

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE DE TLEMCCEN

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

Département d'Ecologie et Environnement

Laboratoire de recherche

Valorisations des actions de l'homme pour la protection de l'environnement et  
application en santé publique

## *Thèse*

Présentée par

Mr IBOUD Mohamed Takieddine

En vue de l'obtention du

Diplôme de **Doctorat LMD**

en Ecologie animale

## **Bioécologie des Coléoptères Carabidae du lac Tonga (Parc National d'El-Kala)**

Soutenue devant le jury composé de :

Président	Mr BOUCHIKHI Zoheir	Professeur	Université de Tlemcen
Directrice de thèse	Mme BOUKLI HACENE Samira	M.C.A	Université de Tlemcen
Co-directeur de thèse	Mr PONEL Philippe	DR CNRS	Université d'Aix Marseille
Examineurs	Mme ABDELLAOUI-HASSAINE Karima	Professeur	Université de Tlemcen
	Mme KOUDACHE Fatiha	Professeur	Université de Sidi Bel Abbas

Année universitaire : 2023-2024

## Remerciements

Il me sera très difficile de remercier tout le monde car c'est grâce à l'aide de nombreuses personnes que j'ai pu mener cette thèse à son terme.

Je voudrais tout d'abord remercier grandement ma promotrice Mme BOUKLI HACENE Samira pour toute son aide. Je suis ravi d'avoir travaillé en sa compagnie car outre son appui scientifique, elle a toujours été là pour me soutenir et me conseiller au cours de l'élaboration de cette thèse.

J'adresse de chaleureux remerciements à Mr PONEL Philippe directeur de recherche au CNRS de l'Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE), Aix Marseille pour son attention de tout instant sur mes travaux, pour ses conseils avisés et son écoute qui ont été prépondérants pour la bonne réussite de cette thèse.

Je tiens à remercier Mr BOUCHIKHI Zoheir Professeur à la Faculté des Sciences de la Vie et de la Nature et des Sciences de la Terre et de l'Univers, département d'Ecologie et Environnement pour avoir accepté de présider mon jury de thèse.

Un grand merci à Mme ABDELLAOUI Karima Professeur à la Faculté des Sciences de la Vie et de la Nature et des Sciences de la Terre et de l'Univers, département d'Ecologie et Environnement qui a pris beaucoup de son temps pour m'écouter et discuter avec moi. Ces remarques m'ont beaucoup aidé dans la partie statistique.

J'adresse de sincères remerciements à Mme KOUDACHE Fatiha Professeur à la Faculté des sciences de la nature et de la vie de Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes pour l'honneur qu'elle me fait d'être dans mon jury de thèse.

Je tiens à remercier particulièrement Mr SIACKY Riccardo pour sa contribution à l'identification des espèces de Carabidae récoltées. Ainsi que Mr GUERRIRA Abdessalem et Mr HAMEL Tarek pour toutes nos discussions et leurs conseils qui m'ont accompagné tout au long de mon cursus.

Je remercie toutes les personnes avec qui j'ai partagé mes études et notamment ces années de thèse. Mes derniers remerciements vont à ma famille qui a tout fait pour m'aider, qui m'a soutenu et surtout supporté dans tout ce que j'ai entrepris.

‘Two roads diverged in a wood, and i took the  
one less traveled by, and that was made all the  
difference’

Robert Frost, The Road Not Taken (1915)

‘A mes très chers parents Nadir et Saida, mes frères Roufa, Ilyes  
et Adem-jassim ainsi que ma femme Selma, chaque ligne en  
cette thèse, chaque mot et chaque lettre vous exprime la  
reconnaissance, le respect, l’estime, la gratitude et le merci  
d’être dans ma vie...’

## Abstract

A study of Carabidae population in Lake Tonga in El-Kala National Park was carried out between 2017 and 2019. Using barber pitfall traps and in a systematic way, an inventory of Carabidae was carried out at the level of six microhabitats of Lake Tonga, the first Algerian site classified as a Ramsar site and included in the hotspots of the Mediterranean basin. Soil and vegetation parameters such as texture, pH, electrical conductivity and humidity level were assessed to highlight Carabidae distribution patterns in these microhabitats. Diversity parameters such as species richness, abundance, diversity indices (Shannon, Simpson and equitability), similarity indices and functional traits (dispersal ability, biogeographical type, size, moisture affinity and diet) were analyzed.

For a total of 960 samples collected during the study period from July 2017 to May 2019, analysis of the overall faunal composition led to the identification of a collection of 1726 individuals belonging to 83 species of Carabidae, unevenly distributed according to humidity affinity, texture and vegetation type.

The biogeographical spectrum enabled us to highlight six species new to the Algerian entomofauna, and six others reported for the first time from North Africa.

Canonical correspondence analysis for fauna/flora/environment relates the 96 animal and plant species surveyed to environmental variables, highlighting micro-environments with typical Carabidae communities organized according to (i) the salinity gradient variable (ii) the C/N ratio, pH, carbon and sand variables (iii) the clay and silts variables.

The temporal evolution highlights the maximum of richness and abundance at spring.

Functional trait analysis revealed the dominance of medium-sized species (> 36%), with a high dispersal capacity (> 93%), a high affinity for humidity (50%) and a predatory diet (> 73%).

**Keywords** : Carabidae, Ramsar, Algeria, El-Kala National Park, microhabitats diversity indices, micro distribution

## Résumé

Une étude des peuplements de Carabidae dans le lac Tonga du Parc National d'El-Kala a été réalisée entre 2017 et 2019. À l'aide de pots Barber et de façon systématique, un inventaire des Carabidae a été effectué au niveau de six microhabitats du lac Tonga, premier site algérien classé site Ramsar et inclu dans les hotspots du bassin méditerranéen. Des paramètres liés au sol et à la végétation ont été évalués : texture, pH, conductivité électrique, taux de matière organique et taux d'humidité. 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.

Pour un bilan de 960 échantillons récoltés pendant la période d'étude qui s'étend de juillet 2017 à mai 2019, l'analyse de la composition faunistique globale a conduit à la détermination d'une collection de 1726 individus appartenant à 83 espèces de Carabidae inégalement réparties en fonction du taux d'humidité, texture et type de végétation.

Le spectre biogéographique nous a permis de mettre en évidence six espèces nouvelles pour l'entomofaune algérienne et six autres sont reportées pour la première fois au Nord d'Afrique.

L'analyse canonique des correspondances faune/flore/environnement mettant en relation les 96 espèces animales et végétales recensées et les variables environnementales, a mis en relief des patterns de distributions des communautés de Carabidae dans le Lac Tonga qui s'organisent selon, la variable gradient de salinité, des variables rapport C/N, pH, carbone et sable et des variables argile et limon.

L'évolution temporelle fait ressortir des richesses et des abondances maximales au printemps. L'analyse des traits fonctionnels a révélé chez les Carabidae du lac Tonga, une dominance de taille moyenne (> 36%), une grande capacité de dispersion (> 93%), une affinité à l'humidité (50%) et un régime alimentaire de type prédateurs (> 73%).

**Mots clés :** Carabidae, Ramsar, Algérie, Parc National d'El-Kala, microhabitats, indices de diversités, microdistribution.

## ملخص

تم اجراء دراسة على تعداد الخنافس (Carabidae (Coleoptera في بحيرة طنقة في نطاق الحظيرة الوطنية للقالا بين عامي 2017 و2019

باستخدام المصائد وبطريقة منهجية، تم اجراء حصر واحصاء للخنافس في بحيرة طنقة التي تعتبر اول موقع جزائري يتم تصنيفه ضمن معاهدة رامسار للمناطق الرطبة ذات الالهمية الدولية وضمن اليور الساخنة في حوض البحر الابيض المتوسط. تم تحليل العديد من معايير التنوع، مثل ثراء الانواع والوفرة، مؤشرات التنوع (شانون، سيمبسون...) ومؤشرات التشابه والسمات الوظيفية (قوة التشتت، النوع الجغرافي، الحجم، الرطوبة والنظام الغذائي) كما تم تقييم العوامل الأخرى المرتبطة بالتربة والغطاء النباتي: الملمس، درجة الحموضة، التوصيل الكهربائي، مستوى المادة العضوية ومستوى الرطوبة .

960 عينه تم جمعها خلال فترة الدراسة الممتدة من يوليو 2017 الى مايو 2019، ادى الى احصاء 1726 فردا ينتمون الى

83 صنفا من انواع الخنافس موزعة بشكل غير متساو اعتمادا على الرطوبة، قوام التربة و طبيعة الغطاء النباتي ستة اصناف جديدة تم تسجيلها في الجزائر كما تم العثور على ستة اصناف اخرى وتوثيقها للمرة الاولى في شمال افريقيا. تحليل التوافقات بين الحيوانات النباتات والبيئة من ضمن 96 نوعًا من الحيوانات والنباتات المسجلة مع المتغيرات البيئية، قام بتسليط الضوء على البيئات الدقيقة مع المجتمعات النموذجية للخنافس Carabidae التي يتم تنظيمها وفقاً لـ (i) متغيرات تدرج الملوحة (ii) نسبة C/N، الرقم الهيدروجيني، متغيرات الكربون والرمل (iii) متغيرات الطين والطيني.

التطور الزمني ابان على ان أكبر نسب التنوع ووفرة الاعداد تم تسجيلها في فصل الربيع كشف تحليل السمات الوظيفية عن هيمنة الانواع متوسطة الحجم %36مع قدرة تشتت عالية %93>، قابلية عالية للرطوبة (50%) ونوع غذائي مفترس %73>

الكلمات المفتاحية: خنافس، رامسار، الجزائر، الحظيرة الوطنية للقالا، مؤشرات التنوع، التوزيع الجزئي.

## Sommaire

### Chapitre I : Présentation des Carabidae et de l'aire d'étude

1. Aperçu sur la biologie des Carabidae .....	5
1.1. Systématique .....	5
1.2. Présentation générale des Carabidae .....	6
1.3. Origine.....	9
1.4. Traits fonctionnels.....	9
1.4.1. Pouvoir de dispersion .....	9
1.4.2. Taille.....	10
1.4.3. Mode trophique.....	11
1.5. Intérêts des Carabidés.....	11
1.5.1 Carabidés et lutte biologique .....	11
1.5.2 Carabidés comme bioindicateurs.....	12
2. Description générale et localisation .....	12
2.1.1. Formations secondaires .....	14
2.1.2. Formations tertiaires .....	14
2.1.3. Formations quaternaires .....	14
2.2. Topographie .....	16
2.3. La couverture pédologique du PNEK .....	17
2.3.1. Les sols dunaires.....	17
2.3.2. Les sols inter-collinaires.....	17
2.3.3. Les sols des milieux forestiers.....	17
2.4. Diversité écosystémique du PNEK .....	17
2.4.1. Les tourbières .....	17
2.4.2. La cocciféraie .....	18
2.4.3. Les ripisylves.....	18

2.4.4. Les milieux rocheux et plages .....	18
2.4.5. Les zones humides.....	18
2.5. Réseau hydrographique et bassins versants .....	20
2.6. Etude climatique.....	21
2.6.1. Températures .....	21
2.6.2. Pluviométrie.....	22
2.6.3. Hygrométrie.....	22
2.6.4. Vents .....	23
2.6.5. Synthèse des données climatiques de la région d'étude .....	24
2.7. Richesse faunistique et floristique.....	25
2.7.1. La faune .....	26
2.7.2. La flore .....	27
1. Site d'étude .....	31
1.1. Description et localisation.....	31
1.2. Caractéristiques physiques .....	32
1.2.1. Géomorphologie .....	32
1.2.2-Géologie .....	32
1.2.3. Hydrologie.....	32
1.2.4. Pédologie .....	33
1.2.5. Climat .....	35
1.3. Caractéristiques écologiques :.....	36
1.3.1. Végétation du lac et de son bassin versant .....	36
1.3.2. Faune remarquable .....	36
2. Analyses des paramètres édaphiques .....	37
3.Analyse de la végétation .....	37
4. Etude de la faune carabique .....	37

5. Méthodes d'analyse de la structure des peuplements .....	40
5.1. Etude indicielle et représentations graphiques .....	40
5.2. Méthodes statistiques multivariées.....	45
1. L'hydrologie de surface .....	49
2. Analyse des paramètres édaphiques .....	50
3. Composition floristique et détermination des microhabitats .....	52
4. Le peuplement des Carabidae.....	54
4.1. Composition et biogéographie .....	54
4.1.1. Composition taxonomique de la faune inventoriée .....	54
4.1.2. Biogéographie des Carabidae .....	59
4.1.3. Espèces indicatrices des microhabitats du lac Tonga.....	66
5. Evolutions spatiale et temporelle Carabidae dans le lac Tonga.....	68
5.1. Evolution spatiale des Carabidae dans le lac Tonga .....	68
5.1.1. Comparaison des Carabidae dans les microhabitats.....	68
5.1.2. Etude indicielle de la diversité spécifique .....	70
5.1.3. Coefficient de corrélation Pearson .....	77
5.1.4. Diagramme rang-fréquence .....	78
5.1.5. Indice de similitude de Jaccard.....	81
5.1.6. Fréquence d'occurrence ou constance des espèces .....	82
5.2. Evolution temporelle des Carabidae dans le lac Tonga .....	86
5.2.1. Comparaison des Carabidae par saison .....	86
5.2.2. Variation saisonnière des indices de diversité et de l'équitabilité.....	87
5.2.3. Traitement statistique des données .....	90
6. Traits biologiques et écologiques des Carabidés dans les différents microhabitats .....	94
6.1. Taille corporelle.....	94
6.2. Pouvoir de dispersion.....	94

6.3. Groupes trophiques en fonction de l'abondance et de la richesse spécifique. ....	95
6.3.1. Distribution spatiale des groupes trophiques des Carabidae dans le lac en fonction de l'abondance.....	97
6.3.2. Répartition spatiale des groupes trophiques en fonction de leur richesse spécifique totale. ....	98
6.4. Exigences en humidité .....	99
6.5. Traitement statistique des données.....	99
6.5.1. Analyse de la matrice de taille, type alaire et mode trophique des Carabidae .....	99
6.6. Discussion .....	102
Conclusion.....	110
Références bibliographiques.....	116
Annexe.....	138

## Liste des figures

Figure 1: Face ventrale d'un carabidé ( <i>Carabus monilis</i> ) (DU CHATENET, 1990).....	8
Figure 2: Localisation du Parc National d'El-Kala .....	13
Figure 3: Carte géologique du Parc national d'El-Kala (VILLA 1980).....	15
Figure 4 : Répartition des zones humides du Parc National d'El-Kala .....	19
Figure 5: Carte du réseau hydrographique (CENEAP 2010-2012) in SARRI 2017 .....	20
Figure 6:Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953) de la région d'El-Kala (2009-2019).....	24
Figure 7: Etage climatique de la région d'El-Kala selon le climagramme d'Emberger (2009-2019) .....	25
Figure 8: Carte de végétation du Parc National d'El-Kala du BNEF 1984, in SARRI 2017.....	29
Figure 9: Situation géographique du lac Tonga (Originale). .....	31
Figure 10: Carte des ressources hydriques de la Willaya d'El-Tarf et de Lac Tonga (in SARRI, 2017). .....	33
Figure 11:Carte pédologique de la Willaya d'EL-Tarf et des Lac de Tonga (in SARRI, 2017)..	34
Figure 12: Carte d'occupation des sols de la Willaya d'El-Tarf et de Lac de Tonga (in SARRI, 2017).....	34
Figure 13: Carte des étages bioclimatiques de la Willaya d'El-Tarf et du lac Tonga (Amriou, 2011). .....	35
Figure 14: Dispositif d'échantillonnage dans le site d'étude.....	38
Figure 15: Schémas d'un piège Barber (B. Meriguet), modifié .....	38
Figure 16: <i>Percus lineatus</i> (Solier, 1835) Tonga, mai 2019.....	39
Figure 17: Aspirateur à bouche.....	39
Figure 18: <i>Carabus famini</i> (Dejean, 1826).....	39
Figure 19: Représentation de l'indice Q basé sur le modèle de DIMO (QINGHONG, 1995), détermination graphique de la diversité. L'indice Q correspond à la longueur du vecteur de l'origine au point –prélèvement (ligne de flèche).....	43
Figure 20: Photo du secteur submersible semi permanent au TIG1 et TIG2.....	49
Figure 21: Représentation schématique des deux transects au niveau du marais du lac Tong.....	54
Figure 22: Importance de la richesse spécifique et de l'abondance relative des sous familles de Carabidae .....	57

Figure 23: Importance des genres de la famille des Carabidae en fonction de la richesse spécifique .....	58
Figure 24: Biogéographie des espèces méditerranéennes des Carabidae .....	59
Figure 25: Dendrogramme issu de la CAH de la matrice de répartition biogéographique des espèces. ....	61
Figure 26: Aspect dorsal. A. <i>Agonum muelleri</i> . B. <i>Harpalus rubripes</i> . C. <i>Poecilus cupreus</i> . D. <i>Anisodactylus signatus</i> . E. <i>Dyschirius chalceus</i> . F. <i>Poecilus cursorius</i> .....	63
Figure 27: Aspect dorsal. A. <i>Harpalus cupreus</i> . B. <i>Chlaenius circumscriptus</i> . C. <i>Olisthopus fuscatus</i> . D. <i>Siagona dejeani</i> . E. <i>Badister collaris</i> . F. <i>Oodes helopioides</i> . G. <i>Asaphidion stierlini</i> . ....	65
Figure 28: Importance de l'abondance relative des Carabidae par microhabitat.....	68
Figure 29: Richesse spécifique par microhabitat .....	69
Figure 30: Evolution spatiale de la richesse spécifique et de l'abondance.....	70
Figure 31: Variation spatiale de l'indice de diversité de Shannon-Wiener .....	71
Figure 32: Variation spatiale de l'indice de diversité de Shannon-Wiener et de la diversité maximale.....	71
Figure 33: Variation spatiale des indices de diversité et l'indice de Pielou.....	72
Figure 34 : Variation spatiale de l'indice de Simpson.....	73
Figure 35: Variation spatiale de l'indice de Hill et de l'indice de Simpson.....	74
Figure 36: Variation spatiale de l'indice de diversité de Qinghong .....	74
Figure 37: Application du modèle DIMO par la représentation simultanée de la richesse spécifique ( $\log_2(S)$ ), de l'indice diversité ( $H'$ ), de l'équitabilité. (Ligne diagonale=équitabilité maximale ( $J'=1$ ) et Q correspond à la longueur du vecteur de l'origine au point – faciès (ligne de flèche)). ....	75
Figure 38: Variation spatiale de l'indice de Chao dans les différents microhabitats.....	76
Figure 39: Courbe de raréfaction démontrant l'effort d'échantillonnage .....	77
Figure 40: Dendrogramme de la matrice de proximité obtenue par l'indice de Pearson .....	78
Figure 41: Distribution de la richesse spécifique par classe d'abondance des espèces .....	79
Figure 42: Diagramme rang-fréquence de la communauté des Carabidae dans les deux transects de l'aire d'étude appliqués au modèle de FRONTIER (droite) et au modèle de MOTOMURA (gauche).....	80
Figure 43: Importance des types d'espèces selon leurs occurrences dans le lac .....	83

Figure 44: Carte de l'Analyse Canonique des corrélations (ACC) 6 microhabitats x 96 espèces faune/flore combinées x 9 variables environnementales (C. N= rapport Carbon sur azote, CE=Conductivité électrique). .....	85
Figure 45: Variation saisonnière du nombre de spécimens .....	86
Figure 46: Variation temporelle de la richesse spécifique.....	87
Figure 47: Variation temporelle de l'indice de diversité de Shannon-Wiener H' .....	88
Figure 48: Variation temporelle de la diversité maximale.....	88
Figure 49: Variation temporelle de l'équitabilité de Piélou.....	89
Figure 50: Variation temporelle de l'indice de Simpson D .....	89
Figure 51: Dendrogramme issu de la CAH de la matrice de répartition temporelle des Carabidae .....	91
Figure 52: Plan factoriel F1xF2 de la matrice de répartition temporelle des espèces .....	93
Figure 53: Taille des espèces du lac Tonga .....	94
Figure 54: Les espèces macroptères et brachyptères du lac Tonga .....	95
Figure 55: Fluctuation de l'abondance et de la richesse spécifique des groupes trophiques dans le lac Tonga.....	96
Figure 56: Importance relative du nombre d'individus par groupe trophique dans les deux transects.....	97
Figure 57: Importance relative du nombre d'espèces par groupe trophique dans les deux transects. ....	98
Figure 58: Pourcentage des espèces de Carabidae du lac Tonga selon leurs exigences en humidité .....	99
Figure 59: Analyse factorielle des correspondances appliquées à la matrice de la taille, type alaire et le mode trophique des espèces de Carabidae .....	101

## Liste des tableaux

Tableau 1: Les principaux cours d'eau de l'aire du Parc (CENEAP 2010-2012) .....	21
Tableau 2: Moyennes des températures mensuelles de la région d'El Kala (2009-2019).....	22
Tableau 3: Moyennes des précipitations mensuelles de la région d'El Kala (2009-2019).....	22
Tableau 4: Moyennes hygrométriques mensuelles de la région d'El Kala (2009-2019).....	23
Tableau 5: Moyennes mensuelles de la vitesse des vents de la région d'El-Kala (2009-2019) ...	23
Tableau 6: Le patrimoine faunistique du PNEK (PNEK 2007).....	26
Tableau 7: Surface et pourcentage des essences forestière du PNEK. ....	28
Tableau 8: Résultats des paramètres édaphiques .....	51
Tableau 9: Composition végétale de l'aire d'étude .....	53
Tableau 10: Liste des Carabidae du lac Tonga .....	55
Tableau 11: Valeur indicatrice (IndVal) des taxons ou des combinaisons des espèces dans les microhabitats du lac Tonga [A=Spécificité, B=Fidélité, Prob. $\leq 0,200$ .....	67
Tableau 12: Matrice de proximité (Coefficient de corrélation de Pearson) dans le lac Tonga ....	77
Tableau 13: Indice de similitude de Jaccard et nombre d'espèces de Carabidae en commun dans les six microhabitats individualisés .....	81
Tableau 14: Abondance et richesse spécifique des groupes trophiques de Carabidae dans le Lac Tonga. ....	96
Tableau 15: Répartition spatiale des groupes trophiques des Carabidae dans le lac en fonction de l'abondance. ....	97

## **Abréviation**

**CNEAP** : Centre National d'études et analyses pour la population et le développement.

**APD** : African Plants Database

**DGF** : Direction Générale des Forêts.

**MAB** : Man And Biosphere – Programme sur l'homme et la biosphère pour l'UNESCO.

**PNEK** : Parc National d'El-Kala.

**UNESCO** : Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture.

**BNEF** : Bureau National des Etudes Forestières.



# **INTRODUCTION**

# **GENERALE**

## ***Introduction générale***

Les lacs et les zones humides couvrent sur un total de 16,7 millions de km<sup>2</sup>, ils sont considérés parmi les milieux les plus productifs du globe. Il s'agit d'habitats caractérisés par une haute diversité biologique et hébergeant dans le monde plus de 40% des espèces animales (**MITRA et al., 2003**).

Les zones humides sont des écosystèmes complexes qui sont le produit de processus écologiques, hydrologiques et climatiques associés aux activités d'organismes vivants, y compris les humains. Elles constituent l'une des ressources naturelles les plus importantes de la Terre, mais aussi l'une des plus fragiles. Elles sont donc d'une grande importance pour la conservation de la biodiversité, car elles sont très riches tant en flore qu'en faune, elles remplissent également diverses fonctions et rendent de nombreux services aux populations locales (**CUCHEROUSSET, 2006**).

De par sa situation géographique, le potentiel des zones humides de grande valeur écologique, culturelle et économique, et la diversité de ces habitats, l'Algérie dispose d'une biodiversité très diversifiée (**QUEZEL & MEDAIL, 2003**). En effet, le pays a adhéré à la convention de Ramsar en 1983 où les deux premiers sites, le lac Oubeira et le lac Tonga ont été inscrits, ils sont à leurs tours inclus dans le Parc National d'El Kala, classé en "Réserve de la Biosphère" par l'UNESCO dans le cadre du programme "Man and Biosphere" en 1990. On compte désormais 50 zones humides listées Ramsar en Algérie (**BALLA, 2012**).

Le site Ramsar du lac Tonga est la zone humide la plus importante d'Afrique du Nord (**SAMRAOUI & DE BELAIR, 1998**). Inclus dans le hotspot du bassin méditerranéen, les zones humides de toute la Numidie littorale hébergent un ensemble aussi important qu'original de la flore algérienne (**VELA & BENHOUBOU, 2007**). L'importance de ce territoire est mesurée par les conditions qu'elles procurent pour satisfaire les besoins vitaux des espèces qui y peuplent et entre autres les Coléoptères terricoles qui sont particulièrement utiles en tant que bioindicateurs en répondant fortement aux changements des conditions de leurs habitats (**RAINIO & NIEMELÄ, 2003**).

La famille des Carabidés constitue l'un des groupes de coléoptères les plus connus et l'un des plus étudiés au monde. Cette famille très riche en espèces se trouve dans la plupart des habitats terrestres (**ARNDT, 2005**). Actuellement, environ 38 600 espèces de Carabidés sont répertoriées

## *Introduction générale*

dans le monde et on estime à une centaine le nombre d'espèces nouvelles découvertes chaque année (LORENZ, 2005).

Les Carabidae sont bien connus dans certains pays du Nord de l'Afrique, particulièrement au Maroc (ANTOINE, 1955-1962 ; CHAVANON & MAHBOUB, 1998), en Tunisie grâce aux investigations de NORMAND (1933) et plus récemment de GHANEM *et al.* (2016, 2017). En Algérie, les Carabidae ont été étudiés autrefois par BEDEL (1895-1914), plus récemment par PUIPIER (2005), OUCHTATI *et al.* (2012), SAOUACHE *et al.* (2014), CHENCHOUNI *et al.* (2015), MATALLAH *et al.* (2016), DAAS *et al.* (2016) et AMRI *et al.* (2019).

Les Coléoptères des zones humides en Algérie restent peu étudiés à l'exception de quelques travaux généraux sur cet ordre d'insectes (BOUKLI-HACENE *et al.* 2011 et 2014). Parmi les travaux ciblant les Carabidés des milieux humides il faut citer les articles récents de CHENCHOUNI *et al.* (2015) sur la sebkha de Djendli à Batna (Ouest de l'Algérie), MATALLAH *et al.* (2016) sur la zone humide de Dayet El Ferd site classé Ramsar, DAAS *et al.* (2016) et AMRI *et al.* (2019) sur le Chott Tinsilt.

Les objectifs du présent travail sont de :

- Dresser un inventaire des espèces de Carabidae afin de comprendre la composition et l'écologie de la communauté des Carabidés récoltés dans le lac Tonga et signaler la présence des espèces nouvelles pour l'Algérie et l'Afrique du Nord.
- Décrire la structure de la communauté en utilisant les études indiciaires ainsi que des analyses de la répartition spatio-temporelle des abondances des espèces mais aussi de définir le taux d'endémisme.
- Définir les traits biologiques et écologiques des Carabidés dans les différents microhabitats.

Cette thèse est présentée d'une manière classique et s'articule en 3 chapitres :

- Le premier chapitre consiste à résumer l'ensemble des données bibliographiques sur la biologie, l'écologie et la systématique de cette famille de Carabidae ainsi que la présentation du site d'étude en fournissant toutes les informations sur les données climatiques et géographiques et ses différents aspects physiologiques.

## *Introduction générale*

- Le deuxième chapitre est consacré à la méthodologie adoptée et le matériel utilisé pour l'analyse du sol, le cortège floristique ainsi que les méthodes et les matériels qui nous ont aidés à collecter les résultats et mener à bien ce travail.
- Le troisième chapitre réunit les résultats et les discussions comparés avec plus 50 références bibliographiques des travaux antérieurs exposant ainsi successivement les propriétés du sol, les caractéristiques de la végétation, la biogéographie des espèces, la structure et l'organisation spatiale et temporelle et l'expression des traits bioécologiques des Carabidae dans le lac Tonga.

# **Chapitre I**

## **Présentation des Carabidae et de l'aire d'étude**

## **1. Aperçu sur la biologie des Carabidae**

### **1.1. Systématique**

Les Coléoptères Carabidae constituent l'une des familles d'insectes les plus riches en termes de richesse spécifique avec plus de 40000 espèces inventoriées (**ERWIN, 1985**) voire 50000 espèces (**STORK in DESENDER, 1987**) et même 60000 espèces (**STORK, in GASTON, 1991**), avec une estimation de la description de 100 nouvelles espèces chaque année (**LORENZ, 2005**).

Ils occupent la plupart des écosystèmes à l'exception de l'Antarctique. Ils se retrouvent dans tous les milieux depuis le littoral marin jusqu'aux plus de 5000m d'altitude (**DAJOZ, 2002**). Ceci est dû essentiellement à leur pouvoir adaptatif aux multiples conditions écologiques rencontrées. C'est par la diversité des processus éco physiologiques et le polymorphisme de leurs traits d'histoire naturelle que les carabidés sont aptes à coloniser pratiquement tous les écosystèmes terrestres (**DUFRENE, 1992**).

Cette grande famille est subdivisée en plusieurs sous-familles telles que les Pterostichinae, Harpalinae, Trechinae, Brachininae, Carabinae, etc...

Les Carabidés appartiennent à l'embranchement des Arthropodes, ordre des Coléoptères, sous ordre Adephaga. Les Adephaga terrestre 'Geadephaga' sont représentés exclusivement par les Carabidae (Cicindelinae y compris). Les Adephaga aquatiques ou Hydradephaga sont divisés en 4 familles : Les Gyrinidae, les Haliplidae, les Hygrobiidae et les Dytiscidae. (**THIELE, 1977**).

Il n'existe actuellement aucune classification générale des Carabidés qui soit acceptée par tous (**AMRI, 2019**). La classification de **JEANNEL (1941-1942 et 1946-1949)** est caractérisée par plusieurs initiatives dont la création de 29 familles pour l'ensemble des Caraboidae, eux-mêmes divisées en plusieurs sous familles, tribus et sous tribus. Cette élévation au rang familial ou tribal a été critiquée et est largement inacceptable sauf par les entomologistes francophones. En revanche, **LINDROTH (1961-1969)** n'a reconnu que huit sous-familles et de nombreuses tribus. Les caractères principaux utilisés par **JEANNEL (1942)** pour diviser les Caraboidea en grands groupes sont : la structure du protibia et en particulier la disposition de leurs éperons terminaux, la structure du mésosternum et la disposition des pièces sternales qui entourent les cavités coxales intermédiaires.

Actuellement, les critères utilisés sont très divers : morphologie externe, anatomie de l'appareil reproducteur mâle et femelle, morphologie larvaire, formule chromosomique, étude des ADN et

analyse chimique des substances défensives. En raison de sa complexité et de sa variabilité, l'appareil reproducteur femelle est de plus en plus utilisé pour établir une phylogénie des Carabidés selon les méthodes cladistiques (**DEUVE 1993 ; LIEBHERR et WILL 1998**).

Les deux récentes et voisines classifications sont celles de **KRYSHANOWSKY (1976)** et de **ERWIN (1979)**. Récemment, diverses modifications ont été proposées par **LAWRENCE et NEWTON (1995)** et **BALL et al., (1998)**.

Avec les conceptions de **REICHARDT (1977)** et de **BOUSQUET et LAROCHELLE (1993)**, ces auteurs divisent la famille des Carabidae en 12 sous familles.

La position systématique des Carabidae est la suivante :

Règne : *Animalia*

Embranchement : *Arthropoda*

Sous-embranchement : *Hexapoda*

Classe : *insecta*

Sous-classe : *Pterygota*

Infra-classe : *Neoptera*

Super-ordre : *Endopterygota*

Ordre : *Coleoptera*

Sous-ordre : *Adephaga*

Famille : *Carabidae*

## **1.2. Présentation générale des Carabidae**

Les carabidés ont un corps allongé, parfois un peu aplatis. Ils peuvent être ternes ou luisants. Le noir est la couleur la plus commune chez cette famille mais beaucoup d'espèces ont de beaux reflets métalliques.

Les carabidés sont caractérisés par des élytres sculptés, munis de fossettes ou pubescents. Ils possèdent généralement des élytres soudés, chaque élytre présente 9 de stries et d'interstries. Cette dernière caractéristique est importante dans la détermination des espèces de cette famille entomologique.

La plupart des espèces ont un dimorphisme sexuel observable. Les variations les plus fréquentes concernent :

- La longueur du corps : les femelles sont généralement plus grandes que les mâles.

- La configuration des articles des tarse : chez les Carabidae mâles, les 4 premiers articles du protarse peuvent être élargis et dotés de phanères adhésifs qui aident ces derniers à s'accrocher sur le dos de la femelle.
- La couleur du corps : il n'est pas non plus rare d'observer des variations de coloration (femelles noires et mâles colorés ou bien femelles mates et mâles brillants).
- Souvent chez les mâles, on trouve des caractères sur le dernier sternite abdominal visible, qui peut être doté de tubercules, crêtes ou fossettes (**DERROUCHE et GUERFI, 2016**).

Les principaux caractères morphologiques qui permettent de reconnaître un Carabidae sont les suivants (Figure 1) :

- Sutures notopleurales du prothorax visible extérieurement.
- Cavités coxales antérieures ouvertes en arrière dans quelques tribus telles que les Carabini, Cychrini, Nebriini, Opisthiini, Notiophilini, et fermées en arrière par des prolongements internes du prosternum dans la quasi majorité des Carabidae.
- Abdomen de six segments visibles correspondant aux sternites III à VIII, les trois premiers (C'est à dire III, IV et V) soudés : urosternites IX et X généralement invaginés et cachés.
- Tarses à 5 articles, sauf de rares exceptions telles que les Anillini qui ont des tarses à quatre articles.
- L'abdomen est pourvu de six sternites, sauf pour les *Brachinus* qui en comptent huit.
- Le premier sternite abdominal est divisé par les hanches postérieures : sa marge postérieure n'est pas visible entre les hanches. Les six segments sont visibles.
- La nervure médiane des ailes membraneuses forme un coude à la base de la cellule médiane, ce qui détermine la formation d'une aire plus au moins triangulaire appelée *oblongum* ; chez certaines espèces de Carabidae, les ailes sont atrophiées ou absentes.
- Trochanters postérieurs larges.
- Les antennes sont toujours linéaires et filiformes, dotées de onze articles, insérées latéralement entre l'œil et le scrobe mandibulaire.
- Quatre tubes de malpighi ; testicules tubulaires ; ovaires de type méroïstique polytrophe (**DAJOZ, 2002**).

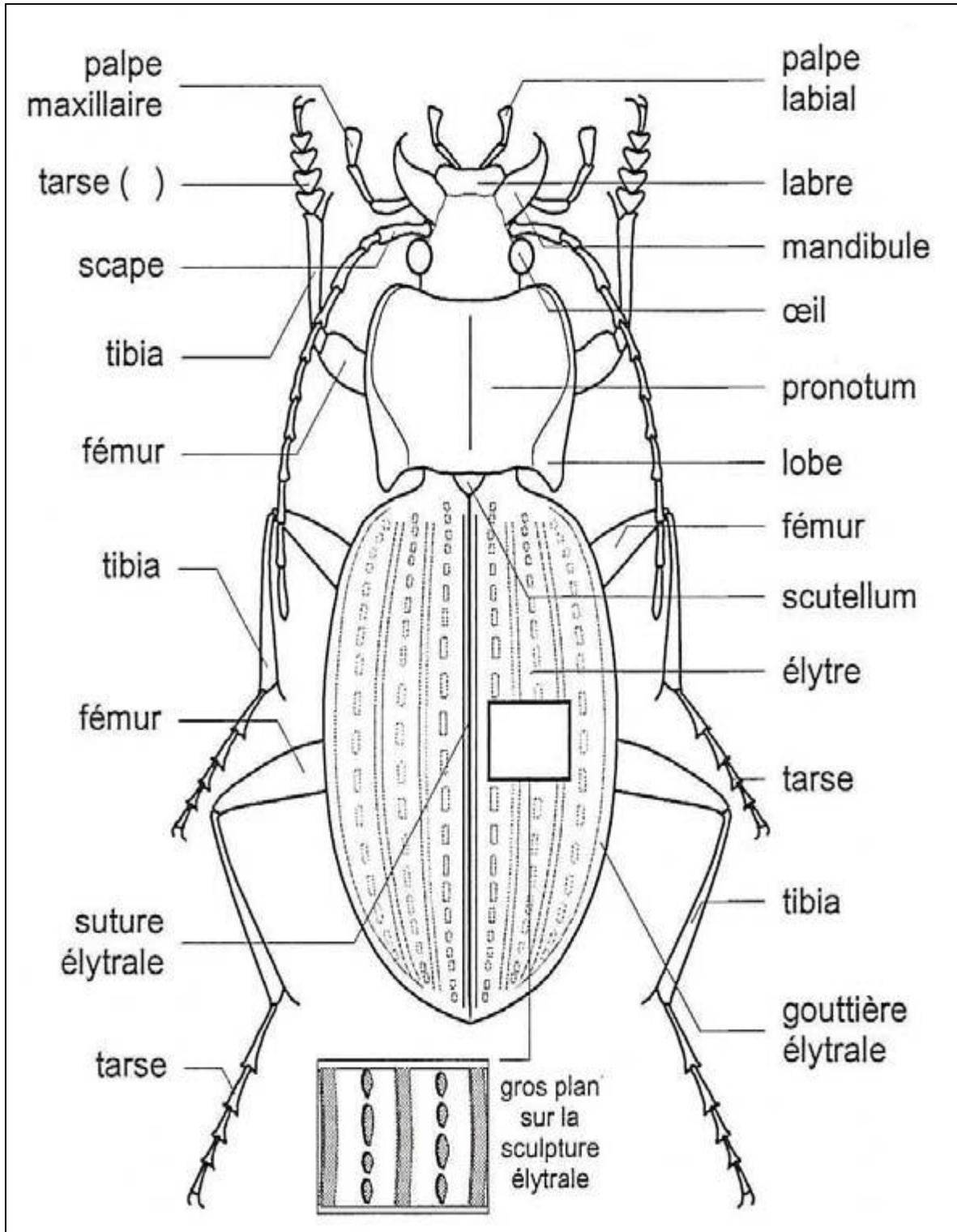


Figure 1: Morphologie externe d'un carabe (BOITTIN, 2018).

### **1.3. Origine**

Les Carabidae étaient probablement des Coléoptères adaptés aux milieux rivulaires dans la Pangée tropicale (ERWIN, 1979). Selon THIELE (1977), une série d'événements aurait permis à cette famille de s'installer en milieu forestier et montagnard. La spéciation des principaux groupes remonte au trias, pendant l'ère secondaire. Elle aurait été fortement favorisée par les isolements géographiques successifs et le développement simultané de prédateurs de plus en plus spécialisés tels que les batraciens, les oiseaux insectivores et les autres insectes. Les fossiles sont cependant beaucoup plus abondants dans les dépôts tertiaires, période au cours de laquelle l'évolution a été très rapide. Si les espèces du début du tertiaire n'existent plus maintenant, il n'en n'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 (DUFRENE, 1992).

### **1.4. 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 (DUFRENE, 1992).

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).

#### **1.4.1. Pouvoir de dispersion**

Les carabidés se déplacent essentiellement au sol mais plusieurs espèces sont également capables de voler. 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 du pouvoir de dispersion (KOTZE *et al.*, 2011).

Leur pouvoir de dispersion est tout aussi variable (**DUFRENE, 1992**). En fonction de l'état de développement des ailes, on distingue quatre groupes : les brachyptères (individus dépourvus d'ailes), les macroptères (individus possédant des ailes), 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 aptes de parcourir en moyenne entre 2 et 6,5 m/heure, selon les espèces (**WALLIN & EKBOM, 1988**). Leur capacité de dispersion est fonction de la taille de leurs pattes (**ROUME, 2011**) et du couvert végétal en place (**DUCHAZABENEIX LABRUYERE, 2016**). D'après **DUFRENE (1992)**, les espèces brachyptères dominent dans les milieux forestiers, tandis que les macroptères habitent les milieux ouverts (les habitats rivulaires, les marais salants, les pelouses calcaires, les cultures, ...). Finalement, les espèces dimorphiques sont indifférentes et possèdent une très large gamme d'habitats.

#### **1.4.2. Taille**

La taille corporelle de l'organisme est une caractéristique fondamentale en écologie (**KINGSOLVER & HUEY, 2008**). Elle est liée aux 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**).

Les espèces de Carabidés sont divisées en trois : les petites espèces, les espèces moyennes et les grandes espèces (**COLE et al., 2002**). Ce caractère morphologique est tributaire du type de milieux (**DUFRENE, 1992 ; CHUNGU et al., 2017**), de son état de stabilité (**BLAKE et al., 1994 ; AVIRON et al., 2005 ; MULLEN et al., 2008**) et de la structure du paysage (**YUNHUI et al., 2015**).

Effectivement, les espèces de grande taille colonisent les milieux forestiers les moins perturbés et sont fortement associées à la structure du paysage, alors que les petites espèces, très mobiles, fréquentent les milieux perturbés et ouverts et sont grandement affectées par la diversité végétale locale (**DUFRENE, 1992**).

### 1.4.3. Mode trophique

Les Carabidés ont été toujours considérés comme des prédateurs ou carnivores, pourtant le régime alimentaire de l'ensemble de la famille est très diversifié. Etant donné la variation de leur spectre alimentaire, **DEN BOER & DEN BOER-DAANJE (1990)** considèrent que la polyphagie leur convient beaucoup mieux que la prédation. Le spectre trophique comprend 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 (**THIELE, 1977**). En outre, ces insectes peuvent explorer les différentes strates de la végétation à la recherche de nourriture (**YOUNG, 2008**), et même au cours du développement de l'espèce, les habitudes alimentaires changent, c'est le 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 fortement liés à la structure du paysage (**YUNHUI et al., 2015**).

Les Carabidés sont considérés comme de grands opportunistes (**LINDROTH, 1986**). A l'opposé certaines espèces polyphages ou phytophages de la tribu des Harpalini ou de celle des Zabrinini causent des dégâts dans les cultures, c'est le cas du zabre des céréales (*Zabrus tenebrioides*) qui peut engendrer des dommages importants dans les cultures de céréales à pailles (**ROUME, 2011**).

Tenant compte du spectre alimentaire, plusieurs classifications ont été proposées, comme la classification de **THIELE (1977)** qui classe les Carabidae comme suit : (i) les prédateurs oligophages ; (ii) les prédateurs polyphages ; (iii) les phytophages.

## 1.5. Intérêts des Carabidés

### 1.5.1 Carabidés et lutte biologique

Par rapport à leur grande diversité, les Carabidae ont été largement étudiés en raison de leur comportement de prédateurs des organismes nuisibles aux cultures comme les pucerons (**SUNDERLAND, 2002 ; ROUBINET et al., 2017**), et comme consommateurs de plantes d'adventices (**TOOLEY & BRUST, 2002 ; FREI et al., 2019**).

En tant que prédateurs généralistes, les Carabidés prédateurs ou polyphages contribuent au contrôle biologique, ce qui les rend complémentaires des prédateurs spécialistes des ravageurs de cultures, car les généralistes peuvent se nourrir des proies alternatives avant le développement des

organismes nuisibles. Ils sont présents dès l'arrivée de ces derniers et peuvent limiter leur effet nocif, assurant le relai avant que des prédateurs plus spécialistes ne se manifestent (SYMONDSON et al., 2002).

### **1.5.2 Carabidés comme bioindicateurs**

Les Carabidés sont des indicateurs environnementaux capables de refléter les dégradations 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 & LUFF, 2010). Cette qualité leur est attribuée à cause de la faible capacité de dispersion de certaines espèces, liée à l'atrophie des ailes postérieures (ERWIN, 1979).

Ils pourraient servir d'indicateurs de la biodiversité, en représentant la façon dont d'autres invertébrés et autres biotes réagiront au changement du milieu (LÖVEI & SUNDERLAND, 1996). Par 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 & NIEMELA, 2003).

Ils ont été considérés aussi comme des bioindicateurs des effets toxiques des métaux (SIMON et al., 2016), c'est le cas de l'espèce *Chlaenius olivieri* (GHANNEM et al., 2016).

## **2. Description générale et localisation**

Le Parc National d'El Kala a été créé par décret le 23 juillet 1983 et depuis 1990, il est classé Réserve de la Biosphère dans le réseau des réserves du programme MAB (Man And Biosphère) de l'UNESCO.

D'une superficie de 80.000 hectares environ, Le P.N.E.K est considéré comme le plus vaste des huit parcs nationaux du nord algérien (CNEAP 2011-2012), situé à l'extrême Nord - Est du Pays (Fig.2). Il est naturellement limité au nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par le système dunaire de Righia, à l'Est par la frontière algéro-tunisienne et au Sud par les contreforts des monts de la Medjerda. Ce territoire est caractérisé par l'existence de cinq grands types d'écosystèmes de haute valeur écologique : l'écosystème forestier, les zones humides (les Lacs Oubeira, Tonga, Mellah et des Oiseaux sont classés sites Ramsar), l'écosystème rupicole, l'écosystème dunaire et l'écosystème littoral. Caractérisé par une importante et unique mosaïque d'habitats dans le bassin méditerranéen, le PNEK constitue un patrimoine naturel important abritant une richesse

faunistique et floristique diversifiée. Ses coordonnées géographiques sont 36°52 latitudes Nord et 8°27 longitudes Est, au niveau de la ville d'El-Kala (**BRAHMIA, 2002**). Cette position présente un intérêt écologique remarquable principalement en raison de la grande diversité des milieux naturels, sa position originale en Méditerranée centrale (à la croisée des grands biomes tempérés, tropicaux, atlantiques et orientaux) et sa situation au sein d'un Maghreb isolé entre mer et désert (**ROCHE ET YAVERCOVSKI, 1990**).

Le Parc National d'El Kala a été créé par décret le 23 juillet 1983 et depuis 1990, il est classé Réserve de la Biosphère dans le réseau des réserves du programme MAB (Man And Biosphère) de l'UNESCO.

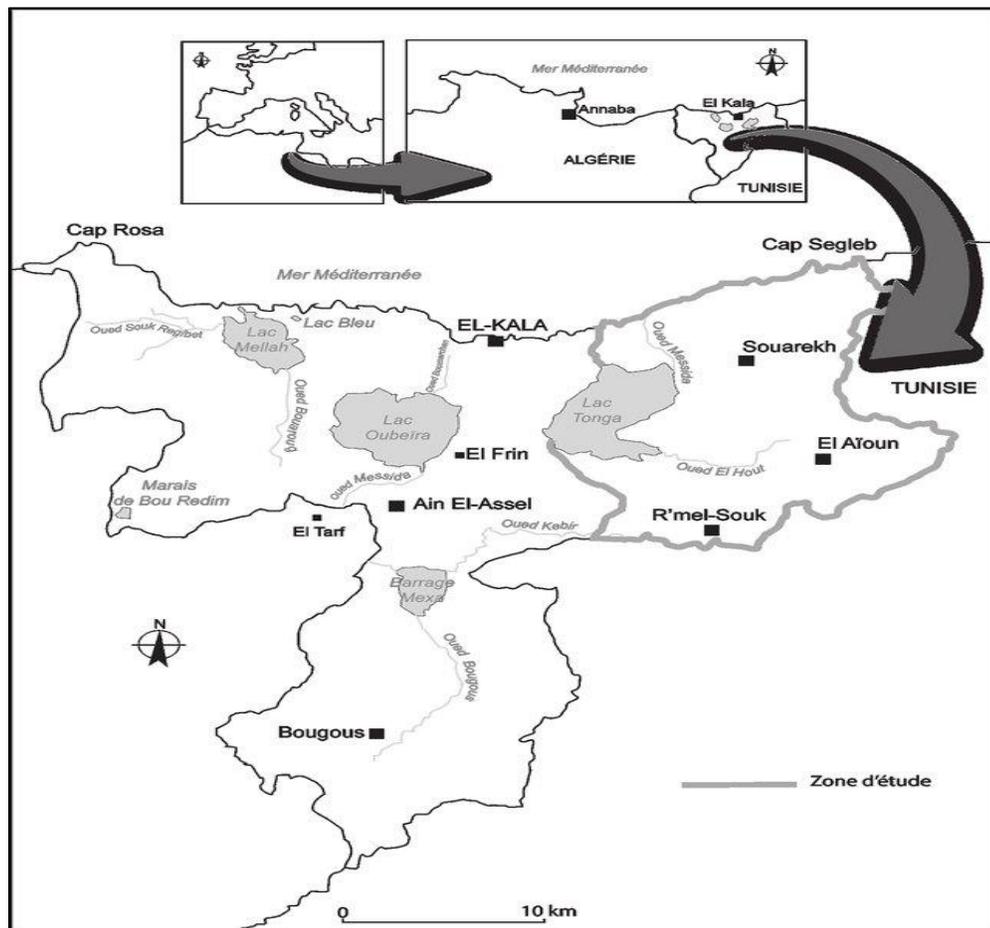


Figure 2: Localisation du Parc National d'El-Kala (BENYACOUB, 1998)

Caractérisé par une importante et unique mosaïque d'habitats dans le bassin méditerranéen, le PNEK constitue un patrimoine naturel important abritant une richesse faunistique et floristique diversifiée. Ses coordonnées géographiques sont 36°52 latitudes Nord et 8°27 longitudes Est, au niveau de la ville d'El-Kala. (**BRAHMIA, 2002**).

Cette position présente un intérêt écologique remarquable principalement en raison de la grande diversité des milieux naturels, sa position originale en Méditerranée centrale (à la croisée des grands biomes tempérés, tropicaux, atlantiques et orientaux) et sa situation au sein d'un Maghreb isolé entre mer et désert (**ROCHE ET YAVERCOVSKI, 1990**).

## **2.1. Géologie et géomorphologie**

Selon **JOLEAUD (1936)**, le substratum géologique de la région présente essentiellement des terrains qui datent du Tertiaire et Quaternaire (Fig.3).

### **2.1.1. Formations secondaires**

Elles sont schisteuses plus ou moins argileuses de couleur bleu ardoise avec des passages calcaireux et une microfaune d'âge Sénonien supérieur. Ces formations affleurent en plusieurs endroits essentiellement dans la forêt d'El-Ghorra (Commune de Bougous), au niveau du Cap Rosa, sur la rive Ouest du lac Tonga au lieu-dit (Daia Zitouna) et à El-Ayoune à Oued Djenane (**BENYACOUB et al., 1998**).

### **2.1.2. Formations tertiaires**

Elles sont principalement représentées par les éléments de l'Eocène moyen qui se caractérise par les argiles de Numidie sur une épaisseur de 300 m environ.

Ces argiles occupent les fonds de vallées, les bordures de plaines, par l'Eocène supérieur qui est caractérisé par les grès de Numidie qui se déposent sur les argiles sur 150 m d'épaisseur. Présents au niveau des monts d'El-Kala, ils sont généralement couverts de forêts de chêne-liège et enfin par le Miocène qui est caractérisé par les sables, conglomérats, argiles rouges ou grises, localisés particulièrement dans la région Sud-Est (**BENYACOUB et al., 1998**).

### **2.1.3. Formations quaternaires**

Ces Formations sont constituées essentiellement de dépôts marins et fluviaux. Les limons, sables et galets sont des dépôts fluviaux déposés par les oueds Kébir, Mellila et Bougous. Les dépôts marins éolisés sont des amas dunaires issus de l'érosion par la mer des falaises gréseuses,

alors que les dépôts actuels sont des alluvions formant le fond des oueds (BENYACCOUB et al., 1998).

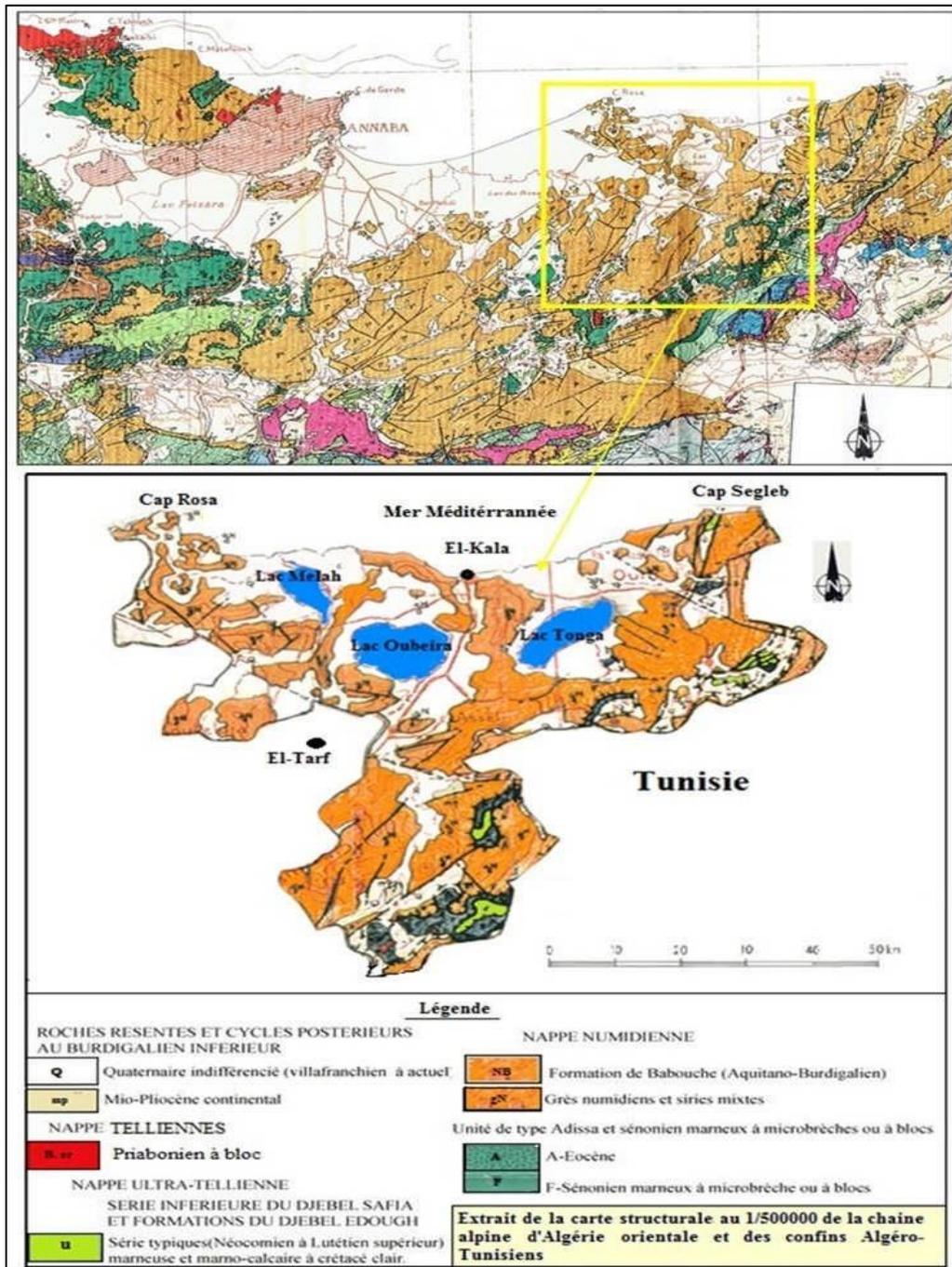


Figure 3: Carte géologique du Parc national d'El-Kala (VILLA 1980)

## **2.2. Topographie**

Le relief du Parc National d'El-Kala se compose d'une série de dépressions, dont certaines sont occupées par des formations lacustres ou palustres, et des hautes collines aux formes variées. On y observe des dômes, des escarpements et des alignements de crêtes généralement couverts par une végétation dense (**DE BELAIR, 1990**). Du Nord au Sud, on distingue :

-Un cordon dunaire littoral qui s'étend d'Ouest en Est sur une longueur de 40 km et se prolonge vers le Sud jusqu'au pied du Djebel Segleb. Il est formé essentiellement de sables quaternaires. En se dirigeant de la mer vers l'intérieur des terres, quatre stades de formations dunaires peuvent être identifiés (**JOLEAUD, 1936**) : la plage à sable blanc et dunes littorales dans la partie occidentale, les dunes sub-littorales à sable gris à l'Est, et enfin les dunes intérieures à sable rougi par les dépôts d'oxyde de fer plus à l'Est. On reconstitue en fait, de la mer vers l'intérieur des terres, un gradient de degrés de fixation ou de fossilisation des dunes (Fig.3).

-Les dunes mortes sont les plus anciennes, donc les plus éloignées de la mer. Elles sont colonisées par une végétation dense (Chêne Kermès). Bien stabilisées même en cas de destruction du couvert végétal par le feu, elles sont remises en mouvement lorsque l'homme y intervient par l'exploitation immodérée du sable et la destruction de tout le chevelu racinaire qui constitue son principal élément de cohésion (**BENYACOUB, 1993**). Les principales dunes sont celles du Cap Rosa, Mezira, et la Messida.

-Les plaines sublittorales présentent un relief plat, ondulé marqué surtout par les dépressions lacustres et marécageuses (les lacs Tonga, Mellah et Oubeira). L'altitude n'y dépasse guère 600 m.

-Les montagnes telliennes : à ce niveau s'élève une partie du versant Nord de la chaîne de la Medjerda dont l'altitude moyenne est de 1100 m. Le point culminant est le Djebel Ghorra à 1202 m. Les monts de la Medjerda, dont les lignes de crête sont approximativement orientées Ouest-Sud-Ouest et Est-Nord-Est, ont subi des phénomènes de torsion qui ont brutalement incurvé leur direction générale vers le Nord-Est. On observe des prolongements vers la mer de ce mouvement du relief en deux points particuliers, le Cap Rosa et le Cap Segleb (Fig.3). Par ailleurs, le relief de la région se caractérise par un pendage important.

En effet, 9 % des pentes faibles, 11 % des pentes moyennes et 80 % de pentes fortes à très fortes, constituent un trait majeur de la physionomie d'un paysage que l'on qualifiera de montagneux (BENYACOUB *et al.*, 1998).

### **2.3. La couverture pédologique du PNEK**

La couverture pédologique de la région du Parc National d'El Kala se caractérise par une distribution des chaînes de sol en fonction de la topographie, la végétation et la roche mère (BENSLAMA, 1993). La différenciation des sols du PNEK est fonction de la nature du substrat géologique, du climat et de la présence ou de l'absence d'une hydromorphie, qu'elle soit permanente ou temporaire. La combinaison de ces facteurs permet de distinguer :

#### **2.3.1. Les sols dunaires**

Sur la partie littorale, où le sol est dépourvu de couvert végétal, le profil est proche des régosols avec un pH élevé et une teneur en matière organique faible, tandis que sous les formations cocciférales, le sol devient acide du fait du lessivage des ions calcium avec apparition d'une litière correspondant aux sols peu évolués et lessivés. Sur les dépressions et les parties inondées (hydromorphie permanente ou temporaire), le sol se caractérise par un pH faible et une faible minéralisation de la matière organique qui s'accumule sous forme de sédiment tourbeux caractéristiques des histosols atteignant dans certains endroits plusieurs mètres de profondeur.

#### **2.3.2. Les sols inter-collinaires**

Le profil présente un horizon B, cendré et très lessivé, qui peut atteindre quelques mètres dans certains endroits, avec un pH acide.

#### **2.3.3. Les sols des milieux forestiers**

Sous bonne couverture végétale, le profil présente un pH acide avec une bonne humification des horizons supérieurs se rapprochant ainsi des caractéristiques des sols bruns forestiers. Ces formations pédologiques se rencontrent sous les forêts de chêne liège et de chêne zeen.

### **2.4. Diversité écosystémique du PNEK**

Selon BENYACOUB *et al.* (1998) le PNEK présente six habitats principaux :

#### **2.4.1. Les tourbières**

Les tourbières (conséquence d'une pluviométrie ancienne élevée) sont des marécages acides où se forment des sols tourbeux. Les principaux éléments arborés (saules, aulnes) sont en mélange

avec des magnocariçaies à *Cyperus*, Scirpes et *Carex*. Cet écosystème unique présente une grande diversité d'espèces végétales, avec environ 80 espèces dont une dizaine sont rares et/ou confinées à la seule région d'El-Kala. Les tourbières renferment un nombre élevé d'espèces rares et très rares parmi lesquelles nous pouvons citer : *Alnus glutinosa*, *Salix pedicellata*, *Salix triandra*, *Ranunculus flammula*, *Rhynchospora glauca*, *Cyperus flavescens*, *Carex pendula*, *Heliosciadum crassipes*, *Linaria cirrhosa*. Les principales tourbières recensées au niveau du parc se situent au Nord-Est de l'Oubeira à Demet Rihane (5 ha), Bou Merchen (30 ha), Ain Khiar (20 ha), lac Tonga (35 ha), lac Mellah (20 ha), lac Bleu (0.5 ha) et lac Noir (5 ha).

#### **2.4.2. La cocciféraie**

Couvre une superficie de plus de 1500 hectares du cordon dunaire. Ce groupement est préférentiellement confiné aux expositions nord (Lac Mellah, Forêt du Tonga) et compte essentiellement des espèces psammophiles. L'intérêt du Chêne kermès est fondamental pour le maintien du cordon dunaire. Signalons deux formations particulières aux abords du chenal du lac Mellah : une junipéraie pure à *Juniperus phoenicea* et une pineraie relictuelle à *Pinus halepensis*.

#### **2.4.3. Les ripisylves**

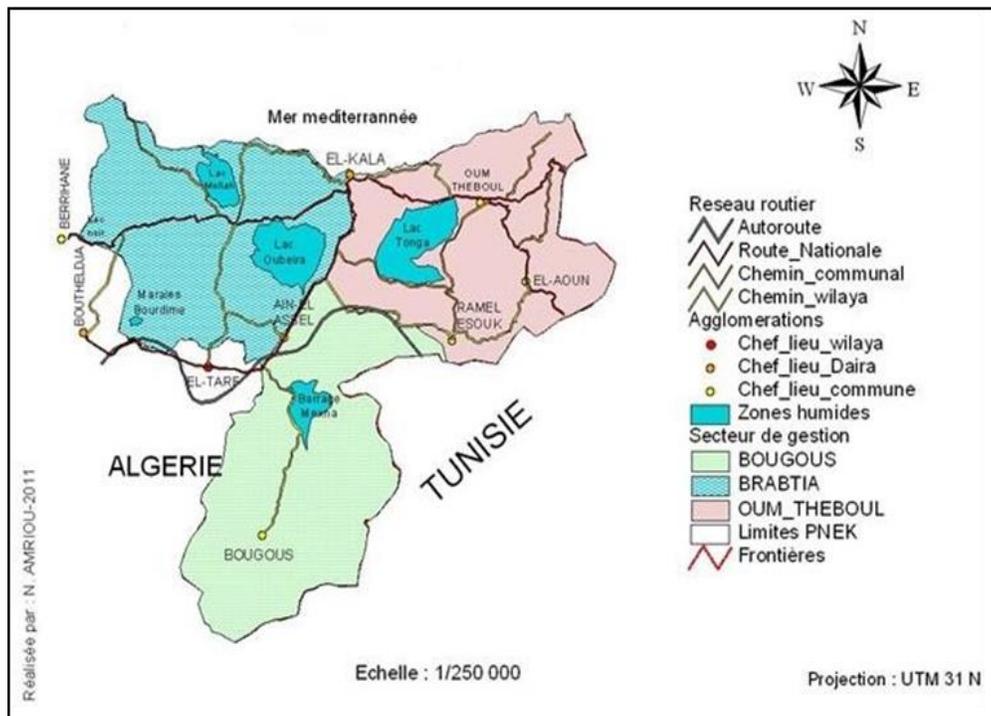
Constituent un type de milieu caractéristique du PNEK. D'une composition botanique marquée par la présence des essences arborées à feuilles caduques, c'est le seul habitat caducifolié de plaine où l'on observe l'aulne glutineux, le frêne et le peuplier. Leur exigence en humidité trahit les contours du réseau hydrographique permanent de la région. Cet habitat, caractérisé par la diversité des ressources qu'il recèle, offre à une faune variée et dense des conditions de milieu particulièrement favorables (BOULOUMAT, 2001).

#### **2.4.4. Les milieux rocheux et plages**

Forment un habitat particulier en ce sens qu'il constitue le support terrestre d'une faune et d'une flore essentiellement influencées par le milieu marin et ses ressources.

#### **2.4.5. Les zones humides**

La région d'El Kala a la particularité d'abriter le complexe de zones humides le plus important du Maghreb. Très intéressant par ses dimensions et par la diversité des conditions de profondeur et de salinité, il favorise une richesse biologique particulièrement importante (BOUMAARAF, 2018).



**Figure 4 : Répartition des zones humides du Parc National d'El-Kala (Anonyme, 2007) in SARRI (2017)**

Les principales zones humides de la région sont les lacs : Mellah (860 ha), Oubeira (2200 ha) et Tonga (2400 ha).

A cela, il faut ajouter le marais de la Mekhada (8900 ha), le Lac des Oiseaux (40 ha), le Lac bleu, le marais de Bouredim et le lac de barrage Mexa. Ces zones humides constituent des sites privilégiés de reproduction d'espèces animales d'un grand intérêt pour la biodiversité régionale voire nationale ; telles les Odonates, les Amphibiens et Reptiles (ROUAG, 1999), les Oiseaux (BENYACOUB et al., 2000 ; CHALABI, 1990 ; RIZI, 2001 ; BELHADJ, 1996 ; ZIANE, 1999 ; BOUKHROUFA, 2001 ; ...).

Par ailleurs, elles constituent des sites d'accueil pour de nombreux oiseaux migrateurs et hivernants tel que les Anatidés (ZIANE, 1999), les Limicoles (BOUKHROUFA, 2001). Elles renferment une flore riche et diversifiée comprenant de nombreuses espèces rares, tel que *Trapa natans* au niveau du lac Oubeira, *Marsillea diffusa* dans le lac Tonga (KADID, 1999).

## 2.5. Réseau hydrographique et bassins versants

Le territoire du parc couvre au total une superficie de 5500 ha d'eau et constitue le complexe le plus diversifié d'Algérie (BELHADJ, 1996).

Ce réseau hydrographique important est constitué principalement de lacs (lac Tonga, lac Oubeira, lac Mellah et lac Mexa), de sources (Bougles, Bouredim et Oum El Bhaim, situées au sud-est de la région, totalisant un débit de 150 l/s soit 12.700 m<sup>3</sup>/j.

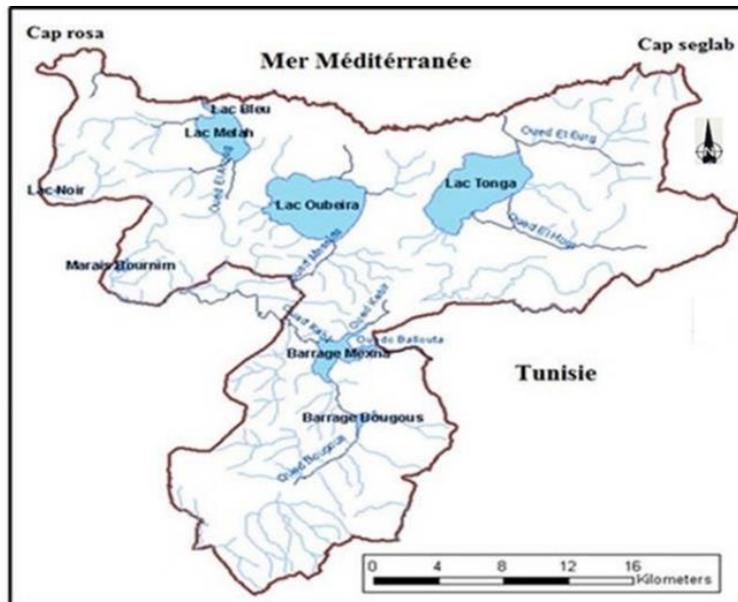


Figure 5: Carte du réseau hydrographique (CNEAP 2010-2012) in SARRI (2017)

Le reste des sources (environ 40) réparties à travers l'aire du Parc ou sa périphérie possède un débit variable de 0,5 l/s à 10 l/s (BENYACCOUB *et al.*, 1998) ; d'un barrage et d'oueds dont les plus importants sont El-Kebir, El-Areug, Bougous et El-Aroug (Fig.5).

La configuration du terrain de la région d'El Kala détermine trois systèmes d'organisation hydrographique présentés dans le tableau 1 :

-la partie sud-est est drainée par trois oueds : l'oued Bougous, Mellila et l'oued El Kebir ; le dernier constitue le collecteur principal (apports de 245 Hm<sup>3</sup>/an). Il alimente les nappes dunaires et lors des crues, on assiste à la mise en eau des dépressions inter-dunaires.

-la partie orientale est caractérisée par plusieurs oueds en général à faible débit, ils s'écoulent en majorité dans la plaine d'Oum Teboul.

-la partie ouest est également parcourue par de nombreux oueds (Bouaroug, Mellah, Reguibet, Boumerchen, Dai El-Graa...), ils se déversent pour la plupart dans les lacs Mellah et Oubeira.

**Tableau 1: Les principaux cours d'eau de l'aire du Parc (CENEAP 2010-2012)**

Principaux oueds du Parc	Longueur (km)	Exutoire
Oued Reguibet	8	Mellah
Oued Nehal	3,5	Plage Cap Rosa
Oued Mellah	7	Mellah
Oued El-Aroug	5	Mellah
Demat Rihane	1,5	Oubeira
Boumerchen	2	Oubeira
Dai El-Graa	5	Oubeira
Oued El-Aroug/Messida exutoire	10	Tonga
Oued El-Hout	14	Tonga
Oued Bougous/Balouta	24	Mexna
Oued Sebaa	4	Oued El-Kébir
Oued Bourdim	5	Bourdim/Oued El-Kébir
Oued Messida	10	Oubeira
Oued El-Kebir	35	Mafrag

## 2.6. Etude climatique

Pour analyser les conditions climatiques de la région d'El-Kala, on dispose de données relatives aux paramètres pluviométriques, thermiques et hygrométriques sur une période s'étalant de 2009 à 2019. Ce sont des relevées de 11 ans que nous analyserons en détail.

### 2.6.1. Températures

La température est un facteur qui agit sur la répartition géographique des espèces (**DREUX, 1980**). Ce paramètre est fonction de l'altitude, de la distance par rapport à la mer et varie également en fonction des saisons (**OZENDA, 1982**).

Les paramètres thermiques mensuels portant sur les températures minimales (m), les températures maximales (M), les températures moyennes  $(M+m)/2$  sont mentionnés dans le tableau 2.

Le tableau 2 montre que les minimas dans la région d'El-Kala sont enregistrés durant les mois de décembre, janvier, février et mars (les mois les plus froids) alors que les maximas sont enregistrés au cours du mois de juillet, aout, et septembre (les mois les plus chauds).

**Tableau 2: Moyennes des températures mensuelles de la région d'El Kala (2009-2019)**

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
<b>T max (°C)</b>	16,4	16,2	18,7	21,2	24,1	28,1	31,1	31,5	29	26,3	21,4	18
<b>T min (°C)</b>	7,7	6,7	8,4	10,4	13,1	16,6	19,7	20,6	18,8	15,6	11,6	8,6
<b>T moyenne</b>	12,1	11,5	13,6	15,8	18,6	22,3	25,4	26	23,9	21	16,5	13,3

### 2.6.2. Pluviométrie

La pluviosité dans cette région est conditionnée par deux phénomènes météorologiques importants. D'une part, les perturbations cycloniques d'origine atlantique de l'Ouest et du Nord-Ouest qui, après avoir traversé l'Espagne et une partie de la Méditerranée Occidentale, affectent le Nord-Est algérien et d'autre part les dépressions qui prennent naissance en Méditerranée Occidentale (**DE BELAIR, 1990**).

Le tableau 3 résume la situation pluviométrique mensuelle de la période 2009-2019 et montre que cette région a reçu pendant cette période un total annuel de 685,1 mm. Le maximum des pluies se situe en hiver, au mois de novembre avec un total de 107,4 mm.

**Tableau 3: Moyennes des précipitations mensuelles de la région d'El Kala (2009-2019).**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
<b>P (mm)</b>	<b>99,4</b>	<b>88</b>	<b>84,2</b>	<b>43,7</b>	<b>38,3</b>	<b>7,5</b>	<b>1,5</b>	<b>20,1</b>	<b>44,5</b>	<b>77,5</b>	<b>107,4</b>	<b>73</b>	<b>685,1</b>

### 2.6.3. Hygrométrie

Le degré d'hygrométrie enregistré dans la région est très élevé, le tableau 4 montre que l'humidité est plus ou moins constante durant toute l'année et maintient un pourcentage qui varie entre 74 à 80 %, ceci est dû principalement à l'action régulatrice de la mer et des plans d'eau qui

contribuent au maintien d'un pourcentage d'humidité de l'air très élevé en été, modérant la durée et l'intensité de la sécheresse estivale (SEMADI, 1989).

Cette humidité de l'air, élevée même en période estivale, n'est autre qu'une véritable "compensation occulte" pour les végétaux ne bénéficiant d'aucune précipitation durant l'été (DE BELAIR, 1990).

Les moyennes mensuelles de l'hygrométrie pour la période comprise entre 2009 à 2019, présentent un maximum enregistré le mois de Décembre avec 80,4 %, qui est généralement le mois le plus froid dans la région. (Tab. 04).

**Tableau 4: Moyennes hygrométriques mensuelles de la région d'El Kala (2009-2019)**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
H (%)	80,1	80,68	79,4	79,6	76,5	73,73	73,11	74,45	75,94	77,09	78,83	80,39	77,38

#### 2.6.4. Vents

Selon JOLEAUD (1936), les vents accélèrent l'évaporation et influencent aussi l'hygrométrie grâce à leur fréquence, direction et vitesse. La vitesse des vents dans la région d'El-Kala est plus ou moins constante et ce depuis le Quaternaire.

Pendant la saison froide, les vents de direction N-W prédominent, alors qu'en saison chaude, ce sont les vents du N-E qui soufflent entraînant une brise de mer importante (SELTZER, 1946). Le vent du Sud-Est nommé sirocco est chaud et sec. Son maximum de fréquence s'observe en août. Ce vent peut avoir des effets destructeurs sur la végétation, lorsqu'il se combine à un état de déficit hydrique. Il favorise en effet de violents incendies de forêts.

Le tableau 5 expose les moyennes mensuelles de la vitesse des vents pour la période de 2009 à 2019 de la région d'El-Kala.

**Tableau 5: Moyennes mensuelles de la vitesse des vents de la région d'El-Kala (2009-2019)**

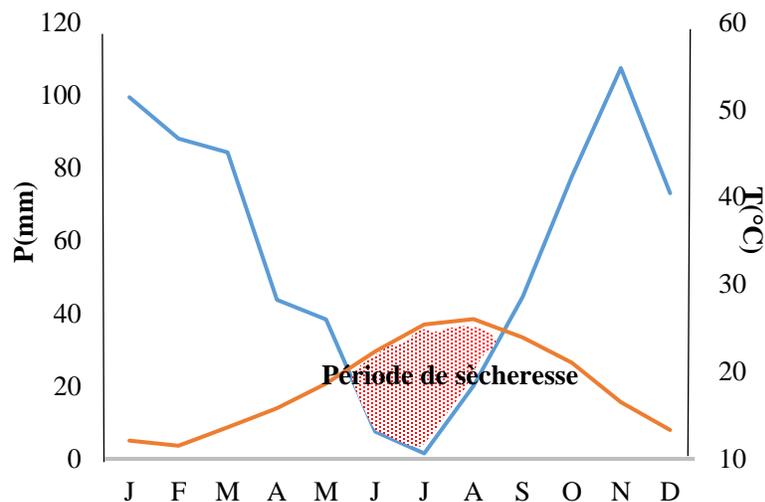
Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Vitesse (km/h)	13,96	13,3	12,3	12,3	12,7	13	13,65	13,1	12	11,01	11,9	11,3

La vitesse des vents de la région d'El-Kala est variable ; les vitesses du vent les plus élevées sont enregistrées de janvier à aout, la force des vents devient ensuite faible et plus au moins constante du mois de septembre à décembre (Tab. 5).

## 2.6.5. Synthèse des données climatiques de la région d'étude

### 2.6.5.1 Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953)

Le diagramme ombro-thermique (Fig. 6) préconisé par Bagnouls et Gausсен est établi à partir des courbes des moyennes mensuelles des températures et des précipitations ; l'échelle des précipitations étant doublée par rapport à celle des températures. Il permet de définir la période de sécheresse intervenant lorsque la courbe des précipitations descend en dessous de celle des températures, P étant égale à 2T ( $P = 2T$ ) .



**Figure 6: Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953) de la région d'El-Kala (2009-2019)**

Sa durée est délimitée par les points d'intersection des deux courbes. Son intensité est proportionnelle à la surface comprise entre les courbes (**BAGNOULS ET GAUSSEN, 1953**).

Le diagramme construit à partir des données de la station météorologique d'El-Kala montre que l'année se compose de deux périodes, l'une sèche s'étendant de juin à août et l'autre humide s'étalant sur neuf mois de septembre au mois de mai. Ainsi juillet est le mois le plus sec, novembre le plus humide, février le plus froid et août le plus chaud.

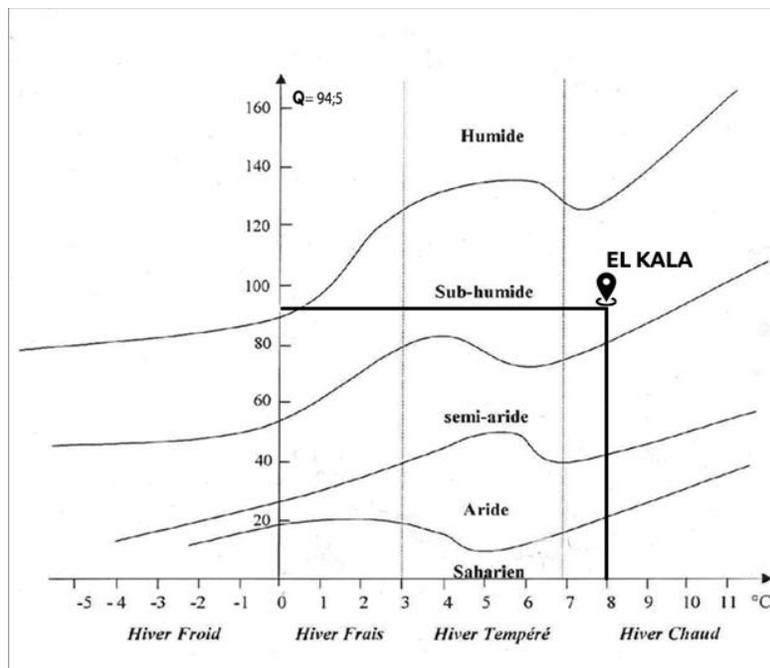
### 2.6.5.2. Climagramme d'Emberger

Pour les régions méditerranéennes, **EMBERGER (1930)** a proposé également un quotient

pluvio- thermique plus précis faisant intervenir en plus du total des précipitations (P), la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M) et la moyenne des minima du mois le plus froid (m), (M-m) étant l'amplitude extrême rendant compte de l'évaporation. Ainsi, le quotient pluvio- thermique d'Emberger est calculé grâce à la formule suivante :

$$Q1 = \frac{P \times 100}{(M + m) (M - m)}$$

Le quotient calculé pour la région d'El-Kala pour la période s'étalant de 2009 à 2019 est égale à 94,5. En projetant cette valeur sur le climagramme d'Emberger, on constate que la région d'étude se situe dans l'étage bioclimatique méditerranéen sub-humide à hiver chaud (Fig. 7).



## 2.7. Richesse faunistique et floristique

La diversité d'habitats et la mosaïque d'écosystèmes du parc national d'El-Kala lui confèrent une grande richesse spécifique. Ils sont composés de milieux littoraux, dunaires, lacustres,

**Figure 7: Etage climatique de la région d'El-Kala selon le climagramme d'Emberger (2009-2019)**

ripicoles, rupicoles, agricoles, forestiers etc... Ces écosystèmes sont eux-mêmes composés de plusieurs habitats qui offrent autant de niches écologiques aux animaux et plantes.

**BELHADJ (1996)** identifie vingt-deux (22) milieux différents dans le Parc National d'El-Kala. Les milieux les plus représentés sont entre autres les maquis à strate arborée dense, les subéraies,

les maquis. Par la richesse exceptionnelle de sa flore et de sa faune, il constitue une véritable "bibliothèque" (COTE, 2006).

### **2.7.1. La faune**

La diversité des habits rencontrés au sein du parc a pour conséquence la présence d'une faune particulièrement riche et diversifiée. En effet, les principaux groupes systématiques y sont rencontrés, à savoir les mammifères et les oiseaux (Tab. 6).

Les espèces qui y hivernent ou qui y nichent sont en général rares et protégées. Le cerf de Barbarie constitue le mammifère le plus précieux de la région.

La population des oiseaux d'eau hivernante et nicheuse constituent la richesse faunistique la plus spectaculaire du Parc ; une bonne partie des espèces est protégée, considérées comme rares dans le bassin méditerranéen et même en voie de disparition, sont quasiment confinées dans la région où elles forment des populations nicheuses relativement importantes. C'est le cas notamment de l'Erismature à tête blanche, du Fuligule nyroca, de la Talève sultane, dont le lac Tonga constitue la zone de nidification privilégiée (BRAHMIA, 2002). La diversité aviaire du parc est de 195 espèces dont 71 qui font l'objet d'une protection légale (M.A.T.E, 2003).

**Tableau 6: Le patrimoine faunistique du PNEK (PNEK 2007)**

<b>Classification</b>	<b>Patrimoine national</b>	<b>Patrimoine PNEK</b>	<b>Taux</b>
Mammifères	107	39	35%
Oiseaux	336	195	60%

Le groupe des mammifères est représenté au moins par 37 espèces dont 9 Chiroptères (FEKROUNE, 1998) et une espèce marine, le Phoque moine dont la présence reste incertaine. Si certaines espèces sont particulièrement abondantes comme le sanglier, le chacal, la mangouste, le hérisson, le chat forestier..., d'autres, en revanche, sont représentées par de faibles effectifs, parfois à la limite de l'extinction locale, parmi ces espèces figurent le cerf de Barbarie qui est le mammifère le plus précieux de la région, le caracal, l'hyène....

Concernant l'herpétofaune, les reptiles sont représentés par 17 espèces, parmi lesquelles six sont peu abondantes et deux rares. Sept espèces d'Amphibiens ont été également identifiées

(**ROUAG, 1999**). Seules trois espèces bénéficient actuellement d'une protection légale. Il s'agit de *Testudo graeca*, *Emys orbicularis* et *Mauremys leprosa*, toutes trois étant des Chéloniens. Nous pouvons citer aussi l'*Hemidactylus turcicus* qui est une espèce rare de lézard, inféodée aux zones rocheuses littorales, la *Salamandra algira*, amphibien urodèle rare, inféodée aux zones montagneuses ; *Podarcis hispanica vaucheri* ; *Chalcides chalcides*, espèces rares de Lacertidés inféodés aux zones d'altitude fraîches et enfin, la Tortue marine *Caretta caretta*.

L'ichtyofaune du PNEK se caractérise par l'existence de deux espèces endémiques de poissons d'eau douce : *Barbus callensis* et *Pseudophoxinellus callensis* et d'au moins cinq espèces marines, rares en Méditerranée : *Epinephelus alexandrinus*, *Epinephelus guaza*, *Diplodus cervinus*, *Thalassoma pavo*, *Muraena helena*. En milieu marin *Epinephelus alexandrinus* et *Epinephelus guaza* constituent un patrimoine faunistique important.

En ce qui concerne les invertébrés du parc, **BOULAHBAL (1999)** a recensé 40 espèces d'odonates, **DJELAB (1993)** 68 espèces de syrphidés, **OUCHTATI (2013)** 57 espèces de Carabidés et au moins 31 espèces de Lépidoptères diurnes sont cités par **BEYLAGOUN. (1998)** et 44 espèces de Lépidoptères nocturnes par **BOUZERIBA. (2001)**.

### **2.7.2. La flore**

La position géographique du parc en fait un carrefour biogéographique, où se côtoient des espèces à affinité européenne, méditerranéenne, africaine et tropicale (**QUEZEL et SANTAS 1962-1963**), ce qui a été bien mis en évidence par **DE BELAIR (1990)**, en effet, on y compte au moins 850 espèces dont 65 algues, 110 champignons, 50 lichens, 40 mousses, 25 fougères et 545 spermaphytes.

Le PNEK est à vocation forestière, plus de 80 % de sa superficie est constituée de forêts, en grande majorité de Chêne liège, qui constitue des peuplements purs et parfois mixtes avec du Chêne zeen. Les reboisements de pin maritime viennent en seconde position avec les reboisements d'Eucalyptus (Tab. 7).

**Tableau 7: Surface et pourcentage des essences forestière du PNEK (B.N.E.F, 1984).**

Essence forestière	Surface (ha)	Pourcentage %
Chêne liège	34.167	48.75
Chêne Zeen	4.325	06.21
Pin maritime	10.253	14.63
Eucalyptus	10.232	14.60
Autres essences	385	00.55

La végétation du PNEK est divisée en cinq séries principales réparties comme suit (Fig.8) :

- 1- La série du Chêne liège : c'est la série la plus importante du PNEK (48,75 % de sa surface forestière), elle s'étend de zéro jusqu'à 900m d'altitude sur les versants Nord et Nord-Est. La végétation qui l'accompagne est composée essentiellement du cortège suivant : *Erica arborea*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea angustifolia*, *Cytisus triflorus*, *Calycotome villosa*.
- 2- La série du Chêne zeen : cette série est limitée aux stations fraîches et humides, elle se trouve entre 900 et 1202 m d'altitude. Rencontrée surtout dans le massif du Ghorra, elle est essentiellement composée de : *Ilex aquifolium*, *Erica arborea*, *Cytisus triflorus*, *Crataegus monogyna*, *Myrtus communis*, *Laurus nobilis* (TOUBAL, 1986).
- 3- La série du Chêne kermes : apparaît le plus souvent sous forme de maquis climacique dans les zones dunaires (BOUGHERARA, 2010 in OUCHETTATI, 2013), qui s'étendent de cap Rosa au Cap Segleb. Le Chêne kermes joue un rôle important dans la fixation des dunes. Son cortège floristique est caractérisé par la présence de *Quercus coccifera*, *Pistacia lentiscus*, *Halimium halimifolium*, *Chamaerops humilis*.
- 4- La série du Pin maritime : elle occupe les collines sub-littorales et les basses montagnes. Le Pin constitue une essence de reboisement de la région. Les incendies favorisent sa propagation par libération et dispersion des propagules. Il est souvent accompagné de *Quercus suber*, *Erica arborea*, *Myrtus communis*, *Phillyrea angustifolia*, *Cistus salvifolius*, *Arbutus unedo* (TOUBAL, 1986).
- 5- La ripisylve : elle s'étend généralement le long des berges des lacs et des oueds du parc. Elle est constituée par des Aulnaies plus au moins riches en Saules, Frênes, Peupliers et

Ormes (KADID, 1989 in FARSI, 1996). Le lac Tonga compte 82 espèces végétales qui appartiennent à 31 familles, parmi elles 32 espèces, soit 39% de l'ensemble sont classées assez rares à rarissimes, comme *Marsilea diffusa*, *Nymphaea alba* et *Utricularia exoleta*.

Les forêts couvrent un peu plus de la moitié (57%) des 305000 hectares que compte la superficie totale de la wilaya d'El Tarf. Ce chiffre fait référence à toutes les formations végétales, aussi bien les forêts proprement dites que celles des pelouses qui bordent les zones humides ou couvrent les dunes littorales (OUELMOUHOUB, 2005).

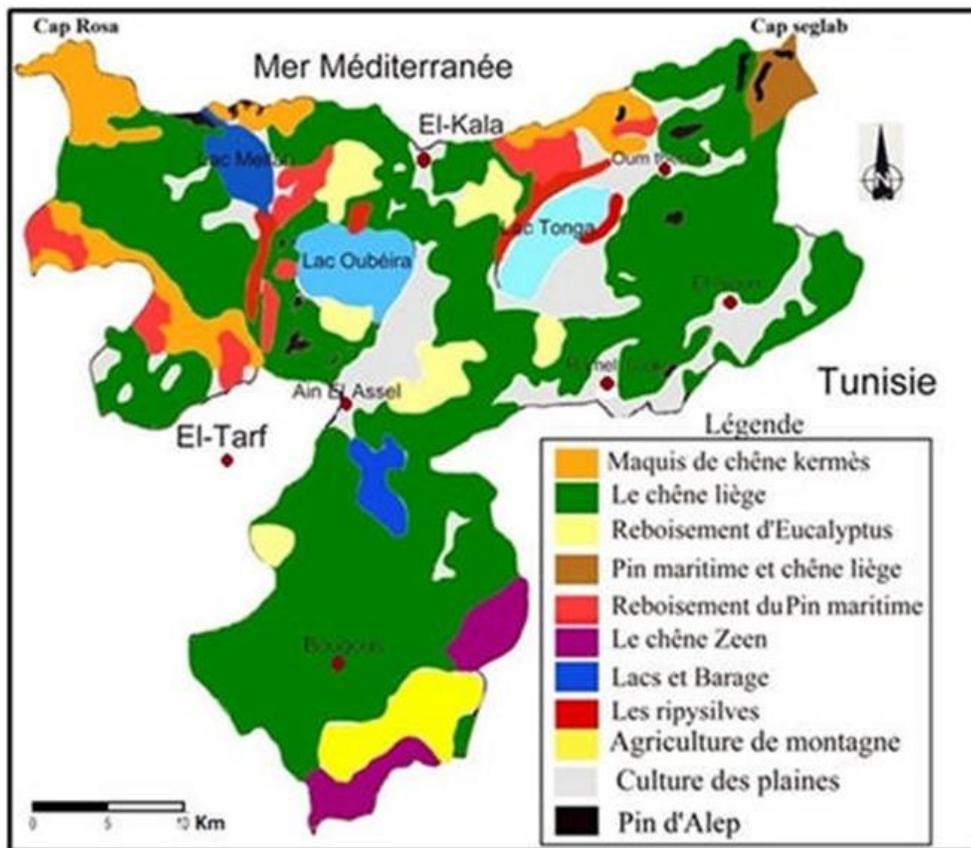
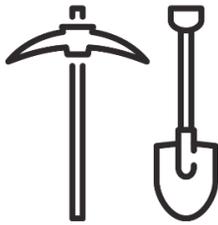


Figure 8: Carte de végétation du Parc National d'El-Kala du BNEF 1984, in SARRI 2017.



# CHAPITRE II

# MATERIEL ET METHODES



## 1. Site d'étude

### 1.1. Description et localisation

Le Lac Tonga (36°53 N, 08°31 E) est situé à l'extrême Nord-Est de l'Algérie et fait partie du parc national d'El-Kala (Fig.9), classé parmi les aires protégées de la région méditerranéenne comme réserve de la biosphère. C'est un lac de type palustre d'eau douce en communication avec la mer Méditerranée par un canal artificiel, le Canal Messida (**BAKARIA, 2002**) et s'étendant sur une superficie de 2500 ha (**BELHADJ et al, 2007**) sensiblement réduite en été du fait de l'évaporation (**SLIMANI, 2009**).

Il se caractérise par des berges faiblement inclinées ce qui facilite leur mise en exploitation par les riverains, et le développement de boisements tourbeux inondables (**MAIRE & QUEZEL, 1952 ; 1987**).

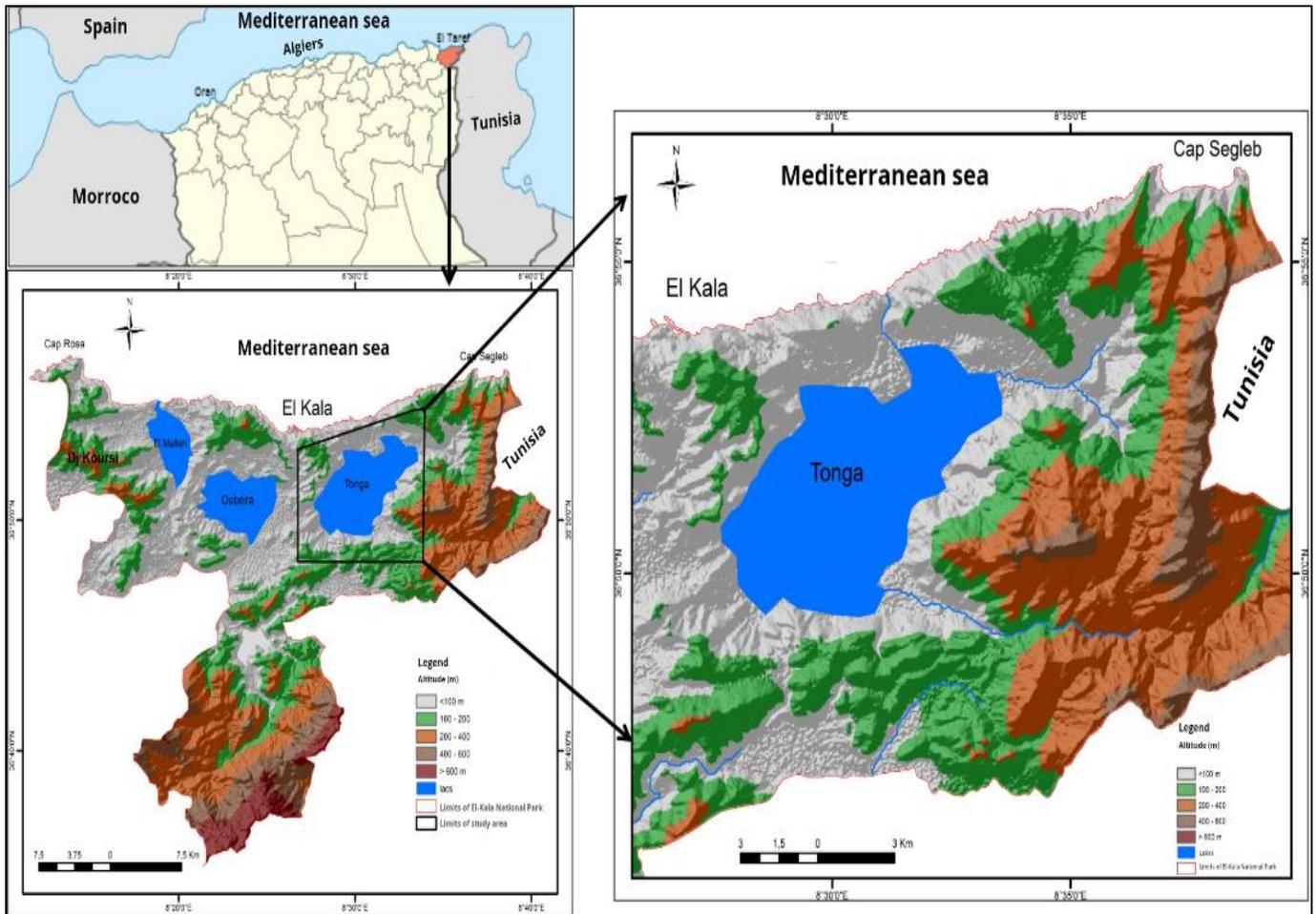


Figure 9: Situation géographique du lac Tonga (Originale).

## **1.2. Caractéristiques physiques**

### **1.2.1. Géomorphologie**

Le bassin versant du lac Tonga couvre une superficie de 150 km<sup>2</sup>. Son altitude moyenne est comprise entre 10 et 550 m.

Il est limité au Nord par la ligne de crêtes dunaires, qui varie entre 75 à 100 m d'altitude et à l'Ouest par la ligne de partage des eaux séparant les deux bassins versants des lacs Tonga et Oubeïra (**BOUMEZBEUR, 1993**), où les collines ne dépassent pas 171m (la forêt d'El Kala au Nord-Ouest). A l'Est le bassin versant est limité par la frontière algéro-tunisienne, le long du Djebel Haddada dont les barres de grès culminent à une altitude variant successivement de 530 m (Kef Radjala) à 573 m (Kef Baba Brik) et 594 m (Kef Eddemenn).

Au Nord-Est le lac Tonga est limité par Djebel Argoub Eched culminant à 167m, Kef Segleb qui domine à 327 m et Chàabet Dridir. Enfin, le bassin est limité au Sud-Est par les hauteurs d'El Aioun (Djebel Kourima et Kef el Hammam, 561m) (**DE BELAIR, 1990**).

### **1.2.2-Géologie**

L'origine du lac Tonga date du Quaternaire, les mouvements tectoniques ont permis le creusement de sa cuvette. Au fond du lac se développent les argiles de Numidie qui assurent l'imperméabilité de cette dépression laguno-marine qui s'est transformée en lac d'eau douce par l'envasement du fond à la suite de dépôts importants de limons arrachés aux collines.

D'une superficie de 150 km<sup>2</sup>, le bassin versant du Tonga est constitué de diverses formations géologiques: sols de marécages, formés de limons de bas-fonds, alluvions limoneuses formées de sable et limons récents, formations du Pontien, formées de conglomérats à ciments argileux, grès de Numidie qui sont quartzeux, blanchâtres, formant des reliefs abrupts, argiles de Numidie, formées de marnes argilo-schisteuses, argiles, grès et calcaires noirs de l'Eocène moyen qui constituent les contreforts entourant le lac (**MARRE, 1987 ; JOLEAUD, 1936**).

### **1.2.3. Hydrologie**

D'après **DE BELAIR, (1990) et JOLEAUD, (1936)**, Le lac Tonga est alimenté tout au long des rives Ouest et Sud par de nombreux affluents (petits ravins) secs en été et à l'Est et au Nord Est par des oueds et de deux sous bassins versants :

- Oued El Eurg au Nord

- D’oued El Hout au Sud, ce dernier constitue avec ses affluents le réseau hydrographique majeur du lac ; l’exutoire étant l’oued Messida (Fig.10).

La grande variabilité en pluviométrie influence directement sur les variations du niveau du lac. **THOMAS, (1975)** releva une profondeur maximale de 2,8 m.

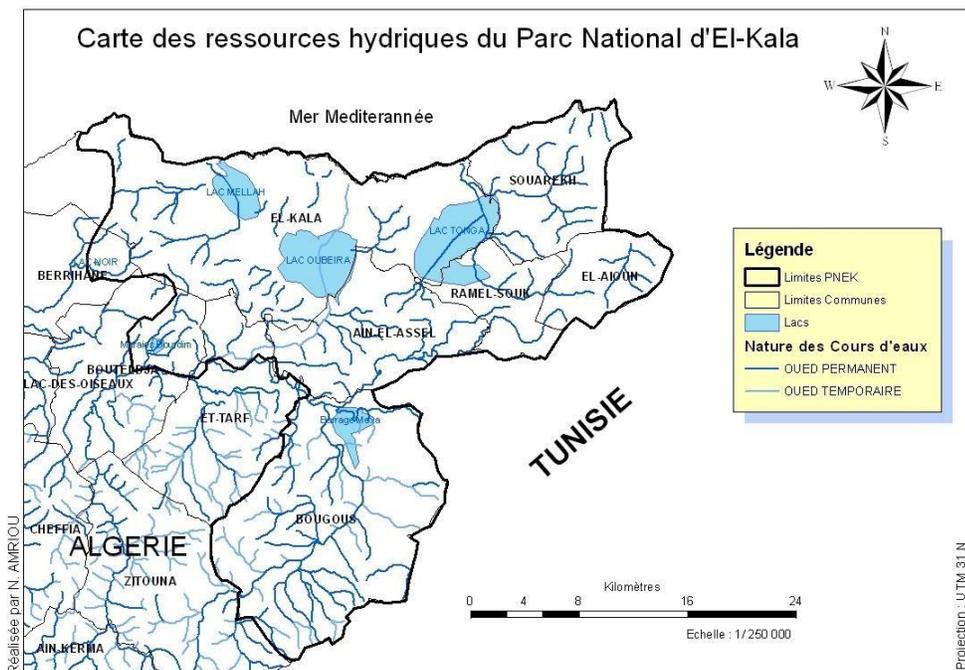


Figure 10: Carte des ressources hydriques de la Willaya d’El-Tarf et de Lac Tonga (in SARRI, 2017).

#### 1.2.4. Pédologie

Selon une étude des sols du bassin versant du lac tonga, **DURAND (1952)** a catégorisé en deux groupes un certain nombre de sols : les sols zonaux et les sols azonaux, correspondant à des conditions naturelles définit. Les types décrits sont : les sols dunaires, sols de marais dans la partie centrale du lac, les sols tourbeux au niveau de l’aulnaie au Nord du Tonga, les sols oxyhumiques, sols de prairies, les podzols, solods, sols acides, sols alluviaux et sols saturés.

D’après la Direction Générale des Forêts (DGF, 2003) quatre types de sols dominant dans le lac, à savoir ;

- Les sols des marais dans la partie centrale du lac,
- Les sols tourbeux au niveau de l’aulnaie au Nord du Tonga,
- Les dépôts alluvionnaires d’oued El Hout et oued El Eurg et autour du lac
- Les sols de prairies marécageuses qui s’assèchent en été (Fig.11).

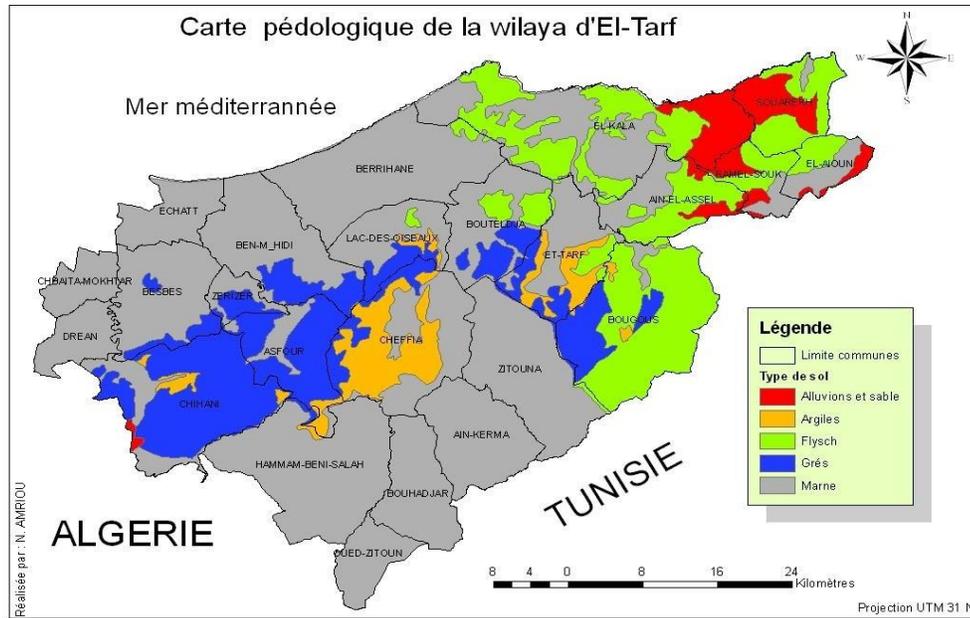


Figure 11: Carte pédologique de la Wilaya d'EL-Tarf et des Lac de Tonga (in SARRI, 2017)

#### 1.2.4.1. Occupation actuelle des sols

Le site est occupé en sa majeure partie par des marais, lacs d'eau douce, aulnaie, îlots, ... tandis que la région voisine est constituée par des terrains agricoles sur la périphérie des berges, pâturages, forêts de chêne liège et vert, petites agglomérations (Fig12).

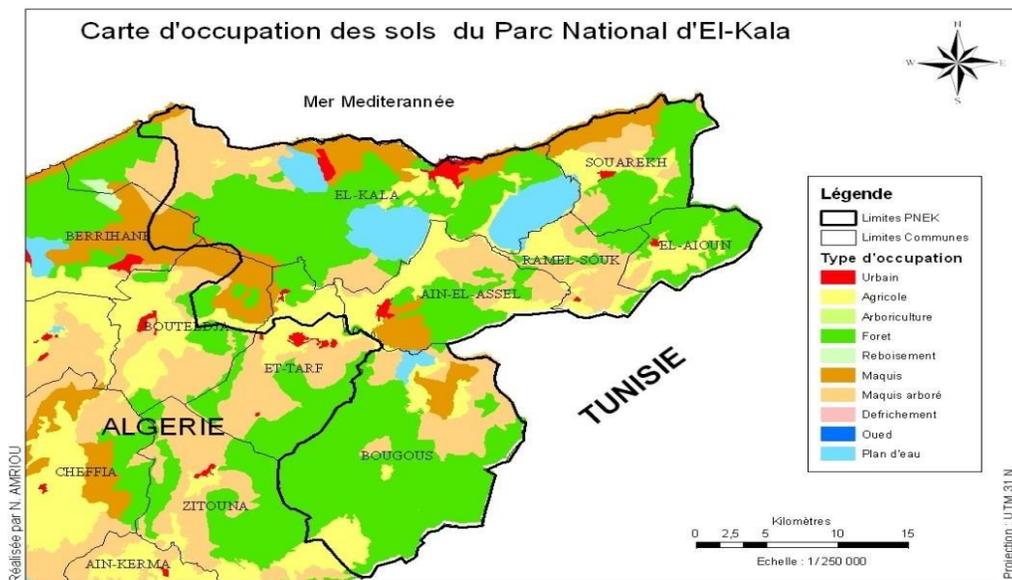


Figure 12: Carte d'occupation des sols de la Wilaya d'El-Tarf et de Lac de Tonga (in SARRI, 2017)

### 1.2.5. Climat

Si le mésoclimat reste connu dans ses grands traits, il reste bien des faits, tels que la nature et la répartition de la végétation par exemple, qui ne peuvent s'expliquer que par la présence d'un climat plus localisé dont nous ne connaissons aucune caractéristique (BENYACOUB, 2000). En effet dans le bassin versant du Lac Tonga, les reliefs ont un rôle d'ombre ou d'aimant pluviométrique en fonction de leur position. Les zones humides, en tamponnant localement l'atmosphère, réduisent le caractère xérique de la période estivale.

De manière générale, la plus petite variation du facteur limitant qu'est l'humidité se répercute immédiatement sur la végétation (BENYACOUB et CHABBI, 2000).

Le bassin versant du lac Tonga se trouve dans l'étage bioclimatique de végétation méditerranéenne subhumide tempéré au Nord, dans l'humide doux et l'humide chaud au Nord-est, dans l'humide tempéré au Sud et à l'Est ; ses collines occidentales sont communes avec celles du lac Oubeïra (DE BELAIR, 1990) (Fig. 13)

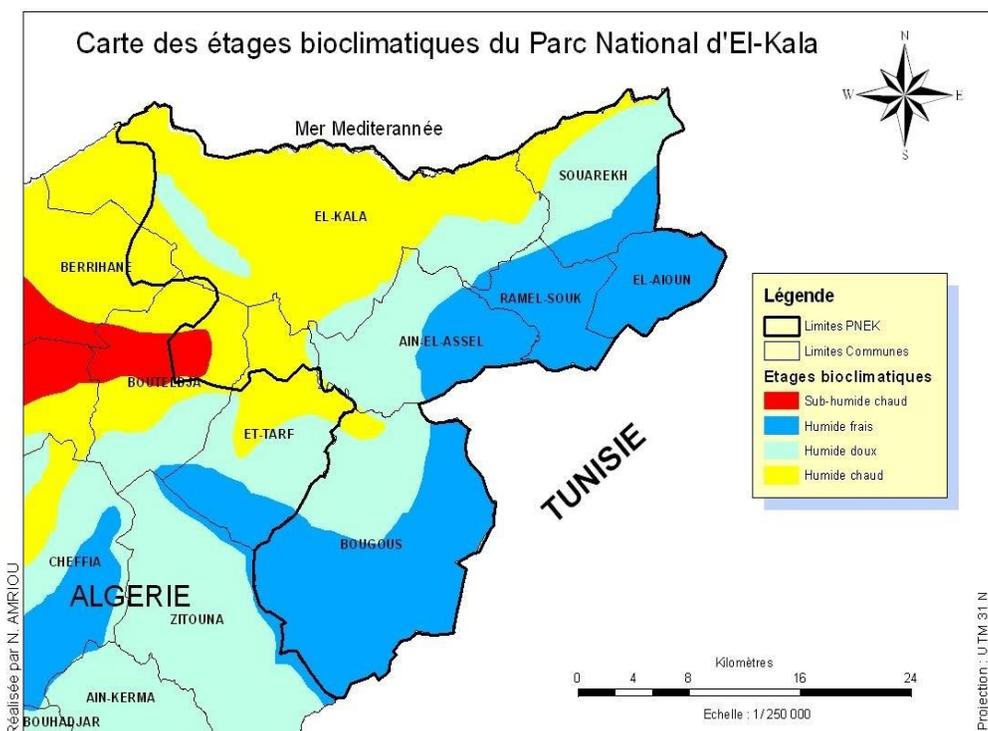


Figure 13: Carte des étages bioclimatiques de la Willaya d'El-Tarf et du lac Tonga (AMRIOU, 2011).

### 1.3. Caractéristiques écologiques :

#### 1.3.1. Végétation du lac et de son bassin versant

La formation forestière du bassin versant du lac Tonga est liée à la présence d'un substratum d'origine acide (BENSLAMA, 1993). Ainsi, les collines gréseuses sont pour la plupart recouvertes de chêne liège *Quercus suber*, et exceptionnellement, en mélange avec le pin maritime *Pinus pinaster* au Nord- Est jusqu'au Djebel Segleb et qui, par endroit le supplante totalement. Nous pouvons également observer au Nord, le long du Djebel Haddada et jusqu'au Djebel Kourima, du chêne zéen *Quercus faginea* formant des micro-peuplements purs, localisés dans les vallons frais (DE BELAIR, 1990). Les dunes, situées à l'Ouest de la Messida, sont occupées en totalité par les pins maritimes et de pins pignons *Pinus pinea* L.

Le chêne kermès *Quercus coccifera* se trouve en peuplements dispersés, jouant le rôle fixateur des amas dunaires (ABBACI, 1999). Les prairies marécageuses non occupées par l'agriculture sont couvertes de chiendent d'eau *Paspalum distichum*, une graminée présente sur le pourtour du lac (DE BELAIR, 1990). Au Nord du lac se trouve une aulnaie à *Alnus glutinosa* qui s'étend sur environ 37 ha. Le climat quasi tropical de cette dernière est particulièrement favorable au développement du Cyprès chauve *Taxodium distichum*, au Peuplier de Virginie *Populus virginiana*, à l'Orme champêtre *Ulmus campestris* et à l'Acacia (GEHU & al., 1993).

La majeure partie de la superficie du lac est recouverte par de la végétation aquatique émergente et répond, de ce fait, davantage à la définition de marais. Cette végétation composée de phragmites, de massette, de scirpes et de saules, fournit la sécurité des sites de nidification à plusieurs espèces d'oiseaux d'eau (BELHADJ, 1996 ; BOUMEZBEUR, 1993 ; LEDANT & VAN DIJK, 1977).

#### 1.3.2. Faune remarquable

Les travaux sur l'entomofaune du Lac Tonga ont révélé la présence de 22 espèces d'odonates qui appartiennent à quatre familles taxonomiques : Lestidae, Coenagrionidae, Aeshnidae et Libellulidae (RAACHI, 2007), 42 familles de macroinvertébrés ont été identifiées par KHEDIMALLAH et TADJINE (2016) appartenant à 8 groupes taxonomiques, la classe des Insectes, Mollusques, Crustacés, Achètes, Démosponges, Nématodes, Arachnides et Turbellariés. DJEMAI (2020) a mis en évidence la présence de 51 taxons de macro invertébrés dans le lac Tonga répartis en 7 ordres ; Diptera, Heteroptera, Odonata, Ephemeroptera, Coleoptera, Acarine et Basommatophora.

## 2. Analyses des paramètres édaphiques

Le long des deux transects, 6 prélèvements de sols ont été effectués tous les dix mètres, à l'intérieur d'un carré de 4 mètres de côté et sur les dix premiers centimètres du sol (1dm<sup>3</sup>). Des échantillons de sol ont fait l'objet de quatre analyses : texture par tamisage, rapport C/N par la méthode Wakley & Black, et enfin la salinité et la conductivité par la norme internationale ISO 11265.

## 3. Analyse de la végétation

L'inventaire botanique de l'aire d'étude a été réalisé durant la première année de l'étude. L'ensemble des microhabitats choisis pour réaliser l'inventaire faunistique a été parcouru autant que possible. Le long d'un transect linéaire, six quadrats de 1m<sup>2</sup> (3 cadrats par transect) ont été appliqués. Les espèces, qu'elles soient en fleurs, en fruits ou en graines, ont été identifiées.<sup>1</sup>

L'identification s'est faite en plusieurs étapes : tout d'abord en se référant à la flore d'Algérie de **QUEZEL & SANTA (1963-1963)**, complétée par la flore d'Afrique du Nord de **MAIRE (1952-1987)**, ensuite la plupart des identifications ont été vérifiées, complétées et actualisées en consultant la flore d'Italie (**PIGNATTI 1982**) et celle d'Andalousie orientale (**BLANCA et al. 2009**).

La nomenclature est ajustée selon l'index synonymique de **DOBIGNARD & CHATELAIN (2010-2013)** et sa version actualisée en ligne (**APD 2023**).

## 4. Etude de la faune carabique

Pour mener à bien notre étude et avoir une liste aussi complète que possible de l'entomofaune de carabiques du lac Tonga, nous avons opté pour deux méthodes de capture directe et indirecte ; la chasse à vue avec l'aspirateur à bouche, et les pièges Barber.

Toujours selon le principe d'un échantillonnage systématique linéaire et en fonction des microhabitats définis à partir de la végétation dominante, la faune a été prélevée le long de deux transects successifs d'une longueur de totale de 30m (Fig.14).

Des prélèvements ont été effectués à l'intérieur d'un carré de 2 m de côté dans lequel quatre pièges ont été installés.

Au total 12 pots Barber par transect sont visités chaque semaine de juillet 2017 à mai 2019 mais de manière discontinue et ceci en raison de l'inaccessibilité du terrain due aux fortes chutes de pluie.

---

<sup>1</sup> Nous tenons à remercier Pr Tarek Hamel et Mr Abdessalem Guerrira pour leurs aide dans l'identification des espèces végétales



Figure 14: Dispositif d'échantillonnage dans le site d'étude

### Les pièges Barber

Le piège Barber (Fig.15) est une méthode fréquemment utilisée pour l'étude de la faune des arthropodes du sol et particulièrement les coléoptères terricoles (RAÏNO ET NIEMELÄ, 2003). Il s'agit d'une méthode de capture passive, liée à l'activité des espèces sur le sol (SOUTHWOOD, 1988).

Obtenir une liste complète des Carabidae du lac Tonga est un de nos objectifs et constitue l'une des questions de recherches les plus courantes, c'est ce qui justifie le choix de cette méthode. Il s'agit de simples pots de 12 cm de profondeur et de 10 cm de diamètre, la technique consiste à enterrer les pots dans le sol de façon à faire coïncider le bord supérieur du pot avec le niveau du sol. La terre est tassée autour du piège afin que même les Carabidés de petite taille tombent facilement dans le piège sans rencontrer d'obstacles. (DAJOZ, 2002).

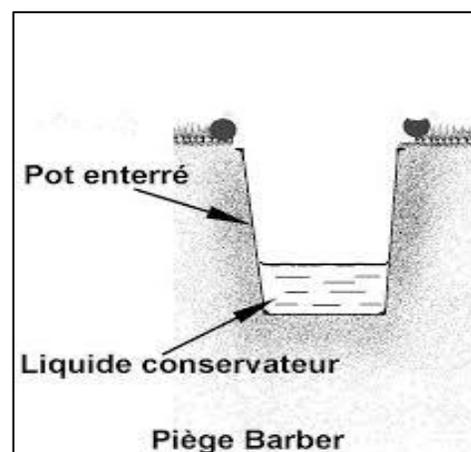


Figure 15: Schéma d'un piège Barber (B. Meriguet), modifié

### Chasse à vue

Cette méthode consiste à explorer en détails les différents micro-milieus constituant le biotope afin d'obtenir la liste complète des espèces.

Généralement la faune se cache dans différents abris (Fig.16), le prélèvement consiste donc à gratter le sol, soulever les pierres, les morceaux de bois, les cadavres échoués et les laisses végétales.

Les Carabidae sont capturés au moyen d'un aspirateur à bouche.

### Aspirateur à bouche

Cet appareil (Fig.17) permet la capture de tous les petits insectes se déplaçant rapidement et qu'il est difficile d'attraper à la main nue ou avec une pince. Le principe est d'aspirer l'insecte qui est ensuite retenu dans le récipient collecteur.

### Identification de la faune

Au laboratoire, le matériel biologique récolté est trié puis conservé dans de l'éthanol à 70% dans des tubes étiquetés qui sont ensuite stockés. Ils sont ensuite identifiés sous loupe binoculaire (jusque x40) à l'aide d'ouvrages de références, de tirés à part et de sites internet dédiés. Certains spécimens ont été soumis à d'autres spécialistes pour validation<sup>2</sup>. L'identification a été faite à l'aide des clés d'identification, principalement celles de **BEDEL (1895)**, **JEANNEL (1941-1942)**, **ANTOINE (1962)** et **DU CHATENET (2005)**.



**Figure 16: *Percus lineatus* (Solier, 1835) Tonga, mai 2019**



**Figure 17: Aspirateur à bouche**



**Figure 18: *Carabus famini* (Dejean, 1826)**

<sup>2</sup> Nous tenons à remercier particulièrement le spécialiste des Carabidae Sciaky Riccardo qui a contribué à la détermination des espèces.

## 5. Méthodes d'analyse de la structure des peuplements

### 5.1. Etude indicielle et représentations graphiques

Les différents indices de diversité actuellement utilisés en écologie des peuplements permettent d'étudier leur structure en faisant référence à un cadre spatio-temporel concret. Ils permettent d'évaluer rapidement la biodiversité des peuplements. Toutefois, selon **GRALL & HILY (2003)** leur caractère synthétique peut s'avérer être un handicap dans la mesure où il manque une grande partie de l'information.

La description et l'évaluation de la structure générale des peuplements reposent sur l'usage des deux variables qui sont la richesse spécifique et l'abondance (**GRALL & HILY, 2003**).

- **L'abondance** est le nombre d'individus d'une population donnée présent par unité de surface ou de volume (**RAMADE, 2003**).
- **La richesse spécifique S** est le nombre total d'espèces que comporte le peuplement considéré, effectivement présentes sur un site d'étude et à un moment donné (**BOULINIER et al., 1998**). La richesse spécifique est fréquemment utilisée comme une variable reflétant l'état d'un système et intervient souvent dans les efforts de gestion et de conservation de la biodiversité ainsi que dans l'évaluation de l'impact des activités anthropiques sur la biodiversité (**NICHOLAS et al., 1998**).
- **Indice H' de Shannon-Wiener** permet de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité d'un milieu et d'observer son évolution au cours du temps (**DAGET, 1976 ; BLONDEL, 1979 ; LEGENDRE & LEGENDRE, 1979 ; BARBAULT, 1992**). Cet indice a l'avantage de n'être subordonné à aucune hypothèse préalable sur la distribution des espèces et des individus (**CHARDY & GLEMARC, 1977**).

$$H' = -\sum (P_i \times \log_2 P_i) \text{ où } P_i = n_i / N$$

S= Nombre d'espèces contenues dans l'échantillon

$P_i$  = fréquence de l'espèce  $i$

$n_i$  : nombre d'individus d'une espèce de rang  $i$ .

Cet indice a pour unité le bit, sa valeur dépend du nombre d'espèces présentes, de leurs proportions relatives et de la base logarithmique.

$H'$  est minimal (égal à zéro) quand l'échantillon contient une seule espèce. Il est maximal (théoriquement infini) lorsque tous les individus appartiennent à des espèces différentes, dans ce cas  $H'$  est égale à  $\log_2(S)$ .

➤ **Indice d'INDVAL et détermination des espèces indicatrices**

L'identification d'espèces indicatrices constitue une activité très courante en écologie et en biogéographie. **DUFRENE & LEGENDRE (1997)** ont développé une méthode simple et pratique d'identification des espèces indicatrices et des assemblages d'espèces caractéristiques de groupements d'échantillons. La combinaison de l'abondance relative d'une espèce et de sa fréquence relative constitue la principale nouveauté de cette méthode. L'indice est maximal lorsque tous les individus d'une espèce sont trouvés dans un seul groupe et lorsque cette espèce apparaît dans tous les sites appartenant à ce groupe.

Pour chaque espèce  $i$  dans chaque groupe de relevés  $j$ , on calcule la valeur indicatrice ( $IndVal_{ij}$ ) de l'espèce  $i$  dans le groupe de relevés  $j$  de la façon suivante :

$$Indval_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$$

Où •  $A_{ij} = N_{individus\ ij} / N_{individus\ j}$

•  $B_{ij} = N_{sites\ ij} / N_{sites\ j}$

$A_{ij}$  représente la moyenne des abondances de l'espèce  $i$  au sein des relevés du groupe de relevés  $j$  par rapport à tous les groupes = mesure de la spécificité

$B_{ij}$  représente le nombre de relevés occupés par l'espèce  $i$  parmi ceux du groupe  $j$  = mesure de la constance ou de la fidélité.

La spécificité est maximale (100 %) quand l'espèce n'occupe qu'un groupe et la fidélité est maximale (100 %) lorsque l'espèce est présente dans tous les relevés d'un groupe.

La valeur indicatrice de l'espèce est maximale (100 %) lorsque la spécificité et la fidélité sont maximales.

- **L'équitabilité de Piélou  $J'$  (1966)** accompagne l'indice de Shannon, appelé également indice d'équi-répartition (**BLONDEL, 1979**) ou de régularité (**FRONTIER, 1976**). Cet indice permet d'estimer la répartition des espèces au sein des relevés en évaluant la proportion des espèces

dominantes et dominées. Il se calcule à partir de la valeur de  $H'$  et de la richesse spécifique  $S$ , il s'écrit :

$$J' = H' / H \text{ max} = H' / \log_2(S)$$

L'Équitabilité  $J'$  varie de 0 à 1, elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs est concentrée sur une ou deux espèces (une ou deux espèces dominantes), elle est de l'ordre de 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance. Insensible à la richesse spécifique, il est très utile pour comparer dans notre étude les dominances potentielles entre les différents niveaux de végétation ou entre dates d'échantillonnage.

- **L'indice de Simpson D**, est essentiellement lié aux variations d'abondance entre espèces dominantes. La formule de cet indice est la suivante :

$$D = \sum Ni (Ni-1) / N (N-1)$$

$Ni$  : nombre d'individus de l'espèce donnée.

$N$  : nombre total d'individus.

Cet indice tend vers une valeur de 0 pour indiquer le maximum de diversité, et une valeur de 1 pour indiquer le minimum de diversité.

- **L'équitabilité de Simpson**, notée  $ES$  est le rapport entre la diversité  $D$  et la richesse spécifique  $S$ . Elle varie entre 0 et 1 (**RAMADE, 2003**) et s'écrit  $ES = (D - 1) / (S - 1)$
- **L'indice de Hill**, permet une mesure de l'abondance proportionnelle associant les indices de Shannon- Wiener et de Simpson :

$$\text{Hill} = (1/D) / e^{H'}$$

$1/D$  : c'est l'inverse de l'indice de Simpson.

Plus l'indice de Hill s'approche de la valeur 1 et plus la diversité est faible. Afin de faciliter l'interprétation, il est alors possible d'utiliser l'indice 1-Hill, où la diversité maximale sera représentée par la valeur 1 et la diversité minimale par la valeur 0.

C'est l'indice de Hill qui semble le plus pertinent dans la mesure où il intègre les deux autres indices. Toutefois, il peut être utile d'utiliser les trois indices conjointement afin d'en extraire un maximum d'informations et de mieux comprendre la structure des communautés.

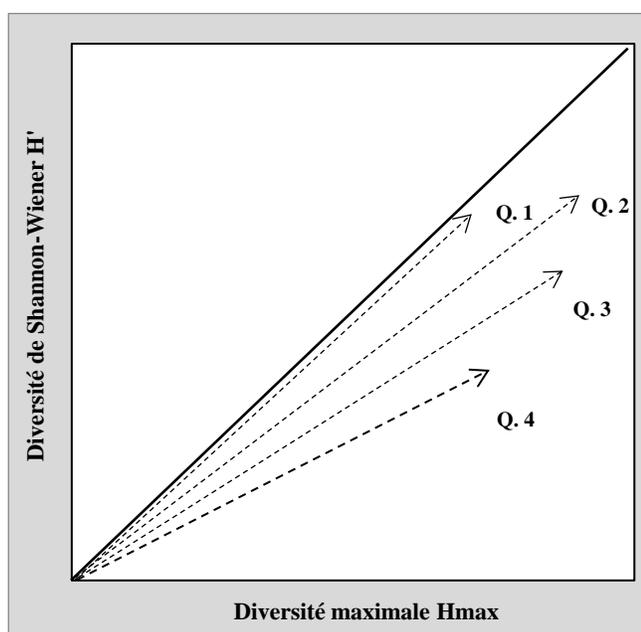
- **Indice de diversité Q de QINGHONG (1995) et Modèle DIMO**, (DIversity MOdel) ont été établis par Qinghong comme modèle pour les études de suivi et d'évaluation de biodiversité. Ce modèle a été appliqué pour la première fois sur la communauté végétale (**QINGHONG, 1995**). Il s'agit d'un indice calculé sur la base des indices  $H'$ ,  $\alpha$  (« evenness » ou équitabilité ou régularité) et nombre de taxons.

$$Q = H' / \sin(\alpha)$$

$\alpha$  ; l'équitabilité de Pielou  $J'$

$H'$  : indice de Shannon –Wiener

Cet indice est associé à modèle de DIMO qui a l'avantage de rendre plus perceptible dans un plan à deux dimensions, la richesse spécifique, la diversité spécifique et l'équitabilité, ainsi que leurs relations. Tout changement dans les valeurs de ces trois paramètres, que ce soit dans un groupement (aspect temporel) ou entre les différents groupements (aspect spatial) se trouve représenté sur le diagramme (Fig. 19).



**Figure 19: Représentation de l'indice Q basé sur le modèle de DIMO (QINGHONG, 1995), détermination graphique de la diversité.** L'indice Q correspond à la longueur du vecteur de l'origine au point –prélèvement (ligne de flèche).

Le modèle DIMO définit théoriquement quatre types de changements concernant les assemblages d'espèces (**QINGHONG, 1995**).

- (1) richesse spécifique et régularité varient et diversité constante « diversity-type »,

- (2) richesse spécifique et diversité changent et régularité constante « eveness-type »,
- (3) richesse spécifique constante alors que la diversité et régularité changent « richness-type »,
- (4) les trois paramètres varient « non-type ».

Une seule valeur peut dans certains résumer les différentes caractéristiques de la diversité au sein d'une communauté ou un peuplement. L'indice de diversité de Shannon - Wiener intègre la richesse spécifique et l'équitabilité de façon à ce qu'une augmentation de la richesse spécifique puisse être contrebalancée par une diminution de l'équitabilité.

L'indice Q correspond à la longueur du vecteur (ligne de la flèche). La longueur du vecteur dépend de la richesse spécifique et de l'équitabilité. Les communautés Q1, Q2 ont les mêmes vecteurs des indices de diversité ( $H'$ ) malgré leurs différences du point de vue richesse spécifique, alors que l'indice donne une valeur importante à Q2 par rapport à Q1 et Q3 (Fig. 19).

- **Le modèle de Motomura (INAGAKI, 1967)** décrit un alignement rectiligne des points du diagramme rang-fréquence quand les abondances d'espèces sont représentées en log et les rangs représentés sans transformation. Cette distribution spécifique en coordonnées semi-logarithmique (**FRONTIER, 1976**) est fondée sur l'exclusion mutuelle des organismes d'une même taille et sur une hypothétique forme de partage des ressources du biotope entre les espèces en présence (**FRONTIER, 1990**). En effet, les nombres d'individus sont proportionnels à la fraction des ressources accaparées par les espèces.

La pente de la droite varie selon la diversité spécifique (**INAGAKI, 1967**) et d'après les données de **BINET & DESSIER, 1972** ; le plus souvent on observe non pas un seul alignement, mais une succession de segments rectilignes, suggérant la coexistence de plusieurs "peuplements" ayant chacun sa propre loi.

Plusieurs auteurs, **FRONTIER (1976)** ; **BACHELET (1979a)** ; **HILY (1983)** ; **HILY (1984)** ; **HILY et al., (1992)** et **CHAOUTI (2003)** ont représenté les abondances en fonction des rangs, en coordonnées logarithmiques. Ces diagrammes permettent de suivre et de visualiser l'évolution spatiale de la structure démographique des peuplements et qui est directement lisible sur le graphique : le nombre d'espèces se voit à l'extension de la courbe vers la droite et la régularité, à son allure plus ou moins convexe ou concave. En effet, une diversité et régularité faible se traduisent par une concavité de la courbe. Par contre une diversité et régularité élevée se traduisent par une courbe convexe.

Dans certain cas les courbes montrent des paliers ce qui indique généralement un mélange de peuplement.

- **Indice de CHAO-1** a été développé pour estimer la richesse d'une communauté à partir d'un échantillon (HUGHES *et al*, 2001) et le calcul des OTU attendues sur la base des OTU observées (SCHLOSS & HANDELSMAN, 2005 ; CHAO, 1984 ; CHAO, 1992 ; CHAO, 1993). Chao1 est une méthode non paramétrique pour estimer le nombre d'espèces dans une communauté. L'estimateur de richesse Chao a été développé par Anne Chao et est basé sur le concept selon lequel les espèces rares induisent le plus d'informations sur le nombre d'espèces manquantes parce que l'estimateur de richesse Chao donne plus de poids aux espèces à faible abondance, seuls les singletons et les doubletons sont utilisés pour estimer le nombre d'espèces manquantes (CHAO, 1984). Par conséquent, cet indice est particulièrement utile pour les ensembles de données orientés vers les espèces à faible abondance (HUGHES *et al*, 2001). L'estimateur est

$$\hat{S}_{Chao1} = \geq 1_S + \frac{(\geq 1_S)^2}{2 \cdot 2_S}$$

$\geq 1_S$  est le nombre d'espèces différentes observé,  $2_S$  le nombre d'espèces observées 2 fois. L'échantillon peut être une surface ou un nombre d'individus. Si aucune espèce n'est observée deux fois, l'estimateur est remplacé par :

$$\hat{S}_{Chao1} = \geq 1_S + \geq 1_S(\geq 1_S - 1)/2$$

## 5.2. Méthodes statistiques multivariées

Les méthodes utilisées dans ce travail s'appuient sur l'analyse factorielle de correspondances (AFC), l'analyse en composantes principales (ACP), l'analyse canonique des correspondances (ACC) et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).

- a. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une des techniques les plus utilisées en analyse de données multidimensionnelles. L'ACP réduit un vecteur par projection orthogonale sur le sous-espace, de dimension fixée a priori, qui maximise la variance des projetés.

Dans le cas où la variabilité traitée est la variabilité totale, sa solution exacte est le sous-espace engendré par les premiers vecteurs propres de la matrice de covariance, dans l'ordre décroissant des valeurs propres. Cette méthode garantit une erreur minimale (erreur de reconstruction) entre vecteurs initiaux et vecteurs projetés au sens euclidien du terme (principe de "moindre inertie"). (**JOLLIFFE, 1986**). L'ACP permet de réduire des tableaux de grandes tailles en un petit nombre de variables (2 ou 3 généralement) tout en conservant un maximum d'information. Les variables de départ sont dites 'métriques' (**LE MOAL, 2002**).

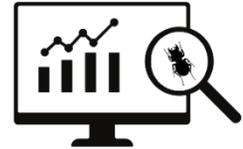
- b. Le terme Analyse Factorielle des Correspondances, réduit aux initiales AFC, recouvre un ensemble de résultats théoriques, de pratiques statistiques et d'exemples d'utilisation ayant suscité de nombreuses réflexions sur son fonctionnement (**CHESSSEL et al, 2003**). Cette analyse est introduite en écologie car elle joue un rôle important pour une raison essentielle : l'écologie factorielle, dans son objectif de description de la faune, de la flore, et de leurs relations avec le milieu, s'appuie sur la pratique des relevés et fournit nombre de tableaux dits écologiques. En lignes se trouvent les relevés (placette, prélèvement, piège, sondage, station, point, district, surface, quadrat, segment, échantillon ponctuel, volume d'eau, de sol, d'air...). En colonnes, se présentent les espèces de la faune ou de la flore étudiée (présence-absence du taxon, effectif des individus, note d'abondance conventionnelle, quantification en pourcentage, en échelle logarithmique, ...). Les tableaux flo-ro-faunistiques (relevés-taxons) sont analysables par l'AFC (**ROUX & ROUX 1967**) : la plupart des milieux et des groupes taxonomiques ont fourni des analyses de ce type. La méthode est particulièrement populaire en phytosociologie **GUINOCHET (1973)**.

L'analyse est introduite en hydrobiologie (**LEVEQUE & GABORIT, 1972**), en ornithologie (**LEBRETON, 1973**), en planctonologie (**IBANEZ & SEGUIN, 1972**). La représentation des coordonnées factorielles en fonction du temps (**DESSIER & LAUREC, 1978**) ou de l'espace (**ESTEVE, 1978**) introduit en écologie la notion de discrimination par l'AFC. Le modèle d'ordination réciproque est repéré par **HILL (1973)** et utilisé, par exemple, par **BATES & BROWN (1981)** en phytoécologie ou par **PRODON & LEBRETON (1981)** en ornithologie.

- c. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) consiste à assembler progressivement les individus selon leur ressemblance, mesurée à l'aide d'un indice de similarité ou de dissimilarité (**DUCHEZ & LOY, 2005**). Cette méthode de classification produit des groupements décrits

par un certain nombre de variables ou caractères (**LEBART et al., 1982**). Elle consiste en fait à la construction des classes (paquets) par agglomérations successives des objets deux à deux, qui fournissent une hiérarchie de partition des objets ; Il existe plusieurs méthodes de CAH et plusieurs coins de calcul de la distance entre deux objets, deux classes ou un objet (**BENZECRI, 1973**). C'est l'indice de Bray-Curtis qui a été retenu, avec la technique de groupement agglomératif moyen, comme le recommandent **LEGENDRE & LEGENDRE (1984)**.

- d. Analyse Canonique des Correspondances (ACC), l'information est obtenue suite au croisement des données de la faune et flore codées en présence-absence avec les variables environnementales). Le nuage résultant de l'ACC permet de visualiser le pourcentage explicatif d'une variable sur une autre (**TER BRAAK 1995**). Cette analyse a été effectuée en utilisant le langage informatique R (package ade4, version 3.0.2) (**R Development Core Team 2013**).



# **CHAPITRE III**

# **RESULTATS ET**

# **DISCUSSIONS**

### 1. L'hydrologie de surface

L'hydrologie de surface de notre aire d'étude est conditionnée par la pluviométrie. Cependant la durée de submersion et la hauteur d'eau sont les résultats de la combinaison du modelé et de la texture des sols sachant que le sous-sol du lac tonga est formé par les argiles de Numidie qui était auparavant occupé par une nappe d'eau douce d'environ 1800 ha (**OULD SIDI MOHAMED, 2016**). Elles forment, en effet, dans cette zone, de nombreux marais temporaires surtout au niveau des prairies humides TIG1 et TIIG1.

En fonction de la durée de stagnation des eaux de surface, deux secteurs sont définis :

- le secteur submersible semi-permanent, situé dans les premiers niveaux de notre aire d'étude, où la submersion est d'environ sept mois ; ils sont alimentés d'une part par les eaux des crues des ravins du bassin versant et d'autre part par le débordement du lac. Les précipitations accrues du mois d'octobre 2018 jusqu'au mois de mars 2019 (plus de 671 mm de pluie en six mois) ont marqué une année exceptionnelle qui a donné une morphologie remarquable au lac Tonga. En effet les variations climatiques régionales conditionnent la variabilité du niveau du lac.
- le secteur éphémère qui ne se met en eau qu'à d'importantes quantité de précipitations sur les maquis bas (*Oléo-lentisque* et *Calicotome villosa*). La submersion est d'un mois (janvier), durant lequel les précipitations enregistrées étaient les plus inhabituels plus de 191.5 mm.



**Figure 20: Photo du secteur submersible semi permanent au TIG1 et TIG2**

## 2. Analyse des paramètres édaphiques

Le sol est un milieu vivant qui contient une flore, une faune et une microflore particulièrement riche, interagissant entre elles. Ainsi, la composition d'un sol dépend de nombreux facteurs abiotiques (climat, nature de la roche-mère, physico-chimie du sol) et biotiques (abondances et diversité des communautés floristiques, faunistiques et microbiennes) (**BAIZE & JABIOL, 2011**).

Le tableau 8 présente l'ensemble des résultats des paramètres édaphiques enregistrés et les informations recueillis pour 6 échantillons de sol.

En tenant compte de l'emplacement où les échantillons ont été pris, la teneur en argile, limon et sable peut varier selon la végétation des deux transects.

Une teneur en argile faible et plus homogène est enregistrée dans tous les microhabitats de l'aire d'étude. Dans la prairie humide à *Potentilla reptans* L. et au niveau intermédiaire à *Bellis annua* L. *subsp. annua* c'est la teneur du sable qui s'impose avec des valeurs qui excèdent respectivement les 78% et 68% contrairement au maquis bas à oléo-lentisque, où ce sont les limons qui dominent avec 56%.

Au 2<sup>ème</sup> transect les valeurs sont semblables aux celles du 1<sup>er</sup> transect, la prairie humide à *Hypochaeris radicata* et la pelouse intermédiaire à *Plantago lanceolata* présente une structure sablo-limoneuse où ce dernier enregistre la plus grande teneur en sable avec 76%. Le maquis bas à *Calicotome villosa* présente une structure grumeleuse due à une texture où les limons et les sables codominent.

Le rapport C/N semble un bon indicateur général de la décomposition de la matière organique apportée (**VANLAUWE et al., 1996 ; NICOLARDOT et al., 2001**). Un résidu à C/N faible se décomposerait plus rapidement qu'un résidu à C/N élevé, et globalement les résidus riches en N sont rapidement décomposés (**SWIFT et al., 1979**). Si ce rapport est élevé, l'azote se trouve alors sous forme organique donc peu disponible sous forme minérale, la décomposition est alors très réduite à cause d'un nombre très limité de décomposeurs (**BOUKLI HACENE & HASSAINE, 2010**).

Le rapport C/N varie avec la texture du sol, en effet le transect I montre des valeurs de C/N assez faibles en fonction d'une texture fine. Ce rapport est inférieur à 25 sur la totalité des échantillons du transect I ce qui traduit une vitesse de décomposition assez rapide dans ces microhabitats. Par contre, seul le maquis bas du transect II, à *Calicotome villosa* se caractérisent par un rapport C/N

Tableau 8: Résultats des paramètres édaphiques

Espèces végétales		Habitats	PH 25°C	CE Us	Salinité mg/kg	Carbone g/kg	Azote (N) g/kg	C/N	Argile %	Limon %	Sable %
Transect I	<i>Potentilla reptans</i> L. <i>Ranunculus muricatus</i> L. <i>Bellis annua</i> L. subsp. <i>annua</i> <i>Hypochaeris radicata</i>	Prairie humide à <i>Potentilla reptans</i> L.	8.27	140	95.9	4.83	0.26	18,58	6	16	78
	<i>Bellis annua</i> L. subsp. <i>annua</i> <i>Hypochaeris radicata</i> <i>Cynoglossum</i> <i>cheirifolium</i> <i>Galactites tomentosa</i> <i>Mentha pulegium</i> <i>Ranunculus muricatus</i> L.	Pelouse à <i>Bellis annua</i> L. subsp. <i>annua</i> et <i>Hypochaeris radicata</i>	7.78	34.5	16.08	2.69	0.14	19.22	8	24	68
	<i>Pistacia lentiscus</i> <i>Olea europaea</i> <i>Lythrum junceum</i>	Maquis bas à Oléo-lentisque	7.15	60.2	28.2	2.79	0.13	21.46	12	56	32
Transect II	<i>Hypochaeris radicata</i> <i>Plantago lanceolata</i>	Prairie humide à <i>Hypochaeris radicata</i>	7.31	58.0	27.80	2.85	0.06	47.6	7.5	28.75	63.75
	<i>Plantago lanceolata</i> <i>Ranunculus muricatus</i> L.	Pelouse à <i>Plantago lanceolata</i>	6.92	31.1	14.36	3.87	0.09	43.02	4	20	76
	<i>Calicotome villosa</i> (poir). Link <i>Olea europaea</i> <i>Plantago lanceolata</i> <i>Asphodelus ramosus</i> L.	Maquis bas à <i>Olea europaea</i> et <i>Calicotome villosa</i> (poir). Link	7.22	90.2	42.2	3.5407	0.15	23.60	8	52	40

inférieur à 25 en raison d'une teneur plus élevée en azote (0.15mg/kg) ; contrairement à la prairie humide à *Hypochaeris radicata* la pelouse à *Plantago lagopus* (0,06mg/kg et 0.09mg/kg). Ces derniers microhabitats représentent des rapports C/N (supérieurs à 40) très élevés qui peuvent être à l'origine d'une décomposition très lente de la matière organique.

Le pH optimum pour une bonne assimilation des phosphates par les plantes est compris entre 6 et 7 (POUSSET, 2011). A l'exception de la prairie humide à *Potentilla reptans* L. qui montre un pH 8.27, on observe que 83% des échantillons représente un pH neutre et donc un sol équilibré.

Concernant l'accumulation des sels, les plus fortes teneurs sont enregistrées dans la prairie humide à *Potentilla reptans* (95,6 mg/kg) puis diminuent jusqu'au (28,2mg/kg) dans le maquis bas à *Oléo-lentisque*. Inversement, le transect II enregistre sa plus grande valeur dans les maquis bas à *Calicotome villosa* (42,2mg/kg) tandis que la prairie humide à *Hypochaeris radicata* et la pelouse à *Plantago lanceolata* présente des valeurs des taux de salinité qui restent relativement faible entre 27,8 et 14.36 mg/kg.

La conductivité présente des fluctuations (Tab 8), elle enregistre sa plus grande valeur dans la prairie humide à *Potentilla reptans* 140us/cm et présente une valeur minimale de 31.1us/cm dans la pelouse à *Plantago lanceolata*.

### 3. Composition floristique et détermination des microhabitats

La composition floristique d'une zone géographique est la composante biotique la plus importante (OZENDA, 1982). Un écosystème est composé essentiellement des éléments physiques, biologiques ou chimiques comme le milieu, la faune, la flore et les éléments nutritifs (DAVIS, 1996).

Après avoir décrit le site d'étude, analysé les paramètres édaphiques, il est primordial d'évaluer le cortège floristique des quadrats où la faune de carabiques a été inventoriée.

La détermination des espèces végétales nous a permis d'identifier 14 espèces (Tab.9). Neuf espèces ont été identifiées dans les parcelles du transect I contre six espèces au transect II.

**Tableau 9: Composition végétale de l'aire d'étude**

Transect I	Transect II
<i>Potentilla reptans</i> L.	<i>Calicotome villosa</i> (poir). Link
<i>Bellis annua</i> L. subsp. <i>annua</i>	<i>Hypochaeris radicata</i>
<i>Ranunculus muricatus</i> L.	<i>Plantago lanceolata</i>
<i>Hypochaeris radicata</i>	<i>Ranunculus muricatus</i> L.
<i>Cynoglossum cheirifolium</i>	<i>Olea europaea</i>
<i>Galactites tomentosa</i>	<i>Asphodelus ramosus</i> L.
<i>Mentha pulegium</i>	
<i>Pistacia lentiscus</i>	
<i>Lythrum junceum</i>	

Pour mener à bien notre étude, une identification du cadre physique au sein duquel notre entomofaune de carabiques a été inventoriée s'avère nécessaire. Les conditions physiques des microhabitats influencent certainement la structure de notre communauté, il est donc indispensable d'identifier et évaluer les microhabitats de nos deux transects.

Trois microhabitats types apparaissent dans chacun des transects à partir de l'espèce la plus représentative (Fig.21).

Le transect I :

- ❖ Le microhabitat TIG1 de la prairie humide à *Potentilla reptans* L., est caractérisé par une texture sablo-limoneuse,
- ❖ Le niveau intermédiaire TIG2 à *Bellis annua* L. subsp. *annua* et dont la texture est semblable à la précédente,
- ❖ Le maquis bas à Oléo-lentisque TIG3, à texture limoneux sableuse.

Le transect II :

- ❖ La prairie humide à *Hypochaeris radicata* (TIIG1),
- ❖ La pelouse intermédiaire à *Plantago lanceolata* (TIIG2) à texture similaire (sablo-limoneuse),
- ❖ Le maquis bas à *Calicotome villosa* (poir). Link TIIG3 où les limons et les sables codominent.



Figure 21: Représentation schématique des deux transects au niveau du marais du lac Tong

#### 4. Le peuplement des Carabidae

Les espèces récoltées dans cette étude sont pour la plupart identifiées jusqu'au niveau spécifique. Néanmoins, la détermination de quelques-unes s'est avérée un peu difficile on a donc dû s'arrêter au niveau des morpho espèces. La nomenclature suivie est celle de **LÖBL & SMETANA, 2003, 2004, 2006, 2007, 2008, 2010**.

##### 4.1. Composition et biogéographie

##### 4.1.1. Composition taxonomique de la faune inventoriée

##### 4.1.1.1. Liste faunistique

La composition de la faune carabique du lac Tonga est donnée dans le tableau 10. Pour un bilan de 960 échantillons récoltés pendant la période d'étude qui s'étend de juillet 2017 à mai 2019, l'analyse de la composition faunistique globale a conduit à la détermination d'une collection de 1756 individus appartenant à 83 espèces de Carabidae.

Le peuplement global est constitué de 40 genres et neuf sous familles inégalement réparties : les Harpalinae 62%, les Trechinae 18%, les Brachininae 6%, les Scaritinae 4%, les Carabinae 3%, les Siagoninae et les Cicindelinae avec 2% et enfin les Apotominae et les Nebriinae 1%.

Tableau 10: Liste des Carabidae du lac Tonga

Famille	Sous famille	Genre/espèce	
Carabidae	Nebriinae	<i>Nebria andalusia</i> Rambur, 1837	
	Apotominae	<i>Apotomus rufus</i> P. Rossi, 1790	
	Carabinae		* <i>Carabus (Macrothorax) morbillosus</i> Fabricius, 1792
			* <i>Carabus (Eurycarabus) faminii</i> Dejean, 1826
	Siagoninae		<i>Siagona europaea</i> Dejean, 1826
			** <i>Siagona dejeani</i> Rambur, 1837
	Scaratinae		<i>Scarites laevigatus</i> Fabricius, 1792
			<i>Scarites buparius</i> Forster, 1771
	Cicindelinae		<i>Cicindela (Calomera) lunulata</i> Fabricius, 1781
			<i>Cicindela campestris atlantis</i> Mandl, 1944
	Brachininae		<i>Brachinus humeralis</i> Ahrens, 1812
			<i>Brachinus exhalans</i> P. Rossi, 1792
			<i>Brachinus (Brachinus) plagiatus</i> Reiche, 1868
			<i>Brachinus sclopeta</i> Fabricius, 1792
			<i>Brachinus immaculicornis</i> Dejean, 1826
	Trechinae		<i>Elaphropus globulus</i> Dejean, 1831
			<i>Elaphropus grandicollis</i> Chaudoir, 1846
			<i>Tachys bistriatus</i> Duftschmid, 1812
			<i>Tachys micros</i> Fischer von Waldheim, 1828
			<i>Tachys cardioderus</i> Chaudoir, 1850
			<i>Tachys scutellaris</i> Stephens, 1828
			<i>Bembidion quadripustulatum</i> Audinet-Serville, 1821
			<i>Bembidion (Phyla) obtusum</i> Audinet-Serville, 1821
			<i>Bembidion (Phyla) tethys</i> Netolitzky, 1926
			<i>Bembidion axillare</i> Motschulsky, 1844
			** <i>Bembidion (Philochthus) iricolor</i> Bedel, 1879
			<i>Trechus rufulus</i> Dejean, 1831
		<i>Trechus quadristriatus</i> Schrank, 1781	
	** <i>Asaphidion stierlini</i> Heyden, 1880		
Harpalinae		<i>Ocys harpaloides</i> Audinet-Serville, 1821	
		<i>Pogonus littoralis</i> Duftschmid, 1812	
		<i>Agonum viridicupreum</i> Goeze, 1777	
		<i>Agonum marginatum</i> Linnaeus, 1758	
		<i>Agonum nigrum</i> Dejean, 1828	
		*** <i>Agonum muelleri</i> Herbst, 1784	
		<i>Agonum numidicum</i> Lucas, 1846	
		* <i>Agonum viridicupreum fulgidicolle</i> Erichson, 1841	
		<i>Acupalpus maculatus</i> Schaum, 1860	
		<i>Acupalpus brunnipes</i> Sturm, 1825	
	<i>Acupalpus elegans</i> Dejean, 1829		
	<i>Harpalus distinguendus</i> Duftschmid, 1812		

Tableau 10 : Liste des Carabidae du lac Tonga (suite)

Famille	Sous famille	Genre/espèce
		<i>Harpalus fuscicornis</i> Ménériés, 1832
		*** <i>Harpalus rubripes</i> (Duftschmid, 1812)
		** <i>Harpalus cupreus</i> Dejean, 1829
		<i>Harpalus oblitus</i> Dejean, 1829
		* <i>Harpalus lethierryi</i> Reiche, 1860
		<i>Harpalus punctatostriatus</i> Dejean, 1829
		<i>Chlaenius velutinus</i> Duftschmid, 1812
		<i>Chlaenius spoliatus</i> Rossi, 1792
		* <i>Chlaenius aeratus</i> Quensel, 1806
		<i>Chlaenius olivieri</i> Crotch, 1871
		° <i>Chlaenius circumscriptus</i> Duftschmid, 1812
		<i>Stenolophus skrimshiranus</i> Stephens, 1828
		<i>Stenolophus teutonus</i> Schrank, 1781
		<i>Stenolophus abdominalis</i> Gené, 1836
		<i>Stenolophus mixtus</i> Herbst, 1784
		*** <i>Poecilus cupreus</i> Linnaeus, 1758
		<i>Poecilus purpurascens</i> Dejean, 1828
		*** <i>Poecilus cursorius</i> Dejean, 1828
		*** <i>Anisodactylus signatus</i> Panzer, 1796
		<i>Anisodactylus binotatus</i> Fabricius, 1787
		** <i>Badister collaris</i> Motschulsky, 1844
		<i>Syntomus fuscomaculatus</i> Motschulsky, 1844
		<i>Syntomus foveatus</i> Geoffroy in Fourcroy, 1785
		<i>Pterostichus nigrita</i> Paykull, 1790
		<i>Microlestes abeillei</i> Brisout de Barneville, 1885
		<i>Microlestes corticalis</i> L. Dufour, 1820
		<i>Olisthopus glabricollis</i> Germar, 1817
		** <i>Olisthopus fuscatus</i> Dejean, 1828
		<i>Pseudoophonus rufipes</i> DeGeer, 1774
		<i>Pseudoophonus griseus</i> Panzer, 1796
		** <i>Oodes helopioides</i> Fabricius, 1792
		* <i>Percus lineatus</i> Solier, 1835
		<i>Drypta distincta</i> P. Rossi, 1792
		<i>Amara aenea</i> De Geer, 1774
		<i>Anthracus flavipennis</i> Lucas, 1846
		<i>Platytarus faminii</i> Dejean, 1826
		<i>Carterus rotundicollis</i> Rambur, 1837
		<i>Calathus circumseptus</i> Germar, 1823
		<i>Ophonus rotundicollis</i> Fairmaire & Labouldène, 1854
		*** <i>Dyschirius chalceus</i> Erichson, 1837
		<i>Amblystomus metallescens</i> Dejean, 1829
		<i>Bradycellus harpalinus</i> Audinet-Serville, 1821

\*\*\* Nouvelle pour l'Afrique du Nord

\*\* Nouvelle pour l'Algérie

\* Endémique Afrique du Nord

° présence confirmée en Algérie

#### 4.1.1.2. Analyse de la composition faunistique

Les 83 espèces de l'inventaire appartiennent à neuf sous familles d'importance inégale (Fig. 22). Pour bien représenter la diversité de la composition faunistique, les figures ci-dessous illustrent le spectre des différentes sous familles exprimées en nombre d'espèces et en nombre d'individus par rapport à l'ensemble de la communauté.

La sous famille des Harpalinae prédomine aussi bien en nombre qu'en richesse spécifique et présente plus de la moitié de la faune récoltée avec 62% soit 51 espèces et son importance relative par rapport à l'abondance totale est de 79% plus du trois-quarts des Carabidae inventoriés (1403 individus).

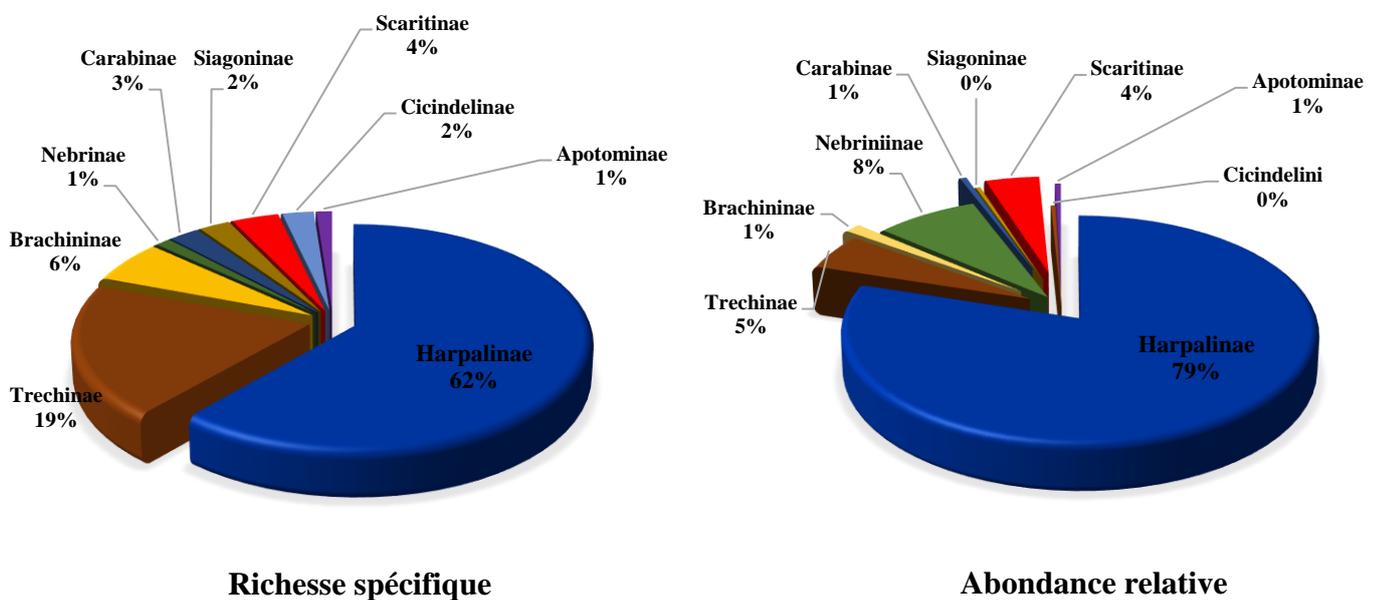


Figure 22: Importance de la richesse spécifique et de l'abondance relative des sous familles de Carabidae

La sous famille des Trechinae vient en second rang avec 18% de la richesse spécifique mais elle est moins abondante (5%) par rapport aux Nebrinae qui domine en nombre (8%) mais pas en richesse spécifique (1%).

Le pourcentage des autres sous familles en termes de richesse spécifique est dans l'ordre décroissant suivant : 6% pour les Brachininae et 4,14% pour les Scaritinae. Les Carabinae, Apotominae, Siagoninae et Cicindelinae, montrent des richesses presque similaires respectivement 0,51%, 0,45%, 0,34% et 0,34 %. Ces dernières sont très faiblement représentées avec moins de 10 individus soit, 9, 8, 6, 6 spécimens respectivement.

La composition faunistique analysée à partir de l'importance des genres montre également des proportions différentes (Fig 23). En effet les *Harpalus* sont les plus diversifiés avec sept espèces suivies des *Agonum* et des *Tachys* avec six espèces suivis des *Chlaenius*, des *Brachinus* et des *Bembidion* avec cinq espèces.

Les *Stenolophus* comportent quatre espèces suivis des *Acupalpus* et des *Poecilus* avec deux espèces.

Plus de 11% des genres sont représentés par deux espèces à savoir les *Anisodactylus*, les *Syntomus*, les *Trechus*, les *Carabus*, les *Siagona*, les *Microlestes*, les *Olisthopus* et les *Pseudophonus*.

La plus grande dominance revient aux *Scarites* qui comprennent le nombre d'individus le plus élevé (71) suivis des *Microlestes* et des *Anisodactylus* qui montrent respectivement 52 et 23 spécimens.

Vingt genres soit 24% de la communauté sont représentés par une seule espèce. Le genre *Percus* est le plus dominant avec 316 individus figurant ainsi avec 18% du peuplement global suivis de *Nebria* avec 139 individus soit 8% de l'effectif total. Les genres *Pogonus*, *Ocys*, *Asaphidion*, *Platytarus*, *Oodes* et *Cicindela* sont représentés par un individu chacun.

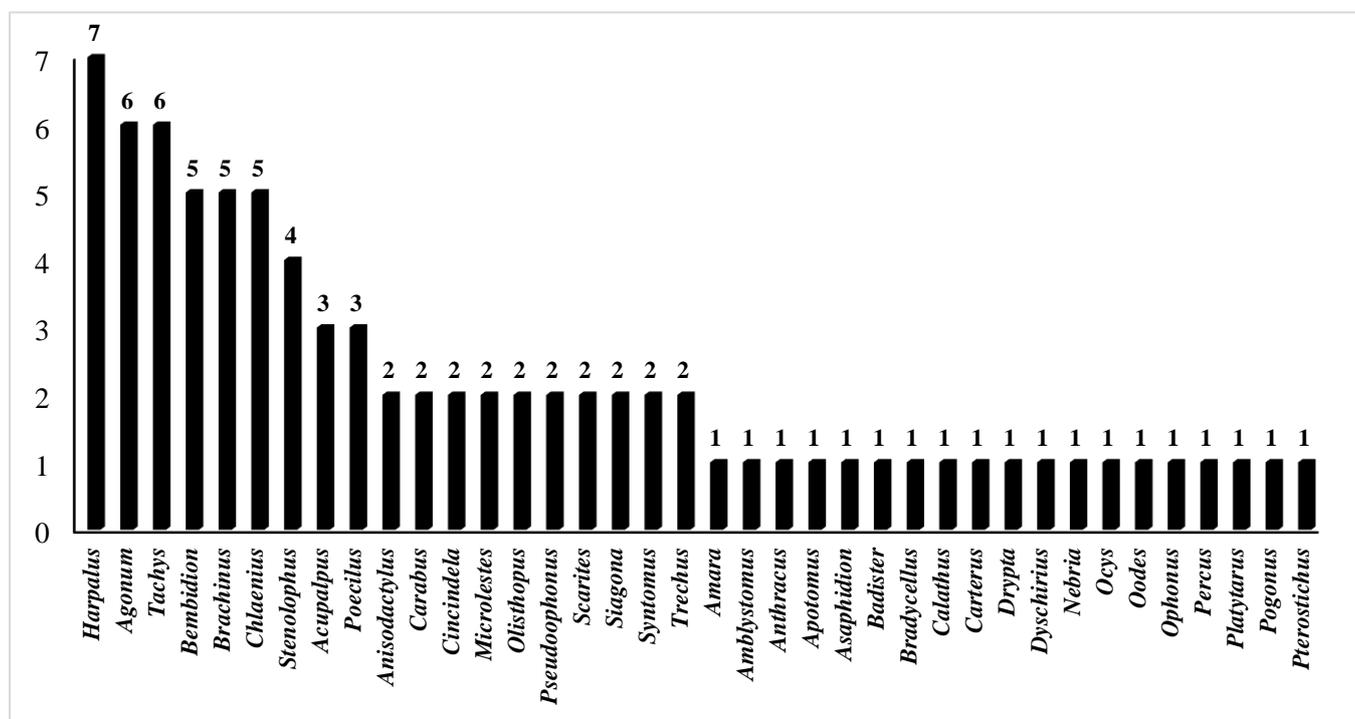


Figure 23: Importance des genres de la famille des Carabidae en fonction de la richesse spécifique

#### 4.1.2. Biogéographie des Carabidae

L'analyse de la biogéographie du peuplement des Carabidae récoltés a nécessité l'utilisation des ouvrages de **LOBL & SMETANA (2003, 2004, 2006, 2007, 2008, 2010)** qui ont servi de document de base pour dresser la liste des pays où chaque espèce identifiée a été déjà signalé. Ces travaux ont été complétés par ceux de **BEDEL (1895)**.

La communauté des Carabidae inventoriés est dominée par les espèces à large distribution avec 50 espèces soit 60,24% de l'effectif total, suivi par le caractère méditerranéen avec 39,75% (33 espèces). Pour une meilleure analyse on a subdivisé les espèces méditerranéennes en cinq catégories suivant leurs répartitions biogéographiques (Fig.24).

Des espèces méditerranéennes à large distribution au nombre de 17 soit 20,48% comme *Tachys globulus*, *Poecilus purpurascens*, *Calathus circumseptus* et *Bembidion axillare*. Les méditerranéo-occidentaux (6,02%) telles que *Carterus rotundicollis*, *Brachinus immaculicornis* et *Pogonus littoralis*. Des espèces tyrrhéniennes avec 6,02% comme *Percus lineatus*, *Anthracus flavipennis* et *Calomera lunulata*. Les espèces ibéro-maghrébines 3,61% et qui sont : *Siagona dejeani*, *Cicindela campestris atlantis* et *Nebria andalusia* et enfin les endémiques de l'Afrique du nord avec 3 espèces aussi : *Harpalus lethierry*, *Agonum fulgidicolle* et *Chlaenius aeratus*. Parmi cette faune endémique exceptionnelle, deux espèces sont protégées par la loi algérienne : *Carabus morbillosus* et *Carabus faminii* (**BOUTEFLIKA, 2012**).

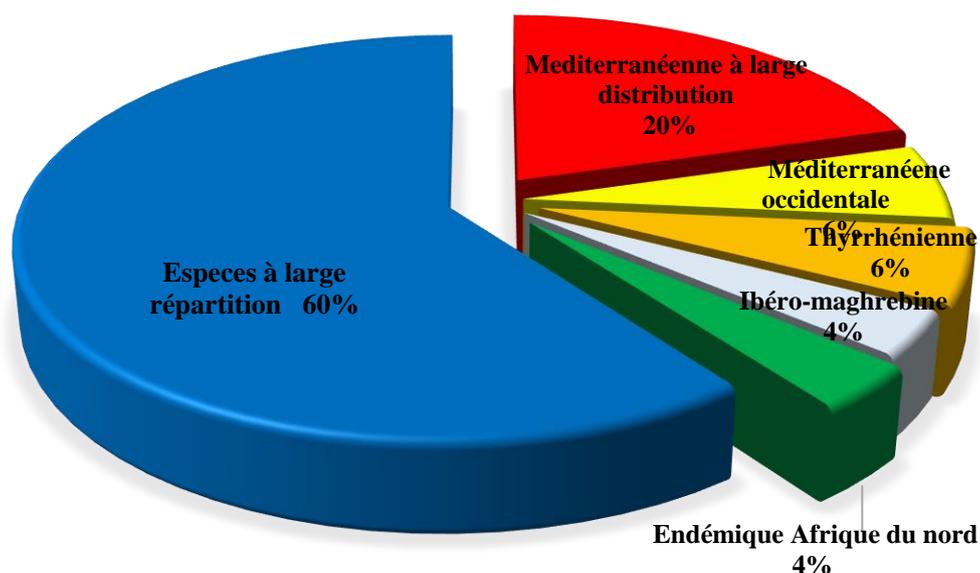


Figure 24: Biogéographie des espèces méditerranéennes des Carabidae

#### 4.1.2. 1. Test hiérarchique et détermination des unités coenotiques

Une classification ascendante hiérarchique (CAH) a été réalisée sur une matrice de répartition biogéographique des 83 espèces inventoriées (Annexe 1).

Cette classification a permis de subdiviser l'ensemble des espèces échantillonnées en deux grands groupes selon le type de répartition de chaque espèce. (Fig. 25).

Un premier groupe englobe 33 espèces à caractère méditerranéen. On a subdivisé ce groupe en deux sous-groupes (SG).

-Le premier sous-groupe (SG1) renferme les espèces à répartition très limitées telles que les espèces endémiques de l'Afrique du nord : *Harpalus lethierry*, *Agonum fulgidicolle* et *Chlaenius aeratus*, les espèces de la péninsule Ibérique comme *Siagona dejeani*, *Cicindela campestris atlantis* et *Nebria andalusia* ainsi que les espèces tyrrhéniennes à savoir *Percus lineatus*, *Carabus morbillosus*, *Carabus famini* et *Anthracus flavipennis*.

-Le deuxième sous-groupe (SG2) rassemble les espèces à répartition limitée de la Méditerranée qu'on peut retrouver en Europe méridionale et occidentale (22 espèces) comme *Harpalus oblitus patruelis*, *Microlestes abeillei* et *Trechus rufulus*.

-Le deuxième groupe réunit 50 espèces caractérisées par une large à très large répartition, signalées dans toute l'Europe ainsi que dans quelques pays asiatiques. On peut citer à titre exemple *Asaphidion stierlini* qui est signalé pour la première fois en Algérie. On peut subdiviser ce groupe en quatre sous-groupes en fonction de leur répartition.

-Le premier sous-groupe SG3 rassemble les espèces à large distribution dans toute l'Europe jusqu'à l'Asie mais absentes en Europe septentrionale tels que *Microlestes corticalis*, *Stenolophus abdominalis* et *Brachinus plagiatus*.

-Un second sous-groupe SG4 contient les espèces à très large distribution tels qu'*Agonum nigrum*, *Chlaenius velutinus*, *Chlaenius spoliatus*, *Acupalpus maculatus* et *Amara aenea*. Le troisième sous-groupe (SG5) renferme les espèces présentes dans toute l'Europe mais qui sont absentes en Asie comme *Ocys harpaloides*, *Ophonus rotundicollis*, *Agonum marginatum*, *Acupalpus brunnipes* et *Bembidion obtusum*. Le dernier sous-groupe (SG6) rassemble les espèces absentes en Algérie tels que *Siagona dejeani*, *Badister collaris* et *Asaphidion stierlini* ainsi que les espèces absentes au nord d'Afrique comme *Agonum muelleri*, *Poecilus cursorius* et *Dyschirius chalceus*.

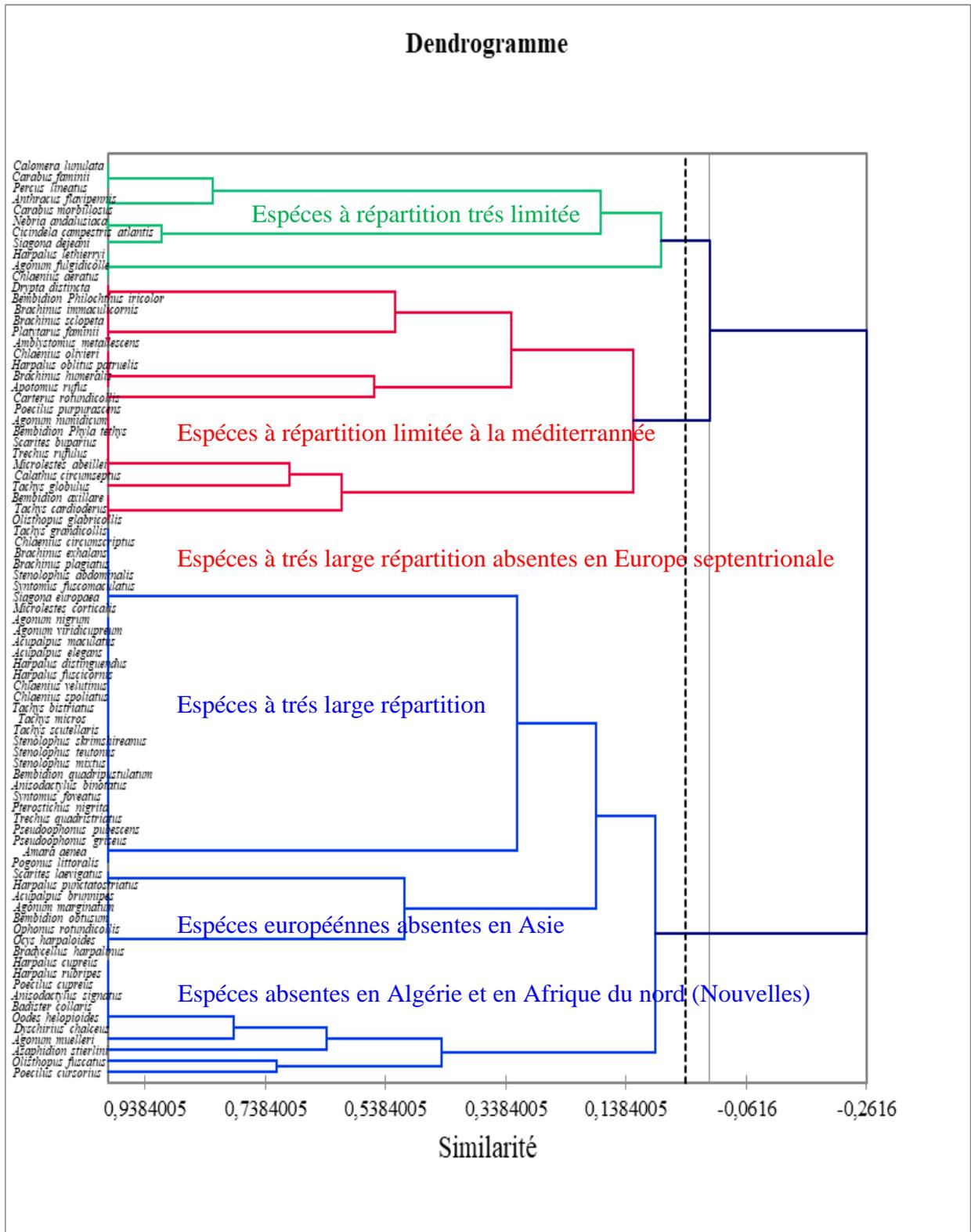


Figure 25: Dendrogramme issu de la CAH de la matrice de répartition biogéographique des espèces.

#### 4.1.2.2. Nouveautés pour l'entomofaune de carabiques de l'Afrique du nord

L'inventaire des Carabidae du marais du lac Tonga nous a permis de signaler la présence de six nouvelles espèces pour la faune du Nord de l'Afrique : *Agonum muelleri*, *Harpalus rubripes*, *Poecilus cupreus*, *Poecilus cursorius*, *Anisodactylus signatus* et *Dyschirus chalceus*.

Des informations relatives, caractères diagnostiques et des photographies de chaque espèce sont fournis dans la partie ci-dessous.

- ❖ ***Agonum muelleri* (Herbst, 1784)** Longueur. 7 à 9 mm. Antennes brunes avec le 1<sup>er</sup> article plus pâle. Pubescence des antennes à partir du 4<sup>ème</sup> article. L'espèce présente un éclat métallique qui peut varier du vert bronzé à cuivré. Angles postérieurs du pronotum arrondis. Il y a trois points enfoncés sur le 3<sup>ème</sup> interstrie des élytres. Il affectionne principalement les lieux ouverts, sous des pierres et dans du bois mort (Fig.26 A).
- ❖ ***Harpalus rubripes* (Duftschmid, 1812)** Longueur. 8-11 mm. Pubescence des antennes à partir du 3<sup>ème</sup> article -Antennes et pattes rougeâtres. Corps de coloration variable (métallique bleu-vert chez les mâles et noir mat chez les femelles). Marge du pronotum roussâtre. Élytres avec les épaules anguleuses et dentées. Quelques points alignés dans la partie postérieure de la 7<sup>ème</sup> strie des élytres. Derniers segments ventraux abdominaux glabres (Fig.26 B).
- ❖ ***Poecilus cupreus* (Linnaeus, 1758)** Longueur. 10-12 mm. Pubescence des antennes à partir du 4<sup>ème</sup> article. Corps généralement cuivreux, mais aussi vert ou noir bleuté métallique. Deux premiers articles des antennes jaunes rougeâtres. Elargissement de la marge du pronotum dans sa partie postérieure. Ponctuations sur la tête-Pattes noires, rarement avec fémurs rouges (Fig.26 C).
- ❖ ***Anisodactylus signatus* (Panzer, 1796)** Longueur. 11-14 mm. Pubescence des antennes à partir du 3<sup>ème</sup> article. Corps de couleur noire bronzée parfois d'aspect brillant. Couleur des pattes et des antennes entièrement noires. Partie postérieure du pronotum ponctuée. Angles postérieurs du pronotum droits mais émoussés. Côtés et partie postérieure des élytres généralement pubescents (Fig. 26D).
- ❖ ***Dyschirus chalceus* Erichson, 1837** Longueur. 5-6mm. Noir bronzé verdâtre, pièces buccales, antennes et pattes brun roux. Front striolé à l'avant. Pronotum élargi vers l'arrière, les côtés à peines arrondis vers l'avant. Elytres allongés, les côtés subparallèles, les stries fortement ponctuées, avec une soie à la base de la 1<sup>ère</sup> strie, 2 discales, au bord du 3<sup>ème</sup> interstrie et 2 préapicales (Fig. 26 E)
- ❖ ***Poecilus cursorius* (Dejean, 1828)** Longueur. 8-11.5mm. Dessus vert, cuivreux, bronzé ou noir, les pattes toujours noires. Ressemble à *P. cupreus* mais plus court, plus large et

plus convexe, le pronotum plus transverse, relativement plus petit, aussi large que les élytres, les côtés régulièrement arrondis, la base lisse au milieu, les fossettes à peine ponctuées. Les stries élytrales plus profondes, les interstries plus convexes (Fig.26 F).

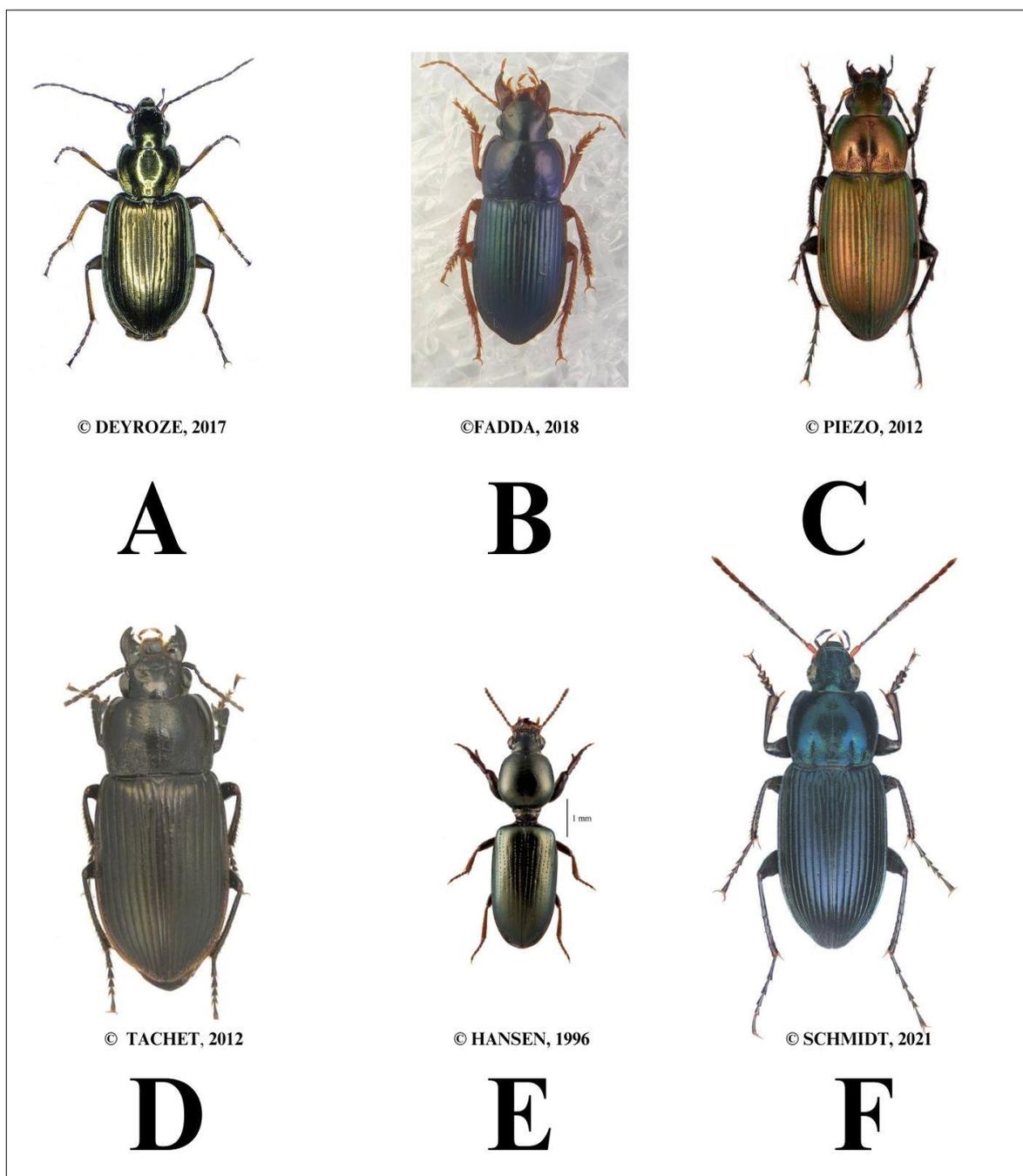


Figure 26: Aspect dorsal. A. *Agonum muelleri*. B. *Harpalus rubripes*. C. *Poecilus cupreus*. D. *Anisodactylus signatus*. E. *Dyschirius chalceus*. F. *Poecilus cursorius*.

#### 4.1.2.3. Nouvelles espèces en Algérie

Sept espèces non encore citée en Algérie *Harpalus cupreus*, *Badister collaris*, *Siagona dejeani*, *Olistophus fuscatus*, *Oodes helopioides* *Chlaenius circumscriptus* et *Asaphidion stierlini* sont décrites ci-dessous.

- ❖ ***Harpalus cupreus* Dejean, 1829** Longueur. 12-14 mm. Pubescence des antennes à partir du 3ème article. Corps de couleur métallique variable mais souvent vert. 1er article des antennes plus clair que le reste. Pattes rougeâtres à brunes. Partie postérieure du pronotum avec de nombreuses punctuations -Segments ventraux pubescents (Fig.27 A).
- ❖ ***Chlaenius circumscriptus* Duftschmid, 1812** Longueur. 18-24mm. Gorge avec 2 fossettes derrière le menton. 3eme article des antennes plus long que le 1er. Elytres bordés de jaune, à disque presque glabre et interstries à peu près lisses (Fig.27 B)  
La présence de cette espèce est confirmée en Algérie. Il s'agit d'une espèce qui n'est mentionnée ni dans le Catalogue des Coléoptères paléarctiques Vol 1 **LÖBL & SMETANA (2003)** ni dans la version actualisée en ligne du Catalogue of Life (2023). *Chlaenius circumscriptis* n'a plus été signalé en Algérie depuis sa découverte à El-Kala dans **BEDEL (1895)** et à Djurjura, forêt de l'Akfadou par **PIC (1897)**.
- ❖ ***Oodes helopioides* (Fabricius, 1792)** Longueur. 7-8 mm. Pubescence des antennes à partir du 4ème article. Corps de couleur noire mât (aspect texture cuir). 1er article des antennes souvent rougeâtre et le reste noir. 1 à 2 points enfoncés sur la 3ème interstrie-Stries des élytres fines et ponctuées-Pattes entièrement noires. Palpes labiaux sans soies. Forme générale du corps ovale (Fig.27 C).
- ❖ ***Siagona dejeani* Rambur, 1837** Longueur. 20-25 mm. Aptère. Brun roux, les antennes et les pattes généralement concolores. Très grand et très massif. Tête large, les yeux très petit. Punctuation du dessus un peu moins dense, le pronotum plus transverse que *S. jenissoni*, les bords latéraux subparallèles en avant, les angles antérieurs saillants, propleures sans bourrelet stridulatoire sur le dessous du prothorax (Fig. 27 D).
- ❖ ***Badister collaris* Motschulsky, 1844** Longueur. 4-5 mm. Très proche de *B. dilatatus* et de *B. peltatus*, mais le pronotum plus large, moins rétrécis en arrière, les angles postérieurs anguleux et largement obtus, les stries des élytres fines, les interstries presque plats (Fig. 27 E).

- ❖ *Olisthopus fuscatus* Dejean, 1828 Longueur. 4,5-5mm. Points dorsaux du 3eme interstrie déterminant chacun une impression fovéiforme. Palpes et antenne en majeure partie noirâtres, ces dernières à 1er article jaune. Elytres largement teintés de fauves sur les côtés, surtout en avant (Fig. 27 F).
- ❖ *Asaphidion stierlini* (Heyden, 1880) Longueur. 5-4mm. Très proches de *A. flavipes* mais plus petit, plus étroit, les appendices roux mais avec les genoux, l'apex des tibias, les tarse et les premiers articles des antennes obscurcis et un peu métalliques, les côtés des élytres moins arrondis, les fossettes discales un peu plus profondes (Fig.27 G).

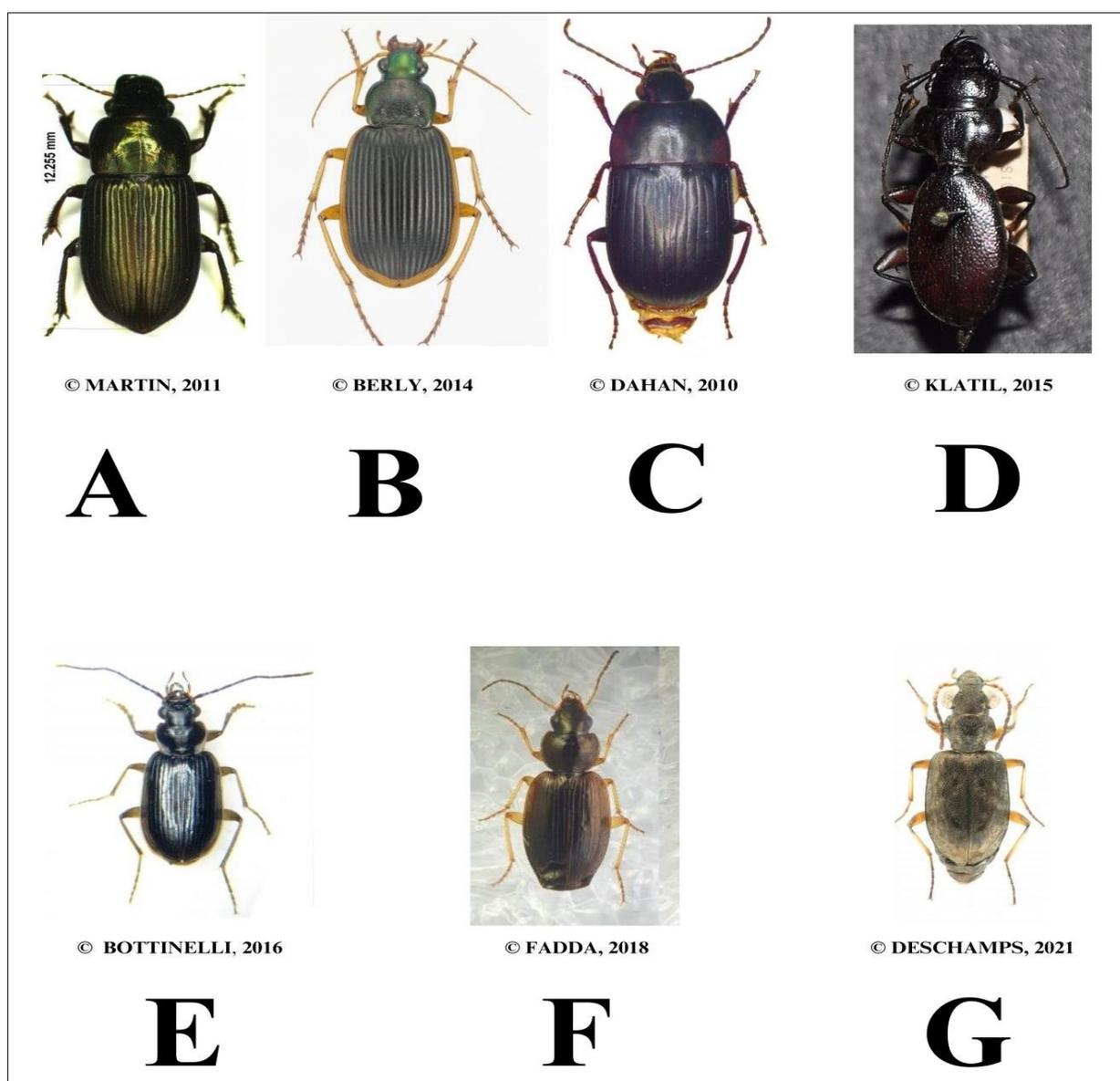


Figure 27: Aspect dorsal. A. *Harpalus cupreus*. B. *Chlaenius circumscriptus*. C. *Olisthopus fuscatus*. D. *Siagona dejeani*. E. *Badister collaris*. F. *Oodes helopioides*. G. *Asaphidion stierlini*.

#### 4.1.3. Espèces indicatrices des microhabitats du lac Tonga

Les valeurs indicatrices (IndVal) des taxons ou des combinaisons de taxons des stations sont présentées dans le tableau 12. Les résultats ont été analysés seulement pour les taxons ayant des valeurs de fidélité élevées et à probabilité inférieures ou égales à 0,05. Les valeurs indicatrices (IndVal) des taxons des microhabitats sont exposées sur le tableau 11.

L'analyse IndVal des assemblages de 83 espèces de Carabidae inventoriées entre de 2017 à 2019 (Annexe 2) a révélé la présence 17 espèces indicatrices et caractéristiques d'assemblages des Carabidae rencontrées dans les microhabitats de notre aire d'étude.

Cette analyse n'a révélé qu'une seule espèce caractéristique des peuplements de la prairie humide TIG1 à *Potentilla reptans* L. (Tab 11), il s'agit d'une espèce hygrophile vivant dans les endroits marécageux et au bord des eaux, le petit *Stenolophus abdominalis* (IndVal  $\geq$  69%).

La pelouse TIG2 à *Bellis annua* L. subsp. *annua* semble aussi être le lieu privilégié de l'*Anisodactylus signatus* (IndVal  $\geq$  69%), une espèce hygrophile qu'on retrouve généralement dans les bordures de marais, lac et terrain ouvert (DUCHATENET, 2005) et typique des sols sableux humides, boueux et recouvert d'une végétation clairsemée. Des exigences distinctes du microhabitat TIIG2.

Dans le maquis bas TIG3 à Oléo-lentisque, huit espèces caractéristiques de l'entomofaune de ce microhabitat ont été identifiées. La valeur maximale d'IndVal a été observée chez *Anthracus flavipennis* (IndVal  $\geq$  98%) suivie par *Agonum marginatum* (IndVal  $\geq$  69%) et *Poecilus purpurascens* (IndVal  $\geq$  52%).

Trois autres espèces ont été déterminées dans ce microhabitats : *Carterus rotundicollis* et *Olisthopus fuscatus* qui se distinguent sur les terrains secs et argileux et le *Calathus circumseptus* avec une valeur d'IndVal de 50%. Dans ce microclimat assez rude en période estivale, ces spécimens s'enterrent au pied des végétaux à la recherche d'une certaine humidité. Au Transect II, aucune espèce ne semble être caractéristique de la prairie humide TIIG1 à *Hypochaeris radicata* et la pelouse TIIG2 à *Plantago lanceolata*. Les valeurs non significatives pour en être des indicateurs confirment la présence d'espèces inféodées à une zone fonctionnelle de transition écologique du milieu ouvert vers le milieu et fermé (forêt).

Par contre, le maquis bas TIIG3 à *Calicotome villosa* (poir). Link recèle huit espèces caractéristiques.

**Tableau 11: Valeur indicatrice (IndVal) des taxons ou des combinaisons des espèces dans les microhabitats du lac Tonga [A=Spécificité, B=Fidélité, Prob. ≤0,200**

Microhabitat	Espèces	Spécificité	Fidélité	IndVal	p.value
<b>TIG1 Prairie humide à <i>Potentilla reptans</i> L.</b>	<i>Stenolophus abdominalis</i>	0,92	0,75	0,69	0,0025
<b>TIG2 Pelouse à <i>Bellis annua</i> L. subsp. annua</b>	<i>Anisodactylus signatus</i>	0,92	0,75	0,69	0,0023
<b>Maquis bas TIG3 à Oléolentisque</b>	<i>Anthracus flavipennis</i>	0,98	1,00	0,98	0,0003
	<i>Agonum marginatum</i>	0,92	0,75	0,69	0,0018
	<i>Poecilus purpurascens</i>	0,69	0,75	0,52	0,0025
	<i>Calathus circumseptus</i>	1,00	0,50	0,50	0,0233
	<i>Carterus rotundicollis</i>	1,00	0,50	0,50	0,0233
	<i>Olisthopus fuscatus</i>	1,00	0,50	0,50	0,0233
	<i>Amara aenea</i>	0,71	0,75	0,53	0,0044
<b>Maquis bas TIIG3 à <i>Calicotome villosa</i> (poir). Link</b>	<i>Nebria andalusia</i>	1,0	1,0	1,0	0,0003
	<i>Percus lineatus</i>	1,0	1,0	1,0	0,0005
	<i>Chlaenius aeratus</i>	1,0	0,75	0,75	0,037
	<i>Elaphropus grandicollis</i>	1,0	0,75	0,75	0,0017
	<i>Harpalus oblitus</i>	1,0	0,75	0,75	0,0063
	<i>Scarites laevigatus</i>	1,0	0,75	0,75	0,0596
	<i>Carabus faminii</i>	1,0	0,50	0,50	0,0242
	<i>Tachys scutellaris</i>	1,0	0,50	0,50	0,0216

Il s'agit principalement de cinq espèces mésophiles : *Percus lineatus*, *Chlaenius aeratus*, *Harpalus oblitus*, *Scarites laevigatus* et *Brachinus exhalans*, trois espèces xérophiles telles que *Nebria andalusia*, *Elaphropus grandicollis* et *Carabus faminii*. Enfin une hygrophile *Tachys scutellaris* semble trouver un abri dans la frange capillaire de ce microhabitat.

La xérophile *Nebria andalusia* et la mésophile *Percus lineatus* qui atteignent la valeur maximale de 100% de l'indice d'IndVal semblent trouver toutes les conditions favorables dans ce microhabitat considéré comme seuil limite du maquis bas.

Les conditions environnementales très différentes, favorisent dans ce microhabitat le maintien d'une certaine diversité faunistique. Les mésophiles *Harpalus oblitus*, *Chlaenius aeratus*, *Scarites laevigatus*, *Carabus faminii* et *Tachys scutellaris* avec une valeur d'IndVal élevée comprise entre 50% et 75% et les xérophiles (*Nebria andalusia*) entretiennent de fortes relations interspécifiques pour une exploitation maximale dans cette zone de lisière de forêt

## 5. Evolutions spatiale et temporelle Carabidae dans le lac Tonga

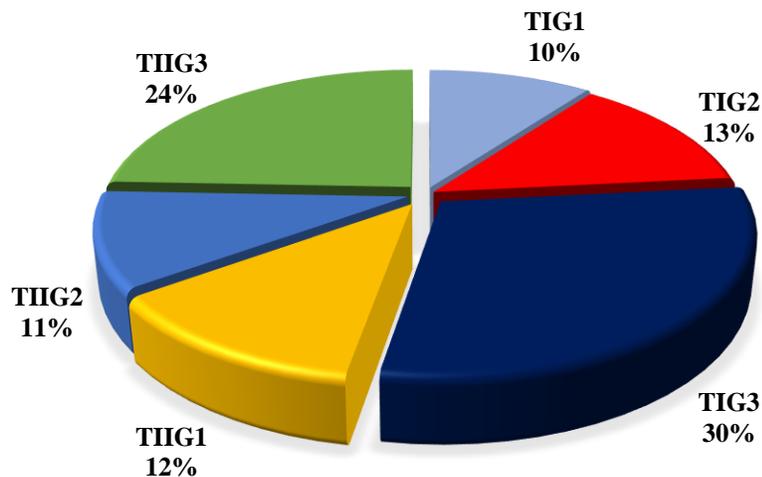
### 5.1. Evolution spatiale des Carabidae dans le lac Tonga

L'analyse des assemblages de la faune carabique du lac Tonga repose sur l'usage de la richesse spécifique  $S$ , de l'abondance et de la fréquence d'occurrence ainsi que sur les indices de diversité : Shannon-Wiener  $H'$ , Simpson  $D$ , Hill et l'équitabilité de Piélou  $J'$ . Cette analyse permettra en plus d'une analyse canonique des correspondances à avoir une meilleure vision de la dynamique des peuplements dans les différents microhabitats du lac.

#### 5.1.1. Comparaison des Carabidae dans les microhabitats

##### 5.1.1.1. Variation spatiale de l'abondance

Le nombre d'individus recensés dans les six microhabitats de l'aire d'étude diffère d'un microhabitat à un autre. La valeur maximale de l'abondance est marquée dans le maquis bas TIG3 à Oléo-lentisque représentant 29% du peuplement global du lac suivi du maquis bas TIIG3 à *Calicotome villosa* avec 428 individus (24%) (Fig.28).



**Figure 28: Importance de l'abondance relative des Carabidae par microhabitat**

La valeur maximale de l'abondance relative est notée dans le maquis bas TIG3 à Oleo lentisque, zone de transition la plus proche avec le milieu forestier (considérée comme zone d'écotone) avec 30% du peuplement global, suivi du maquis bas à *Plantago lanceolata* TIIG3 avec 24%.

La prairie humide TIIG1 à *Hypochaeris radicata*, les pelouses à *Belis annua* (TIG2) et à *Plantago lanceolata* (TIIG2) affichent des abondances comparables respectivement avec 13,12 et 10% du

peuplement global, tandis que l'effectif dans la prairie humide à *Potentilla reptans* demeure le moins abondant avec seulement 176 individus (10%).

#### 5.1.1.2. Variation spatiale de la richesse spécifique

L'analyse spatiale de la communauté des Carabidae montre une variation de la richesse spécifique (Fig.29). Cette dernière est assez faible dans la prairie humide TIG1 à *Potentilla reptans* avec 21 espèces (11%) seulement, suivi de la pelouse à *Plantago lanceolata* avec 23 espèces (12%) et la prairie humide à *Hypochaeris radicata* avec 24 espèces (13%). La pelouse TIG2 à *Bellis annua* et le maquis bas TIIG3 à *Calicotome villosa* affichent des richesses spécifiques semblables enregistrant tous les deux 30 espèces, présentant ainsi la même importance relative de 16%. La valeur maximale de la richesse spécifique est observée au niveau du maquis bas du transect I TIG3 à Oléo-lentisque où elle atteint 59 espèces soit 32% de la communauté globale (Annexe 3)

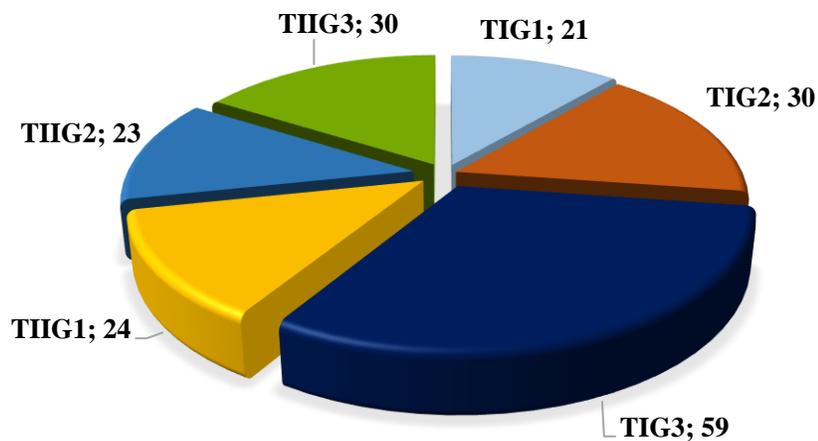
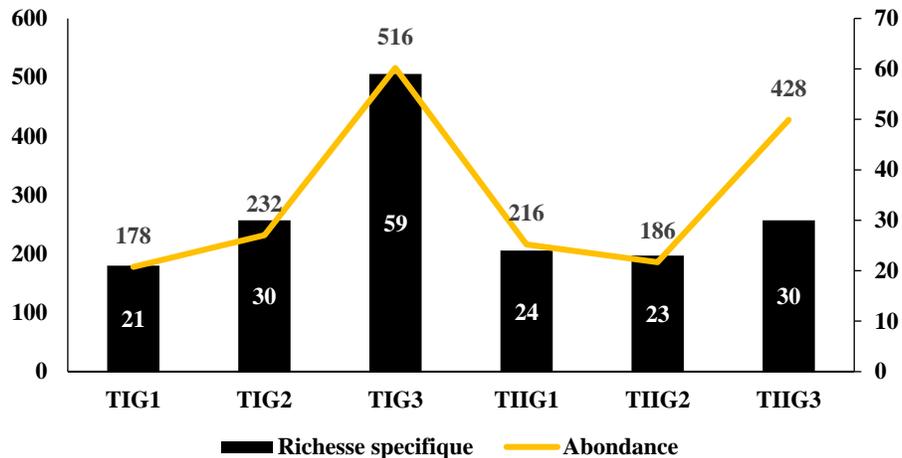


Figure 29: Richesse spécifique par microhabitat

La figure 30 montre clairement que l'abondance est positivement associée à la richesse spécifique. Cette dernière évolue dans le même sens que l'abondance dans les différents microhabitats.

La valeur maximale de l'abondance des Carabidés est notée dans le maquis bas TIG3 à Oléo-lentisque (516) individus alors que la prairie humide TIG1 à *Potentilla reptans* montre les valeurs les plus basses de l'abondance avec 178 individus.



**Figure 30: Evolution spatiale de la richesse spécifique et de l'abondance**

Ces mêmes microhabitats ont enregistré par ailleurs la richesse spécifique la plus élevée (59 espèces) pour TIG3 à Oléo-lentisque et la plus faible dans TIG1 à *Potentilla reptans* (21 espèces).

Le microhabitat TIIG3 à *Calicotome villosa* montre une variabilité quantitative des peuplements de Carabidae plus importante que la variabilité qualitative. Les 30 espèces sont représentées par un nombre assez élevé d'individus (428).

### 5.1.2. Etude indicielle de la diversité spécifique

Cinq indices ont été utilisés pour caractériser la structure de la communauté des Carabidae inventoriés à savoir : la diversité de Shannon-Wiener  $H'$ , l'équitabilité de Pielou  $J'$ , la diversité, l'indice de Hill, la diversité de Simpson.

#### 5.1.2.1. L'indice de Shannon-Wiener $H'$

Sur l'ensemble du lac, l'indice  $H'$  présente une valeur importante de 3,16 Bits. Les valeurs relevées au niveau des microhabitats sont remarquables et montrent la codominance de plusieurs espèces (Fig.31).

L'indice Shannon-Wiener  $H'$  dans les deux transects varie entre un minimum de 2,37 bits (TIG1) et un maximum de 3,23 bits (TIG3). Le faible indice de diversité ( $H'$ ) rencontré dans le niveau de la prairie humide TIG1 témoigne d'une part d'une abondance relativement faible (178 individus) et une faible richesse spécifique (21 espèces) et d'autre part, de la dominance de quatre espèces : *Chlaenius velutinus*, *Nebria andalusiaca*, *Acupalpus brunnipes* et *Percus lineatus*.

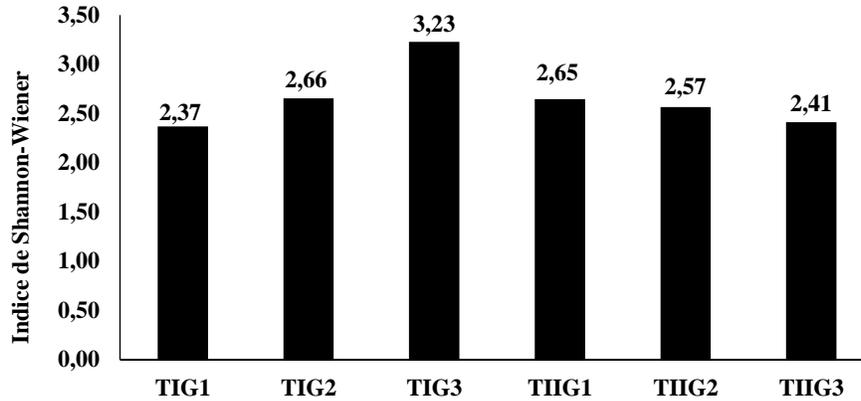


Figure 31: Variation spatiale de l'indice de diversité de Shannon-Wiener

Le transect II expose des valeurs de l'indice  $H'$  successives très proche de, 2,65, 2,57 et 2,41 bits. Ces valeurs assez réduites sont probablement dûes aux nombreuses espèces très faiblement représentées, moins de deux individus, à savoir, *Platyтарus famini*, *Olisthopus glabricollis*, *Oodes helopioides*, *Acupalpus elegans*, *Agonum marginatum*, *Bembidion axillare*, *Dyschirius chalceus*, *Siagona dejeani* et *Siagona europaea*.

La valeur maximale de  $H'$  correspond au maquis bas TIG3 à Oléo-lentisque où la richesse spécifique et l'abondance sont maximales soit 59 espèces et 516 individus.

### 5.1.2.2. L'indice de diversité $H'$ max

La figure 32 montre que la diversité maximale dépasse la valeur de 4 dans tous les niveaux de l'aire d'étude, ces valeurs témoignent d'une richesse spécifique assez élevée, enregistrée dans tous les microhabitats.

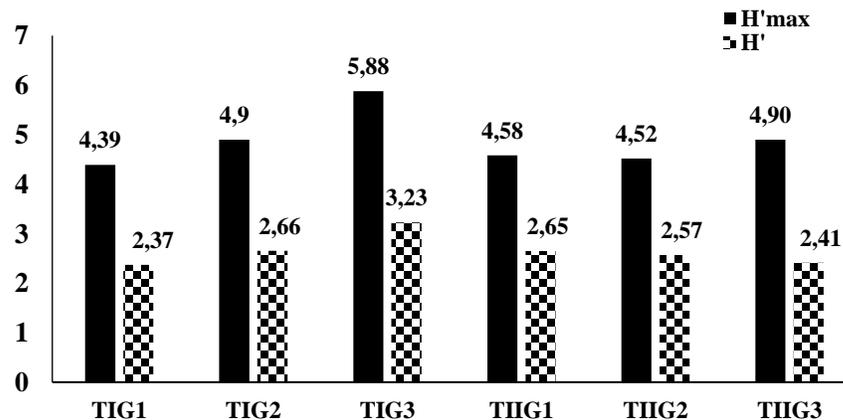


Figure 32: Variation spatiale de l'indice de diversité de Shannon-Wiener et de la diversité maximale

Les valeurs de  $H_{max}$  qui varient entre un maximum de 5,88bits de TIG3 et un minimum de 4,39 bits de TIG1 sont relativement proches de la diversité  $H'$  et confirment une diversité assez élevée dans tous les des différents microhabitats.

### 5.1.2.3. L'indice d'équitabilité $J'$ de Pielou

La figure 33 montre que l'évolution spatiale de l'équitabilité  $J'$  de Pielou en fonction de  $H'$  varie très peu dans l'ensemble des groupements végétaux des deux transects de l'aire d'étude. Les valeurs très proches dans presque tous les niveaux de prélèvements (0.71 et 0.84) témoignent d'une régularité assez importante du peuplement dans tous nos microhabitats.

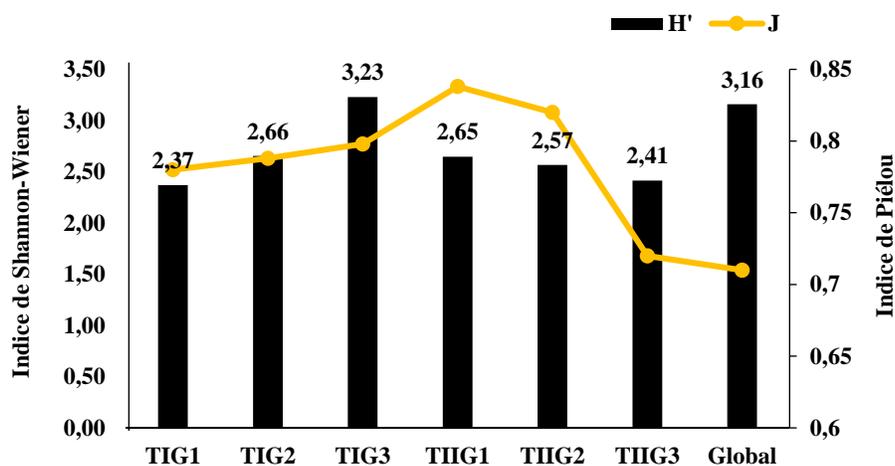


Figure 33: Variation spatiale des indices de diversité et l'indice de Pielou

Le maquis bas TIIG3 à *Calicotome villosa* avec la valeur la plus réduite de  $J'$  (0.72) exprime une irrégularité du peuplement des Carabidés et ceci est probablement dû aux trois espèces fortement représentées *Nebria andalusia*, *Chlaenius velutinus* et *Percus lineatus*

### 5.1.2.4. L'indice de Simpson D

Les valeurs de l'indice de Simpson obtenues pour le lac Tonga sont consignées sur la figure 34.

Ces résultats qui tendent vers le 0 témoignent de la grande diversité dans les microhabitats du site d'étude. L'indice de Simpson ne présente pas une grande différence dans les microhabitats, il oscille entre un minimum de 0,06 au niveau du maquis bas (TIG3) qui présente le maximum de diversité enregistrée dans le lac (59 espèces) et un maximum de 0,14 (TIIG3). En effet les 30 espèces sont représentées par un nombre assez élevé d'individus, en particulier : *Percus lineatus* (117 individus), *Nebria andalusia* (65 individus) et *Chlaenius velutinus* (76 individus).

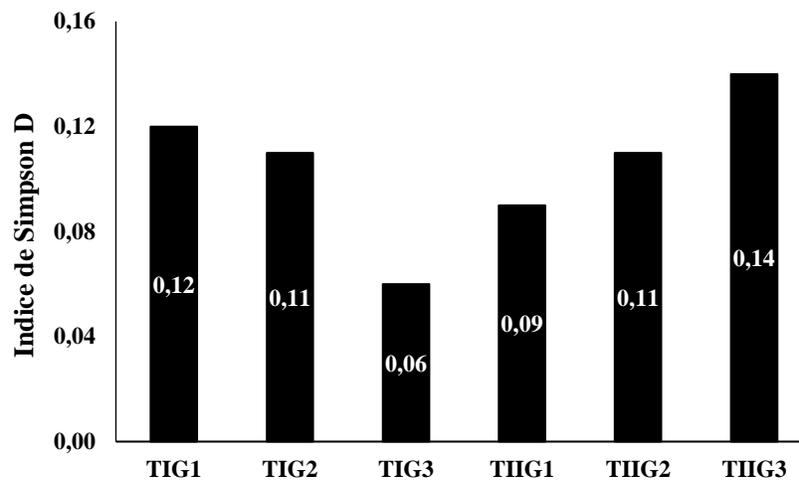


Figure 34 : Variation spatiale de l'indice de Simpson

#### 5.1.2.5. L'indice de Hill

L'indice de diversité de Simpson donne plus de poids aux espèces abondantes qu'aux espèces rares. La présence d'espèces rares dans le peuplement ne modifie pratiquement pas la valeur de l'indice de diversité, contrairement à l'indice de Shannon beaucoup plus sensible. Pour une meilleure comparaison du peuplement dans les différents microhabitats il est préférable d'utiliser l'indice de Hill qui a l'avantage d'associer les deux indices précédents  $H'$  et  $D$ . Plusieurs auteurs (voir **MOUILLOT, 1999 ; THOIRON et al., 1988**) recommandent son utilisation.

Les valeurs de Hill assez proches et tendant vers 0 confirment une diversité et une régularité au sein des microhabitats dans l'aire d'étude. La communauté du maquis bas TIG3 montre la valeur la plus faible 0.15 et confirme une diversifié plus élevée en termes de richesse spécifique qu'en nombre d'individus.

Seul TIG1 qui s'écarte avec un indice plus élevé de 0,27 traduit une petite irrégularité des peuplements de Carabidae dû principalement à une période de submersion plus longue et une salinité plus élevée (95.9 mg/Kg) dans ce microhabitat, suivi de TIIG1, TIIG2, TIIG3 et TIG2 avec respectivement 0.24, 0.23, 0.22 et 0,21.

Les résultats de l'indice de Hill confirment bien ce qui a été démontré par l'indice de Simpson puisqu'il présente des variations comparables d'un microhabitats à un autre. Ces variations sont présentées dans la figure 35.

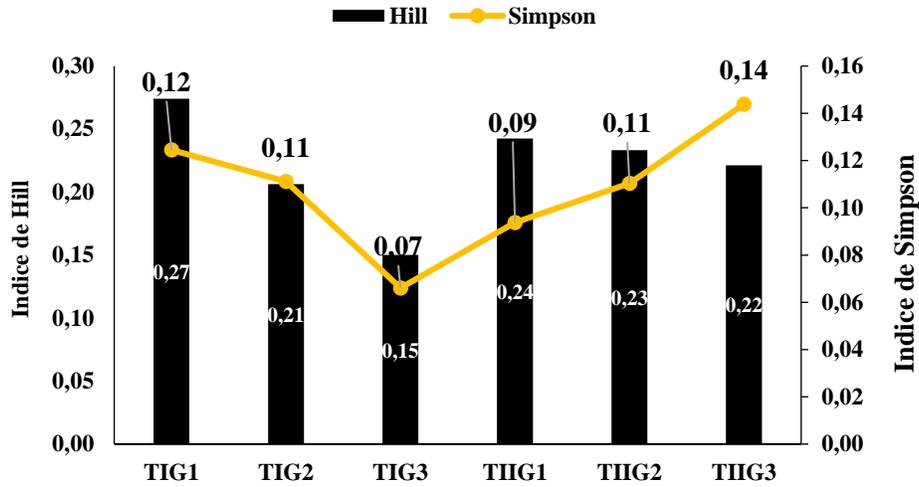


Figure 35: Variation spatiale de l'indice de Hill et de l'indice de Simpson

#### 5.1.2.6. L'indice de diversité de Qinghong et le modèle de DIMO

Cet indice synthétique associe la richesse spécifique, la diversité  $H'$  et l'équitabilité  $J'$ . Par rapport à celui de Shannon- Wiener, cet indice donne plus de poids à la richesse spécifique qu'à l'équitabilité. Seul le peuplement du microhabitat TIG3 s'écarte et enregistre une différence de la diversité comparée aux peuplements des cinq autres microhabitats TIG2, TIIG1, TIIG2 et TIIG3 pour lesquelles aucune différence significative n'est à noter ( $P > 0,05$ ) (Fig 36).

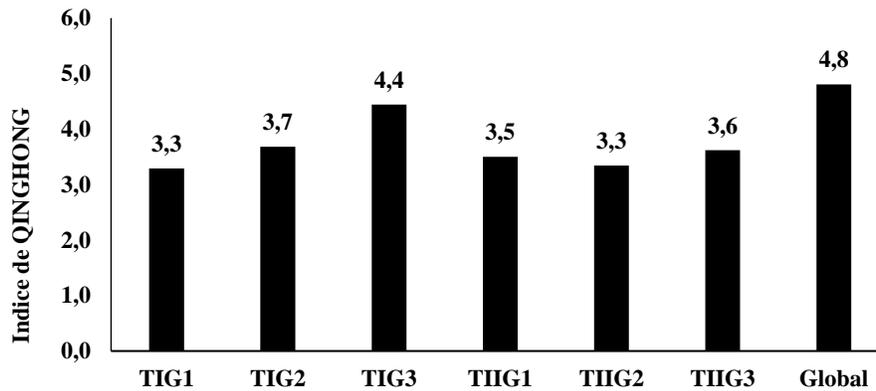
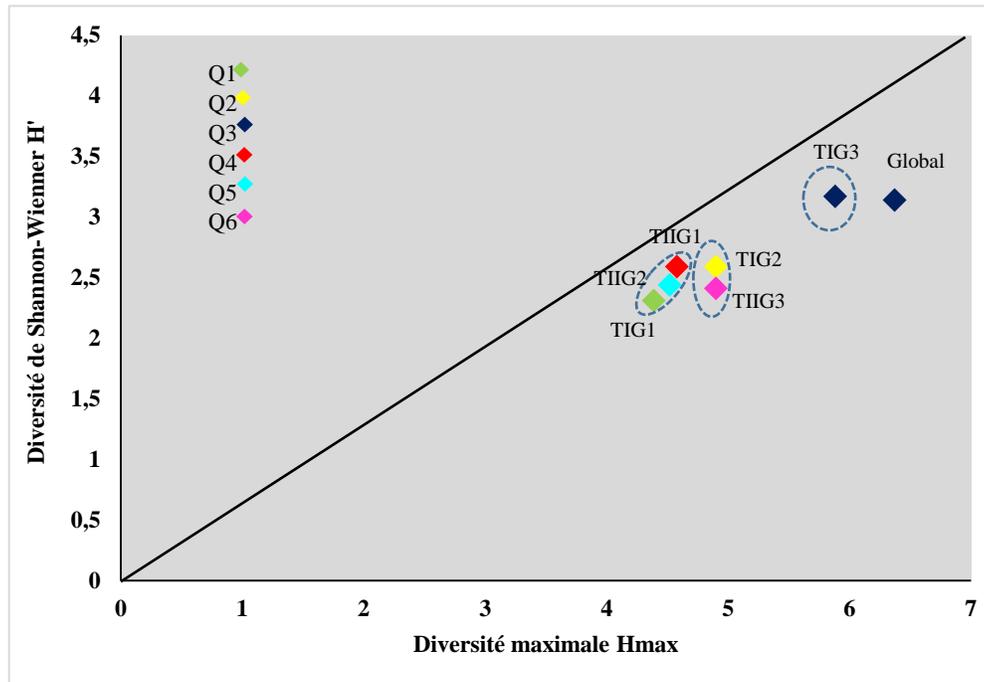


Figure 36: Variation spatiale de l'indice de diversité de Qinghong

L'indice de diversité de Qinghong indique la valeur de 3,3 dans la prairie humide à *Potentilla reptans* (TIG1) marquant d'une part la limite de la zone de submersion et d'autre part le niveau le plus longtemps submergé (plus de cinq mois). Le maquis bas à Oléo-lentisque (TIG3) marquant

la limite du milieu ouvert présente la valeur la plus élevée de 4,4 très proche de la valeur du peuplement global (4,8).

Le modèle de DIMO appliqué aux peuplements de Carabidae permet une comparaison globale des peuplements dans les six microhabitat (Fig. 37).



**Figure 37: Application du modèle DIMO par la représentation simultanée de la richesse spécifique ( $\log_2(S)$ ), de l'indice diversité ( $H'$ ), de l'équitabilité.** (Ligne diagonale=équitabilité maximale ( $J=1$ ) et Q correspond à la longueur du vecteur de l'origine au point – faciès (ligne de flèche)).

La représentation en deux dimensions met en évidence une évolution de type 2 « evenness-type » qui traduit une richesse spécifique et une diversité changeante d'un microhabitat à un autre par contre la régularité reste constante.

L'indice Q qui correspond à la longueur du vecteur et qui dépend de la richesse spécifique et de l'équitabilité permet de délimiter trois communautés :

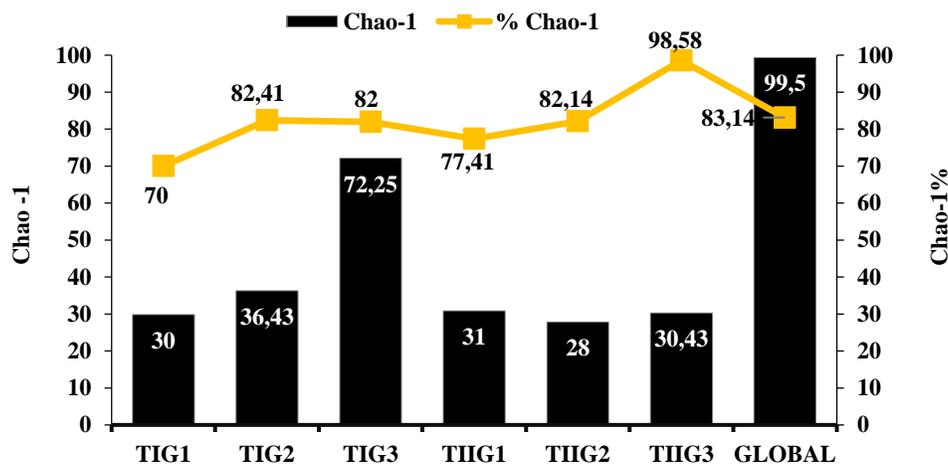
- ❖ La valeur la plus élevée est attribuée à Q3 de la communauté TIG3 qui montre la diversité la plus importante avec 59 espèces de Carabidae (très proche de celle du peuplement global).
- ❖ Les valeurs décroissantes de la diversité mettent en évidence la communauté des microhabitats TIIG1 (Q4), TIIG2 (Q5) et TIG1 (Q1). Ces derniers sont situés tous sur

des sols à structures sablo-limoneuses et présentent des diversités et des abondances très proche.

- ❖ Présentant le même nombre d'espèce (30 espèces) les communautés Q2 (TIG2) et Q6 (TIIG3) définissent la troisième communauté.

### 5.1.2.7. Indice de CHAO-1

Cet indice estime la richesse supposée au niveau de la communauté globale ainsi qu'au niveau de chaque microhabitat (Fig.38).



**Figure 38: Variation spatiale de l'indice de Chao dans les différents microhabitats**

Pour la communauté globale la richesse est à 99% ce qui suggère un bon échantillonnage et que très peu d'espèces ont été manquées. Au niveau des microhabitats, cet indice démontre que le maquis bas TIIG3 à *Calicotome villosa* atteint une valeur de 83% contrairement à la prairie humide TIG1 à *Potentilla reptans*, là où celle-ci est la plus faible avec 70%. Pour le reste des stations, les valeurs de l'indice de Chao restent relativement élevées et témoignent d'un échantillonnage satisfaisant.

### 5.1.2.7. Courbe de raréfaction

On voit clairement que la courbe de raréfaction vient confirmer ce qu'a démontré l'indice de Chao-1, à savoir que l'échantillonnage a bien été effectué et que peu d'espèces n'ont pas été capturées. Nous observons que la courbe croît de manière exponentielle puis ralentit vers les 1400 individus (Fig. 39).

Pour trouver une espèce nouvelle, on doit échantillonner au moins 200 autres individus. L'échantillonnage est non exhaustif mais reste très satisfaisant.

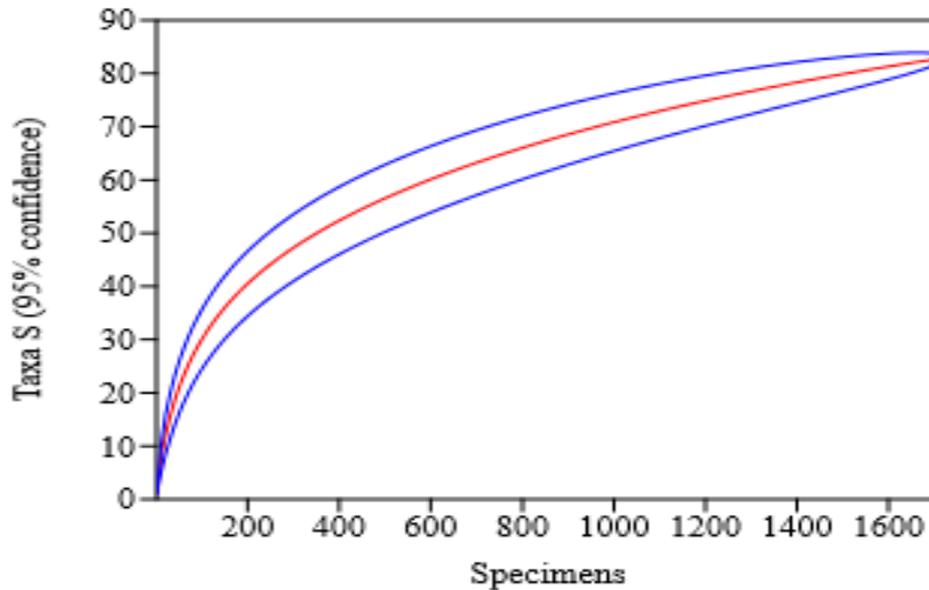


Figure 39: Courbe de raréfaction démontrant l'effort d'échantillonnage

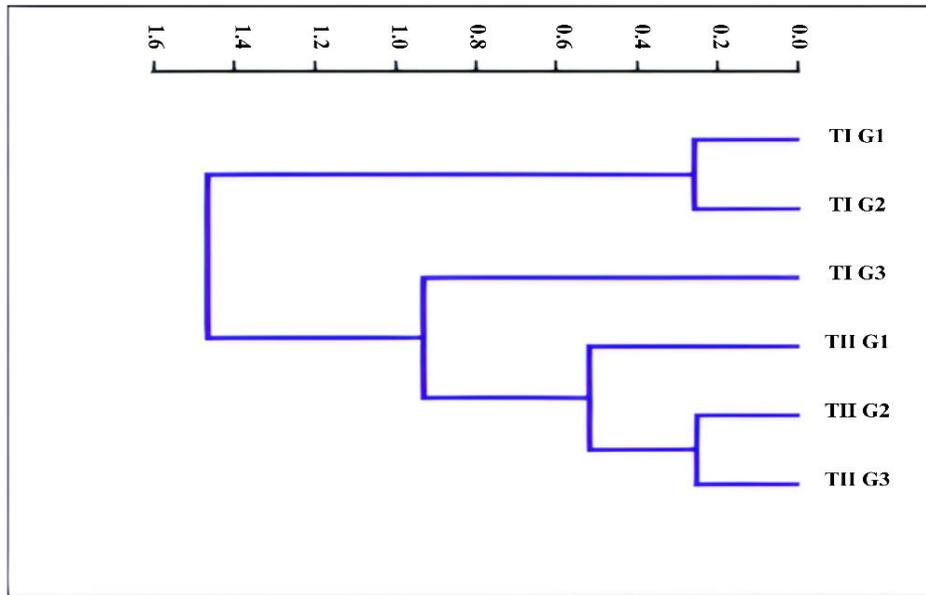
### 5.1.3. Coefficient de corrélation Pearson

Le tableau 12 renferme les valeurs du coefficient de Pearson. Ces résultats sont obtenus en analysant les abondances dans les différents microhabitats et en les comparant deux à deux. On a interprété ensuite cette matrice en réalisant un dendrogramme (Fig. 40).

Tableau 12: Matrice de proximité (Coefficient de corrélation de Pearson) dans le lac Tonga

	TIG1	TIG2	TIG3	TIIG1	TIIG2	TIIG3
TIG1	1	0.002	0.968	0.005	0.003	0.38476
TIG2	0.329	1	0.758	0.067	2.006	0.17019
TIG3	0.004	-0.034	1	0.974	0.3780	0.4185
TIIG1	0.301	0.201	-0.003	1	1.884	0.067798
TIIG2	0.320	0.449	0.098	0.495	1	2.004
TIIG3	0.096	0.151	-0.089	0.201	0.449	1

Les résultats obtenus après analyse du dendrogramme et de la matrice montrent que notre entomofaune se répartit en fonction de la nature du substrat.



**Figure 40: Dendrogramme de la matrice de proximité obtenue par l'indice de Pearson**

On observe ainsi un grand rapprochement entre les prairies humides TIG1 à *Potentilla reptans* et TIG2 à *Bellis annua*, situés sur un substrat sableux. Une même observation pour la prairie humide TIIG1 à *Hypochaeris radicata* et la pelouse TIIG2 à *Plantago lanceolata*, situés aussi sur un substrat sableux.

On constate un rapprochement entre ce dernier groupe et le maquis bas TIIG3 à *Calicotome villosa* (poir). Link situé sur un substrat limoneux-sableux. Le maquis bas TIG3 à Oléo-lentisque est rassemblé seul en un groupe unique car il est situé sur un substrat limoneux.

#### 5.1.4. Diagramme rang-fréquence

L'une des caractéristiques primordiales d'un peuplement est son degré d'organisation. Il se manifeste par une distribution des abondances qui le forment. De même il faut reconnaître que cette organisation n'est pas due au hasard, mais qu'elle est le résultat de nombreuses interactions de facteurs biotiques et abiotiques.

Afin de suivre et de visualiser l'évolution spatiale de la structure démographique de la communauté des Carabidae inventoriée, nous avons procédé à la réalisation des diagrammes rang-fréquence (Fig. 41) représenté par un graphique sur lequel on porte en

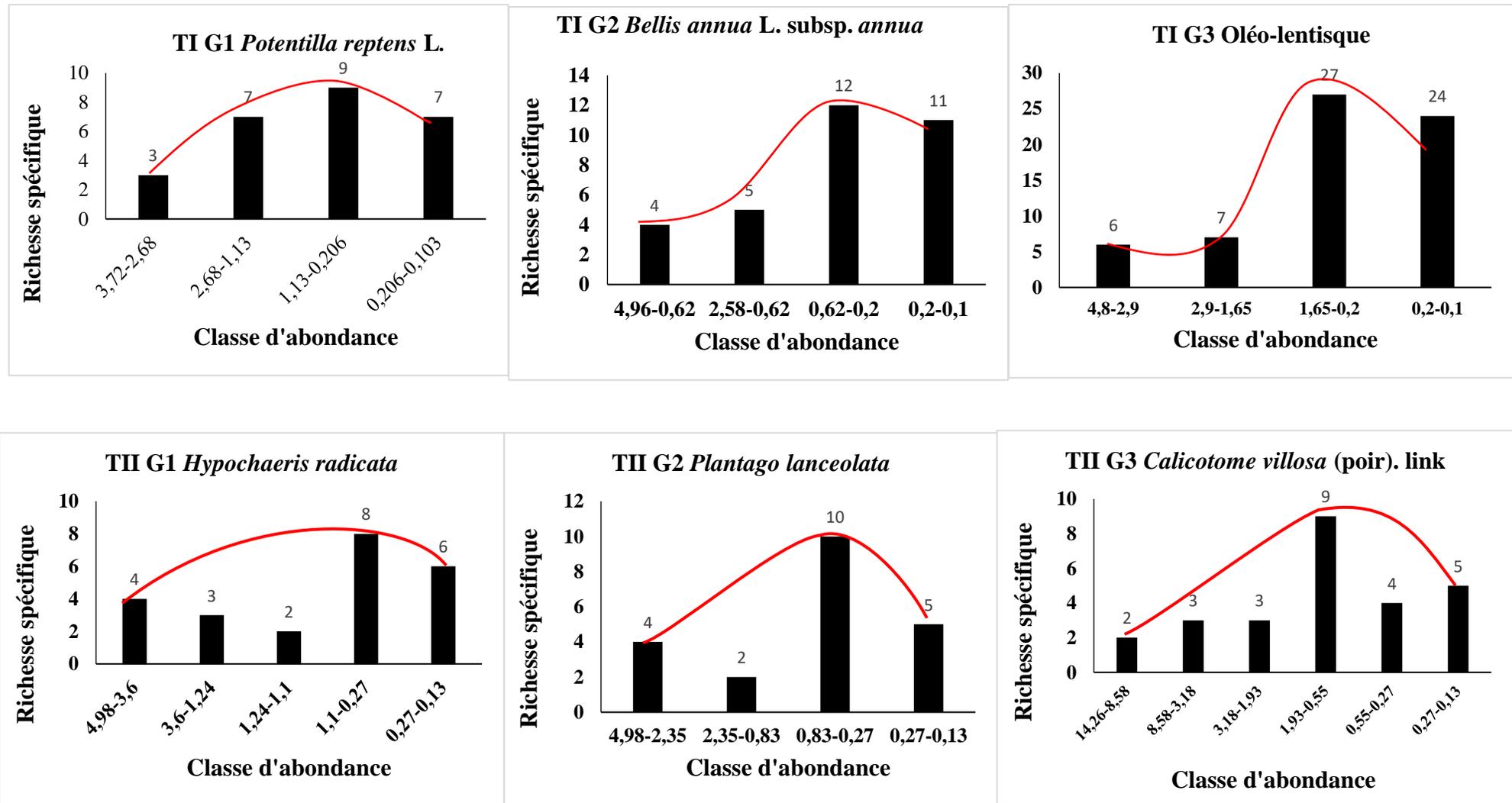


Figure 41: Distribution de la richesse spécifique par classe d'abondance des espèces

abscisse les rangs des espèces classées par ordre d'abondance décroissante et en ordonnées les fréquences relatives dans la communauté inventoriée (FRONTIER, 1976).

La distribution de la richesse spécifique par classes d'abondances, (FRONTIER, 1985) donne pour la communauté du transect II et transect II une courbe unimodale qui montre la dominance d'espèces à moyenne abondance.

Les courbes rang-fréquence des différents microhabitats montrent un bon alignement à l'exception de TIIG3 et TIG3 du Maquis bas à *Olea europaea*.

L'apparition d'espèces xérophiles à forte densité dans ces microhabitats (zone de fermeture de milieu) accuse un point d'inflexion dès les premiers rangs (Fig. 42). Les espèces correspondant aux premiers segments sont les représentants d'une part de l'hygrophile *Chlaenius velutinus* et du mésophile *Percus lineatus* et d'autre part, des deux espèces xérophiles *Nebria andalusia* et *Elaphropus grandicollis* qui privilégient les milieux secs.

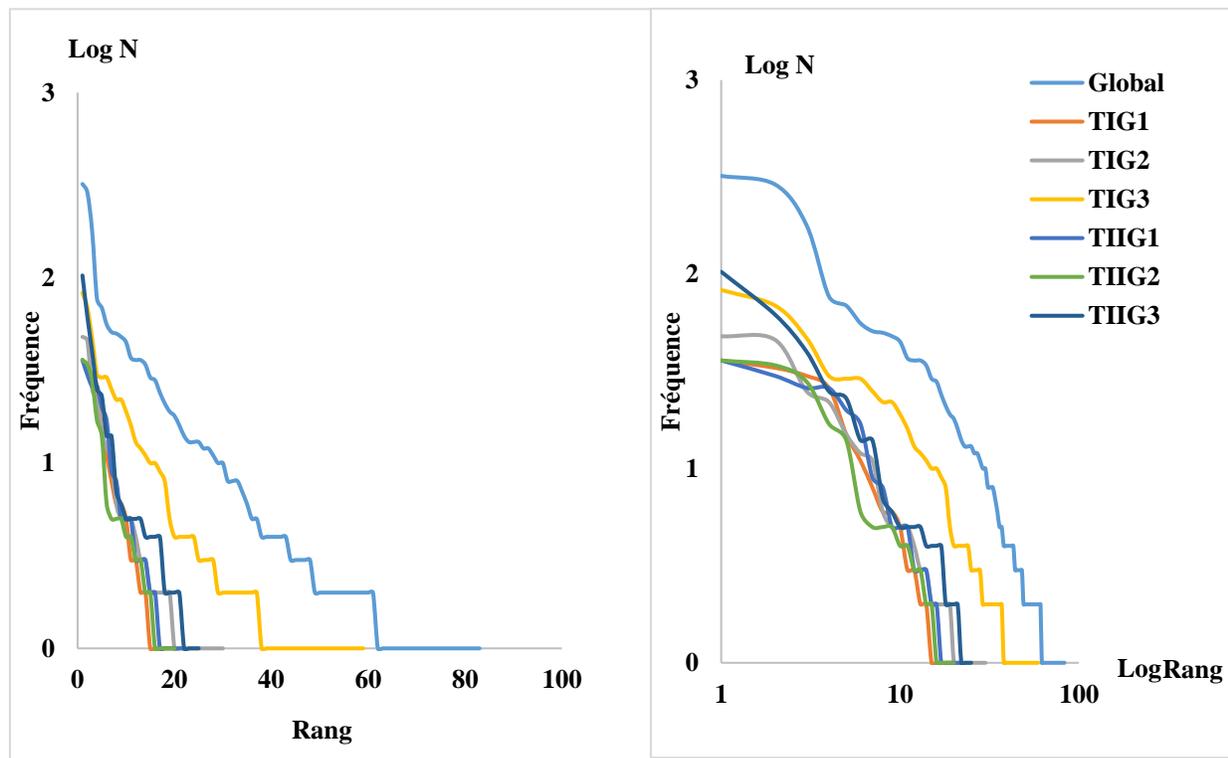


Figure 42: Diagramme rang-fréquence de la communauté des Carabidae dans les deux transects de l'aire d'étude appliqués au modèle de FRONTIER (droite) et au modèle de MOTOMURA (gauche).

Dans notre cas, on constate que le peuplement du lac Tonga présente une structure assez invariable, caractérisée par des DRF d'allure homogène et relativement convexes, dénotant un milieu assez équilibré et stable.

Les courbes rang-fréquence en ordonnées logarithmique de la figure 42 permettent de suivre et de visualiser l'évolution spatiale de la structure démographique des peuplements de Carabidae dans les deux transects des trois placettes de prélèvements G1 G2 G3 et qui est directement lisible sur le graphique. Le nombre d'espèces se voit à l'extension de la courbe vers la droite et la régularité plus ou moins élevée, à son allure plus ou moins convexe.

En effet, en réunissant de plus les récoltes (T. global), l'allure du diagramme rangs-fréquences illustre encore mieux les peuplements dévoilant une courbe convexe traduisant une diversité et régularité assez élevée témoignant ainsi d'une maturité du site d'étude.

#### **5.1.5. Indice de similitude de Jaccard**

Pour quantifier le degré d'association des espèces de Carabidae inventoriées, ou encore les niveaux de similitude entre les microhabitats de notre aire d'étude, on a utilisé l'indice de Jaccard. Cet indice se situe entre 0 et 1 et ne prend en considération que des associations positives (YOUNESS & SAPORTA, 2004)

La matrice établie à partir de la similitude de Jaccard « J » Calculé pour la communauté des Carabidae dans les six microhabitats ainsi que pour la communauté totale (Tab. 13), montre que les peuplements sont peu semblables entre eux. La plus grande valeur enregistrée de l'indice de Jaccard est de 45,94% entre les pelouses TIG2 et TIIG2, la même valeur est encore apparue entre la pelouse TIIG2 et le maquis bas TIIG3 avec 15 et 16 espèces en commun respectivement.

36,84% a été enregistrée entre la prairie humide TIG1 et la pelouse TIIG2 avec 13 espèces en commun. Au sens contraire, les plus basses valeurs sont entre la prairie humide TIG1 et les deux autres maquis bas TIG3 et TIIG3 présentant respectivement de 24,24% et 23,81%.

**Tableau 13: Indice de similitude de Jaccard et nombre d'espèces de Carabidae en commun dans les six microhabitats individualisés**

Indice de similitude (Nombre d'espèces en commun)							
	TIG1	TIG2	TIG3	TIIG1	TIIG2	TIIG3	Global
TIG1	1						
TIG2	0,3684(13)	1					
TIG3	0,242(14)	0,304(20)	1				
TIIG1	0,3428(11)	0,309(12)	0,268(17)	1			
TIIG2	0,352(11)	0,459(15)	0,292(19)	0,484(16)	1		
TIIG3	0,238(9)	0,3043(13)	0,285(19)	0,309(12)	0,459(16)	1	
Global	0,2530	0,3494	0,7108	0,28916	0,2771	0,3494	1

En termes de nombre des espèces communes, les microhabitats TIG2 et TIG3 présentent le plus grand nombre avec 20 espèces communes, contrairement aux maquis bas TIG1 et TIIG3 où ils enregistrent le nombre le plus bas avec seulement 9 espèces en commun.

Cette différenciation peut être expliquée par la grande hétérogénéité de cet habitat, induisant une diversification de la faune.

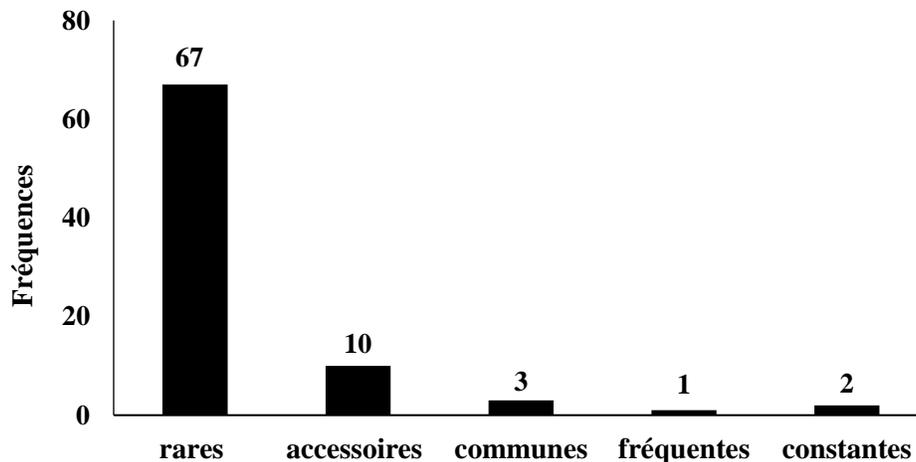
Les indices de similitude de Jaccard calculés entre la communauté globale des Carabidae pour l'ensemble du lac Tonga et la communauté de chaque microhabitat mettent en évidence l'importance relative de la communauté du maquis bas TIG3 dans la composition globale avec plus de 71%, confirmant ainsi une richesse spécifique dominante dans ce micromilieu en rapport avec la richesse globale du peuplement de Carabidae.

Au terme de cette analyse, il apparaît que les microhabitats prospectés présentent des compositions taxinomiques différentes dévoilant des limites de distribution des espèces de Carabidae inventoriées dans l'ensemble du lac ce qui traduit ainsi une bonne hétérogénéité des espèces qui seraient dépendantes des habitats.

### 5.1.6. Fréquence d'occurrence ou constance des espèces

La fréquence d'occurrence des espèces de Carabidae présentes dans les microhabitats aide à mieux comprendre la répartition de chaque espèce dans le lac. Ces valeurs sont représentées dans la figure 43.

Les Carabidae inventoriés durant la période d'étude, présentent cinq différents niveaux de constance. Le premier niveau renferme deux espèces constantes (Fig.44) présentes dans 90% des prélèvements, il s'agit de *Chlaenius velutinus* et *Percus lineatus*.



**Figure 43: Importance des types d'espèces selon leurs occurrences dans le lac**

Le deuxième niveau est composé d'une espèce fréquente, présente dans 50 à 70% des prélèvements : *Nebria andalusiaca*.

Le troisième niveau est composé de trois espèces communes, présentes dans 25 à 50% des prélèvements, représentés par *Acupalpus brunnipes*, *Stenolophus skrimshiranus* et *Scarites laevigatus*.

Le quatrième niveau est formé de 10 espèces accessoires retrouvées dans 10 à 25% des prélèvements, parmi elles, *Chlaenius aeratus*, *Poecilus purpurascens* et *Harpalus oblitus*.

Le cinquième niveau est constitué de 67 espèces rares présentes dans moins de 10% des prélèvements comme *Anthracus flavipennis*, *Platytarus faminii*, *Brachinus sclopeta* et *Bembidion quadripustulatum*.

La répartition des espèces sur le site d'étude n'est donc pas équitable. Ces résultats seraient dus à l'importance des espèces accessoires et les espèces rares présentes dans le milieu. Plus de 93% des espèces ne sont pas fréquentes dans les différents microhabitats.

#### **5.1.7. Analyse canonique des correspondances**

L'analyse canonique des correspondances faune/flore/environnement met en relation les 96 espèces animales et végétales recensées et les variables environnementales. Le plan formé par le

premier et le second axe totalise un taux d'inertie de 96,4% dont respectivement 55,83% et 40,66% sont portés par les axes 1 et 2 (Fig.44).

Elle met en évidence la répartition des relevés des différents microhabitats en fonction des variables des milieux et de la physionomie de la végétation.

Le long de l'axe 1, les stations s'organisent selon un gradient de salinité en allant des pelouses TIG2 à *Elymus repens* moins salées vers la prairie humide TIG1 à *Potentilla reptans*. L.

Les espèces qui se rassemblent au premier groupe autour de la variable salinité et conductivité sont dominées par *Potentilla reptans*, *Hypochaeris radicata* et les Carabidae *Stenolophus abdominalis* et *Agonum numidicum*.

La prairie humide TIIG1 à *Hypochaeris radicata* et les pelouse TIG2 à *Bellis annua* et TIIG2 à *Plantago lanceolata* qui se regroupent autour des variables C/N, pH, carbone et sable sont caractérisées par la dominance de *Acupalpus elegans*, *Microlestes abeillei*, *Pseudoophonus rufipes*, *Trechus quadristriatus*, et *Brachinus humeralis*.

Sachant que *Ranunculus muricatus* est une amphibie, ce groupement correspond à une zone d'écotone entre la prairie humide et le maquis bas et suit un gradient de fermeture du milieu.

Le troisième groupe contient le maximum d'information obtenue de la ACC (Fig.45). Il rassemble le plus grand nombre d'espèces (59) représentant plus de 71% du peuplement global des Carabidae.

Les microhabitats qui se regroupent autour des variables argile et limon représentent les formations de maquis bas TIG3 à Oléo-lentisque et TIIG3 à *Calicotome villosa* et qui sont dominés par les espèces de grande taille liées aux milieux fermés tels que *Carabus morbillosus*, *Carabus faminii*, *Chlaenius aeratus*, *Acupalpus maculatus*, *Agonum marginatum*, *Poecilus cursorius*, *Scarites laevigatus*, *Stenolophus teutonus*, *Poecilus purpurascens*, *Asaphidion stierlini*, *Siagona europaea*, et *Harpalus oblitus*.

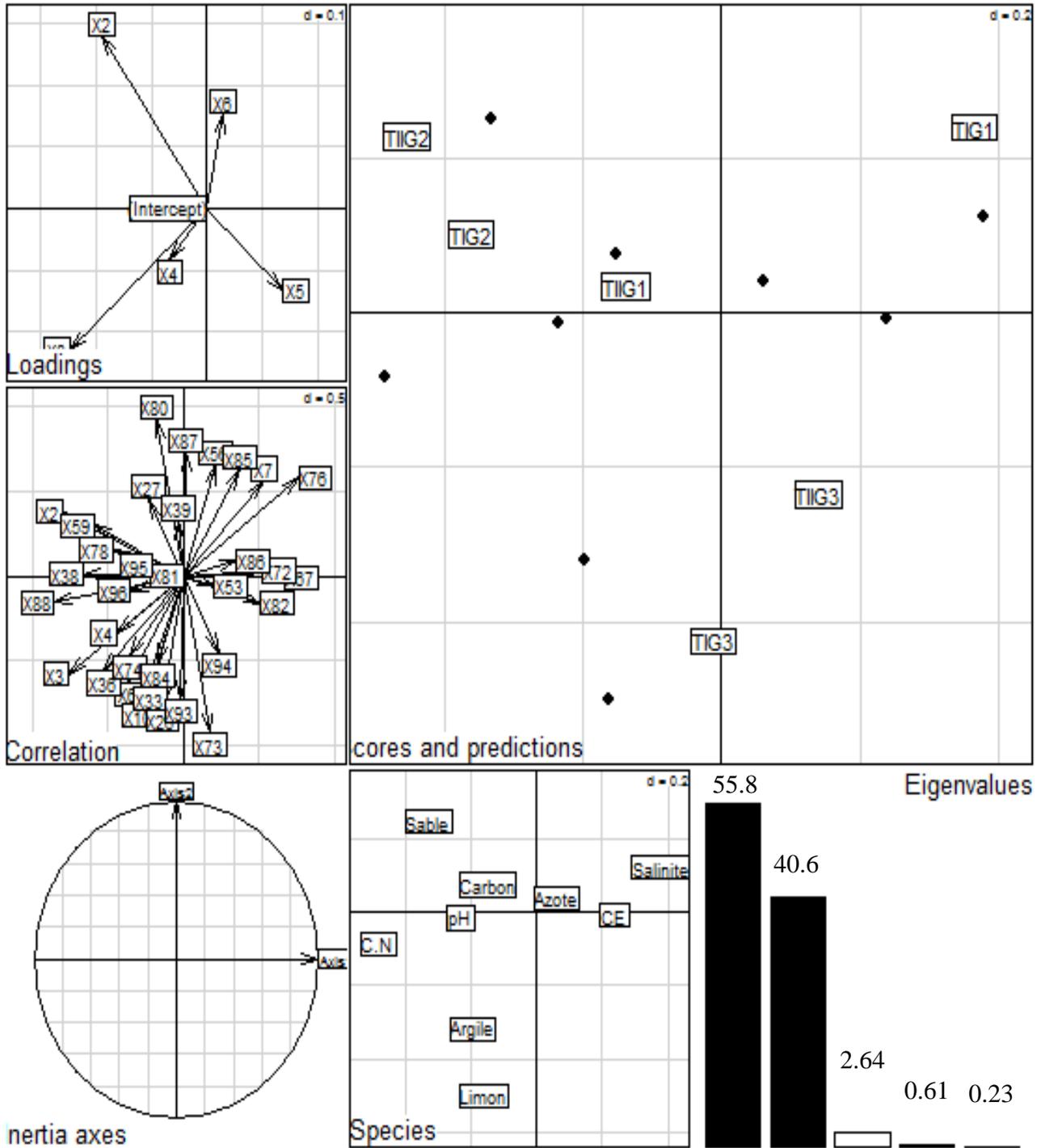


Figure 44: Carte de l'Analyse Canonique des corrélations (ACC) 6 microhabitats x 96 espèces faune/flore combinées x 9 variables environnementales (C. N= rapport Carbon sur azote, CE=Conductivité électrique).

## 5.2. Evolution temporelle des Carabidae dans le lac Tonga

### 5.2.1. Comparaison des Carabidae par saison

Une description des Carabidae récoltés en fonction des saisons dans chaque microhabitat s'avère très importante pour mieux comprendre l'organisation temporelle de Carabidae dans le lac (Annexe 4). Les précipitations exceptionnelles enregistrées à El-Kala des mois de septembre, octobre et novembre ont rendu inaccessible notre aire d'étude lors de la saison automnale

#### 5.2.1.1 Variation temporelle de l'abondance

La saison hivernale est caractérisée par un faible nombre de spécimens, avec seulement 145 individus, cette faible valeur est probablement due aux mauvaises conditions climatiques : très basses températures ainsi que l'inondation de pratiquement tous les microhabitats (Fig.45).

L'effectif le plus élevé a été enregistré durant le printemps avec un nombre important d'individus (1238) dans tous les groupements de l'aire d'étude ce qui peut être justifié par la relance d'activité pour de nombreuses espèces de Carabidae. Enfin la saison estivale est marquée par une abondance moyenne de 344 individus.

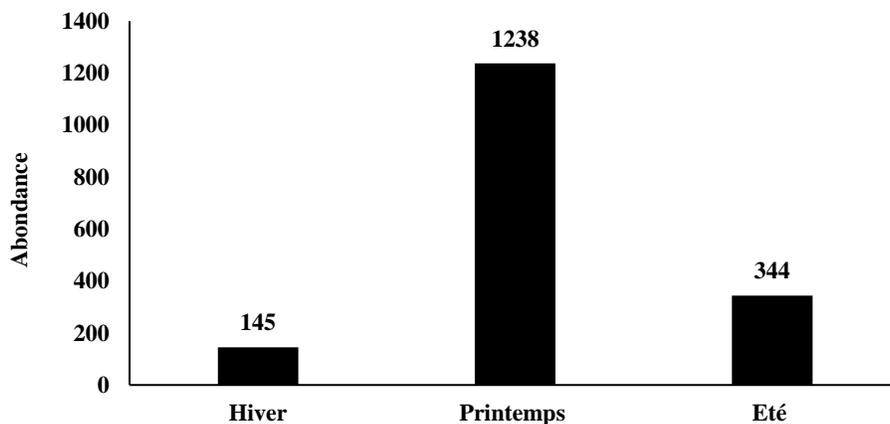


Figure 45: Variation saisonnière du nombre de spécimens

#### 5.2.1.2. Variation temporelle de la richesse spécifique

La richesse spécifique de la communauté des Carabidae subit de grandes variations de composition durant la période d'étude présentant ainsi des variations saisonnières allant de 60 à 20 espèces. (Fig. 46).

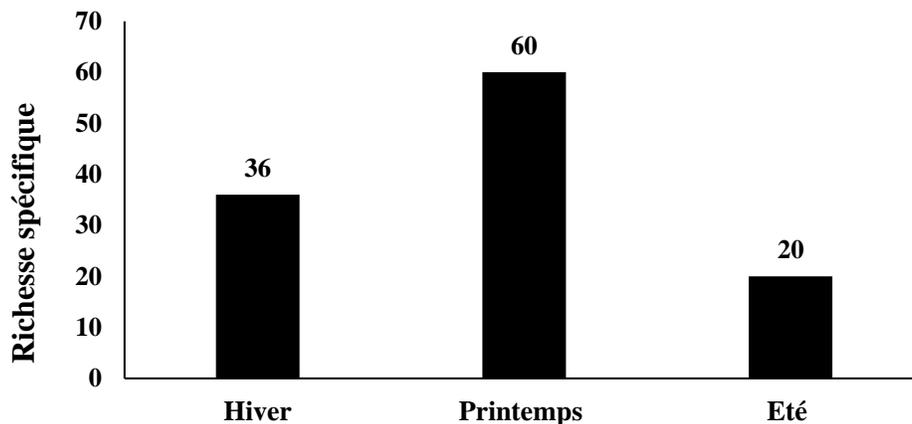


Figure 46: Variation temporelle de la richesse spécifique

La saison printanière est la saison la plus riche dans l'ensemble du lac puisqu'elle comprend plus de 72% (60 espèces) de la richesse totale dans l'aire d'étude (Fig.46).

La saison hivernale montre une richesse moyenne avec 36 espèces, soit plus de 41 %. La quasi-totalité des espèces récoltées en hiver sont des espèces communes qu'on peut trouver toute l'année, comme *Chlaenius velutinus*, *Microlestes abeillei* ou encore *Scarites buparius*.

La plus faible richesse spécifique a été observée en été avec seulement 20 espèces (24%). Cette période voit apparaître des espèces xérophiles telles que *Calomera lunulata* et *Cicindela campestris atlantis*.

### 5.2.2. Variation saisonnière des indices de diversité et de l'équitabilité

Pour mieux décrire l'évolution temporelle de la diversité de la structure de notre communauté, on a retenu trois descripteurs, la diversité de Shannon-Wiener  $H'$ , l'indice de diversité  $H_{max}$ , l'équitabilité de Pielou  $J'$  et l'indice de Simpson  $D$ .

#### 5.2.2.1. L'indice de diversité de Shannon-Wiener $H'$

Les valeurs enregistrées pendant les saisons hivernale, printanière sont importantes et témoignent de la codominance de plusieurs espèces.

La valeur maximale de  $H'$  de 3.1bits enregistrée au cours de la période hivernale est probablement en relation avec la richesse spécifique plus au moins élevée (36 espèces) et le nombre très faible de spécimen (145 individus), suivi par la saison printanière avec une valeur

aussi importante de 3.06bits (Fig.47). La diversité maximale la plus faible est marquée en été avec une valeur de 2.28.

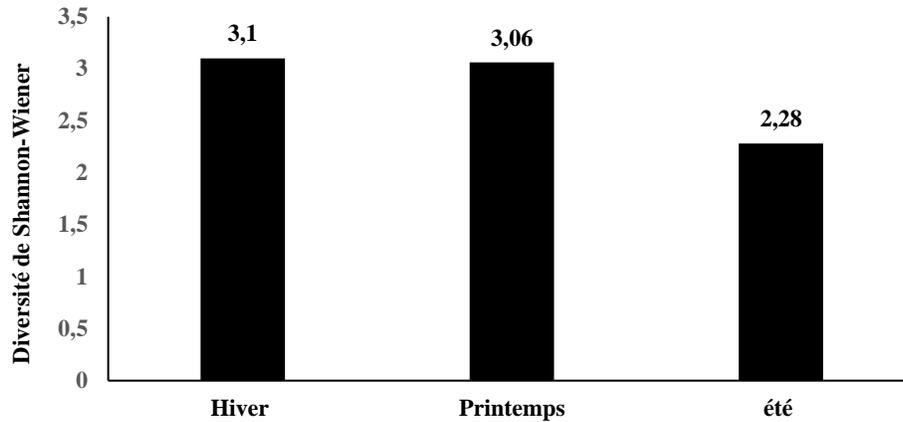


Figure 47: Variation temporelle de l'indice de diversité de Shannon-Wiener H'

#### 5.2.2.2. L'indice de diversité H'max

En relation directe avec la richesse spécifique, H 'max de la communauté des Carabidae présente des valeurs relativement élevées (Fig. 48).

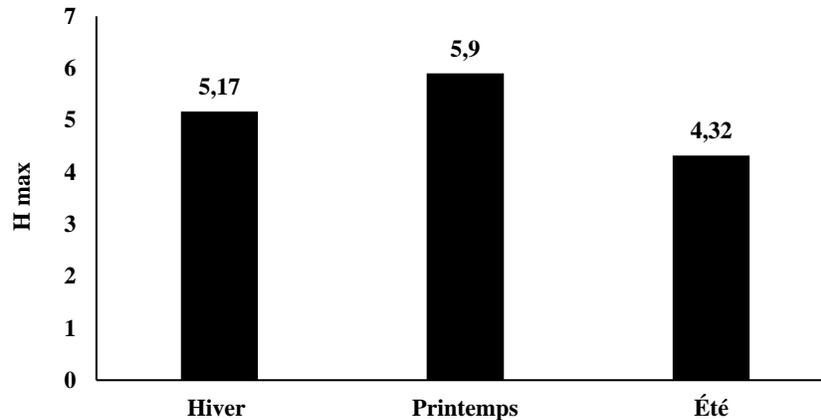


Figure 48: Variation temporelle de la diversité maximale

La valeur maximale de 5,9 correspond au logarithme de 60 qui correspond à la richesse spécifique recensée pendant la saison printanière, suivie par la saison hivernale qui enregistre une valeur importante de 5,17. La plus faible valeur est observée en été avec une valeur de seulement 4,32.

### 5.2.2.3. L'indice d'équitabilité $J'$ de Piélou

On constate que les valeurs de l'indice de Piélou  $J'$  pendant la période d'étude sont toutes voisines de 1, traduisant ainsi la dominance de plusieurs espèces dans la communauté des Carabidae à chaque saison. Ces valeurs témoignent la bonne équipartition des individus entre les différentes espèces et indiquent un peuplement équilibré. La saison hivernale enregistre l'équitabilité la plus élevée avec 0,83 (Fig.49). La saison estivale et la saison printanière présentent des valeurs semblables avec respectivement 0,75 et 0,74.

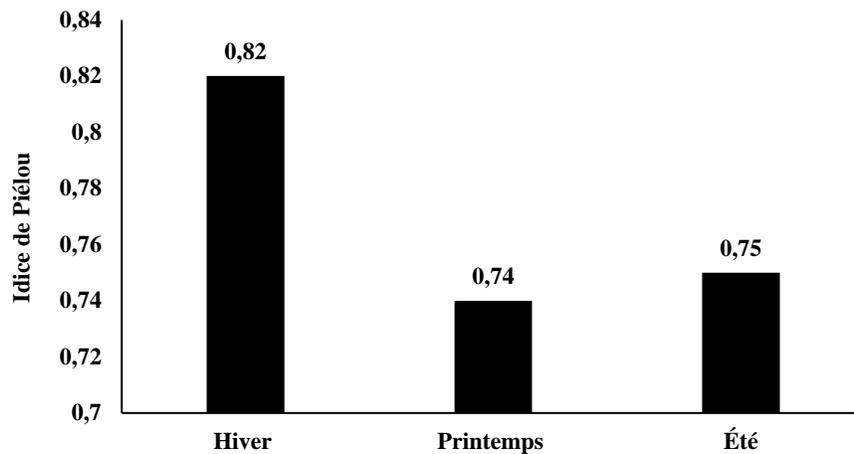


Figure 49: Variation temporelle de l'équitabilité de Piélou

### 5.2.2.4. Indice de Simpson D

Les valeurs de la variation temporelle de l'indice de Simpson D obtenus au cours de notre étude sont exposés dans la figure 50.

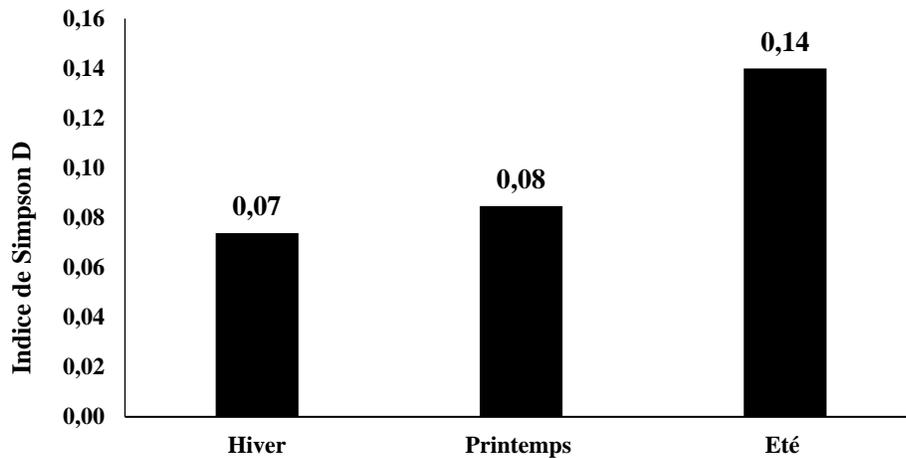


Figure 50: Variation temporelle de l'indice de Simpson D

L'indice de Simpson D ne présente pas une grande différence au cours des saisons, en effet il oscille entre un minimum de 0,07 présentant ainsi le maximum de diversité au cours de la saison hivernale et un maximum de 0,14 témoignant le minimum de diversité enregistrée en été.

### 5.2.3. Traitement statistique des données

#### 5.2.3.1. La classification hiérarchique et détermination des unités coenotiques dans le temps

Sur une matrice des abondances des 83 espèces récoltées durant les saisons hivernale, printanière et estivale, une classification ascendante hiérarchique (CAH) a été réalisée.

Les assemblages des espèces en groupes paraissent être en relation avec l'abondance des espèces et leurs occurrences. Cinq unités coenotiques (UC) sont mises en valeur (Fig. 51).

L'unité UC1 est composée de trois espèces très abondantes et présentent au cours de deux à trois saisons, il s'agit de *Chlaenius velutinus*, *Percus lineatus* et *Nebria andalusia*.

L'unité UC2 est constituée de vingt-sept espèces de moindre abondance mais à forte occurrence, présentent en au moins deux saisons mais avec une nette dominance au printemps telles que *Acupalpus maculatus*, *Stenolophus teutonus*, *Amara aenea*, *Scarites laevigatus* et *Chlaenius aeratus*.

L'unité UC3 renferme trente-huit espèces très faiblement représentées en nombre et moins fréquentes principalement observées au cours de la période printano-estivale, les cinq premiers représentants de cette unité sont : *Calomera lunulata*, *Cincindela campestris atlantis*, *Drypta distincta*, *P latytarus famini* et *Tachys micros*.

L'unité UC4 englobe onze espèces très faiblement représentées en nombre et qui sont principalement observées en hiver comme *Brachinus immaculicornis*, *Pogonus littoralis* et *Chlaenius circumscriptus*.

L'unité UC5 concrétise cinq espèces dominantes en hiver. Les espèces les plus représentatives de cette unité sont : *Poecilus purpurascens* et *Anisodactylus signatus*.



### 5.2.3.2. Analyse de la matrice de répartition temporelle des abondances

Un traitement de données par l'AFC est réalisé à partir de la même matrice des 83 espèces de Carabidae récoltés et pendant les trois saisons de notre étude où le principal élément est l'effectif total des espèces récoltées au cours de chaque saison.

Seule la distribution des points lignes et colonnes sur le plan F1x F2 est retenue, avec les deux axes qui concentrent le maximum d'information avec 60,55% de l'information totale sur l'axe 1 et 39,45%, sur l'axe 2, soit une information totale de 100% pour les deux axes retenus. (Fig. 52).

Au centre de notre plan apparaissent deux groupes d'espèces à forte occurrence présentes tout le long de notre période d'étude. Un premier groupe correspond aux espèces à forte occurrence et forte abondance, il s'agit de *Chlaenius velutinus* et *Percus lineatus*. Le deuxième groupe renferme les espèces à forte occurrence mais moyennement abondantes, il s'agit de *Poecilus purpurascens*, *Poecilus cupreus*, *Brachinus humeralis* et *Chlaenius spoliatus*.

Les espèces à très faible occurrence, c'est-à-dire celles présentes au cours d'une seule saison, sont marginalisées sur les côtés des deux axes. Sur le côté positif du premier axe, se marginalisent les seize espèces hivernales telles que *Apotomus rufus*, *Pogonus littoralis*, *Ocys harpaloides* et *Chlaenius circumscriptus* tandis que sur le côté positif du deuxième axe on observe les espèces estivales, *Calomera lunulata*, *Cicindela campestris atlantis*, *Pseudoophonus pubescens* et *Calathus circumseptus* et enfin sur le côté négatif du même axe se rangent les espèces printanières comme *Bradycellus harpalinus*, *Philochthus iricolor*, *Anthracus flavipennis* et *Asaphidion stierlini*.

Les espèces à moyennes occurrences sont celles qui sont présentes en deux saisons. On peut les subdiviser en deux groupes. Un groupe englobe les espèces printano-estivales- comme *Acupalpus maculatus*, *Stenolophus skrimshiranus*, *Acupalpus brunnipes* et *Pterostichus nigrita* et un second groupe assemble les espèces hiverno-printanières telles que *Siagona dejeani*, *Agonum muelleri*, *Scarites buparius* et *Amara aenea*.

L'AFC apporte une visualisation qui nous a aidé à comprendre la répartition de notre communauté dans le temps. Cette constatation prouve encore une fois l'état d'équilibre et de régularité des Carabidés, en effet ces derniers sont dominés essentiellement par des espèces à faibles effectifs et peu fréquentes aux détriments d'espèces à plasticité plus large.

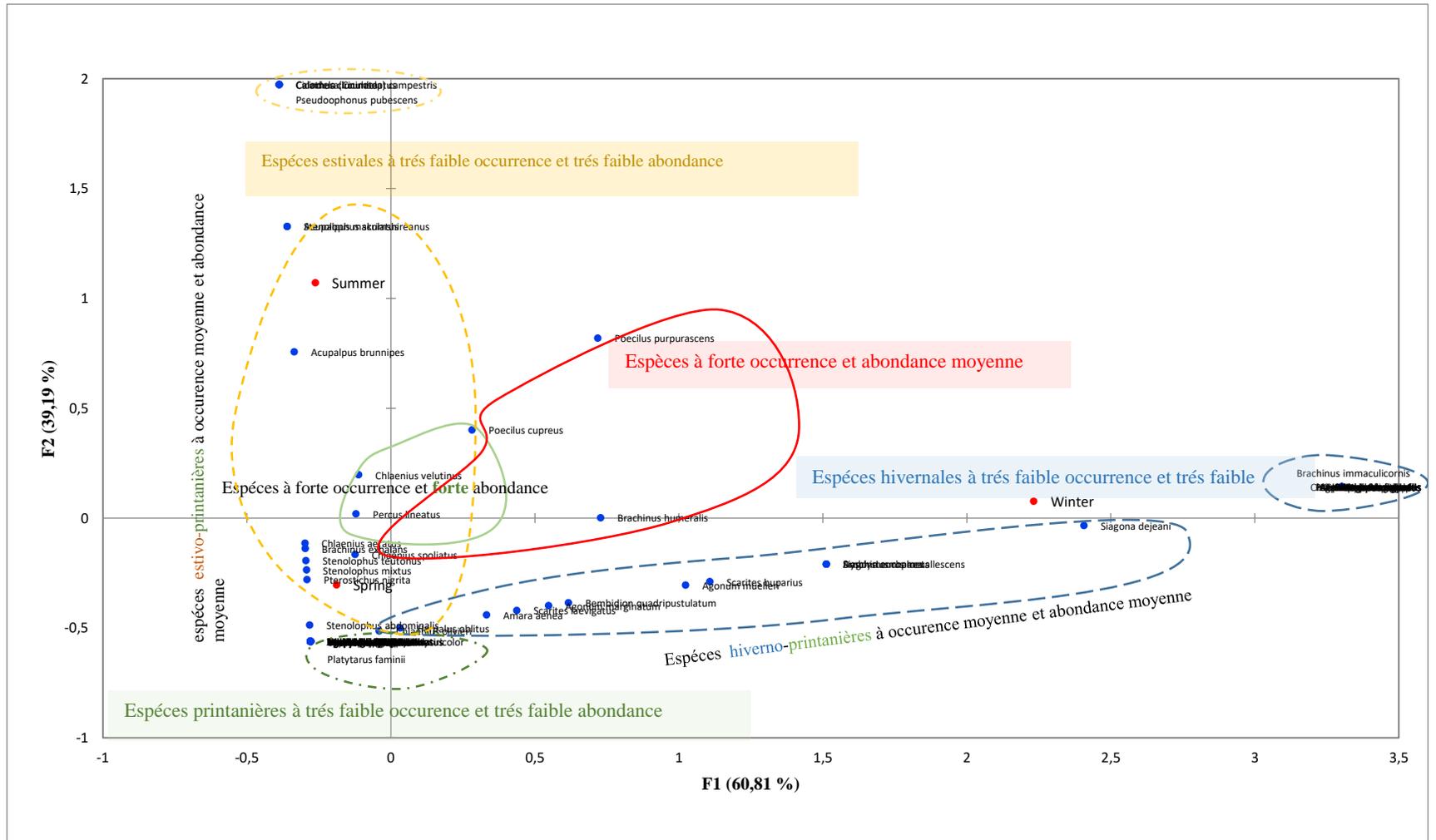


Figure 52: Plan factoriel F1xF2 de la matrice de répartition temporelle des espèces

## 6. Traits biologiques et écologiques des Carabidés dans les différents microhabitats

### 6.1. Taille corporelle

Les Carabidae présentent une large variation de taille. Pour bien illustrer cette variation on a classé la faune en quatre classes (Fig. 53).

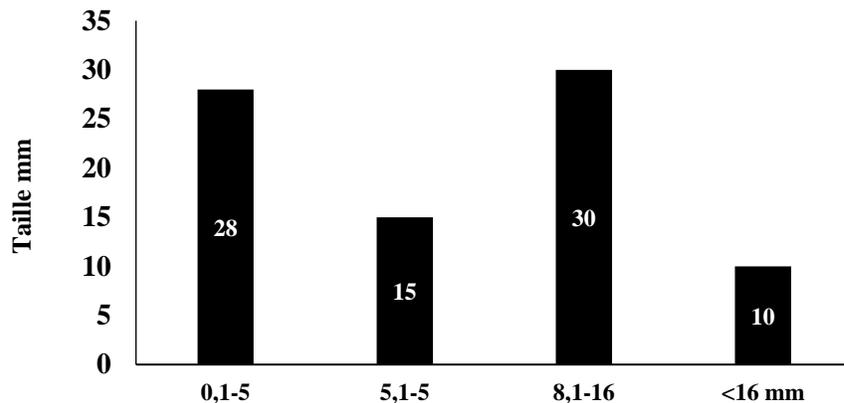


Figure 53: Taille des espèces du lac Tonga

Selon nos données, cette communauté est prédominée par des espèces de taille moyenne qui varie entre 8,1-16mm suivie par des espèces de petite 34% qui mesuraient entre 0.1-5mm.

Les espèces de grande taille (supérieure à 16 mm) et qui représentent 12% de l'effectif total sont au nombre de dix espèces seulement (Annexe 5).

### 6.2. Pouvoir de dispersion

L'étude de la capacité de dispersion des adultes permet de s'intéresser à l'influence de la morphologie alaire sur l'aptitude à coloniser de nouveaux milieux.

C'est pour cela que les caractéristiques les plus intéressantes des Carabidae comme objet pour les recherches zoogéographique est le fait qu'ils sont à la fois des espèces capables et non capables de voler (LINDROTH, 1986).

Les Carabidés préfèrent majoritairement la marche au vol pour se déplacer (ROUME, 2011), par contre presque toutes les espèces inventoriées dans les sites d'étude sont macroptères. La figure 54 montre clairement que les espèces macroptères dominent la communauté des Carabidae avec plus de 92% soit 77 espèces tandis que les espèces de type brachyptères sont presque absentes dans le milieu d'étude (Annexe 6).

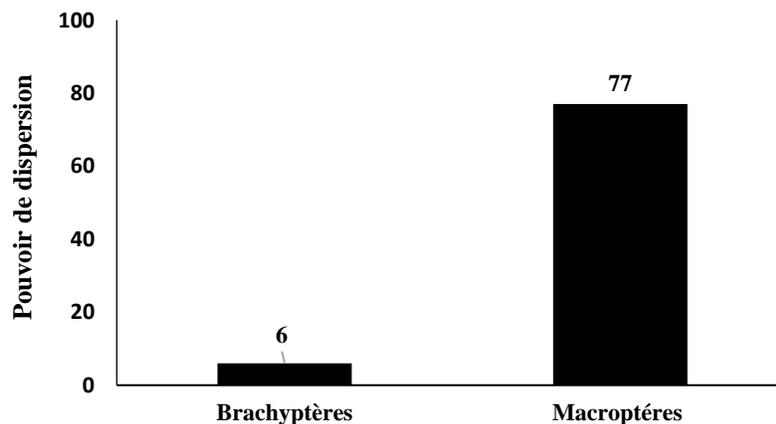


Figure 54: Les espèces macroptères et brachyptères du lac Tonga

### 6.3. Groupes trophiques en fonction de l'abondance et de la richesse spécifique.

Le mode d'alimentation des Carabidae est en partie lié au stade du cycle biologique de l'insecte. Pour certaines espèces, les adultes autant que les larves sont essentiellement entomophages, ce qui leur vaut une réputation de prédateurs très voraces (TENAILLEAU *et al.* 2011).

On a subdivisé les espèces récoltées en trois modes trophiques :

- ❖ Les espèces prédatrices qui consomment principalement des proies,
- ❖ Les espèces phytophages qui se nourrissent principalement de matière végétale (notamment de graines) très peu nombreuses, pouvant être considérées en général comme des espèces nuisibles aux cultures,
- ❖ Les espèces polyphages qui présentent un régime mixte végétal et animal à la fois (Annexe 7).

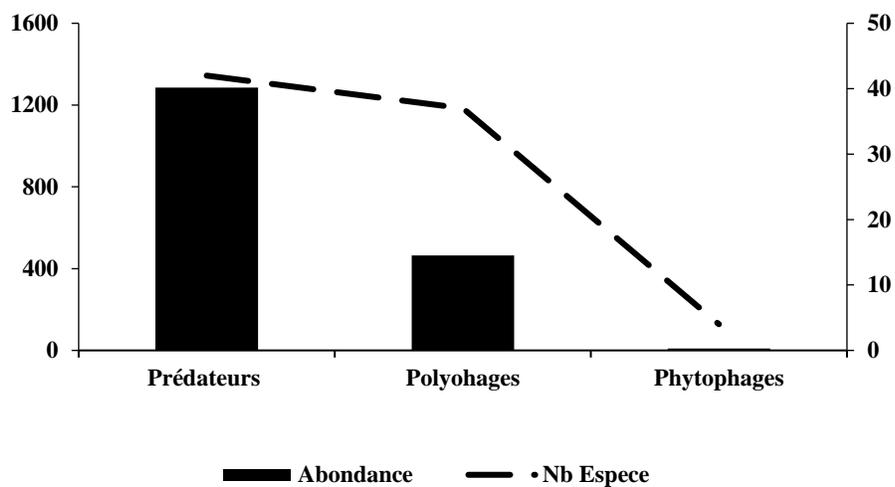
Une classification des régimes alimentaires plus poussée en 6 catégories principales est proposée par TOFT (2002) : les carnivores généralistes, les insectivores généralistes, les spécialistes des mollusques, les spécialistes des microarthropodes, les spécialistes des chenilles, les granivores. Cette classification, bien que précise, se révèle peu applicable dans la pratique (TENAILLEAU *et al.* 2011).

Afin de mieux comprendre les liens trophiques, on a pris en considération deux paramètres : l'abondance et la richesse spécifique de chaque groupe trophique (Tab. 14).

**Tableau 14: Abondance et richesse spécifique des groupes trophiques de Carabidae dans le Lac Tonga.**

Groupe trophique	Abondance	Nombre d'espèces
Prédateurs	1286	42
Phytophages	9	4
Polyphages	464	37

Les proportions exprimées en pourcentage de chaque groupe trophique sont présentées aussi bien en nombre de spécimens qu'en richesse spécifique (Fig. 55).



**Figure 55: Fluctuation de l'abondance et de la richesse spécifique des groupes trophiques dans le lac Tonga.**

En termes d'abondance, sur le total de la faune récoltée (1759 individus), les prédateurs dominent nettement avec 1286 individus soit 73,1%, suivis par les polyphages avec 464 individus et les phytophages avec 4 espèces seulement correspondant respectivement à 26,3% et 0,51 %.

Concernant la richesse spécifique on observe que sur l'ensemble du lac, la dominance est partagée entre les prédateurs et les polyphages avec 42 et 37 espèces et présentant des pourcentages presque similaires 50,6 et 44,6% respectivement. Les espèces phytophages représentent une part minime de l'inventaire 4,8%.

### 6.3.1. Distribution spatiale des groupes trophiques des Carabidae dans le lac en fonction de l'abondance

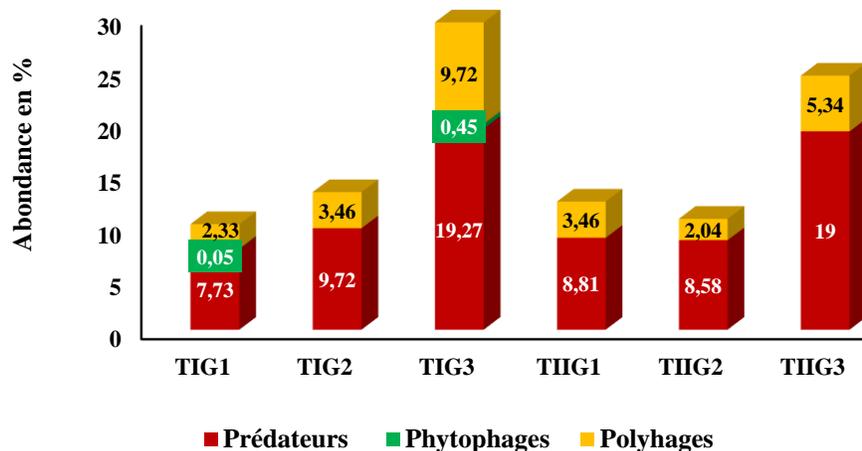
Le nombre total des individus de chaque groupe trophique dans les différents microhabitats végétation (Tab. 15) et leurs pourcentages relatifs dans notre site d'étude sont exprimés dans la figure 56.

**Tableau 15: Répartition spatiale des groupes trophiques des Carabidae dans le lac en fonction de l'abondance.**

Groupement /Groupe trophique	TIG1	TIG2	TIG3	TIIG1	TIIG2	TIIG3
Prédateurs	136	171	339	155	151	334
Polyphages	41	61	171	61	36	94
Phytophages	1	0	8	0	0	0

L'étude de la structure trophique des Carabidae du lac Tonga en fonction de l'importance relative de l'abondance permet de distinguer une nette dominance des prédateurs dans tous les niveaux de végétations. Elle est marquée dans les maquis bas à Oléo-lentisque et à *Calicotome villosa* par deux pics, respectivement 339 et 334 individus.

Les polyphages sont nombreux. La plus grande valeur des individus polyphages enregistrée était de 171 individus soit 9,7% dans les maquis bas TIG3 à Oléo-lentisque (Fig.56).



**Figure 56: Importance relative du nombre d'individus par groupe trophique dans les deux transects.**

Les plus faibles effectifs de prédateurs dans les microhabitats sont observés dans les prairies humides TIG1 à *Potentilla reptans* et TIIG1 à *Hypochaeris radicata* avec seulement 136 et 151 individus respectivement.

Les phytophages sont totalement absents dans les microhabitats du deuxième transect et ne sont présents que dans le premier transect, évoquant une faible abondance dans l'ensemble du lac à savoir 0,51% de l'abondance totale soit 9 individus seulement dont 8 d'entre eux ont été capturés dans le maquis bas TIG3 à Oléo-lentisque.

### 6.3.2. Répartition spatiale des groupes trophiques en fonction de leur richesse spécifique totale.

La figure 57 permet d'illustrer les liens trophiques en fonction du nombre total d'espèces de chaque groupe trophique.

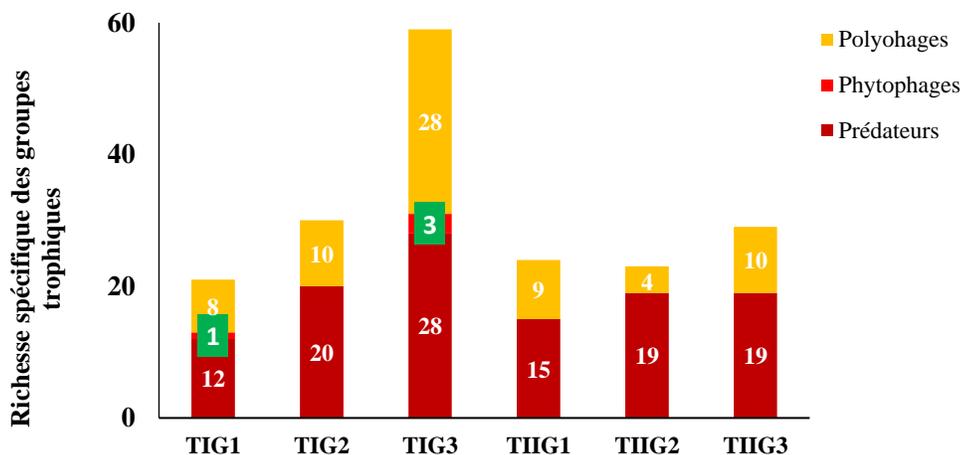


Figure 57: Importance relative du nombre d'espèces par groupe trophique dans les deux transects.

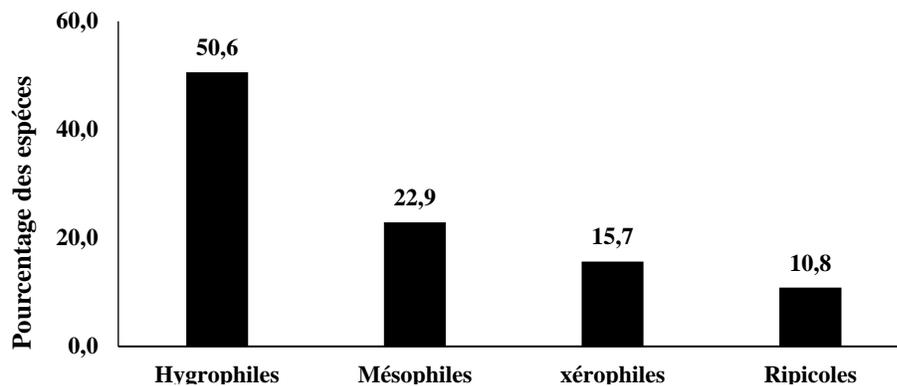
Elle montre la diversité des prédateurs dans tous les microhabitats. La plus grande valeur de la richesse spécifique a été enregistrée dans le maquis bas TIG3 à Oléo-lentisque où les prédateurs et les polyphages partagent la dominance du maquis bas pour une valeur de 28 espèces chacun.

Les phytophages sont absents dans la majorité des microhabitats à l'exception de la prairie humide TIG1 à *Potentilla reptans* (1 espèce) et au niveau du maquis bas TIG3 à Oléo-lentisque (3 espèces). Il s'agit de la plus petite valeur en nombre d'espèces dans l'ensemble de l'aire d'étude (Fig.57).

#### 6.4. Exigences en humidité

L'analyse de l'ensemble des Carabidae dans l'aire d'étude selon leurs exigences en humidité révèlent que nos espèces se divisent en quatre catégories (Annexe 8) :

- **Espèces ripicoles** : espèces strictement inféodées à la zone humide des bords d'eau
- **Espèces hygrophiles** : espèces exigeant une humidité du sol sans être étroitement liées à la zone humide de la rive.
- **Espèces mésophiles** : espèces vivant dans un biotope au sol neutre et présentant des conditions majeures de température et d'humidité.
- **Espèces xérophiles** : espèces adaptées à des biotopes marqués par une sécheresse intense prolongée.



**Figure 58: Pourcentage des espèces de Carabidae du lac Tonga selon leurs exigences en humidité**

#### 6.5. Traitement statistique des données

##### 6.5.1. Analyse de la matrice de taille, type alaire et mode trophique des Carabidae

L'analyse factorielle des correspondances basée sur le pouvoir de dispersion, la taille et le mode trophique des espèces de Carabidae inventoriés, montre que les axes F1 et F2 totalisent 52,82% de l'information contenue dans la matrice des données.

Sur le côté positif de l'axe F1 se groupent les espèces brachyptères incapable de voler et qu'on peut subdiviser en trois groupes distincts, (i) les brachyptères polyphages de petite taille à savoir

*Syntomus fuscomaculatus*, (ii) les brachyptères prédateurs de petite taille tels que *Trechus rufulus* et (iii) les brachyptères prédateurs de grande taille comme *Carabus morbillosus*.

A cet ensemble s'opposent espèces macroptères prédateurs de petite taille comme *Olisthopus fuscatus*, les macroptères prédateurs de taille moyenne à savoir *Calathus circumscriptus* et les macroptères prédateurs de grande taille comme *Cicindela campestris atlantis*.

Sur l'axe F2, les macroptères polyphages de diverse taille se groupent vers le côté positif, on distingue les espèces de petite taille comme *Bradycellus harpalinus*, celles de taille moyenne tels que *Amara aenea* et les espèces de grande taille comme *Anisodactylus signatus*.

A cet ensemble s'opposent les espèces macroptères, phytophages de taille moyenne à savoir *Carterus rotundicollis*.

Ainsi la communauté est composée d'un contingent d'espèces de différentes tailles et régimes alimentaires mais qui est dominée par les espèces macroptères des milieux ouverts au détriment des brachyptères incapables de voler qui sont présentées par un nombre très réduit et qui préfèrent les milieux fermés. Cette observation prouve encore une fois l'état d'équilibre et la régularité de la communauté des Carabidae dans le lac Tonga.

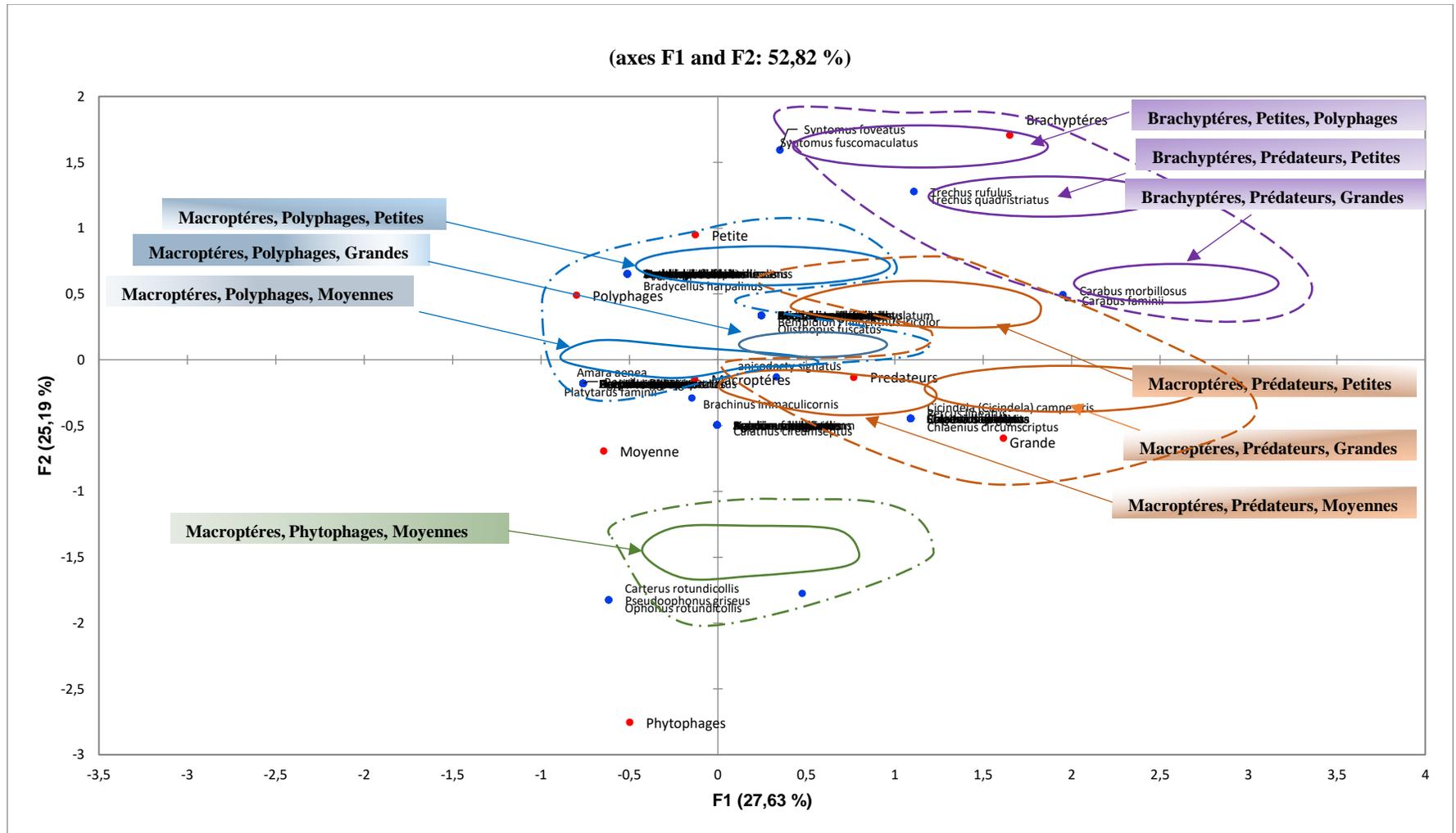


Figure 59: Analyse factorielle des correspondances appliquées à la matrice de la taille, type alaire et le mode trophique des espèces de Carabidae

## 6.6. Discussion

Bien qu'il soit riche en zones humides, la littérature révèle peu d'études sur les Carabidés du Parc National d'El-Kala. Ce travail est l'une des rares analyses de la communauté des Carabidae de ce complexe de zones humides classées internationales. L'ensemble des données obtenues dans le cadre de cette étude est très riche en informations sur l'écologie de la communauté des Carabidae inventoriée au sein du lac Tonga, site Ramsar d'importance internationale.

Notre étude consiste à décrire la biodiversité et à essayer de détecter le maximum d'espèces, nous avons procédé donc à la capture en utilisant les pièges Barber qui reste la méthode principale pour l'échantillonnage des Carabidae (**ALEXEEV, 2016**). **GRYUNTAL (2008)** a suggéré d'installer 20 pots, **ALEXEEV (2007)** a recommandé de mettre pas moins de 30 pots car selon **ALEXEEV (2007)** et **COLWELL (2013)** le nombre des pots installés influent sur le nombre d'espèces détectées. Ces informations contrastent avec les résultats de **HOMBURG et al. (2019)** en Allemagne durant un monitoring de 24 ans, où ils observent un déclin de la richesse spécifique des Carabidae sans même avoir diminué le nombre de pots barber installés, on a donc choisi d'installer 12 pots par transect.

L'inventaire par méthode de piège à fosse a permis de récolter 1727 individus et 83 espèces répartis inégalement en neuf sous familles. Le contingent d'espèces récoltées (83 espèces) est le plus complet jamais réalisé dans le lac Tonga comparativement avec des études antérieures effectuées sur ce même site comme ceux de **OUCHTATI (2012)** et **DAAS (2016)** qui mettent respectivement en évidence la présence de 53 et 10 espèces de Carabidae dans le Parc National d'El-Kala, nos résultats sont relativement importants si on les compare à d'autres inventaires dans d'autres régions en Est et Ouest de l'Algérie, en Afrique du nord et dans le bassin méditerranéen. **AMRI et al. 2019** ont signalé la présence de 42 espèces au chott Tinsilt (Algérie), une richesse similaire à celle de **BOUKLI-HACENE et al. (2011)** dans les marais salés de la Tafna dans l'ouest du pays. **SAOUACHE et al (2014)** et **MATALLAH et al. (2016)** ont identifié 55 espèces de Carabidae respectivement dans l'Est et l'Ouest algérien.

**GHANEM et al. (2017)** ont reporté la présence de 39 espèces dans différentes localités de la Tunisie, en revanche 157 espèces ont été déterminées par **CHAVANON et MAHBOUB. (1998)** dans l'embouchure de la Moulouya au Maroc. En 2015 **SERRANO et al** ont signalé aux îles Baléares 114 espèces contre 105 espèces signalées par **ANDUJARE et al. (2001)** dans le marais

salé de Cordovilla, et 46 espèces dans la lagune de Venise en Italie par **ZANELLA et SCARTON en 2017**.

La sous famille des Harpalinae prédomine avec 51 espèces soit 61,44% de la communauté globale. Cette sous famille s'avère numériquement la plus riche en espèces parmi les Carabidae atteignant plus de 19000 espèces selon **LORENZ (2005)**. Cette observation est similaire aux travaux de **ANDUJARE et al., 2001 ; OUCHTATI, 2013 ; TEOFILOVA, 2015 ; SOUACHE, 2016 ; MATALLAH et al., 2016 et AMRI, 2016**. Selon **ANDERSEN (2000)** cette sous famille est liée à des cultures très perturbées et capable de trouver un habitat convenable dans les écosystèmes agricoles anthropique, ce qui est le cas de notre site d'étude qui est assez perturbé par les activités anthropiques.

En termes de nombre de spécimens, 1727 individus ont été capturés. La grande majorité des espèces rencontrées (83) dans le lac Tonga sont représentées par un nombre assez réduit d'individus, remarque similaire signalée par **AMRI et al. (2019), BOUKLI-HACENE et al. (2011) et MATALLAH et al. (2016)**, à l'exception de trois espèces *Percus lineatus*, *Chlaenius velutinus* et *Nebria andalusia*.

En fait, l'importante de la richesse spécifique enregistrée dans notre site d'étude (83) pourrait être expliquée par le fait que la végétation dominante est de type vivace, gardant en permanence sa verdure. Par conséquent, elle fournit directement et simultanément l'abri et la nourriture aux herbivores, et indirectement des proies aux prédateurs (**TSAFACK et al., 2019**).

Un spectre biogéographique hétérogène établi au cours de l'étude mets en évidence la présence deux types biogéographiques dominés par l'élément paléarctique avec 50 espèces soit (60,2%). Le type méditerranéen est subdivisé en cinq catégories biogéographiques témoignant du pouvoir de dispersion et de colonisation des espèces, ainsi que de leur large adaptation aux fluctuations des conditions climatiques, notamment la température et la pluviométrie, puisqu' à grande échelle, ce sont les deux facteurs les plus adoptés, pour déterminer le pouvoir de dispersion des Carabidae (**ANDUJAR et al., 2001**). En outre, la présence de cette grande variété d'éléments zoogéographiques renseigne sur la diversité des conditions physiographiques qu'offrent le milieu étudié.

De ces observations, il ressort clairement que le lac Tonga recèle un capital faunistique incontestable, attestant de la haute valeur patrimoniale et de la richesse biologique de cette zone humide.

Les espèces indicatrices sont des espèces qui sont utilisées comme indicateurs écologiques des types de communauté ou d'habitat, des conditions ou des changements environnementaux **ZINSOU et al (2017)**. La méthode IndVal présente de nombreux avantages pour la bioindication écologique (**MCGEOCH et CHOWN 1998**). Cette approche statistique permet d'identifier une espèce indicatrice parmi les espèces ayant une spécificité et une fidélité similaires, mais peut également montrer si une espèce ne convient pas comme indicateur (**MOUILLOT et al. 2002**). Plusieurs auteurs ont utilisé cette méthode pour identifier les espèces caractéristiques à savoir (**ANTONELLI, 2015 ; SKLODOWSKI, 2016 ; ZINSOU, 2017 ; AMRI, 2019 et LABAT, 2021**). Cette identification est essentielle pour la protection des environnements de toute sorte de dégradation et conserver leurs dynamiques de fonctionnement (**CONTI, 2017**).

Dans la prairie humide TIG1 à *Potentilla reptans*, le *Stenolophus abdominalis* et l'*Anisodactylus signatus* sont deux hygrophiles qui selon **LAROCHELLE & LARIVIERE (2003)** sont caractéristiques des bordures de marais, lac et terrain ouvert.

Le maquis bas TIIG3 à *Calicotome villosa* est marqué par la présence de *Carabus faminii*, une espèce de grande taille qui préfère les milieux peu perturbés tels que les forêts (**GOBBI ET FONTANETO, 2005**). La *Nebria andalusia* observée dans une large gamme d'habitats (**DUFRENE, 1992**) semble trouver dans cette zone de clôture du milieu ouvert, une zone privilégiée pour son développement. En effet, les sols limoneux-sableux sont probablement un facteur favorisant la présence de cette espèce xérophile en bordure de forêt (**SAOUACHE et al, 2014**).

*Percus lineatus*, *Brachinus exhalans* et *Tachys scutellaris* sont des eurytopes sans préférence pour un type de milieu ou substrat particulier (**OUCHTATI, 2012**) ce qui explique leur présence dans tous les microhabitats et quasiment dans tous les prélèvements.

Les animaux exploitent différents types d'habitats en sélectionnant des microhabitats distincts et hétérogènes (**JOHNSON, 1980**). Des espèces qui ont des exigences écologiques similaires en termes de ressources devraient avoir les mêmes critères de sélection d'habitat et seraient

rassemblées dans un habitat donné pour former des communautés avec des compositions spécifiques distinctes (**MENGE & OLSON, 1990**). Le peuplement carabique du lac Tonga révèle un nombre considérable d'espèces inféodées à un seul type de microhabitat et spécifiquement réunies principalement en fonction de la nature de leur substrat. En effet d'après **HENGEVELD & HOGEWEG (1979)**, les facteurs édaphiques déterminent les types de distribution des Carabidés et surtout le degré d'humidité du substrat. Cette affirmation a été infirmée plus tard par l'un des deux auteurs (**HENGEVELD, 1985**) et qui révèle dans ces travaux sur les Carabides aux Pays-Bas que la dynamique et la répartition de ces derniers est aussi en fonction des variables climatiques.

Selon **BOURAADA et al (2018)** l'humidité du sol est le facteur-clé de la distribution des Carabidae et non la composition de la végétation. Selon **VANBERGEN et al. (2005)**, les Carabidés peuvent être influencés par l'humidité de l'air et celle du sol. Au vu de nos résultats, les Carabidae semblent être regroupés selon le niveau d'humidité de la zone d'étude. Nos résultats concordent avec les travaux de **EYRE et LUFF (1990)** sur la faune d'Europe, **OUCHTATI (2012)** sur les Carabidae du Parc National d'El-Kala et **AMRI (2019)** sur l'entomofaune Carabique dans les chotts de l'Est Algérien. Ces auteurs indiquent que la quantité d'eau dans le sol est un facteur important qui a une influence sur l'assemblage des Carabidés.

Le plus grand nombre de Carabidae en termes de nombre et de richesse spécifique de notre communauté a été enregistré dans la saison printanière, au même titre que les travaux de **PAARMANN (1970)** et **OUCHTATI (2013)**. Ce maximum de diversité est associé d'une part par **SKARBEEK et al en 2020** à une élévation progressive de la température et d'autre part, par **NEVE, 1994 ; HONEK, 1997 ; HOLLAND et REYNOLD, 2003** à la reprise d'activité et l'émergence de nouveaux individus qui ont passé la saison hivernale sous forme de larve. En effet les Carabidae sont plus actifs ce qui facilite leur capture et permet ainsi de recenser plus d'espèces.

Selon **THOMSEN et al (2016)** les températures élevées en période estivale ont un effet positif sur la richesse spécifique, par contre cet effet semble être négatif pour notre communauté où elle atteint seulement 22 espèces. Nos résultats coïncident avec ceux de **SKARBEEK et al (2020)** sur les Carabidae des montagnes de Kaiserstuhl (sud-ouest du Bade-Wurtemberg, en Allemagne) qui indiquent une diminution du nombre d'espèces durant les périodes les plus chaudes (estivales).

Bien que les Carabidés préfèrent généralement marcher plutôt que voler pour se déplacer (**ROUME, 2011**), la quasi-totalité des espèces identifiées dans les deux transects sont des

macroptères, soit 93%. La même constatation que celle d'AMRI (2019) avec des proportions presque similaires de 97,61% à Tinsilt et 94,44% à Ezzemoul. La faible proportion des brachyptères est très sensible à l'instabilité du milieu (GOBBI & FONTANETO, 2008) qui est provoquée soit par l'écosystème lui-même dû aux inondations récurrentes durant notre période d'étude.

Par contre nos résultats paraissent tout à fait en accord avec ceux des auteurs qui ont montré que les milieux ouverts (DAJOZ 2002, MULLEN *et al.*, 2008) et les bords des champs cultivés (THIELE 1977 ; DORING & KROMP 2003) sont favorables aux espèces capables de mieux se disperser ce qui justifie la quasi absence des brachyptères qui préfèrent les milieux fermés, stables où la reproduction est plus bénéfique pour eux que la dispersion (DEN BOER, 1987).

Cette valeur affirme d'après GOBBI & FONTANETO (2005) que ces espèces de brachyptères ne peuvent pas se reproduire dans les milieux ouverts et privilégient les habitats fermés et peu perturbés. En effet selon COLE *et al.* (2002), elles ont un cycle de reproduction assez long par rapport aux espèces de petite taille. Les espèces du genre *Carabus* atteignent rarement des densités d'un individu par m<sup>2</sup>, alors que les plus petites espèces sont plus fréquentes, avec des densités moyennes de l'ordre de 10 individus par m<sup>2</sup> (THIELE, 1977).

La taille moyenne des Carabidae enregistrée au niveau de Lac Tonga est de 0,9cm. Une taille presque similaire à celle enregistrée au niveau du Parc National d'El-Kala par OUCHTATI (2012) de 1,1cm.

Prenant comme critère la taille de l'individu, la catégorie "taille moyenne" (8 - 16 mm), prédomine dans la communauté inventoriée, de même que la communauté étudiée au chotts Tinsilt et Ezzemoul par AMRI (2019). Nos données sont aussi semblables à ceux signalés par DAJOZ (1982) sur les Carabidae de Tunisie. En effet cet auteur confirme que dans l'étage humide les espèces avaient une taille plus importante que celles des étages bioclimatiques semi-aride.

GRAY a suggéré en 1989 que les populations soumises au stress devraient contenir des espèces de petite taille et cela prouve que notre milieu d'étude est peu perturbé vu qu'il est peuplé en général avec des espèces de taille moyenne.

Cette observation affirme aussi la conclusion de SCHAFER *et al.*, (2010) selon laquelle la variation de la taille des Carabidae augmente au Nord et Sud d'Europe et tend à diminuer en allant vers l'Afrique du nord.

La spécialisation des Carabidae est un critère important dans le fonctionnement de la communauté. L'analyse des espèces inventoriées en fonction de leur comportement alimentaire indique que les prédateurs dominent l'ensemble du peuplement. Les phytophages sont moins nombreux ainsi que les polyphages. Nos résultats rejoignent les observations de **GOBBI & FONTANETO (2008)** qui confirment la dominance des Carabes prédateurs et polyphages dans les milieux ouverts.

Selon **GOBBI et FONTANETO (2008)**, les biotopes avec un haut niveau de perturbation, surtout anthropogénique, ont une faible présence des prédateurs. En tant que carnassiers, les Carabidae jouent un rôle fondamental dans le réseau alimentaire de la faune du sol et une meilleure connaissance de la structure de ces peuplements et les causes principales de leur répartition est nécessaire pour comprendre la synécologie de ce milieu (**BORCARD, 1981**)

Les espèces inventoriées dans l'aire d'étude sont dominées par les espèces hygrophiles, soit 50,6%. Ces valeurs pourraient être expliquées par le fait que la végétation dominante est de type vivace, qui garde en permanence sa verdure, formant ainsi un abri naturel efficace pour retenir l'humidité et faciliter l'installation des espèces hygrophiles.

**CONCLUSION**



## Conclusion générale et perspectives

Classé site Ramsar d'importance internationale et situé dans l'étage bioclimatique subhumide le lac Tonga est incontestablement l'un des sites les plus importants en termes de diversité biologique en Algérie.

L'identification de la végétation à l'intérieur de nos quadrats a mis en évidence la présence de trois types de microhabitats : prairie humide, pelouse et maquis bas.

Le premier transect traverse la prairie humide à *Potentilla reptans*, la pelouse à *Bellis annua* subsp. *annua* et le maquis bas à Oléo-lentisque.

Le deuxième transect traverse la prairie humide à *Hypochaeris radicata*, la pelouse à *Plantago lanceolata* et le maquis bas à *Calicotome villosa*

L'eau du lac Tonga est légèrement alcaline. Les valeurs du pH font apparaître des fluctuations très faibles, elles varient entre 8,27 un maximum dans la prairie humide à *Potentilla reptans* et un minimum de 6.92 dans la pelouse à *Plantago lanceolata*.

La conductivité oscille entre une valeur extrême de 140  $\mu\text{S}/\text{m}$  enregistrée au niveau de la prairie humide à *Potentilla reptans*. et une valeur minimale de 31.1  $\mu\text{S}/\text{m}$  observée au niveau de la pelouse à *Plantago lanceolata*.

La salinité présente des valeurs variantes entre 45.9mg/kg et 14.36mg/kg correspondant à la catégorie oligosaumâtre.

L'analyse de la composition faunistique de la communauté des Carabidae du lac Tonga a permis d'avoir pour un bilan de 96 prélèvements, une collection de 1727 individus appartenant à 83 espèces pendant la période d'étude entre 2018 et 2019. Ces espèces sont inégalement réparties entre neuf sous familles et 40 genres. Dans cette communauté, la sous famille des Harpalinae domine aussi bien en nombre de spécimens qu'en richesse spécifique, elle représente plus de la moitié de la faune inventorié avec 51% des espèces échantillonnées et son importance relative d'abondance totale est de 81,29% (1403 individus).

La communauté des Carabidae est dominée par le caractère paléarctique avec 50 espèces soit 60,24% de l'effectif total, suivi par le caractère méditerranéen avec 39,75% (33 espèces).

Les espèces méditerranéennes se divisent en cinq catégories suivant leur répartition biogéographique. 1/ espèces méditerranéennes strictes au nombre de 17 soit 20,48% comme

## Conclusion générale et perspectives

*Tachys globulus*, *Poecilus purpurascens*, *Calathus circumseptus* et *Bembidion axillare*. 2/ espèces méditerranéo-occidentales (6,02%) telles que *Carterus rotundicollis*, *Brachinus immaculicornis* et *Pogonus littoralis*. 3/ espèces tyrrhéniennes avec 6,02% comme *Percus lineatus*, *Anthracus flavipennis* et *Calomera lunulata*. 4/ espèces ibéro-maghrébine 3,61% et qui sont : *Siagona dejeani*, *Cicindela campestris atlantis* et *Nebria andalusia* et enfin 5/ les endémiques de l'Afrique du nord avec 3 espèces aussi : *Harpalus lethierry*, *Agonum fulgidicole* et *Chlaenius aeratus*.

Parmi cette faune exceptionnelle du lac Tonga deux espèces sont protégées par la loi algérienne : *Carabus morbillosus* et *Carabus faminii* (BOUTEFLIKA, 2012), six nouvelles espèces pour la faune du Nord d'Afrique sont signalées : *Agonum muelleri*, *Harpalus rubripes*, *Poecilus cupreus*, *Poecilus cursorius*, *Anisodactylus signatus* et *Dyschirus chalceus* et six espèces non encore citée en Algérie *Harpalus cupreus*, *Badister collaris*, *Siagona dejeani*, *Olistophus fuscatus*, *Oodes helopioides* et *Asaphidion stierlini* en plus de *Chlaenius circumscriptus* dont la présence est confirmée dans le lac Tonga après plus de 127 ans de sa dernière observation.

L'indice IndVal a mis en relief d'une part deux hygrophiles, (i) *Stenolophus abdominalis*, typique de la prairie humide à *Potentilla reptans*, (ii) *Anisodactylus signatus* typique de la pelouse à *Bellis annua* et d'autre part, une xérophile la *Nebria andalusia* et une mésophile *Percus lineatus* qui marquent la zone de rupture du maquis bas.

Les différents indicateurs de diversité utilisés pour l'étude descriptive de la structure dans l'espace et dans le temps des peuplements de Carabidae inventoriés dans six microhabitats a mis en relief les particularités des peuplements en place.

Le faible indice de diversité ( $H'$ ) rencontré dans les niveaux de la prairie humide TIG1 témoigne d'une part d'une abondance relativement faible (178 individus) et une faible richesse spécifique (21 espèces) et d'autre part, de la dominance de quatre espèces *Chlaenius velutinus*, *Nebria andalusiaca*, *Acupalpus brunnipes* et *Percus lineatus*.

L'équitabilité spatiale  $J'$  corrélée à l'indice de diversité  $H'$  ( $r=0,86$ ), confirme une légère irrégularité des peuplements TIG1 à *Potentilla reptans* à submersion très prolongées et à salinité plus élevée (95.9 mg/Kg). Les microhabitats TIG2, TIG3 et TIIG1 et TIIG2 dévoilent des régularités croissantes des peuplements à l'exception du peuplement TIIG3 maquis bas à *Calicotome villosa* qui limite la zone de fermeture du milieu forestier.

## Conclusion générale et perspectives

En termes de nombre d'espèces communes, les microhabitats TIG2 et TIG3 présentent le plus grand nombre avec 20 espèces communes, contrairement aux maquis bas TIG1 et TIIG3 où ils enregistrent le nombre le plus bas avec seulement 9 espèces en commun. Cette différenciation peut être expliquée par la grande hétérogénéité de cet habitat assurant la diversification de la faune.

Les résultats obtenus après analyse du dendrogramme et de la matrice de proximité (Coefficient de corrélation de Pearson) dans le lac Tonga montrent que notre entomofaune se répartit en fonction de la nature du substrat.

Les diagrammes Rang- fréquence des peuplements de Carabidae dans les différents microhabitats de l'aire d'étude appliqués au modèle de FRONTIER, traduisent une diversité et régularité élevée des peuplements dans tous les niveaux témoignant ainsi d'une maturité du site d'étude.

Les Carabidae inventoriés durant la période d'étude, présentent cinq différents niveaux de constance. Deux espèces *Chlaenius velutinus* et *Percus lineatus* constantes et sont présentes dans 90% des prélèvements. *Nebria andalusiaca*, espèce fréquente et présente dans 50 à 70% des prélèvements. *Acupalpus brunnipes*, *Stenolophus skrimshiranus* et *Scarites laevigatus*, présentes dans 25 à 50% des prélèvements. Dix accessoires sont retrouvés dans 10 à 25% des prélèvements parmi elles, *Chlaenius aeratus*, *Poecilus purpurascens* et *Harpalus oblitus*.

La majorité des espèces (67) sont présentes dans moins de 10% des prélèvements comme *Anthracus flavipennis*, *Platytarus faminii*, *Brachinus sclopeta* et *Bembidion quadripustulatum*.

L'analyse canonique des correspondances faune/flore/environnement qui met en relation les 96 espèces animales et végétales recensées et les variables environnementales, a mis en évidence la répartition des relevés des différents microhabitats en fonction des variables des milieux et de la physiologie de la végétation.

Les microhabitats s'organisent selon un gradient de salinité allant des pelouses à *Elymus repens* moins salées vers la prairie humide à *Potentilla reptans*

La prairie humide à *Hypochaeris radicata* et les pelouses à *Bellis annua* subsp. *annua* et à *Plantago lanceolata* témoignent d'un gradient de fermeture du milieu, confirmé aussi par *Ranunculus muricatus* qui est une amphibie et constitue ainsi une zone d'écotone entre la prairie humide et le maquis bas.

Le troisième groupe d'information obtenue de ACC rassemble les microhabitats qui se regroupent autour des variables argile et limon, symbolisent les formations de maquis bas TIG3 à Oléolentisque et TIIG3 à *Calicotome villosa*.

Le suivi temporel des Carabidae révèle d'une part, un état appauvri dans le lac Tonga en période estivale et un accroissement de la richesse spécifique en période printanière. En effet le début d'assèchement des microhabitats en cette saison permet d'une part l'émergence de nouveaux individus de Carabidae et d'autre part la reprise d'activités de nombreuses espèces.

De plus nos résultats suggèrent que certains traits biologiques, tels que le mode trophique, la capacité de dispersion et la taille des espèces, sont influencés par les caractéristiques de l'habitat. Les Carabidae macroptères de taille moyenne, prédateurs et hygrophiles dominantes dans le lac Tonga.

Il ressort de cette étude que les communautés de Carabidae diffèrent entre les zones humides ouvertes et les zones sèches fermées (milieu forestier). De ce fait les Carabidae montrent des préférences de microhabitats, (i) des espèces communes aux milieux ouverts à prairie à *Potentilla reptans*, (ii) des espèces qui traduisent le début du gradient de fermeture de milieu constituant ainsi la zone de transition écologique entre milieu ouvert et le milieu forestier fermé à *Bellis annua*, *Hypochaeris radicata*, *Plantago lanceolata* et *Calicotome villosa* et (iii) des espèces marquants la zone de transition limite du milieu forestier à *Pistacia lentiscus*.

Les assemblages des Carabidae et des microhabitats suivent un gradient de fermeture de milieu. Cette corrélation apparente n'indiquerait pas nécessairement une relation causale entre les taxons, mais plutôt une relation indépendante ; une réponse parallèle aux variables environnementales, (i) la période de submersion (ii) nature du substrat et (ii) physiologie de la végétation. De plus la divergence perçue au sein de ces patterns se confirme par (i) la capacité de dispersion, (ii) la taille (ii) et le mode trophique des espèces de Carabidae.

Cette étude aura montré une fois de plus que les Carabidae constituent un bon matériel pour la caractérisation des milieux. En effet leur diversité et leurs exigences écologiques variées révèlent efficacement la nature de ces peuplements dans des microhabitats différents.

Nos résultats ont des implications pour la conservation de la diversité des Carabidae dans les milieux humides en général et dans le lac Tonga en particulier et soulignent aussi l'importance du

maintien de la variation du couvert végétal qui constituent des modèles de distribution dans ces micro-milieus refuges.

Malgré le statut triplement protégé du site (réserve intégrale, site Ramsar et MAB) du lac de Tonga, celui-ci demeure menacé. En effet, le lac se comble spontanément de façon graduelle. Il perd de grandes quantités d'eau par l'exploitation agricole et par la forte évapotranspiration. Cet état de fait amènera, inéluctablement, un changement dans la composition animale et végétale et entraînera une réduction de sa richesse biologique en général et des Coléoptères en particulier et spécifiquement des Carabidae.

Le maintien de ces richesses passe obligatoirement par une gestion adéquate et durable. Une bonne gouvernance, des institutions efficaces au niveau local et des mesures de protection élevées sont des facteurs cruciaux pour empêcher la dégradation et la perte de cette zone humide.

Nous souhaitons que cette recherche puisse encourager à renforcer les mesures de protection de cette zone humide, un milieu prioritaire pour la conservation de la biodiversité du Parc National d'El Kala en général et du lac Tonga en particulier. Ce milieu ouvert en association avec la forêt se modifie d'année en année et un changement considérable du Lac Tonga se précise de plus en plus. En effet les longues périodes de sécheresse récurrentes entre 2019 et 2023 et le grand déficit hydrique se reflètent déjà sur la physionomie du lac et constitue une menace majeure sur les écosystèmes et sa biodiversité.

Cette zone humide devrait être clôturée pour réduire l'impact anthropique et d'accès uniquement autorisé à des fins de recherches scientifiques. Une large gamme d'études qualitatives et quantitatives doit être menée pour évaluer son niveau de dégradation sur tous les aspects. De ce fait, une étude complémentaire sur d'autres groupes zoologiques mettra sûrement en avant un état de perturbation très avancé.

Les recherches en perspective devraient se concrétiser par plusieurs appuis correspondants essentiellement à :

- la réalisation d'une base de données effective des Carabidae de tous les écosystèmes du Parc National d'El-Kala, plus particulièrement ceux des autres lacs classés Ramsar comme la lagune Mellah (unique lagune en Algérie) et des écosystèmes forestiers et dunaire.

- mettre au point une liste rouge des espèces menacées d'Algérie et de l'Afrique du Nord, identifier les priorités de conservation et fournir une base cohérente pour orienter les politiques et les stratégies d'action. Un processus qui permettra d'une part, de hiérarchiser les espèces en

fonction de leur risque de disparition et d'autre part fournir un cadre de référence pour surveiller les menaces qui pèsent sur la biodiversité, et d'encourager toutes les parties prenantes à agir en vue de limiter le taux d'extinction des espèces.



**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

## Références bibliographiques

- ABBACI, H. (1999). Ecologie du Lac Tonga : Cartographie de la végétation, Palynothèque et utilisation de l'espèce lacustre par l'avifaune. Thèse de magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, 143 p.
- ALEXEEV, S.C. & ALEXANOV, V. (2016). Pitfall Trap Construction Affects the Efficacy of Ground Beetle Counts. *Zoologicheskii Zhurnal*, 2017, Vol. 96, No. 3, pp. 295–304
- ALEXEEV, S.C. (2007). Candidate's Dissertation in Biology (Kaluga State Pedagogical University, Kaluga).
- AMRI, C., NEFFAR, S., OUCHETATI, 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.
- 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, J.L., RUANO, L. & SERRANO, J., (2001). Los Carabidae (Insecta, Coleoptera) Del Saladar de Cordovilla (Albaceta). *Sabuco*, 2 : 121–166.
- ANTOINE, M. (1955). Coléoptères carabiques du Maroc. Première partie. *Mémoires de la Société des Sciences Naturelles et Physiques du Maroc*, N.S., 1 : 1–177.
- ANTOINE, M. (1957). Coléoptères carabiques du Maroc. Deuxième partie. *Mémoires de la Société des Sciences Naturelles et Physiques du Maroc*, N.S., 3 : 179–314.
- ANTOINE, M. (1959). Coléoptères carabiques du Maroc. Troisième partie. *Mémoires de la Société des Sciences Naturelles et Physiques du Maroc*, N.S., 6 : 315–465.
- ANTOINE, M. (1962). Coléoptères carabiques du Maroc. Cinquième partie. *Mémoires de la Société des Sciences Naturelles et Physiques du Maroc*, N.S., 9 : 539–692.
- ANTONELLI, L., FOATA, J., QUILICHINI, Y., MARCHAND, B. (2015). Influence of season and site location on European cultured sea bass parasites in Corsican fish farms using indicator species analysis (IndVal).
- APD. (2023). African Plants Database. Geneve : Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève ; Pretoria (SA) : South African, South African National Biodiversity Institute) [http:// www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa](http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa). [Last Accessed 15/11/2023]

## Références bibliographiques

- ARNDT, E. (2005). Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as crown beetles in a Central European flood plain forest. In: Lövei G.L. & Toft S. (Eds.), *European Carabidology 2003*. Danish Institute of Agricultural Sciences, 114: 17–23.
- AVGIN, S.S, LUFF, M.L. (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.
- BACHELET, G. (1979). – *Dynamique de la macrofaune benthique et production des lamellibranches de l'estuaire de la Gironde*. Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, 163p+annexes.
- BAGNOULS, F & GAUSSEN, H. (1953). Saison sèche et indice xérothermique. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 88, 193-239.
- BAIZE, D., JABIOL, B. (2011). Guide pour la description des sols. *Editions Quae*.
- BAKARIA, F., RIZI, H., ZIANE, N., CHABI, Y & BANBURA, J. (2002). Breeding ecology of whiskered terns (*Chlidonias hybrid*) in Algeria, North Africa. *Waterbirds*, 25 (1): 56-62.
- BALKENOHL, M. (2003). - Carabidae Scaritinae. *Catalogue of Palaearctic Coleoptera*, Vol. 1, LOBL I., SMETANA A. eds., Apollo Books, Stenstrup: 219-234.
- BALL, G.E., CASALE, A. & VIGNA TAGLIANTI, V. (1998). Phylogeny and classification of Caraboidea (Coleoptera Adephega). Museo regionale de Scienze Naturali, Torino, Italy.
- BALLA, A. (2012). Synthèse écologique sur les zones humides algériennes d'importance internationale "Sites Ramsar". Engineer Dissertation, University of Batna, Batna, Algeria
- BARBAULT, T.R. (1992). *Ecologie des peuplements : structure, dynamique et évolution*. Masson ed., Paris, 273p.
- BATES, J.W. & BROWN, D.H. (1981) Epiphyte differentiation between *Quercus petraea* and *Fraxinus excelsior* trees in a maritime area of South West England. *Vegetation* : 48, 61-70.
- BEDDEL, L., (1895). - *Catalogue raisonné des coléoptères du nord de l'Afrique (Maroc, Algérie, Tunisie, et Tripolitaine avec notes sur la faune des îles canaries et de Madère*. Paris société entomologique de France .1-402p.

## Références bibliographiques

- BELHADJ, G.H., CHABI, Y., CHALABI, B., YVES, K & GAUTHIER-CLERC, M. (2007). Le retour de l'Ibis falcinelle *Plegadis falcinellus* nicheur en Algérie. *Aves* 44 (1) : 29–36.
- BELHADJ, J. (1996). Contribution à la cartographie des ornithocénoses en Algérie : Atlas de l'avifaune nicheuse du Parc National d'El-Kala. Thèse. Magistère. INA. El-Harrach. Alger. 199 p.
- BELHADJ, S. (2000). Les pistacheraies algériennes : Etat actuel et dégradation. Centre universitaire de Djelfa, Algérie, 108 p.
- BENSLAMA, M. (1993). Contribution à l'étude de la couverture Eco-pédologique et de la matière organique dans la différenciation des sols en milieu humide sous couvert forestier (Bassin versant du lac Tonga P.N.E.K) extrême Est Algérien. Thèse de Magistère en Sciences Agronomiques INA El-Harrach. Alger. 152p
- BENYACOUB, S. (1993). Ecologie de l'Avifaune forestière nicheuse de la région d'El-Kala (Nord-Est algérien). Thèse. Doct. Univ. Bourgogne, 271 p.
- BENYACOUB, S. (1998). Diagnostic de l'avifaune du Parc National d'El-Kala. Composition, statut et répartition, étude individuelle. Projet du plan de gestion du PNEK et du complexe des zones humides. El-Kala, 68p
- BENYACOUB, S & CHABI, Y. (2000). Diagnose écologique de l'avifaune du Parc National d'El-Kala. *Rev. Scie et Tech. Synthèse n°7. Uni. Annaba.* 98p
- BENZECRI, J.P. (1973). L'analyse des données. I : La taxinomie. II : L'analyse des correspondances. *Dunod ed., Paris*, 615p. /619p.
- BEYLAGOUN, I. (1998). Contribution à l'inventaire des Lépidoptères dans le Parc National d'El Kala. Mémoire. Ingénieur. Univ. Annaba. 36 p.
- BINET, D. & DESSIER A. (1972). – Premières données sur les copépodes de la région congolaise. III- Diversité spécifique. *Cahiers ORSTOM, série Ocz., ogr ; 10 (3) pp.* 21 9-242.
- 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.
- BLANCA, G., CABEZUDO, B., CUETO, M., LOPEZ, C. F. & TORRES, C. M. (2009). Flora Vasculaire de Andalucía Oriental, **1-4**. – Seville.
- BLONDEL, J. (1979). Biogéographie et écologie. *Masson ed., Paris*, 173p.

## Références bibliographiques

- 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.
- BOITTIN, F. (2018). LES CARABIDÉS DU MARAIS DE GOUVILLE-SUR-MER – MANCHE-NATURE.
- BONACCI, T. (2013). *Chlaenius velutinus* (Coleoptera: Carabidae): The Conspicuous “Polecat” among European Carabid Beetles. *J Insect Behav* 26, 223–227.
- BORCARD, D. (1981). Utilisation de pièges Barber dans l'étude des Carabides forestiers sur un transect Grand- Marais – Chasseral. *Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles*. 117p.
- BOUGHERARA, A. (2010). Identification et suivi des paysages et de leur biodiversité dans la wilaya d'El Tarf (Algérie) à partir des images Land Sat, Spot et Aster. *Téledétection*. Vol 9, n°3-4 : 225-243.
- BOUKHROUFA, M. (2001). Rôle fonctionnel du marais du Mellah pour les oiseaux d'eau : caractérisation et analyse de la variation des paramètres de structure du peuplement. Mémoire. Ingénieur. Univ. Annaba. 54 p.
- 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.
- BOUKLI HACENE, S. ABDELLAOUI-HASSAINE, K. PONEL, P., CHAOUI BOUDGHANE-BENDIOUIS, C. BETTIOUI, R. (2014) « Analyses de la structure fonctionnelle des peuplements de Coléoptères dans le marais estuarien de la Tafna (Algérie) ». *Bull. Soc. zool. Fr*, 139(1-4) : 5-19.
- BOULAHBEL, R. (1999). Caractéristiques d'un modèle de peuplement d'oiseaux d'eau nicheurs. Cas du lac Oubeira et du marais du lac Mellah (Parc National d'El- Kala). Thèse. Magistère. Univ. Annaba. 80 p.
- BOULINIER, T., NICHOLS, J.D., SAUER, J.R., HINES, J.E. & POLLOCK, K.H., (1998). Estimating species richness: the importance of heterogeneity in species detectability. *Ecology* 73 (3) the Ecological Society of America : 1018.

## Références bibliographiques

- BOULOUMAT, L. (2001) – Structure des peuplements d’oiseaux dans les milieux ripicoles de la région d’El-Kala. Aulnaies de Boumerchen et Demnet Rihan. Mémoire. Ingénieur. Univ. Annaba. 41 p.
- BOUMEZBEUR, A. (1993). Ecologie et biologie de la reproduction de l’Erismature à tête blanche (*Oxyura leucocephala*) et du Fuligule nyroca (*Aythya nyroca*) sur le lac Tonga et le lac des oiseaux (Est algérien). (Mesures de protection et de gestion du lac Tonga). Doctorat. Université des hautes études Montpellier.
- BOURAADA, K., JANATI IDRISSE, A., CHAVANON, G., OUABDELHADI, H., ESSAFI, M. (2018). Biotypologie spatiale des coléoptères carabiques ripicoles au niveau du lac Dayat Aoua (Atlas marocain). *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* 6 (1) :78-86
- BOUSQUET, Y., & LAROCHELLE, A. (1993). Catalogue of the Geadephaga (Coleoptera: Trachypachidae, Rhysodidae Carabidae including cicindelini) of America North of Mexico. *Mem. Ent. Soc. Canada* 16. 397p.
- BOUTEFLKA, A. (2012). Décret exécutif n° 12–235 du 24 mai 2012, fixant la liste des espèces animales non-domestiques protégées // *Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire*. Vol.35. P.5-11.
- BOUZERIBA, L. (2001). Contribution à la caractérisation du peuplement de Lépidoptères (Hétérocères) dans le Parc National d’El-kala (Nord-Est Algérien). Mémoire. Ingénieur. Univ. Annaba. 41p.
- BRAHMIA, Z. (2002). Rôle fonctionnel du lac Oubeira et du lac Mellah (parc national d’El Kala) pour les oiseaux marins. Mémoire. Magister. Univ. Annaba.
- CENTRE NATIONAL D’ETUDE ET D’ANALYSES POUR LA POPULATION ET LE DEVELOPPEMENT (CNEAP). (2011). Actualisation du zonage du parc national d’El-Kala. Diagnostic et état des lieux. Alger. Phase 1, 179p, Phase 2, 141p et Phase 3 103p.
- CHALABI, B. (1990). Contribution à l’étude des zones humides algériennes pour la protection de l’avifaune. Cas du lac Tonga (parc national d’El Kala). Thèse. Magistère. INA, Alger, 133 p + Annexes.
- CHAO, A., LEE, S. (1992). Estimating the number of classes via sample coverage. *J. Am. Stat. Assoc.* 87: 210-217.

## Références bibliographiques

- CHAO, A., MA, M., YANG, M. (1993). Stopping rules and estimation for recapture debugging with unequal failure rates. *Biometrika* 80: 193-201.
- CHAO, A. (1984). Non-parametric estimation of the number of classes in a population. *Scand. J. Stat.* 11 : 265-270.
- CHAOUTI, A. (2003). – Biotypologie du macrozoobenthos de la lagune méditerranéenne de Smir, Analyses spatiale et spatio-temporelle. Doctorat, Univ. Mohammed V. (Rabat). 302p.
- CHAVANON, G. & MAHBOUB, M. (1998). Etudes sur la Basse Moulouya (Maroc oriental) : 5. Les carabiques des berges du fleuve et de son affluent l'oued Za : corrections et additions. *L'Entomologiste*, 54 : 119–127.
- 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.
- CHESEL, D., DUFOUR, A.B. & THIOULOUSE, J. (2003). Biométrie et Biologie Evolutive. *Fiche de stage*. Université Lyon 1
- 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.
- COL. (2023). Catalogue of life. <https://www.catalogueoflife.org/> [Last Accessed 30/12/2023]
- COLE, L.J., MC CRACKEN, D.I., DENNIS, P., DOWNIE, I.S, GRIFFIN, A.L., FOSTER, G.N., MURPHY, K.J., & 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, R. K., CHAO, A., GOTELLI, N. J., LIN, S.Y., MAO, C.X., & CHAZDON, R. L. (2012). Models and estimators linking individual- based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. *Journal of Plant Ecology*, 5(1), 3–21. Doi :10.1093/jpe/rtr044.
- 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.
- COTE, M. (2006). Guide d'Algérie -Paysages et Patrimoine-, Ed Média-Plus, Constantine. 403p

- CUCHEROUSSET, J. (2006) - Rôle fonctionnel des milieux temporairement inondés pour l'ichtyofaune dans un écosystème sous contraintes anthropiques : approches communautaires, populationnelle et individuelle. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, Rennes, 278 p.
- DAAS, H., ADJAMI, Y., GHANEM, R., VIÑOLAS, A., OUAKID, M.L. & TAHRAOUI, A. (2016). Inventaire des Coléoptères des subéraies du Nord-Est Algérien. Turkish Journal of Forestry, 17(Special Issue) : 11–17. <https://doi.org/10.18182/tjf.10489>
- DAGET, J. (1976). Les modèles mathématiques en écologie, *Masson ed.*, Paris, 172p.
- DAJOZ, R. (2002). Les coléoptères carabidés et ténébrionidés. Ecologie et Biologie. 1st ed. Paris, France: Tec & Doc (in French).
- DAVIS, T.J. (1996) – The manual of Ramsar convention. Ramsar convention office, Switzerland, P.185.
- DE BELAIR, G. (1990). Structure, fonctionnement et perspective de gestion de quatre écosystème lacustre et marécageux (El-Kala Est Algérien). Thèse Doct. Univ. Montp. Scien. Tech.
- DEN BOER, P.J. (1987). The present status of the competitive exclusion principle. Trends in ecology and evolution 1: 25-28.
- DEN BOER, P.J, 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.
- DEROUICHE, CH., & GUERFI, I. (2016) - Inventaire et caractérisation de la faune carabique au niveau de la région de Constantine (Localités El-Khroub, Constantine). *Mémoire de Master*. Univ de Constantine. 5 P.
- 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, KONJEV, & TURIN, H. (1989). Loss of habitats and changes in the composition of the ground and tiger beetle fauna in four West European countries since 1950 (Coleoptera: Carabidae, Cicindelidae). Biological Conservation, 48(4), 277–294. Doi :10.1016/0006-3207(89)90103-1.

## Références bibliographiques

- DESSIER, A. & LAUREC, A. (1978). Le cycle annuel du zooplancton à Pointe-Noire (RP Congo). Description mathématique. *Oceanologica acta* : 1, 3, 285-304.
- DEUVE, T. (1993). L'abdomen et les genitalia des femelles de coléoptères Adéphaga. Mémoires du Museum National d'Histoire Naturelle. Zoologie 155 : 1-184.
- DGF. (2004). Atlas IV des zones humides algériennes d'importance Internationale. Atlas 4. Direction Générale des Forêts, Alger. 105p.
- DJELLAB, S. (1993). Inventaire et écologie des Syrphidés (Ordre : *Diptera*) dans le parc national d'El- Kala. Thèse. Magistère. Univ. Annaba, 184 p.
- DJEMAI, S. (2020). Variations Spatiales des Macro-invertébrés benthique dans le lac Tonga (El-Kala- Wilaya d'El-Tarf). *Thèse de Doctorat - Université M'sila*. 79P
- DOBIGNARD, A. & CHATELAIN, C. (2010–2013). Index synonymique de la flore d'Afrique du Nord. 5 vols. Conservatoire de jardin botanique de Genève, (C.J.B.G), Genève. Available online at: <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/>.
- DORING, T.F. & KROMP, B. (2003). Which carabid species benefit from organic agriculture? – a review of comparative studies in winter cereals from Germany and Switzerland. *Agriculture*,
- DOUGLA, S H. J. (1980). The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference', *Ecology*, Vol. 61, No. 1 98: 153-161.
- DREUX, P. (1980). Précis d'écologie. Ed. Presses Universitaires de France. Paris, 231p
- DU CHATENET, G. (1990). Guide des coléoptères d'Europe. Delachaux et Niestlé. Paris. 479p.
- DU CHATENET, G. (2005). Coléoptères d'Europe, Carabes, Carabiques et Dytiques. Tome 1. Adephaga. *N.A.P. éditions*.1-359p.
- DUHAZABENEIX 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.
- DUCHEZ, J. & LOY, M. (2005). La classification ascendante hiérarchique. Projet d'analyse de données. Insa ; Rouen.
- DUFRENE, M. (1992). Bioécologie et Écologie des Communautés de Carabidae en Wallonie. PhD, University of Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium (in French).

## Références bibliographiques

- DUFRENE, M., LEGENDRE, P. (1997). Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67 : 345-366.
- DURAND, J.H. (1952). Les sols du bassin versant du Lac Tonga. Publication du S.C.H Direction du service de colonisation et l'Hydraulique.
- EMBERGER, L. (1930). Une formule applicable en géographie botanique. *C.R. Ac. Sc.* 191: 389–390.
- ERWIN, T.L. (1979). Thoughts on the evolutionary history of ground beetles hypotheses from comparative faunal analyses of lowland forest sites in temperate and tropical region. In: Erwin, T.L., Ball, G.E., Whitehead, D.R. & Halpern A.L. *Carabid beetles - their evolution, natural history and classification*. - (Eds) Dr W Junk the Hague: 539-592.
- ERWIN, T.L. (1985). The taxon pulse: A general pattern of lineage radiation and extinction among Carabid Beetles. In: Erwin, T.L., Ball, G.E., Whitehead, D.R. & Halpern A.L. *Carabid beetles - their evolution, natural history and classification* - (Eds), Dr W Junk, The Hague: 437-472.
- ESTEVE, J. (1978) Les méthodes d'ordination : éléments pour une discussion. In : *Biométrie et Ecologie*. Legay, J.M. & Tomassone, R. (Eds.) Société Française de Biométrie, Paris. 223-250.
- EYRE, M.D. & LUFF, M.L. (1990). A preliminary classification of European grassland habitats using carabid beetles. In: Nigel, E. S. *The role of ground beetles in ecological and environmental studies*. Intercept Ltd., Andover, Hampshire, U.K.S:227-235.
- FARSI, B. (1996). Contribution à l'étude de l'évolution floristique et structurale d'une forêt de chêne-liège incendiée (Région d'El-Kala). Mémoire. Ingénieur. INA. El-Harrach- Alger. 62 p.
- FEKROUNE, K. (1998). Caractérisation des populations des Chiroptères dans le Parc National d'El-Kala (Nord-Est algérien). Mémoire. Ingénieur. Univ. Annaba. 37 p.
- FREI, B., GUENAY, G., BOHAN, D.A., 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.
- FRONTIER, S. (1976). – Utilisation des diagrammes rangs-fréquence dans l'analyse des écosystèmes. *J. Rech. Océanogr.*, 1 (3): 35-48.
- FRONTIER, S. (1985). –Diversity and the structure in aquatic ecosystems. *Oceanogr. mar. Biol. A. Rev.*

- FRONTIER, S. (1990). – Ecosystèmes. Structure, Fonctionnement et Evolution. *2ème édition DUNOD.1-428p*
- GASTON, K.J. (1991). The magnitude of global insect species richness. *Conservation Biology*, 5 : 283-296.
- GEHU, J.M., KAABECHE, M. & GHARZOULI, R. (1993). Phytosociologie et Typologie des habitats des rives des lacs de la région d'El Kala (Algérie). *Colloques phytosociologiques XXII. Syntaxonomie typologique des Habitats*. Bailleul. P 296-332.
- 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.
- GHANNEM, S. & BOUMAIZA, M. (2017). New Data of Ground Beetles (Coleoptera: Carabidae) in Tunisia. *Journal of the Entomological Research Society*, 19: 15–37.
- GOBBI, M. & FONTANETO, U. (2005). Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) assemblages in different agroecosystems in the Po Plain Italy. XV congress della societa Italiana di Ecologia – Torino. 15th Meeting of the Italian society of ecology.
- GOBBI, M. & FONTANETO, U. (2008). Biodiversity of ground beetle (Coleoptera: Carabidae) in different habitats of the Italian Po Lowland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127 : 273-276.
- GRALL, J. & HILY, C. (2003). Traitement des données situationnelles (Faune). *Rebint. FT.10-2003 -01*. Doc.
- GRAY, J.S. (1989). Effects of environmental stress on species rich assemblages. *Biological Journal of Linnean Society* 37: 19-32.
- GRYUNTAL, S.Yu. (2008). Structure of Ground Beetle Communities (Coleoptera, Carabidae) in the Forest Biogeocenoses of the East European (Russian) Plain (GalleyaPrint, Moscow) [in Russian].
- GUINOCHET, M. (1973). *La phytosociologie*. Collection d'écologie I. Masson éd., Paris, 227 p.

- HAO, D.C. (2019). Biodiversity, Chemodiversity and Pharmacotherapy of Ranunculus Medicinal Plants. UK : Academic Press. P357.
- HARDY, P. & GLEMARC, M. (1977). Evolution dans le temps des peuplements de sables envasés en baie de Concarneau (Bretagne) ; in *KEEGAN B.F., P.O. CEIDIGH., P.J.S. BOADEN (eds.) : Biology of benthic organisms*. Pergamon Press., New York: 165-172.
- HENGEVELD, R. & HOGEWEG, P. (1979). - Cluster analysis of the distribution patterns of dutch Carabid species (Col.). In "*Multivariate Methods in Ecological Work*", Orloci, L., Rao, C.R., Stiteler, W.M. (Eds.) International Cooperative Publishing House, Fairland, 65-86.
- HENGEVELD, R. (1985). Dynamics of Dutch beetles species during the twentieth century (Coleoptera, Carabidae). *Journal of Biogeography*, 12: 289-411.
- HILL, M.O. (1973). Reciprocal averaging: an eigenvector method of ordination. *Journal of Ecology*: 61,237-249.
- HIRAMATSU, S. & USIO, N. (2018). Assemblage Characteristics and Habitat Specificity of Carabid Beetles in a Japanese Alpine-Subalpine Zone, *Psyche: A Journal of Entomology*, vol. 2018, Article ID 9754376, 15 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/9754376>
- HOLLAND, J.M., REYNOLDS, C.J.M. (2003). The impact of soil cultivation on arthropod (Coleoptera and Areneae) emergence on arable land. *Pedobiologia* 47: 181-191.
- HOMBURG, K., DREES, C., BOUTAUD, E., NOLTE, D., SCHUETT, W., ZUMSTEIN, P., ET AL. (2019). Where have all the beetles gone? Long-term study reveals carabid species decline in a nature reserve in Northern Germany. *Insect Conservation and Diversity*, 12(4), 268–277. Doi :10.1111/icad.12348
- HONEK, A. (1997). The effect of temperature on the activity of Carabidae (Coleoptera) in a fallow field. *EJE*, 94(1), 97–104.
- HUGHES, J.B., HELLMANN, J.J, RICKETTS, T.H, BOHANNAN, B.J. (2001). Counting the uncountable: statistical approaches to estimating microbial diversity. *Appl. Environ. Microbiol.* 67 : 4399-4406.
- IBANEZ, F. & SEGUIN, G. (1972). Etude du cycle annuel du zooplancton d'Abidjan. Comparaison de plusieurs méthodes d'analyse multivariable. *Investigacion pesquera* : 36, 81-108.
- INAGAKI, H. (1967). –Mise au point de la loi de Motomura et essai d'une écologie évolutive. *Vie Milieu* 18, (1-B), 153-166p.

## Références bibliographiques

- JEANNEL, R. (1941). Faune de France. Coléoptères Carabiques première partie *Fédération française des Sociétés de sciences naturelles. Pierre André imp.* 1-571p.
- JEANNEL, R. (1942). Faune de France. Coléoptères Carabiques première partie *Fédération française des Sociétés de sciences naturelles. Pierre André imp.* 572-1173p.
- JEANNEL, R. (1946-1949). Coléoptères carabiques de la région de Malgache. Office de la recherche scientifique et coloniale, Paris, 3 volumes.
- JOLEAUD, L. (1936). Etude géologique de la région de Bône et de la Calle. Bulletin du service de la Carte géologique d'Algérie Imp. Typo – Litho et Cie, Alger, 2ème série, stat. descriptions régionales, n°12, 185p. 4p. 25 fig. et tab.
- JOLLIFFE, I. T. (1986). Principal component analysis. New York: Springer.
- JOHNSON, D. H. (1980), The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology*, 61: 65–71.
- KADID, Y. (1989). Contribution à l'étude de la végétation aquatique du lac Tonga parc national d'ElKala. Mém. Ing. INA. ÉL-Harrach. Alger 100p.
- KADID, Y. (1999). Contribution à l'étude des phytocénoses aquatiques du lac Tonga (wilaya d'ElTarf) Mém. Magister. INA ÉL-Harrach-Alger. 160p + 3 annexes
- KAMENOVA, S. (2013). Réseaux d'interactions, biodiversité et services éco-systémiques en milieu agricole : que nous apprennent les coleopteres carabiques ? These de doctorat, université de poitiers, poitier, france.
- KHEDIMALLAH, R., TADJINE, A. (2016). Contribution to the knowledge of macroinvertebrates in a lake ecosystem: lake Tonga in the el Kala National Park. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 2016, 141(3): 6
- KINGSOLVER, G.K, HUEY, R.B. (2008). Size, temperature, and fitness: three rules. *Evolutionary Ecology Research* 10: 251-268.
- KOTZE, D.J., BRANDMAYR, P., CASALE, A., DAUFFY-RICHARD, E., DEKONINCK, W., KOIVULA, M.J., LOVEI, G.L., MOSSAKOWSKI, D, NOORDIJK, 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.

## Références bibliographiques

- KRYSHANOWSKY, O.L. (1976). Revised classification of the family carabidae. *Ent. Rev. URSS* 1 : 80-91.
- LABAT, F. (2021). Facteurs environnementaux déterminants des communautés d'invertébrés et de macrophytes des petits plans d'eau peu profonds de France continentale. *Thèse de doctorat*. Université de RENNES.
- LAMBEETS, K., VANDEGEHUCHTE, M.L, MAELFAIT, J.P, BONTE, D (2009). Integrating environmental conditions and functional life-history traits for riparian arthropod conservation planning. *Biological Conservation* 142: 625-637.
- LAROCHELLE, A., LARIVIERE, M.C. (2003). A Natural History of the Ground-Beetles (Coleoptera: Carabidae) of America north of Mexico. 83-483.
- LAWRENCE, J.F. & NEWTON, A.F. (1995). Families and subfamilies of Coleoptera (with selected genera, notes, references and date on family group names). In: PAKALUK, J AND SLIPINSKI, S.A. *Biology, Phylogeny, and Classification of Coleoptera. Papers Celebrating the 80th Birthday of Royal Crowson*. Museum i Instytut Zoologii, Warszawa .779-1006.
- LE MOAL, L. (2002). L'analyse en composantes principales. *LACP sous SPSS*.
- LEBART, L., MORINEAU, A. & FENELON, J.P. (1982). Traitement des données statistiques méthodes et programmes ; *Dunod édition. Paris*. 518p.
- LEBRETON, J.D. (1973) Etude des déplacements saisonniers des Sarcelles d'hiver, *Anas c. crecca* L., hivernant en Camargue à l'aide de l'analyse factorielle des correspondances. *Compte rendu hebdomadaire des séances de l'Académie des sciences*. Paris, D : III, 277, 2417-2420.
- LEDANT, J.P & VAN DIJK, G., (1977). Situation des zones humides Algériennes et de leur avifaune. *Aves* 14 : 217-232.
- LEGENDRE, L. & LEGENDRE, P. (1979). *Ecologie numérique 1. Le traitement multiple des données écologiques*, Paris : Masson- *Presses de l'université du Québec*. 197 p.
- LEGENDRE, L. & LEGENDRE, P. (1984). *Ecologie numérique. I. Le traitement multiple des données écologiques ; II. La structure des données écologiques. 2ème ed., Masson. Presses de l'Université du Québec*, Paris : 260p. /335p.
- LEVEQUE, C. & GABORIT, M. (1972). Utilisation de l'analyse factorielle des correspondances pour l'étude des peuplements en Mollusques benthiques du lac Tchad. *Cahiers ORSTOM, Série Hydrobiologie*: 4, 1, 47-66.

## Références bibliographiques

- LIEBHERR, J.K. & WILL, K.W. (1998). Inferring phylogenetic relationships within the carabidae (Insecta, Coleoptera) from characters of the femelle reproductive tract. *Atti Museo regionale di scienze, Torino*: 107- 170.
- LINDROTH, C.H. (1961-1969). The ground beetles (Carabidae. Excl. Cicindelinae) of Canada and Alaska. *Opax. Ent. Suppl.*: 20,24,29,33,34,35.
- LINDROTH, C.H. (1986). The Carabidae (Coleoptera) of Fennoscandia and Denmark. *Fauna. Entomologica Scandinavica* 15: 233-497.
- 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.
- LOVEI, G.L, SUNDERLAND, K.D. (1996). Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Annual Review of Entomology* 41: 231-256.
- LUFF, M.L. (1980) The larvae of the British Carabidae (Coleoptera) VI. Licinini, Panagaeini, Chlaeniini and Oodini. *Entomologists Gaz* 31 :177–194
- M.A.T.E. (2003). Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. Plan d'action et stratégie nationale sur la biodiversité, Tome III .16p
- MACHADO, A. (1992). Monografía de los Carábidos de las Islas Canarias (Insecta, Coleoptera). Instituto de Estudios Canarios, La Laguna : 734 pp.
- MAGISTRETTI, M. (1965) Fauna d'Italia. Coleoptera Cicindelidae, Carabidae. Catalogo topografico. Calderini Press, Bologna, p 512
- MAIRE, R. (1952-1987). Flore de l'Afrique du Nord. Ed. Lechevalier, Paris. Vol I-XVI : 5559p
- MARRE, A. (1987). Etude géomorphologique du Tell oriental algérien de Collo à la frontière tunisienne. Université Aix –Marseille II. U.E.R de Géographie, 559 p. + cartes
- MATALLAH, R., ABDELLAOUI-HASSAINE K., PONEL P. & BOUKLI-HACENE S. (2016). Diversity of ground beetles (Coleoptera Carabidae) in the Ramsar wetland: Dayet El Ferd, Tlemcen, Algeria. *Biodiversity Journal*, 7: 301–310.
- MCGEOCH, M.A., CHOWN, S.L. (1998) Scaling up the value of bioindicators. *Trends Ecol Evol* 13 :46–47

- MENGE, B. A. and A. M. OLSON 1990 — Role of scale and environmental factors in regulation of community structure. *Trends Ecol. Evol.* 5: 52–57.
- MITRA, S., WASSMANN, R. & VLEK P.L.G. (2003). Global Inventory of Wetlands and Their Role in the Carbon Cycle; ZEF Discussion Papers on Development Policy; ZEF: Bonn, Germany, 2003; pp. 20–23.
- MOUILLOT, D., CULIOLI, J.M., DO CHI, T. (2002). Indicator species analysis as a test of non-random distribution of species in the context of marine protected areas. *Environ Conserv* 29 :385–390
- MOUILLOT, D. (1999). Simulation de répartition spatiales de populations et de peuplements. Application à l'étude de propriétés statiques d'agrégation et d'indice de diversité taxinomique. *Thèse Universitaire de Corse*.300p.
- 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.
- NEVE, G. (1994). Influence of temperature and humidity on the activity of three Carabus species. In K. Desender, M. Dufrene, M. Loreau, M. L. Luff, J.-P. Maelfait (Eds.), *Carabid beetles: Ecology and evolution* (pp. 189\_192). Netherlands: Springer. Doi: 10.1007/978-94-017-0968-2\_29.
- NICHOLAS, J.D., BOULINIER, T., HINES, J.E., POLLACK, K.H. & SAUER, J.R. (1998). Estimating rates of local species extinction, colonization and turnover in animal communities- Ecological applications. *Ecological Society of America*, 8 (4): 1213 p.
- NICOLARDOT, B., RECOUS, S., MARY, B. (2001). Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: A simple dynamic model based on the C: N ratio of the residues. *Plant and Soil* 228, 83-103.
- NORMAND, H. (1933). Contribution au Catalogue des Coléoptères de la Tunisie. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, 24 : 149–168.
- 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.

## Références bibliographiques

- OUELMOUHOU, S. (2005). Gestion multi-usage et conservation du patrimoine forestier : cas des subéraies du parc national d'El Kala (Algérie). Mémoire de Master en Science. Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, France, 129p.
- OULD SIDI MOHAMED, E. (2016). Evolution Spatiotemporelle des Lacs de la Région d'El-Kala (Nord-Est algérien). Mémoire de Master. Université de Ouargla :5pp
- OZENDA, P. (1982) – The plants in the biosphere. Ed. Doin, Paris, p.427.
- PAARMANN, W. (1970). Untersuchungen über die Jahresrhythmik von Laufkäfer carabiden (Coleoptera, Carabidae in der Cyrenaika (Lybien, Nordafrika). *Oecologia* (Berlin) 5 : 325-333.
- PIELOU, E.C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. theor. Biol.* 13, 131-144p.
- PIC, M. (1897). Coléoptères récoltés en Kabylie. Bulletin de la Société entomologique de France 2(13) pp. 221-222
- PIGNATTI, S., (1982). Flora d'Italia. Vol. 2. Edagricole, 732 p.
- POUSSET, J. (2011). Engrais verts et fertilité des sols. 3ème édition. Editions France Agricole. Paris, 30-190 p.
- PRODON, R. & LEBRETON, J.D. (1981) Breeding avifauna of a Mediterranean succession: the holm oak and cork.
- PUPIER, R. (2005). Contribution au Catalogue des Coléoptères Carabiques d'Algérie. In : Cahiers scientifiques du Muséum d'histoire naturelle de Lyon - Centre de conservation et d'étude des collections, 9 : 65–78.
- QINGHONG, L. (1995). A model for species diversity monitoring at community level and its application. *Environmental monitoring and assessment*, 34 : 271-284.
- QUEZEL, P., SANTA, S. (1962). Nouvelle Flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed. CNRS, Paris (T1 et T2), 1170 p.
- QUEZEL, P. & SANTA, S. (1962–1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionale. – C.N.R.S. édit. Paris, 2 vol. 1170 p.
- QUEZEL, P., MEDAIL, F. (2003). Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Elsevier (Collection Environnement), Paris, 573 p.

- R DEVELOPMENT CORE TEAM. (2013). R : A language and environment for statistical computing. -R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria. – <http://www.R-project.org> [Dernier accès 20/11/2023]
- RAACHI, M.L. (2007). Etude préalable pour une gestion intégrée des ressources du bassin versant du lac Tonga au nord-est algérien.
- RAINIO, J. & NIEMELÄ, J. (2003). Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity and Conservation*, 12 : 487–506. <https://doi.org/10.1023/A:1022412617568>
- RAMADE, F. (2003). *Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale*. 3ème édition, Dunod, Paris. 688p.
- REICHARDT, H. (1977). A synopsis of the genera of neotropical Carabidae (insecta coleoptera). *Quaestiones Entomologicae* 13 : 346- 493.
- RIZI, H. (2001). Contribution à l'étude de la biologie de la reproduction des populations de la Foulque macroule (*Fulica atra atra*) dans la zone humide du nord-est algérien : cas des lacs Oubeira et Tonga. Thèse. Magistère. Univ. Annaba. 51 p.
- ROCHE, J & YAVERCOVSKI, N. (1990). El Kala : Richesse du Maghreb. *Le courrier de la nature, la société nationale de la nature*, 125 : 18-24.
- ROUAG, R. (1999). Contribution à l'inventaire de l'Herpétofaune dans la région d'El - Kala (Nord-Est algérien). Thèse. Magistère. Univ. Annaba. 79 p.
- ROUBINET, E., BIRKHOFFER, K., MALSHER, G., STAUDACHER, K., EKBOM, B., TRAUOGOTT JONSSON, M. (2017). Diet of generalist predators reflects effects of cropping period and farming system on extra- and intraguild prey. *Ecological Application* 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.
- ROUX, G. & ROUX, M. (1967). A propos de quelques méthodes de classification en phytosociologie. *Rev. Stat. Appl.*, 15, 59-72.
- SAMRAOUI, B. & DE BELAIR, G. (1998). Les zones humides de la Numidie orientale : bilan des connaissances et perspectives de gestion. *Synthèse (n.s.)*, 4: 1–90.

## Références bibliographiques

- 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.
- SARRI, D. (2017). Développement durable au sein des aires protégées algériennes, cas du Parc National d'El-Kala et des sites d'intérêts biologique et écologique de la région d'El-Tarf. Thèse de Doctorat, Université de Sétif, Algérie.
- SCHAFER, K., SCHULT, A., DREES, C., AND ASSMANN, T. (2010). Do carabids follow Bergmann's rule? A macroecological study on ground beetles in the Western Palaearctic (Coleoptera: Carabidae), *Proc. 4<sup>th</sup> Anniversary Conf. Of the Ecological Society of Germany, Austria and Switzerland*, Geissen, Ger\_ many. P50.
- SCHLOSS, P.D, HANDELSMAN, J. (2005). Introducing DOTUR, a computer program for defining operational taxonomic units and estimating species richness. *Appl. Environ. Microbiol.* 71 : 1501-1506.
- SELTZER, P. (1946). Le climat de l'Algérie. Inst. Météorol. Phy. GI. Alger, Carbonel, 219p
- SEMADI, A. (1989). Effet de la pollution atmosphérique (pollution globale, fluorée et plombique) sur la végétation dans la région d'Annaba. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences Naturelles, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), 339 p
- SERRANO, J. (2015). Ground beetle fauna of the Balearic Archipelago. *Boln. Asoc. esp. Ent.* 39 (1-2): 39-97.
- 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.
- SKARBEEK, C.J., LAMPARSKI, A.J., CARSTEN F.D. (2020). Trends in monthly abundance and species richness of carabids over 33 years at the Kaiserstuhl, southwest Germany. *Basic and Applied Ecology* 50 (2021) 107\_118. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.11.003>
- SKLODOWSKI, J. (2016). Ground beetle assemblages across a habitat gradient in a stream watershed during 16 years of observation. *Bulletin of Entomological Research* 106, 827–839

- SLIMANI, A. (2009) - Evaluation et valorisation des potentialités phylogénétiques fourragères sur les berges des lacs Tonga Oubeira et le lac des Oiseaux dans la région d'El taref. Thèse de Doctorat, Université Annaba, 162 p.
- SOUTHWOOD, TRE. (1988). Tactics, strategies and templets. *Oikos* 52: 3-18.
- 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, N.E. (1990). The role of ground beetles in ecological and environmental studies. Proceedings du 7ème séminaire international des cerebidoloque européens. Intercept, Andover-Hampshire, pp. 424.
- SUNDERLAND, K.D. (2002). Invertebrate pest control by Carabids. In Holland JM (editor). The Agroecology of Carabid Beetles. Intercept, Andover, pp. 165 - 214.
- SWIFT, M.J., HEAL, O.W., ANDERSON, J.M., GREIG, S.D.J., PITELKA, P., FRANK, A. (1979). Decomposition in terrestrial ecosystems. Blackwell, Oxford.
- SYMONDSON, W.O., SUNDERLAND, KD., GREENSTONE, M.H. (2002). Can generalist predators be effective biocontrol agents? *Annual Review of Entomology* 47: 561-94.
- TENAILLEAU, M., DOR, C. & MAILLET-MEZERAY, J. (2011). Projet CASDAR 'les entomophages en grandes cultures' : diversité, service-rendu et potentialités des habitats.
- TEOFILOVA, T.M, KODZHABASHEV, N.D. (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.
- TER BRAAK, C. J. F. (1995). Ordination: Data analysis in community and landscape ecology. – Pp. 91- 173 in: Jongman R. H. G., Ter Braak C. J. F. & Van Tongeren O. F. R. (eds), Ordination: Data analysis in community and landscape ecology. – Cambridge.
- THIELE, H.U (1977). Carabid Beetles in their Environments. 1st ed. Berlin, Germany: Springer.
- THOIRON, P., LABBE, D. & SERANT, D. (1988). Etude sur la richesse et la structure lexicales. Genève-Paris : Slatkine-Champion.

## Références bibliographiques

- THOMAS J. P. (1975). Ecologie et dynamisme de la végétation des dunes littorales et des terrasses sableuses quaternaires de Jijel à El Kala (Est algérien). Thèse de spécialité en écologie végétale, U.S.T.L, Montpellier, 113 p.
- THOMSEN, P.F., JØRGENSEN P.S., BRUUN H.H., PEDERSEN J., RIIS-NIELSEN, T., JONKO, K., SLOWINSKA, I., RAHBK, K. (2016). Resource specialists lead local insect community turnover associated with temperature – analysis of an 18-year full-seasonal record of moths and beetles *Journal of Animal Ecology*, 85 (1) pp. 251-261.
- TOFT, S & BILDE, T. (2002). Carabid diets and food value. In: Holland, J.M. *The Agroecology of Ground Beetles*. Intercept, Andover :81–110.
- 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.
- TOUBAL, B.O. (1986). Phyto-écologie, biogéographie et dynamique des principaux groupements végétaux du massif de l'Edough (Algérie Nord orientale). Cartographie au 1/25000 USTM. Thèse. Doct. 3ème cycle. Univ. Grenoble.109 p.
- TOWNSEND, C.R, DOLEDEC, S., SCARSBROOK, M.R. (1997). Species traits in relation to temporal and spatial heterogeneity in streams: A test of habitat templet theory. *Freshwater Biology* 37: 367-387.
- TSAFACK, N., REBAUDO, F., WANG, H., NAGY, D.D., 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, K.M., PARI, S.S., SARAI, K., CHAN, D., YAO, C.H., PORTO, P., TOOR, A., TOOR, H.S., FOGRASCHER, K. (2018). Decreases in beetle body size linked to climate change and warming temperatures. *Journal of animal ecology* 87: 647-659.
- VANBERGEN, A.J., WOODCOCK, B.A., WATT, A.D. & NIEMELA, J. (2005). Effect of land-use heterogeneity on carabid communities at the landscape scale. *Ecography* 28: 3-16.
- VANLAUWE, B., NWOKE, O.C., SANGINGA, N., MERCKX, R. (1996). Impact of residue quality on the C and N mineralization of leaf and root residues of three agroforestry species. *Plant and Soil* 183, 221-231.

## Références bibliographiques

- VELA, E. & BENHOUBOU, S. (2007). Évaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le Bassin méditerranéen (Afrique du Nord). C.R. Biologies, 330.
- VILLA, J.M. (1980). La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse de Doc. Sc. Nat. Univ. P et M. Curie. Paris VI, 2 tomes, 665 p.
- WALLIN, H., EKBOM, B.S. (1988). Movements of carabid beetles (coleoptera: carabidae) inhabiting cereal fields: A field tracing study. *Ecologia* 77: 39-43.
- WHITE, E.P., MORGAN ERNEST, SK., KERKHOFF; A.J., ENQUIST, B.J. (2007). Relationships between body size and abundance in ecology. *Trends in ecology and evolution* 22 (6) : 323-330.
- YOUNESSE, G. & SAPORTA, G. (2004). Une méthodologie pour la comparaison des partitions. *Revue de statistique appliquée*
- YOUNG, O.P. (2008). Body weight and survival of *Calosoma sayi* (Coleoptera: Carabidae) during laboratory feeding regimes. *Annals of the Entomological Society of America* 106: 104-112.
- YUNHUI, L., MEICHUN, D., XUZHU, Z., XIN, Z., ZHENRONG, Y., JAN, C.A. (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.
- 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.
- ZETTO BRANDMAYR, T., BONACCI, T., MASSOLO, A., BRANDMAYR, P. (2004). Peace in ground beetle larvae: nonaggressive outcome in *Chlaenius* spp. Larvae interactions. *Ethol Ecol Evol* 16 :351–361
- ZIANE, N. (1999). Le Peuplement d'Anatidés hivernants dans la région d'El-Kala : Chronologie d'hivernage et rythmes d'activité. Thèse. Magistère. Univ. Annaba.107 p.
- ZINSOU, H.L., GNOHOSSOU, P., LALEYE, F. (2017). Analyse Et Illustration De La Valeur Indicatrice Des Espèces Macrobenthiques Du Delta De l'Ouémé Au Bénin. *European Scientific Journal* February 2017 edition vol.13.

# **ANNEXES**



**Annexe 1 : Matrice de répartition biogéographique des espèces de Carabidae du lac Tonga.**  
**AN : Afrique du Nord ; Med : Méditerrané ; EM : Europe méridionale ; EO : Europe occidentale ; ES : Europe septentrionale.**

<b>Taxon</b>	<b>AN</b>	<b>Med</b>	<b>EM</b>	<b>EO</b>	<b>ES</b>	<b>Asie</b>
<i>Acupalpus brunnipes</i> Sturm, 1825	0	1	1	1	1	0
<i>Acupalpus elegans</i> Dejean, 1829	1	1	1	1	1	1
<i>Acupalpus maculatus</i> Schaum, 1860	0	1	1	1	0	1
<i>Agonum marginatum</i> Linnaeus, 1758	0	1	0	0	0	0
<i>Agonum muelleri</i> Herbst, 1784	0	1	1	1	1	0
<i>Agonum nigrum</i> Dejean, 1828	0	1	1	1	1	0
<i>Agonum numidicum</i> Lucas, 1846	0	1	1	1	1	0
<i>Agonum viridicupreum fulgidicolle</i> Erichson, 1841	0	1	1	0	0	0
<i>Agonum viridicupreum</i> Goeze, 1777	0	1	1	1	1	1
<i>Amara aenea</i> De Geer, 1774	1	1	1	1	1	1
<i>Amblystomus metallescens</i> Dejean, 1829	0	1	1	1	0	1
<i>Anisodactylus binotatus</i> Fabricius, 1787	0	1	1	1	1	1
<i>Anisodactylus signatus</i> Panzer, 1796	0	0	1	1	1	1
<i>Anthracus flavipennis</i> Lucas, 1846	0	1	1	1	0	0
<i>Apotomus rufus</i> P. Rossi, 1790	1	1	1	1	0	0
<i>Asaphidion stierlini</i> Heyden, 1880	0	1	1	1	0	0
<i>Badister collaris</i> Motschulsky, 1844	0	1	1	0	0	1
<i>Bembidion (Philochthus) iricolor</i> Bedel, 1879	1	1	1	1	0	1
<i>Bembidion (Phyla) obtusum</i> Audinet-Serville, 1821	0	0	1	1	1	0
<i>Bembidion (Phyla) tethys</i> Netolitzky, 1926	1	1	1	1	1	0
<i>Bembidion axillare</i> Motschulsky, 1844	1	1	1	1	0	0
<i>Bembidion quadripustulatum</i> Audinet-Serville, 1821	0	1	1	1	1	1
<i>Brachinus (Brachinus) plagiatus</i> Reiche, 1868	0	0	1	1	0	1
<i>Brachinus exhalans</i> P. Rossi, 1792	0	1	1	1	0	0
<i>Brachinus humeralis</i> Ahrens, 1812	0	1	1	1	0	1
<i>Brachinus immaculicornis</i> Dejean, 1826	0	1	1	1	0	1
<i>Brachinus sclopetata</i> Fabricius, 1792	0	1	1	1	0	1
<i>Bradycellus harpalinus</i> Audinet-Serville, 1821	0	1	1	1	1	0
<i>Calathus circumseptus</i> Germar, 1823	0	1	1	1	0	0
<i>Carabus (Eurycarabus) faminii</i> Dejean, 1826	1	1	1	0	0	0
<i>Carabus (Macrothorax) morbillosus</i> Fabricius, 1792	0	1	1	0	0	0
<i>Carterus rotundicollis</i> Rambur, 1837	1	1	1	1	0	0
<i>Chlaenius aeratus</i> Quensel, 1806	0	1	1	1	0	0
<i>Chlaenius circumscriptus</i> Duftschmid, 1812	0	0	0	0	0	0
<i>Chlaenius olivieri</i> Crotch, 1871	0	0	1	1	0	1
<i>Chlaenius spoliatus</i> Rossi, 1792	0	1	1	1	0	0
<i>Chlaenius velutinus</i> Duftschmid, 1812	1	1	1	1	0	1
<i>Cicindela (Calomera) lunulata</i> Fabricius, 1781	0	1	1	1	0	1
<i>Cicindela campestris atlantis</i> Mandl, 1944	0	1	1	0	0	0
<i>Drypta distincta</i> P. Rossi, 1792	1	1	1	1	0	1
<i>Dyschirius chalceus</i> Erichson, 1837	0	1	1	1	1	1
<i>Elaphropus globulus</i> Dejean, 1831	0	1	1	1	0	1
<i>Elaphropus grandicollis</i> Chaudoir, 1846	0	1	1	1	1	1
<i>Harpalus cupreus</i> Dejean, 1829	0	1	1	1	0	1
<i>Harpalus distinguendus</i> Duftschmid, 1812	0	1	0	0	0	0
<i>Harpalus fuscicornis</i> Ménériés, 1832	0	1	1	1	0	1
<i>Harpalus lethierryi</i> Reiche, 1860	0	1	1	1	0	1
<i>Harpalus oblitus</i> Dejean, 1829	0	0	1	1	1	1

## Annexes

<i>Harpalus punctatostrigatus</i> Dejean, 1829	1	1	1	1	0	0
<i>Harpalus rubripes</i> (Duftschmid, 1812)	1	1	1	0	0	1
<i>Microlestes abeillei</i> Brisout de Barneville, 1885	1	1	1	0	0	0
<i>Microlestes corticalis</i> L. Dufour, 1820	0	1	1	1	1	0
<i>Nebria andalusia</i> Rambur, 1837	0	1	1	1	0	1
<i>Ocys harpaloides</i> Audinet-Serville, 1821	0	0	0	1	0	1
<i>Olisthopus fuscatus</i> Dejean, 1828	0	1	1	1	1	1
<i>Olisthopus glabricollis</i> Germar, 1817	0	1	1	1	1	0
<i>Oodes helopioides</i> Fabricius, 1792	0	1	1	0	0	0
<i>Ophonus rotundicollis</i> Fairmaire & Labouldène, 1854	1	1	1	1	0	1
<i>Percus lineatus</i> Solier, 1835	0	0	1	1	1	1
<i>Platytarus faminii</i> Dejean, 1826	0	1	1	1	0	1
<i>Poecilus cupreus</i> Linnaeus, 1758	0	1	1	1	0	0
<i>Poecilus cursorius</i> Dejean, 1828	0	1	1	1	1	1
<i>Poecilus purpurascens</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Pogonus littoralis</i> Duftschmid, 1812	0	1	1	1	1	1
<i>Pseudoophonus griseus</i> Panzer, 1796	0	1	1	1	1	1
<i>Pseudoophonus rufipes</i> DeGeer, 1774	0	1	1	1	0	0
<i>Pterostichus nigrita</i> Paykull, 1790	1	0	1	0	0	0
<i>Scarites buparius</i> Forster, 1771	0	1	1	0	0	0
<i>Scarites laevigatus</i> Fabricius, 1792	1	1	1	0	0	1
<i>Siagona dejeani</i> Rambur, 1837	1	1	1	1	0	1
<i>Siagona europaea</i> Dejean, 1826	0	1	1	1	1	1
<i>Stenolophus abdominalis</i> Gené, 1836	0	1	1	1	0	1
<i>Stenolophus mixtus</i> Herbst, 1784	1	1	1	1	1	1
<i>Stenolophus skrimshiranus</i> Stephens, 1828	0	1	1	1	1	1
<i>Stenolophus teutonius</i> Schrank, 1781	1	1	1	1	0	1
<i>Syntomus foveatus</i> Geoffroy in Fourcroy, 1785	1	1	1	1	1	1
<i>Syntomus fuscomaculatus</i> Motschulsky, 1844	0	0	0	0	0	1
<i>Tachys bistriatus</i> Duftschmid, 1812	1	1	1	0	0	0
<i>Tachys cardioderus</i> Chaudoir, 1850	1	1	1	0	0	1
<i>Tachys micros</i> Fischer von Waldheim, 1828	1	0	1	1	1	1
<i>Tachys scutellaris</i> Stephens, 1828	1	1	1	1	1	1
<i>Trechus quadristriatus</i> Schrank, 1781	0	1	1	1	1	1
<i>Trechus rufulus</i> Dejean, 1831	0	1	1	1	0	0

## Annexe 2 : Résultats complétés de l'analyse IndVal calculée sur la communauté des Carabidae du lac Tonga

<i>Especies</i>	Spécificité A						Fidélité B						IndVal %						P.value					
	TIG 1	TIG 2	TIG 3	TIIG 1	TIIG 2	TIIG 3	TIG 1	TIG 2	TIG 3	TIIG 1	TIIG 2	TIIG 3	TIG 1	TIG 2	TIG 3	TIIG 1	TIIG 2	TIIG 3	TIG 1	TIG 2	TIG 3	TIIG 1	TIIG 2	TIIG 3
<i>Acupalpus brunnipes</i>	0,55	0,09	0,18	0,07	0,07	0,04	1	0,5	0,5	0,25	0,5	0,25	54,6	4,55	9,09	1,82	3,64	0,909	0	0,66	0,43	0,85	0,72	0,938
<i>Acupalpus elegans</i>	0	0,2	0	0,2	0,2	0,4	0	0,25	0	0,25	0,25	0,25	0	5	0	5	5	10	1	0,54	1	0,55	0,55	0,222
<i>Acupalpus maculatus</i>	0	0,19	0,35	0,23	0,23	0	0	0,5	0,5	0,5	0,25	0	0	9,62	17,3	11,5	5,77	0	1	0,32	0,14	0,3	0,39	1
<i>Agonum marginatum</i>	0	0	0,86	0,07	0,07	0	0	0	0,75	0,25	0,25	0	0	0	64,3	1,79	1,79	0	1	1	0	0,63	0,63	1
<i>Agonum muelleri Herbst</i>	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	10	10	10	10	10	1	0,43	0,42	0,42	0,43	0,425
<i>Agonum nigrum Dejean</i>	0	0	0,21	0,26	0,26	0,26	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	10,5	13,2	13,2	13,16	1	1	0,33	0,27	0,27	0,271
<i>Agonum numidicum</i>	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0,16	1	1	1	1	1
<i>Agonum viridicupreum</i>	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	1	0,17	1	1	1	1
<i>Agonum viridicupreum</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Amara aenea De Geer</i>	0	0,13	0,71	0	0	0,16	0	0,5	0,75	0	0	0,25	0	6,45	53,2	0	0	4,032	1	0,33	0	1	1	0,558
<i>Amblystomus metallescens</i>	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	1	0,17	1	1	1	1
<i>Anisodactylus binotatus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Anisodactylus signatus</i>	0	0,92	0,08	0	0	0	0	0,75	0,25	0	0	0	0	68,8	2,08	0	0	0	1	0	0,55	1	1	1
<i>Anthracus flavipennis</i>	0	0,02	0,98	0	0	0	0	0,25	1	0	0	0	0	0,52	97,9	0	0	0	1	0,63	0	1	1	1
<i>Apotomus rufus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	50	0	0	0	1	1	0,02	1	1	1
<i>Asaphidion stierlini</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Badister collaris</i>	0	0,25	0	0,38	0,38	0	0	0,25	0	0,25	0,25	0	0	6,25	0	9,38	9,38	0	1	0,44	1	0,3	0,32	1
<i>Bembidion (Philochthus) iricolor</i>	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	1	0,17	1	1	1	1
<i>Bembidion (Phyla) obtusum</i>	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	1	0,17	1	1	1	1
<i>Bembidion (Phyla) tethys</i>	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0,17	1	1	1	1	1
<i>Bembidion axillare</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	1	1	1	1	1	0,174
<i>Bembidion quadripustulatum</i>	0,33	0,67	0	0	0	0	0,25	0,25	0	0	0	0	8,33	16,7	0	0	0	0	0,31	0,17	1	1	1	1
<i>Brachinus (Brachinus) plagiatus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Brachinus exhalans</i>	0	0,11	0,33	0	0	0,56	0	0,25	0,25	0	0	0,5	0	2,78	8,33	0	0	27,78	1	0,56	0,33	1	1	0,06
<i>Brachinus humeralis</i>	0,14	0,14	0,43	0,14	0,14	0	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0	3,57	3,57	10,7	3,57	3,57	0	0,64	0,64	0,27	0,63	0,64	1
<i>Brachinus immaculicornis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1

## Annexes

<i>Brachinus sclopetata</i>	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,16	1	1	1	1	1
<i>Bradycellus harpalinus</i>	0,33	0	0,67	0	0	0	0,25	0	0,25	0	0	0	8,33	0	16,7	0	0	0	0,31	1	0,17	1	1	1
<i>Calathus circumseptus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	50	0	0	0	1	1	0,02	1	1	1
<i>Carabus (Eurycarabus) faminii</i>	0	0	0,25	0	0	0,75	0	0	0,25	0	0	0,5	0	0	6,25	0	0	37,5	1	1	0,44	1	1	0,022
<i>Carabus (Macrothorax) morbillosus</i>	0	0	0,25	0	0	0,75	0	0	0,25	0	0	0,25	0	0	6,25	0	0	18,75	1	1	0,32	1	1	0,161
<i>Carterus rotundicollis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	50	0	0	0	1	1	0,02	1	1	1
<i>Chlaenius aeratus</i>	0	0,08	0,47	0,02	0,02	0,42	0	0,5	0,75	0,25	0,25	0,75	0	3,77	35,4	0,47	0,47	31,13	1	0,66	0,03	0,91	0,9	0,04
<i>Chlaenius circumscriptus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Chlaenius olivieri</i>	0	0,38	0	0,15	0,15	0,31	0	0,5	0	0,25	0,25	0,25	0	19,2	0	3,85	3,85	7,692	1	0,13	1	0,63	0,63	0,275
<i>Chlaenius spoliatus</i>	0,19	0,07	0,09	0,33	0,33	0	0,5	0,25	0,25	0,5	0,75	0	9,3	1,74	2,33	16,3	24,4	0	0,43	0,87	0,73	0,15	0,09	1
<i>Chlaenius velutinus</i>	0,1	0,16	0,27	0,11	0,11	0,25	1	1	1	1	1	1	10,2	15,7	26,9	11,2	11,2	24,92	0,97	0,58	0,01	0,93	0,93	0,03
<i>Cicindela (Calomera) lunulata</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Cicindela campestris atlantis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	1	1	1	1	1	0,169
<i>Drypta distincta</i>	0,67	0	0,33	0	0	0	0,25	0	0,25	0	0	0	16,7	0	8,33	0	0	0	0,16	1	0,33	1	1	1
<i>Dyschirius chalceus</i>	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0,17	1	1	1	1	1
<i>Elaphropus globulus</i>	0	0	0,33	0	0	0,67	0	0	0,25	0	0	0,25	0	0	8,33	0	0	16,67	1	1	0,31	1	1	0,169
<i>Elaphropus grandicollis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,75	0	0	0	0	0	75	1	1	1	1	1	0,002
<i>Harpalus cupreus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Harpalus distinguendus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Harpalus fuscicornis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Harpalus lethierryi</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Harpalus oblitus</i>	0,14	0,05	0,09	0,05	0,05	0,64	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,75	6,82	1,14	2,27	1,14	1,14	47,73	0,43	0,87	0,71	0,87	0,86	0,008
<i>Harpalus punctatostrigatus</i>	0	0	0,83	0	0	0,17	0	0	0,5	0	0	0,25	0	0	41,7	0	0	4,167	1	1	0,02	1	1	0,434
<i>Harpalus rubripes</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Microlestes abeillei</i>	0	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0	25	25	0	1	1	1	0,09	0,1	1
<i>Microlestes corticalis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Nebria andalusia</i>	0,18	0,13	0,16	0,09	0,09	0,35	1	1	1	0,75	0,5	1	17,7	12,9	16,1	6,86	4,57	34,95	0,35	0,63	0,44	0,92	0,97	1E-04
<i>Ocys harpaloides</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Olisthopus fuscatus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	50	0	0	0	1	1	0,02	1	1	1
<i>Olisthopus glabricollis</i>	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	0,17	1	1	1	1

## Annexes

<i>Oodes helopioides</i>	0	0	1	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1	
<i>Ophonus rotundicollis</i>	0,5	0	0,5	0	0	0	0,25	0	0,25	0	0	0	12,5	0	12,5	0	0	0	0,3	1	0,33	1	1	1
<i>Percus lineatus</i>	0,08	0,14	0,19	0,11	0,11	0,36	1	1	1	1	1	1	8,1	14,3	18,7	11,2	11,2	36,45	1	0,61	0,34	0,88	0,88	3E-04
<i>Platytarus faminii</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	25	1	1	1	1	1	0,174	
<i>Poecilus cupreus</i>	0,5	0	0,5	0	0	0	0,25	0	0,25	0	0	0	12,5	0	12,5	0	0	0	0,31	1	0,32	1	1	1
<i>Poecilus cursorius</i>	0	0	0,6	0	0	0,4	0	0	0,25	0	0	0,25	0	0	15	0	0	10	1	1	0,17	1	1	0,307
<i>Poecilus purpurascens</i>	0	0,29	0,71	0	0	0	0	0,75	0,75	0	0	0	0	21,7	53,3	0	0	0	1	0,06	0	1	1	1
<i>Pogonus littoralis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Pseudoophonus griseus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Pseudoophonus rufipes</i>	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	1	0,17	1	1	1	1
<i>Pterostichus nigrita</i>	0,11	0,11	0,22	0,17	0,17	0,22	0,25	0,25	0,5	0,25	0,5	0,25	2,78	2,78	11,1	4,17	8,33	5,556	0,77	0,79	0,34	0,51	0,4	0,459
<i>Scarites buparius</i>	0,03	0,06	0,52	0,13	0,13	0,13	0,25	0,25	0,75	0,5	0,25	0,5	0,81	1,61	38,7	6,45	3,23	6,452	0,91	0,84	0,02	0,5	0,69	0,505
<i>Scarites laevigatus</i>	0,02	0	0,58	0,06	0	0,34	0,25	0	0,75	0,25	0	0,75	0,5	0	43,5	1,5	0	25,5	0,83	1	0,01	0,78	1	0,058
<i>Siagona dejeani</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Siagona europaea</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Stenolophus abdominalis</i>	0,92	0,08	0	0	0	0	0,75	0,25	0	0	0	0	68,8	2,08	0	0	0	0	0	0,55	1	1	1	1
<i>Stenolophus mixtus</i>	0,18	0,44	0,38	0	0	0	0,5	0,75	0,5	0	0	0	8,82	33,1	19,1	0	0	0	0,32	0,04	0,11	1	1	1
<i>Stenolophus skrimshiranus</i>	0,42	0,33	0	0,06	0,06	0,14	0,75	0,5	0	0,25	0,25	0,5	31,3	16,7	0	1,39	1,39	6,944	0,04	0,16	1	0,87	0,87	0,426
<i>Stenolophus teutonius</i>	0	0,03	0,25	0,36	0,36	0	0	0,25	0,5	0,75	0,75	0	0	0,65	12,3	27,3	27,3	0	1	0,87	0,27	0,06	0,06	1
<i>Syntomus foveatus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Syntomus fuscomaculatus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Tachys bistriatus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Tachys cardioderus</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	1	1	1	1	1	0,169
<i>Tachys micros</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	1	0,17	1	1	1
<i>Tachys scutellaris</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	50	1	1	1	1	1	0,024
<i>Trechus quadristriatus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	50	0	0	0	1	1	0,02	1	1	1
<i>Trechus rufulus</i>	0	0	0	0,25	0,25	0,5	0	0	0	0,25	0,25	0,25	0	0	0	6,25	6,25	12,5	1	1	1	0,44	0,44	0,189

## Annexe 3 : Répartition spatiale des Carabidae du lac Tonga

Espèces	TIG1	TIG2	TIG3	TIIG1	TIIG2	TIIG3
<i>Acupalpus brunnipes</i> Sturm, 1825	30	5	10	26	4	2
<i>Acupalpus elegans</i> Dejean, 1829	0	1	0	0	1	0
<i>Acupalpus maculatus</i> Schaum, 1860	0	5	9	30	6	1
<i>Agonum marginatum</i> Linnaeus, 1758	0	0	12	0	1	0
<i>Agonum muelleri</i> Herbst, 1784	0	5	5	0	5	5
<i>Agonum nigrum</i> Dejean, 1828	0	0	4	5	5	5
<i>Agonum numidicum</i> Lucas, 1846	1	0	0	2	0	0
<i>Agonum viridicupreum fulgidicolle</i> Erichson, 1841	0	1	0	0	0	0
<i>Agonum viridicupreum</i> Goeze, 1777	0	0	1	0	0	0
<i>Amara aenea</i> De Geer, 1774	0	4	22	5	0	5
<i>Amblystomus metallescens</i> Dejean, 1829	0	2	0	0	0	0
<i>Anisodactylus binotatus</i> Fabricius, 1787	0	0	1	0	0	0
<i>Anisodactylus signatus</i> Panzer, 1796	0	22	2	0	0	0
<i>Anthracus flavipennis</i> Lucas, 1846	0	1	47	0	0	0
<i>Apotomus rufus</i> P. Rossi, 1790	0	0	8	0	0	0
<i>Asaphidion stierlini</i> Heyden, 1880	0	0	1	0	0	0
<i>Badister collaris</i> Motschulsky, 1844	0	2	0	7	3	0
<i>Bembidion (Philochthus) iricolor</i> Bedel, 1879	0	1	0	0	0	0
<i>Bembidion (Phyla) obtusum</i> Audinet-Serville, 1821	0	1	0	0	0	0
<i>Bembidion (Phyla) tethys</i> Netolitzky, 1926	1	0	0	0	0	0
<i>Bembidion axillare</i> Motschulsky, 1844	0	0	0	0	0	1
<i>Bembidion quadripustulatum</i> Audinet-Serville, 1821	1	2	0	0	0	0
<i>Brachinus (Brachinus) plagiatus</i> Reiche, 1868	0	0	1	0	0	0
<i>Brachinus exhalans</i> P. Rossi, 1792	0	1	3	0	0	6
<i>Brachinus humeralis</i> Ahrens, 1812	1	1	3	1	1	0
<i>Brachinus immaculicornis</i> Dejean, 1826	0	0	2	0	0	0
<i>Brachinus sclopeta</i> Fabricius, 1792	1	0	1	1	0	0
<i>Bradycellus harpalinus</i> Audinet-Serville, 1821	1	0	2	0	0	0
<i>Calathus circumseptus</i> Germar, 1823	0	0	11	0	0	0
<i>Carabus (Eurycarabus) faminii</i> Dejean, 1826	0	0	2	0	5	1
<i>Carabus (Macrothorax) morbillosus</i> Fabricius, 1792	0	0	1	0	0	3
<i>Carterus rotundicollis</i> Rambur, 1837	0	0	4	0	0	0
<i>Chlaenius aeratus</i> Quensel, 1806	0	4	29	0	1	22
<i>Chlaenius circumscriptus</i> Duftschmid, 1812	0	0	1	0	0	0
<i>Chlaenius olivieri</i> Crotch, 1871	0	5	0	3	2	4
<i>Chlaenius spoliatus</i> Rossi, 1792	8	3	4	0	14	0
<i>Chlaenius velutinus</i> Duftschmid, 1812	31	48	83	26	34	76
<i>Cicindela (Calomera) lunulata</i> Fabricius, 1781	0	0	4	0	0	0
<i>Cicindela campestris atlantis</i> Mandl, 1944	0	0	0	0	0	2
<i>Drypta distincta</i> P. Rossi, 1792	2	0	1	0	0	0
<i>Dyschirius chalceus</i> Erichson, 1837	0	0	0	1	0	0

## Annexes

<i>Elaphropus globulus</i> Dejean, 1831	0	0	1	0	0	2
<i>Elaphropus grandicollis</i> Chaudoir, 1846	0	0	0	0	0	40
<i>Harpalus cupreus</i> Dejean, 1829	0	0	2	0	0	0
<i>Harpalus distinguendus</i> Duftschmid, 1812	0	0	1	0	0	0
<i>Harpalus fuscicornis</i> Ménériés, 1832	0	0	1	0	0	0
<i>Harpalus lethierryi</i> Reiche, 1860	0	0	2	0	0	0
<i>Harpalus oblitus</i> Dejean, 1829	3	1	2	0	1	14
<i>Harpalus punctatostrigatus</i> Dejean, 1829	0	0	10	0	0	2
<i>Harpalus rubripes</i> (Duftschmid, 1812)	0	0	2	0	0	0
<i>Microlestes abeillei</i> Brisout de Barneville, 1885	0	0	0	7	9	0
<i>Microlestes corticalis</i> L. Dufour, 1820	0	0	2	0	0	0
<i>Nebria andalusia</i> Rambur, 1837	33	25	30	9	17	65
<i>Ocys harpaloides</i> Audinet-Serville, 1821	0	0	1	0	0	0
<i>Olisthopus fuscatus</i> Dejean, 1828	0	0	4	0	0	0
<i>Olisthopus glabricollis</i> Germar, 1817	0	0	0	0	0	1
<i>Oodes helopioides</i> Fabricius, 1792	0	0	0	1	0	0
<i>Ophonus rotundicollis</i> Fairmaire & Labouldène, 1854	1	0	1	0	0	0
<i>Percus lineatus</i> Solier, 1835	26	46	60	36	36	117
<i>Platyтарus faminii</i> Dejean, 1826	0	0	0	0	0	1
<i>Poecilus cupreus</i> Linnaeus, 1758	2	0	2	2	0	0
<i>Poecilus cursorius</i> Dejean, 1828	0	0	3	0	0	2
<i>Poecilus purpurascens</i>	0	11	25	0	0	0
<i>Pogonus littoralis</i> Duftschmid, 1812	0	0	1	0	0	0
<i>Pseudoophonus griseus</i> Panzer, 1796	0	0	1	0	0	0
<i>Pseudoophonus rufipes</i> DeGeer, 1774	0	1	0	0	0	0
<i>Pterostichus nigrita</i> Paykull, 1790	2	2	4	3	3	4
<i>Scarites buparius</i> Forster, 1771	1	2	16	1	4	4
<i>Scarites laevigatus</i> Fabricius, 1792	1	0	29	0	3	17
<i>Siagona dejeani</i> Rambur, 1837	0	0	3	1	0	0
<i>Siagona europaea</i> Dejean, 1826	0	0	1	1	0	0
<i>Stenolophus abdominalis</i> Gené, 1836	11	1	0	0	0	0
<i>Stenolophus mixtus</i> Herbst, 1784	6	15	13	0	0	0
<i>Stenolophus skrimshiranus</i> Stephens, 1828	15	12	0	17	2	5
<i>Stenolophus teutonius</i> Schrank, 1781	0	2	19	20	28	0
<i>Syntomus foveatus</i> Geoffroy in Fourcroy, 1785	0	0	2	0	0	0
<i>Syntomus fuscomaculatus</i> Motschulsky, 1844	0	0	1	0	0	0
<i>Tachys bistriatus</i> Duftschmid, 1812	0	0	1	0	0	0
<i>Tachys cardioderus</i> Chaudoir, 1850	0	0	0	0	0	5
<i>Tachys micros</i> Fischer von Waldheim, 1828	0	0	1	0	0	0
<i>Tachys scutellaris</i> Stephens, 1828	0	0	0	0	0	14
<i>Trechus quadristriatus</i> Schrank, 1781	0	0	0	8	0	0
<i>Trechus rufulus</i> Dejean, 1831	0	0	0	3	1	2

## Annexe 4 : Répartition temporelle des Carabidae dans le lac Tonga.

Espèces/saison	Hiver	Printemps	Eté	Global
<i>Acupalpus brunnipes</i> Sturm, 1825	0	38	39	77
<i>Acupalpus elegans</i> Dejean, 1829	0	2	0	2
<i>Acupalpus maculatus</i> Schaum, 1860	0	13	38	51
<i>Agonum marginatum</i> Linnaeus, 1758	3	10	0	13
<i>Agonum muelleri</i> Herbst, 1784	3	17	0	20
<i>Agonum nigrum</i> Dejean, 1828	0	19	0	19
<i>Agonum numidicum</i> Lucas, 1846	0	3	0	3
<i>Agonum viridicupreum fulgidicolle</i> Erichson, 1841	0	1	0	1
<i>Agonum viridicupreum</i> Goeze, 1777	1	0	0	1
<i>Amara aenea</i> De Geer, 1774	7	29	0	36
<i>Amblystomus metallescens</i> Dejean, 1829	1	1	0	2
<i>Anisodactylus binotatus</i> Fabricius, 1787	0	1	0	1
<i>Anisodactylus signatus</i> Panzer, 1796	24	0	0	24
<i>Anthracus flavipennis</i> Lucas, 1846	0	48	0	48
<i>Apotomus rufus</i> P. Rossi, 1790	8	0	0	8
<i>Asaphidion stierlini</i> Heyden, 1880	0	1	0	1
<i>Badister collaris</i> Motschulsky, 1844	3	9	0	12
<i>Bembidion (Philochthus) iricolor</i> Bedel, 1879	0	1	0	1
<i>Bembidion (Phyla) obtusum</i> Audinet-Serville, 1821	0	1	0	1
<i>Bembidion (Phyla) tethys</i> Netolitzky, 1926	0	1	0	1
<i>Bembidion axillare</i> Motschulsky, 1844	0	1	0	1
<i>Bembidion quadripustulatum</i> Audinet-Serville, 1821	1	2	0	3
<i>Brachinus (Brachinus) plagiatus</i> Reiche, 1868	1	0	0	1
<i>Brachinus exhalans</i> P. Rossi, 1792	0	8	2	10
<i>Brachinus humeralis</i> Ahrens, 1812	2	4	1	7
<i>Brachinus immaculicornis</i> Dejean, 1826	2	0	0	2
<i>Brachinus sclopeta</i> Fabricius, 1792	0	3	0	3
<i>Bradycellus harpalinus</i> Audinet-Serville, 1821	0	3	0	3
<i>Calathus circumseptus</i> Germar, 1823	1	0	10	11
<i>Carabus (Eurycarabus) faminii</i> Dejean, 1826	0	8	0	8
<i>Carabus (Macrothorax) morbillosus</i> Fabricius, 1792	0	0	4	4
<i>Carterus rotundicollis</i> Rambur, 1837	4	0	0	4
<i>Chlaenius aeratus</i> Quensel, 1806	0	44	12	56
<i>Chlaenius circumscriptus</i> Duftschmid, 1812	1	0	0	1
<i>Chlaenius olivieri</i> Crotch, 1871	3	11	0	14
<i>Chlaenius spoliatus</i> Rossi, 1792	4	17	8	29
<i>Chlaenius velutinus</i> Duftschmid, 1812	25	191	82	298
<i>Cicindela (Calomera) lunulata</i> Fabricius, 1781	0	0	4	4
<i>Cicindela campestris atlantis</i> Mandl, 1944	1	0	1	2
<i>Drypta distincta</i> P. Rossi, 1792	0	3	0	3
<i>Dyschirius chalceus</i> Erichson, 1837	0	1	0	1
<i>Elaphropus globulus</i> Dejean, 1831	0	3	0	3

## Annexes

<i>Elaphropus grandicollis</i> Chaudoir, 1846	0	40	0	40
<i>Harpalus cupreus</i> Dejean, 1829	2	0	0	2
<i>Harpalus distinguendus</i> Duftschmid, 1812	1	0	0	1
<i>Harpalus fuscicornis</i> Ménériés, 1832	1	0	0	1
<i>Harpalus lethierryi</i> Reiche, 1860	2	0	0	2
<i>Harpalus oblitus</i> Dejean, 1829	0	21	0	21
<i>Harpalus punctatostratus</i> Dejean, 1829	0	12	0	12
<i>Harpalus rubripes</i> (Duftschmid, 1812)	2	0	0	2
<i>Microlestes abeillei</i> Brisout de Barneville, 1885	0	14	2	16
<i>Microlestes corticalis</i> L. Dufour, 1820	0	2	0	2
<i>Nebria andalusia</i> Rambur, 1837	15	120	44	179
<i>Ocys harpaloides</i> Audinet-Serville, 1821	1	0	0	1
<i>Olisthopus fuscatus</i> Dejean, 1828	4	0	0	4
<i>Olisthopus glabricollis</i> Germar, 1817	0	1	0	1
<i>Oodes helopioides</i> Fabricius, 1792	0	1	0	1
<i>Ophonus rotundicollis</i> Fairmaire & Labouldène, 1854	2	0	0	2
<i>Percus lineatus</i> Solier, 1835	21	232	68	321
<i>Platytarus faminii</i> Dejean, 1826	0	1	0	1
<i>Poecilus cupreus</i> Linnaeus, 1758	1	3	2	6
<i>Poecilus cursorius</i> Dejean, 1828	0	5	0	5
<i>Poecilus purpurascens</i>	12	5	19	36
<i>Pogonus littoralis</i> Duftschmid, 1812	1	0	0	1
<i>Pseudoophonus griseus</i> Panzer, 1796	1	0	0	1
<i>Pseudoophonus rufipes</i> DeGeer, 1774	0	0	1	1
<i>Pterostichus nigrata</i> Paykull, 1790	0	16	2	18
<i>Scarites buparius</i> Forster, 1771	12	16	0	28
<i>Scarites laevigatus</i> Fabricius, 1792	18	32	0	50
<i>Siagona dejeani</i> Rambur, 1837	3	1	0	4
<i>Siagona europaea</i> Dejean, 1826	1	1	0	2
<i>Stenolophus abdominalis</i> Gené, 1836	0	11	1	12
<i>Stenolophus mixtus</i> Herbst, 1784	0	29	5	34
<i>Stenolophus skrimshiranus</i> Stephens, 1828	0	13	38	51
<i>Stenolophus teutonius</i> Schrank, 1781	0	59	10	69
<i>Syntomus foveatus</i> Geoffroy in Fourcroy, 1785	0	2	0	2
<i>Syntomus fuscomaculatus</i> Motschulsky, 1844	0	1	0	1
<i>Tachys bistriatus</i> Duftschmid, 1812	0	1	0	1
<i>Tachys cardioderus</i> Chaudoir, 1850	0	5	0	5
<i>Tachys micros</i> Fischer von Waldheim, 1828	0	1	0	1
<i>Tachys scutellaris</i> Stephens, 1828	0	14	0	14
<i>Trechus quadristriatus</i> Schrank, 1781	0	8	0	8
<i>Trechus rufulus</i> Dejean, 1831	0	6	0	6

## Annexe 5 : La taille des Carabidae du lac Tonga

Taxon	Taille	Taxon	Taille
<i>Acupalpus brunnipes</i> Sturm, 1825	4	<i>Elaphropus globulus</i> Dejean, 1831	12
<i>Acupalpus elegans</i> Dejean, 1829	4	<i>Elaphropus grandicollis</i> Chaudoir, 1846	9
<i>Acupalpus maculatus</i> Schaum, 1860	3,5	<i>Harpalus cupreus</i> Dejean, 1829	10,5
<i>Agonum marginatum</i> Linnaeus, 1758	8	<i>Harpalus distinguendus</i> Duftschmid, 1812	12
<i>Agonum muelleri</i> Herbst, 1784	8,5	<i>Harpalus fuscicornis</i> Ménétriés, 1832	9,5
<i>Agonum nigrum</i> Dejean, 1828	8	<i>Harpalus lethierryi</i> Reiche, 1860	10
<i>Agonum numidicum</i> Lucas, 1846	7,5	<i>Harpalus oblitus</i> Dejean, 1829	10
<i>Agonum viridicupreum fulgidicolle</i> Erichson, 1841	8	<i>Harpalus punctatostratus</i> Dejean, 1829	3
<i>Agonum viridicupreum</i> Goeze, 1777	9,5	<i>Harpalus rubripes</i> (Duftschmid, 1812)	2,6
<i>Amara aenea</i> De Geer, 1774	8	<i>Microlestes abeillei</i> Brisout de Barneville, 1885	11
<i>Amblystomus metallescens</i> Dejean, 1829	4	<i>Microlestes corticalis</i> L. Dufour, 1820	5
<i>Anisodactylus binotatus</i> Fabricius, 1787	12	<i>Nebria andalusia</i> Rambur, 1837	5,5
<i>Anisodactylus signatus</i> Panzer, 1796		<i>Ocys harpaloides</i> Audinet-Serville, 1821	6
<i>Anthracus flavipennis</i> Lucas, 1846	5	<i>Olisthopus fuscatus</i> Dejean, 1828	8,5
<i>Apotomus rufus</i> P. Rossi, 1790	5	<i>Olisthopus glabricollis</i> Germar, 1817	12
<i>Asaphidion stierlini</i> Heyden, 1880	4,9	<i>Oodes helopoides</i> Fabricius, 1792	16,5
<i>Badister collaris</i> Motschulsky, 1844	5,2	<i>Ophonus rotundicollis</i> Fairmaire & Labouldène, 1854	7
<i>Bembidion (Philochthus) iricolor</i> Bedel, 1879	3,9	<i>Percus lineatus</i> Solier, 1835	12
<i>Bembidion (Phyla) obtusum</i> Audinet-Serville, 1821	3,9	<i>Platytarus faminii</i> Dejean, 1826	14
<i>Bembidion (Phyla) tethys</i> Netolitzky, 1926	3,9	<i>Poecilus cupreus</i> Linnaeus, 1758	13
<i>Bembidion axillare</i> Motschulsky, 1844	3,9	<i>Poecilus cursorius</i> Dejean, 1828	3
<i>Bembidion quadripustulatum</i> Audinet-Serville, 1821	3,9	<i>Poecilus purpurascens</i>	11,5
<i>Brachinus (Brachinus) plagiatus</i> Reiche, 1868	6,5	<i>Pogonus littoralis</i> Duftschmid, 1812	13
<i>Brachinus exhalans</i> P. Rossi, 1792	9,5	<i>Pseudoophonus griseus</i> Panzer, 1796	17
<i>Brachinus humeralis</i> Ahrens, 1812	9	<i>Pseudoophonus rufipes</i> DeGeer, 1774	23
<i>Brachinus immaculicornis</i> Dejean, 1826	8,5	<i>Pterostichus nigrita</i> Paykull, 1790	18
<i>Brachinus sclopeta</i> Fabricius, 1792	6,5	<i>Scarites buparius</i> Forster, 1771	17
<i>Bradycellus harpalinus</i> Audinet-Serville, 1821	4	<i>Scarites laevigatus</i> Fabricius, 1792	12
<i>Calathus circumseptus</i> Germar, 1823	11	<i>Siagona dejeani</i> Rambur, 1837	6
<i>Carabus (Eurycarabus) faminii</i> Dejean, 1826	13,5	<i>Siagona europaea</i> Dejean, 1826	5,8
<i>Carabus (Macrothorax) morbillosus</i> Fabricius, 1792	29	<i>Stenolophus abdominalis</i> Gené, 1836	5,5
<i>Carterus rotundicollis</i> Rambur, 1837	28	<i>Stenolophus mixtus</i> Herbst, 1784	5,8
<i>Chlaenius aeratus</i> Quensel, 1806	9	<i>Stenolophus skrimshiranus</i> Stephens, 1828	3,3
<i>Chlaenius circumscriptus</i> Duftschmid, 1812	18	<i>Stenolophus teutonius</i> Schrank, 1781	3,4
<i>Chlaenius olivieri</i> Crotch, 1871	23	<i>Syntomus foveatus</i> Geoffroy in Fourcroy, 1785	3,5
<i>Chlaenius spoliatus</i> Rossi, 1792	12	<i>Syntomus fuscomaculatus</i> Motschulsky, 1844	4
<i>Chlaenius velutinus</i> Duftschmid, 1812	14	<i>Tachys bistriatus</i> Duftschmid, 1812	4
<i>Cicindela (Calomera) lunulata</i> Fabricius, 1781	17	<i>Tachys cardioderus</i> Chaudoir, 1850	4
<i>Cicindela campestris atlantis</i> Mandl, 1944	15	<i>Tachys micros</i> Fischer von Waldheim, 1828	3,5
<i>Drypta distincta</i> P. Rossi, 1792	9	<i>Tachys scutellaris</i> Stephens, 1828	4
<i>Dyschirius chalceus</i> Erichson, 1837	4	<i>Trechus quadristriatus</i> Schrank, 1781	5
		<i>Trechus rufulus</i> Dejean, 1831	4,3

## Annexe 6 : Mode de dispersion des Carabidae du lac Tonga

Taxon	Dispersion	Taxon	Dispersion
<i>Acupalpus brunnipes</i> Sturm, 1825	Macroptère	<i>Elaphropus globulus</i> Dejean, 1831	Macroptère
<i>Acupalpus elegans</i> Dejean, 1829	Macroptère	<i>Elaphropus grandicollis</i> Chaudoir, 1846	Macroptère
<i>Acupalpus maculatus</i> Schaum, 1860	Macroptère	<i>Harpalus cupreus</i> Dejean, 1829	Macroptère
<i>Agonum marginatum</i> Linnaeus, 1758	Macroptère	<i>Harpalus distinguendus</i> Duftschmid, 1812	Macroptère
<i>Agonum muelleri</i> Herbst, 1784	Macroptère	<i>Harpalus fuscicornis</i> Ménétriés, 1832	Macroptère
<i>Agonum nigrum</i> Dejean, 1828	Macroptère	<i>Harpalus lethierryi</i> Reiche, 1860	Macroptère
<i>Agonum numidicum</i> Lucas, 1846	Macroptère	<i>Harpalus oblitus</i> Dejean, 1829	Macroptère
<i>Agonum viridicupreum fulgidicolle</i> Erichson, 1841	Macroptère	<i>Harpalus punctatostratus</i> Dejean, 1829	Macroptère
<i>Agonum viridicupreum</i> Goeze, 1777	Macroptère	<i>Harpalus rubripes</i> (Duftschmid, 1812)	Macroptère
<i>Amara aenea</i> De Geer, 1774	Macroptère	<i>Microlestes abeillei</i> Brisout de Barneville, 1885	Macroptère
<i>Amblystomus metallescens</i> Dejean, 1829	Macroptère	<i>Microlestes corticalis</i> L. Dufour, 1820	Macroptère
<i>Anisodactylus binotatus</i> Fabricius, 1787	Macroptère	<i>Nebria andalusia</i> Rambur, 1837	Macroptère
<i>Anisodactylus signatus</i> Panzer, 1796	Macroptère	<i>Ocys harpaloides</i> Audinet-Serville, 1821	Macroptère
<i>Anthracus flavipennis</i> Lucas, 1846	Macroptère	<i>Olisthopus fuscatus</i> Dejean, 1828	Macroptère
<i>Apotomus rufus</i> P. Rossi, 1790	Macroptère	<i>Olisthopus glabricollis</i> Germar, 1817	Macroptère
<i>Asaphidion stierlini</i> Heyden, 1880	Macroptère	<i>Oodes helopioides</i> Fabricius, 1792	Macroptère
<i>Badister collaris</i> Motschulsky, 1844	Macroptère	<i>Ophonus rotundicollis</i> Fairmaire & Laboulbène, 1854	Macroptère
<i>Bembidion (Philochthus) iricolor</i> Bedel, 1879	Macroptère	<i>Percus lineatus</i> Solier, 1835	Macroptère
<i>Bembidion (Phyla) obtusum</i> Audinet-Serville, 1821	Macroptère	<i>Platytarus faminii</i> Dejean, 1826	Macroptère
<i>Bembidion (Phyla) tethys</i> Netolitzky, 1926	Macroptère	<i>Poecilus cupreus</i> Linnaeus, 1758	Macroptère
<i>Bembidion axillare</i> Motschulsky, 1844	Macroptère	<i>Poecilus cursorius</i> Dejean, 1828	Macroptère
<i>Bembidion quadripustulatum</i> Audinet-Serville, 1821	Macroptère	<i>Poecilus purpurascens</i>	Macroptère
<i>Brachinus (Brachinus) plagiatu</i> Reiche, 1868	Macroptère	<i>Pogonus littoralis</i> Duftschmid, 1812	Macroptère
<i>Brachinus exhalans</i> P. Rossi, 1792	Macroptère	<i>Pseudoophonus griseus</i> Panzer, 1796	Macroptère
<i>Brachinus humeralis</i> Ahrens, 1812	Macroptère	<i>Pseudoophonus rufipes</i> DeGeer, 1774	Macroptère
<i>Brachinus immaculicornis</i> Dejean, 1826	Macroptère	<i>Pterostichus nigrata</i> Paykull, 1790	Macroptère
<i>Brachinus sclopeta</i> Fabricius, 1792	Macroptère	<i>Scarites buparius</i> Forster, 1771	Macroptère
<i>Bradycellus harpalinus</i> Audinet-Serville, 1821	Macroptère	<i>Scarites laevigatus</i> Fabricius, 1792	Macroptère
<i>Calathus circumseptus</i> Germar, 1823	Macroptère	<i>Siagona dejeani</i> Rambur, 1837	Macroptère
<i>Carabus (Eurycarabus) faminii</i> Dejean, 1826	Macroptère	<i>Siagona europaea</i> Dejean, 1826	Macroptère
<i>Carabus (Macrothorax) morbillosus</i> Fabricius, 1792	Brachyptère	<i>Stenolophus abdominalis</i> Gené, 1836	Macroptère
<i>Carterus rotundicollis</i> Rambur, 1837	Brachyptère	<i>Stenolophus mixtus</i> Herbst, 1784	Macroptère
<i>Chlaenius aeratus</i> Quensel, 1806	Macroptère	<i>Stenolophus skrimshiranus</i> Stephens, 1828	Brachyptère
<i>Chlaenius circumscriptus</i> Duftschmid, 1812	Macroptère	<i>Stenolophus teutonius</i> Schrank, 1781	Brachyptère
<i>Chlaenius olivieri</i> Crotch, 1871	Macroptère	<i>Syntomus foveatus</i> Geoffroy in Fourcroy, 1785	Macroptère
<i>Chlaenius spoliatus</i> Rossi, 1792	Macroptère	<i>Syntomus fuscomaculatus</i> Motschulsky, 1844	Macroptère
<i>Chlaenius velutinus</i> Duftschmid, 1812	Macroptère	<i>Tachys bistriatus</i> Duftschmid, 1812	Macroptère
<i>Cicindela (Calomera) lumulata</i> Fabricius, 1781	Macroptère	<i>Tachys cardioderus</i> Chaudoir, 1850	Macroptère
<i>Cicindela campestris atlantis</i> Mandl, 1944	Macroptère	<i>Tachys micros</i> Fischer von Waldheim, 1828	Macroptère
<i>Drypta distincta</i> P. Rossi, 1792	Macroptère	<i>Tachys scutellaris</i> Stephens, 1828	Macroptère
<i>Dyschirius chalceus</i> Erichson, 1837	Macroptère	<i>Trechus quadristriatus</i> Schrank, 1781	Brachyptère
		<i>Trechus rufulus</i> Dejean, 1831	Brachyptère

## Annexe 7 : Mode trophique des Carabidae du lac Tonga

Taxon	Régime	Taxon	Régime
<i>Acupalpus brunnipes</i> Sturm, 1825	Prédateur	<i>Elaphropus globulus</i> Dejean, 1831	Polyphage
<i>Acupalpus elegans</i> Dejean, 1829	Prédateur	<i>Elaphropus grandicollis</i> Chaudoir, 1846	Polyphage
<i>Acupalpus maculatus</i> Schaum, 1860	Prédateur	<i>Harpalus cupreus</i> Dejean, 1829	Polyphage
<i>Agonum marginatum</i> Linnaeus, 1758	Prédateur	<i>Harpalus distinguendus</i> Duftschmid, 1812	Polyphage
<i>Agonum muelleri</i> Herbst, 1784	Prédateur	<i>Harpalus fuscicornis</i> Ménétriés, 1832	Polyphage
<i>Agonum nigrum</i> Dejean, 1828	Prédateur	<i>Harpalus lethierryi</i> Reiche, 1860	Polyphage
<i>Agonum numidicum</i> Lucas, 1846	Polyphage	<i>Harpalus oblitus</i> Dejean, 1829	Polyphage
<i>Agonum viridicupreum fulgidicollis</i> Erichson, 1841	Prédateur	<i>Harpalus punctatostriatus</i> Dejean, 1829	Prédateur
<i>Agonum viridicupreum</i> Goeze, 1777	Prédateur	<i>Harpalus rubripes</i> (Duftschmid, 1812)	Prédateur
<i>Amara aenea</i> De Geer, 1774	Polyphage	<i>Microlestes abeillei</i> Brisout de Barneville, 1885	Prédateur
<i>Amblystomus metallescens</i> Dejean, 1829	Polyphage	<i>Microlestes corticalis</i> L. Dufour, 1820	Polyphage
<i>Anisodactylus binotatus</i> Fabricius, 1787	Polyphage	<i>Nebria andalusia</i> Rambur, 1837	Prédateur
<i>Anisodactylus signatus</i> Panzer, 1796	Polyphage	<i>Ocys harpaloides</i> Audinet-Serville, 1821	Prédateur
<i>Anthracus flavipennis</i> Lucas, 1846	Polyphage	<i>Olisthopus fuscatus</i> Dejean, 1828	Polyphage
<i>Apotomus rufus</i> P. Rossi, 1790	Polyphage	<i>Olisthopus glabricollis</i> Germar, 1817	Phytophage
<i>Asaphidion stierlini</i> Heyden, 1880	Polyphage	<i>Oodes helopioides</i> Fabricius, 1792	Prédateur
<i>Badister collaris</i> Motschulsky, 1844	Prédateur	<i>Ophonus rotundicollis</i> Fairmaire & Laboulbène, 1854	Polyphage
<i>Bembidion (Philochthus) iricolor</i> Bedel, 1879	Prédateur	<i>Percus lineatus</i> Solier, 1835	Polyphage
<i>Bembidion (Phyla) obtusum</i> Audinet-Serville, 1821	Prédateur	<i>Platytarus faminii</i> Dejean, 1826	Polyphage
<i>Bembidion (Phyla) tethys</i> Netolitzky, 1926	Prédateur	<i>Poecilus cupreus</i> Linnaeus, 1758	Prédateur
<i>Bembidion axillare</i> Motschulsky, 1844	Prédateur	<i>Poecilus cursorius</i> Dejean, 1828	Polyphage
<i>Bembidion quadripustulatum</i> Audinet-Serville, 1821	Prédateur	<i>Poecilus purpurascens</i>	Phytophage
<i>Brachinus (Brachinus) plagiatus</i> Reiche, 1868	Prédateur	<i>Pogonus littoralis</i> Duftschmid, 1812	Phytophage
<i>Brachinus exhalans</i> P. Rossi, 1792	Prédateur	<i>Pseudoophonus griseus</i> Panzer, 1796	Prédateur
<i>Brachinus humeralis</i> Ahrens, 1812	Prédateur	<i>Pseudoophonus rufipes</i> DeGeer, 1774	Prédateur
<i>Brachinus immaculicornis</i> Dejean, 1826	Prédateur	<i>Pterostichus nigrata</i> Paykull, 1790	Prédateur
<i>Brachinus sclopetata</i> Fabricius, 1792	Polyphage	<i>Scarites buparius</i> Forster, 1771	Prédateur
<i>Bradycellus harpalinus</i> Audinet-Serville, 1821	Polyphage	<i>Scarites laevigatus</i> Fabricius, 1792	Prédateur
<i>Calathus circumseptus</i> Germar, 1823	Prédateur	<i>Siagona dejeani</i> Rambur, 1837	Polyphage
<i>Carabus (Eurycarabus) faminii</i> Dejean, 1826	Prédateur	<i>Siagona europaea</i> Dejean, 1826	Polyphage
<i>Carabus (Macrothorax) morbillosus</i> Fabricius, 1792	Prédateur	<i>Stenolophus abdominalis</i> Gené, 1836	Polyphage
<i>Carterus rotundicollis</i> Rambur, 1837	Prédateur	<i>Stenolophus mixtus</i> Herbst, 1784	Polyphage
<i>Chlaenius aeratus</i> Quensel, 1806	Phytophage	<i>Stenolophus skrimshiranus</i> Stephens, 1828	Polyphage
<i>Chlaenius circumscriptus</i> Duftschmid, 1812	Prédateur	<i>Stenolophus teutonius</i> Schrank, 1781	Polyphage
<i>Chlaenius olivieri</i> Crotch, 1871	Prédateur	<i>Syntomus foveatus</i> Geoffroy in Fourcroy, 1785	Polyphage
<i>Chlaenius spoliatus</i> Rossi, 1792	Prédateur	<i>Syntomus fuscomaculatus</i> Motschulsky, 1844	Polyphage
<i>Chlaenius velutinus</i> Duftschmid, 1812	Prédateur	<i>Tachys bistriatus</i> Duftschmid, 1812	Polyphage
<i>Cicindela (Calomera) lunulata</i> Fabricius, 1781	Prédateur	<i>Tachys cardioderus</i> Chaudoir, 1850	Polyphage
<i>Cicindela campestris atlantis</i> Mandl, 1944	Prédateur	<i>Tachys micros</i> Fischer von Waldheim, 1828	Polyphage
<i>Drypta distincta</i> P. Rossi, 1792	Polyphage	<i>Tachys scutellaris</i> Stephens, 1828	Polyphage
<i>Dyschirius chalceus</i> Erichson, 1837	Polyphage	<i>Trechus quadristriatus</i> Schrank, 1781	Prédateur
		<i>Trechus rufulus</i> Dejean, 1831	Prédateur

## Annexe 8 : Exigence en humidité des Carabidae du lac Tonga

Taxon	Exigences en humidité	Taxon	Exigences en humidité
<i>Acupalpus brunnipes</i> Sturm, 1825	Hygrophile	<i>Elaphropus globulus</i> Dejean, 1831	Xérophile
<i>Acupalpus elegans</i> Dejean, 1829	Hygrophile	<i>Elaphropus grandicollis</i> Chaudoir, 1846	Xérophile
<i>Acupalpus maculatus</i> Schaum, 1860	Hygrophile	<i>Harpalus cupreus</i> Dejean, 1829	Xérophile
<i>Agonum marginatum</i> Linnaeus, 1758	Hygrophile	<i>Harpalus distinguendus</i> Duftschmid, 1812	Xérophile
<i>Agonum muelleri</i> Herbst, 1784	Hygrophile	<i>Harpalus fuscicornis</i> Ménétriés, 1832	Mésophile
<i>Agonum nigrum</i> Dejean, 1828	Mésophile	<i>Harpalus lethierryi</i> Reiche, 1860	Xérophile
<i>Agonum numidicum</i> Lucas, 1846	Hygrophile	<i>Harpalus oblitus</i> Dejean, 1829	Mésophile
<i>Agonum viridicupreum fulgidicollis</i> Erichson, 1841	Hygrophile	<i>Harpalus punctatostriatus</i> Dejean, 1829	Xérophile
<i>Agonum viridicupreum</i> Goeze, 1777	Hygrophile	<i>Harpalus rubripes</i> (Duftschmid, 1812)	Xérophile
<i>Amara aenea</i> De Geer, 1774	Mésophile	<i>Microlestes abeillei</i> Brisout de Barneville, 1885	Hygrophile
<i>Amblystomus metallescens</i> Dejean, 1829	Hygrophile	<i>Microlestes corticalis</i> L. Dufour, 1820	Hygrophile
<i>Anisodactylus binotatus</i> Fabricius, 1787	Mésophile	<i>Nebria andalusia</i> Rambur, 1837	Xérophile
<i>Anisodactylus signatus</i> Panzer, 1796	Hygrophile	<i>Ocys harpaloides</i> Audinet-Serville, 1821	Mésophile
<i>Anthracus flavipennis</i> Lucas, 1846	Hygrophile	<i>Olisthopus fuscatus</i> Dejean, 1828	Hygrophile
<i>Apotomus rufus</i> P. Rossi, 1790	Hygrophile	<i>Olisthopus glabricollis</i> Germar, 1817	Xérophile
<i>Asaphidion stierlini</i> Heyden, 1880	Hygrophile	<i>Oodes helopioides</i> Fabricius, 1792	Hygrophile
<i>Badister collaris</i> Motschulsky, 1844	Hygrophile	<i>Ophonus rotundicollis</i> Fairmaire & Laboulbène, 1854	Mésophile
<i>Bembidion (Philochthus) iricolor</i> Bedel, 1879	Hygrophile	<i>Percus lineatus</i> Solier, 1835	Mésophile
<i>Bembidion (Phyla) obtusum</i> Audinet-Serville, 1821	Mésophile	<i>Platytarus faminii</i> Dejean, 1826	Hygrophile
<i>Bembidion (Phyla) tethys</i> Netolitzky, 1926	Hygrophile	<i>Poecilus cupreus</i> Linnaeus, 1758	Hygrophile
<i>Bembidion axillare</i> Motschulsky, 1844	Hygrophile	<i>Poecilus cursorius</i> Dejean, 1828	Hygrophile
<i>Bembidion quadripustulatum</i> Audinet-Serville, 1821	Hygrophile	<i>Poecilus purpurascens</i>	Hygrophile
<i>Brachinus (Brachinus) plagiatus</i> Reiche, 1868	Mésophile	<i>Pogonus littoralis</i> Duftschmid, 1812	Hygrophile
<i>Brachinus exhalans</i> P. Rossi, 1792	Mésophile	<i>Pseudoophonus griseus</i> Panzer, 1796	Hygrophile
<i>Brachinus humeralis</i> Ahrens, 1812	Hygrophile	<i>Pseudoophonus rufipes</i> DeGeer, 1774	Hygrophile
<i>Brachinus immaculicornis</i> Dejean, 1826	Mésophile	<i>Pterostichus nigrita</i> Paykull, 1790	Hygrophile
<i>Brachinus sclopeta</i> Fabricius, 1792	Mésophile	<i>Scarites buparius</i> Forster, 1771	Mésophile
<i>Bradycellus harpalinus</i> Audinet-Serville, 1821	Mésophile	<i>Scarites laevigatus</i> Fabricius, 1792	Mésophile
<i>Calathus circumseptus</i> Germar, 1823	Hygrophile	<i>Siagona dejeani</i> Rambur, 1837	Hygrophile
<i>Carabus (Eurycarabus) faminii</i> Dejean, 1826	Xérophile	<i>Siagona europaea</i> Dejean, 1826	Hygrophile
<i>Carabus (Macrothorax) morbillosus</i> Fabricius, 1792	Hygrophile	<i>Stenolophus abdominalis</i> Gené, 1836	Hygrophile
<i>Carterus rotundicollis</i> Rambur, 1837	Hygrophile	<i>Stenolophus mixtus</i> Herbst, 1784	Hygrophile
<i>Chlaenius aeratus</i> Quensel, 1806	Mésophile	<i>Stenolophus skrimshiranus</i> Stephens, 1828	Xérophile
<i>Chlaenius circumscriptus</i> Duftschmid, 1812	Hygrophile	<i>Stenolophus teutonius</i> Schrank, 1781	Xérophile
<i>Chlaenius olivieri</i> Crotch, 1871	Hygrophile	<i>Syntomus foveatus</i> Geoffroy in Fourcroy, 1785	Hygrophile
<i>Chlaenius spoliatus</i> Rossi, 1792	Hygrophile	<i>Syntomus fuscomaculatus</i> Motschulsky, 1844	Hygrophile
<i>Chlaenius velutinus</i> Duftschmid, 1812	Hygrophile	<i>Tachys bistriatus</i> Duftschmid, 1812	Hygrophile
<i>Cicindela (Calomera) lunulata</i> Fabricius, 1781	Hygrophile	<i>Tachys cardioderus</i> Chaudoir, 1850	Hygrophile
<i>Cicindela campestris atlantis</i> Mandl, 1944	Xérophile	<i>Tachys micros</i> Fischer von Waldheim, 1828	Hygrophile
<i>Drypta distincta</i> P. Rossi, 1792	Hygrophile	<i>Tachys scutellaris</i> Stephens, 1828	Hygrophile
<i>Dyschirius chalceus</i> Erichson, 1837	Hygrophile	<i>Trechus quadristriatus</i> Schrank, 1781	Mésophile
		<i>Trechus rufulus</i> Dejean, 1831	Mésophile

# Coleoptera Carabidae Beetles of El-Kala National Park (north-eastern Algeria)

Med Takieddine Iboud<sup>1</sup>, Samira Boukli Hacene<sup>1</sup> & Philippe Pone<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de valorisation des actions de l'homme pour la protection de l'environnement et application en santé publique, Université de Tlemcen. BP 119 13000 Algérie; e-mail: takio\_iboud@yahoo.fr - samira.bouali@univ-tlemcen.dz

<sup>2</sup>Mediterranean Institute of Biodiversity and Marine and Continental Ecology (IMBE), Aix Marseille Université, Avignon Université, CNRS, IRD, Technopôle Arbois-Méditerranée, Bât. Villemin, BP 80, F-13545 Aix-En-Provence cedex 04, France; e-mail: philippe.ponel@imbe.fr

\*Corresponding author, e-mail: takio\_iboud@yahoo.fr

---

## ABSTRACT

The family Carabidae (Coleoptera) is one of the most diverse among beetles, but they are little studied in Algeria and, in particular, in the territory of El-Kala National Park. Therefore, a census of carabid communities with fortnightly trapping was carried out between 2018 and 2019 with the aim of analysing these populations around Lake Tonga, the first Algerian site to be classified as a Ramsar site and included in the Mediterranean Basin hotspot. These investigations have enabled us to record 1727 specimens belonging to 83 species of Carabidae. Six species are new to the Algerian entomofauna and six others are reported for the first time in North Africa.

## KEY WORDS

Ground beetles; Ramsar wetlands; Algeria; El-Kala National Park; diversity.

Received 01.10.2022; accepted 30.03.2023; published online 30.05.2023

---

## INTRODUCTION

Lakes and wetlands cover a total of 16.7 millions km<sup>2</sup> worldwide, and wetlands are among the most productive environments on the Planet. They are habitats of high biological diversity and host more than 40% of the world's animal species (Mitra et al., 2003).

Algeria joined the Ramsar Convention in 1983 by designating the first two sites, Lake Tonga and Lake Oubeira, which are also integral reservoirs of El Kala National Park, classified as a 'Biosphere Reserve' by UNESCO under the 'Man and Biosphere' program in 1990. There are now 50 Ramsar-listed wetlands in Algeria (Balla, 2012).

The Lake Tonga Ramsar site is the most important wetland in North Africa (Samraoui & De Be-

lair, 1998). Included in the Mediterranean basin hotspot, the wetlands of the entire coastal Numidia host an important and original set of Algerian flora (Véla & Benhouhou, 2007).

The beetles that inhabit this territory are particularly useful as bioindicators by responding strongly to changes in the conditions of their habitats (Rainio & Niemelä, 2003). The family Carabidae is one of the best known and most studied groups of beetles in the world and inhabits most terrestrial habitats (Arndt, 2005). Currently, about 38,600 species of Carabidae have been recorded worldwide and an estimated 100 new species are discovered each year (Lorenz, 2005).

This family is well known in some North African countries, particularly in Morocco (Antoine, 1955–1962; Chavanon & Mahboub, 1998), in Tu-

nesia thanks to the investigations of Normand (1933) and more recently of Ghanem et al. (2016, 2017). In Algeria, the Carabidae were studied in the past by Bedel (1895-1914), more recently by Pupier (2005), Ouchtati et al. (2012), Saouache et al. (2014), Chenchouni et al. (2015), Matallah et al. (2016), Daas et al. (2016) and Amri et al. (2019).

The Coleoptera of wetlands in Algeria remain little studied with the exception of a few general works on this order of insects (Boukli-Hacene et al., 2010, 2012, 2014, Bouregba et al., 2020). Among the works targeting the Carabidae of wetlands, we should mention the recent articles by Chenchouni et al. (2015) on the Djendli sebkha in Batna (western Algeria), Matallah et al. (2016) on the wetland of Dayet El Ferd, a Ramsar site, Daas et al. (2016) and Amri et al. (2019) on the Chott Tinsilt.

Despite the special protected status of Lake Tonga (strict reserve, Ramsar site and MAB), it remains under threat with various environmental changes. Furthermore, it is losing large amounts of water through agricultural use and high evapotranspiration. This will inevitably lead to a change in the animal and plant composition of the lake and a reduction in its biological richness in general and of the Coleoptera in particular, and specifically the Carabidae.

The objectives of the present study are to understand the composition of the Carabidae populations living in Lake Tonga, to define their systematic, biogeographical and ecological characteristics.

## MATERIAL AND METHODS

### Study area

Lake Tonga ( $36^{\circ} 53' N$  and  $8^{\circ} 31' E$ ) is located between the town of El-Kala (Fig. 1) and the Algerian-Tunisian border. The region is characterised by a sub-humid climate with an annual rainfall of 685 mm and an average annual temperature of  $18.3^{\circ} C$ . It is a palustrine freshwater lake, connected to the Mediterranean Sea by an artificial canal, the Messida Canal (Bakaria, 2002). Its catchment area covers 15,000 ha, including 2,800 ha for the lake basin alone (Samraoui & De Belair, 1998; Kadid et al., 2007; Samraoui & Samraoui, 2008).

The abundant aquatic vegetation plays a major role in the distribution of waterbird species, and is mainly composed of patches of *Typha angustifolia*, *Iris pseudoacorus*, *Scirpus lacustris*, *Scirpus maritimus*, *Phragmites australis*, *Salix pedicellata* and

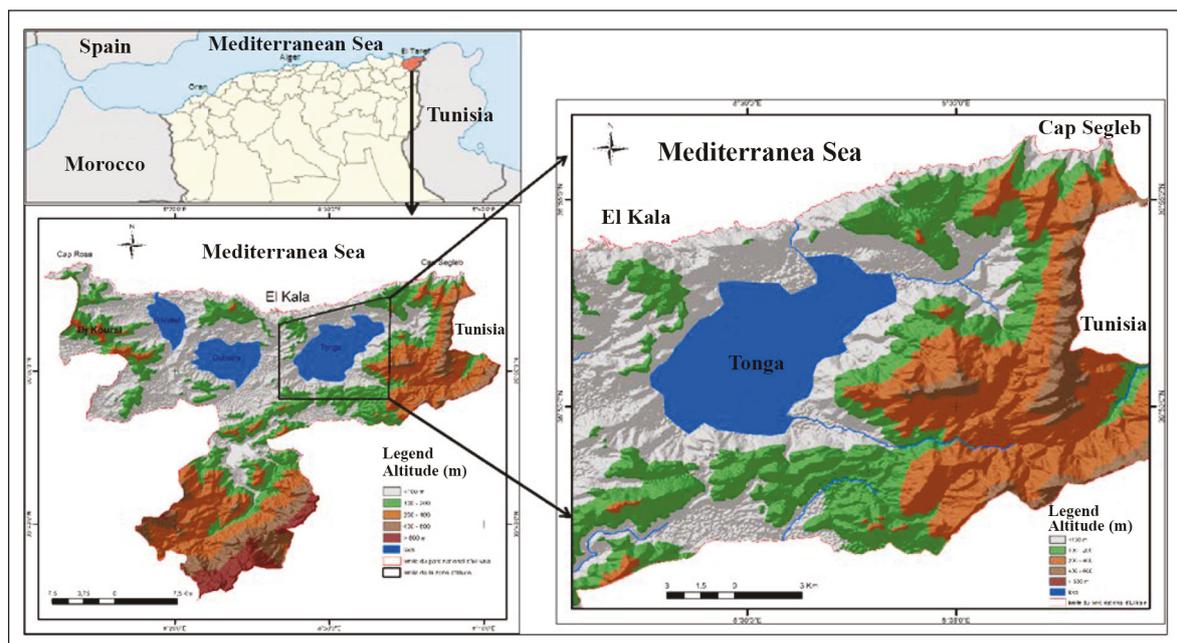


Figure 1. Study area: geographical location of Lake Tonga (Algeria).

*Sparganium erectum*. In spring, *Nymphaea alba* flowers abundantly and is a very invasive hydrophyte in open water areas (Abbaci, 1999).

**Sampling protocol**

Between March 2018 and December 2019, Carabidae were collected using systematic line sampling along two parallel transects 50 m apart. In each transect 15 pitfall traps separated by 10 m were buried at ground level. All traps were placed in the respective plots at a minimum distance of 15 m from the lake shore.

Carabidae were captured within a 2 m<sup>2</sup> square indirectly using “Barber traps”, buried pots with the top of the trap flush with the soil surface, intercepting the ground-dwelling insects, and directly with a mouth aspirator. Three vegetation belts in each transect were identified, in each belt fauna was collected every fortnight during the study period, in 5 sampling points in each vegetation belt.

Carabidae species were inventoried and identified mainly by consulting the works of Bedel (1895), Du Chatenet (2005), specialist literature and then confirmed by Riccardo Sciaky (Italy).

Based on Euclidean distances and using Minitab16 software, a bottom-up hierarchical analysis was performed on the species absence distribution matrix in Lake Tonga.

**RESULTS**

The species composition of the Carabidae beetle community of Lake Tonga is given in Table 1. A total of 83 species (1727 specimens) of Carabidae were inventoried and identified. According to the Catalogue of Palaearctic Coleoptera (Löbl & Smetana., 2003), six species are new to the North African fauna: *Agonum muelleri*, *Harpalus rubripes*, *Poecilus cupreus*, *Poecilus cursorius*, *Anisodactylus signatus* and *Dyschirus chaldeus*. In addition, six other species have never been recorded in Algeria: *Harpalus cupreus*, *Badister collaris*, *Siagona dejeani*, *Olistophus fuscatus*, *Oodes helopioides* and *Asaphidion stierlini*.

From a biogeographical point of view, the stand consists of different species contingents. Figure 2 shows the proportions of the different distribution types. Cosmopolitan species with a wide distribu-

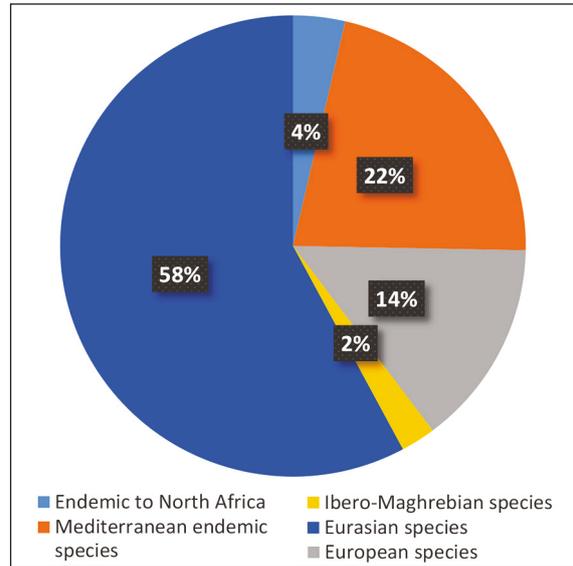


Figure 2. Biogeographic origin of the Carabidae community in Lake Tonga (Algeria).

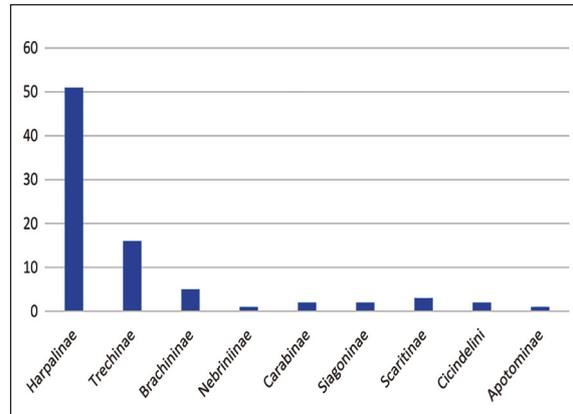


Figure 3. Subfamilies represented in the Carabidae community of Lake Tonga (Algeria).

tion in Europe and Asia are dominant with more than 58% of the total number of species, while Mediterranean species constitute 22% of the total population, followed by European species with 14%, then North African endemics and Ibero-Maghrebian species with 4% and 2%, respectively.

Our study resulted in the collection of 1727 specimens of which the vast majority (42%) belonged to only three species: *Percus lineatus*, *Chlaenius velutinus* and *Nebria andalusiaca* dominated the community studied (744 individuals) with 316, 289 and 139 individuals respectively.

Twenty-nine species (31%) of the total richness are represented by a single individual. Fourteen species are moderately represented with numbers of individuals varying between thirty and eighty specimens. These species account for a total of 656 individuals, i.e. 37% of the specimens collected. Nine subfamilies make up the entire fauna inventoried (Fig. 3). These are Harpalinae, Trechinae, Brachininae, Nebriniinae, Carabinae, Siagoninae, Scaritinae, Cicindelini and Apotominae. The nine subfamilies are represented by very different specific richness and abundance. The Harpalinae are the most diversified in terms of faunal composition with 51 species, i.e. nearly 61% of the total number, and with a clear dominance in terms of number of individuals with 1396 specimens recorded, i.e. 81% of the fauna. The Trechinae are in second place with sixteen species and a relatively small number of individuals (90). The Brachininae are represented by five species but these are less abundant (22 individuals), i.e. 1% of the total number. The subfamilies Scaritinae, Carabinae, Siagoninae and Cicindelini

have two species each. Apotominae and Nebriniinae are poorly represented (one species each) but Nebriniinae are quite dominant, accounting for 7% of the total number of Carabidae with 139 individuals.

A hierarchical ascending classification (HAC) carried out on a biogeographical distribution matrix of the 83 species inventoried made it possible to subdivide all the species sampled into two large groups according to the type of distribution of each species (Fig. 4).

The first group includes 61 species characterised by a wide to very wide distribution, reported throughout Europe and in some Asian countries. One example is *Harpalus cupreus*, which was first recorded in Algeria. This group can be divided into four subgroups according to their distribution.

The first subgroup SG1 includes species with a very wide distribution throughout Europe to Asia such as *Chlaenius velutinus* and *Amara aenea*. The second subgroup SG2 contains species with a wide distribution but which are absent in Asia such as *Agonum marginatum*. SG3 includes species which

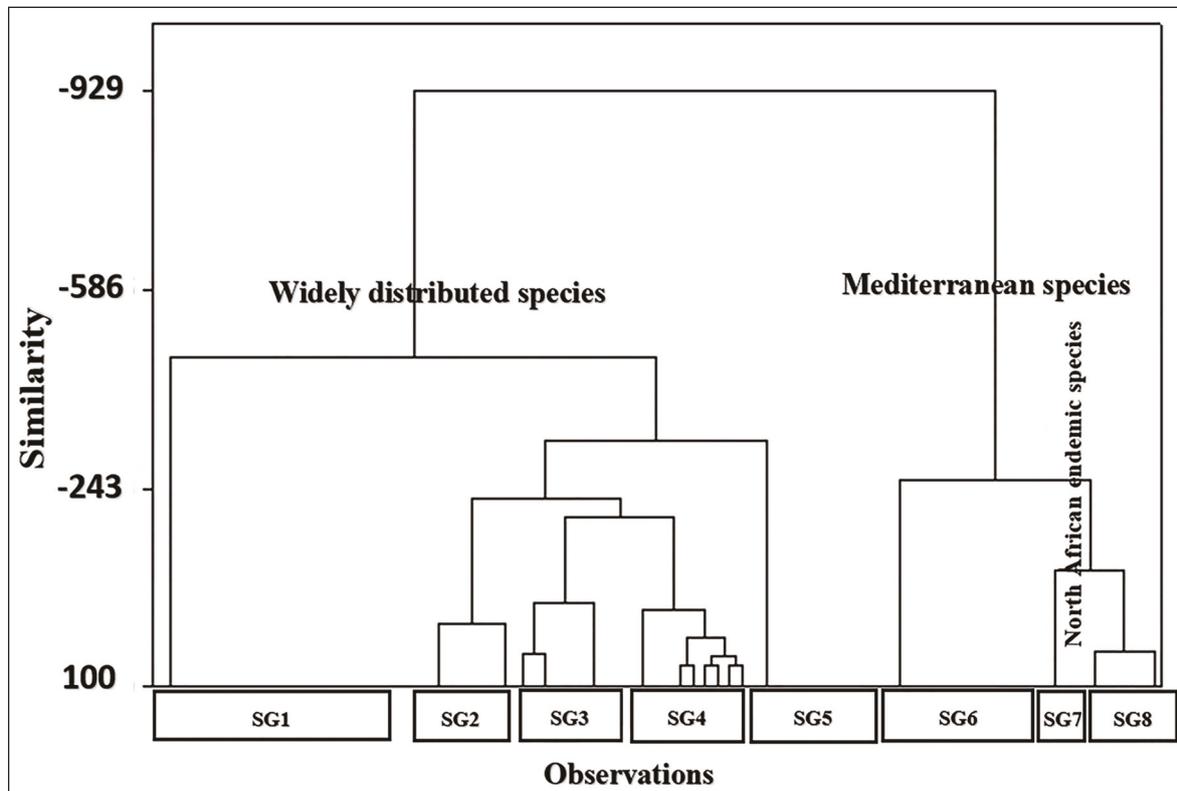


Figure 4. Dendrogram from the hierarchical clustering matrix of the biogeographic distribution of the Carabidae of Lake Tonga (Algeria).

Species	exx		
<i>Acupalpus brunnipes</i> (Sturm, 1825)	75	<i>Elaphropus globulus</i> (Dejean, 1831)	3
<i>Acupalpus elegans</i> (Dejean, 1829)	1	<i>Elaphropus grandicollis</i> (Chaudoir, 1846)	40
<i>Acupalpus maculatus</i> (Schaum, 1860)	51	<i>Harpalus cupreus</i> Dejean, 1829 **	2
<i>Agonum marginatum</i> (Linnaeus, 1758)	13	<i>Harpalus distinguendus</i> (Duftschmid, 1812)	1
<i>Agonum muelleri</i> (Herbst, 1784) ***	19	<i>Harpalus fuscicornis</i> Ménétrés, 1832	1
<i>Agonum nigrum</i> Dejean, 1828	19	<i>Harpalus lethierryi</i> Reiche, 1860 *	2
<i>Agonum numidicum</i> (Lucas, 1846)	5	<i>Harpalus oblitus</i> Dejean, 1829	21
<i>Agonum viridicupreum</i> (Goeze, 1777)	1	<i>Harpalus punctatostrigatus</i> Dejean, 1829	12
<i>Agonum viridicupreum fulgidicolle</i> (Erichson, 1841)*	1	<i>Harpalus rubripes</i> (Duftschmid, 1812) ***	2
<i>Amara aenea</i> (DeGeer, 1774)	41	<i>Microlestes abeillei</i> (Brisout de Barneville, 1885)	50
<i>Amblystomus metallescens</i> (Dejean, 1829)	2	<i>Microlestes corticalis</i> (L. Dufour, 1820)	2
<i>Anisodactylus binotatus</i> (Fabricius, 1787)	1	<i>Nebria andalusia</i> Rambur, 1837	139
<i>Anisodactylus signatus</i> (Panzer, 1796) ***	22	<i>Ocys harpaloides</i> (Audinet-Serville, 1821)	1
<i>Anthraxus flavipennis</i> (Lucas, 1846)	48	<i>Olisthopus fuscatus</i> Dejean, 1828 **	4
<i>Apotomus rufus</i> (P. Rossi, 1790)	8	<i>Olisthopus glabricollis</i> (Germar, 1817)	1
<i>Asaphidion stierlini</i> (Heyden, 1880) **	1	<i>Oodes helopioides</i> (Fabricius, 1792) **	1
<i>Badister collaris</i> Motschulsky, 1844**	2	<i>Ophonus ardosiacus</i> (Lutshnik, 1922)	2
<i>Bembidion (Philochthus) iricolor</i> Bedel, 1879 **	2	<i>Percus lineatus</i> (Solier, 1835)	319
<i>Bembidion (Phyla) obtusum</i> Audinet-Serville, 1821	1	<i>Platytarus faminii</i> (Dejean, 1826)	1
<i>Bembidion (Phyla) tethys</i> Netolitzky, 1926	1	<i>Poecilus cupreus</i> (Linnaeus, 1758) ***	6
<i>Bembidion axillare</i> (Motschulsky, 1844)	1	<i>Poecilus cursorius</i> (Dejean, 1828) ***	8
<i>Bembidion quadripustulatum</i> Audinet-Serville, 1821	4	<i>Poecilus purpurascens</i> (Dejean, 1828)	36
<i>Brachinus exhalans</i> (P. Rossi, 1792)	10	<i>Pogonus littoralis</i> (Duftschmid, 1812)	1
<i>Brachinus humeralis</i> Ahrens, 1812	7	<i>Pseudoophonus griseus</i> (Panzer, 1796)	1
<i>Brachinus immaculicornis</i> Dejean, 1826	2	<i>Pseudoophonus rufipes</i> (DeGeer, 1774)	1
<i>Brachinus plagiatus</i> Reiche, 1868	1	<i>Pterostichus nigrita</i> (Paykull, 1790)	16
<i>Brachinus sclopeta</i> (Fabricius, 1792)	2	<i>Scarites buparius</i> (Forster, 1771)	31
<i>Bradycellus harpalinus</i> (Audinet-Serville, 1821)	4	<i>Scarites laevigatus</i> Fabricius, 1792	40
<i>Calathus circumseptus</i> Germar, 1823	2	<i>Siagona dejeani</i> Rambur, 1837 **	4
<i>Carabus (Eurycarabus) faminii</i> Dejean, 1826 *	8	<i>Siagona europaea</i> Dejean, 1826	2
<i>Carabus (Macrothorax) morbillosus</i> Fabricius, 1792	1	<i>Stenolophus abdominalis</i> Gené, 1836	34
<i>Carterus rotundicollis</i> Rambur, 1837	4	<i>Stenolophus mixtus</i> (Herbst, 1784)	34
<i>Chlaenius aeratus</i> Quensel, 1806*	56	<i>Stenolophus skrimshiranus</i> Stephens, 1828	51
<i>Chlaenius circumscriptus</i> (Duftschmid, 1812)	1	<i>Stenolophus teutonius</i> (Schrank, 1781)	69
<i>Chlaenius olivieri</i> Crotch, 1871	15	<i>Syntomus foveatus</i> (Geoffroy in Fourcroy, 1785)	1
<i>Chlaenius spoliatus</i> (Rossi, 1792)	26	<i>Syntomus fuscomaculatus</i> (Motschulsky, 1844)	1
<i>Chlaenius velutinus</i> (Duftschmid, 1812)	288	<i>Tachys bistriatus</i> (Duftschmid, 1812)	1
<i>Cicindela (Calomera) lunulata</i> (Fabricius, 1781)	1	<i>Tachys cardioderus</i> Chaudoir, 1850	5
<i>Cicindela campestris atlantis</i> Mandl, 1944	1	<i>Tachys micros</i> (Fischer von Waldheim, 1828)	1
<i>Drypta distincta</i> (P. Rossi, 1792)	2	<i>Tachys scutellaris</i> Stephens, 1828	14
<i>Dyschirius chalceus</i> Erichson, 1837 ***	2	<i>Trechus quadristriatus</i> (Schrank, 1781)	8
		<i>Trechus rufulus</i> Dejean, 1831	6

Table 1. Carabidae of Lake Tonga. \*\*\*New species for North Africa. \*\*New species for Algeria. \*Endemic to North Africa.

are absent from Algeria and the Greater Maghreb such as *Agonum muelleri*, while the fourth subgroup SG4 includes species which are absent from at least two regions of the Palaearctic zone, namely *Brachinus immaculicornis*. The fifth subgroup SG5 corresponds to species with a wide distribution but all absent from northern Europe, such as *Siagona europaea*.

Twenty-three species are included in the second group. This group is subdivided into three subgroups according to their frequency of occurrence.

Subgroup SG6 consists of the Mediterranean species *Harpalus oblitus patruelis*. Another subgroup SG7 contains three species with a very limited distribution in North Africa. These are *Agonum fulgidicolle*, *Harpalus lethierryi* and *Chlaenius aeratus* (but the latter has probably been imported into France) and finally a last subgroup SG8 composed of Maghrebian species but which are also present in at least one southern European country. Typical representatives of this last subgroup are two Iberian-Maghrebi species *Siagona dejeani* and *Cicindela campestris atlantis*.

## DISCUSSION

The preliminary inventory of the Carabidae of Lake Tonga provided a comprehensive list of 83 species. From these observations, it is clear that Lake Tonga has a significant faunal capital, attesting to the high heritage value and biological richness of this wetland.

Although this site has not been subjected to detailed carabidological surveys apart from those of Ouchtati et al. (2012) and Daas (2016), which found 53 and 10 species of Carabidae respectively in Lake Tonga, our results are relatively important when compared to other inventories in other regions of eastern and western Algeria, North Africa and the Mediterranean basin. Amri et al., 2019 reported 42 species at Chott Tinsilt (Algeria), a similar richness to that highlighted by Boukli-Hacene et al. (2011) in the Tafna salt marshes in the west of the country. Saouache et al (2014) and Matallah et al. (2016) identified 55 species of Carabidae in eastern and western Algeria respectively.

Ghanem et al. (2017) reported 39 species in different localities in Tunisia, while 157 species were found by Chavanon & Mahboub (1998) in the river

mouth of the Moulouya in Morocco. Serrano et al. (2015) reported in the Balearic Islands 114 species against 105 species reported by Andujare et al. (2001) in the Cordovilla salt marsh, and 46 species in the Venice lagoon in Italy by Zanella & Scarton (2017).

The vast majority of species encountered (64) in Lake Tonga are represented by a rather small number of individuals, a similar observation reported by Amri et al. (2019), Boukli-Hacene et al. (2011) and Matallah et al. (2016), with the exception of three species *Percus lineatus*, *Chlaenius velutinus* and *Nebria andalusia*.

Biogeographically, the Carabidae of Lake Tonga are dominated by cosmopolitan species representing 72% of the overall community (60 species). The same findings were found by Matallah et al. (2016), Boukli-Hacene et al. (2011) and Amri et al. (2019) with respectively 57%, 55% and 41% of the overall fauna; while the population identified by Zanella & Scarton (2017) is dominated by more than 97% of cosmopolitan species

Mediterranean species represent more than 22% (23) of the carabid population, compared to 12 species identified by Matallah et al. (2016), 10 by Boukli-Hacene et al. (2011), 15 by Amri et al. (2019) and only one species by Zanella and Scarton in 2017.

The objective of this study was also to report the presence of seven species that have never been reported in Algeria before, *Harpalus cupreus*, *Bembidion iricolor*, *Badister collaris*, *Siagona dejeani*, *Oodes harpaloides*, *Asaphidion stierlini* and six species not yet explicitly mentioned in North Africa, to our knowledge, *Agonum muelleri*, *Harpalus rubripes*, *Poecilus cuprus*, *Poecilus cursorius*, *Anisodactylus signatus* and *Dyschirius chaldeus*.

Among this remarkable fauna, three species endemic to the Maghreb have been identified, *Chlaenius aeratus*, *Agonum fulgidicolle*, *Harpalus lethierryi* and two species that also occupy the Iberian peninsula and Morocco, *Cicindela campestris atlantis* and *Siagona dejeani*. We cannot neglect the other species, which have been well studied from an entomological point of view and are nevertheless witnesses to the richness of the entomological biodiversity of the lake.

Our main contribution allows us to integrate a new dimension to the carabidological biodiversity

of El-Kala National Park. In conclusion, the maintenance of these riches is mandatory and depends essentially on adequate, ecological and sustainable management and we aspire that this research will encourage measures to be taken in order to protect this wetland. This study is in progress; there are still observations to be made and perhaps other species new to the Algerian fauna to be listed. In this respect, the preservation of this wetland appears to be a major objective.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Special thanks to the Carabidae specialist Sciaky Riccardo (Italy) for his contribution to the determination of the species.

## REFERENCES

- Abbaci H., 1999. Ecologie du Lac Tonga: Cartographie de la végétation, Palynothèque et utilisation de l'espèce lacustre par l'avifaune. Thèse de magister. Université d'Annaba, 143 pp.
- Amri C., Neffar S., Ouchetati 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.
- Andujar C., Andujar T., Lencina J.L., Ruano L. & Serrano J., 2001. Los Carabidae (Insecta, Coleoptera) Del Saladar de Cordovilla (Albaceta). *Sabuco*, 2: 121–166.
- Antoine M., 1955. Coléoptères carabiques du Maroc. Première partie. Mémoires de la Société des Sciences Naturelles et Physiques du Maroc, N.S., 1: 1–177.
- Antoine M., 1957. Coléoptères carabiques du Maroc. Deuxième partie. Mémoires de la Société des Sciences Naturelles et Physiques du Maroc, N.S., 3: 179–314.
- Antoine M., 1959. Coléoptères carabiques du Maroc. Troisième partie. Mémoires de la Société des Sciences Naturelles et Physiques du Maroc, N.S., 6: 315–465.
- Antoine M., 1962. Coléoptères carabiques du Maroc. Cinquième partie. Mémoires de la Société des Sciences Naturelles et Physiques du Maroc, N.S., 9: 539–692.
- Arndt E., 2005. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as crown beetles in a Central European flood plain forest. In: Lövei G.L. & Toft S. (Eds.), *European Carabidology 2003*. Danish Institute of Agricultural Sciences, 114: 17–23.
- Bakaria F., 2002. Contribution à l'étude de la biologie de la reproduction de la population de Guifette moustac *Chlidonias hybridus hybridus* (Pallas, 1811) dans les zones humides du Nord-est algérien: Cas du lac Tonga. Thèse Magister. Université d'Annaba.
- Balla A., 2012. Synthèse écologique sur les zones humides algériennes d'importance internationale "Sites Ramsar". Engineer Dissertation, University of Batna, Batna, Algeria
- Bedel L., 1895–1914. Catalogue raisonné des Coléoptères du Nord de l'Afrique (Maroc, Algérie, Tunisie, et Tripolitaine) avec notes sur la faune des îles Canaries et de Madère. Société entomologique de France, Paris.
- Belhadid Z., Aberkane F. & Gahdeb C., 2014. Variability of ground beetle (Coleoptera - Carabidae) assemblages in Atlas Cedar of Algeria. *International Journal of Zoology*, 4: 71–78.
- 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.
- Chavanon G. & Mahboub M., 1998. Etudes sur la Basse Moulouya (Maroc oriental): 5. Les carabiques des berges du fleuve et de son affluent l'oued Za: corrections et additions. *L'Entomologiste*, 54: 119–127.
- Chenchouni H., Menasria T., Neffar S., Chafaa S., Bradai L., Chaibi R., Mekahlia M.N., Bendjoudi D. & Bachir A.S., 2015. Spatiotemporal diversity, structure and trophic guilds of insect assemblages in a semi-arid Sabkha ecosystem. *PeerJ Journals*, 3: 1–26. <https://doi.org/10.7717/peerj.860>.
- Daas H., Adjami Y., Ghanem R., Viñolas A., Ouakid M.L. & Tahraoui A., 2016. Inventaire des Coléoptères des subéraies du Nord-Est Algérien. *Turkish Journal of Forestry*, 17(Special Issue): 11–17. <https://doi.org/10.18182/tjf.10489>
- Du Chatenet G., 2005. Coléoptères d'Europe, Carabes, Carabiques et Dytiques. Tome 1. Adepaga. N.A.P. éditions.
- Ghannem S. & Boumaiza M., 2017. New Data of Ground Beetles (Coleoptera: Carabidae) in Tunisia. *Journal of the Entomological Research Society*, 19: 15–37.
- Kadid A., Gilles T., Gilles P. & Hacne A., 2007. Les communautés végétales aquatiques de la classe des *Potamogetea* du lac Tonga, El-Kala, Algérie, *Acta Botanica Gallica*, 154: 597–618. <https://doi.org/10.1080/12538078.2007.10516082>
- Löbl I. & Smetana, A., 2003. Catalogue of Palaearctic Coleoptera 1. Archostemata - Myxophaga - Adephaga. Apollo Books, Stenstrup.
- 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.

- Matallah R., Abdellaoui-Hassaine K., Ponel P. & Boukli-Hacene S., 2016. Diversity of ground beetles (Coleoptera Carabidae) in the Ramsar wetland: Dayet El Ferd, Tlemcen, Algeria. *Biodiversity Journal*, 7: 301–310.
- Mitra S., Wassmann R. & Vlek P.L.G., 2003. Global Inventory of Wetlands and Their Role in the Carbon Cycle; ZEF Discussion Papers on Development Policy; ZEF: Bonn, Germany, 2003; pp. 20–23.
- Normand H., 1933. Contribution au Catalogue des Coléoptères de la Tunisie. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, 24: 149–168.
- 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.
- Pupier R., 2005. Contribution au Catalogue des Coléoptères Carabiques d'Algérie. In: *Cahiers scientifiques du Muséum d'histoire naturelle de Lyon - Centre de conservation et d'étude des collections*, 9: 65–78.
- Rainio J. & Niemelä J., 2003. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity and Conservation*, 12: 487–506. <https://doi.org/10.1023/A:1022412617568>
- Samraoui B. & Belair G., 1998. Les zones humides de la Numidie orientale: bilan des connaissances et perspectives de gestion. *Synthèse (n.s.)*, 4: 1–90.
- 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.
- Vela E. & Benhouhou S., 2007. Évaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le Bassin méditerranéen (Afrique du Nord). *C.R. Biologies*, 330.
- 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.