dans des marais salés d'îles draguées de Venice en Italie avec 46 espèces. En revanche, Andujare *et al.* (2001) ont signalé une richesse de 105 espèces dans le marais salé de Cordovilla en Espagne, et 8 espèces par Boukli et Hassaine (2009) dans la Sebkha d'Oran à l'Ouest Algérien. Ces différences pourraient être attribuées au type de la zone humide (marine ou continentale), le climat qui y règne, la technique d'échantillonnage adoptée et surtout l'effort de celui-ci.

D'un autre côté, au même titre que Andujare *et al.* (2001) et Matallah *et al.* (2016), la sous famille des Harpalinae s'avère la plus riche en espèces dans les deux lacs étudiés. Il paraît que cette sous famille est numériquement la plus riche en espèces parmi les Carabidae, atteignant les 19 000 espèces (Lorenz, 2005). En plus, elle est liée à des cultures très perturbées, et pourrait trouver un habitat convenable dans les habitats agricoles anthropiques (Andersen, 2000), ce qui est le cas des deux sites d'étude qui sont apparemment perturbés par les activités de l'Homme.

4. Evaluation de la diversité

En terme d'abondance et de richesse spécifique, la différence est bien marquée entre les sites et les stations (T1, T2, E1 et E2). Le Chott Tinsilt (1121 individus) est plus abondant et plus speciose (42 espèces) que la Sebkha Ezzemoul (173 individus, 18 espèces). À l'échelle stationnelle, les stations T1 et E1 abritent plus d'individus et d'espèces avec respectivement 41 et 14 espèces *vs.* les deux autres stations T2 et E2, avec 7 espèces pour chacune. Cette observation va à l'encontre de ce qui a été attendu au départ (hypothèse 2) sur la grande ressemblance qui existerait entre les deux sites, étant donné leur nature salée et leur proximité. Cette différence pourrait revenir aux : (i) facteurs édaphiques tels que le pH, la conductivité électrique (ou salinité), l'humidité du sol, la matière organique, la texture, (ii) facteurs biotiques à savoir le couvert végétal qui caractérise chaque station, (iii) et même au facteur perturbation, notamment anthropique.

En effet, les deux stations T1 et E1, étant les plus riches en espèces et les plus abondantes, sont caractérisées par un couvert végétal plus important (T1 = $50 \pm 34,50\%$, E1 = $53 \pm 38,36\%$), une

humidité du sol plus élevée ($T1 = 19 \pm 7,74\%$, $E1 = 21 \pm 0,13\%$) et un taux de matière organique plus important ($T1 = 1,37 \pm 0,41\%$, $E1 = 1,65 \pm 0,28\%$). Cependant, dans les deux autres stations (T2 et E2), dont la richesse spécifique et l'abondance sont relativement très faibles, les valeurs de ces facteurs sont plus faibles et sont les suivantes : couvert végétal ($T2 = 11 \pm 0\%$, $E2 = 11 \pm 14,88\%$), humidité du sol ($T2 = 11 \pm 7\%$, $E2 = 8 \pm 0,04\%$), taux de matière organique ($T2 = 1,17 \pm 0\%$, $E2 = 1,22 \pm 0\%$). En outre, la texture du sol des stations, bien qu'elle soit fine, elle est de type argileux dans les stations T1 et E1 et limoneux dans les stations T2 et E2.

D'après Magura *et al.* (2001), les habitats ayant un couvert végétal dense sont caractérisés par une richesse spécifique plus importante en carabidés, c'est pourquoi, il est considéré comme le facteur-clé dans la distribution de cette communauté (Teofilova, 2018). Ajoutons à cela, le couvert végétal contribuerait à l'établissement du peuplement carabique, en lui fournissant un espace de vie et en modifiant le microclimat, créant ainsi un microenvironnement hétérogène et stratifié, permettant l'installation de différentes espèces (Rahman *et al.*, 2015). Et comme, le dépôt des œufs et le développement larvaire s'effectuent dans le sol (Kamenova, 2013), l'humidité représente un autre facteur-clé de distribution (Descender *et al.*, 1984; Kagawa & Maeto, 2014; Teofilova, 2018). Il en est de même pour l'effet du taux de matière organique (Magura *et al.*, 2003).

D'un autre côté, la texture du sol influence l'assemblage des Carabidae (Boivin & Hance, 2003), et est considérée parmi les facteurs déterminants dans leur distribution (Teofilova, 2018). Ils sont plus abondants dans le sol argileux que le sol sableux (Dajoz, 2002), subissant particulièrement l'effet du contenu en argile (Holopainen *et al.*, 1995). Cette caractéristique est bien liée à la capacité de rétention de l'humidité, d'où le pouvoir attractif sur les insectes fuyant les sols secs, quoi qu'ils soient bien aérés. Le résultat du présent travail prétend que les Carabidae préfèrent le sol argileux. Toutefois, dans des champs de cultures arables, Viric Gasparic *et al.* (2017) ont montré que les carabidés préfèrent les sols légèrement acides contenant une grande quantité de limon fin et une faible proportion d'argile.

Si on prenait les stations T1 et E1, la différence est grande, aussi bien en terme d'individus qu'en terme d'espèces, bien qu'elles aient toutes les deux les mêmes caractéristiques édaphiques et la même densité du couvert végétal. Étant donné que les zones humides sont dans une situation préoccupante, et dans une trajectoire défavorable (De Sartiges & Fromont, 2013), le facteur perturbation expliquerait mieux cette différence. Foncièrement, l'hypothèse de la perturbation croissante suggère que la richesse des espèces diminue avec l'augmentation du

niveau de modification/perturbation (Gray, 1989). Le même résultat a été trouvé par Bettacchioli *et al.* (2012) dans une zone humide en Italie. Les résultats obtenus dans le présent cas, confirment ces observations. Justement, la Sebkhia Ezzemoul, à la différence du Chott Tinsilt, souffre plus d'une surexploitation de l'Homme, suite au surpâturage et à l'extraction du sel de table. Une usine est installée depuis de longues années près de la station E1 (Fig. 24). Byers *et al.* (2000) ont montré que le pâturage a un effet négatif sur plusieurs espèces de carabidés, dont la plupart était plus répandue dans les zones de biomasse élevée non pâturée, alors que l'effet négatif de l'urbanisation a été signalé par Magura *et al.* (2007).

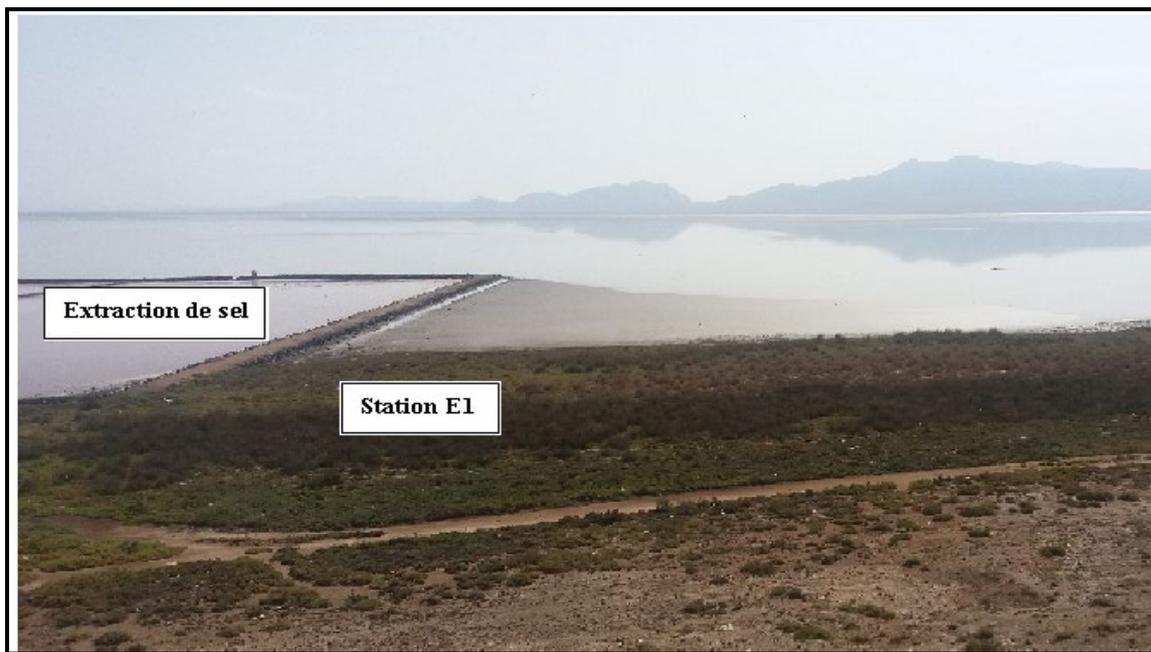


Figure 24. Photo montrant l'activité anthropogénique (extraction de sel) exercée au niveau de la Sebkhia Ezzemoul (Cliché Amri, 2017).

Sur la base de la fréquence des sous familles, dans le Chott Tinsilt, la sous famille Brachininae est la plus abondante en individus, bien qu'elle soit représentée uniquement par deux espèces appartenant au même genre : *Brachinus sclopeta* et *B. plagiatus*. Ce résultat pourrait être associé à la présence constante de l'humidité dans le sol, conséquence des inondations en eaux usées subies par la station et à leur double caractère, en tant qu'hygrophile et halophile. Ceci dit, le milieu est devenu propice pour leur reproduction et l'augmentation de leur population. En revanche, dans la Sebkhia Ezzemoul, la sous famille Cicindelinae s'avère la plus abondante. Cette observation corrobore celle enregistrée par Matallah *et al.* (2016) à Dayet El Ferd, où cette sous famille prédomine en nombre d'individus. Pourtant, Daoudi *et al.* (2017) signalent la sous famille Trechinae, comme étant la plus riche aux abords d'Oued Ait Aissa au Maroc. Ce

qui est important à noter est que la plupart des espèces sont faiblement représentées en termes d'individus, autrement dit, elles sont accidentelles ou très accidentelles. Ce résultat pourrait être associé à l'indisponibilité ou l'insuffisance de la nourriture dans ces biotopes intermittents, engendrant un effet compétitif entre les espèces, d'où l'apparition de tels modèles de distribution.

Il a été d'ailleurs rapporté par Baguette (1992) que les compétitions inter et intra- spécifiques, la prédation et le parasitisme régulent la distribution spatiale et temporelle des espèces et la structure des communautés. Les mêmes observations ont été soulevées par Soldati (2000), Boukli Hacene *et al.* (2011) et Matallah *et al.* (2016).

En se basant sur les valeurs de l'indice de Shannon, indice de Simpson et l'équitabilité, il y a une variation spatiotemporelle de l'assemblage carabique bien marquée dans les deux sites étudiés. En général, l'indice de Shannon dans le Chott Tinsilt ($H' = 2,18$) est plus élevé que dans la Sebkha Ezzemoul ($H' = 2,08$) ; car le nombre d'espèces est plus élevé à Tinsilt (42 espèces) qu'à la Sebkha (18 espèces). En revanche, le peuplement est plus équilibré à la Sebkha Ezzemoul ($E = 0,72$) qu'au Chott Tinsilt ($E = 0,58$), vue qu'à Tinsilt, les deux espèces *Brachinus sclopeta* ($RA = 39,79\%$) et *Chlaenius chrysocephalus* ($RA = 19,09\%$) dominent le peuplement. En plus, l'indice de diversité de Simpson ne présente pas une grande différence entre les deux sites, il est égal à 0,78 à Tinsilt et 0,82 à Ezzemoul; car cet indice ne tient pas compte des espèces rares, et au niveau du Chott la quasi-totalité d'espèces (39 espèces) a une abondance relative ne dépassant pas 8%.

La variation spatiale de ces indices reviendrait à l'hétérogénéité spatiale, autrement dit, les caractéristiques stationnelles, particulièrement les facteurs édaphiques et le couvert végétal. Toutefois, la variation temporelle pourrait être imputable à deux causes essentielles : (i) les facteurs climatiques (température et précipitation) et (ii) la période de reproduction (printemps ou automne). Effectivement, au niveau du Chott Tinsilt, le mois d'Avril est le plus diversifié correspondant à une température de 11°C et une pluviosité de 23,37 mm, alors que le mois de Janvier est le moins diversifié avec une température de $4,54^{\circ}\text{C}$ et une pluviosité de 25,78 mm. Il en est de même pour le mois de Juillet, qui avec une température de $34,79^{\circ}\text{C}$ et des précipitations de 6,64 mm, s'est vu le moins équilibré avec $E = 0,40$.

Au niveau de la Sebkha Ezzemoul, le mois de Novembre représente le mois le plus diversifié avec une $T^{\circ} = 11,04^{\circ}\text{C}$ et une pluviosité de 35,55 mm, tandis que le mois de Juin est le moins diversifié et correspond à une $T^{\circ} = 25,2^{\circ}\text{C}$ et une pluviosité de 24,9 mm. La même situation se répète pour le mois de Mai, le moins équilibré avec une $T^{\circ} = 20,8^{\circ}\text{C}$ et une précipitation de

l'ordre de 3,36 mm. Globalement, les facteurs climatiques peuvent, en partie, expliquer la variation de la diversité alpha (Xiao-Dong *et al.*, 2016). Il semble bien qu'une température et une humidité ambiantes sont les deux facteurs abiotiques essentiels ayant un impact sur la structure des carabidés (Rainio & Niemelä, 2003), plus que les facteurs biotiques (Soberón, 2010). Pour tous les organismes, la température peut déterminer la richesse en espèces par son effet sur la cinétique biochimique du métabolisme (Sanders *et al.*, 2007). Dans le groupe étudié, elle influence le vol, la vitesse de digestion, la fécondité et la survie des larves (Thiele, 1977 ; Lövei & Sunderland, 1996).

Il en est de même pour l'influence des précipitations, puisqu'elles affectent positivement la diversité végétale et conséquemment la structure des carabidés (Yan *et al.*, 2015). De surcroît, à l'échelle spatiale, dans des agroécosystèmes appartenant à l'étage bioclimatique semi-aride de l'Est Algérien, Souach *et al.* (2014) ont constaté qu'il y'a une variation spatiale des indices de diversité, avec une variation temporelle enregistrée exclusivement dans un verger de cerises.

La période de reproduction est un attribut vital important car elle varie selon les espèces. Effectivement, certaines espèces à reproduction printanière (spring breeders) commencent leur période d'activité (stade adulte) dès le début du printemps, vers le mois de Mars, puis le développement larvaire s'effectue durant l'été et l'automne, et l'hivernation a donc lieu au stade adulte (Duchazabeneix Labruyere, 2016). Ces données correspondent à celles rencontrées au Chott Tinsilt, où la diversité commence à augmenter le mois de Mars et devient maximale en mois d'Avril, ce qui traduit que la majorité des espèces dans ce site seraient des espèces spring breeders (Fig. 25).

En contrepartie, d'autres espèces sont à reproduction automnale (autumn breeders), les adultes sont actifs en automne, ce qui correspond aux données collectées dans la Sebkhia Ezzemoul, où la diversité atteint son maximum en mois de Novembre. Ainsi les larves hivernent puis poursuivent leur développement au printemps et les adultes émergent durant l'été (Duchazabeneix Labruyere, 2016). Par analogie, on peut indirectement constater que la majorité d'espèces dans ce site seraient des espèces « autumn breeders » (Fig. 26).

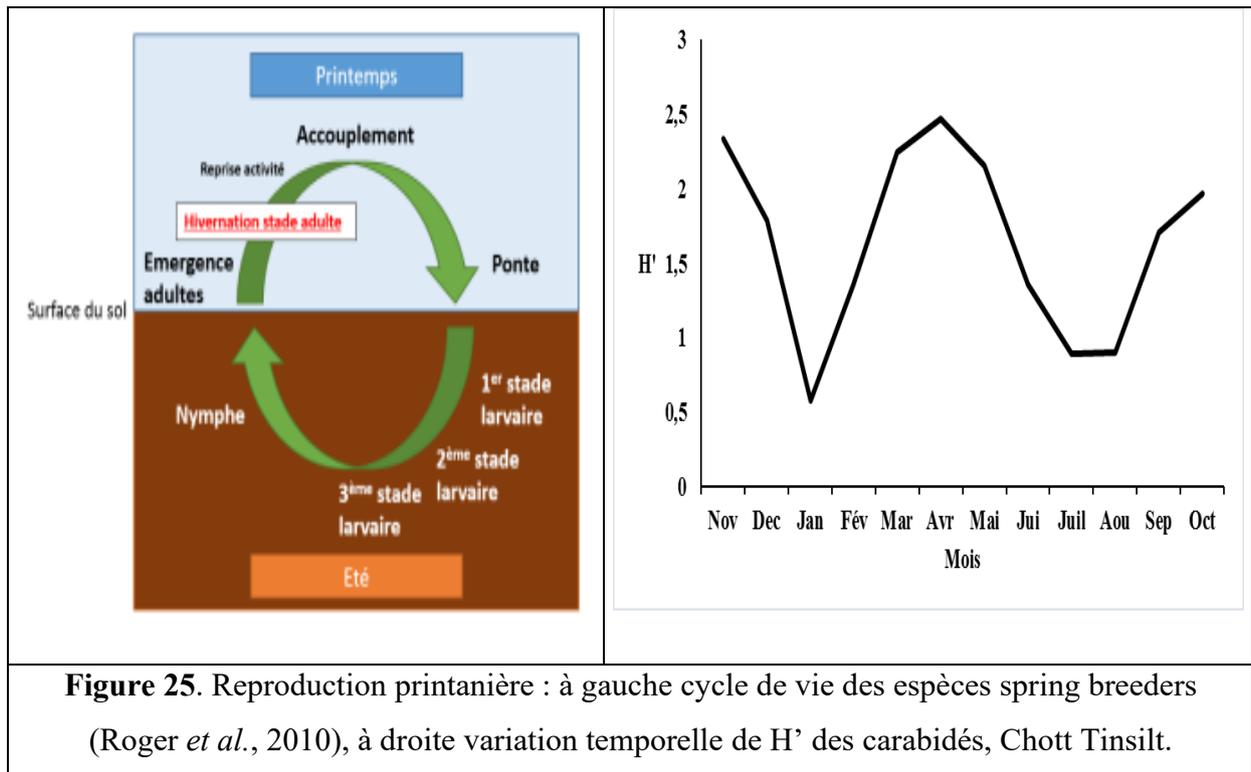


Figure 25. Reproduction printanière : à gauche cycle de vie des espèces spring breeders (Roger *et al.*, 2010), à droite variation temporelle de H' des carabidés, Chott Tinsilt.

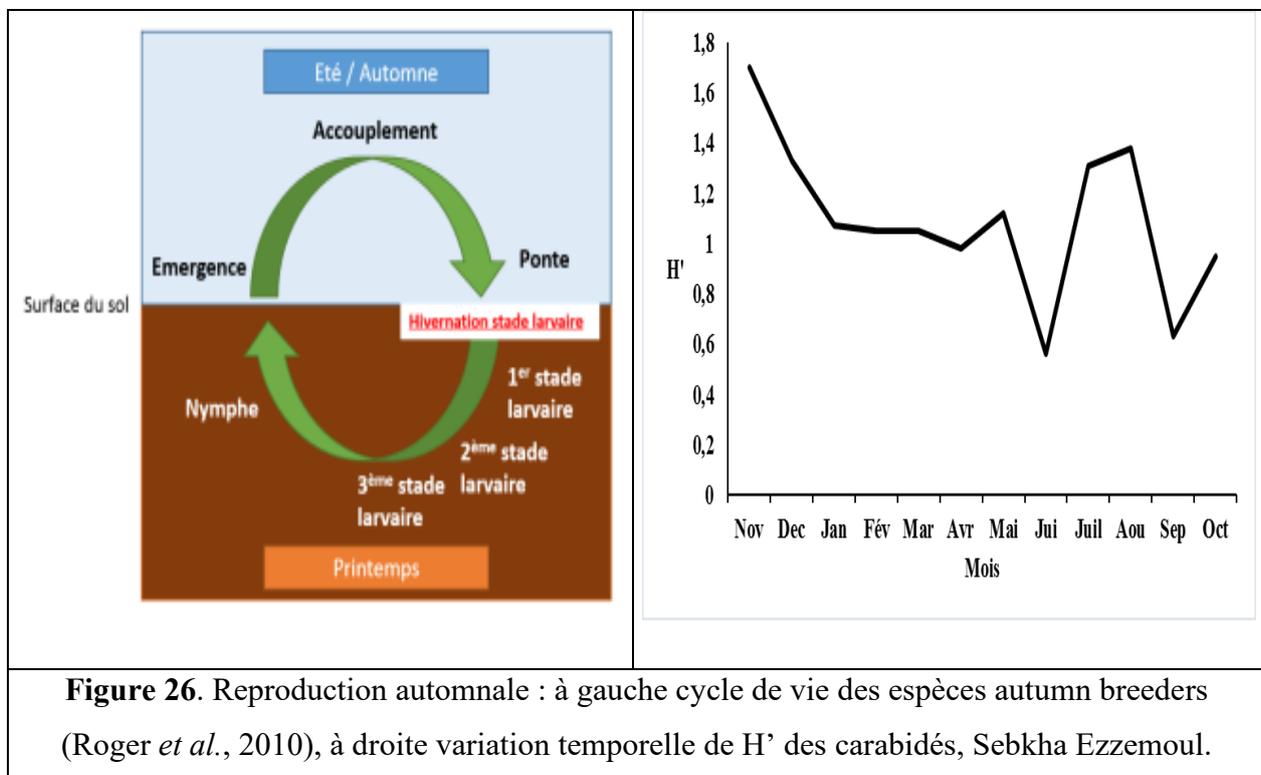


Figure 26. Reproduction automnale : à gauche cycle de vie des espèces autumn breeders (Roger *et al.*, 2010), à droite variation temporelle de H' des carabidés, Sebkha Ezzemoul.

La diversité bêta analysée par les indices de similarités, quantitatives et qualitatives, et les diagrammes de Venn tracés, ont exprimé une très faible similitude entre les deux sites (Chott Tinsilt et Sebkhah Ezzemoul) et entre les stations (T1, T2, E1 et E2). Conséquemment, dans l'ensemble, les stations ont des compositions carabidofaunistiques très différentes. Le calcul des mêmes indices de similarité a révélé une variation importante de leurs valeurs dans le temps. Cette énorme dissemblance serait attribuable principalement à la structure et à la composition carabiques inféodées aux stations échantillonnées, discutées préalablement dans les sections précédentes.

L'identification des espèces bioindicatrices d'un milieu bien déterminé représente une clé majeure pour pouvoir mesurer la qualité de ces milieux, facilitant leur protection de toute dégradation et danger menaçant leur dynamique de fonctionnement (Conti, 2017). Ainsi, l'analyse des espèces bioindicatrices (ISA) via le calcul de IndVal nous a permis de caractériser les sites échantillonnés à travers les caractéristiques des espèces bioindicatrices.

Dans le Chott Tinsilt, les espèces ayant des IndVal significatifs sont: *Brachinus sclopeta*, *Brachinus plagiatus*, *Harpalus lethierryi*, *Chlaenius chrysocephalus*, *Amara metallescens* et *Harpalus tenebrosus*. Les quatre premières espèces préfèrent les milieux humides, alors que les deux dernières préfèrent les habitats ouverts (Antoine, 1955-1962). Cela traduit une certaine variabilité dans les conditions microclimatiques (la structure du sol, la disponibilité des nutriments, etc.) du Chott.

Dans la Sebkhah, les quatre espèces qui ont des IndVal significatifs sont : *Cicindela maura*, *Disticus planus*, *Megacephala euphratica* et *Licinus punctatus*. Les deux premières espèces préfèrent l'humidité, la troisième préfère les milieux salés, et la quatrième habite les milieux ouverts et arides (Antoine, 1955-1962). Ces données prouvent que la Sebkhah fournit un habitat avec des conditions microclimatiques plus variables que celles fournies par le Chott.

5. Analyse des traits fonctionnels

Prenant comme critère la taille de l'individu, la catégorie "taille moyenne" (9 - 15 mm), prédomine dans la communauté étudiée, soit 64,28% à Tinsilt et 55,55% à Ezzemoul. La littérature avance que la taille des carabidés est toujours liée à l'état du milieu stable ou perturbé (Gray, 1989; Magura *et al*, 2006). Ainsi, l'hypothèse de Szyszko (1983) stipulant que les perturbations conduisent à des assemblages carabiques caractérisés par des espèces de petite taille est confirmé, sachant que cette caractéristique morphologique renseigne sur la

quantité des ressources disponibles (Lovei & Magura, 2006). Par conséquent, les interactions compétitives empêchent la co-occurrence des espèces de tailles trop similaires, limitant conséquemment la richesse spécifique des assemblages (Chungu *et al.*, 2017).

Etant donné que la plupart des espèces récoltées ont tendance à être petites, il se pourrait que le facteur perturbation, particulièrement d'origine anthropogénique soit présent et exerce sa pression sur la communauté. Par ailleurs, Blake *et al.* (1994) avancent que la taille des espèces est en rapport avec la quantité de la matière organique contenue dans le sol. Cette explication pourrait être projetée sur le cas présent où la teneur de la matière organique a enregistré des valeurs faibles, inférieures à 2%, caractéristique des milieux halins.

Bien que les informations disponibles dans notre étude ne permettent pas d'aborder la relation entre la taille des espèces et la richesse spécifique, un constat sur la disponibilité de la nourriture peut être tiré. Les deux lacs salés n'offrent pas suffisamment de niches trophiques, ce qui donne naissance à une nouvelle piste à explorer.

Quoique les carabidés préfèrent majoritairement la marche au vol pour se déplacer (Roume, 2011), presque toutes les espèces inventoriées dans les sites d'étude sont macroptères, soit 97,61% à Tinsilt et 94,44% à Ezzemoul. La faible proportion des brachyptères, bien sensibles à l'instabilité du milieu (Gobbi & Fontaneto, 2008) appuie le constat précédent, reflétant un état de déséquilibre des deux sites, qui est provoqué soit par l'écosystème lui-même; cas des inondations, soit par les activités humaines.

Quant au spectre trophique, dans l'ensemble, les deux lacs sont dominés par les espèces zoophages; soit 61,90% à Tinsilt et 72,22% à Ezzemoul. Selon la littérature, les prédateurs sont plus sensibles aux modifications des habitats que les phytophages et les omnivores. Selon Gobbi et Fontaneto (2008), les biotopes avec un haut niveau de perturbation, surtout anthropogénique, ont une proportion faible en prédateurs stricts. Dans le présent cas, la modalité prise en compte est celle des zoophages, autrement dit, les mangeurs de chairs d'animaux, qui selon Zhavoronkova (1969) sont des prédateurs stricts. Cette explication va dans le sens inverse de ce qui a été précédemment avancé sur la perturbation. Cette dernière touche principalement la capacité de dispersion et la taille des espèces carabiques (Lambeets *et al.*, 2009). Dans notre cas, il se pourrait qu'elle n'ait pas encore touché cet attribut vital qu'est le statut trophique.

Bien que, selon le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls pour la période d'étude (2016/2017), la saison sèche soit longue et s'étende de la mi-Février jusqu'à la fin

d'Octobre, les espèces rencontrées dans les sites d'étude sont dominées par les espèces hygrophiles, soit 52,38% au Chott et 61,11% à la Sebka. Ces proportions pourraient être expliquées par le fait que la végétation dominante est de type vivace, gardant en permanence sa verdure. Par conséquent, elle forme un abri naturel efficace pour retenir l'humidité et faciliter l'installation des espèces hygrophiles.

La théorie des modèles d'habitats (habitat templet theory) suggère que les traits d'histoire de vie sont très liés aux caractéristiques des habitats (Southwood, 1988), et l'occurrence des espèces dans certains biotopes est déterminée par l'assortiment et la convenance de leurs traits et les caractéristiques de ceux-ci (Ribera *et al.*, 2001). Globalement, notre résultat est en accord avec les principes de cette théorie. En effet, les différents traits étudiés informent bel et bien sur la qualité de la zone étudiée, qui subit une pression et une perturbation anthropogéniques considérables, ce qui exige une intervention dans l'immediat afin de protéger les réservoirs biologiques inféodés à ces écosystèmes.

Dans notre collection, les espèces halophiles sont au nombre de neuf espèces et sont les suivantes: *Cicindela lunulata*, *Amara rufipes*, *Amara metallescens*, *Dicheirotichus obsoletus*, *Harpalus oblitus*, *Harpalus punctatostriatus*, *Chlaenius spoliatus*, *Pogonus chalceus*, *Brachinus plagiatus*, soit 20% du total. Ce résultat contredit l'hypothèse (1), qui a stipulé que la plupart des espèces seraient halophiles, et montre que ces écosystèmes, bien qu'ils soient salés, peuvent héberger des espèces autres que les halophiles. D'un autre côté, ça confirme que les carabidés possèdent une large valence écologique, pouvant supporter les différentes variations de l'environnement. Autrement dit, ils peuvent développer une euryoecie, d'où leur large distribution. Cette propriété de large intervalle de tolérance vis-à-vis des variations environnementales serait associée à la grande diversité de traits vitaux, ce qui leur confère une adaptation à des milieux variés (Lövei & Sunderland, 1996 ; Dajoz, 2002).

Un spectre biogéographique hétérogène a été établi au cours de la période d'étude avec la présence de 15 types biogéographiques dominés par l'élément méditerranéen (66,66%). Ces catégories biogéographiques reflètent le pouvoir de dispersion et de colonisation des espèces, ainsi que leur large adaptation à des conditions climatiques plus ou moins fluctuantes, notamment la température et la pluviométrie, puisqu' à grande échelle, ce sont les deux facteurs les plus considérés, pour déterminer la position de la faune carabique (Andujar *et al.*, 2001). En outre, la présence de cette grande variété d'éléments zoogéographiques informe sur la diversité dans les conditions physiographiques qu'offrent les particularités des habitats dans la zone d'étude.

6. Etude des variations spatiotemporelles et effets des facteurs environnementaux

Des tests statistiques GLMM ont été exploités pour voir si les variations spatiotemporelles et les effets des facteurs étudiés (facteurs édaphiques, facteurs climatiques et couvert végétal) sont statistiquement significatifs sur l'abondance et la richesse spécifique. Les résultats sont presque semblables dans les deux lacs.

L'effet des variations spatiotemporelles est prouvé statistiquement, ce qui confirme l'énoncé de l'hypothèse (3). Ça nous informe sur l'effet du type d'habitat sur l'assemblage carabique. En effet, il est très connu que le type d'habitat peut influencer fortement l'abondance des carabidés (Clark *et al.*, 1997), ainsi que la richesse spécifique locale (Tews *et al.*, 2004). Les mêmes résultats ont été rapportés par Hiramatsu et Usio (2018) qui ont étudié l'effet de quatre types d'habitats sur l'abondance des carabidés.

À Ezzemoul, seul le facteur édaphique « conductivité » a un effet significatif sur l'abondance, alors qu'à Tinsilt s'ajoute l'humidité du sol. L'absence de l'effet significatif de l'humidité du sol à Ezzemoul pourrait être expliquée par le niveau d'humidité très proche entre les échantillons pris/quadrat. Quant à la richesse spécifique, si à Ezzemoul, elle a été affectée uniquement par la conductivité électrique, à Tinsilt, elle a subi le triple effet de la conductivité, l'humidité et le taux de la matière organique.

Le facteur pH n'avait aucun effet, ni sur l'abondance, ni sur la richesse spécifique du peuplement dans les deux sites d'étude. Cette indifférence des carabidés vis-à-vis ce facteur, s'expliquerait par le fait que ce paramètre fluctue dans la fourchette alcaline caractérisant les milieux salins, oscillant entre 7,90 et 8,20 pour toute la zone d'étude.

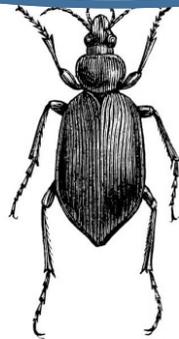
Le facteur biotique pris en compte dans le présent travail étant le taux de recouvrement végétal, avait un effet significatif sur l'abondance et la richesse spécifique aussi bien à Tinsilt qu'à Ezzemoul. Ce résultat corrobore bel et bien ce qui a été rapporté par la littérature sur la relation bien marquée entre les communautés carabiques et la végétation en général, et le couvert végétal en particulier.

En ce qui concerne les facteurs climatiques, dans les deux sites, l'effet significatif de la température et des précipitations sur l'abondance des carabidés est démontré. Toutefois, pour la richesse spécifique, l'effet était hautement significatif à Tinsilt, mais non significatif à Ezzemoul. Cette dernière observation peut être attribuée à la perte des espèces résultant des inondations répétées au niveau de la Sebkha, ce qui a biaisé les résultats obtenus via le test statistique. Tsafack *et al.* (2019) ont montré que les prédicteurs climatiques (température,

précipitations et humidité) ont des effets positifs sur la richesse en espèces de carabidés aux niveaux régionaux et écosystémiques, avec des différences entre les écosystèmes.

Dans l'ensemble, ces résultats infirment en partie l'hypothèse (4) qui supposerait que les facteurs abiotiques expliqueraient mieux les variations que les facteurs biotiques. En effet, les deux facteurs : taux de recouvrement et salinité étaient les seuls facteurs qui avaient un effet significatif, en même temps, sur l'abondance et la richesse spécifique dans les deux sites d'étude. Toutefois, ces mêmes résultats confirment que la salinité figure parmi les facteurs abiotiques les plus influençant, justement, c'est ce qui a supposé la deuxième partie de l'hypothèse (4).

*Conclusion générale et
perspectives*



Les deux lacs salés, Chott Tinsilt et Sebkha Ezzemoul qui ont fait l'objet de cette étude, représentent des écosystèmes très particuliers, étant donné que ce sont des zones humides Ramsar, situées dans l'étage bioclimatique semi-aride. L'étude de la communauté carabique, qui est un groupe taxonomique important numériquement et écologiquement, dans les conditions locales de ce type d'écosystèmes, semble être très bénéfique quant à la littérature liée à ce groupe d'insectes.

Pendant une année d'étude, allant de Novembre 2016 à Octobre 2017, un inventaire systématique de deux lacs salés et quatre stations (2 stations / lac), par la méthode des pots Barber a permis de collecter 1294 individus, répartis inégalement sur 12 sous familles, 26 genres et 45 espèces. Notre analyse a mis en évidence que les communautés de Carabidae ont des compositions différentes entre les deux lacs avec dominance des espèces de la sous famille des Harpalinae, qui représentent 31,11% du total d'espèces récoltées. Ainsi, il a été constaté que les carabidés sont très sensibles à la dynamique spatiale du paysage et aux particularités des habitats. Dans l'ensemble, l'effort d'échantillonnage accompli était insuffisant, plus particulièrement dans la station T1 et la station E1. Cet effort pourrait être intensifié dans les futures études par (i) l'utilisation d'autres méthodes d'échantillonnage, tels que les pièges lumineux, (ii) l'augmentation du nombre de stations d'étude afin d'améliorer la qualité de l'échantillonnage spatial, (iii) l'augmentation du rythme d'échantillonnage ; par exemple réaliser des sorties hebdomadaires au lieu de les effectuer tous les 15 jours, et enfin (iv) observer une cyclicité dans les observations durant 2 ou 3 années successives.

L'analyse de deux niveaux de diversité, à savoir la diversité alpha et la diversité bêta, a révélé qu'il y a une différence bien marquée en termes d'abondance et de richesse spécifique entre les sites et les stations. En effet, le Chott Tinsilt et la station T1 représentent respectivement le site et la station les plus abondants en individus et les plus riches en espèces. Aussi, une variation spatiotemporelle importante des paramètres de la biodiversité est observée. En général, l'assemblage carabique du Chott Tinsilt est le plus riche en espèces ($S = 42$; $H' = 2,18$ et $E = 0,58$), alors qu'à la Sebkha Ezzemoul, il est plus équilibré ($S = 18$; $H' = 2,08$ et $E = 0,72$) et donc le plus diversifié.

Les indices de similarité calculés montrent une très faible similarité et confirment, une fois de plus, la différence entre les assemblages carabiques inter-sites et inter-stations.

L'analyse des espèces bioindicatrices (ISA) indique que les deux lacs salés fournissent une certaine variabilité des conditions microclimatiques. Notre étude a mis en exergue la biodiversité taxonomique spatiotemporelle de ce groupe d'insectes, toutefois, il serait intéressant d'approfondir notre compréhension de tous les types de la biodiversité, afin d'ouvrir de nouvelles pistes d'investigation. Par voie de conséquence, les prochaines études devraient se focaliser beaucoup plus sur la diversité fonctionnelle qui compléterait l'étude de la diversité taxonomique et éluciderait mieux l'impact des activités humaines sur les milieux, ainsi que les relations établies avec les différents habitats.

Concernant les traits d'histoire de vie, les espèces dominantes dans les deux lacs sont des espèces macroptères, de taille moyenne, zoophages et hygrophiles. Ces résultats permettent d'attribuer le statut de milieux perturbés, traduisant des conditions sévères à savoir, l'indisponibilité de la nourriture.

Bien que la plupart des traits soit abordé, l'approfondissement de cette partie est requis, car d'autres attributs vitaux, très importants, ont été omis au cours de la présente étude, comme le rythme d'activité et le mode de reproduction, qui semblent très variables en fonction des habitats. En sus, la relation entre certains traits fonctionnels, tels que la taille des espèces, et la richesse spécifique des milieux doit être mise en relief.

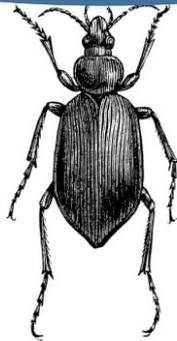
Parmi les trois types de facteurs environnementaux étudiés (facteurs édaphiques, facteurs climatiques et facteurs biotiques), le couvert végétal et la conductivité s'avèrent les plus importants, influençant significativement et simultanément l'abondance et la richesse spécifique de la communauté carabique dans toute la zone. Quoique la dimension abiotique soit bien développée dans la présente étude, la dimension fonctionnelle, autrement dit la mesure des relations que les espèces entretiennent avec leurs ressources et les autres espèces, constituerait une nouvelle piste d'investigation.

En effet, cette recherche a projeté la lumière sur l'importance des autres facteurs biotiques, cas de la compétition, qui jouerait vraisemblablement un rôle crucial, vu que ces écosystèmes se caractérisent par l'indisponibilité de la nourriture et la présence d'espèces ayant la même taille.

De surcroît, l'effet du couvert végétal sur cette communauté dans les conditions locales de ces écosystèmes, exige d'élargir le champs d'exploration de ce facteur, et ce, par l'étude d'autres paramètres ayant une relation avec ce facteur, entre autre, tester une hypothèse selon laquelle : la diversité végétale pourrait avoir un effet significatif aussi bien sur la diversité taxonomique que la diversité fonctionnelle de la carabidofaune dans les zones humides salées.

L'importante biodiversité des carabidés rencontrée dans ces lacs, exige de protéger ce type d'écosystèmes, vraisemblablement en danger, à cause de la pression anthropique, parfois irréversible (surpâturage, pollution, pêche), qui affecte leur stabilité. En plus, leur situation préoccupante exhorte une prise de conscience et une mise en action d'une politique locale sérieuse vis-à-vis de l'utilisation des zones humides, car leur statut en tant que zone Ramsar, ne les a pas mis à l'abri des traitements irrationnels.

*Références
bibliographiques*



-A-

- Andersen J (2000). What is the origin of the carabid beetle fauna of dry, anthropogenic habitats in Western Europe? *Journal of Biogeography* 27: 795-806.
- Andujar C, Andujar T, Lencina JL, Ruano L, Serrano J (2001). Los Carabidae (Insecta, Coleoptera) del saladar de Cordovilla (Albaceta). *Sabuco* 2: 121-166.
- Antoine M (1955). Coléoptère carabiques du Maroc, *Zoologie* 1. 1^{ère} ed. Paris, France: LaRose.
- Antoine M (1957). Coléoptères carabiques du Maroc, *Zoologie* 2. 1^{ère} ed. Paris, France: LaRose.
- Antoine M (1959). Coléoptères carabiques du Maroc, *Zoologie* 3. 1^{ère} ed. Paris, France: LaRose.
- Antoine M (1961). Coléoptère carabiques du Maroc, *Zoologie* 4. 1^{ère} ed. Paris, France: LaRose.
- Antoine M (1962). Coléoptère carabiques du Maroc, *Zoologie* 5. 1^{ère} ed. Paris, France: LaRose.
- Aubert G (1976). Les sols sodiques en Afrique du Nord. *Annuaire de l'I.N.A El Harrach*, Volume VI. Alger, Algérie: I.N.A El Harrach.
- Avgin SS, Luff ML (2010). Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators of human impact. *Munis Entomology & Zoology* 5: 209-215.
- Aviron S, Burel F, Baudry J, Schermann N (2005). Carabid assemblages in agricultural landscapes: impacts of habitat features, landscape context at different spatial scales and farming intensity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 108: 205-217.

-B-

- Baguette M (1992). Sélection de l'habitat des Carabidae en milieu forestier. Thèse de Doctorat. Université de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgique.
- Ball GE, Bousquet Y (2001). CARABIDAE Latreille. In Arnett R, Thomas M (editors). *American Beetles*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 32-132.
- Baselga A (2017). Partitioning abundance-based multiple-site dissimilarity into components: balanced variation in abundance and abundance gradients. *Methods in Ecology and Evolution* 8 : 799-808.
- Bedel L (1895). *Catalogue raisonné des coléoptères du Nord de l'Afrique (Maroc, Algérie, Tunisie, Tripolitaine) avec notes sur les îles de Canaries*. 1^{ère} ed. Paris, France: Nabu Press.
- Belhadid Z, Aberkane F, Gahdeb C (2014). Variability of ground beetle (Coleoptera–Carabidae) assemblages in Atlas Cedar of Algeria. *International Journal of Zoology* 4 (3): 71-78.

- Benhassine Gherzouli C (2013). Anthropisation et dynamique des zones humides dans le nord-est algérien: Apport des études palynologiques pour une gestion conservatoire. Thèse de Doctorat. Université Toulouse 2 le Mirail, Toulouse, France.
- Bettacchioli G, Taormina M, Bernini F, Migliorini M (2012). Disturbance regimes in a wetland remnant: implications for trait displacements and shifts in the assemblage structure of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae). *Journal of insect conservation* 16: 249-261.
- Bezzalla A, Houhamdi M, Chenchouni H (2019a). Vegetation analysis of Chott Tinsilt and Sebket Ezzemoul (two Ramsar sites in Algeria) in relation to soil properties. In Chenchouni H (editor). *Exploring the nexus of geoecology, geography, geoarcheology and geotourism*. 1^{ère} ed. Switzerland: Springer Nature, pp. 39-42.
- Bezzalla A, Houhamdi M, Maazi MC, Chenchouni H (2019b). Modelling climate influences on population dynamics and diurnal time-budget of the Shelduck (*Tadorna tadorna*) wintering in Ramsar wetlands of Algeria. *Avian Biology Research* 12 (2): 1-19.
- Bigot L, Bodot P (1973). Contribution à l'étude biocénotique de la garrigue à *Quercus coccifera* –Composition biotique du peuplement des invertébrés. *Vie et Milieu* 23: 229-249.
- Blake S, Foster G, Eyre M, Luff M (1994). Effects of habitat type and grassland management-practices on the body-size distribution of carabid beetles. *Pedobiologia* 38: 502-512.
- Boetzl F, Krimmer E, Krauss J, Steffan-Dewenter I (2019). Agri-environmental schemes promote ground-dwelling predators in adjacent oilseed rape fields: Diversity, species traits and distance-decay functions. *Journal of applied ecology* 56: 10-20.
- Boivin G, Hance T (2003). Ground beetle assemblages in cultivated organic soil and adjacent habitats: temporal dynamics of microspatial changes. *Pedobiologia* 47: 193-202.
- Bonneau M, Souchier B (1994). *Constituants et propriétés du sol*. 1^{ère} ed. Paris, France: Masson.
- Bouchard P, Bousquet Y, Davies AE, Alonso-Zarazaga MA, Lawrence JF, Lyal CHC, Newton AF, Reid CAM, Schmitt M, Slipinski SA et al. (2011). Family-group names in Coleoptera (Insecta). *ZooKeys* 88: 1-972.
- Boukli S, Hassaine K (2009). Bioécologie des peuplements de Coléoptères des milieux salés et humides de l'Ouest algérien. *Matériaux Orthoptériques et Entomocénotiques* 14: 103-109.
- Boukli Hacene S, Hassaine K, Ponel P (2011). Les peuplements des Coléoptères du marais salé de l'embouchure de la Tafna (Algérie). *Revue Écologie (Terre Vie)* 66: 1-15.

- Boulkhssaim M, Ouldjoui A, Boulahbel S (2016). Ecologie de la reproduction du tadorne de belon dans la région des zones humides d'Oum El Bouaghi. *Revue des BioRessources* 6 (2): 80-90.
- Byers RA, Barker GM, Davidson RL, Hoebeke ER, Sanderson MA (2000). Richness and Abundance of Carabidae and Staphylinidae (Coleoptera), in Northeastern Dairy Pastures Under Intensive Grazing. *The Great Lakes Entomologist* 33 (2): 81-105.

-C-

- Canfield RH (1941). Application of the line intercept methods in sampling range vegetation. *Journal of Forestry* 39: 384-388.
- Carabidae of the world. <http://www.carabidae.org>. Consulté le 20 Avril 2018.
- Chenchouni H (2010). Diagnostic écologique et évaluation du patrimoine biologique du Lac Ayata (La Vallée de l'Oued Righ: Sahara septentrional algérien). Thèse de Magister. Université de Ouargla, Ouargla, Algérie.
- Chenchouni H, Menasria T, Neffar S, Chafaa S, Bradai L, Chaibi R, Mekahlia MN, Bendjoudi D, Si Bachir A (2015). Spatiotemporal diversity, structure and trophic guilds of insect assemblages in a semi-arid Sabkha ecosystem. *PeerJ* 3 : e860.
- Chenchouni H (2017). Edaphic factors controlling the distribution of inland halophytes in an ephemeral salt lake "Sabkha ecosystem" at North African semi-arid lands. *Science of the Total Environment* 575: 660-671.
- Chungu D, Stadler J, Brandl R (2017). Converting forests to agriculture decreases body size of Carabid assemblages in Zambia. *African journal of ecology* 1-9.
- Clark MS, Gage SH, Spence JR (1997). Habitats and management associated with common ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in a Michigan agricultural landscape. *Environmental Entomology* 26 : 519-527.
- Cole LJ, Mc Cracken DI, Dennis P, Downie IS, Griffin AL, Foster GN, Murphy KJ, Waterhouse T (2002). Relationships between agricultural management and ecological groups of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) on Scottish farmland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93: 323-336.
- Colwell RK (2013). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. <http://purl.oclc.org/estimates>.
- Conti E (2017). Ecotoxicological Evaluation of *Parallelomorphus laevigatus* (Coleoptera, Carabidae) as a Useful Bioindicator of Soil Metal Pollution. *Advanced Techniques in Biology & Medicine* 5(3): 228-230.

-Csaszar P, Torma A, Gallé-Szpisjak N, Csba Tolgyesi C, Gallé R (2018). Efficiency of pitfall traps with funnels and/or roofs in capturing ground-dwelling arthropods. *European Journal of Entomology* 115: 15-24.

-D-

-Dajoz R (2002). Les coléoptères carabidés et tenebrionides. *Ecologie et biologie*. 1^{ère} ed. Paris, France : Tec & Doc.

-Daoudi L, Chavanon G, Taybi AF, Mabrouki Y (2017). Contribution to the knowledge of riparian Coleoptera of Ait Aissa wadi region of Beni Tadjite-Talsint "Eastern Morocco". *Journal of Materials and Environmental Science* 8: 2903-2915.

-De Bello F, Leps J, Sebastia MT (2007). Grazing effects on the species-area relationship : Variation along a climatic gradient in NE Spain. *Journal of Vegetation Science* 18: 25-34.

-De Cáceres M, Legendre P (2009). Associations between species and groups of sites: in indices and statistical inference. *Ecology* 90: 3566-3574.

-Den Boer PJ (1986). The present status of the competitive exclusion principle. *Trends in ecology and evolution* 1: 25-28.

-Den Boer PJ, Den Boer-Daanje W (1990). On life history tactics in carabid beetles: are there only spring and autumn breeders? In NE Storck (editor). *The role of ground beetles in ecological and environmental studies*. Intercept, Andover-Hampshire, pp. 247-258.

-Dennison DF, Hodkinson ID (1984). Structure of the predatory beetle community in a woodland soil ecosystem. V. Summary and conclusions. *Pedobiologia* 26: 171-177.

-De Sartiges B, Fromont N (2013). Les zones humides. *Les cahiers de l'eau CPIE* 8: 1-27.

-Descender K, Pollet M, Segers G (1984). Carabid beetle distribution along humidity-gradients in rivulet-associated grasslands (Coleoptera, Carabidae). *Biologisch Jaarboek Dodonaea* 52: 64-75.

-DGF (2004). Atlas IV des zones humides algériennes d'importance internationale. Direction Générale des Forêts. 1^{ère} ed. Alger, Algeria: Ed-Diwan.

-Digweed SC (1995). Digging out the "digging-in effect" of pitfall traps: influences of depletion and disturbance on catches of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Pedobiologia* 39: 561-576.

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

- Dufrêne M (1992). Bioécologie et Écologie des Communautés de Carabidae en Wallonie. Thèse de Doctorat, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgique.
- Dufrêne M, Legendre P (1997). Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67: 345-366.
- Du Chatenet G (1986). Guide des coléoptères d'Europe. 1^{ère} ed. Paris, France: Neuchatel.
- Duchaufour (1977). Pédologie et classification. Paris, France: Masson.
- Duchazabeneix Labruyere S (2016). Déterminants multi-échelles de la dynamique spatio-temporelle des coléoptères carabiques prédateurs de graines d'adventices. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, France.

-E-

- Erwin TL (1979). Thoughts on the evolutionary history of ground beetles: Hypothesis generated from comparative faunal analyses of lowland forest sites in temperate and tropical regions. In Erwin TL, Ball GE, Whitehead DR (editor). *Carabid Beetles : their Evolution, Natural History and Classification*. Junk, The Hague, pp. 539-592.
- Evans MEG, Forsythe TG (1984). A comparison of adaptation to running, pushing and burrowing in some adult Coleoptera: especially Carabidae. *Journal of Zoology* 202: 513 - 534.

-F-

- Field R, Hawkins BA, Cornell HV, Currie DJ, Diniz-Filho AJF, Guégan J-F, Kaufman DM, Kerr JT, Mittelbach GG, Oberdorff T et al (2009). Spatial species-richness gradients across scales: a meta-analysis. *Journal of Biogeography* 36: 132-147.
- Foster WA, Treherne JE (1976). Insects of marine saltmarshes: Problems and adaptations. In: Cheng L (editor) *Marine Insects*. North-Holland, pp. 5-42.
- Foucault A, Raoult JF (2001). Dictionnaire de Géologie. 5^{ème} ed. Paris, France : Dunod.
- Frei B, Guenay G, Bohan DA, Traugott M, Wallinger C (2019). Molecular analysis indicates high levels of carabid weed seed consumption in cereal fields across Central Europe. *Journal of pest science* 92: 935-942.
- Fustec E, Lefeuvre JC (2000). Fonctions et valeurs des zones humides. 1^{ère} ed. Paris, France : Dunod.

-G-

- Garcia-Suabita W, Pinzon J, Spence JR, Florian OPP (2019). Epiedaphic Ground Beetle (Carabidae) Diversity in Ecosystems Transformed by Plantations of *Eucalyptus pellita* in the Orinoco Region of Colombia. *Neotropical entomology* 1-16.
- Gerisch M (2011). Habitat disturbance and hydrological parameters determine the body size and reproductive strategy of alluvial ground beetles. *ZooKeys* 100: 353-370.
- Ghannem S, Khazri A, Sellami B, Boumaiza M (2016). Assessment of heavy metal contamination in soil and *Chlaenius (Chlaeniellus) olivieri* (Coleoptera, Carabidae) in the vicinity of a textile factory near Ras Jbel (Bizerte, Tunisia). *Environmental Earth Sciences* 75: 442-452.
- Gobbi M, Fontaneto D (2008). Biodiversity of ground beetles (Coleoptera : Carabidae) in different habitats of the Italian Po lowland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 127: 273-276.
- Gotelli NJ, Colwell, RK (2011). Estimating Species Richness. In: Magurran A, McGill B (editors). *Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment*. Oxford University Press, United Kingdom, pp. 39-54.
- Gotelli NJ, Chao A (2013). Measuring and estimating species richness, species diversity, and biotic similarity from sampling data. *Encyclopedia of Biodiversity* 5: 195-211.
- Gray JS (1989). Effects of environmental stress on species rich assemblages. *Biological Journal of Linnean Society* 37: 19-32.
- Greenslade PJM (1963). Daily rhythms of locomotory activity in some Carabidae (Coleoptera). *Entomologia Experimentalis et Applicata* 6: 171-180.
- Guillemain M, Loreau M, Daufresne T (1997). Relationships between the regional distribution of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) and the abundance of their potential prey. *Acta Oecologia* 18: 465-483.
- Gutierrez D, Menendez R, Mendez M (2004). Habitat based conservation priorities for carabid beetles within the Picos de Europa National Park, Northern Spain. *Biological Conservation* 115: 379-393.

-H-

- Hammer Ø, Haroer DAT, Rayen PD (2001). Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontol Electron* 4: 1-9. http://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue_01.
- Harimatsu S, Usio N (2018). Assemblages characteristics and habitatspecificity of carabid beetles in a jepnese Alpine-Subalpine zone. *Psyche* 1-15.
- Holland J, Luff M (2000). The effects of agricultural practices on Carabidae intemperate agroecosystems. *Integrated Pest Management Reviews* 5: 109-129.
- Holopainen JK, Bergmant T, Hautala EL, Oksanen J (1995). The ground beetle fauna (Coleoptera: Carabidae) in relation to soil properties and foliar fluoride content in spring cereals. *Pedobiologia* 39, 193-206.
- Houhamdi M, Hafid H, Seddik S, Maazi MC, Bouzegag A, Nouidjem Y, Bensaci T, Saheb M (2008). Hivernage des Grues cendrées *Grus grus* dans le complexe des zones humides des hautes plaines de l'Est algérien. *Aves* 45(2): 93-103.

-J-

- Jeannel R (1941). Faune des coléoptères carabiques de France, partie 1. 1^{ère} ed. Paris, France : Paul Lechevalier et fils.
- Jeannel R (1942). Faune des coléoptères carabiques de France, partie 2. 1^{ère} ed. Paris, France : Paul Lechevalier et fils.
- Jud P, Schmidt-Entling MH (2008). Fluid type, dilution, and bitter agent influence spider preservation in pitfall traps. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 129: 356-359.

-K-

- Kagawa Y, Maeto K (2014). Ground beetle Coleoptera: Carabidae assemblages associated with a satoyama landscape in Japan: the effects of soil moisture, weed height, and distance from woodlands. *Applied Entomology and Zoology* 49 (3): 429-436.
- Kamenova S (2013). Réseaux d'interactions, biodiversité et services éco-systémiques en milieu agricole : que nous apprennent les coléoptères carabiques ? Thèse de Doctorat, université de Poitiers, Poitier, France.
- Kharroub K, Gomri AM, Monteoliva-Sanchez M (2015). Diversity of Halophilic Archaea from Ezzemoul Sabkha in Algeria. *Óbuda University e-Bulletin* 5(1): 121-126.

- Kingsolver GK, Huey RB (2008). Size, temperature, and fitness: three rules. *Evolutionary Ecology Research* 10: 251-268.
- Kotze DJ, Brandmayr P, Casale A, Dauffy-Richard E, Dekoninck W, Koivula MJ, Lovei GL, Mossakowski D, Noordiik J, Paarmann W et al. (2011). Forty years of carabid beetle research in Europe – from taxonomy, biology, ecology and population studies to bioindication, habitat assessment and conservation. *ZooKeys* 100: 55-148.

-L-

- Lambeets K, Vandegehuchte ML, Maelfait JP, Bonte D (2008). Understanding the impact of flooding on trait-displacements and shifts in assemblage structure of predatory arthropods on river banks. *Journal of Animal Ecology* 77: 1162-1174.
- Lambeets K, Vandegehuchte ML, Maelfait JP, Bonte D (2009). Integrating environmental conditions and functional life-history traits for riparian arthropod conservation planning. *Biological Conservation* 142: 625-637.
- Laroche A, Larivière MC (2003). A natural history of the ground-beetles (Coleoptera: Carabidae) of America north of Mexico. 1^{ère} ed. Sofia, Bulgarie : Pensoft. Publisher.
- Larsen KJ, Work TT, Purrington FF (2003). Habitat use patterns by ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of northeastern Iowa. *Pedobiologia* 47: 288-299.
- Larsson, SG (1939). Entwicklungstypen und Entwicklungszeiten der danischen Carabiden. *Entomologische Meddelser* 20: 277-560.
- Lindroth CH (1974). Coleoptera, Carabidae. Handbooks for the Identification of British Insects. Royal Entomological Society of London 4 : 1-148.
- Lindroth, CH (1986). The Carabidae (Coleoptera) of Fennoscandia and Denmark. Fauna. *Entomologica Scandinavica* 15: 233-497.
- Liu Y, Axmacher JC, Li L, Wang C, Yu Z (2007). Ground beetle (Coleoptera: Carabidae) inventories: a comparison of light and pitfall trapping. *Bulletin of Entomological Research* 97: 577–583.
- Loreau M (1984). Les niches écologiques des Carabides en milieu forestier II. Composante trophique et organisation générale des niches. *Bulletin de la Classe des Sciences (Académie Royale de Belgique)* 70: 480-525.
- Loreau M (1990). The significance of intra- and interspecific competition in Carabid beetles. In Stork, NE (editor). *The Role of Ground Beetles in Ecological and Environmental studies*. Intercept, Andover-Hampshire, pp. 31-38.

- Lorenz W (2005). Systematic list of extant ground beetles of the world (Insecta Coleoptera "Geadephaga": Trachypachidae and Carabidae incl. Paussinae, Cicindelinae, Rhysodinae). 2^{ème} ed. Tutzing, Germany: W Lorenz.
- Lovei GL, Sunderland KD (1996). Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). Annual Review of Entomology 41: 231-256.
- Lovei GL, Magura T (2006). Body size changes in ground beetle assemblages - A reanalysis of Braun et al. (2004)'s data. Ecological Entomology 31 (5): 411-414.

-M-

- Magagula CN (2003). Changes in carabid beetle diversity within a fragmented agricultural landscape. African Journal of Ecology 41: 23-30.
- Magura T, Tothmeresz B, Molnar T (2001). Forest edge and diversity: carabids along forest-grassland transects. Biodiversity and Conservation 10: 287-300.
- Magura T, Tóthmérész B, Elek Z (2003). Diversity and composition of carabids during a forestry cycle. Biodiversity and Conservation 12: 73-85.
- Magura T, Tóthmérész B, Lovei GL (2006). Body size inequality of carabids along an urbanisation gradient. Basic and Applied Ecology 7: 472-482.
- Magura T, Hornung E, Tóthmérész B (2007). Changes of ground beetle and isopod assemblages along an urbanisation gradient in Hungary. In Tajovský K, Schlaghamerský J, Pižl V (editors). Contributions to Soil Zoology in Central Europe III. České Budějovice, pp.97-101.
- Magurran AE (2004). Measuring Biological Diversity. 1^{ère} ed. Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Mahloul S, Harrat A, Petit D (2016). Diversity of grasshoppers (Caelifera) recorded on the banks of a Ramsar listed temporary salt lake in Algeria. European Journal of Entomology 113: 158-172.
- Maman L, Vienne L (2010). Les zones humides, un patrimoine remarquable. Geosciences 12: 68-77.
- Matallah R, Abdellaoui-hassaine K, Ponel P, Boukli-hacene K (2016). Diversity of ground beetles (Coleoptera Carabidae) in the Ramsar wetland: Dayet El Ferd, Tlemcen, Algeria. Biodiversity Journal 7: 301-310.
- Mathieu C, Pieltain F (2003). Analyse chimique de sol: méthodes choisies. 1^{ère} ed. Paris, France: Tec & Doc.
- Menasria T, Aguilera M, Hocine H, Benammara L, Ayachi A, Si Bachir AK, Dekak A, Monteoliva-Sánchez M (2018). Diversity and bioprospecting of extremely halophilic

archaea isolated from Algerian arid and semi-arid wetland ecosystems for halophilic-active hydrolytic enzymes. *Microbiological Research* 207: 289-298.

- Mitchell B (1963). Ecology of two carabid beetles, *Bembidion lampros* (Herbst) and *Trechus quadristriatus* (Schrank). II. Studies on populations of adults in the field, with special reference to the technique of pitfall trapping. *Journal of Animal Ecology* 32: 377-392.
- Mullen K, O'Halloran J, Breen J, Giller P, Pithon J, Kelly T (2008). Distribution and composition of carabid beetle (Coleoptera, Carabidae) communities across the plantation forest cycle-implications for management. *Ecology management* 256: 624-632.
- Müller JK (1985). Konkurrenzvermeidung und Einnischung bei Carabiden (Coleoptera). *Zeitschrift für zoologische Systematik und Evolutionsforschung* 23: 299-314.

-N-

- Niemi JK (1997). Invertebrates and boreal forest management. *Conservation Biology* 11: 601-610.

-O-

- Oliveros JC (2015). Venny. An interactive tool for comparing lists with Venn's diagrams. <https://bioinfogp.cnb.csic.es/tools/venny/index.html>.
- Ouchtati N, Doumandji S, Brandmayr P (2012). Comparison of ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages in cultivated and natural steppe biotopes of the semi-arid region of Algeria. *African Entomology* 20: 134-143.
- Oudihat K (2011). *Ecologie et structure des Anatidés de la zone humide de Dayet El Ferd (Tlemcen)*. Thèse de Magister. Université Aboubekr Belkaid, Tlemcen, Algérie.

-P-

- Pansu M, Gautheyrou J (2006). *Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods*. Ed. Springer.
- Pétillon J, Georges A, Canard A, Lefeuvre J-C, Bakker JP, Ysnel F (2008). Influence of abiotic factors on spider and ground beetles communities in different salt-marsh systems. *Basic and Applied Ecology* 9:743-751.

-R-

- Rahman ML, Tarrant S, McCollin D, Ollerton J (2015). Vegetation cover and grasslands in the vicinity accelerate development of carabid beetle assemblages on restored landfill sites. *Zoology and Ecology* 25(4):347-354.
- Rainio J, Niemela J (2003). Ground beetles (Coleoptera : Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity and Conservation* 12: 487-506.
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.
- Ribera I, Dolédec S, Downie IS, Foster GN (2001). Effect of land disturbance and stress on species traits of ground beetle assemblages. *Ecology* 82(4) : 1112-1129.
- Roger JL, Jambon O, Boubier G (2010). Clé de détermination des carabidés : Paysages agricoles de la zone atelier d'Armorique. Rennes, France : Laboratoire INRA SAD Paysage et CNRS ECoBIO.
- Roubinet E, Birkhofer K, Malsher G, Staudacher K, Ekbom B, Traugott M, Jonsson M (2017). Diet of generalist predators reflects effects of cropping period and farming system on extra- and intraguild prey. *Ecological Applications* 27:1167–1177.
- Roume A (2011). Quelle est la contribution des milieux semi naturels à la diversité et à la répartition des assemblages de Carabidae circulants et hivernants dans un paysage rural tempéré ? Thèse de Doctorat, université de Toulouse, Toulouse, France.

-S-

- Sanders NJ, Lessard JP, Fitzpatrick MC, Dunn RR (2007). Temperature, but not productivity or geometry, predicts elevational diversity gradients in ants across spatial grains. *Global Ecology and Biogeography* 16: 640-649.
- Saouache Y, Doumandji S, Ouchtati N (2014). Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) assemblages in two agricultural landscapes in North-Eastern Algeria. *Ecologia Mediterranea* 40: 5-16.
- Serrano J, Lencina JL, Andújar A (2003). Distribution patterns of iberian Carabidae (Insecta, Coleoptera). *Graellsia*, 59: 129-153.
- Simon E, Harangi S, Baranyai E, Braun M, Fabian I, Mizser S, Nagya L, Tothmeresz B (2016). Distribution of toxic elements between biotic and abiotic components of terrestrial ecosystem along an urbanization gradient: soil, leaf litter and ground beetles. *Ecological indicators* 60: 258-264.

- Soberón J (2010). Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. *Ecography* 33: 159-167.
- Soldati F (2000). Étude des peuplements de coléoptères terricoles de quatre formations naturelles du Nord de la France. 1^{ère} ed. Paris, France: OPIE-LR.
- Southwood TRE (1988). Tactics, strategies and templets. *Oikos* 52: 3-18.
- Spake R, Barsoum N, Newton AC, Doncaster CP (2016). Drivers of the composition and diversity of carabid functional traits in UK coniferous plantations. *Forest ecology and management* 359: 300-308.
- Statzner B, Doledec S, Hugueny B (2004). Biological trait composition of European stream invertebrate communities: assessing the effects of various trait filter types. *Ecography* 27: 470-488.
- Stork NE (1990). The role of ground beetles in ecological and environmental studies. *Proceedings du 7^{ème} séminaire international des cerabidologue européens*. Intercept, Andover-Hampshire, pp. 424.
- Sunderland KD (2002). Invertebrate pest control by Carabids. In Holland JM (editor). *The Agroecology of Carabid Beetles*. Intercept, Andover, pp. 165 - 214.
- Symondson WO, Sunderland KD, Greenstone MH (2002). Can generalist predators be effective biocontrol agents? *Annual Review of Entomology* 47: 561-94.
- Szyszko J (1983). State of Carabidae (Col.) fauna in fresh pine forest and tentative valorisation of this environment. Warszawa, Pologne : Agric. univ. Press.

-T-

- Teofilova TM, Kodzhabashev ND (2015). Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) from the region of Cape Emine (central Bulgarian Black sea coast). Part III. Spatial distribution and gradient analysis. *ZooNotes* 78: 1-15.
- Teofilova TM (2018). Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in grasslands: Model for assessment of the species diversity and ecosystem condition in Bulgaria. *North-Western Journal of Zoology* 14 (1): 1-12.
- Tews J, Brose U, Grimm V, Tielborger K, Wichmann MC, Schwager M, Jeltsch F (2004). Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *Journal of Biogeography* 31: 79-92.
- Thiele HU (1977). *Carabid Beetles in their Environments*. 1^{ère} ed. Berlin, Germany: Springer.
- Thiele HU (1979). Relationships between annual and daily rhythms, climatic demands and habitat selection in carabid beetles. In Erwin TL, Ball GE, Whitehead DR (editors).

- Carabid beetles: Their evolution, natural history, and classification. W. Junk, The Hague, pp. 53-62.
- Tooley J, Brust G (2002). Weed seed predation by carabid beetles. In Holland JM (editor). The agroecology of carabid beetles. Intercept, Andover, pp. 215-229.
- Townsend CR, Doledec S, Scarsbrook MR (1997). Species traits in relation to temporal and spatial heterogeneity in streams: A test of habitat templet theory. *Freshwater Biology* 37: 367-387.
- Trautner J, Geigenmüller K (1987). Tiger beetles, Ground beetles. Illustrated Key to the Cicindelidae and Carabidae of Europe. 1^{ère} ed. Aichtal, Almage: Josef Margraf Publisher.
- Tsafack N, Rebaudo F, Wang H, Nagy DD, Xie Y Xinpu Wang X, Fattorini S (2019). Carabid community structure in northern China grassland ecosystems: Effects of local habitat on species richness, species composition and functional diversity. *PeerJ* 6: 1-26.
- Tseng M, Kaur KM, Pari SS, Sarai K, Chan D, Yao CH, Porto P, Toor A, Toor HS, Fograscher K (2018). Decreases in beetle body size linked to climate change and warming temperatures. *Journal of animal ecology* 87: 647-659.

-V-

- Viric Gasparic H, Drimic Z, Čacija M, Grasa Z, Petrak I, Bazok R, Lemic D (2017). Impact of environmental conditions and agro-technical factors on ground beetles populations in arable crops. *Applied ecology and environmental research* 15 (3): 697-711.

-W-

- Wallin H, Ekblom BS (1988). Movements of carabid beetles (coleoptera: carabidae) inhabiting cereal fields: A field tracing study. *Ecologia* 77: 39-43.
- Ward KE, Ward RN (2001). Diversity and abundance of carabid beetles in short-rotation plantings of sweetgum, maize and switchgrass in Alabama. *Agroforestry Systems* 53: 261-267.
- White EP, Morgan Ernest SK, Kerkhoff AJ, Enquist BJ (2007). Relationships between body size and abundance in ecology. *Trends in ecology and evolution* 22 (6): 323-330.

-X-

- Xiao-Dong Y, Liang L, Feng-Yan W, Tian-Hong L, Si-Si Z, Cheng-Bin W, Ting-Ting S, Hong-Zhang Z (2016). The relative importance of spatial and local environmental factors

in determining beetle assemblages in the inner Mongolia grassland. Plos One 11(5): e0154659.

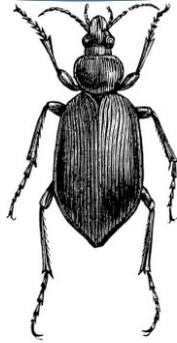
-Y-

- Yan H, Liang C, Li Z, Liu Z, Miao B, He C, Sheng L. (2015). Impact of precipitation patterns on biomass and species richness of annuals in a dry steppe. Plos One 10(4): e0125300.
- Young OP (2008). Body weight and survival of *Calosoma sayi* (Coleoptera: Carabidae) during laboratory feeding regimes. Annals of the Entomological Society of America 106: 104-112.
- Yu XD, Lü L, Wang FY, Luo TH, Zou SS, Wang CB, Song TT, Zhou HZ (2016). The Relative Importance of Spatial and Local Environmental Factors in Determining Beetle Assemblages in the Inner Mongolia Grassland. PLoS ONE 11(5) : e0154659.
- Yunhui L, Meichun D, Xuzhu Z, Xin Z, Zhenrong Y, JAN CA (2015). Effects of plant diversity, habitat and agricultural landscape structure on the functional diversity of carabid assemblages in the North China Plain. Insect Conservation and Diversity 8 : 163-176.

-Z-

- Zair N (2009). Etude hydrogéologique et problèmes de vulnérabilité des nappes aquifères dans la région d'Oum El-Bouaghi. Thèse de Magister. Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.
- Zanella L, Scarton F (2017). Ecological characterisation of dredge islands for the conservation of salt-marsh beetle fauna. The lagoon of Venice (Italy): a case study. Wetlands Ecology Manage 25: 421-441.
- Zedam A (2015). Etude de la flore endémique de la zone humide Chott El Hodna : Inventaire et préservation. Thèse de Doctorat. Université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie.
- Zerguine K (2014). Chironomidae (Diptera: Insecta) of temporary salt lakes in the eastern Hauts Plateaux of Algeria. The Experiment 25: 1704–1710.
- Zhang J (1993). Biology of *Harpalus rufipes* DeGeer (Coleoptera: Carabidae) in Maine and dynamics of seed predation. Thèse de Doctorat, Université de Maine, Maine, Etats unis.
- Zhavoronkova TN (1969). Certain structural peculiarities of the Carabidae (Coleoptera) in relation to their feeding habits. Entomological Review 48: 462-471.

Annexes



Annexe 1. Les moyennes mensuelles des températures T (°C) et des précipitations P (mm) durant la période (1973-2017) et l'année de l'étude (2016-2017) (centre météorologique de Batna)

Mois	1973-2017		2016-2017	
	P (mm)	T (°C)	P (mm)	T (°C)
Jan	36,59	5,68	25,78	4,54
Fev	17,76	6,89	6,61	8,3
Mar	33,25	9,78	23,37	11,4
Avr	27,52	12,99	21,6	13,8
Mai	25,75	18,22	3,36	20,8
Jui	14,58	23,56	24,9	25,2
Juil	8,64	27	6,64	34,79
Aou	15,34	26,27	5,85	28
Sep	24,53	21,51	4,82	21,3
Oct	17,25	16,3	21,8	15,1
Nov	16,97	10,47	35,55	11,04
Dec	23,63	6,65	9,14	8,17

Annexe 2. Analyses du sol

1- pH

La mesure du pH de la solution du sol est effectuée sur l'extrait au 1/5 avec un pH mètre.

Référentiel pédologique (Pansu & Gautheyrou, 2006)

pH	Classe
<3.3	Hyperacide
3.5-4.2	Très acide
4.2-5	Acide
5 -6.5	Faiblement acide
6.5-7.5	Neutre
7.5-8.7	Basique
>8.7	Très basique

2-Conductivité

La mesure de la teneur en sels dans le sol (la salinité globale) est effectuée sur l'extrait au 1/5 avec un conductimètre.

Classification selon (Mathieux & Pieltain, 2003)

Conductivité (mmhos/cm)	0.6	1	2	3	4
CE(1/5)	Non salé	Légèrement salé	salé	Très salé	Extrêmement salé

3- Humidité

Après avoir mesuré le sol humide, les échantillons de sol subissent un séchage à l'étuve à 80°C pendant 48 heures, puis repesés pour obtenir les valeurs du sol séc. Les calculs de H% se font selon la formule suivante:

$$H\% = (\text{Sol.H.} - \text{Sol.S.}) / (\text{Sol.S.} - P_0) * 100, P_0: \text{le poids du papier aluminium.}$$

Annexe 3. Traits d'histoire des espèces récoltées dans toute la zone d'étude. Pol: polyphage; Phy: phytophage; Zoo: zoophage; Hyg: hygrophile; Xer: xerophile; Mes: mesophile; Moy: taille moyenne; Pet: taille petite; Gra: taille grande, M: macroptère, B: brachyptère.

Espèces	Spectre alimentaire	Affinité pour l'humidité	Taille	Type alaire
<i>Harpalus oblitus</i>	Pol	Hyg	Moy	M
<i>Harpalus lethierryi</i>	Pol	Hyg	Moy	M
<i>Harpalus tenebrosus</i>	Pol	Hyg	Moy	M
<i>Harpalus siculus</i>	Pol	Hyg	Moy	M
<i>Harpalus punctatostriatus</i>	Pol	Hyg	Moy	M
<i>Harpalus attenuatus</i>	Pol	Xer	Moy	M
<i>Harpalus sp.</i>	—	—	Moy	M
<i>Oedesis villosulus</i>	Phy	Xer	Pet	M
<i>Dicheirotichus obsoletus</i>	Zoo	Hyg	Moy	M
<i>Anisodactylus virens</i>	Zoo	Hyg	Moy	M
<i>Acinopus sabulosus</i>	Pol	Xer	Moy	M
<i>Acinopus gutturosus</i>	Pol	Mes	Moy	M
<i>Ophonus opacus</i>	Phy	Hyg	Moy	M
<i>Ophonus cordatus</i>	Phy	Xer	Pet	M

<i>Chlaenius chrysocephalus</i>	Zoo	Hyg	Moy	M
<i>Chlaenius spoliatus</i>	Zoo	Hyg	Gra	M
<i>Chlaenius decipiens</i>	Zoo	Hyg	Moy	M
<i>Chlaenius aeratus</i>	Zoo	Hyg	Moy	M
<i>Chlaenius velutinus</i>	Zoo	Hyg	Gra	M
<i>Licinus punctatulus</i>	Zoo	Xer	Moy	M
<i>Cymindis setifensis</i>	Zoo	Xer	Moy	M
<i>Apristus sp.</i>	—	—	Pet	M
<i>Graphipterus exclamationis</i>	Zoo	Xer	Gra	M
<i>Amara metallescens</i>	Zoo	Xer	Moy	M
<i>Amara rufipes</i>	Pol	Xer	Moy	M
<i>Amara aenea</i>	Pol	Xer	Pet	M
<i>Zabrus ignavus</i>	Zoo	Xer	Moy	M
<i>Poecilus nitidus</i>	Zoo	Hyg	Moy	M
<i>Poecilus crenulatus</i>	Zoo	Hyg	Moy	M
<i>Laemostenus algerinus</i>	Zoo	Xer	Gra	M
<i>Calathus solieri</i>	Zoo	?	Moy	M
<i>Calathus circumseptus</i>	Zoo	Hyg	Moy	M
<i>Calathus sp.</i>	—	—	Moy	M
<i>Sphodrus leucophthalmus</i>	Zoo	Xer	Gra	B
<i>Brachinus sclopeta</i>	Zoo	Hyg	Pet	M
<i>Brachinus plagiatus</i>	Zoo	Hyg	Pet	M
<i>Broscus politus</i>	Zoo	Hyg	Gra	M
<i>Distichus planus</i>	Zoo	Hyg	Moy	M
<i>Nebria andalusia</i>	Zoo	Hyg	Pet	M
<i>Pogonus chalceus</i>	Zoo	Mes	Pet	M
<i>Agonum nigrum</i>	Zoo	Hyg	Pet	M
<i>Campalita maderae</i>	Zoo	Xer	Gra	M

<i>Cicindela lunulata</i>	Zoo	Hyg	Moy	M
<i>Cicindela maura</i>	Zoo	Hyg	Moy	M
<i>Megacephala euphratica</i>	Zoo	Hyg	Gra	B

Annexe 4. Les moyennes des tailles des espèces récoltées dans la zone d'étude avec l'écart type, Moy: taille moyenne; Pet: taille petite; Gra: taille grande.

Espèces	Taille	Catégories	Nombre d'individus
<i>Harpalus oblitus</i>	10,1±0,36	Moy	54
<i>Harpalus lethierryi</i>	11±0,30	Moy	88
<i>Harpalus tenebrosus</i>	9,16±0,22	Moy	30
<i>Harpalus siculus</i>	10,5±0,36	Moy	16
<i>Harpalus punctatostriatus</i>	10±0,16	Moy	6
<i>Harpalus attenuatus</i>	10,4±0,16	Moy	26
<i>Harpalus sp.</i>	9,5	Moy	1
<i>Oedesis villosulus</i>	5	pet	1
<i>Dicheirottrichus obsoletus</i>	9,55±0,18	Moy	10
<i>Anisodactylus virens</i>	13,5	Moy	2
<i>Acinopus sabulosus</i>	17	Moy	2
<i>Acinopus gutturosus</i>	18	Moy	1
<i>Ophonus opacus</i>	11,5	Moy	1
<i>Ophonus cordatus</i>	7,41±0,11	Pet	3
<i>Chlaenius chrysocephalus</i>	10,5±0,10	Moy	214
<i>Chlaenius spoliatus</i>	16±0,14	Gra	7
<i>Chlaenius decipiens</i>	13±0,10	Moy	15
<i>Chlaenius aeratus</i>	13,2	Moy	1
<i>Chlaenius velutinus</i>	15,5	Gra	1
<i>Licinus punctatalus</i>	15,1±0,1	Moy	4
<i>Cymindis setifensis</i>	10±0,1	Moy	12
<i>Apristus sp.</i>	5	Pet	2
<i>Graphipterus exclamationis</i>	18,2±0,3	Gra	17
<i>Amara metallescens</i>	9,09±0,12	Moy	82
<i>Amara rufipes</i>	9,41±0,11	Moy	6
<i>Amara aenea</i>	8,5	Pet	3
<i>Zabrus ignavus</i>	13,5	Moy	1
<i>Poecilus nitidus</i>	12±0,22	Moy	9
<i>Poecilus crenulatus</i>	11,5	Moy	1

<i>Laemostenus algerinus</i>	19	Gra	2
<i>Calathus solieri</i>	11,25	Moy	1
<i>Calathus circumseptus</i>	11,5	Moy	1
<i>Calathus sp.</i>	11	Moy	1
<i>Sphodrus leucophthalmus</i>	26,16±0,44	Gra	3
<i>Brachinus sclopeta</i>	6,5±0,04	Pet	446
<i>Brachinus plagiatus</i>	7,5±0,04	Pet	23
<i>Broscus politus</i>	22,5±0,2	Gra	15
<i>Distichus planus</i>	17,5±0,16	Gra	6
<i>Nebria andalusia</i>	12,5	Moy	1
<i>Pogonus chalceus</i>	7,5±0,2	Pet	4
<i>Campalita maderae</i>	24,7	Gra	1
<i>Cicindela lunulata</i>	12	Moy	1
<i>Megacephala euphratica</i>	21±0,1	Gra	15
<i>Cicindela maura</i>	12,5±0,15	Moy	51
<i>Agonum nigrum</i>	7,2	Pet	1

Annexe 5. Appartenances zoogéographiques des espèces rencontrées dans les deux lacs salés, Chott Tinsilt et Sebkhâ Ezzemoul

Types biogéographiques	Espèces
1- Endémique du Nord - Africain (ENA)	- <i>Harpalus lethierryi</i> - <i>Graphipterus exclamationis</i>
2- Nord – Africain (NA)	<i>Cicindela lunulata</i> <i>Broscus politus</i> <i>Cymindis setifensis</i>
3- Afro – Tropique – Méditerranéen (ATM)	<i>Distichus planus</i>
4- Ouest Méditerranéen (OM)	<i>Harpalus oblitus</i> <i>Harpalus sculus</i> <i>Dicheirotichus obsoletus</i> <i>Ophonus opacus</i> <i>Chlaenius chrysocephalus</i>

	<i>Licinus punctatulus</i> <i>Amara rufipes</i> <i>Poecilus nitidus</i> <i>Laemostenus algerinus</i> <i>Calathus circumseptus</i> <i>Nebria andalusia</i> <i>Pogonus chalceus</i>
5- Méditerranéen (M)	<i>harpalus punctatostratus</i> <i>Oedesis villosulus</i> <i>Acinopus sabulosus</i> <i>Chlaenius aeratus</i> <i>Amara metallescens</i> <i>Poecilus crenulatus</i> <i>Calathus solieri</i> <i>Brachinus plagiatus</i> <i>Cicindela maura</i>
6- Asiatique Centrale – Européen - Méditerranéen (ACEM)	<i>Harpalus tenebrosus</i> <i>Ophonus cordatus</i>
7- Turanien - Européen- Méditerranéen (TEM)	<i>Harpalus attenuatus</i> <i>Agonum nigrum</i> <i>Sphodrus leucophthalmus</i>
8- Turanien – Méditerranéen (TM)	<i>Chlaenius decipiens</i>
9- Turanien - Sud Européen (TSE)	<i>Megacephala euphratica</i>
10- Européo – Méditerranéen (EM)	<i>Chlaenius velutinus</i> <i>Brachinus sclopeta</i>
11- Sud Européen (SE)	<i>Zabrus ignavus</i>

12- Nord Méditerranéen (NM)	<i>Anisodactylus virens</i>
13- Palaearctique (P)	<i>chlaenius spoliatus</i> <i>Amara aenea</i>
14- Ouest – Palaearctique (OP)	<i>Compalita maderae</i>
15- Ibéro - Maghrébin (IM)	<i>Acinopus gutturosus</i>
Inconnu	<i>Pogonus</i> sp. <i>Calathus</i> sp. <i>Apristus</i> sp. <i>Harpalus</i> sp.

Spatiotemporal patterns of ground beetle diversity (Coleoptera: Carabidae) in a Ramsar wetland (Chott Tinsilt) of Algeria

Cherine AMRI^{1*}, Souad NEFFAR¹, Nadia OUCHTATI², Haroun CHENCHOUNI^{1,3}

¹Department of Living Beings, Faculty of Exact Sciences and Sciences of Nature and Life, University of Tebessa, Tebessa, Algeria

²Department of Ecology and Environmental Engineering, Laboratory of Animal Biology, University of Guelma, Guelma, Algeria

³Laboratory of Natural Resources and Management of Sensitive Environments 'RNAMS', University of Oum-El-Bouaghi, Oum-El-Bouaghi, Algeria

Received: 12.04.2019 • Accepted/Published Online: 02.07.2019 • Final Version: 02.09.2019

Abstract: The aim of this study was to investigate the biodiversity and structure of the Carabidae community living at the edges of a Ramsar wetland in northeastern Algeria, as well as to analyze the effect of environmental variables on this Carabidae community. The study site included two stations (T1, T2). From November 2016 to October 2017, the carabidofauna was sampled fortnightly using pitfall traps. The structure and diversity of the beetle community were measured using nonparametric indices, i.e. species richness, diversity indices, accumulation curves, and similarity analysis. Generalized linear mixed effects models (GLMM) were applied to examine the spatiotemporal variation of species abundance, and to test the effects of edaphic variables and vegetation cover on the variation of beetle abundance and species richness. In total, 1121 individuals were caught, belonging to 42 species, 24 genera, and 12 subfamilies; most of the species belonged to the subfamily Harpalinae (33.33%). GLMM demonstrated that abundance of Carabidae varied significantly between the stations and over the months studied. GLMM also showed significant effects of environmental factors on the abundance and species richness of the community. An important taxonomic diversity of the ground beetle community was found, which is highly related to environmental variables.

Key words: Biodiversity, Carabidae, environmental factors, Ramsar wetland

1. Introduction

Wetlands provide multiple ecosystem services. They regulate water flow by storing it in the short term during floods, and act as a buffer and filter purifier by retaining suspended matter, phosphorus, and carbon, and eliminating nitrogen (De Sartiges and Fromont, 2013). Wetlands are the most productive ecosystems and constitute important reservoirs of biodiversity (Maman and Vienne, 2010).

In Algeria, more than 2000 wetlands are listed, of which 50 are classified in the Ramsar list (Balla, 2012). Most of them (sabhkas, chotts, and oases) are located in the arid and semiarid regions of the northeast of the country. The characteristic communities of these environments have been extensively studied (Chenchouni et al., 2015; Neffar et al., 2016; Chenchouni, 2017a). Nevertheless, these studies remain incomplete in regard to the information provided on the knowledge of these habitats, their functioning, and roles and services.

Located in the eco-complex wetland of the high plains (Hauts Plateaux) of northeastern Algeria, Chott Tinsilt

is a temporary salt lake, classified as a Ramsar site since 2004 (DGE, 2004). For this site, apart from some works on vegetation (Bezzalla et al., 2019a) and microorganisms (Menasria et al., 2018), most of the studies have targeted the avifauna (Boulkhssaim et al., 2016; Bezzalla et al., 2019b). The entomofauna has been little investigated, except for the studies by Zerguine (2014), on Chironomidae (Diptera) and by Mahloul et al. (2016) on Caelifera (Orthoptera). It is noteworthy that despite the "Ramsar site" status, Algerian wetlands, including Chott Tinsilt, are not protected from exploitative use such as drainage for agriculture and water pollution, bird poaching, and overgrazing of the halophytic vegetation (Bezzalla et al., 2019b).

Carabidae is the most speciose and abundant family of the Coleopteran fauna, with more than 40,000 species belonging to 86 tribes known (Lövei and Sunderland, 1996). Generally, their ecology and systematics are thoroughly known (Thiele, 1977; Dajoz, 2002). This family group's taxa react differently to biotic and abiotic conditions, and are very sensitive to changes in microclimates (Gutierrez et al., 2004; Lamberts et al., 2008). Indeed, ecologists have

* Correspondence: amri_chirine@hotmail.fr

focused on studying the Carabidae in order to answer many ecological research questions, since the use of taxonomic groups to assess the ecological quality of habitats is a widespread method in environmental and conservation studies (Kotze et al., 2011; Pradervand et al., 2013).

In Algeria, this group of insects, although being ecologically important, remains less-known and poorly studied, specifically in salt wetlands, with the exception of some studies in the semiarid rangelands steppes of Tebessa (Ouchtati et al., 2012), forests of Chr ea and Djurdjura (Belhadid et al., 2014), agricultural landscapes of Constantine (Saouache et al., 2014), and Sabkha Djendli in Batna (Chenchouni et al., 2015). In western Algeria, the ground beetles of the Sabkha of Oran, salt marshes of Tafna, and Dayet El Ferd were studied respectively by Boukli and Hassaine (2009), Boukli-Hacene et al. (2011), and Matallah et al. (2016).

According to Foster and Treherne (1976), flooding and salinity are the two major factors that influence insects colonizing salt marshes. However, ground beetles are well adapted to flood zones, and have a high flight capacity and hence a high dispersal capacity (Descender, 2000). Their habitats and microdistribution are modelled by abiotic and biotic factors such as light, temperature, humidity, food supply, predator distribution, and life cycle strategies (L vei and Sunderland, 1996), but abiotic factors explain the distribution of species better than biotic factors (Duf rene, 1992).

Our study is the first to focus specifically on the ground beetle community in Algerian salt wetlands. This research uses Chott Tinsilt as a study case with the following objectives: (i) establishing a faunistic list of Carabidae species; (ii) determining the structure and patterns of species distribution; (iii) studying the effects of the environmental factors (soil and vegetation) that could influence diversity parameters of the community under the local conditions of this type of ecosystems.

2. Materials and methods

2.1. Description of the study zone

The study was carried out in Chott Tinsilt (35°53'14"N, 6°28'44"E; elevation: 792 m a.s.l.), a Ramsar site located in Wilaya (province) Oum El Bouaghi. This salt lake is a part of the eco-complex wetlands situated in the high plains of eastern Algeria (Figure 1), where it covers an area of 2154 ha, and depends on the amount of seasonal rainfall. Based on the climatic data for the period 1973–2017 provided by the meteorological station of Batna located 15 km from the study site, the study area has a semiarid bioclimate with cool winters (Emberger quotient $Q_2 = 29.38$, minimum temperature $T_{\min} = 0.54$ °C, De Martonne index $I_{DM} = 16.55$). The ombrothermal diagram of Gaussen and Bagnouls showed a dry period extending over 7 months

from mid-April until the end of November. Precipitation, totaling 239.12 mm per year, was very irregular, with large annual and seasonal fluctuations. April was the rainiest month with an average of 27.52 mm, while the driest month was July with 6.64 mm. The highest maximum temperature was recorded in July with 34.79 °C, whereas the lowest minimum temperature was recorded in January with 0.54 °C.

In Chott Tinsilt, Mahloul et al. (2016) identified 60 plant species belonging to 18 different families, of which Poaceae and Asteraceae make up more than half of the flora counted with 12 species and 14 species, respectively. In addition, Bezzalla et al. (2019a) found that the community of plants in the same wetland was mainly based on halophytes, represented by 34 species of 16 families. Two stations (T1 and T2) located at the edge of the lake, 4 km apart from each other, were sampled (Figure 1):

- Station T1 (35°53'29"N, 6°27'29"E; elevation: 791 m a.s.l.): located in the west of the lake 80 m from the edge of the waterbody. The sampled area (1200 m²) dominated by the plant species *Atriplex halimus* L., with a vegetation cover of 50 ± 34.5%. Soil had a clay texture, its pH was alkaline (7.9), and moisture averaged 19 ± 7.74%. Soil organic matter content was 1.37% and electrical conductivity was around 9.26 ms/cm.

- Station T2 (35°53'16"N, 6°29'59"E; elevation: 792 m a.s.l.): located in the east, 3 m from the edge of the lake. The area sampled (1200 m²) was dominated by two plant species, *Salsola vermiculata* L. and *Salicornia Arabica* L., with a vegetation cover of 11% each. The soil texture was loamy, its pH was alkaline (8.2), soil moisture averaged 11 ± 7%, organic matter content was 1.17%, and the electrical conductivity was 6.9 ms/cm.

2.2. Ground beetle sampling and identification

Since Carabidae are ground-dwelling and nocturnal, the preferred standard sampling method is the use of pitfall traps (Rainio and Niemelä, 2003). Samples were collected fortnightly over a complete year, from November 2016 to October 2017.

We adopted the same experimental design at both stations. In each of them, 48 pitfall traps were set up into 3 rows, where each row contained 4 quadrats of 1 m² (1 m × 1 m). Inside each quadrat, 4 containers were buried. Throughout each row, the quadrats were 50 m equidistant (Figure 1). The trap containers (depth = 10 cm, diameter = 9 cm) were filled to two-thirds of their capacity with a preservative liquid based on 1 L of water and 300 g of salt, to which drops of vinegar and detergent were added to preserve captured insects. The biological material collected was stored in alcohol (70%) and identified using several entomological keys: Bedel (1895), Antoine (1955, 1957, 1959, 1961, 1962), and Trautner and Geigenmüller (1987).

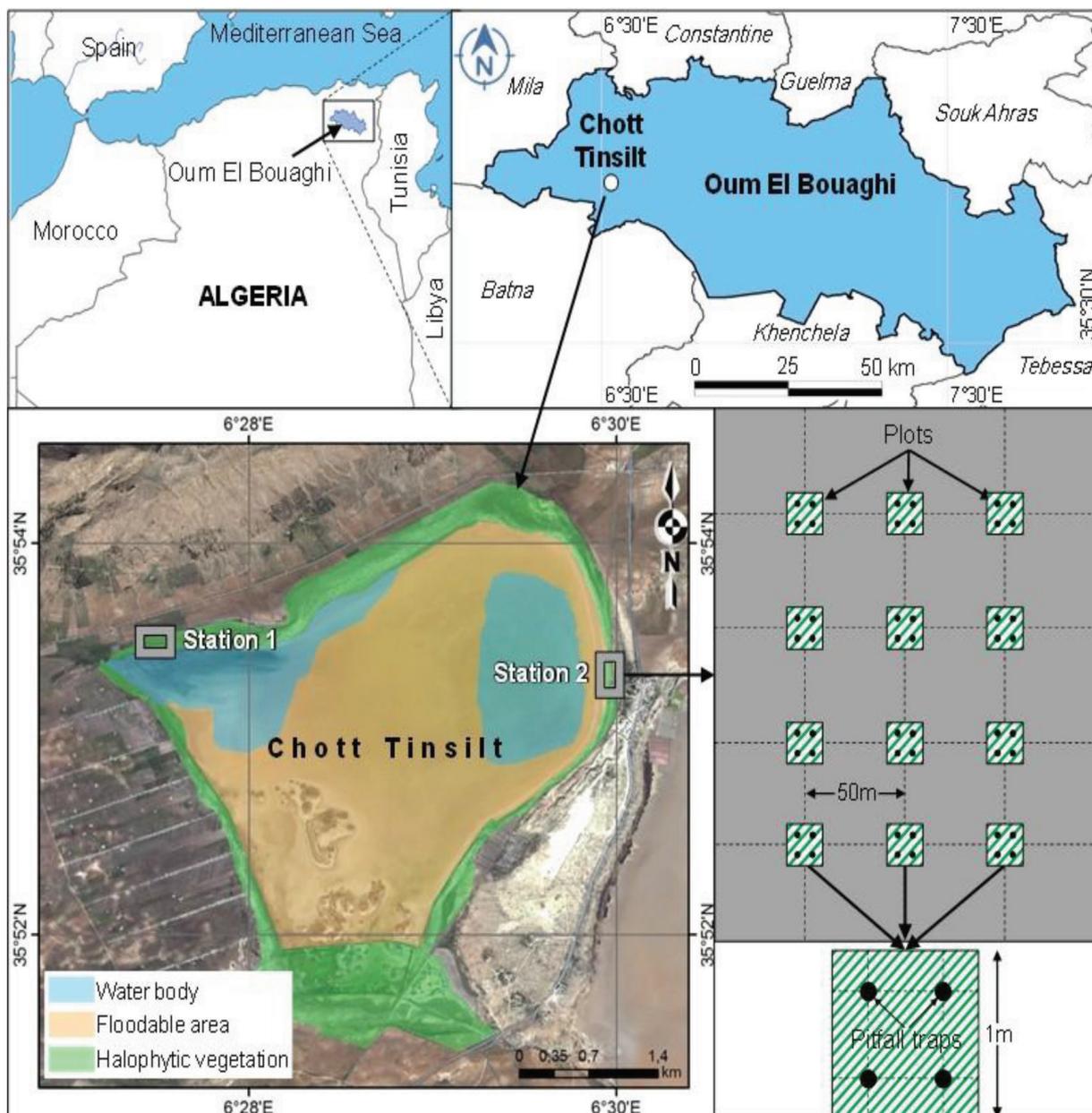


Figure 1. Geographical location of Chott Tinsilt (northeastern Algeria), positioning of sampled stations (T1 and T2), and the layout of experimental design with pitfall traps at each station.

2.3. Environmental variables measurement

Soil sampling was made seasonally (fall, winter, spring, and summer). From each quadrat and at a maximum depth of 10 cm, about 1 kg of soil was taken and dried in ambient air for 10–15 days, sieved at 2 mm to obtain fine-grained soil, and then subjected to the following pedological analyses: (i) soil moisture was estimated by the method of Mathieu and Pieltain (2003); (ii) soil pH and electrical conductivity were measured by a pH and conductivity meter in a soil–water suspension (1/5); (iii) soil organic

matter was estimated using Anne's method (Bonneau and Souchier, 1994); (iv) vegetation cover of the spontaneous plants was quantified as the percentage of soil covered by vegetation, which corresponds to the ratio of the length occupied by vegetation to the total fixed length of the line (Canfield, 1941).

2.4. Data analysis

2.4.1. Diversity parameters

In order to facilitate the measurement of biodiversity, the data obtained from 48 traps was pooled to form a single

sample per month. Several parameters of biodiversity were used: relative abundance (RA) represents the ratio between the number of individuals of a species and the total number of individuals (N); absolute abundance (AA) is determined by the number of individuals per species. Occurrence frequency (Occ) was calculated for each species by the number of times the species was found/ the total number of samples. Four specific occurrence classes were then distinguished: very accidental species (Vac), whose frequency of occurrence is less than 10%; accidental species (Acc), the frequency of occurrence varying between 10% and 24%; common species (Cmt), present in 25%–49% of the samples; constant species (Cst) present in 50% or more samples (Neffar et al., 2016).

Alpha diversity was evaluated using different nonparametric indices: species richness (S), Shannon index, Simpson index ($1 - D$), and evenness (E). These diversity indices were computed using the software Past.

The nonparametric asymptotic estimators of species richness are methods that take into account the frequency of rare species within a sample to estimate the number of undetected species in an assemblage (Gotelli and Chao, 2013). The Chao1 estimator (S_{Chao1}) was calculated for each station and for the entire site using EstimateS software version 9.1.0.

In order to compare the beta diversity of the ground beetle community between the two stations, and between the months for the entire site, two similarity indices were calculated: the qualitative index of Jaccard (β_{jac}) and the quantitative index of Bray–Curtis (β_{bc}). All indices and estimators were computed using the software Past.

2.4.2. Rarefaction and extrapolation

The rarefaction and extrapolation curves were plotted for each station, and for the entire site. These curves helped to obtain, from the observed data, an estimate of the cumulative species richness as a function of the sampling effort provided (Chenchouni, 2017b). The computations were performed using EstimateS software.

2.4.3. Statistical analyses

The chi-squared test was used to test the dependency of species richness (S) and abundances (N) between stations and subfamilies in the salt lake. Euclidean paired group (UPGMA) hierarchical clustering was applied to group the months according to the abundances of the captured species. The calculations were performed by using the Past software.

Generalized linear mixed model (GLMM) was applied for two purposes: (i) to test the effect of stations and months on the variation of abundances of carabids caught at each individual trap. In this case, the fixed effects were stations and months, whereas pitfall traps nested into quadrats were the random effects; (ii) to determine the effect of measured environmental variables on the

variation of carabid abundance (N) and species richness (S), taking into account the data of each trap as a unit of measurement. The fixed effects were all measured variables and the random effects were stations, quadrats, and traps. The GLMMs were performed using the “lme” function of the library {nlme} implemented under the software R version 3.5.1.

3. Results

3.1. Composition and abundance of beetle community

In Chott Tinsilt, carabid capture totaled 1121 individuals classified into 12 subfamilies,

24 genera, and 42 species. Species richness and abundances of carabids were higher in station T1 than in station T2. In fact, in station T1, the total number of individuals was 1099 (12 subfamilies, 23 genera, and 41 species) vs. 22 individuals (6 subfamilies, 6 genera, and 7 species) at station T2 (Figure 2). Overall, species richness (S) and relative abundance (RA%) of the subfamilies were very unequal. The chi-squared test showed that species richness values of subfamilies were independent of the stations ($\chi^2 = 3.72$, $df = 11$, $P = 0.95$), while subfamily abundances were dependent on the stations ($\chi^2 = 148.89$, $df = 11$, $P < 0.001$).

The subfamily Harpalinae was the richest in species (14 species, 33.33% of the total), followed by Licininae and Pterostichinae, with 6 species each (14.28%), and Platyninae with 5 species (11.90%). The number of species in the remaining subfamilies was 1–3 species. The subfamily Brachininae was the most abundant in terms of individuals (RA = 41.83% of the total), followed by the two subfamilies Licininae (RA = 21.85%) and Harpalinae (RA = 21.49%). The other subfamilies were represented by low relative abundance ranging from 0.09% to 9.09% (Table 1). Specifically, the species *Brachinus sclopeta* was the most abundant species (446 individuals, RA = 39.78%), followed by *Chlaenius chrysocephalus* (214 individuals, RA = 19.09%). While the rest of the species had low relative abundances (RA < 8%) (Table 1).

3.2. Species occurrences

According to the species occurrence frequency, most species were either very accidental (20 species) or accidental (11 species). However, 5 species were constant: *Harpalus oblitus*, *H. lethierryi* (Harpalinae), *Chlaenius chrysocephalus* (Licininae), *Amara metallescens* (Pterostichinae), *Brachinus sclopeta* (Brachininae); and 6 species were common: *Harpalus tenebrosus*, *H. siculus*, *H. attenuatus* (Harpalinae), *Poecilus nitidus* (Pterostichinae), *Brachinus plagiatus* (Brachininae), and *Brosicus politus* (Brosicinae) (Table 1).

3.3. Spatiotemporal patterns of alpha diversity

Values of diversity parameters obtained are recorded in Table 2. The Shannon index at station T1 ($H' = 2.14$)

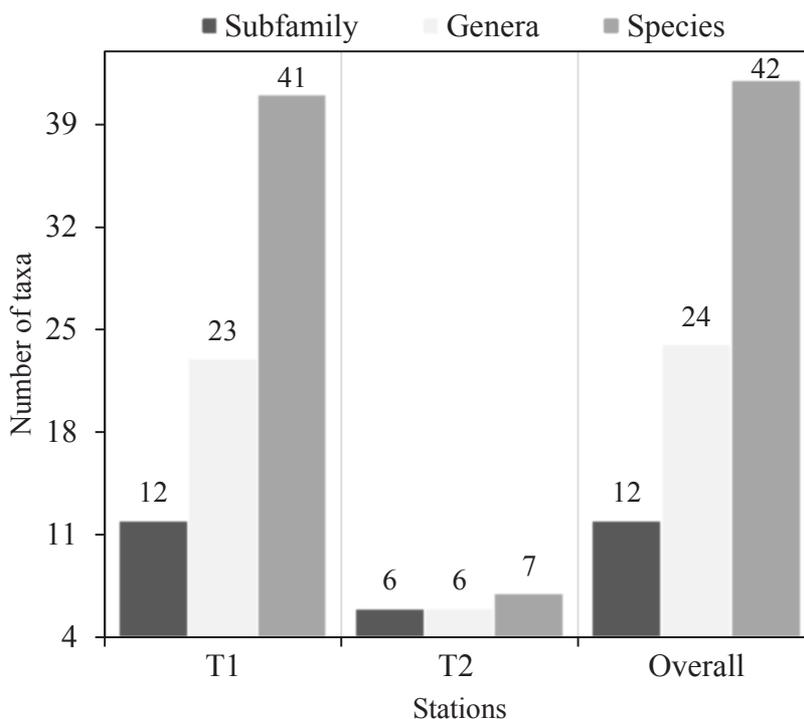


Figure 2. Total number of subfamilies, genera, and species of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) for each station (T1 and T2), and for the entire wetland of Chott Tinsilt, northeastern Algeria.

was higher than at station T2 ($H' = 1.70$), whereas the evenness of station T2 ($E = 0.84$) was higher than that of station T1 ($E = 0.60$). Simpson's ($1 - D$) index values for the two stations were nearly equal, 0.80 for T1 and 0.78 for T2. For the entire site, November was the most abundant and richest month ($N = 216$ individuals, $S = 24$ species). In contrast, January had the lowest values ($N = 11$ individuals, $S = 2$ species). April and March recorded the highest values of the Shannon index with 2.47 and 2.24, respectively, while the lowest value was observed during January ($H' = 0.58$). Values of evenness ranged from 0.40 in July to 0.88 in September. In addition, the highest value of Simpson's diversity index ($1 - D = 0.86$) was observed during November, March, and April, while the lowest value was reported in January ($1 - D = 0.39$) (Table 2).

3.4. Species richness estimation

The computation of the Chao1 estimator showed that the estimated species richness value for the entire lake was 60, exceeding the observed value (42 species). Taken separately, station T1 recorded an estimated value of 58 species vs. the empirical value of 41 species, while it remained fixed for station T2 with 7 species for both observed and estimated species richness (Figure 3).

3.5. Rarefaction and extrapolation

According to the extrapolation curves at 500 samples, species richness $S_{(est)}$ was expected to reach 61.63 ± 15.75

species for a total of 11,416 individuals at station T1, 7.98 ± 1.83 species for a total of 229 individuals at station T2, and 55.83 ± 10.07 species for a total of 5796 individuals for the entire lake. The plateau was reached after 200 samples at T1, 48 samples at T2, and 300 samples for the entire site (Figure 4).

3.6. Spatiotemporal similarity of the ground beetle community

The application of the Jaccard qualitative index (β_{jac}) and the Bray-Curtis quantitative index (β_{bc}) revealed a very low similarity ($\beta_{jac} = 0.14$, $\beta_{bc} = 0.02$) between the two stations. For the entire site, most of the values obtained for the study months ranged between 0.07 and 0.52 based on the Jaccard index, and between 0.10 and 0.63 based on the Bray-Curtis index (Table 3).

The hierarchical clustering analysis based on Euclidean paired group (UPGMA) of ground beetles highlighted three discriminated groups: group 1 consisted of June and July (hottest months), group 2 included December and November (coldest months), and group 3 included the remaining months (January, February, March, April, May, September, October), the spring and fall seasons (Figure 5).

3.7. Spatiotemporal variations and effects of environmental factors

The GLMM revealed that the spatiotemporal variation of carabid abundance in Chott Tinsilt was highly significant

Table 1. Systematic list, abundance, and occurrence of ground beetle species captured using pitfall traps at edges of Chott Tinsilt, northeastern Algeria. AA, absolute abundance; RA, relative abundance (%); Occ, occurrence frequency (%); Vac, very accidental species; Acc, accidental species; Cmt, common species; Cts, constant species.

Subfamily [RA%]	Species	AA	RA%	Occ	Scale
Harpalinae [21.49]	<i>Harpalus oblitus</i> Dejean, 1829	54	4.82	58.33	Cst
	<i>Harpalus lethierryi</i> Reiche, 1860	88	7.85	62.50	Cst
	<i>Harpalus tenebrosus</i> Dejean, 1829	30	2.68	29.17	Cmt
	<i>Harpalus siculus</i> Dejean, 1829	16	1.43	25	Cmt
	<i>Harpalus punctatostriatus</i> Dejean, 1829	6	0.54	12.5	Acc
	<i>Harpalus attenuatus</i> Stephens, 1828	26	2.32	29.17	Cmt
	<i>Harpalus</i> sp.	1	0.09	4.17	Vac
	<i>Oedesis villosulus</i> (Reiche, 1859)	1	0.09	4.17	Vac
	<i>Dicheirotrichus obsoletus</i> (Dejean, 1829)	10	0.89	16.67	Acc
	<i>Anisodactylus virens</i> Dejean, 1829	2	0.18	4.17	Vac
	<i>Acinopus sabulosus</i> Fabricius, 1792	2	0.18	8.33	Vac
	<i>Acinopus gutturosus</i> Buquet, 1840	1	0.09	4.17	Vac
	<i>Ophonus opacus</i> Dejean, 1829	1	0.09	4.17	Vac
	<i>Ophonus cordatus</i> Duftschmid, 1812	3	0.27	4.17	Vac
Licininae [21.85]	<i>Chlaenius chrysocephalus</i> (Rossi, 1790)	214	19.09	95.83	Cst
	<i>Chlaenius spoliatus</i> Rossi, 1792	7	0.62	16.67	Acc
	<i>Chlaenius decipiens</i> (Dufour, 1820)	15	1.34	20.83	Acc
	<i>Chlaenius aeratus</i> Quensel in Schönherr, 1806	1	0.09	4.17	Vac
	<i>Chlaenius velutinus</i> Duftschmid, 1812	1	0.09	4.17	Vac
	<i>Licinus punctatalus</i> Fabricius, 1792	4	0.36	12.5	Acc
Lebiinae [2.70]	<i>Cymindis setifensis</i> Lucas, 1842	12	1.07	16.67	Acc
	<i>Apristus</i> sp.	2	0.18	8.33	Vac
	<i>Graphipterus exclamationis</i> (Fabricius, 1792)	17	1.52	12.5	Acc
Pterostichinae [9.09]	<i>Amara metallescens</i> (Zimmermann, 1831)	82	7.31	54.17	Cst
	<i>Amara rufipes</i> Dejean, 1828	6	0.54	16.67	Acc
	<i>Amara aenea</i> De Geer, 1774	3	0.27	8.33	Vac
	<i>Zabrus ignavus</i> Csiki, 1907	1	0.09	4.17	Vac
	<i>Poecilus nitidus</i> (Dejean, 1828)	9	0.80	29.17	Cmt
	<i>Poecilus crenulatus</i> (Dejean, 1828)	1	0.09	4.17	Vac
Platyninae [0.71]	<i>Laemostenus algerinus</i> (Gory, 1833)	2	0.18	4.17	Vac
	<i>Calathus solieri</i> Bassi, 1834	1	0.09	4.17	Vac
	<i>Calathus circumseptus</i> Germar, 1824	1	0.09	4.17	Vac
	<i>Calathus</i> sp.	1	0.09	4.17	Vac
	<i>Sphodrus leucophthalmus</i> Linnaeus, 1758	3	0.27	12.5	Acc
Brachininae [41.83]	<i>Brachinus sclopeta</i> Fabricius, 1792	446	39.79	95.83	Cst
	<i>Brachinus plagiatus</i> Reiche, 1868	23	2.05	37.5	Cmt
Broschinae [1.33]	<i>Brosicus politus</i> Dejean, 1828	15	1.34	33.33	Cmt
Scaratinae [0.53]	<i>Distichus planus</i> Bonelli, 1813	6	0.54	16.67	Acc
Nebriinae [0.09]	<i>Nebria andalusia</i> Rambur, 1837	1	0.09	4.17	Vac
Trechinae [0.35]	<i>Pogonus chalceus</i> Marsham, 1802	4	0.36	16.67	Acc
Carabinae [0.09]	<i>Campalita maderae</i> Fabricius, 1775	1	0.09	4.17	Vac
Cicindelinae [0.09]	<i>Cicindela lunulata</i> Fabricius, 1781	1	0.09	4.17	Vac

Table 2. Values of nonparametric diversity indices of ground beetle species for each month at each station (T1 and T2) and for the entire site at Chott Tinsilt, northeastern Algeria.

Month	Station T1					Station T2					Overall				
	N	S	H'	E	1-D	N	S	H'	E	1-D	N	S	H'	E	1-D
Nov	205	24	2.31	0.70	0.90	11	4	1.20	0.84	0.62	216	24	2.33	0.73	0.86
Dec	108	16	1.75	0.60	0.70	1	1	0	—	0	109	17	1.79	0.63	0.72
Jan	11	2	0.58	0.80	0.40	—	—	—	—	—	11	2	0.58	0.84	0.39
Feb	41	6	1.36	0.80	0.70	—	—	—	—	—	41	6	1.36	0.75	0.67
Mar	89	16	2.39	0.80	0.90	1	1	0	—	0	90	16	2.24	0.80	0.86
Apr	80	19	2.47	0.80	0.90	—	—	—	—	—	80	19	2.47	0.84	0.86
May	54	12	2.10	0.80	0.80	1	1	0	—	0	55	13	2.15	0.84	0.84
Jun	178	15	1.31	0.50	0.50	2	2	0.70	1	0.50	180	16	1.36	0.49	0.55
Jul	203	9	0.89	0.40	0.50	—	—	—	—	—	203	9	0.89	0.40	0.46
Aug	25	4	0.90	0.60	0.50	—	—	—	—	—	25	4	0.89	0.64	0.50
Sep	21	6	1.55	0.90	0.80	2	2	0.70	1	0.50	23	7	1.71	0.88	0.79
Oct	84	9	1.89	0.90	0.80	4	2	0.70	1	0.50	88	10	1.97	0.85	0.83
Overall	1099	41	2.14	0.60	0.80	22	7	1.70	0.84	0.78	1121	42	2.18	0.58	0.78

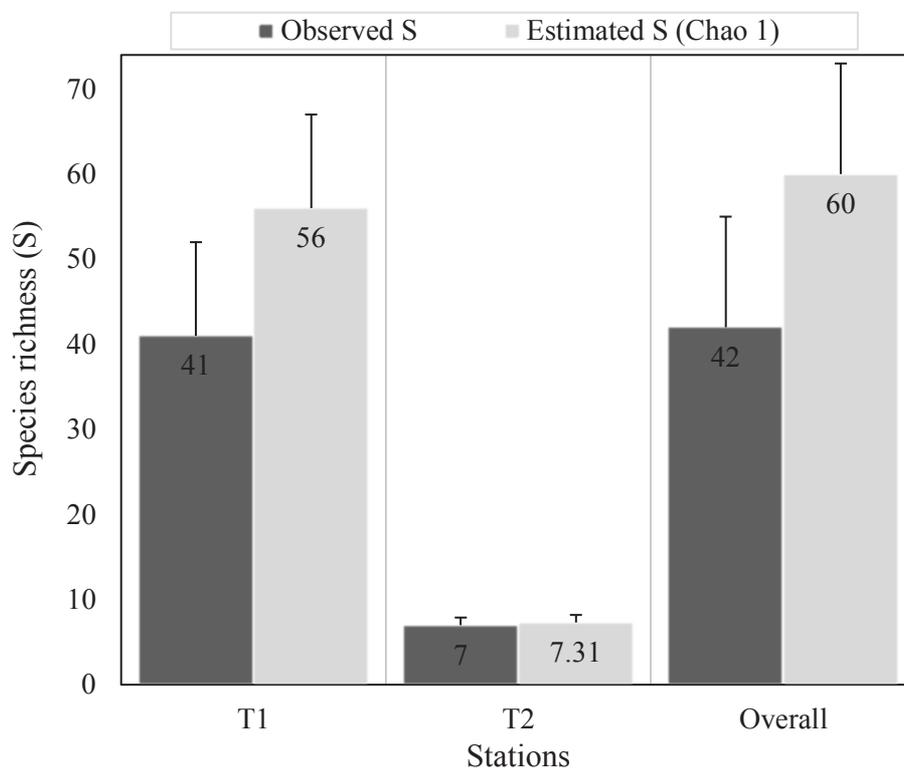


Figure 3. Values of observed and estimated (Chao1) species richness with standard deviations (\pm SD) as vertical error bars, of ground beetle community sampled at Chott Tinsilt, northeastern Algeria.

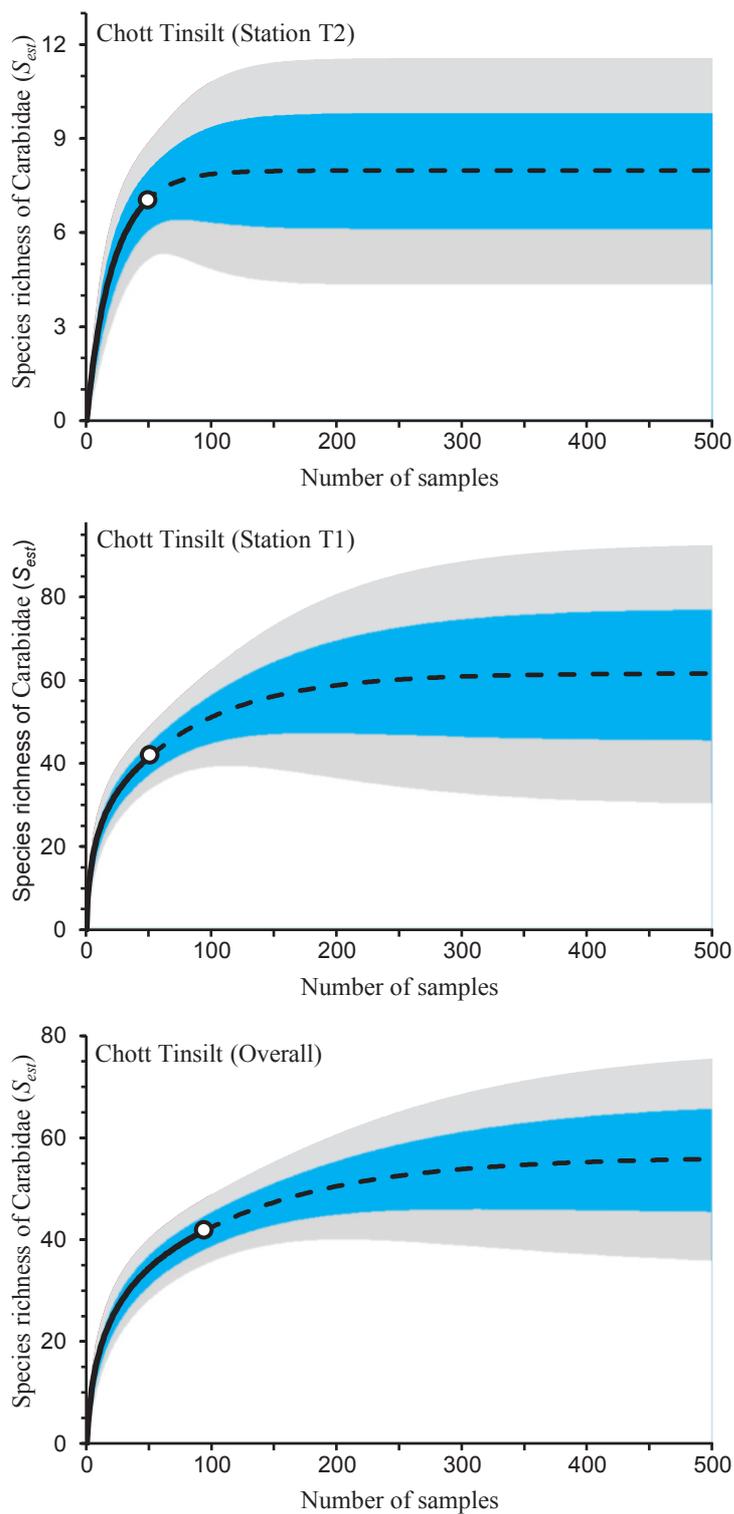


Figure 4. Sample-based rarefaction (solid line) and extrapolation (dashed line) curves of species richness estimated for ground beetle communities living in the halophytic vegetation belts surrounding Chott Tinsilt in northeastern Algeria. White solid circles indicate reference samples. Light gray shaded areas represent lower and upper bounds of 95% confidence intervals for the $S_{(est)}$. Colored/shaded areas indicate \pm SDs.

Table 3. Values of the Jaccard similarity index (above diagonal) and the Bray–Curtis similarity index (below diagonal) computed among sampling months of ground beetles living at Chott Tinsilt in northeastern Algeria.

	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct
Nov		0.38	0.07	0.21	0.47	0.38	0.28	0.34	0.15	0.10	0.25	0.39
Dec	0.64		0.13	0.29	0.52	0.35	0.26	0.35	0.18	0.25	0.28	0.42
Jan	0.10	0.18		0.33	0.13	0.11	0.15	0.13	0.20	0.50	0.29	0.18
Feb	0.32	0.28	0.42		0.38	0.32	0.36	0.31	0.23	0.25	0.44	0.42
Mar	0.47	0.33	0.22	0.63		0.52	0.38	0.35	0.30	0.18	0.35	0.50
Apr	0.39	0.36	0.24	0.43	0.59		0.39	0.36	0.21	0.21	0.18	0.25
May	0.18	0.13	0.15	0.23	0.32	0.37		0.40	0.35	0.31	0.33	0.41
Jun	0.52	0.46	0.12	0.33	0.36	0.36	0.20		0.32	0.19	0.38	0.44
Jul	0.45	0.38	0.10	0.24	0.24	0.21	0.10	0.80		0.27	0.21	0.31
Aug	0.20	0.37	0.61	0.45	0.30	0.44	0.18	0.23	0.21		0.22	0.25
Sep	0.19	0.27	0.59	0.56	0.39	0.35	0.33	0.21	0.12	0.42		0.64
Oct	0.58	0.51	0.22	0.59	0.63	0.54	0.28	0.46	0.33	0.42	0.41	

between the two stations, where the carabids' abundance decreased significantly ($t = -11.27$, $P < 0.001$) at station T2. According to the months, GLMM indicated that abundances experienced a statistically significant increase during the months of December, June, July, and November ($P < 0.05$) compared to the intercept, which included the month of August (Table 4).

GLMMs testing the multivariate effects of edaphic factors (soil moisture, pH, electrical conductivity, and organic matter) and the level of spontaneous vegetation cover on abundance and species richness of ground beetles showed that soil electrical conductivity and soil moisture had a significant negative effect on Carabidae abundances, while vegetation cover positively influenced Carabidae abundance. Except for soil pH, all of the environmental factors considered in this study had a significant positive effect on the variation of species richness of ground beetle populations observed at each pitfall trap (Table 5).

4. Discussion

This study is the first of its kind in the North African wetlands of international importance known as Ramsar sites. It allowed us to identify the carabidofauna and to determine the spatiotemporal variation of the community diversity patterns in relation to its habitat characteristics (effects of the edaphic factors and the vegetation).

Although North Africa is rich in wetlands, the literature reveals few studies on the Carabidae of these ecosystems. The sampling of this insect group over a year in Chott Tinsilt included 42 species distributed over 24 genera and 12 subfamilies. Similar species richness values were determined by Boukli-Hacene et al. (2011) in a salt

marsh of Tafna in western Algeria with 42 species, and Zanella and Scarton (2017) in salt marshes of dredged islands of Venice in Italy with 46 species. In contrast, Andujare et al. (2001) reported a species richness value equal to 105 in the salt marsh of Cordovilla in Spain, and 8 species by Boukli and Hassaine (2009) in the Sabkha of Oran in western Algeria. Despite the common character of all of these different ecosystems as salt wetlands, the observed difference in species richness can be attributed to the prevailing climate, plant components, intermittency of waterbodies (temporary or permanent), type (marine or continental) of the wetland, and especially the sampling technique adopted and the effort devoted. Furthermore, considering that wetlands are of conservation concern and in an unfavorable trajectory (De Sartiges and Fromont, 2013), the disturbance factor could also explain this difference. Indeed, the hypothesis of increasing disturbance suggests that species richness decreases with increasing levels of habitat modification/disturbance (Gray, 1989). For example, grazing has a negative effect on several Carabidae species, which mostly occur copiously in high biomass nongrazed areas (Byers et al., 2000).

In terms of number of individuals and species, the difference is very marked between the two stations (T1 and T2), as the similarity indices values prove. This difference is due to several factors such as soil pH, electrical conductivity (or salinity), soil moisture, organic matter, vegetation cover, soil texture, and the distance from the lake that characterize each station. In fact, station T1 is characterized by greater vegetation cover (50%), higher soil moisture (19%), and higher organic matter content (1.37%). At station T2, the values of these factors

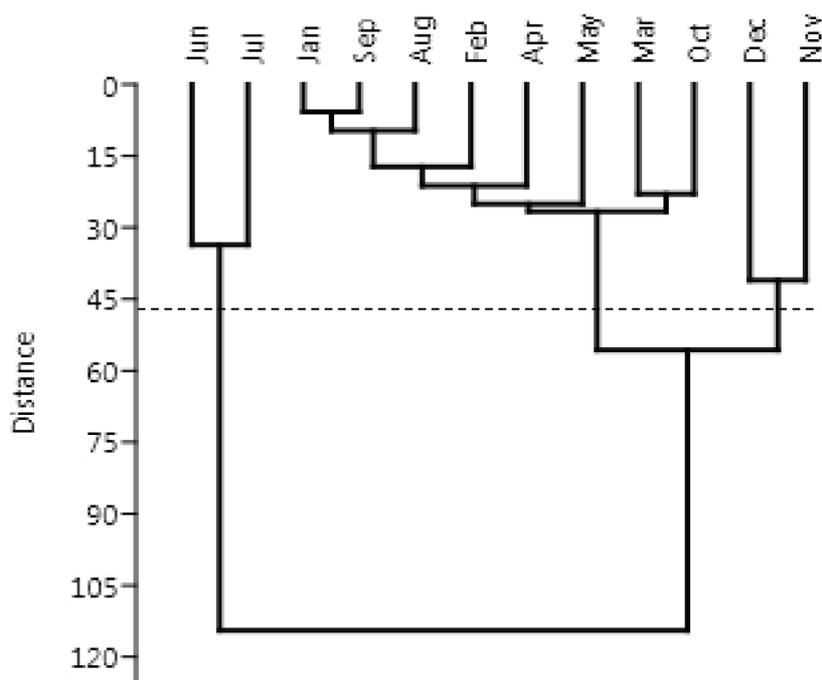


Figure 5. Hierarchical clustering dendrogram illustrating abundance-based similarity of ground beetle species among months in Chott Tinsilt, northeastern Algeria (clustering method = Euclidean paired group, UPGMA).

Table 4. Generalized linear mixed models (GLMM) testing the variation of ground beetle abundances between sampling stations and months at Chott Tinsilt in northeastern Algeria.

Variables	Value	Std. Error	DF	t-value	P-value
Intercept	0.59	0.170	2196	3.50	<0.001
Station T2	-0.93	0.082	2196	-11.27	<0.001
Apr	0.28	0.203	2196	1.41	0.158
Dec	0.43	0.203	2196	2.15	0.031
Feb	0.08	0.203	2196	0.41	0.681
Jan	-0.07	0.203	2196	-0.35	0.719
Jun	0.80	0.203	2196	3.97	<0.001
Jul	0.92	0.203	2196	4.56	<0.001
May	0.15	0.203	2196	0.76	0.441
Mar	0.33	0.203	2196	1.66	0.095
Nov	0.99	0.203	2196	4.89	<0.001
Oct	0.32	0.203	2196	1.61	0.106
Sep	-0.01	0.203	2196	-0.05	0.959

were 11%, 11%, and 1.17%, respectively. Moreover, the soil texture of the two stations is different; it is clayey at station T1 and loamy at station T2. Station T1 is further from the lake than station T2; hence, some edaphic factors such as

electrical conductivity (salinity) and soil moisture change, and these changes influence the vegetation distribution of the wetland (González-Alcaraz et al., 2014). GLMM showed that the environmental factors investigated (soil

Table 5. Generalized linear mixed models (GLMM) testing the effect of environmental factors on the abundance (N) and species richness (S) of ground beetles at Chott Tinsilt, northeastern Algeria.

Environmental parameters	DF	Number of individuals				Species richness			
		Value	SE	t-value	P-value	Value	SE	t-value	P-value
Intercept	2203	-0.961	1.157	-0.83	0.406	-0.396	0.348	-1.13	0.255
Soil pH	2203	0.127	0.143	0.89	0.374	0.016	0.043	0.37	0.704
Soil electrical conductivity	2203	-0.029	0.011	-2.69	0.007	0.010	0.003	3.08	0.002
Soil moisture [%]	2203	-0.015	0.006	-2.58	0.010	0.007	0.002	4.18	<0.001
Soil organic matter [%]	2203	0.137	0.091	1.51	0.131	0.074	0.027	2.74	0.006
Vegetation cover [%]	2203	0.021	0.002	12.14	<0.001	0.007	0.001	13.36	<0.001

moisture, organic matter content, and vegetation cover) with electrical conductivity have a significant effect on the variation of ground beetle abundance and species richness in Chott Tinsilt. Our results corroborate those of Thiele (1977), who assumed that there is a good correlation between plant alliances and Carabidae. Additionally, Magura et al. (2001) confirmed that habitats with dense vegetation cover are characterized by high species richness. According to Descender et al. (1984), soil moisture is the key factor for Carabidae distribution; several species responded positively to soil moisture (Byers et al., 2000). Soil texture may influence the ground beetle community (Boivin and Hance, 2003), impacting not only the species structure of the community but also the abundance of individuals (Ouchtati et al., 2012). In addition, Dajoz (2002) has reported previously that these insects are more abundant in clayey soils than in sandy soils. Moisture retention capacity is known to be very high in clayey soils, which attracts insects fleeing dry soils, even though the latter are well ventilated. The results of this study confirm that Carabidae prefer clayey soil in semiarid regions.

Regarding frequencies of subfamilies, Brachininae was the most abundant, although it was represented by only two species belonging to the same genus: *Brachinus sclopetata* and *B. plagiatus*. This result can be associated with the constant presence of moisture in the soil as a result of the sewage discharges which have certain hygrophilic and halophilic characteristics; consequently, the environment became propitious for their reproduction and population increase. This observation disagrees with the results of Matallah et al. (2016) at Dayet El Ferd, a temporary wetland in western Algeria, where the subfamily Cicindelinae predominated in terms of abundance. Moreover, both Andujare et al. (2001) and Matallah et al. (2016) reported that the subfamily Harpalinae was the richest in species of the carabid community. According to Lorenz (2005), this subfamily is the richest in species among the Carabidae, reaching about 19,000 species. In contrast, Daoudi et al.

(2017) reported the subfamily Trechinae to be the richest at Oued Ait Aissa in Morocco. What is important to note is that most species in Chott Tinsilt are represented by only a few individuals. This result could be explained by the unavailability or insufficiency of food in intermittent salt lakes, which causes great competition between species, leading to the appearance of such distribution models. Inter- and intraspecific competition, predation, and parasitism regulate the spatial and temporal distribution of species and the structure of communities (Baguette, 1992). Similar observations were made by Boukli-Hacene et al. (2011) and Matallah et al. (2016).

Based on the Shannon index and evenness values, there is a well-marked spatiotemporal variation of the ground beetle assemblage, which can be attributed to environmental heterogeneity—in other words, the spatial heterogeneity of environmental characteristics at each station (i.e. edaphic factors and vegetation cover). However, the temporal variation is due to the climatic conditions (mainly temperature and precipitation). Indeed, the month of March was the most diversified, corresponding to favorable conditions (temperature $T = 11\text{ }^{\circ}\text{C}$, precipitation $Pr = 23.37\text{ mm}$), while January and July were the least diversified, which coincided with unfavorable conditions (temperature $T = 0.54\text{ }^{\circ}\text{C}$, precipitation $Pr = 25.78\text{ mm}$ in January and temperature $T = 34.79\text{ }^{\circ}\text{C}$, precipitation $Pr = 6.64\text{ mm}$ in July). In general, climatic factors may partly explain the variation of alpha diversity (Xiao-Dong et al., 2016). Climatic predictors (temperature, precipitation, and air humidity) have positive effects on carabid species richness at regional and ecosystem levels, with differences between ecosystems (Tsafack et al., 2019). For all organisms, temperature can determine species richness through its effect on metabolic biochemical kinetics (Sanders et al., 2007). In the case of Carabidae, it influences flight, rate of digestion, fecundity, and larval survival (Thiele, 1977). The same is true for the influence of rainfall, since it positively affects soil moisture

and plant diversity, and consequently the structure of carabids (Yan et al., 2015). On the other hand, at the spatial scale, Soberón (2010) argues that climatic factors, in this case temperature and precipitation, play a more important role in the community structure than biotic factors. In agroecosystems belonging to the semiarid bioclimatic stage of eastern Algeria, Saouache et al. (2014) found that there was a spatial variation in ground beetle diversity indices, but the temporal variation of these indices was recorded only in cherry orchards.

It is obvious that when sampling effort increases, the probability of encountering new species also increases. For station T2, the species richness estimator (Chao1) reveals a large difference between the empirical species richness and that estimated at station T1 and for the entire site. Many studies have discussed the effectiveness of interception traps in sampling. Indeed, several characteristics influence capture capacity: (i) the surrounding vegetation and the position of the trap (Ward et al., 2001); (ii) the microclimate and climate (Mitchell, 1963; Chenchouni et al., 2015); (iii) the liquid used as an agent to immobilize and conserve

captured specimens (Jud and Schmidt-Entling, 2008); (iv) population densities and activity pattern of collected species (Mitchell, 1963). According to the rarefaction curves obtained for station T1 and the entire site, an additional sampling effort is necessary in order to establish a more complete inventory of species—in other words, to encounter all expected rare species.

The use of interception traps in this study provided important information on the carabid fauna in Chott Tinsilt. This community has a high taxonomic richness, with large spatiotemporal variations of alpha and beta diversity. Spatial variation in abundance and species richness are closely related to environmental factors such as electrical conductivity, soil moisture, organic matter, and vegetation cover.

The important biodiversity of carabids found in this wetland requires more protection in this kind of ecosystem, which is in danger due to anthropogenic pressure affecting the ecosystems' stability. More effort is recommended to deepen and upgrade our knowledge about the pattern distribution of this assemblage.

References

- Andujar C, Andujar T, Lencina JL, Ruano L, Serrano J (2001). Los Carabidae (Insecta, Coleoptera) del saladar de Cordovilla (Albaceta). *Sabuco* 2: 121-166 (in Spanish with an abstract in English).
- Antoine M (1955). Coléoptère carabiques du Maroc, *Zoologie* 1. 1st ed. Paris, France: LaRose.
- Antoine M (1957). Coléoptères carabiques du Maroc, *Zoologie* 2. 1st ed. Paris, France: LaRose.
- Antoine M (1959). Coléoptères carabiques du Maroc, *Zoologie* 3. 1st ed. Paris, France: LaRose.
- Antoine M (1961). Coléoptère carabiques du Maroc, *Zoologie* 4. 1st ed. Paris, France: LaRose.
- Antoine M (1962). Coléoptère carabiques du Maroc, *Zoologie* 5. 1st ed. Paris, France: LaRose.
- Baguette M (1992). Sélection de l'habitat des Carabidae en milieu forestier. PhD, University of Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium (in French).
- Balla A (2012). Synthèse écologique sur les zones humides algériennes d'importance internationale "Sites Ramsar". Engineer Dissertation, University of Batna, Batna, Algeria (in French).
- Bedel L (1895). Catalogue raisonné des coléoptères du Nord de l'Afrique (Maroc, Algérie, Tunisie, Tripolitaine) avec notes sur les îles de Canaries. 1st ed. Paris, France: Nabu Press (in French).
- Belhadid Z, Aberkane F, Gahdeb C (2014). Variability of ground beetle (Coleoptera–Carabidae) assemblages in Atlas Cedar of Algeria. *International Journal of Zoology* 4 (3): 71-78.
- Bezzalla A, Houhamdi M, Chenchouni H (2019a). Vegetation analysis of Chott Tinsilt and Sebket Ezzemoul (two Ramsar sites in Algeria) in relation to soil properties. In: Chenchouni H (editor). *Exploring the Nexus of Geoecology, Geography, Geoaerchology and Geotourism*. 1st ed. Switzerland: Springer Nature, pp. 39-42.
- Bezzalla A, Houhamdi M, Maazi MC, Chenchouni H (2019b). Modelling climate influences on population dynamics and diurnal time-budget of the Shelduck (*Tadorna tadorna*) wintering in Ramsar wetlands of Algeria. *Avian Biology Research* 12(2): 1-19. doi: 10.1177/1758155919835122
- Boivin, G, Hance T (2003). Ground beetle assemblages in cultivated organic soil and adjacent habitats: temporal dynamics of microspatial changes. *Pedobiologia* 47 (2): 193-202.
- Bonneau M, Souchier B (1994). Constituants et propriétés du sol. 1st ed. Paris, France: Masson (in French).
- Boukli S, Hassaine K (2009). Contribution in the knowledge of the bioecology of the beetles of the western Algeria salty and wet milieu. *Matériaux Orthoptériques et Entomocénologiques* 14: 103-109 (in French with an abstract in English).
- Boukli-Hacene S, Hassaine K, Ponel P (2011). Les peuplements des Coléoptères du marais salé de l'embouchure de la Tafna (Algérie). *Revue Écologie (Terre Vie)* 66: 1-15 (in French with an abstract in English).
- Boulkhssaim M, Ouldjoui A, Boulahbel S (2016). Breeding ecology of the shelduck *Tadorna Tadorna* in the wetland complex of Oum El Bouaghi. *Revue des BioRessources* 6 (2): 80-90 (in French with an abstract in English).

- Canfield RH (1941). Application of the line intercept methods in sampling range vegetation. *Journal of Forestry* 39: 384-388.
- Chenchouni H (2017a). Edaphic factors controlling the distribution of inland halophytes in an ephemeral salt lake "Sabkha ecosystem" at North African semi-arid lands. *Science of the Total Environment* 575: 660-671.
- Chenchouni H (2017b). Variation in White Stork (*Ciconia ciconia*) diet along a climatic gradient and across rural-to-urban landscapes in North Africa. *International Journal of Biometeorology* 59: 1425-1436.
- Chenchouni H, Menasria T, Neffar S, Chafaa S, Bradai L et al. (2015). Spatiotemporal diversity, structure and trophic guilds of insect assemblages in a semi-arid Sabkha ecosystem. *PeerJ* 3: 1-26. doi 10.7717/peerj.860
- Dajoz R (2002). Les coléoptères carabidés et ténébrionidés. *Ecologie et Biologie*. 1st ed. Paris, France: Tec & Doc (in French).
- Daoudi L, Chavanon G, Taybi AF, Mabrouki Y (2017). Contribution to the knowledge of riparian Coleoptera of Ait Aissa wadi region of Beni Tadjite-Talsint "Eastern Morocco". *Journal of Materials and Environmental Science* 8: 2903-2915.
- De Sartiges B, Fromont N (2013). Les zones humides. Les cahiers de l'eau CPIE 8: 1-27 (in French).
- Descender K, Pollet M, Segers G (1984). Carabid beetle distribution along humidity-gradients in rivulet-associated grasslands (Coleoptera, Carabidae). *Biologisch Jaarboek Dodonaea* 52: 64-75.
- Descender K (2000). Flight muscle development and dispersal in the life cycle of carabid beetles: patterns and processes. *Entomologie* 70: 13-31.
- DGF (2004). Atlas IV des zones humides algériennes d'importance internationale. Direction Générale des Forêts. 1st ed. Algiers, Algeria: Ed-Diwan (in French).
- Dufrène M (1992). Bioéographie et Écologie des Communautés de Carabidae en Wallonie. PhD, University of Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium (in French).
- Foster WA, Treherne JE (1976). The Effects of Tidal Submergence on an Intertidal Aphid, *Pemphigus trehernei* Foster. *Journal of Animal Ecology* 45: 291-301.
- González-Alcaraz MN, Jiménez-Cárceles FJ, Álvarez Y, Álvarez-Rogel J (2014). Gradients of soil salinity and moisture, and plant distribution, in a Mediterranean semiarid saline watershed: a model of soil-plant relationships for contributing to the management. *Catena* 115: 150-158
- Gotelli NJ, Chao A (2013). Measuring and estimating species richness, species diversity, and biotic similarity from sampling data. *Encyclopedia of Biodiversity* 5: 195-211.
- Gray JS (1989). Effects of environmental stress on species rich assemblages. *Biological journal of Linnean Society* 37:19-32.
- Gutierrez D, Menendez R, Mendez M (2004). Habitat based conservation priorities for carabid beetles within the Picos de Europa National Park, Northern Spain. *Biological Conservation* 115: 379-393.
- Jud P, Schmidt-Entling MH (2008). Fluid type, dilution, and bitter agent influence spider preservation in pitfall traps. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 129: 356-359.
- Kotze DJ, Brandmayr P, Casale A, Dauffy-Richard E, Dekoninck W et al. (2011). Forty years of carabid beetle research in Europe: from taxonomy, biology, ecology and population studies to bioindication, habitat assessment and conservation. *ZooKeys* 100: 55-148.
- Lambeets K, Vandegheuchte ML, Maelfait JP, Bonte D (2008). Understanding the impact of flooding on trait-displacements and shifts in assemblage structure of predatory arthropods on river banks. *Journal of Animal Ecology* 77: 1162-1174.
- Lorenz W (2005). Systematic list of extant ground beetles of the world (Insecta Coleoptera "Geadephaga": Trachypachidae and Carabidae incl. Paussinae, Cicindelinae, Rhysodinae). 2nd ed. Tutzing, Germany: W. Lorenz.
- Lövei GL, Sunderland KD (1996). Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Annual Review of Entomology* 41: 231-256.
- Magura T, Tothmeresz B, Molnar T (2001). Forest edge and diversity: carabids along forest-grassland transects. *Biodiversity and Conservation* 10: 287-300.
- Mahloul S, Harrat A, Petit D (2016). Diversity of grasshoppers (Caelifera) recorded on the banks of a Ramsar listed temporary salt lake in Algeria. *European Journal of Entomology* 113: 158-172
- Maman L, Vienne L (2010). Les zones humides, un patrimoine remarquable. *Geosciences* 12: 68-77 (in French).
- Matallah R, Abdellaoui-hassaine K, Ponel P, Boukli-hacene K (2016). Diversity of ground beetles (Coleoptera Carabidae) in the Ramsar wetland: Dayet El Ferd, Tlemcen, Algeria. *Biodiversity Journal* 7: 301-310.
- Mathieu C, Pieltain F (2003). Analyse Chimique de Sol: Méthodes Choiesies. 1st ed. Paris, France: Tec & Doc (in French).
- Menasria T, Aguilera M, Hocine H, Benammara L, Ayachi A et al. (2018). Diversity and bioprospecting of extremely halophilic archaea isolated from Algerian arid and semi-arid wetland ecosystems for halophilic-active hydrolytic enzymes. *Microbiological Research* 207: 289-298.
- Mitchell B (1963). Ecology of two carabid beetles, *Bembidion lampros* (Herbst) and *Trechus quadristriatus* (Schrank). II. Studies on populations of adults in the field, with special reference to the technique of pitfall trapping. *Journal of Animal Ecology* 32: 377-392.
- Neffar S, Chenchouni H, Si Bachir A (2016). Floristic composition and analysis of spontaneous vegetation of Sabkha Djendli in North-east Algeria. *Plant Biosystems* 150 (3): 396-403.
- Ouchtati N, Doumandji S, Brandmayr P (2012). Comparison of ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages in cultivated and natural steppe biotopes of the semi-arid region of Algeria. *African Entomology* 20: 134-143.
- Pradervand JN, Dubuis A, Reymond A, Sonnay V, Gelin A et al. (2013). Which factors influence orthoptera's species richness in the Western Alps? *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences Naturelles* 93 (4): 155-173.

- Rainio J, Niemela J (2003). Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity and Conservation* 12: 487-506.
- Sanders NJ, Lessard JP, Fitzpatrick MC, Dunn RR (2007). Temperature, but not productivity or geometry, predicts elevational diversity gradients in ants across spatial grains. *Global Ecology and Biogeography* 16: 640-649.
- Saouache Y, Doumandji S, Ouchtati N (2014). Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) assemblages in two agricultural landscapes in North-Eastern Algeria. *Ecologia Mediterranea* 40: 5-16.
- Soberón J (2010). Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. *Ecography* 33: 159-167.
- Thiele HU (1977). *Carabid Beetles in their Environments*. 1st ed. Berlin, Germany: Springer.
- Trautner J, Geigenmüller K (1987). *Tiger Beetles, Ground Beetles: Illustrated Key to the Cicindelidae and Carabidae of Europe*. 1st ed. Aichtal, Germany: Josef Margraf Publisher.
- Tsafack N, Rebaudo F, Wang H, Nagy DD, Xie Y et al. (2019). Carabid community structure in northern China grassland ecosystems: Effects of local habitat on species richness, species composition and functional diversity. *PeerJ* 6: 1-26. doi: 10.7717/peerj.6197
- Ward KE, Ward RN (2001). Diversity and abundance of carabid beetles in short-rotation plantings of sweetgum, maize and switchgrass in Alabama. *Agroforestry Systems* 53: 261-267.
- Xiao-Dong Y, Liang L, Feng-Yan W, Tian-Hong L, Si-Si Z et al. (2016). The relative importance of spatial and local environmental factors in determining beetle assemblages in the inner Mongolia grassland. *PloS One* 11 (5): 1-17. doi:10.1371/journal.pone.0154659
- Yan H, Liang C, Li Z, Liu Z, Miao B et al. (2015). Impact of precipitation patterns on biomass and species richness of annuals in a dry steppe. *PloS One* 10 (4): 1-14. doi: 10.1371/journal.pone.0125300
- Zanella L, Scarton F (2017). Ecological characterisation of dredge islands for the conservation of salt-marsh beetle fauna. The lagoon of Venice (Italy): a case study. *Wetlands Ecology Management* 25: 421-441.
- Zerguine K (2014). Chironomidae (Diptera: Insecta) of temporary salt lakes in the eastern Hauts Plateaux of Algeria. *The Experiment* 25: 1704-1710.