

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAÏD - TLEMCCEN

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

Laboratoire de Gestion Conservatoire de l'Eau, Sol et Forêts



Département des Ressources Forestières

## **Thèse de Doctorat**

Présentée par

**GHOUGALI Fayssal**

En vue de l'obtention du Diplôme de  
Doctorat troisième cycle (LMD) en Foresterie

### **THÈME**

**Biodiversité et conservation des peuplements invertébrés des milieux aquatiques continentaux de la région des Aurès.**

*Soutenue le 08 Juillet 201ç devant le jury composé de :*

Président : Mr. MOSTEFAI Nouredine, Professeur à l'université de Tlemcen  
Rapporteur : Mr. SI BACHIR Abdelkrim, Professeur à l'Université Batna 2  
Examinatrice : Mme TALEB Amina, Professeur à l'Université de Tlemcen  
Examineur : Mr ARAB Abdeslem, Professeur à l'Université de BabEzouar - Alger  
Examineur : Mr SAMRAOUI Boudjema, Professeur à l'Université de Annaba

Année universitaire 2017-2018

*A*

*mon père*

## Remerciements



La réalisation d'une recherche scientifique est loin d'être le fruit du travail d'une seule personne. Ainsi, je tiens à remercier de tout cœur toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à mon travail.

Tout d'abord, je voudrais remercier mon directeur de thèse monsieur **Abdelkrim SI BACHIR**, Professeur à l'Université de Batna pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser cette thèse. Pour son encouragement et son conseil éternel, ainsi que pour son expérience et son soutien extraordinaires tout au long de mon doctorat. Merci pour la confiance qu'il a témoigné vis-à-vis de mon travail depuis le début. Merci aussi pour avoir su m'encourager et me conseiller chaque fois quand il le fallait.

Je suis profondément reconnaissant à **Abdelhak ROUABAH**, docteur à l'université de lorraine - Nancy pour ses conseils constructifs et ses points de vue critiques sur mon étude. Ses précieuses suggestions ont contribué à améliorer la qualité de cette étude et de ce manuscrit.

Mes remerciements sont exprimés agréablement à monsieur **Noureddine MOSTEFAI**, Professeur à l'Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen et responsable de ma formation doctorale « Ecologie et gestion conservatoire de la biodiversité continentale dans le bassin méditerranéen » d'avoir accepté d'honorer la présidence du jury, pour sa disponibilité, ces précieux conseils et ses encouragements. J'adresse mes vifs remerciements également aux professeurs, **Amina TALEB**, **Abdeslem ARAB** et **Boudjema SAMRAOUI**, d'avoir bien voulu examiner et évaluer mon travail.

Je tiens à remercier le doctorant **Chérif GHAZI** et le docteur **Abdelhak ROUABAH** pour leur aide et conseils dans l'analyse statistique des données. Je remercie l'administration du parc national Belezma (Batna) et monsieur **Abdelhak CHEHATI** (Conservation de la forêt de Bouhmama, Algérie) pour leur aide précieuse dans les déplacements et le travail de terrain.

Mes remerciements vont également aux responsables et personnel du laboratoire d'analyse de l'ADE (Laboratoires de l'Algérienne des eaux de Batna) pour m'avoir permis de réaliser les analyses physico-chimiques de l'eau et m'imprégner aux méthodes et techniques d'analyse de l'eau. Merci également aux stagiaires que j'ai co-encadrés et qui m'ont apporté leur aide précieuse durant ce travail : **Imen BRIK** et **Nassima CHABANE**.

Enfin, et bien entendu, un très grand merci à ma famille et mes amis pour leur soutien et encouragements dans les moments difficiles tout au long de ces années de thèse. Merci en particulier à mon épouse, je lui suis très reconnaissant pour sa patience et son soutien.

**Fayssal GHOUGALI**

## Table des matières

Remerciments

Dédicaces

ملخص

Résumé

Abstract

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des annexes

**Introduction ..... 1**

### **Chapitre I. Matériels et méthodes d'étude**

**1 Présentation générale de la zone d'étude ..... 7**

1.1 Géographie et Morphologie ..... 7

1.2 Limites géographiques ..... 7

1.3 Relief (Orographie) ..... 9

1.4 Réseau hydrographique ..... 9

1.5 Cadre géologique ..... 10

**2 Sites d'étude ..... 13**

2.1 Description générale du parc national de Belezma (PNB) ..... 13

2.2 Description générale du mont de Chélia ..... 14

**3 Caractérisation climatique et bioclimatique ..... 17**

3.1 Analyse des paramètres climatiques ..... 17

3.1.1 Températures ..... 17

3.1.2 Précipitations ..... 19

3.2 Gradients pluviothermiques ..... 20

3.2.1 Gradients thermiques ..... 20

3.2.2 Gradients pluviométriques ..... 20

3.3 Synthèse climatique ..... 21

3.3.1 Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls ..... 21

3.3.2 Quotient pluviothermique et Climagramme d'Emberger ..... 22

**4 Méthodes et techniques d'étude de terrain ..... 25**

4.1 Méthodes de caractérisation des conditions du milieu ..... 25

4.1.1 Choix et caractérisation des stations d'échantillonnage ..... 25

4.1.2	Méthode de caractérisation mésologiques des cours d'eau.....	28
4.1.3	Méthode d'étude de la qualité physico-chimique de l'eau.....	29
4.1.4	Méthode d'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques .....	31
4.1.5	Méthode de conservation, tri et identification des macro-invertébrés .....	32
4.1.6	Méthode de définition des traits d'histoire de vie .....	33
<b>5</b>	<b>Exploitation des données .....</b>	<b>36</b>
5.1	Méthodes de calcul des indices de structure et d'organisation.....	36
5.1.1	Fréquence en nombre (Abondance) .....	36
5.1.2	Indice d'occurrence :.....	36
5.1.3	Indice de similitude des peuplements (Indice de Sorensen) .....	37
5.2	Méthode de calcul des indices de diversité des peuplements.....	37
5.2.1	Richesse totale.....	37
5.2.2	Indice de Margalef .....	37
5.2.3	Indice de diversité de Berger-Parker .....	37
5.2.4	Indice de diversité de Shannon.....	38
5.2.5	Indice de Brillouin.....	38
5.3	Indice de diversité fonctionnelle.....	39
5.3.1	Indice de Pielou (Equirépartition des populations ou Equitabilité) .....	39
5.4	Groupes fonctionnels trophiques .....	39
5.5	Evaluation de la qualité biologique de l'eau .....	40
5.5.1	Indices de diversité des peuplements .....	40
5.5.2	Indice biologique globale normalisé IBGN .....	40
<b>6</b>	<b>Techniques d'analyse des données.....</b>	<b>42</b>
6.1	Analyse de variance unidirectionnelle et imbriquée (ANOVA) et tests post hoc .....	42
6.2	Modèles linéaires généralisés (GLM).....	42
6.3	Analyse de corrélation .....	43
6.4	Analyse de composante principale (ACP).....	43
6.5	Classification hiérarchique ascendante (CAH).....	43
6.6	Analyse factorielle des correspondances (AFC) .....	44
6.7	Analyse des correspondances (AC).....	44
6.8	Analyse de régression.....	45
6.9	Analyse de redondance (RDA).....	45
6.10	Analyse RLQ (Analyse simultanée des traits biologiques, des variables environnementales et de la composition taxonomique) .....	46

## Chapitre II. Résultats

<b>1</b>	<b>Facteurs environnementaux des oueds étudiés</b> .....	<b>47</b>
1.1	Vitesse du courant de l'eau et description des habitats disponibles dans les oueds étudiés.....	47
1.2	Qualité physico-chimique de l'eau des oueds étudiés .....	49
<b>2</b>	<b>Biodiversité des macro-invertébrés benthiques des cours d'eau de la région des Aurès</b> .....	<b>51</b>
2.1	Analyse globale de la faune .....	51
2.2	Inventaire global des macro-invertébrés recensés .....	52
2.3	Importance des différents ordres par station.....	55
2.3.1	Oligochètes .....	55
2.3.2	Achètes ou Hirudinées .....	55
2.3.3	Mollusques .....	56
2.3.4	Crustacés .....	56
2.3.5	Ephéméroptères .....	58
2.3.6	Plécoptères .....	58
2.3.7	Hétéroptères .....	60
2.3.8	Coléoptères.....	61
2.3.8	Trichoptères.....	63
2.3.10	Hyménoptères.....	64
2.3.11	Diptères .....	64
<b>3</b>	<b>Groupes fonctionnels trophiques</b> .....	<b>65</b>
<b>4</b>	<b>Structure et organisation des peuplements des macro-invertébrés benthiques</b> .....	<b>71</b>
4.1	Fréquences d'abondance des différents ordres d'invertébrés recensés .....	71
4.1.1	Le parc national de Belezma (PNB).....	71
4.1.2	Le mont de Chélia .....	73
4.2	Fréquences d'occurrence (constance) des populations de macro-invertébrés benthiques dans sept cours des Aurès. ....	73
4.3	Similitude entre la composition taxonomique des peuplements de macro- invertébrés benthiques dans sept cours d'eau des Aurès. ....	76
4.4	Evaluation de la biodiversité .....	76
4.5	Structure de la faune .....	79
4.5.1	Structure mésologique.....	79
4.5.2	Structure du peuplement dans les différents oueds .....	81
4.5.2.1	Oued Chaaba .....	81
4.5.2.2	Oued Bouilef.....	83
4.5.2.3	Oued El Ma .....	84

4.5.2.4	Oued Hamla .....	85
4.5.2.5	Oued Chelia .....	85
4.5.2.6	Oued Kimel .....	87
4.5.2.7	Oued Yabous .....	88
4.6	Evaluation de la qualité biologique des stations .....	90
<b>5</b>	<b>Impact des paramètres physico-chimiques de l'eau et de l'habitat sur les peuplements d'invertébrés benthiques</b> .....	<b>94</b>
5.1	Les Ephéméroptères .....	94
5.2	Les Plécoptères .....	95
5.3	Les Hétéroptères .....	96
5.4	Les Trichoptères .....	97
5.5	Les Hyménoptères .....	97
5.6	Les Coléoptères .....	98
5.7	Les Diptères .....	99
5.8	Les Oligochètes .....	100
5.9	Les Hirudinées .....	101
5.10	Les Pulmonés .....	102
5.11	L'arbre multivarié .....	103
<b>6</b>	<b>Etude du schéma de distribution des peuplements de macro-invertébrés en fonction des variables physico-chimiques et de l'habitat</b> .....	<b>105</b>
<b>7</b>	<b>Traits de vie</b> .....	<b>107</b>
7.1	Tableau environnemental (R) .....	108
7.2	Table faunistique (L) .....	108
7.3	Tableau des traits biologiques (Q) .....	109
7.4	Analyse simultanée des traits biologiques, des variables environnementales et de la composition taxonomique (RLQ) .....	113
<b>Chapitre III. Discussions</b>		
1	Facteurs environnementaux des cours d'eau étudiés .....	116
2	Biodiversité et structure des macro-invertébrés benthiques des cours d'eau de la région d'Aurès .....	118
3	Impact des paramètres physico-chimiques de l'eau et de l'habitat sur les peuplements d'invertébrés benthiques .....	122
4	Schéma de distribution des peuplements de macro-invertébrés en fonction des variables physico-chimiques et de l'habitat .....	124
5	Traits d'histoire de vie .....	125
<b>Conclusion</b> .....		<b>127</b>
<b>Référence bibliographiques</b> .....		<b>131</b>
<b>Annexes</b>		

## Résumé

La présente étude vise à étudier les connaissances sur la biodiversité des communautés de macro-invertébrés benthiques et leurs schémas de répartition dans les cours d'eau de la région de l'Aurès (nord-est de l'Algérie). Les schémas de répartition des communautés ont été analysés en relation avec certains facteurs environnementaux: paramètres physico-chimiques de l'eau et caractéristiques globales de l'habitat, y compris la pression humaine. Dans cette étude, nous avons exploré la variation de la richesse des taxons et de la structure communautaire des macro-invertébrés benthiques dans sept oueds (cours d'eau) situés dans l'étage bioclimatique semi-aride des Aurès. Au total, 33 sites ont été échantillonnés dans les différents oueds. Sur chacun des sept oueds échantillonnés, nous avons exploré trois stations en tenant compte des différents niveaux d'impact humain et de couverture de l'habitat. Ceux-ci comprenaient un total de 11 sites situés en zone agricoles, 6 en zone urbaines et 13 en zone forestières qui ont été sélectionnés pour permettre une comparaison entre les types de paysage. La faune recensée dans ce travail se compose de 2405 individus répartis en cinq grands groupes zoologiques (les Vers, les Mollusques, les Crustacés, les Arachnides et les Insectes), correspondant à 62 genres /taxons répartis sur 12 ordres et 42 familles différentes. Les plus diversifiés sont les Coléoptères (18 taxons) et les Diptères (14 taxons) alors que les Diptères, les Trichoptères et les Epheméroptères dominent en nombre. C'est dans l'O. Chaaba où l'on retrouve une biodiversité élevée (richesse totale : 37 taxons ; indice de Shannon : 2,84). Le calcul de l'IBGN a révélé que qualité hydro biologique de l'eau dans les cours d'eau étudiés est qualifiée de moyenne pour O. Hamla, O. Chaaba et O. El Ma (IBGN entre 10 et 11), médiocre pour O. Bouilef (IBGN 8) et très bonne pour O. Chelia et O. Yabous (IBGN 20). Les analyses statistiques sont effectuées afin de décrire les modalités de répartition des populations de macro- invertébrés benthiques sous l'influence d'une multitude de facteurs du milieu, montrant les caractéristiques structurelles des variables environnementales (habitat et pressions humaines) sur la répartition et la diversité de la faune benthique. Les relations entre les caractéristiques biologiques des macro-invertébrés et les caractéristiques environnementales ont été étudié par l'utilisation d'une technique d'ordination, l'analyse RLQ.

**Mots clés:** Macro-invertébrés benthiques - diversité taxonomique - structure de la communauté - analyse multiparamétrique - Aurès.

## ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى توثيق المعرفة المتعلقة بالتنوع البيولوجي لمجتمعات اللافقارية القاعية الكبيرة وأنماط توزيعها في وديان منطقة الأوراس (شمال شرق الجزائر). تم تحليل أنماط توزيع المجتمعات فيما يتعلق ببعض العوامل البيئية: المقاييس الفيزيو كيميائية للمياه والخصائص العامة للوسط الذي يحتضنها ، بما في ذلك الضغط البشري. في هذا العمل، قمنا بدراسة تباين ثراء الأصناف وبناء مجتمعات اللافقارية القاعية الكبيرة في سبعة أودية الكائنة في المنطقة المناخية شبه الجافة في للأوراس .

تم أخذ عينات من 33 موقعًا في الوديان المختلفة. في كل واد من الأودية السبع، قمنا باستكشاف ثلاث محطات مع الأخذ بعين الاعتبار المستويات المختلفة للأثر البشري والخصائص العامة للوسط. وشمل ذلك ما مجموعه 11 موقعًا زراعيًا و 6 مواقع حضرية و 13 موقعًا للغابات تم اختيارها للسماح بالمقارنة بين أنواع الأوساط البيئية.

اللافقاريات المحصية في هذا العمل تتكون من 2405 كائن موزعة على خمس مجموعات حيوانية كبيرة (الديدان والرخويات والقشريات والعناكب والحشرات)، الموافق 62 نوع / صنف مقسمة إلى 12 رتبة و 42 عائلة مختلفة، من بين هته الحشرات الاكثر تنوعا: (Coleoptera 18 taxa) و (Diptera 14 taxa) في حين تهيمن Diptera, Tichoptera و Ephemeroptera في العدد. في واد الشعبة نجد تنوع بيولوجي مهم (إجمالي الثروة: 37 تصنيفًا ، مؤشر شانون: 2.84). يبين حساب IBGN أن الجودة البيولوجية للمياه في الأودية التي تم دراستها مؤهلة عالميا كمتوسط بالنسبة لواد حملة, واد الشعبة و واد الماء ( IBGN بين 10 و 11) ، ضعيف بالنسبة لواد بوييلف (8 IBGN) وجيد جدًا لواد شلية وواد يابوس (8 IBGN). التحاليل الإحصائية تم إدراجها لوصف نماذج التوزيع للمجتمعات اللافقارية القاعية الكبيرة تحت تأثير العديد من العوامل البيئية مع إظهار الخصائص الهيكلية للمتغيرات البيئية (الوسط والضغط البشرية) على توزيع وتنوع الحيوانات القاعية. تمت دراسة العلاقات بين الخصائص البيولوجية لللافقاريات الكبيرة والخصائص البيئية من خلال استخدام تقنية التنسيق ، والتحليل RLQ.

**الكلمات الرئيسية :** اللافقارية الكبيرة -التنوع التصنيفي- هيكل المجتمع - تحليل متعدد القياسات - الأوراس

## **Abstract**

### **Biodiversity and conservation of invertebrate populations in the continental aquatic environments of the Aurès region.**

The present study aims to study the biodiversity of the benthic macro-invertebrates communities and their distribution patterns in semi-arid bioclimatic stage in the streams of the Aurès region (North-East Algeria). The distribution patterns of communities were analyzed in relation to some environmental factors: physico-chemical water parameters and global habitat characteristics including human pressure. In this study, we studied the variation of taxon richness and community structure of benthic macroinvertebrates in seven wadis (rivers) located in the semi-arid bioclimatic stage of Aurès. A total of 33 sites were sampled in the various wadis. On each of the seven wadis sampled, we explored three stations taking into account the different levels of human impact and habitat cover. These included a total of 11 agricultural sites, 6 urban sites and 13 forest sites that were selected to allow for comparison between landscape types. The fauna identified in this work consists of 2405 individuals distributed in five large zoological groups (worms, molluscs, crustaceans, arachnids and insects), corresponding to 62 genera / taxa distributed over 12 orders and 42 different families, of which the most varied are Coleoptera (18 taxa) and Diptera (14 taxa), whereas Diptera, Trichoptera and Ephemeroptera dominate in number. It's in the O. Chaaba where there is high biodiversity (total wealth: 37 taxa, Shannon index: 2.84). The evaluation of the IBGN revealed that the water quality of the water in the 7 rivers studied is considered as average for O. Hamla, O. Chaaba and O. El Ma (IBGN between 10 and 11), poor for O. Bouilef (IBGN 8) and very good for O. Chelia and O. Yabous (IBGN 20). Statistical analyzes are conducted to describe the distribution patterns of benthic macroinvertebrate populations under the influence of a multitude of environmental factors, showing the structural characteristics of environmental variables (habitat and human pressures) on distribution and diversity of the benthic fauna. The relationships between the biological characteristics of macroinvertebrates and environmental characteristics were studied through the use of an ordination technique, the RLQ analysis.

**Key words:** Benthic macro-invertebrates - taxonomic diversity - community structure - multi-parametric analysis – Aurès.

### Liste des tableaux

N°	Titre	Page
<b>Tableau 1</b>	Caractéristiques identifiant les stations météorologiques Batna et El-Hamma (Station Batna, El-Hamma, 2016)	17
<b>Tableau 2</b>	Moyennes mensuelles des températures maximales (M) et minimales (m) relevées dans la station de Batna (Période 1995-2015-Station Batna, 2016)	18
<b>Tableau 3</b>	Moyennes mensuelles des températures maximales (M) et minimales (m) relevées dans la station de Batna (Période 1995-2016-Station El-Hamma, 2017)	18
<b>Tableau 4</b>	Données thermométriques mensuelles moyennes en (°C) et pluviométriques annuelles en (mm) de la région d'étude calculées par extrapolation pour la période allant de 1995 à 2016 pour la station de Batna (M : moyennes des températures maximales ; m : moyennes des températures minimales ; P : Précipitation annuelle en mm ; Q <sub>2</sub> : Quotient d'Emberger ; S-A : semi aride ; S-H : sub humide)	23
<b>Tableau 5</b>	Données thermométriques mensuelles moyennes en (°C) et pluviométriques annuelles en (mm) de la région d'étude calculées par extrapolation pour la période allant de 1995 à 2016 pour la station d'El Hamma (M : moyennes des températures maximales ; m : moyennes des températures minimales ; P : Précipitation annuelle en mm ; Q <sub>2</sub> : Quotient d'Emberger ; S-A : semi aride ; S-H : sub humide)	23
<b>Tableau 6</b>	Caractéristiques générales des cours d'eau et sites étudiés	26-28
<b>Tableau 7</b>	Traits biologiques et écologiques et modalités correspondantes d'après Tachet et <i>al.</i> , 2010	35
<b>Tableau 8</b>	Limites de classes de la grille de la qualité de l'IBGN (AFNOR 1992)	41
<b>Tableau 9</b>	Vitesse de l'eau et pourcentages en surfaces des principaux habitats des sept oueds étudiés (vitesse d'écoulement : 1 = très faible ; 2 = faible ; 3 = moyenne ; 4 = forte).	48
<b>Tableau 10</b>	Nombre de familles et de genres de macro- invertébrés benthiques recensés dans les Aurès par groupe zoologique	51
<b>Tableau 11</b>	Inventaire systématique, codes et abondances des insectes benthiques collectés dans les sept cours d'eau des Aurès. O.C: Oued Chaaba ; O.B: Oued. Bouilef; O.E.: Oued. El Ma; O.H: Oued. Hamla; O.G: Oued. Chélia; O.Y: Oued.Yabous. AF (%): Fréquence d'Abondance moyenne; ind: taxons indéterminés.	53-54

N°	Titre	Page
<b>Tableau 12</b>	Liste des invertébrés benthiques récoltés dans les Oueds de l'Aurès et leur assignation aux groupes fonctionnels trophiques selon Tachet et al., (2010).	67
<b>Tableau 13</b>	Fréquences d'occurrence (C%) des différentes populations de macro-invertébrés benthiques recensés dans les sept Oueds de l'Aurès	75
<b>Tableau 14</b>	Indice de similitude de Sorensen des sept oueds échantillonnés prises deux à deux.	76
<b>Tableau 15</b>	Modèle linéaire généralisé analysant les effets des variables environnementales et de la pression humaine sur la richesse taxonomiques des insectes benthiques dans les cours d'eau des Aurès.	77
<b>Tableau 16</b>	Modèle linéaire généralisé analysant les effets des variables environnementales et de la pression humaine sur l'abondance des insectes benthiques dans les cours d'eau du nord-est de l'Algérie.	79
<b>Tableau 17</b>	Valeurs des indices calculés sur les 33 stations d'étude	91
<b>Tableau 18</b>	Grille d'appréciation de la qualité biotique de l'eau des 7 oueds étudiés	93
<b>Tableau 19</b>	Résultats des analyses séparés impliquées dans l'analyse RLQ	112
<b>Tableau 20</b>	Résumé de l'analyse RLQ effectuées sur les table R, L et Q	113

## Liste des figures

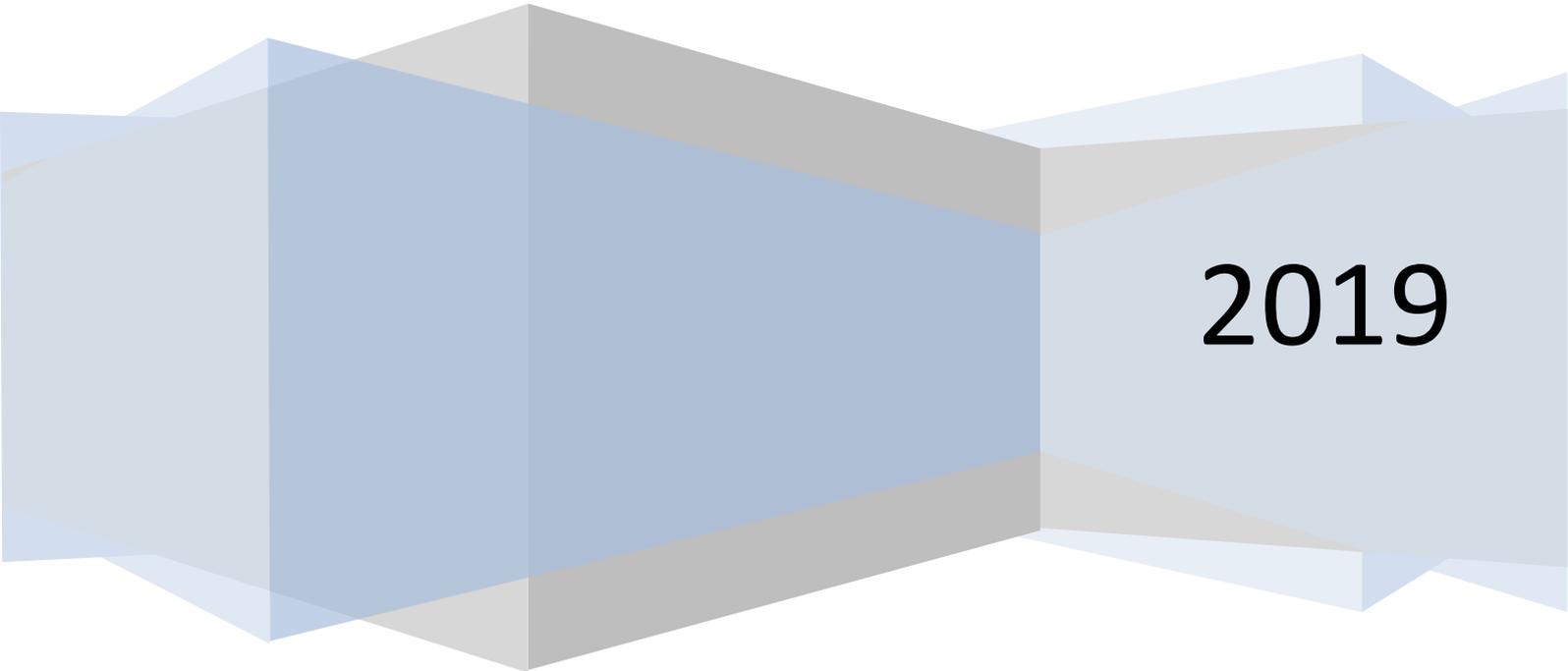
N°	Titre	Page
<b>Figure 1</b>	Carte de Situation Administrative de la Région des Aurès	8
<b>Figure 2</b>	Carte géologique des Aurès (D'après Laffitte, 1939).	12
<b>Figure 3</b>	Réseau hydrographique général de la zone prospectée avec localisation des sept oueds et des stations étudiés dans la région des Aurès.	16
<b>Figure 4</b>	Evolution mensuelle des précipitations en mm dans la station de Batna et d'El-Hamma (période 1995-2016).	20
<b>Figure 5</b>	Diagramme ombrothermique (Station de Batna 1995-2016).	21
<b>Figure 6</b>	Diagramme ombrothermique (Station d'El Hamma 1995-2015).	22
<b>Figure 7</b>	Boîte à moustaches montrant les caractéristiques physico-chimiques des différents cours d'eau étudiés. <b>B:</b> Oued Bouilef; <b>C:</b> W.chaaba; <b>E:</b> W. El Ma; <b>G:</b> W. Chélia; <b>H:</b> W. Hamla; <b>K:</b> W. Kimel; <b>Y:</b> W.Yabous	50
<b>Figure 8</b>	Abondance des groupes faunistiques dans les stations étudiées.	52
<b>Figure 9</b>	Abondance (A) et répartition spatiale (B) des Oligochètes dans les stations	55
<b>Figure 10</b>	Abondance et répartition spatiale des Hirudinées dans les stations étudiées	56
<b>Figure 11</b>	Abondance (A) et répartition spatiale (B) des Mollusques dans les stations étudiées	57
<b>Figure 12</b>	Abondance et répartition spatiale des Crustacés dans les stations étudiées	57
<b>Figure 13</b>	Abondance (A) et répartition spatiale (B) des Ephéméroptères dans les stations étudiées.	59
<b>Figure 14</b>	Abondance (A) et répartition spatiale (B) des Plécoptères dans les stations étudiées	60
<b>Figure 15</b>	Abondance (A) et répartition spatiale (B) des Héteroptères dans les stations étudiées	61
<b>Figure 16</b>	Abondance (A) et répartition spatiale (B) des Coléoptères dans les stations étudiées.	62
<b>Figure 17</b>	Abondance (A) et répartition spatiale (B) des Trichoptères dans les stations étudiées	63
<b>Figure 18</b>	Abondance répartition spatiale des Hyménoptères dans les stations étudiées	64
<b>Figure 19</b>	Abondance (A) et répartition spatiale (B) des Diptères dans les stations étudiées	65
<b>Figure 20</b>	Richesse taxonomique et abondance relative des groupes fonctionnels trophiques des macro-invertébrés recensés dans les stations d'étude.	66
<b>Figure 21</b>	Distribution des groupes fonctionnels des macro-invertébrés recensés dans les stations d'étude	70

N°	Titre	Page
<b>Figure 22</b>	Fréquences en nombre des différents ordres de macro-invertébrés benthiques recensés dans le PNB (histogramme en haut), <b>a</b> : Oued Chaaba, <b>b</b> : Oued Bouilef, <b>c</b> : Oued El-Ma, <b>d</b> : Oued Hamla.	72
<b>Figure 23</b>	Fréquences en nombre des différents ordres de macro-invertébrés benthiques recensés dans le mont de Chélia (histogramme en haut), <b>a</b> : Oued Chélia, <b>b</b> : Oued Kimel, <b>c</b> : Oued Yabous).	74
<b>Figure 24</b>	Boîtes à moustaches montrant les différents paramètres de structure et de diversité des sept oueds étudiés. Abondance (AF), richesse taxonomique totale (S), indice de Shannon (H'), indice de Margalef, indice de Simpson et l'indice Pielou (E) de l'entomofaune benthique. B: O. Bouilef; C: O. Chaaba; E: O. El Ma; G: O. Chélia; H: O. Hamla; K : O. Kimel; Y: O. Yabous.	78
<b>Figure 25</b>	Analyse de composante principale représentant la distribution des paramètres environnementaux	80
<b>Figure 26</b>	Analyse de composante principale représentant la distribution des paramètres physico-chimiques	81
<b>Figure 27</b>	Distribution des familles et des stations dans le plan F1xF2 de l'AFC de l'oued Chaaba	82
<b>Figure 28</b>	Distribution des familles et des stations dans le plan F1xF2 de l'AFC de l'oued Bouilef	83
<b>Figure 29</b>	Distribution des familles et des stations dans le plan F1xF2 de l'AFC de l'oued El Ma	84
<b>Figure 30</b>	Distribution des familles et des stations dans le plan F1xF2 de l'AFC de l'oued Hamla	86
<b>Figure 31</b>	Distribution des familles et des stations dans le plan F1xF2 de l'AFC de l'oued Chélia	87
<b>Figure 32</b>	Distribution des familles et des stations dans le plan F1xF2 de l'AFC de l'oued Kimel	88
<b>Figure 33</b>	Distribution des familles et des stations dans le plan F1xF2 de l'AFC de l'oued Yabous	89
<b>Figure 34</b>	Coefficients de corrélation de rang de Spearman entre les 10 indices étudiés	92
<b>Figure 35</b>	Coefficients de corrélation de rang de Pearson entre les indices biotiques et les indices de diversité et 10 paramètres physico-chimiques	93
<b>Figure 36</b>	Arbre de régression pour l'abondance des éphéméroptères. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division. Substrat ( <b>GL</b> : galet, <b>SF</b> : sable fin, <b>SG</b> : sable grossier, <b>R</b> : rocher); Débit (a: très lente, b: lente, c: modérée, d: rapide); pression humaine (a: forêt, b: agriculture et domestique, c: urbaine).	94
<b>Figure 37</b>	Arbre de régression pour l'abondance des Plécoptères. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division. Substrat ( <b>GL</b> : galet, <b>SF</b> : sable fin, <b>SG</b> : sable grossier, <b>R</b> : rocher).	95
<b>Figure 38</b>	Arbre de régression pour l'abondance des Hétéroptères. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division. Substrat ( <b>GL</b> : galet, <b>SF</b> : sable fin, <b>SG</b> : sable grossier, <b>R</b> : rocher).	96

<b>Figure 39</b>	Arbre de régression pour l'abondance des Trichoptères. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division.	97
<b>Figure 40</b>	Arbre de régression pour l'abondance des Hyménoptères. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division. Substrat ( <b>GL</b> : galet, <b>SF</b> : sable fin, <b>SG</b> : sable grossier, <b>R</b> : rocher).	98
<b>Figure 41</b>	Arbre de régression pour l'abondance des coléoptères. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division. Substrat ( <b>GL</b> : galet, <b>SF</b> : sable fin, <b>SG</b> : sable grossier, <b>R</b> : rocher).	99
<b>Figure 42</b>	Arbre de régression pour l'abondance des Diptères. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division. Substrat ( <b>GL</b> : galet, <b>SF</b> : sable fin, <b>SG</b> : sable grossier, <b>R</b> : rocher).	100
<b>Figure 43</b>	Arbre de régression pour l'abondance des Oligochètes. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division. Substrat ( <b>GL</b> : galet, <b>SF</b> : sable fin, <b>SG</b> : sable grossier, <b>R</b> : rocher).	101
<b>Figure 44</b>	Arbre de régression pour l'abondance des Hirudinées. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division.	102
<b>Figure 45</b>	Arbre de régression pour l'abondance des Pulmonés. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division. Substrat ( <b>GL</b> : galet, <b>SF</b> : sable fin, <b>SG</b> : sable grossier, <b>R</b> : rocher).	103
<b>Figure 46</b>	Arbre de régression multivarié pour l'abondance des ordres de macro-invertébrés benthiques. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division. Substrat ( <b>GL</b> : galet, <b>SF</b> : sable fin, <b>SG</b> : sable grossier, <b>R</b> : rocher).	104
<b>Figure 47</b>	L'analyse de redondance (RDA) entre les paramètres physico-chimiques de l'eau, les caractéristiques générales de l'habitat ainsi que l'abondance des différents taxons de macro-invertébrés benthiques échantillonnés dans 7 oueds étudiés. (Les codes de taxons sont indiqués dans le tableau 7)	106
<b>Figure 48</b>	Classification hiérarchique des stations d'étude réalisée à partir de la distribution des taxons.	107
<b>Figure 49</b>	Analyse de correspondance du tableau faunistique montrant les taxons regroupés par oueds.	109
<b>Figure 50</b>	Répartition des catégories (étiquettes blanches) des 5 traits biologiques sur les deux premiers axes de l'analyse de correspondance floue (ACF). Les nombres indiquent les rapports de corrélation avec le premier axe (nombres horizontaux) et le deuxième axe (nombres verticaux) (voir Chevenet et al., 1994). L'échelle de la parcelle d'ordination (c'est-à-dire la longueur des divisions principales, «d») est indiquée (voir le tableau 8 pour connaître les codes utilisés pour les modalités relatives aux traits).	111

<b>Figure 51</b>	Répartition des groupes faunistiques sur les deux premiers axes de l'analyse de correspondance floue des traits biologiques. Les traits biologiques (étiquettes rouge), taxons composants (étiquettes rouge). Pour les codes de taxon (voir Tableau 7), pour les codes de traits biologiques (voir Tableau 8)	112
<b>Figure 52</b>	Les deux premiers axes de l'analyse RLQ à partir de la matrice de données qui traverse les variables environnementales du site et les caractères des espèces: covariation des sites (a), taxons (b), variables environnementales (c) et caractères des espèces (d).	115

# Introduction



2019

# Introduction

---

## Introduction

Les écosystèmes aquatiques sont dynamiques, complexes et très importants dans le paysage, car ce sont des environnements à grande productivité biologique, riches en biodiversité et sont le lieu d'une multitude de processus et de fonctions écologiques (Higler, 2009). Ils jouent des rôles essentiels dans la conservation de la biodiversité dans le fonctionnement des organismes et le cycle de la matière organique (Dynesius et Nilsson, 1994).

Les régions arides représentent plus du tiers de la superficie terrestre du globe, caractérisée par une pluviométrie faible et variable, mais contenant parfois un nombre surprenant d'habitats aquatiques (Jenkins et al., 2005). La présence ou l'absence d'eau définit une grande partie de l'écologie des paysages semi-arides et arides (Stafford Smith et Morton 1990) et les cours d'eau et leurs débits interviennent en grande partie dans la variabilité écologique (Walker et al., 1995).

Les cours d'eau intermittents figurent parmi les principales caractéristiques des régions arides et semi-arides (Comin et Williams, 1994) et sont omniprésents dans les zones de type climatique méditerranéen (Gasith et Resh, 1999). Les facteurs physico-chimiques et biologiques sont les facteurs environnementaux les plus contraignants pour la faune des insectes dans la majorité de ces cours d'eau (Williams, 1996). Les modes de disparition de l'eau ont une importance fondamentale, qu'ils soient prévisibles (c'est-à-dire qu'ils font partie d'un cycle stable) ou qu'ils soient imprévisibles (liés aux aléas du climat local) (Wiggins et al. 1980; Delucchi, 1988). Ainsi, la longueur de la période sèche influence donc la diminution de la taille de l'habitat. Les changements de températures entraînent des modifications subtiles de la densité de l'eau et peuvent affecter les plus petits stades des insectes et la concentration ionique à tendance à augmenter de manière significative lorsque l'eau temporaire se dessèche ; ce qui peut affecter le pH et peut-être avoir des conséquences osmotiques directes pour les insectes (Williams, 1996). L'oxygène sera davantage affecté par les changements de température de l'eau qui augmentera au fur et à mesure que l'eau disparaît dans les plans d'eau secs d'été (par exemple, étangs d'automne; Wiggins, 1973), alors qu'il diminuera dans les corps secs en hiver (par exemple, les étangs d'été, Daborn et Clifford, 1974).

Les variations thermiques dans la région méditerranéenne sont parfois brutales et les pluies violentes irrégulières sont concentrées sur de courtes périodes. Les cours d'eau sont alors caractérisés par une irrégularité du débit hydrologique (Arab et al., 2004). Le profil

## Introduction

---

hydrologique est marqué par un pic de décharge au printemps et en automne et par de graves niveaux bas en été (Giudicelli et al., 1985). Dans les régions arides, où les précipitations sont faibles et très irrégulières, les rivières restent sèches pendant de longues périodes en raison d'une forte évaporation pendant les périodes de faible débit. La première période d'inondation qui suit la période de faible niveau d'eau se présente généralement sous la forme de violentes tempêtes qui provoquent un fort ruissellement. Ce dernier correspond au débit d'inondation, apporte de nouvelles alluvions et provoque beaucoup de dégâts pouvant perturber le cadre de vie des organismes aquatiques (Joly, 2006). Les régimes d'écoulement pérenne et intermittent sont souvent considérés comme catégoriquement différents, l'intermittence de l'écoulement varie continuellement et les communautés biotiques varient le long des gradients d'intermittence. Par exemple, la richesse taxonomique de différents groupes aquatiques diminue continuellement à mesure que la gravité de l'intermittence augmente, ce qui suggère un manque de seuils clairs dans la réponse des communautés à l'intermittence des flux (Darty et al., 2014).

La structure de la communauté de cours d'eau est déterminée par des processus évoluant à différentes échelles spatiales, allant de la variation de l'habitat à l'échelle fine (Substrats de fond) à la variation à l'échelle grossière dans les corridors riverains (type et densité de la végétation) et les bassins versants (occupation du sol; Frissell et al., 1986; Vinson et Hawkins, 1998; Allan, 2004, Thorp, 2009). Les processus se produisant à ces échelles spatiales multiples interagissent souvent, créant des changements corrélés hiérarchiques dans les communautés de cours d'eau et les attributs de l'écosystème (Frissell et al., 1986; Urban et al., 2006, Thorp 2009). La plus grande échelle spatiale, l'échelle du bassin hydrographique, englobe toutes les eaux de surface et les terres terrestres dans le bassin hydrographique (Frissell et al., 1986). Ensuite, l'échelle spatiale de la végétation riveraine fournit une indication de la structure végétative dans une bande étroite le long du système fluvial; alors que l'échelle de portée des cours d'eau comprend spécifiquement des mesures de la physico-chimie de l'eau dans les cours d'eau (Urban et al., 2006). Enfin, la plus petite échelle spatiale, l'échelle de l'unité d'habitat, comprend des mesures de la couverture du substrat (Frissell et al., 1986).

Les études sur les communautés d'invertébrés benthiques, leur structure et leur répartition spatiale sont d'une importance capitale pour comprendre le fonctionnement et la gestion des hydrosystèmes naturels et pour évaluer l'état de santé de leurs écosystèmes (Dakki, 1992). Les macro-invertébrés forment l'essentiel du peuplement benthique des cours

## Introduction

---

d'eau. Ils sont en général composés de larves d'insectes, crustacés, mollusques, némathelminthes et annélides et se trouvent principalement à proximité du sédiment. Leur abondance et leur diversité dépendent du contexte environnemental. En effet, les facteurs tels que la vitesse du courant, la température et le substrat peuvent réguler la répartition des macro-invertébrés au sein du ruisseau. De même, le peuplement faunistique d'un écosystème aquatique est constamment soumis à la variabilité spatio-temporelle de l'environnement. Il en résulte que les espèces présentes sont celles arborant les caractéristiques biologiques et les préférences écologiques les plus appropriés aux différents types d'habitats de la mosaïque fluviale (Townsend et Hildrew, 1994).

Comme ils sont une source de nourriture pour plusieurs espèces de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux, les invertébrés constituent un important maillon de la chaîne alimentaire des milieux aquatiques (Lozano et al., 2001). Les macro-invertébrés, tels les insectes, sont de bons bio-indicateurs en raison de leur statut sédentaire, de leur grande diversité et de leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de leur habitat (Moisan et Pelletier 2008). La bioindication au sens large se réfère à la capacité d'organismes ou d'un ensemble d'organismes à révéler les caractéristiques et l'évolution d'un milieu par leur présence, leur absence ou leur comportement démographique (Blandin, 1986). Ces êtres vivants sont alors qualifiés de bioindicateurs. En comparaison avec les données chimiques, le contrôle biologique offre un moyen relativement abordable de mesure environnementale pour l'évaluation de la dégradation des habitats aquatiques et de la perte de la diversité biologique induite par les perturbations anthropique (Hynes, 1960 ; Hawkes, 1979 ; Karr, 1991). Les macroinvertébrés constituent un groupe taxonomique très hétérogène regroupant plusieurs phylums. Cette grande diversité de formes confère à ce groupe une grande diversité de réponses potentielles aux perturbations, et de ce fait, de bons candidats pour la bioévaluation (Rosenberg et Resh, 1993). Les macroinvertébrés benthiques sont à l'origine de nombreux indices biotiques pour la plupart basés sur l'abondance ou la richesse d'un certain nombre de groupes taxonomiques indicateurs (Rosenberg et Resh, 1993 ; Tachet et al., 2006). Ils permettent d'obtenir un portrait beaucoup plus précis de l'intégrité d'un écosystème (Yoder et Rankin, 1995). La surveillance biologique des communautés benthiques est aujourd'hui l'outil le plus sensible pour détecter de façon rapide et précise les perturbations dans les biocénoses aquatiques (Cairns et Pratt 1993).

En outre, la composition faunistique des cours d'eau réagit nettement aux perturbations. La perturbation des habitats et l'hétérogénéité qui en résulte sont donc les

## Introduction

---

facteurs principaux de structuration des communautés. Les macro-invertébrés sont sensibles aux perturbations environnementales et les variations interspécifiques de cette sensibilité permettent l'observation d'un gradient de réponses des communautés selon l'intensité et la nature du stress (Lewis et al., 2001). De ce fait, les macro-invertébrés constituent d'excellents indicateurs de la qualité de leur milieu. Outre ce rôle, les invertébrés sont des acteurs clés des processus écosystémiques. Ils sont connus comme étant capables de modifier la structure de leurs habitats par leur mouvement (Monoury, 2013). Les macro-invertébrés benthiques sont cruciaux pour le fonctionnement des écosystèmes aquatiques du fait de leur rôle dans le recyclage des nutriments et dans la production primaire (Wallace et Webster, 1996).

Les premières recherches en Afrique du nord en limnologie datent du XIX<sup>ème</sup> siècle avec les travaux de Gauthier sur la faune des eaux continentales d'Algérie et de Tunisie et Vaillant sur la faune macroléontine d'Afrique du Nord (Lounaci, 2005). Les recherches sur les peuplements et l'écologie des invertébrés des écosystèmes aquatiques continentaux d'Algérie étaient rares et lacunaires jusqu'aux années 1980. Ce n'est qu'après les années 1980 que plusieurs travaux ont été réalisés dans différentes régions du pays, nous en citons : Gagneur et al., (1986), Lounaci (1987), Ait Mouloud (1988), Arab (1989), Samraoui et al., (1999, 2000a, 2000b), Thomas (1998), Lounaci et al., (2000), Mebarki (2001), Arab et al., (2004), Belaidi et al., (2004), Samraoui et al., (2009), Zerguine et al., (2009), Zougaghe et al., (2009), Chaib et al., (2011), Haouchine (2011), Yasri et al., (2013), Moubayed-Breil, Lounaci (2013), Bebbi et al., (2015), Arigue et al., (2016) et Sellam et al., (2017).

En Afrique du Nord, les cours d'eau (oueds) se caractérisent par une gamme étendue de conditions physiques, notamment de graves inondations et sécheresses (Pires et al., 1999), par des écoulements irréguliers et de fortes fluctuations hydrologiques (Giudicelli et al., 1985). En Algérie, la zone Aurès, correspondant à la partie orientale du bassin de l'Atlas, se caractérise par un climat méditerranéen semi-aride. Les activités anthropiques dans la région, telles que l'agriculture et les rejets d'eaux usées, contribuent à la dégradation de la qualité de l'eau. Les faibles niveaux d'eau, en particulier en été, limitent la capacité d'autoépuration des cours d'eau, les rendant vulnérables à la pollution et les macro-invertébrés aquatiques sont gravement touchés, notamment par la sécheresse estivale. Des portions de cours d'eau peuvent devenir partiellement ou totalement sèches et les macro-invertébrés lotiques peuvent survivre en demeurant dans des micro-habitats frais et humides, tandis que les espèces lenticules prédominent en période de fort débit et que les espèces rhéophiles terminent leur cycle de vie et dominent (Samraoui, 2009).

## Introduction

---

Les régions méditerranéennes se caractérisent par une forte variabilité hydrologique (Gasith et Resh, 1999), encore plus accentuée dans les zones semi-arides de la Méditerranée. Ainsi, les organismes qui subissent fréquemment des perturbations abiotiques (inondations et sécheresses) peuvent réagir au fil de l'évolution en développant des traits morphologiques, physiologiques et / ou du cycle vital qui minimisent l'impact des perturbations. Une zone d'étude avec un gradient de perturbation hydrologique déterminé par le climat serait alors utile pour révéler les contrastes entre les traits biologiques caractérisant les communautés de macro-invertébrés. La plupart des travaux basés sur l'étude des traits de vie lors de l'évaluation biologique des cours d'eau ont été développés dans les zones tempérées, en se basant sur les macro-invertébrés benthiques (Usseglio-Polatera et al., 2000; Gayraud et al., 2003; Statzner et al., 2005; Doledec et al., 2006). Malheureusement, les caractéristiques des espèces sont mal documentées chez les invertébrés de l'Afrique du Nord et ses régions arides par rapport, à ceux de l'Europe et de l'Amérique du Nord (Touron Poncet et al., 2014) ou des rivières tropicales (Tomanova et al., 2006). Ces connaissances sont nécessaires pour réussir à évaluer les modalités dont le fonctionnement des communautés des macros-invertébrés qui varient le long des gradients de perturbations naturels et anthropiques.

Le but de cette étude est de documenter la faune d'invertébrés d'eau douce d'Afrique du Nord mal connue, en particulier les insectes; et mettre en évidence les facteurs environnementaux significatifs (qu'ils soient naturels ou anthropiques) qui façonnent les structures communautaires d'eau douce dans les cours d'eau des zones arides.

Cette thèse se place dans la problématique de la connaissance de la bio-écologie des populations et des peuplements des macro-invertébrés des cours d'eau avec une mise en évidence des patrons de répartitions suivant plusieurs gradients : climatique, altitudinal et suivant la pression humaine. Cette étude est une contribution à la connaissance de la biodiversité des cours d'eau de la vaste région des Aurès. En sus de l'enrichissement des connaissances sur la taxonomie des rivières permanentes ou temporaires, avec le signalement pour la première fois de plusieurs taxons ; le travail réalisé vise à statuer sur les facteurs environnementaux qui définissent les modalités de répartition et la dynamique des populations des groupes clés. Plusieurs objectifs spécifiques sont escomptés :

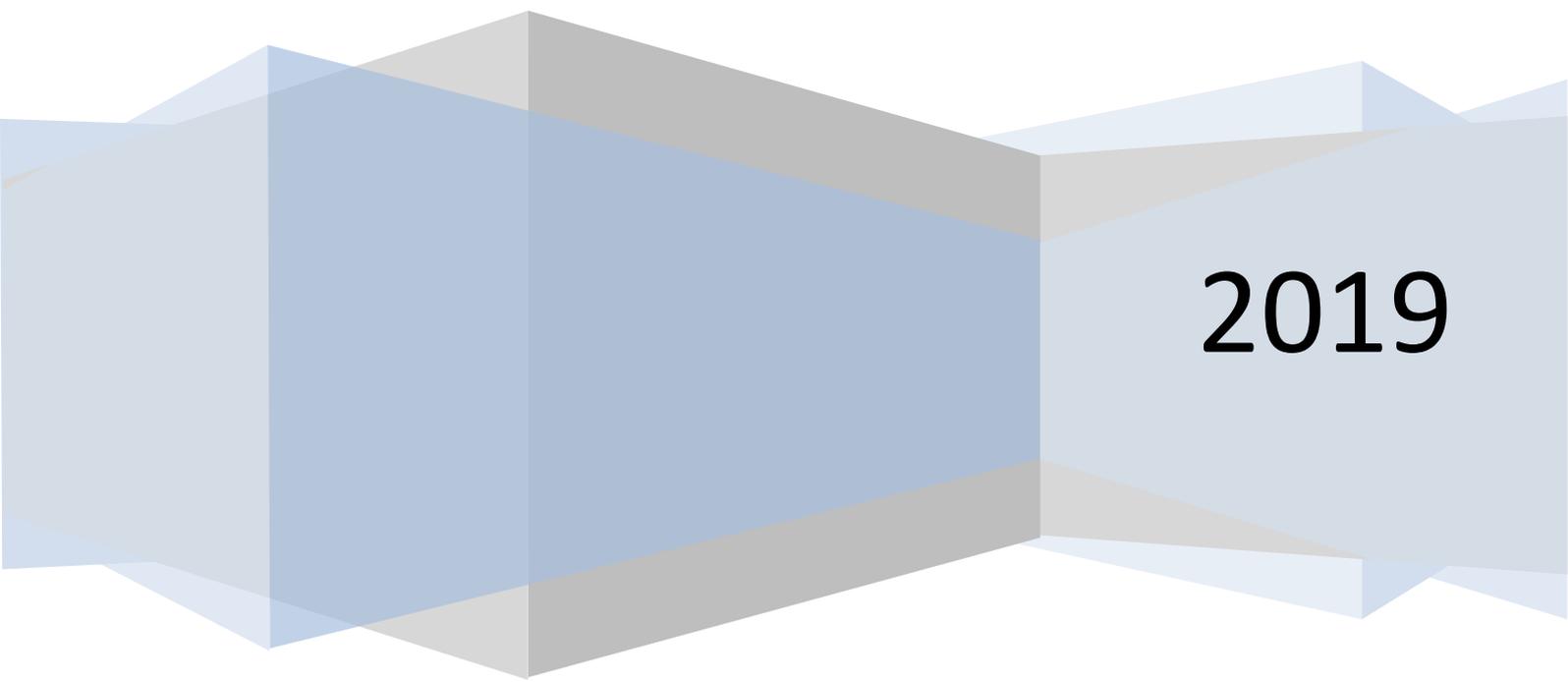
(1) caractériser la qualité physico-chimique de l'eau des oueds des Aurès, à travers une multitude de paramètres mesurés *in situ* et *in vitro* (2) la connaissance taxonomique et des traits de vie des macro-invertébrés benthiques vivants dans les différents habitats des cours d'eau (3) mettre en évidence la qualité biologique et l'état de santé des eaux courantes des

## Introduction

---

Aurès à travers une approche multiparamétriques combinant à la fois, les caractéristiques de l'environnement physico-chimique à l'abondance des populations des macro-invertébrés et des traits de vie des espèces recensées. Les résultats de cette étude contribueront certainement à l'enrichissement des connaissances sur la biodiversité des invertébrés aquatiques dans la région des Aurès qui est très peu connue et trouveront leurs applications dans la conservation et la gestion des espèces et des espaces surtout dans l'aire protégée du parc national de Belezma où une partie du travail s'est déroulée.

# Chapitre I : Matériel et méthodes d'étude



2019

### Chapitre I : Matériel et méthodes d'étude

Ce chapitre vise à ; I. Présenter la procédure de sélection utilisée pour déterminer les sites d'étude et leur emplacement dans les Aurès; II. Décrire les techniques de terrain (échantillonnage de macro-invertébrés et collecte de données environnementales) et les processus de laboratoire (tri et identification des macro-invertébrés) utilisés; III. Résumer les techniques statistiques employées dans cette thèse pour caractériser et quantifier la diversité des taxons de macro-invertébrés dans les cours d'eau à travers différents types de couverture terrestre et examiner l'influence des paramètres environnementaux sur la structure et la composition des communautés d'invertébrés dans les habitats des Oueds.

#### 1. Présentation générale de la zone d'étude

##### 1.1. Géographie et Morphologie

En Algérie, l'Aurès correspondant à la partie orientale du bassin atlasique qui comprend à l'ouest le haut Atlas marocain et s'étend à l'est dans la crête tunisienne (Beghami, 2013). Il s'étend entre les parallèles 34° - 45' et 35° - 30' Nord et les longitudes 5° - 45' et 7° à l'Est du méridien international (Mehrzi, 2010). Il se place à la charnière des deux grands ensembles qui forment l'atlas saharien aussi bien en Algérie qu'en Tunisie et qui s'allonge dans une direction Est-Ouest parallèle à l'atlas tellien lui-même suit les rivages méridionaux de la mer méditerranée (Mehrzi, 2010). Il est constitué d'un ensemble de chaînes de montagnes à relief très contracté (Benmessaoud et al., 2009).

La région d'Aurès regroupe la chaîne montagneuse orientale algérienne appartenant à l'Atlas saharien et séparant les hauts plateaux sahariens du Sahara (Benabderrahmane, 2007). Cette zone s'étend principalement aux territoires des wilayas: Batna au nord, Oum El Bouaghi au nord-est, Khenchela au sud-est et Biskra au sud (Mitard, 1941). Elle est caractérisée par une multitude de paysages et une grande variété d'écosystèmes allant du bioclimatique humide à l'aride (Stewart, 1969).

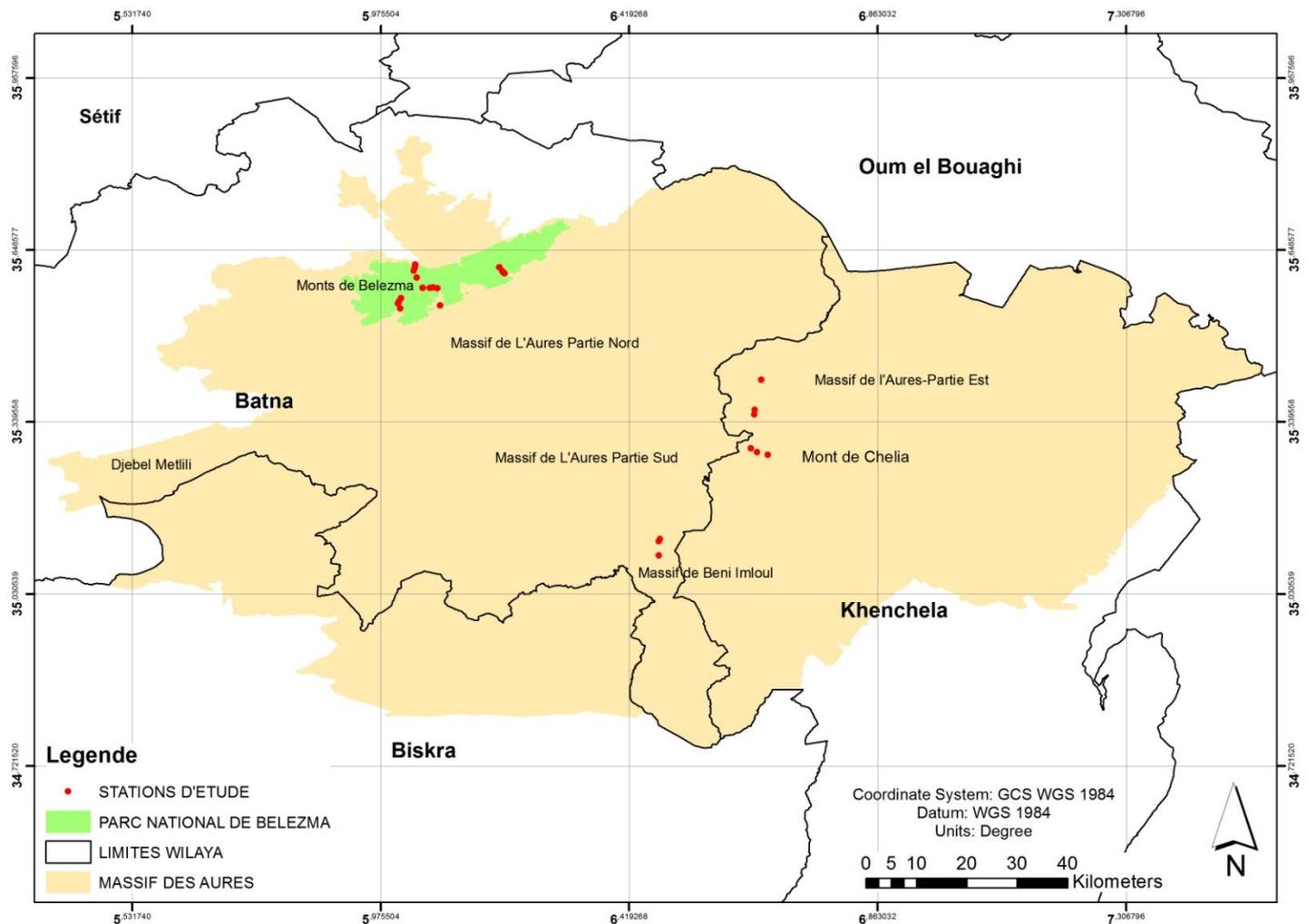
##### 1.2. Limites géographiques

L'Aurès forme le massif principal de l'Atlas présaharien dans l'Algérie orientale, il est compris dans le triangulaire Batna, Biskra et Khenchela (Fig.1). Les limites du massif de l'Aurès proprement dit sont marqués à l'Ouest par l'Oued Elkantara (le pont) et la voie romaine de Lambiridis (El-Biar) à Ad Miscinam (Biskra) qui la sépare des monts du Zab; au

## Chapitre I : Matériel et méthodes d'étude

Sud par la steppe du Chott Melghir et la route de Biskra à Nègrine par Zéribet El Oued; à l'Est par l'Oued El Arab qui la sépare du Djebel Cherchar (Mont des cascades) ou Cherchar (Mont des cailloux) et qui est suivi par l'ancienne voie romaine de Badès (Ad Badias) à Khenchela; au Nord par la steppe de la Sebkhia Djendli et de la Garaa El Tarf que suit en longeant parfois les premières pentes du massif Aurasiens la route carrossable de Batna à Khenchela (De lartigue, 1904 ;Côte, 1974) .

Deux dépressions remplies de bassins salins constituent les Aurès au Nord et au Sud. La plaine de Sbakh (900 m) constitue celle du Nord qui reçoit les eaux venant du versant septentrional de l'Aurès. La dépression du Sud fait partie de la région des Chotts; toutes les eaux de l'Aurès méridional et central s'écoulent dans le Chott Melirih dont l'altitude est à moins de 30 m au dessous du niveau de la mer (De lartigue, 1904).



**Figure 1.** Carte de Situation Administrative de la Région des Aurès avec stations d'étude

### 1.3. Le relief

Le massif est constitué d'une série de plis parallèles, orientés « Sud Ouest – Nord Est » qui s'étend sur une soixantaine de kilomètres. Le relief est généralement très lourd, les sommets sont constitués par des dômes arrondis, sauf pour les plis de l'Ahmar Khaddou et Dj.Azreg. Vu dans son ensemble, le massif des Aurès se présente comme un puissant toit à double pente, dissymétrique, ride et parallèle. Cette série montagneuse orientée Nord- Est / Sud Ouest (Orientation typique de la chaîne Atlasique), porte à 2200 - 2300 m ses crêtes sommitales (Mehmel, Chélia, Aidel). Au Nord de cette ligne de crête le retombé rapide en 10 ou 20 Km établit la jonction avec les hautes plaines situées à 900 m d'altitude entre Batna et Khenchela. Au Sud, un long versant mène en 50 ou 60 Km au piémont saharien, sis à 100 m d'altitude (Côte, 2003). Ces plis serrés dessinent de longues arêtes rectilignes, faites de crêtes étroites et séparées par de profondes vallées.

### 1.4. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est endoréique ou aréique pour l'ensemble du massif. Pour les oueds, certains sont sahariens, ils traversent le massif du Nord-est vers le sud ouest et constituent des compartimentages dans la structure géographique. Ils s'éteignent tous dans les chotts du sud et de l'ouest (Delartigue, 1904 ; Ballais 1981; Abdessemed, 1984). Quatre vallées creusent le massif de l'Aurès. Ce sont celles de l'Oued El-Kantara; l'Oued Abdi, affluent de l'Oued El Kantara; l'Oued El Abiod; l'Oued El Arab.

- Oued El-Kantara et son affluent principal Oued Abdi : L'Oued El-Kantara descend du col du Chlalâ, qu'il ouvre au pied du Djebel Touguert, une des plus hautes montagnes de l'Algérie (2094m) située à quelques Kilomètres à l'ouest de Batna.

- Oued El Abiod : L'oued El Abiod prend sa source dans le Chélia, à Ras Keltoum (2.328 m) d'où il descend sous le nom d'oued Tiddart, puis un peu plus bas d'oued Tadjernit.

- Oued El Arab : L'oued El Arab prend sa source à quelques kilomètres de Khenchela au sud ouest, au djebel Tafrent, par 02 bras ayant 25 à 30 km de longueur et qui enserrrent en l'isolant complètement du massif de l'Aurès.

Les principaux cours d'eau en partant de l'Ouest en Est sont :

- Oued EL-Madher : Cet oued descend par plusieurs bras et de fort belles sources du versant nord du djebel Ech Ghaali et du djebel Assière.

- Oued Chemora. : Cette rivière est formée de 02 bras, le Chabet Ez Zoubia à l'ouest et l'oued Reddam à l'Est.
- Oued Bou El Freiss : Cette rivière est des plus importantes ; elle est formée par la source Aïn Tetoufzed et ouvre un long couloir au nord du Chélia en donnant passage à une assez bonne voie de communication avec la haute vallée de l'Oued El Abiod (Plaine de Médina).
- Oued Foug El Gueiss : Cet oued ouvre un long couloir dans l'Aurès ; il sort du Djebel Noughiss ou Nouriss. Sa source est opposée par le sommet à celle de l'oued Tamzat, affluent de l'oued Mellagou. L'oued traverse un massif montagneux très boisé et entre dans la plaine au défilé de Foug El Gueiss au moment où il est traversé par la route de Khenchela.
- Oued Menzel : Cet oued sort du massif boisé du djebel Akar et va se jeter dans la Gueraa El Tarf (chott El Mellah), presque à côté de l'oued Foug El Gueiss il reçoit à gauche l'oued Mouskettou qui sous le nom de Faid Iskouène ouvre le défilé de Foug Tizourit.

Le réseau hydrographique des Aurès éparpillé en toute direction mais son allure générale ne cesse d'être du Sud Ouest et Nord Est, souvent l'orientation générale du complexe montagneux et la géomorphologie caractérisent le réseau en phase de jeunesse dont la mesure ou les cours d'eau continuent toujours de creuser leurs lits. Ils sont secs en été en se transformant en torrent dès la moindre averse.

### 1.5. Cadre géologique

Les données géologiques fournissent des indications précieuses sur la nature du substrat où se développe la végétation. Cette dernière répond d'une manière assez fidèle à la nature lithologique et aux formes géomorphologiques. D'après les travaux géologiques effectués dans la région des Aurès et les régions voisines (Laffit, 1939 ; Cornet, 1951; Bellion, 1976 ; Alimen et al., 1979 ; Ballais et Vogt, 1980 ; ..... ) permettent de proposer une synthèse géologique et structurale de la région d'étude (Fig. 02).

Les terrains primitifs qui affleurent sur les côtes algériennes n'apparaissent pas dans la région de Batna et le massif de l'Aurès est entièrement formé de couches sédimentaires plissées et disloquées.

Les bossellements de la croûte primitive correspondant nécessairement aux zones où affluent les terrains stratifiés les plus anciens. Ceux-ci sont dans la région de Batna les terrains secondaires (Triasique, Jurassique) qui affleurent dans le Chellalah, dans le Tarbent, à l'Est de

Nara et à El Outaya. Tous les autres terrains sont de formation plus récente et l'étage dominant est le crétacé auquel appartiennent en grande partie les formations de l'Aurès, le Chellalah, le Tarbent, le Kasserou, le Tafrent, le Metlili, le Chélia et le Fedjouj.

Selon Delartigue, 1904, Les croupes et les contreforts de ces massifs sont de formation tertiaire, miocène inférieur et éocène inférieur, qui s'étendent en larges bandes, le premier à l'est et à l'ouest de Batna, le deuxième au sud-est de Batna (versant sud et nord de l'Aurès). Enfin les plaines sont quaternaires. Pour étudier ces différents terrains nous les énumérons en donnant pour chacun d'eux sa nature lithologique, ses principaux fossiles et enfin les principaux affleurements (Delartigue, 1904) :

- **Secondaire** : Période jurassique : Trias (argiles bariolées couleur lie de vin, couches gypso-salines) pas de fossiles caractéristiques dans la région (région des lacs Mzouri, Tinslit, Metlili et El Outaya) ; Lias (schistes avec intercallations de calcaires feuilletés) ammonites, belemnites (djebel Touguert) Oxfordien (calcaires saccharoïdes, marnes) oursins (Djebel Tarbent) ; Corralien (calcaires bleus micacés, dolomitiques) oursins (Chellalah).

Période supra-crétacé : Neocomien (marnes schisteuses avec grès) belemnites plates (Ravin des Ruines) ; Aptien (marnes grès masses calcaires, calcaires à orbitolites (djebel Fedjouj) ; Albien (schistes et calcaires feuilletés) radiolites nicaisés (Aurès).

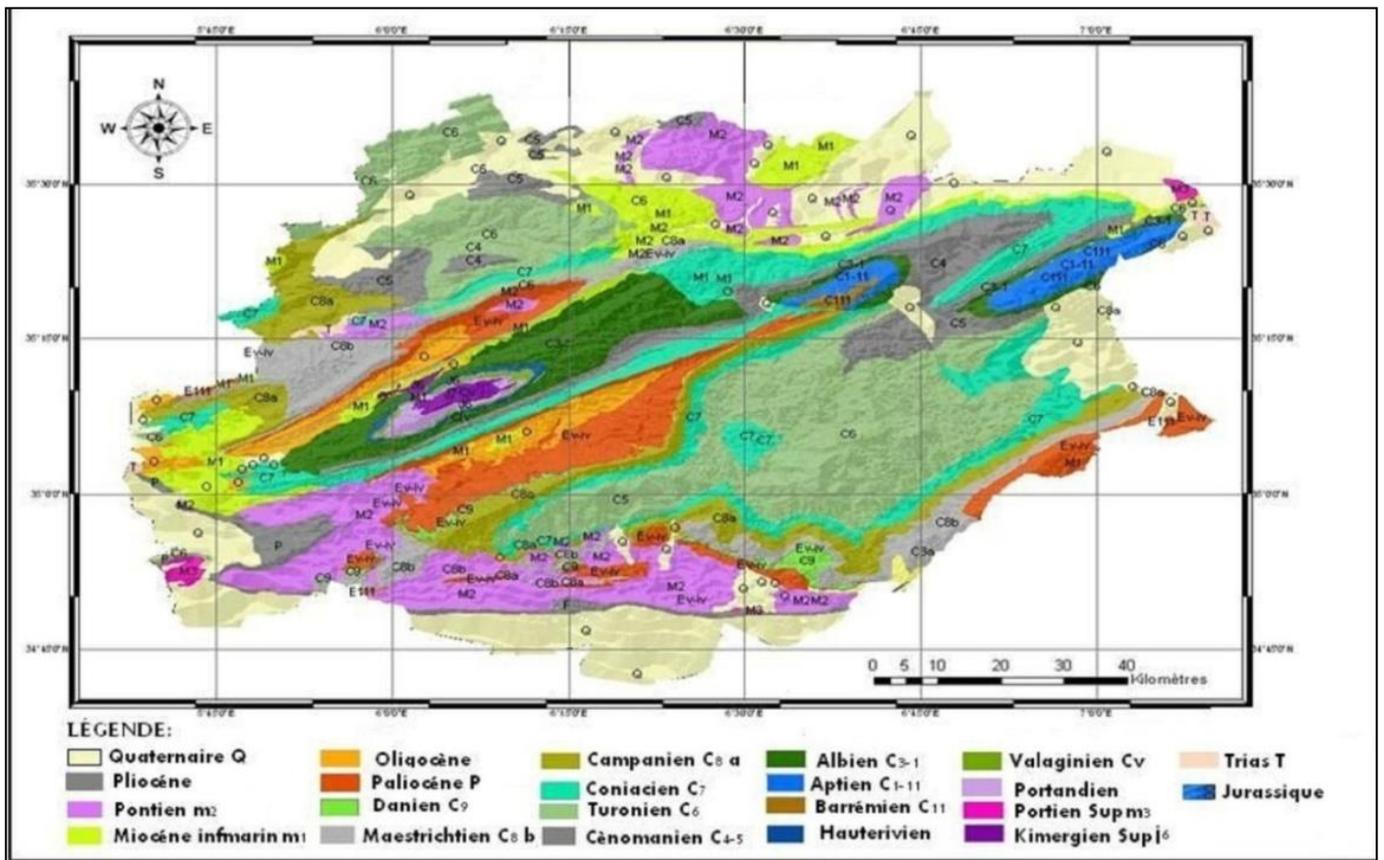
Période crétacé : Cenomadien (marnes et calcaires marneux) turrilites costatus (Aurès) ; Senomien (marnes blanches), craies blanches marnes bitumeuses, calcaires à inocérames, scaphites micraster (Aurès).

- **Tertiaire** : Éocène, Suessonien : (Schistes et calcaires marneux. Lits de sables. Calcaires ocreux, phosphates) *Ostrea multicostrata* (environs de Khenchela) Nummulitique (calcaires marneux à nummulites) nummulites, *planulata* (environs de Khenchela) Oligocène (conglomérats gréseux, schistes marneux) marnes à huîtres, *Cyrena convexa* (environs de Chemora) ; Miocène Helvétien (marnes argiles près en couches minces calcaires jaunes) *Ostrea crassissima* (vallée d'El Kantara, poste optique de Selloum) ; Pliocène (marnes et grès lacustres avec gypses, poudingues calcaires) *Helix tissoti* (nord du Hodna, Sahara).

- **Quaternaire** : (alluvions et encroûtements calcaires ou gypseux, dunes du Sahara, silex taillés épars) ossements (Sahara, sud de l'Aurès vallée d'El Kantara).

## Chapitre I : Matériel et méthodes d'étude

Le massif de l'Aurès est une très importante formation d'âge crétacé ayant subi des plissements dont l'axe est orienté du nord et au sud ouest (Delartigue, 1904). Des vallées parallèles à cette direction ont été creusées dans cette formation par des érosions puissantes qui ont donné à cette région l'aspect topographique qu'elle présente : une série de chaînes parallèles, le djebel Bouss, le Djebel Mahmel, le djebel Krouma et le djebel Ahmar Khaddou séparés par des vallées de l'oued Bou-Zina, l'oued Abdi, l'oued El Abiod. Les vallées formées par les érosions ont été comblées par des dépôts plus récents, éocène, oligocène. Ainsi s'explique l'apparence de la carte géologique de la région formée de bandes parallèles de direction nord est sud ouest de terrains tertiaires (oligocène, éocène) alternant avec des bandes crétaçées (Delartigue, 1904).



**Figure 2.** Carte géologique des Aurès (D'après Laffitte, 1939, Benmesaoud, 2010).

### 2. Sites d'étude

#### 2.1. Description générale du parc national de Belezma (PNB)

Le Parc National de Belezma se situe dans la partie orientale de l'Algérie du Nord, dans le massif montagneux du Belezma qui se trouve à l'extrémité Ouest du Mont Aurès dans l'Est Algérien. Il se localise à environ 7 km au nord-ouest du chef-lieu de la wilaya de Batna (PNB, 2015).

Le parc national de Belezma (PNB) est une aire protégée créée par le décret n° 84-326 du 03 novembre 1984 (PNB, 2015). Il est récemment désigné comme réserve de la biosphère (MAB : Man and Biosphere) ;

Le PNB est localisé dans la plage des coordonnées suivantes: 35° 32' 40" et 35° 37' 46" de latitude Nord, 5° 55' 10" à 6° 10' 45" de longitude Est. Il occupe une superficie de 26.250 ha dominés par des forêts de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). Les sols de la région sont caractérisés par leur relative jeunesse, leur épaisseur et leur faible niveau de développement. Ils sont dominés par de petits sols bruns calcaires et rendzines calcaires (Abdessemed, 1981).

Le réseau hydrographique du parc, très ramifié, constitué principalement d'oueds temporaires qui entrent dans le vaste bassin versant des hauts plateaux Constantinois, situé dans le Nord-Est de l'Algérie. La majeure partie des oueds du parc national drainent leurs eaux en dehors du territoire du parc, ce sont principalement des cours d'eau temporaires à régime saisonnier (hivernal) et torrentiel. L'évacuation des eaux du versant Sud cause souvent des inondations à l'événement Nord-ouest de la ville de Batna. Le réseau hydrographique nord est constitué de Oued Ketami, Oued H'Rakta, Oued Enadjerime, Oued El Ma et Oued Châab et Islan. Le réseau hydrographique sud est constitué d'oueds et de ravins dont les principaux sont: Oued Bouilef, Oued Nafla, Oued -Châaba, Oued Hamla, Oued Skène.

Notre étude a impliqué quatre cours d'eau (oueds) : Oued Hamla, Oued Chaaba, Oued Bouilef et Oued El Ma. Ces oueds relèvent du bassin hydrographique des hauts plateaux Constantinois (Bassin versant N°07, surface : 9.578 km<sup>2</sup>) et en particulier du sous bassin versant de Sebkheth Ezzemoul (sous bassin N°07-03, surface : 560 km<sup>2</sup>) (ANRH, 2001) (Fig. 3). Ces oueds sont choisis pour la plus au moins durabilité de leur écoulement, pour leur représentativité des cours d'eau du PNB ainsi que pour leur proximité des routes, ce qui facilite leur accès.

### 2.2. Description générale du mont de Chélia

La zone d'étude des massifs forestiers de Chélia, fait partie du grand massif montagneux des Aurès (Monts des Aurès), qui appartient à son tour au domaine montagneux de l'Atlas Saharien. Ces monts des Aurès, surplombent les hautes plaines au Nord et la dépression d'Outa El Mroudj et les monts des Nementcha au Sud (BNEDER, 2010).

Le relief est constitué par une Chaîne montagneuse formée de plis parallèles orientés du Sud - Ouest vers le Nord-Est avec comme exposition dominante, un versant Sud-Est et un versant Nord-Ouest. D'une façon générale, les altitudes sont élevées dénotant du caractère montagneux et accidenté des terrains. L'altitude moyenne est de 1763 m, entre le point bas du massif (1200 m) se trouvant à proximité de Oued El Askeur au Sud du massif et le point haut au milieu bien évidemment sur le pic du Djebel Chélia (Ras Keltoum 2328 m ; BNEDER, 2010).

Les versants exposés au Nord-Ouest jouissent d'un microclimat de nuance humide, caractérisé localement par des précipitations conséquentes, des températures moins froides et des influences fraîches et pluvieuses, comparativement aux versants exposés au Sud - Est subissant à leur tour un contraste microclimatique moins humide, des températures hivernales rigoureuses et des vents chauds et secs, donnant des températures estivales torrides (BNEDER, 2010).

Notre étude a impliqué trois cours d'eau (oueds) : Oued Chélia (Oued Lakhzoum), Oued Yabous (Oued Lma Lakhhal) et Oued Kimel (Fig. 3). Ces oueds correspondent en partie à deux bassins hydrographiques selon le découpage A.N.R.H (BNEDER, 2010) :

- Oued Chélia et Oued Yabous appartiennent au bassin hydrographique des hauts plateaux Constantinois (Bassin versant N°07, surface : 12336 km<sup>2</sup>) et en particulier du sous bassin versant de l'oued oued El Arab (sous bassin n°06-18 avec 19590 Ha soit 96,63 % du bassin versant).
- Oued Kimel appartient au bassin hydrographique n°06 du Chott Melghir, (occupant 20.273 Ha).

Le bassin hydrographique n°07 des hauts plateaux constantinois, est encadré par Oued Talha qui draine le nord des massifs de Chelia qui coule à partir des hauteurs du Djebel Chélia pour devenir enfin au niveau de la plaine de R'mila, Oued Boulefreis, qui à son tour se jette dans Garaet El Tarf.

Quant au bassin versant du Chott Melghir, qui draine la partie Sud des deux oueds étudiés, il est encadré par deux principaux drains qui forment à leur confluence Oued El Arab.

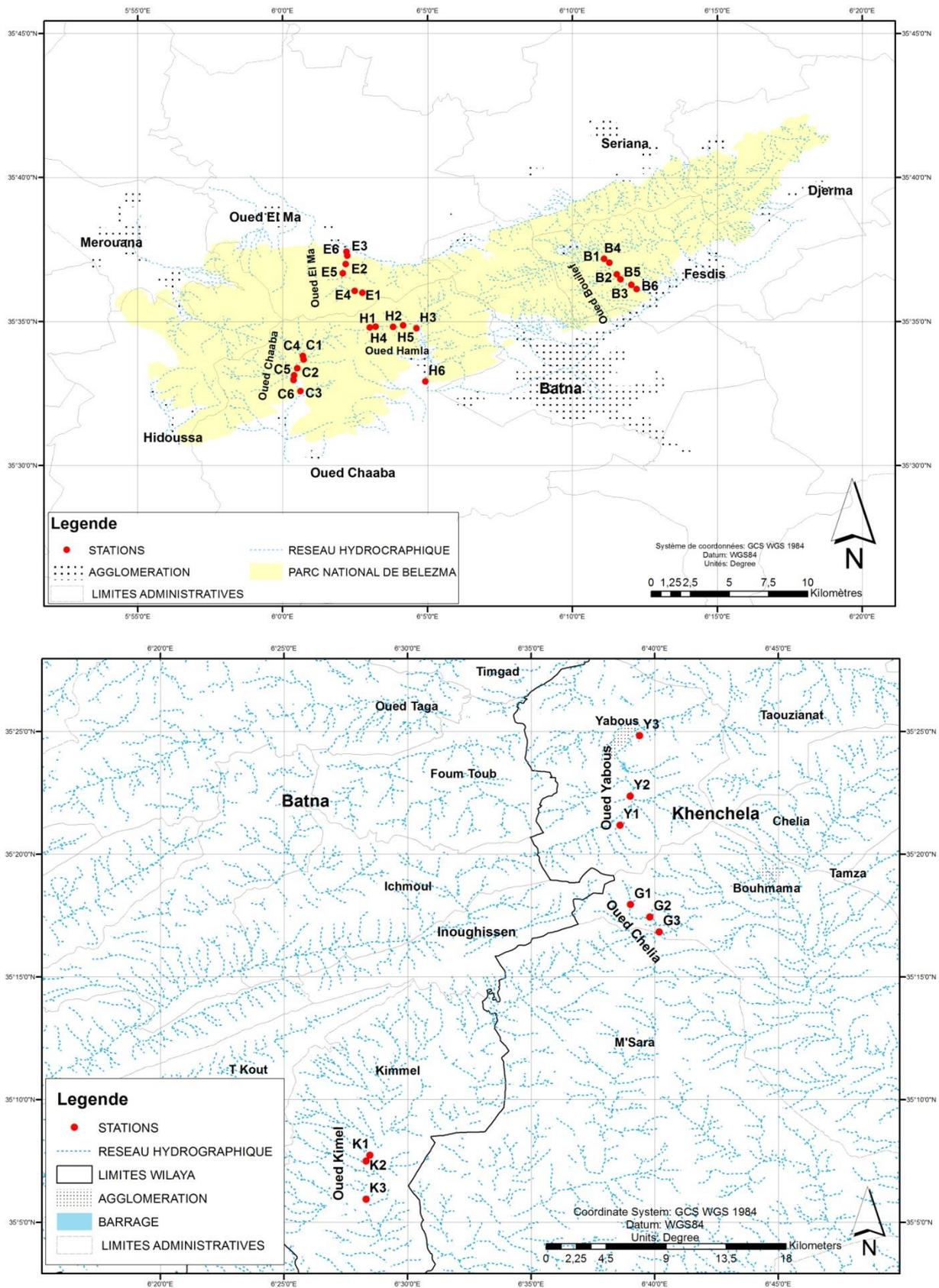
L'Oued Mellagou draine le Sud du massif montagneux du Chélia, où il encadre ce dernier par ces deux bras à savoir Oued El Askeur qui prend source sur le versant Sud de Djebel Chélia, et Oued Tafrennt qui coule depuis Dj bel Ifersane au Nord et Nord-Est du massif, formant à leur confluence au niveau de Bouhmama avec Oued Tamza, Oued Mellagou qui draine la plaine (vallée) de Bouhmama. Il finit sa course dans Oued El Arab.

L'Oued El Abiod draine l'ouest du massif de Chélia, et Oued El Arab qui est un Oued des Aurès orientales coule du Nord au Sud, jusqu'à son embouchure au Chott Melghir. Tout comme Oued El Arab, l'Oued El Abiod termine aussi sa course dans le Chott.

Le réseau hydrique en place sur les hauteurs des massifs montagneux du Chélia est alimenté par une multitude de Talwegs denses sur les sommets abrupts et accidentés, formant des cours d'eau encaissés façonnant des versants très pentus avec même parfois de véritables falaises.

Un oued est un flux d'eau éphémère, de taille très variable, qui ne se remplit d'eau que pendant les saisons humides et pluvieuses, mais se tarit pendant la saison sèche. Un oued se situe généralement dans les régions semi-arides endoréiques, avec un régime de débit très irrégulier, où le climat est tempéré, chaud et sec en été, pluvieux et humide en hiver. Dans ce genre de climat, tout le système de l'eau est étroitement lié aux précipitations et il est surmonté d'une atmosphère à très haut pouvoir d'évaporation (ANRH, 2001). En effet, le climat général du PNB et celui de Chelia est de type Méditerranéen saisonnier, classé majoritairement dans l'étage bioclimatique semi-aride à hivers frais mais très changeant d'une année à une autre et présentant des variantes allant jusqu'aux étages subhumides et humides dans les hautes altitudes (Stewart, 1971).

## Chapitre I : Matériel et méthodes d'étude



**Figure 3.** Réseau hydrographique général de la zone prospectée avec localisation des sept oueds et des stations étudiés dans la région des Aurès.

### 3. Caractérisation climatique et bioclimatique

Le climat joue un rôle prépondérant dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Certains éléments du climat traduisent des propriétés indispensables à la répartition des macro-invertébrés benthiques (Arab et al., 2004). La pluviométrie constitue la principale source d'eau pour les écosystèmes de cours d'eau (Minshall, 1988; Resh et al., 1988; Allan, 1995) et la fréquence des événements pluvieux détermine la quantité d'eau pour les cours d'eau dans les bassins hydrographiques (Abdul et Gillham, 1989). Les courants d'écoulement sont fortement tributaires des précipitations et agissent donc sur la dynamique de la faune des macro-invertébrés (Flecker et Feifarek, 1994).

Afin de mieux cerner les différents paramètres climatiques et d'effectuer une étude bioclimatique de la zone d'étude, nous avons pris en considération les données météorologiques enregistrées aux stations références (El-Hamma et Batna ; Tab. 1). La station de Batna et El-Hamma sont situées au Nord de la zone d'étude et constituent de ce fait les stations de références sur laquelle des extrapolations à différentes altitudes seront réalisées.

**Tableau 1** : Caractéristiques identifiant les stations météorologiques Batna et El-Hamma (Station Batna, El-Hamma, 2016)

Station	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Nombre d'années d'observation	Versant
Batna	35° 45'	06° 19'	821,29	21	Nord
El Hamma	35° 19'	06° 75'	988	20	Nord

#### 3.1. Analyse des paramètres climatiques

Pour caractériser le climat de la zone d'étude, nous avons exploité les données climatiques de 2005 à 2015 pour la station d'El Hamma et de 2005 à 2016 pour la station de Batna.

##### 3.1.1. Les températures

La température représente un facteur limitant de toute première importance car, elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (Ramade, 1984).

## Chapitre I : Matériel et méthodes d'étude

Nous avons reportés les valeurs moyennes mensuelles, minimales et maximales des températures de l'air enregistrés d'une façon continue dans les deux stations de référence soit une période de 10 ans (Tab. 2, Tab. 3).

Les moyennes annuelles des températures de l'air sont variables d'une année à l'autre. La température moyenne interannuelle à Batna c'était de 15.8 et celle d'El Hamma de 15.06.

Une des caractéristiques thermiques de la région d'étude est l'écart élevé entre les moyennes des minima (m) du mois le plus froid (janvier) et des maxima (M) du mois le plus chaud (juillet). Les minima et les maxima enregistrés pour la zone de Batna et El Hamma sont respectivement :  $m= 0.34^{\circ}\text{C}$ ,  $M= 36.13^{\circ}\text{C}$  et  $m= 2.27^{\circ}\text{C}$ ,  $M= 33.07^{\circ}\text{C}$ .

**Tableau 2.** Moyennes mensuelles des températures maximales (M) et minimales (m) relevées dans la station de Batna (Période 1995-2015-Station Batna, 2016)

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juit	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
M	11,88	12,79	16,95	21,76	25,99	32,14	36,13	35,03	29,15	23,52	16,42	11,92
m	0,34	0,73	3,49	6,87	11,07	15,21	18,66	18,25	14,77	10,39	4,93	1,04
T° moy	6,11	6,76	10,22	14,32	18,53	23,68	27,39	26,64	21,96	16,96	10,67	6,48
$\Delta T^{\circ} (C)$	11,54	12,06	13,46	14,90	14,92	16,94	17,47	16,78	14,38	13,13	11,49	10,88

**Tableau 3.** Moyennes mensuelles des températures maximales (M) et minimales (m) relevées dans la station de Batna (Période 1995-2016-Station El-Hamma, 2017)

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juit	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
M	10,28	10,85	14,76	18,50	23,60	29,08	33,07	32,09	26,11	20,27	14,84	11,01
m	2,27	2,24	4,75	7,66	11,44	15,72	18,82	18,48	15,39	10,65	6,46	3,17
T° moy	6,28	6,54	9,75	13,08	17,52	22,40	25,95	25,28	20,75	15,46	10,65	7,09
$\Delta T^{\circ} (C)$	8,01	8,62	10,01	10,85	12,16	13,36	14,26	13,61	10,72	9,61	8,38	7,84

- Les mois les plus chauds s'avèrent être le mois de juillet et août pour les deux régions (Tab. 2, Tab. 3).

Les températures moyennes enregistrées des mois les plus chauds dans la zone de Batna sont respectivement de  $27,39^{\circ}\text{C}$  et  $26,64^{\circ}\text{C}$  avec des maxima de  $36,13^{\circ}\text{C}$  et  $35,03^{\circ}\text{C}$ , des minima de  $16,66^{\circ}\text{C}$  et  $18,25^{\circ}\text{C}$  et une amplitude thermique de  $17,47^{\circ}\text{C}$  et  $16,78^{\circ}\text{C}$ .

Les températures moyennes enregistrées des mois les plus chauds dans la zone d'El Hamma sont respectivement de  $25,95^{\circ}\text{C}$  et  $25,28^{\circ}\text{C}$  avec des maxima de  $33,07^{\circ}\text{C}$  et  $32,09^{\circ}\text{C}$ , des minima de  $18,82^{\circ}\text{C}$  et  $18,48^{\circ}\text{C}$  et une amplitude thermique de  $14,23^{\circ}\text{C}$  et  $13,61^{\circ}\text{C}$ .

- Les mois de décembre, janvier et février présentent les mois les plus froids (Tableau 2, Tableau 3).

Les températures moyennes enregistrées des mois les plus froids dans la zone de Batna sont respectivement de 6,48°C, 6,11°C et 6,76°C avec des maxima de 11,92°C, 11,88°C et 12,79°C, des minima de 1,04°C, 0,34°C et 0,73°C et une amplitude thermique de 10,88°C, 11,54°C et 16,78°C.

Les températures moyennes enregistrées des mois les plus froids pour la zone d'El Hamma sont respectivement de 7,09°C, 6,28°C et 6,54°C avec des maxima de 11,01°C, 10,28°C et 10,85°C, des minima de 3,17°C, 2,27°C et 2,24°C et une amplitude thermique de 7,84°C, 8,01°C et 8,62°C.

### 3.1.2. Les précipitations

Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat (Le Houérou et al., 1977).

Selon Seltzer (1946), l'origine des pluies en Algérie est plutôt orographique. En effet, les précipitations varient en fonction de l'altitude, de l'orientation des chaînes de montagne et de l'exposition. De ce fait, les versants nord et nord-ouest reçoivent plus de précipitations que les autres expositions. Ainsi les quantités de pluies augmentent de bas en haut, selon un gradient pluviométrique altitudinal (Seltzer, 1946 ; Kadik, 1987).

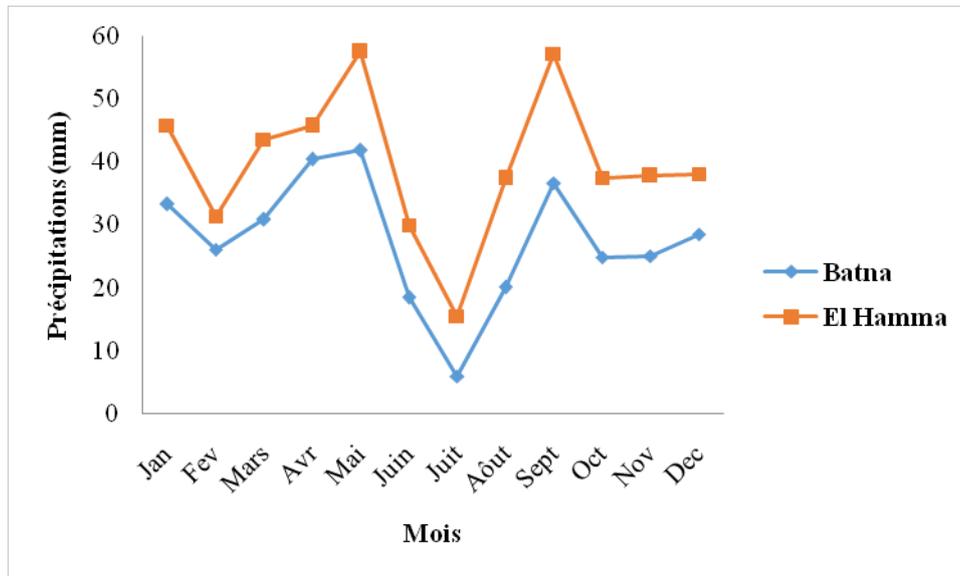
Les niveaux insuffisants de l'eau et les températures estivales élevées (> 35°C) entraînent une augmentation des périodes de sécheresse, ce qui influence négativement la biodiversité de la faune benthique (Arab et al., 2004).

Les deux stations reçoivent les précipitations les plus abondantes pendant les 9 mois : de septembre jusqu'au mois de Mai (Fig. 4).

Les mois d'avril, mai et septembre enregistrent respectivement les précipitations maximales de 40,4 mm, 41,4 mm et 36,7 mm contre une minimale de 6 mm au mois de juillet dans la station de Batna. La précipitation totale est de 332,1 mm.

Le mois le plus pluvieux pour la station d'El Hamma est le mois de mai qui enregistre une précipitation maximale de 57,45 mm. Les pics les plus faibles caractérisent les deux mois de l'été à savoir : juin, juillet et un mois d'hiver : Février avec 31,42 mm, ou le mois de

juillet était le mois le moins pluvieux avec une minimale de 15,53 mm. Par contre, la station reçoit des précipitations plus ou moins élevées (37,36 mm) en mois d'Août. Ce dernier est généralement caractérisé par des pluies orageuses. Cependant, la précipitation totale était de 477,06 mm.



**Figure 4.** Evolution mensuelle des précipitations en mm dans la station de Batna et d'El-Hamma (période 1995-2016).

### 3.2. Gradients pluviothermiques

#### 3.2.1. Gradients thermiques

Il est généralement admis que la température diminue avec l'altitude.

Seltzer (1946) donne les valeurs suivantes pour la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M) et la moyenne des minima du mois le plus froid (m) : -0,70 pour 100m de dénivelée pour M et -0,45 pour 100m de dénivelée pour m.

#### 3.2.2. Gradients pluviométriques

Seltzer (1946) ; Le Houérou et al. (1977) ; Absessemmed, (1981) ont mis en évidence l'existence de gradients de croissance altitudinal pour les précipitations. Les gradients trouvés pour évaluer les conditions pluviométriques des principaux reliefs dans les zones dépourvues de stations d'observation sont les suivants : - 40 mm par 100 m de dénivellation pour les versants nord ; - 20 mm par 100 m de dénivellation pour les versants sud.

### 3.3. Synthèse climatique

#### 3.3.1. Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

Le digramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls est un graphique utilisé en météorologie représentant la variation mensuelle d'une ou plusieurs variables climatiques, de ce fait il fournit une estimation de la durée de la saison sèche et la saison humide (Bagnouls et Gaussen, 1957).

Selon Bagnouls Et Gaussen (1957), un mois est dit biologiquement sec si, « le total mensuel des précipitations, exprimées en mm, est égal ou inférieur au double de la température moyenne, exprimé en degrés centigrades » ; cette formule ( $P \leq 2T$ ) permet de construire des diagrammes ombrothermiques traduisant la durée de la saison sèche.

L'analyse de diagramme ombrothermique distingue deux périodes : sèche et humide

Une période sèche de 5 mois s'étale du mois de juin jusqu'au mois d'octobre pour la station de Batna (Fig. 5). Alors que celle d'El Hamma s'étale de juin jusqu'au mois d'août, soit une période de 3 mois (Fig. 6).

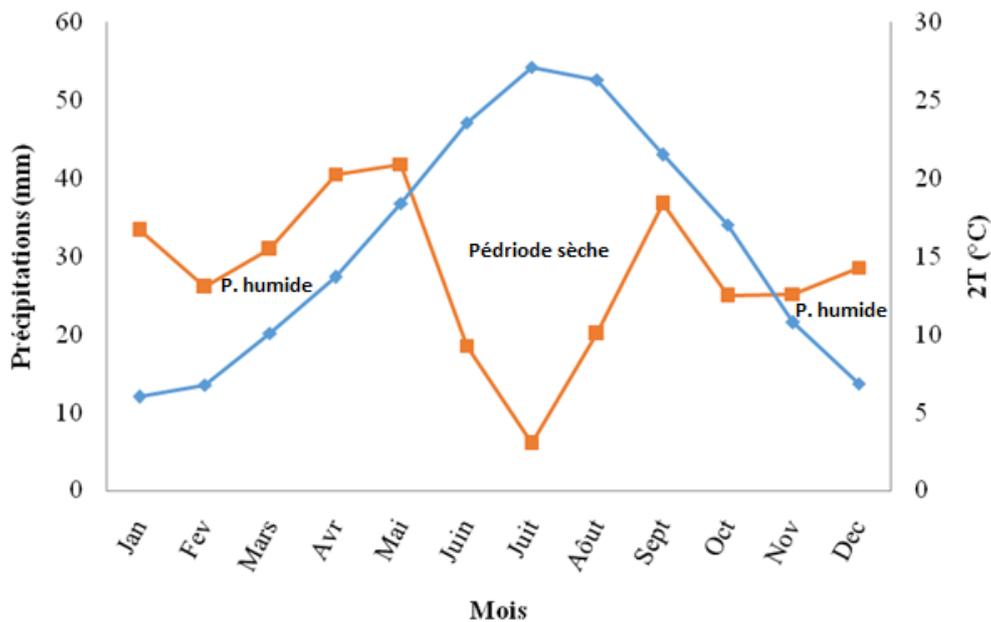
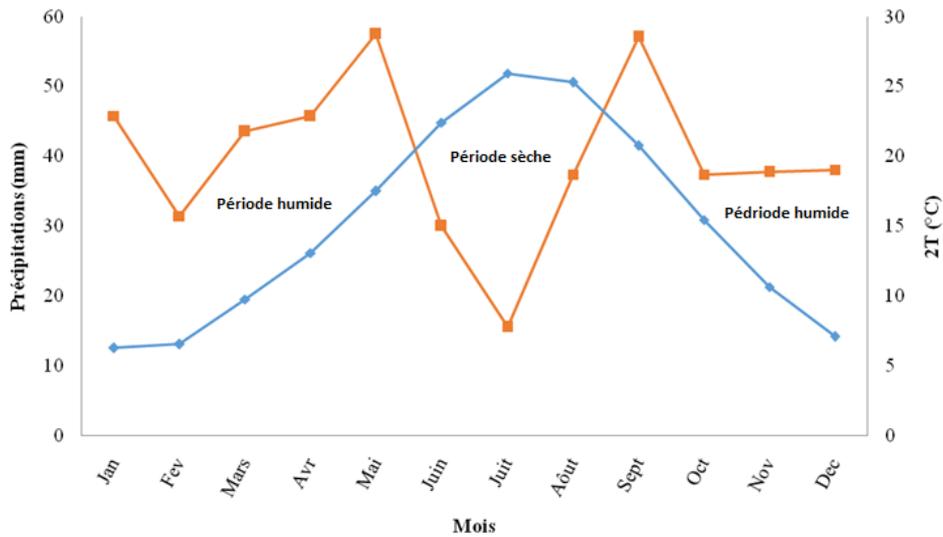


Figure 5. Diagramme ombrothermique (Station de Batna 1995-2016).



**Figure 6.** Diagramme ombrothermique (Station d'El Hamma 1995-2015).

### 3.3.2. Quotient pluviothermique et Climagramme d'Emberger

Le système d'Emberger permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une région donnée (Emberger, 1971). Cette classification fait intervenir deux facteurs essentiels, d'une part la sécheresse représentée par le quotient pluviothermique  $Q_2$  en ordonnées et d'autre part la moyenne des températures minimales du mois le plus froid en abscisses.

Il est calculé à partir de la formule d'Emberger modifiée par Stewart en 1969 :

$$Q_2 = 3,43 \times (P / M - m), \text{ d'ou}$$

P : pluviométrie annuelle en mm.

M : température moyenne maximale du mois le plus chaud en °C.

m : température moyenne minimale du mois le plus froid en °C.

Pour déterminer l'étage bioclimatique de la zone d'étude (Parc national de Belezma et la zone de Chélia), nous avons procédé à l'évaluation du quotient pluviothermique à différentes altitudes (Tab. 6, Tab. 7) grâce aux gradients pluviothermiques (M, m et P) exposés aux paragraphes 3.2.1 et 3.2.2.

Le parc national de Belzma occupe l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais à froid (Tab. 4).

## Chapitre I : Matériel et méthodes d'étude

**Tableau 4:** Données thermométriques mensuelles moyennes en (°C) et pluviométriques annuelles en (mm) de la région d'étude calculées par extrapolation pour la période allant de 1995 à 2016 pour la station de Batna (M : moyennes des températures maximales ; m : moyennes des températures minimales ; P : Précipitation annuelle en mm ; Q<sub>2</sub> : Quotient d'Emberger ; S-A : semi aride ; S-H : sub humide)

Versant Nord						Versant Sud				
Altitude (m)	M (°C)	M (°C)	P (mm)	Q <sub>2</sub>	E. bioclimat	M (°C)	M (°C)	P (mm)	Q <sub>2</sub>	E. bioclimat
800	36,13	0,34	332,1	31,83	S-A frais	36,13	0,34	332,1	31,83	S-A frais
900	35,43	-0,11	372,1	35,91	S-A frais	35,43	-0,11	352,1	33,98	S-A frais
1000	34,73	-0,56	412,1	40,05	S-A froid	34,73	-0,56	372,1	36,17	S-A froid
1100	34,03	-1,01	452,1	44,26	S-A froid	34,03	-1,01	392,1	38,38	S-A froid
1200	33,33	-1,46	492,1	48,52	S-A froid	33,33	-1,46	412,1	40,63	S-A froid
1300	32,63	-1,91	532,1	52,84	S-A froid	32,63	-1,91	432,1	42,91	S-A froid
1400	31,93	-2,36	572,1	57,23	S-A froid	31,93	-2,36	452,1	45,22	S-A froid

Le mont de Chelia appartient à deux étages bioclimatiques allant du semi-aride à hiver frais à froid au subhumide inférieur à hiver frais (Tab. 5).

**Tableau 5:** Données thermométriques mensuelles moyennes en (°C) et pluviométriques annuelles en (mm) de la région d'étude calculées par extrapolation pour la période allant de 1995 à 2016 pour la station d'El Hamma (M : moyennes des températures maximales ; m : moyennes des températures minimales ; P : Précipitation annuelle en mm ; Q<sub>2</sub> : Quotient d'Emberger ; S-A : semi aride ; S-H : sub humide)

Versant Nord						Versant Sud				
Altitude (m)	M (°C)	M (°C)	P (mm)	Q <sub>2</sub>	E. bioclimat	M (°C)	M (°C)	P (mm)	Q <sub>2</sub>	E. bioclimat
1000	33,07	2,27	477,06	53,13	S-A frais	33,07	2,27	477,06	53,13	S-A frais
1100	32,37	1,82	517,06	58,05	S-A frais	32,37	1,82	497,06	55,81	S-A frais
1200	31,67	1,37	557,06	63,06	S-H frais	31,67	1,37	517,06	58,53	S-A frais
1300	30,97	0,92	597,06	68,15	S-H frais	30,97	0,92	537,06	61,3	S-H frais
1400	30,27	0,47	637,06	73,33	S-H frais	30,27	0,47	557,06	64,12	S-H frais
1500	29,57	0,02	677,06	78,59	S-H frais	29,57	0,02	577,06	66,98	S-H frais

L'étude des paramètres climatiques basés principalement sur des extrapolations, n'a pas été sans problèmes. Néanmoins, elle nous a conduit à en tirer des observations qui restent valables et en accord avec celles avancées par certains auteurs tels que Schoenenberger (1970a ; 1970b) et Abdessemed (1981).

## Chapitre I : Matériel et méthodes d'étude

---

Cette étude a mis en évidence, au niveau du massif des Aurès en général un climat de type méditerranéen, semi-continentale faiblement contrasté, dont l'été est sec et dur d'avril jusqu'à mi-novembre. Ces valeurs diminueraient en remontant en altitude.

En conclusion, on peut dire que la zone d'étude occupe deux étages bioclimatiques allant du semi-aride à hiver frais à froid au subhumide inférieur à hiver frais

### 4. Méthodes et techniques d'étude de terrain

#### 4.1. Méthodes de caractérisation des conditions du milieu

##### 4.1.1. Choix et caractérisation des stations d'échantillonnage

Le relevé a intégré 33 stations d'échantillonnage des cours d'eau englobant 7 cours d'eau dans des environnements naturels, ruraux et urbains qui représentent le mieux les types de couverture terrestre dans les Aurès. Ceux-ci comprenaient un total de 11 stations agricoles, 6 stations urbaines et 16 stations forestières qui ont été sélectionnés pour permettre une comparaison entre les types de paysage. Les stations échantillonnées reflètent l'ensemble des différents types de cours d'eau caractéristiques de la région. Chaque station a été échantillonnée entre le mois de mars et avril 2015-2016, qui représente une période propice au développement de la faune aquatique.

Sur chacun des sept oueds (cours d'eau) échantillonnés, nous avons exploré trois stations pour chaque Oued pendant une campagne d'échantillonnage. Les 4 Oueds du parc national de Belezma (PNB) ont été échantillonnés en 2015 et 2016 soit 6 stations par oued, par contre les trois Oueds du mont de Chélia ont été échantillonnés seulement qu'en 2016, soit 3 stations par Oued en tenant compte de l'altitude, la diversité des biotopes, l'amont et l'aval des agglomérations pour estimer les différents niveaux d'impact humain. Cependant, des contraintes matérielles et logistiques (temps de travail, accessibilité des sites) ont également influencé le choix et l'emplacement de nos stations d'étude.

Pour chacune de ces stations, nous notons : l'altitude (m) et les coordonnées géographiques (latitude, longitude) en utilisant un GPS (Type Garmin, Oregon 650), la largeur et la profondeur, la pente, la vitesse du courant, la nature de substrat et les influences anthropiques (Tab. 6).

## Chapitre I : Matériel et méthodes d'étude

**Tableau 6.** Caractéristiques générales des cours d'eau et sites étudiés

Oued	Station	Altitude (m)	Longitude (N) Latitude (E)	Largeur (m)	Profondeur (cm)	Substrat dominant	Couverture du sol	Pente (%)	Expo
W. Chaaba	C1	1345	35° 33' 673" 6° 00' 730"	2,5	25	Sable grossier, galet, rocher	Forêt	20.92	NW
	C2	1303	35° 33' 375" 06° 00' 512"	4	20	Sable fin, galet, rocher	Forêt	11.41	NE
	C3	1277	35° 33' 124" 06° 00' 402"	1,5	5	Sable fin, rocher	Agriculture	13.50	NW
	C4	1331	35° 33' 42" 06° 00' 43"	2	3	Sable grossier, galet, rocher	Forêt	18.10	SE
	C5	1270	35° 33' 07" 06° 00' 24"	1,5	5	Sable grossier, galet, rocher	Agriculture	8.07	N
	C6	1233	35° 32' 34" 06° 00' 37"	1	5	Sable grossier, galet, rocher	Agriculture	13.86	NW
W. Bouilef	B1	1075	35° 37' 36" 6° 11' 252"	2,5	13	Sable grossier, galet, rocher	Forêt	26.01	SE
	B2	1043	6° 11' 558" 35° 36' 612"	2	10	Sable fin, galet, rocher	Forêt	23.03	NE
	B3	1039	35° 36' 499" 6° 11' 650"	3	8	Sable fin, galet, rocher	Urbain	28.18	S
	B4	1065	35° 37' 02" 06° 11' 16"	2,5	5	Sable fin, galet	Agriculture	27.90	S
	B5	1032	35° 36' 29" 06° 11' 39"	2,5	5	Galet, rocher	Agriculture	26.82	S
	B6	1024	35° 36' 21" 06° 11' 50"	0,5	5	Sable fin, galet	Agriculture	11.45	S

## Chapitre I : Matériel et méthodes d'étude

**Suite Tableau 6.** Caractéristiques générales des cours d'eau et sites étudiés

Oued	Station	Altitude (m)	Longitude (N) Latitude (E)	Large (m)	Prof (cm)	Substrat Dominant	Couverture du sol	Pente (%)	Expo
W. El Ma	E1	1440	35° 35' 924" 6° 02' 409"	1,5	6	Sable fin, galet, rocher	Forêt	45.27	N
	E2	1183	35° 36' 988" 6° 02' 184"	1	5	Sable fin, galet, rocher	Agriculture	12.04	N
	E3	1045	35° 37' 277" 6° 2' 232"	0,5	5	galets, rocher	Agriculture	9.58	W
	E4	1431	35° 35' 55" 06° 02' 25"	1	10	Sable grossier, rocher	Forêt	45.68	N
	E5	1235	35° 36' 40" 06° 02' 05"	0,5	5	Sable grossier, galet,	Forêt	14.56	NE
	E6	1143	35° 37' 19" 06° 02' 14"	0,5	3	Sable grossier, galet,	Urbain	20.41	NW
W. Hamla	H1	1411	35° 34' 785" 06° 03' 011"	2	5	Sable grossier, galet, rocher.	Forêt	20.97	NE
	H2	1316	35° 34' 808" 6° 03' 814"	0,5	3	Sable grossier, Galet	Forêt	5.81	NE
	H3	1136	35° 32' 914" 6° 04' 926"	1	3	Sable grossier, galet, Rocher	Urbain	9.20	SW
	H4	1406	35° 34' 47" 06° 03' 03"	3	7	Sable fin, galet	Forêt	12.41	N
	H5	1289	35° 34' 51" 06° 04' 09"	1	5	Galets, rocher	Agriculture	10.87	SW
	H6	1246	35° 34' 45" 06° 04' 37"	0,5	3	Sable grossier, galet, rocher	Urbain	9.36	NE

## Chapitre I : Matériel et méthodes d'étude

**Suite Tableau 6.** Caractéristiques générales des cours d'eau et sites étudiés

Oued	Station	Altitude (m)	Longitude (N) Latitude (E)	Largeur (m)	Profondeur (cm)	Substrat dominant	Pression humaine	Pente (%)	Expo
W. Chelia	G1	1560	35° 17' 30" 06° 38' 11"	2	5	Sable grossier, galet, rocher	Agriculture	14.51	SE
	G2	1415	35° 17' 04" 06° 38' 50"	2	4	Sable fin, galet	Forêt	14.47	SE
	G3	1320	35° 16' 47" 06° 40' 01"	1	4	Sable grossier, galet, rocher	Agriculture	10.52	N
W. Kimel	K1	1070	35°08'031" 06°28'847"	1,5	5	Sable grossier, galet, rocher	Forêt	17.14	E
	K2	1057	35°07'499" 06°28'350"	1,5	5	Sable fin, sable grossier, galet, rocher	Forêt	29.01	W
	K3	1009	35°05'892" 06°28'327"	1	6	Sable grossier, galet, rocher	Forêt	18.38	SE
W. Yabous	Y1	1365	35° 21' 10" 06° 38' 35"	4	6	Sable grossier, galet, rocher	Forêt	10.36	N
	Y2	1285	35° 21' 39" 06° 38' 37"	2	5	Sable grossier, galet, rocher	Agriculture/ Urbain	9.70	S
	Y3	1097	35° 24' 54" 06° 39' 19"	2,5	4	Sable grossier, galet, rocher	Agriculture/ Urbain	15.78	N

### 4.1.2. Méthode de caractérisation mésologique des cours d'eau

- La largeur a été mesurée à l'aide d'un décimètre et la profondeur a été appréciée par une règle graduée.

- Le débit de l'eau est caractérisé par la vitesse moyenne d'écoulement de l'eau. La méthode des flotteurs consiste à mesurer le temps mis par une particule flottant à la surface d'un cours d'eau (traceur naturel comme des débris végétaux, ou flotteur rajouté par le manipulateur) pour parcourir une distance donnée et à en déduire ainsi une vitesse en surface. Une bonne répartition des flotteurs sur la surface du cours d'eau est nécessaire (Hauet, 2006). Les relevés de la vitesse de l'eau sont classés selon l'échelle de Berg (Decamps, 1971):

Vitesse très lente : inférieur à 0,1 m/s ; Vitesse lente : 0,1 à 0,25 m/s ; Vitesse moyenne : 0,25 à 0.50 m/s ; Vitesse rapide : 0,50 à 1 m/s ; Vitesse très rapide : supérieur à 1 m/s.

- Les types d'habitats disponibles à la faune des macro-invertébrés sont décrits à travers le genre de substrat présent dans le lit de l'oued et le taux de recouvrement de chaque habitat est estimé à l'œil nu (Touron-Poncet et al. 2014). Les substrats des cours d'eau ont été classés dans l'un des quatre types suivants: (i) sable fin (diamètre <2 mm); (ii) sable grossier (2-25 mm); (iii) pierres (25-250 mm); et (iv) les roches (> 250 mm; Tachet et al. 2010).

- Le niveau (ou le degré) de pression humaine a été enregistré sur une échelle ordinale pour chaque site comme suit: (a) forêt, (b) agriculture et activités domestiques, (c) urbain.

### 4.1.3. Méthode d'étude de la qualité physico-chimique de l'eau

Pour chaque site, la température, le pH, la turbidité et l'oxygénation (mg/l et % de saturation) de l'eau ont été mesurés in situ à l'aide d'une sonde multi-paramètres. Des prélèvements d'eau ont aussi été réalisés dans des bouteilles d'une capacité d'un (01) litre étiqueté, pour chaque station et qui ont été conservées dans une glacière afin de maintenir une température fraîche et d'éviter la lumière pour être immédiatement acheminés au laboratoire pour analyses. Ces dernières ont été réalisées au niveau des laboratoires de l'Algérienne des eaux (ADE) de Batna. Les méthodes et les appareils utilisés pour chacun des paramètres mesurés sont présentés en annexe (Annexe 1). Parmi eux, certains sont des descripteurs typiquement représentatifs du degré d'altération anthropique du milieu, alors que d'autres sont des descripteurs représentatifs de la géochimie-hydrochimie naturelle. Ci-dessous le détail des paramètres (Touron-Poncet, 2014)

- le pH (potentiel Hydrogène) : ce paramètre est le reflet de la concentration d'une eau en ions  $H^+$ . Il donne le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau.

- la conductivité (exprimée en  $\mu S/cm$ ) : la conductivité électrique exprime la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. L'eau très pure est un isolant qui oppose une grande résistance au passage de l'électricité, contrairement à une eau chargée en sels minéraux (calcium, magnésium, sodium, potassium) d'origine naturelle ou polluante. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau.

- l'oxygène dissous (exprimé en mg/l d' $O_2$ ) : la présence d'oxygène dans l'eau est indispensable à la respiration des êtres vivants aérobie. La concentration en oxygène dissous dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la

disponibilité en nutriments. Globalement, plus la concentration en oxygène dissous est proche de la saturation, plus la capacité de la rivière à absorber une pollution est grande.

- le taux de saturation en oxygène (exprimé en % O<sub>2</sub>) : Il s'agit du pourcentage d'oxygène dissous réel présent dans l'eau par rapport au maximum possible d'oxygène soluble compte tenu de la température et de la pression atmosphérique.

- la turbidité (exprimée en NTU) : ce paramètre mesure l'aspect plus ou moins trouble de l'eau. La turbidité est causée par diverses matières particulaires ou colloïdales composées de limon, d'argile, de composés organiques ou inorganiques ainsi que du plancton et d'autres micro-organismes.

- la teneur en Matières En Suspension (MES) (exprimée en mg/l) : ce paramètre mesure la teneur en matières fines minérales ou organiques insolubles dans l'eau, qui proviennent de rejets urbains, industriels et/ou agricoles ainsi que des phénomènes d'érosion des sols (en liaison avec les précipitations).

- l'ammonium (exprimé en mg/L de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) : la présence d'ammonium dans les eaux traduit habituellement un processus de dégradation de la matière organique incomplet. Sa présence est à rapprocher des autres éléments azotés identifiés dans l'eau (nitrites et nitrates). La présence d'ammonium en quantité relativement importante peut être l'indice d'une pollution d'origine anthropique (rejets d'eaux usées ou industriels).

- les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (exprimé en mg (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)/l) : forme la plus oxydée de l'azote minéral, ils sont issus de la minéralisation des matières organiques fermentescibles (type effluents organiques, rejets de STEP...). C'est pourquoi les nitrates constituent un indicateur indéniable d'altération anthropique, et sont trouvés en quantités non négligeables à l'aval des bassins versants. Des apports directs par l'activité agricole (apports fertilisants de nitrates, d'ammonitrate, ou d'apports organiques type fumier et lisier) contribuent aussi de façon importante aux quantités de nitrates relevées dans les cours d'eau.

- les nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) (exprimés en mg/l de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) : ils sont une forme intermédiaire de l'azote entre l'ammonium et les nitrates, apparaissant lors de la dégradation des substances azotées par des bactéries. Ils peuvent être très toxiques pour les organismes vivants. Dans l'environnement, les concentrations de cette forme transitoire sont très rarement élevées. Pour la plupart de stations de l'étude, le taux de nitrites est inférieur à la limite de quantification.

- les orthophosphates (exprimés en mg/l de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) : C'est la forme du phosphore la plus rapidement biodisponible dans les hydrosystèmes. Si les phosphates sont normalement

présents et utiles à faible dose dans l'eau et les sols, leur excès est (avec celui des teneurs en nitrates) une des causes majeures de l'eutrophisation voire de dystrophisation de l'environnement. Ils proviennent des engrais agricoles, des lessives, des effluents d'élevage, d'industries agro-alimentaires ou de stations d'épuration.

- le calcium et le magnésium (exprimés en mg/L de  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , respectivement) : la concentration de ces éléments, en solution dans l'eau, est directement liée à la nature géologique du sous-sol. Ces éléments sont à l'origine de la dureté de l'eau.

- les bicarbonates (exprimés en mg  $\text{HCO}_3^-$ /L) : cette variable représentera les sites aux eaux carbonatées riches en hydrogéocarbonates ( $\text{H}_2\text{CO}_3^-$  et  $\text{HCO}_3^-$ ).

- les chlorures (exprimés en mg Cl-/L) : ces ions peuvent être localement présents dans des rejets d'origine anthropique (rejets d'industries agroalimentaires, d'industries chimiques...).

-les sulfates (exprimés en mg  $\text{SO}_4^{2-}$ /L) : Ils peuvent être présents de façon naturelle dans les eaux. On peut aussi en trouver des concentrations importantes dans des rejets anthropiques, notamment d'origine chimique et domestique, et ils signent dans ce cas une altération.

- le Titre Alcalimétrique Complet (TAC) (°F) : cette grandeur qui mesure le taux d'hydroxydes, de carbonates et de bicarbonates d'une eau permet d'évaluer l'agressivité d'une eau.

- le Titre Hydrotimétrique (TH) (°F) : c'est un indicateur de la minéralisation de l'eau, surtout proportionnel à la concentration en calcium et magnésium. Le titre hydrotimétrique des eaux naturelles augmente souvent avec l'éloignement de la source, l'eau se chargeant en sels minéraux.

Les paramètres environnementaux locaux (physico-chimiques et biologiques) ont été enregistrés sur chaque site de cour d'eau sur une feuille d'enregistrement des données avant l'échantillonnage des macro-invertébrés. La nature des principaux facteurs de pression est décrite par le biais de la couverture du sol caractérisant les terres adjacentes aux stations échantillonnées dans les sept oueds (Tableau 6). Les oueds sont bordés par une végétation basse mais aucun couvert de végétation d'habitat aquatique n'a été observé.

#### 4.1.4. Méthode d'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques

L'échantillonnage consiste à rassembler la plus grande diversité faunistique représentatives des habitats pour un meilleur balayage des taxons présent dans les cours d'eau. Certains nagent à la surface ou en eau libre, d'autres vivent plutôt sur la végétation,

d'autres encore se fixent sur les pierres ou s'enfoncent dans les sédiments, et d'autres encore vivants dans le courant ou accrochée sur le fond. (Mary, 1999).

Les macro-invertébrés ont été échantillonnés dans les mêmes 33 stations concernées par les analyses physico chimiques de l'eau. Les habitats (substrats) ainsi échantillonnés sont : le sable fin, le sable grossier, les galets et les rochers, où les collectes sont réalisées différemment.

Les prélèvements de la faune benthique, au niveau du sable fin et grossiers se fait à l'aide d'un filet Surber qui se compose de 2 cadres articulés en acier, ayant pour rôle de canaliser le courant dans le filet fixé à l'un des cadres (position perpendiculaire au courant). Le deuxième cadre est posé sur le fond sur une surface de 1/20 du m<sup>2</sup>. Aussi, nous soulevons les galets et les rochers qui se trouvent dans cette aire et nous les lavons à l'entrée du filet qui a pour ouverture de maille 500 µm, l'équivalent de la zone du micro- habitat à échantillonner d'une surface de 1/20 du m<sup>2</sup>. Une fois l'échantillonnage complété, le filet est lavé et vidé dans un récipient étiqueté sur lequel nous précisons la station du prélèvement, la date et toutes les caractéristiques environnementales de la station. Le filet surber permet de capturer une grande variété d'espèces d'invertébrés aquatiques à différents stades de développement (œufs, larves, nymphes, adultes). Le support est alors soit nettoyé à la main (exemple : les pierres), soit gratté à l'aide d'un râteau sur une épaisseur de quelques centimètres (exemple : le sable) ou éventuellement prélevé en totalité (exemple : les végétaux immergés). Après échantillonnage et le transfère des échantillons sur un tamis de maille 350 µm le contenu du prélèvement est préalablement filtré. Ensuite Les échantillons des macroinvertébrés sont stockés dans de l'alcool à 70 % avant d'être identifiés. (Tachet et al., 2010).

### 4.1.5. Méthode de conservation, tri et identification des macro-invertébrés

Immédiatement après l'échantillonnage, les échantillons de macro-invertébrés de chaque mésohabitat ont été conservés au laboratoire dans des boites de Pétri étiquetés contenant 4% de dehyde formel. Les échantillons de macro-invertébrés ont été traités individuellement, ont été lavés dans un nid de tamis (2,5 mm-0,5 mm) pour enlever les sédiments fins (limon et argile) et détritiques, puis transférés dans un plateau de tri blanc à fond plat, recouvert d'eau pour réduire la réflexion de la lumière. Des pinces entomologiques en métal souple ont été utilisées pour retirer les macro-invertébrés du plateau de tri blanc dans des tubes à échantillon pré-étiquetés contenant de l'alcool dénaturé à 70%, en les séparant en grands groupes systémiques. Les macro-invertébrés sont par la suite triés et déterminés à

l'aide d'une loupe binoculaire en poussant l'identification à la famille, au genre mais rarement à l'espèce (Tachet et al., 2010). Cet ensemble de données a été utilisé comme un développement d'abondance d'habitat.

### 4.1.6. Méthode de définition des traits d'histoire de vie

L'identification de l'animal constitue un préalable fondamental, mais la connaissance du nom de l'animal n'a d'intérêt que si nous lui donnons une signification écologique (Tachet et al., 2010). Sur les 22 traits bio-écologiques décrit par Tachet et al en 2010, 5 traits ont pu être codifiés en modalités nominales ou ordinales pour l'ensemble de nos taxons des Aurès en réunissant plusieurs études (Tachet et al., 2010 ; Tomanova et al., 2006). Le tableau 7 présente les traits biologiques et écologiques avec toutes les modalités qui lui sont associées. Les traits utilisés pour cette étude sont détaillés ci-dessous.

- 1) Respiration : les modes respiratoires sont très variés. Cette respiration peut se faire 1) directement à travers les téguments pour les organismes primitifs 2) grâce à des branchies 3) avec un plastron respiratoire 4) avec un spiracle.
- 2) Relation au substrat : Les macro-invertébrés présentent une très grande diversité de modes de locomotion. Les stratégies des organismes sont larges allant de la fixation au substrat (temporaire ou permanente) au vol en passant par l'enfouissement, la marche et la nage.
- 3) Source de nourriture : Les sources de nourriture disponible pour les macro-invertébrés peuvent être regroupées en plusieurs catégories : les particules organiques de faible taille (microorganismes et fin débris organiques) ; les végétaux (morts ou vivants), les invertébrés (morts ou vivants) et les vertébrés (principalement du fait du parasitisme)
- 4) Mode d'alimentation : Le mode d'alimentation correspond à la manière dont les organismes se procurent et ingèrent leurs sources de nourriture. Cette ingestion peut se faire à l'aide de structures biologiques non spécifiques (absorbeurs), primitives (mangeurs de sédiments fins et broyeurs) ou spécialisées (racleurs, filtreurs, perceurs).
- 5) Substrats : Neuf types de substrats sur lesquels les invertébrés peuvent vivre ont été définis en fonction de leur caractère organique ou minéral et de leur granulométrie (pour les minéraux).

L'intégration de ces 5 traits dans nos analyses, nous permettra d'évaluer leur capacité à discriminer les impacts anthropiques pour la première fois dans les Aurès. Contrairement aux indices (indices de diversité, richesse taxonomique, abondances relatives, espèces indicatrices), les traits permettent d'établir un diagnostic précis sur l'origine de la dégradation du milieu, l'impact des perturbations et des fluctuations naturelles (temporelles et/ou spatiales) de la composition des communautés vivantes (Touron-Poncet, 2014). Chaque trait donne une indication sur la qualité du milieu où vivent les macro-invertébrés. Stark et al., 2004 ont montré le rôle que jouaient les stratégies biologiques dans la sensibilité des macro-invertébrés au stress toxique. Dans notre étude, les traits utilisés sont aussi des indicateurs susceptibles de répondre à des perturbations du milieu. Nos traits sont relatifs à la structure fonctionnelle (mode d'alimentation, respiration, mode de locomotion) et à l'habitat (affinité pour un substrat donné). Ces traits sont donc susceptibles de nous renseigner sur une pollution organique ou bien une dégradation physique des habitats.

Les modalités de chaque trait ont été quantifiées par codage flou (Chevenet et al., 1994, c'est à-dire que chaque taxon pour chaque modalité de trait a un score variant de 0 à 5 (0 : aucune affinité pour la modalité ; 5 : très forte affinité). Le codage flou permet d'attribuer aux différentes espèces rencontrées une valeur quantifiant l'affinité que portent ces espèces pour les différentes modalités d'un trait écologique ou biologique donné.

**Tableau 7.** Traits biologiques et écologiques et modalités correspondantes d'après Tachet et al., 2010

<b>Traits biologiques</b>	<b>modalités</b>	<b>Code</b>	<b>Traits écologiques</b>	<b>Modalités</b>	<b>Code</b>
<b>Respiration</b>	tégument	R1	<b>Substrats</b>	blocs, pierres, cailloux, galets	S1
	branche	R2		Gravier	S2
	plastron	R3		Sable	S3
	spiracle	R4		Limon	S4
	vésicule hydrostatique	R5		macrophytes	S5
<b>Relation au substrat</b>	vol	L1		microphytes	S6
	nageur, surface	L2		branches, racines	S7
	nageur, plaine eau	L3		débris organiques, litière	S8
	marcheur	L4		vase	S9
	fouisseur (épibenthique)	L5			
	interstitiel (endobenthique)	L6			
	fixation temporaire	L7			
	fixation permanente	L8			
<b>Source de nourriture</b>	microorganismes	N1			
	ditritus (< 1mm)	N2			
	débris végétaux (>1mm)	N3			
	microphytes	N4			
	macrophytes	N5			
	débris animaux (>1mm)	N6			
	micro-invertébrés	N7			
	macro-invertébrés	N8			
	vertébrés	N9			
<b>Mode d'alimentation</b>	absorbeur	A1			
	mangeur de sédiments fins	A2			
	broyeur	A3			
	racleur	A4			
	filtreur	A5			
	perceur	A6			
	prédateur	A7			
	parasite	A8			

### 5. Exploitation des données

Plusieurs paramètres et indices de diversité ont été utilisés pour évaluer la diversité des peuplements de macro-invertébrés benthiques. La définition ainsi que les formules permettant de calculer ces paramètres et indices sont définis ci-dessous. Toutefois, nous avons utilisé la version 3 du logiciel PAST "Paleontological Statistics" élaboré par le Museum d'Histoire Naturelle de l'Université d'Oslo (Norvège) et qui permet de calculer tous ces indices et bien d'autres d'une manière plus rapide et évitant des erreurs (Hammer et al., 2001).

#### 5.1. Méthodes de calcul des indices de structure et d'organisation

##### 5.1.1. Fréquence en nombre (Abondance) :

La fréquence en nombre ou fréquence centésimale ( $F_c$ ) représente l'abondance relative et correspond au nombre d'individus d'une espèce ( $n_i$ ) par rapport au total des individus recensés ( $N$ ) d'un peuplement, elle est exprimée en pourcentage. Elle peut être calculée pour un prélèvement ou pour l'ensemble de ce dernier d'une biocénose (Dajoz, 2003).

$$F_c = (n_i / N) \times 100$$

##### 5.1.2. Indice d'occurrence :

Selon (Dajoz, 2003), la constance ( $C$ ) est le rapport du nombre de relevés contenant l'espèce étudiée ( $P_i$ ) au nombre total de relevés ( $P$ ), elle est exprimée en pourcentage.

$$C = (P_i / P) \times 100$$

Bigot et Bidot (1973), singularisent plusieurs groupes au fur et à mesure de leur fréquence d'occurrence comme suit :

- $C < 5\%$  : espèces rares
- $5\% \leq C < 25\%$  : espèces accidentelles
- $25\% \leq C < 50\%$  : espèces accessoires
- $50\% \leq C < 75\%$  : espèces régulières
- $100\% < C \leq 75\%$  : espèces constantes
- $C = 100\%$  : espèces omniprésentes.

**5.1.3. Indice de similitude des peuplements (Indice de Sorensen) :**

Afin de pouvoir statuer sur la similitude ou la différence existante dans la composition des peuplements des macro-invertébrés étudiés dans l'espace, nous avons comparé la structure des relevés par une analyse discriminatoire en calculant l'indice de Sorensen ou le coefficient de similitude de Sorensen ( $Q_s$ ) (Magurran, 1988).

$$Q_s = (2c / a+b) \times 100$$

Où :

a : nombre d'espèces mentionnées dans le relevé 1,

b : nombre d'espèces décrites dans le relevé 2,

c : nombre d'espèces recensées simultanément dans les 2 relevés.

**5.2. Méthode de Calcul des indices de diversité des peuplements :**

**5.2.1. Richesse totale :**

Par définition ; la richesse spécifique ou taxonomiques totale ( $S$ ) est le nombre d'espèces (ou de taxons) contractées au moins une seule fois au terme de  $N$  relevés effectués. L'adéquation de ce paramètre à la richesse réelle est bien entendu d'autant meilleure que le nombre de relevés est plus grand (Blondel, 1979).

**5.2.2. Indice de diversité de Margalef (Margalef, 1960)**

Cet indice ne tient pas compte de l'abondance relative des taxons. Il est défini par la relation suivante :

$$\alpha = (n_i - 1) / \log N$$

$n_i$  : nombre d'individus de l'espèce de rang  $i$

$N$  : nombre total d'individus.

La diversité est minimale quand  $\alpha$  tend vers le zéro et est maximale quand  $\alpha$  tend vers  $\infty$ .

**5.2.3. Indice de diversité de Berger-Parker**

Cet indice correspond à la fréquence relative maximale de l'espèce la plus abondante dans les différents relevés. Il est défini par la relation suivante (Magurran, 1988):

$$D' = N_{\max} / N$$

$N_{\max}$  : nombre d'individus de l'espèce la plus abondante.

N: nombre total d'individus des différentes espèces présentes

#### **5.2.4. Indice de diversité de Shannon :**

L'indice de diversité de Shannon dérive d'une fonction établie par Shannon et Wiener qui est devenue l'indice de diversité de Shannon. Il est parfois, incorrectement appelé indice de Shannon – Weaver (Krebs, 1989). Selon Magurran (1988), Cet indice, symbolisé par la lettre H' fait appel à la théorie de l'information ; la diversité est en fonction de la probabilité de présence de chaque espèce dans un ensemble d'individus, la valeur de H', représentée en unités binaires d'information ou bits est donnée par la formule suivante :

$$H' = -\sum (P_i \log_2 P_i)$$

Où :

$P_i$  : nombre d'individus de l'espèce i ( $n_i$ ) par rapport au nombre total d'individus recensés (N).

Cet indice renseigne sur la diversité des espèces d'un milieu étudié ; lorsque tous les individus appartiennent à la même espèce, l'indice de diversité est égal à 0 bits (Blondel, 1979). Selon Magurran (1988), la valeur de cet indice varie généralement entre 1,5 et 3,5, il dépasse rarement 4,5. Cet indice est indépendant de la taille de l'échantillon et tient compte de la distribution du nombre d'individus par espèce (Dajoz, 2003).

#### **5.2.5. Indice de Brillouin**

Pielou (1969-1975), considérait que lorsque l'échantillonnage au hasard n'est pas garanti, l'indice de Brillouin est l'indice d'information le plus approprié pour mesurer la diversité d'un échantillon de la biocénose. Cet indice a été proposé la première fois par Brillouin en 1956 pour l'étude de la diversité de la végétation herbacée (Magurran, 1988). Symbolisé par HB, l'indice de Brillouin est calculé par la formule suivante :

$$HB = (\ln N ! - \ln n_i ! ) / N$$

Avec : N = effectif total et  $n_i$  = effectif du taxa i

### 5.3. Indice de diversité fonctionnelle :

#### 5.3.1. Indice de Pielou (Equirépartition des populations ou Equitabilité) :

L'indice d'équitabilité (E) est le rapport entre la diversité calculée (H') et la diversité théorique maximale (H'max) qui est représentée par « log2 » de la richesse totale (S) (Blondel ,1975).

$$E = H' / H'max$$

Cet indice varie de 0 à 1, lorsqu'il tend vers 0 ( $E < 0,5$ ), cela signifie que la quasi-totalité des effectifs tend à être concentrée sur une seule espèce ; il est égal à 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance (Barbault ,1981).

- Si  $p > 0,05$  : il existe une corrélation non significative ;
- Si  $p \leq 0,05$  : il existe une corrélation significative ;
- Si  $p \leq 0,01$  : il existe une corrélation hautement significative ;
- Si  $p \leq 0,001$  : il existe une corrélation très hautement significative.

### 5.4. Groupes fonctionnels trophiques

L'un des principaux moyens de grouper les macro-invertébrés aquatiques consiste à utiliser des groupes d'alimentation fonctionnels (GFT), en fonction de leur mode d'alimentation et du type d'aliments qu'ils ingèrent (Wallace et Webster 1996). Wallace et Webster (1996) ont défini cinq principaux FFG, à savoir: (1) les grattoirs qui consomment principalement du périphyton; 2) les déchiqueteurs qui consomment principalement du tissu végétal vasculaire ou du bois (matière organique particulaire ou CPOM); (3) les collecteurs-cueilleurs qui consomment principalement des détritiques déposés (matière organique fine ou FPOM); 4) les filtreurs collecteurs qui consomment principalement des matières particulaires de la colonne d'eau; et (5) les prédateurs qui consomment principalement d'autres animaux.

Les différents taxons de macroinvertébrés benthiques identifiés ont été assignés à des groupes fonctionnels trophiques (Tachet et al., 2010).

### 5.5. Evaluation de la qualité biologique de l'eau :

Les indices biotiques et les indices de diversité expriment divers aspects de la structure des communautés benthiques. Les indices de diversité prennent en compte la richesse spécifique et l'abondance relative des taxons au sein d'un échantillon. Des valeurs faibles sont souvent le reflet d'une perturbation (Washington, 1984). En revanche, les indices biotiques, fondés sur l'utilisation d'espèces indicatrices de pollutions, témoignent généralement de perturbations particulières (pollutions organiques ou par des métaux lourds...). Ces deux types d'indices ont été calculés pour évaluer la qualité biologique des stations d'étude :

#### 5.5.1. Indices de diversité des peuplements

\* **Le nombre total de taxons (richesse taxonomique)** est une mesure simple de la qualité d'un milieu. Une augmentation de ce paramètre suggère que le biotope est favorable au développement de nombreuses espèces (Resh et al., 1995).

\* **Le nombre de taxons en Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères (EPT), richesse taxonomiques en Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères (ETPs)** est un indice couramment utilisé dans l'évaluation de la qualité des milieux (Resh et Jackson, 1993 ; Barbour et al., 1995). Une diminution du nombre de ces taxons généralement considérés comme sensibles à la pollution indique une perturbation (Lenat, 1988).

\* **Le pourcentage relatif en Chironomes** peut indiquer une pollution par les métaux lourds (Winner et al., 1980). Selon ces auteurs, les sites très pollués peuvent avoir des valeurs supérieures à 75% et les sites non perturbés ont des valeurs inférieures à 20%.

\* **Le pourcentage relatif en Oligochètes** est considéré comme un bon indicateur des pollutions organiques dues aux effluents domestiques (Goodnight et Whitley, 1961).

\* **Les indices de diversité** sont souvent considérés comme des paramètres synthétiques permettant d'évaluer les effets des pollutions sur les communautés biologiques (Resh et Mac Elravy, 1993). Les indices de Simpson, Shannon et Margalef ont été considérés.

#### 5.5.2. Indice biologique globale normalisé IBGN :

L'indice IBGN est basé sur les communautés de macro-invertébrés benthiques. Ces derniers sont placés relativement haut dans l'échelle de la complexité des organismes aquatiques. De plus, leurs modes nutritionnels sont diversifiés ce qui leur permet une colonisation de tous les types d'habitats. Leur pouvoir intégrateur des dysfonctionnements du

## Chapitre I : Matériel et méthodes d'étude

milieu aquatique est donc très fort. Ces considérations font de l'IBGN l'indice le plus globalisant de l'écosystème aquatique d'eau douce. Il révélera donc une qualité générale du cours d'eau en intégrant le potentiel habitat. Le principe de cette méthode repose sur le prélèvement de la macrofaune benthique au niveau d'une station, selon un mode d'échantillonnage standardisé, tenant compte des différents types d'habitats (Genin et *al.*, 2003).

D'après l'AFNOR (1992), les notes IBGN comprises entre 1 et 20, peuvent être attribuées à cinq classes de qualité biologique. Si l'IBGN est égal ou supérieur à 17, l'eau et l'habitat sont de très bonne qualité, entre 16 et 13, ils sont de bonne qualité, entre 12 et 9, la qualité est moyenne, entre 8 et 5, la qualité est médiocre, et enfin inférieur à 4, la qualité est mauvaise (Tab. 8).

Définition des classes :

- 1A : eau de qualité excellente (absence de pollution).
- 1B : eau de bonne qualité (avec pollution modérée).
- 2 : eau de qualité moyenne (avec pollution nette).
- 3 : eau de qualité médiocre (avec pollution importante).
- HC\* : eau de mauvaise qualité (avec pollution excessive).

**Tableau 8** : Limites de classes de la grille de la qualité de l'IBGN (AFNOR 1992).

IBGN	$\geq 17$	13-16	9-12	5-8	4
Classe de qualité	1A	1B	2	3	HC*
Couleur correspondante	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Qualité hydrobiologique	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
HC* : Hors classe.					

### 6. Techniques d'analyse des données

La section suivante présente les principales techniques d'analyse de données utilisées dans cette thèse. Les techniques d'analyse des données utilisées dans cette thèse facilitent l'identification des modèles de relations entre la communauté des macro-invertébrés, les caractéristiques physicochimiques et les types de couverture terrestre (Quinn et Keough, 2002). Les techniques d'analyse des données utilisées reflètent les buts et objectifs de la thèse pour tester les données primaires abiotiques et macro-invertébrées. Les statistiques préliminaires incluaient tous les invertébrés échantillonnés dans cette étude.

#### 6.1. Analyse de Variance unidirectionnelle et imbriquée (ANOVA) et tests post hoc

L'analyse de l'ensemble de données écologiques (dénombrements fauniques des données brutes et indices écologiques) a été entreprise en utilisant l'analyse de variance à un facteur (ANOVA) pour identifier toute différence significative dans un ensemble de valeurs moyennes entre les groupes. Une distribution normale dans l'ensemble de données est supposée par ANOVA qui a été inspectée avant l'analyse. Des tests post-hoc Newman-Keuls ont été réalisés pour déterminer quels groupes de moyennes différaient statistiquement les uns des autres au sein du jeu de données. Tous les résultats ont été considérés comme statistiquement significatifs à  $p < 0,05$ .

Les différences entre les différents Oueds en termes de diversité de Shannon, d'équitabilité et de variables physico-chimiques (conductivité, pH, température, TDS et TAC) ont été comparées en effectuant une ANOVA à un facteur suivie du test de Newman-Keuls lorsque des effets significatifs du traitement ont été trouvés ( $P \leq 0,05$ ). L'abondance et le reste des variables physico-chimiques (S, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Cl<sup>-</sup> et SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) ont été comparés entre les différents wadis en utilisant le test de Kruskal-Wallis, aussi bien que la normalité des résidus pour ces variables n'a pas été obtenue. Tout les testes de comparaison ont été appliquée dans l'environnement de logiciel statistique open source R 3.1.0 (R Development Core Team, 2013).

#### 6.2. Modèles Linéaires Généralisés (GLM)

Les effets des variables environnementales (altitude et intensité de la pression humaine) et des paramètres physico-chimiques de l'eau (conductivité, pH, nitrites et orthophosphates) sur la variation de la richesse et de l'abondance taxonomiques ont été testés

à l'aide d'un modèle linéaire généralisé (GLM). Les calculs ont été effectués avec R (R Development Core Team, 2013) en utilisant une erreur distribuée par Poisson et une fonction de lien log. Seules les variables avec  $p < 0,05$  ont été interprétées comme statistiquement significatives.

### 6.3. Analyse de corrélation

Le coefficient de corrélation de Pearson et les diagrammes de dispersion ont été utilisés pour évaluer la relation entre les paramètres environnementaux et l'ensemble de données écologiques. La corrélation de Pearson fournit une mesure de la corrélation entre deux variables et le coefficient de corrélation ( $r$ ) démontre la force de la relation (Townend, 2002). Les valeurs du coefficient de corrélation proches de +1 indiquent une forte corrélation positive, les valeurs proches de -1 indiquent une forte corrélation négative alors que les valeurs proches de zéro suggèrent qu'il n'y a pas de corrélation / relation entre les paramètres (Townend, 2002). Les corrélations de rang de Pearson ont été faites entre les différents indices biologiques étudiés et entre les indices et les paramètres physico-chimiques dans l'environnement de logiciel statistique open source R 3.1.0 (R Development Core Team, 2013).

### 6.4. Analyse de Composante Principale (ACP)

Une ACP centrée a été réalisée sur les données environnementales recueillies sur les 33 stations prospectées. Pour interpréter cette analyse, nous avons utilisé les charges de chaque variable environnementale sur les composants de l'ACP. L'analyse a été appliquée à l'aide de la fonction FactoMineR (Lê et al., 2008), dans l'environnement de logiciel statistique open source R 3.1.0 (R Development Core Team, 2013).

### 6.5. Classification Hiérarchique Ascendante (CAH)

Afin de compléter l'interprétation de l'ACP, une classification des stations de l'étude a été réalisée. La technique utilisée est une technique d'agrégation selon la variance ou méthode de Ward basée sur le calcul des distances euclidiennes entre les relevés. Les techniques d'agrégation selon la variance cherchent à optimiser, selon des critères liés à des calculs d'inertie, la partition obtenue par agrégation de deux éléments (Lebart et al., 1997). La classification a été appliquée sur les données centrées réduites. La classification a été réalisée à l'aide de la fonction FactoMineR (Lê et al., 2008), dans l'environnement de logiciel statistique open source R 3.1.0 (R Development Core Team, 2013).

### 6.6. Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)

L'analyse factorielle des correspondances vise à rassembler en un nombre réduit de dimensions la plus grande partie de l'information initiale en s'attachant non pas aux valeurs absolues mais aux correspondances entre les variables, c'est-à-dire aux valeurs relatives. Cette réduction est d'autant plus utile que le nombre de dimensions initial est élevé. La notion de "réduction" est commune à toutes les techniques factorielles – c'est-à-dire où l'on extrait des facteurs – l'AFC offre la particularité (contrairement aux ACP) de fournir un espace de représentation commun aux variables et aux individus. Pour cela l'AFC raisonne à partir de tableau réduit ou de fréquences (Laffly, 2008).

Le traitement des données par l'AFC est réalisé à partir d'un tableau binaire composé de familles recensées et les stations prospectées le long de chaque oued. L'analyse a été réalisée à l'aide de la fonction FactoMineR (Lê et al., 2008), dans l'environnement de logiciel statistique open source R 3.1.0 (R Development Core Team, 2013).

### 6.7. Analyse des Correspondances (AC)

L'analyse des correspondances (AC) est une technique permettant de trouver une représentation multidimensionnelle des dépendances entre les lignes et les colonnes dans un espace de faible dimension. Il permet la construction d'un système orthogonal d'axes (appelés facteurs) où les observations (rangées du tableau) et les variables (colonnes du tableau) peuvent être affichées simultanément, facilitant ainsi la découverte des informations essentielles incluses dans un tableau de contingence donné. Dans ce système, la proximité entre les observations ou entre les variables est interprétée comme une forte similarité. La proximité entre les observations et les variables est interprétée comme une relation forte. Les résultats habituels d'une analyse de correspondance incluent la "meilleure" représentation bidimensionnelle des données, les coordonnées des points tracés et une mesure de la quantité d'informations conservées dans chaque dimension appelée inertie (Regina et Agostinho 1999).

L'analyse a été réalisée sur la table de composition taxonomique, fournissant une ordination optimale simultanée des échantillons et des taxons. Dans ce cas, nous avons utilisé des données d'abondance transformées par logarithme pour réduire le poids des abondances élevées. L'analyse a été réalisée à l'aide du logiciel ADE-4 (Thioulouse et al., 1997) pour le logiciel R, version R 3.1.0 (R Development Core Team 2013).

### 6.8. Analyse de régression

Les impacts des variables environnementales sur la structure des assemblages d'insectes ont été examinés à l'aide de l'analyse RT de classification et de régression des arbres (CART). Cette technique analytique peut être utilisée pour explorer, décrire et prédire les relations entre les caractéristiques environnementales (variables explicatives) et une ou plusieurs variables de réponse (De'ath et Fabricius 2000, De'ath, 2002). La technique construit un arbre hiérarchique en divisant continuellement les unités expérimentales, dans un modèle dichotomiquement ramifié, en groupes plus homogènes (De'ath et Fabricius 2000). Sur la base d'une seule variable explicative à chaque division, les données sont réparties en deux groupes aussi homogènes que possible. L'arbre de classification ou de régression est initialement «envahi», mais il a ensuite été supprimé en fonction de critères de validation croisée suggérant une longueur d'arbre optimale pour équilibrer les capacités prédictives avec la spécificité du modèle. L'analyse CART gère simultanément les données continues et catégorielles. De plus, CART ne fait aucune hypothèse sur la forme de la distribution des données. L'analyse des arbres de classification et de régression a été réalisée à l'aide du logiciel mvpart (Therneau et Atkinson 2013) dans l'environnement logiciel statistique open-source R 3.1.0 (R Development Core Team 2013).

Des arbres de régression univariée (URT) ont été générés pour l'abondance de chaque ordre de macro-invertébrés benthiques. En outre, un arbre de régression multivariée (MRT) a été généré pour prédire la distribution des différents ordres dans les assemblages des macro-invertébrés. Les variables environnementales (i) altitude; (ii) degré de pression humaine: forêt (a), agricole (b), urbaine (c); (iii) le type de substrat, et les paramètres physicochimiques sont les variables prédictives incluses dans la construction des arbres de régression. La taille de l'arbre a été sélectionnée en utilisant une procédure de validation croisée. Ainsi, chaque arbre a été taillé à la plus petite structure pour laquelle le taux d'erreur était dans une erreur-type du minimum (De'ath, 2002).

### 6.9. Analyse de Redondance (RDA)

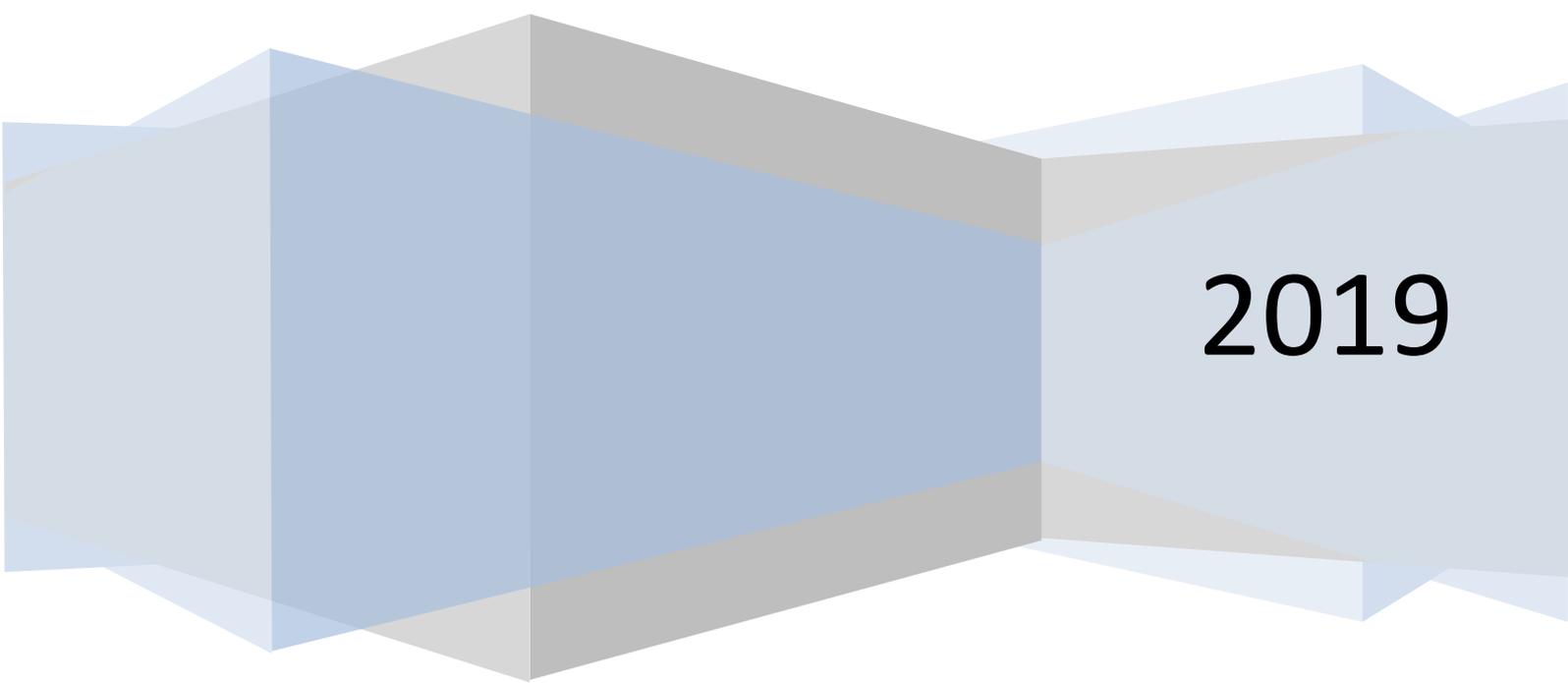
L'analyse de redondance (RDA) a été utilisée pour examiner les relations entre l'abondance des populations de macro-invertébrés et les 33 sites d'échantillonnage et les 23 variables environnementales. Avant les analyses, la matrice d'abondance a été transformée en utilisant le  $\log(n + 1)$ . La sélection directe a été utilisée pour tester laquelle des variables environnementales expliquait une proportion significative ( $P < 0,05$ ) de la variance des taxons.

L'importance des variables explicatives a été testée contre 500 permutations Monte-Carlo. Un arbre hiérarchique a été appliqué aux scores des sites d'échantillonnage sur les axes RDA les plus significatifs afin de diviser le diagramme de dispersion en grappes. Les tests statistiques ont été effectués dans l'environnement de logiciel statistique open source R 3.1.0 (R Development Core Team, 2013).

### **6.10. Analyse RLQ (Analyse simultanée des traits biologiques, des variables environnementales et de la composition taxonomique)**

Dans cette étude, nous avons associé les caractéristiques des espèces aux changements faunistiques et aux caractéristiques de l'habitat afin d'établir une distinction entre les communautés dans des cours d'eau présentant des environnements contrastés. Nous avons utilisé une technique d'ordination, l'analyse RLQ, qui relie un tableau environnemental (R) à un tableau de caractères (Q) par le biais d'un tableau d'abondance (L) afin d'étudier la relation entre les caractéristiques de l'habitat et les traits biologiques, une méthode multivariée apportant une solution générale au problème de la mise en relation des caractéristiques des espèces avec des variables d'habitat. La technique RLQ a déjà été utilisée pour révéler les relations trait – environnement dans les assemblages d'oiseaux (Dolédec et al., 1996; Hausner et al., 2003), dans les groupes fonctionnels des prairies (Barbaro et al., 2000), dans les carabidés terrestres (Ribera et al., 2001) et alpines (Choler, 2005) ou plantes envahissantes (Thuiller et al., 2006). L'analyse a été réalisée à l'aide du logiciel ADE-4 (Thioulouse et al., 1997) pour le logiciel R, version R 3.1.0 (R Development Core Team 2013).

# Chapitre II : Résultats



2019

### Chapitre II: Résultats

#### 1. Facteurs environnementaux des oueds étudiés

##### 1.1. Vitesse du courant de l'eau et description des habitats disponibles dans les oueds étudiés

L'estimation du débit de l'eau, à travers le calcul de sa vitesse moyenne ainsi que des pourcentages de recouvrement en surfaces des principaux habitats (substrats) observés dans les quatre oueds étudiés, nous a permis de décrire la vitesse du courant ainsi que la proportion des habitats dans le tableau suivant (Tab. 9).

La vitesse de l'écoulement de l'eau est généralement très faible à moyenne. Seul le cas des stations C1 de l'oued Chaaba et Y1, Y2 de l'oued Yabous présente un écoulement fort (Tableau 9).

Les habitats recensés sont dominés en surfaces par les galets et les rochers avec des taux variant de 5 à 90%. Les habitats à sable fin et grossier sont peu représentés. Nous signalons l'absence d'habitat représenté par la végétation (Tab. 9).

Les stations à galets dominant généralement dans les sept cours d'eau. Dans la station H2 de O. Hamla, la station C1 de l'O. Chaaba, les stations G2, G3 de O. Chélia et dans la station B6 de O. Bouilef c'est le sable grossier qui domine

##### 1.2. Qualité physico-chimique de l'eau des oueds étudiés

Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau des sept oueds explorés, réalisées sur le terrain et au laboratoire nous a permis de décrire la qualité physique et chimique de l'eau. Cette qualité est montrée par un ensemble de 14 paramètres (Fig. 4). D'une manière générale, nous pouvons dire que même si les paramètres mesurés varient d'une station à une autre et d'un oued à un autre, la qualité de l'eau est généralement bonne. En effet, à titre de référence, le pH varie de 6,56 à 8,5 alors que les nitrates et les nitrites ne figurent que par des teneurs infimes (Fig. 7).

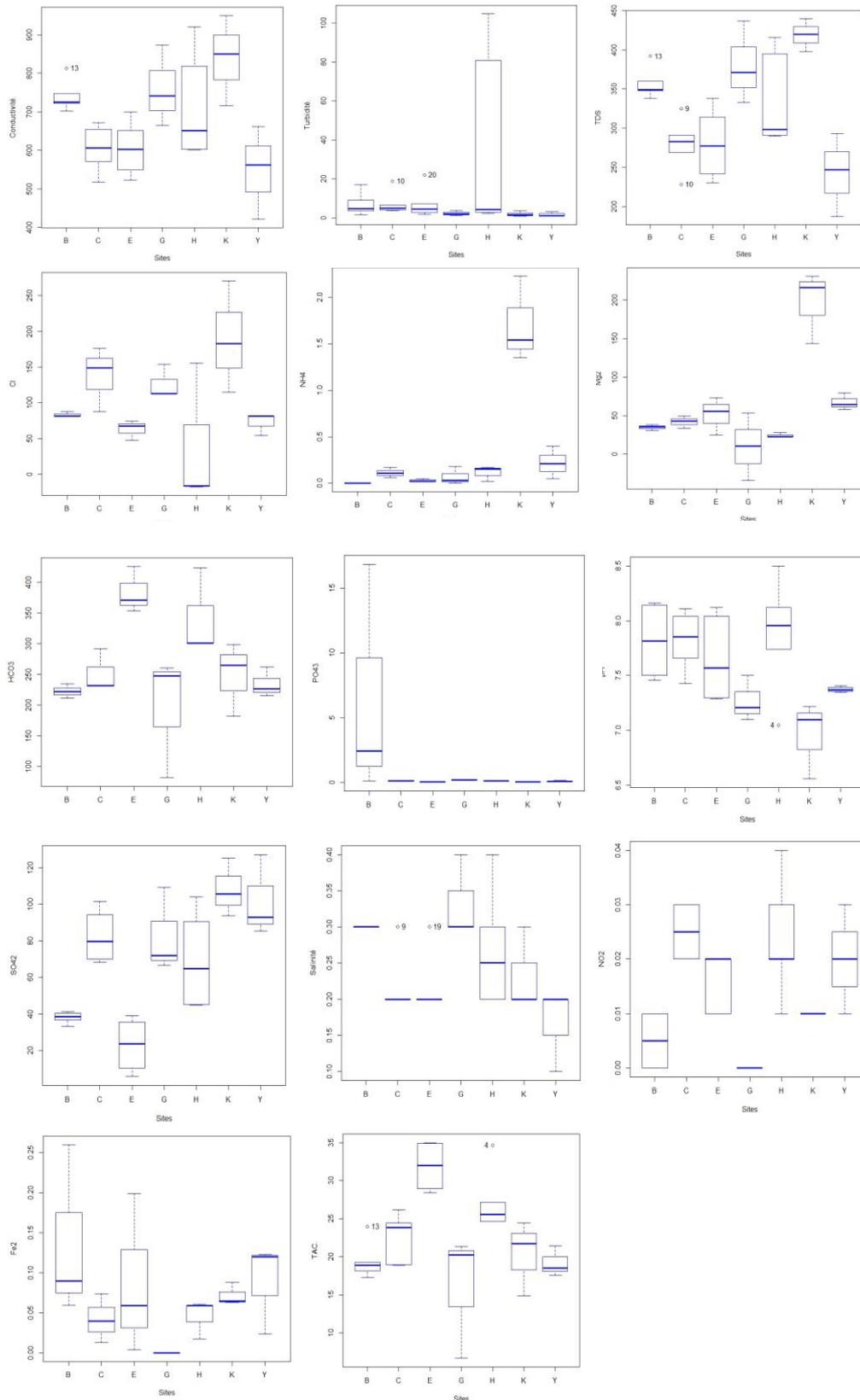
## Chapitre II: Résultats

**Tableau 9.** Vitesse de l'eau et pourcentages en surfaces des principaux habitats des sept oueds étudiés (vitesse d'écoulement : 1 = très faible ; 2 = faible ; 3 = moyenne ; 4 = forte).

Oueds	Station	Débit	Sable fin (%)	Sable grossier (%)	Galet (%)	Rocher (%)
O.Chaaba	C1	4	0	90	5	5
	C2	3	70	0	15	15
	C3	2	25	0	30	45
	C4	3	10	30	50	20
	C5	3	0	30	50	20
	C6	1	10	20	60	10
O.Bouilef	B1	3	0	50	20	30
	B2	2	25	0	65	10
	B3	1	70	0	20	10
	B4	3	30	0	60	10
	B5	3	20	30	20	30
	B6	3	0	60	30	10
O.El Ma	E1	3	35	0	35	30
	E2	2	15	15	40	30
	E3	1	0	0	70	30
	E4	2	20	40	10	30
	E5	2	10	30	50	10
	E6	3	10	20	60	10
O.Hamla	H1	1	0	45	10	45
	H2	2	0	95	5	0
	H3	2	0	5	90	5
	H4	2	30	10	50	10
	H5	3	10	20	30	40
	H6	2	30	40	20	10
O.Chelia	G1	1	0	25	15	60
	G2	3	5	70	20	5
	G3	2	0	70	20	10
O.Kimel	K1	1	10	25	45	20
	K2	3	10	25	40	25
	K3	2	20	20	30	30
O.Yabous	Y1	4	0	15	70	15
	Y2	4	5	20	60	15
	Y3	1	5	60	20	15

Le pH de l'eau permet de classer celle-ci en trois catégories selon l'échelle adoptée par Hecker et al., (1996): eau acide ( $\text{pH} < 5,5$ ) ; eau neutre ( $\text{pH} = 5,5$  à  $7,4$ ) ; eau alcaline ( $\text{pH} > 7,4$ ). Nos résultats montrent que le pH représente des variations d'un oued à un autre et d'une station à une autre. Dans l'O. Hamla le pH varie de 7,05 à 8,50. Sa variation dans l'O. Chaaba est presque similaire avec un pH alcalin allant de 7,43 à 8,11 ainsi qu'à O. Bouilef et O. El-Ma où le pH de l'eau varie entre 7,29 et 7,51. Les valeurs de pH se situent globalement dans un intervalle d'alcalinité, sauf pour la station K3 de l'oued Kimel où le pH été de 6,56, ceci est dû en grande partie à l'effet tampon des terrains traversés par les cours d'eau étudiés et qui sont en majorité de nature calcaire. Les valeurs du pH ainsi que de la conductivité des sept oueds nous révèlent que l'eau est principalement douce à pH alcalin.

La température de l'eau était significativement plus basse à W. Yabous, W. Bouilef et W. Chaaba, comparée aux autres ( $p < 0,001$ ). Les valeurs de pH de tous les sites dépassent 7, et se situent entre 7,05 et 8,50, étaient significativement plus alcalines dans les stations W. El Ma et W. Bouilef ( $p < 0,001$ ). Aucune différence significative n'a été observée dans la conductivité et la concentration de  $\text{NH}_4^+$  entre les sites d'échantillonnage ( $p > 0,05$ ). La concentration de  $\text{PO}_4^{3-}$  était significativement la plus élevée à W. Bouilef, comparée aux autres sites. Les valeurs TDS, la salinité et la concentration de  $\text{NO}_2^-$  ont montré une légère différence significative entre nos sites d'échantillonnage ( $p < 0,05$ ) (Fig.7).



**Figure 7.** Boîtes à moustaches montrant les caractéristiques physico-chimiques des différents cours d'eau étudiés. **B:** Oued Bouilef; **C:** W.chaaba; **E:** W. El Ma; **G:** W. Chélia; **H:** W. Hamla; **K:** W. Kimel; **Y:** W.Yabous.

### 2. Biodiversité des macro-invertébrés benthiques des cours d'eau de la région des Aurès

Pour évaluer la diversité des invertébrés du parc nous avons opté un inventaire systématique étudier la structure et l'organisation du peuplement ainsi que le calcul des paramètres et indices écologiques des sept oueds étudiés.

#### 2.1. Analyse globale de la faune

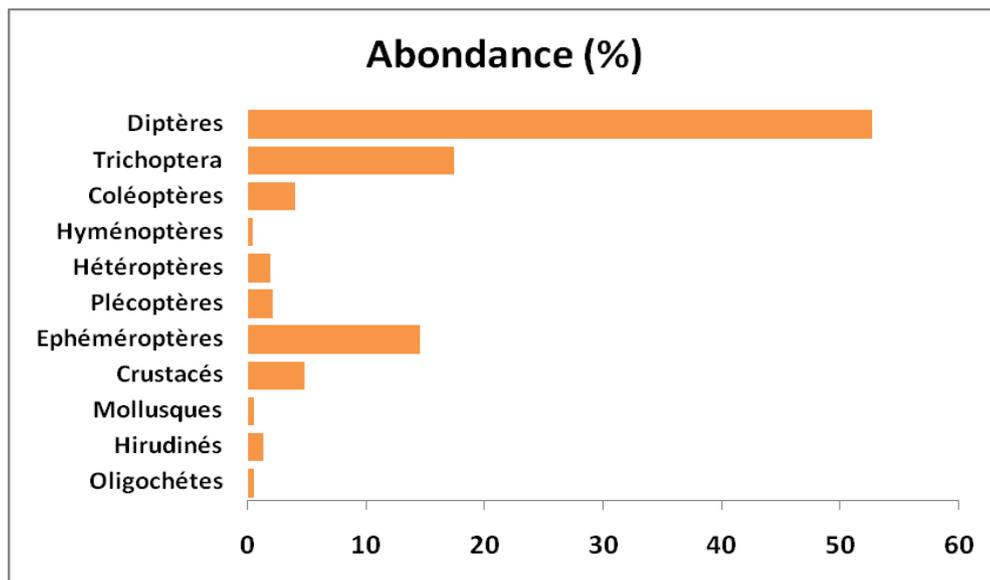
L'étude du benthos permet d'apprécier, la structure ainsi que la distribution dans le temps et dans l'espace des macroinvertébrés en place (Céréghino, 1992). Les invertébrés vivant au fond des cours d'eau se répartissent de manière hétérogène. Leur distribution dépend des conditions environnementales (nature du substrat, vitesse du courant, couverture végétale, etc.). La présente étude faunistique, effectuée au cours d'une campagne de prélèvements, a permis de recenser, pour les deux zones d'étude, 2405 individus répartis dans quatre grands groupes zoologiques (les Vers, les Mollusques, les Crustacés et les Insectes), 12 ordres ou classes, 42 familles et 62 genres (Tab. 10).

**Tableau 10.** Nombre de familles et de genres de macro- invertébrés benthiques recensés dans les Aurès par groupe zoologique

Groupes zoologiques	Nombre de familles	Nombre de genres
Achètes Hirudinées	1	1
Oligochètes	1	1
Crustacés	2	2
Bivalves	1	1
Gastropodes	2	2
Ephéméroptères	5	9
Plécoptères	3	5
Hétéroptères	6	7
Hyménoptères	1	1
Coléoptères	8	16
Trichoptères	2	3
Diptères	10	14
Total	42	62

Sur les 62 taxons d'invertébrés benthiques identifiés durant cette étude, 57(soit 89%) sont des insectes et 11% appartenaient aux autres groupes: les Crustacés (3.12%), les Mollusques (4.68%), et en fin les Vers (3.12%).

Les groupes les mieux représentés sont les Diptères et les Coléoptères, ils comptent chacun 10 familles. Ensuite viennent les Hétéroptères (6 familles), les Ephéméroptères (5 familles), les Plécoptères et les Mollusques (3 familles), les Trichoptères et les Crustacés (2 familles), les Oligochètes et les Hirudinées sont représentés par 1 famille. Globalement, l'effectif du peuplement montre que les Diptères sont nettement dominants (Tableau 11). Ils représentent 52,65% (soit 1269 individus) de la faune récoltée. Ils sont suivis des Trichoptères, 17,38% (419 individus); les Ephéméroptères 14,52% (350 individus), les Crustacés 4,81% (116 individus); les Coléoptères 3,94% (95 individus); les Plécoptères, 2,07% (50 individus); les Hétéroptères (1,91%); les Hirudinées (1,33%); les Mollusques, 0,5%; et enfin viennent les Oligochètes (0,45%) et les Hyménoptères (0,41% ; Fig.8).



**Figure 8.** Abondance des groupes faunistiques dans les stations étudiées.

### 2.2. Inventaire global des macro-invertébrées recensés

L'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques nous a permis de dresser une liste systématique de l'ensemble des taxons identifiés. Cet inventaire englobe un total de 62 genres/espèces répartis sur 3 embranchements, 5 classes, 12 ordres et 42 familles différentes (Tab.11).

## Chapitre II: Résultats

**Tableau 11.** Inventaire systématique, codes et abondances des insectes benthiques collectés dans les sept cours d'eau des Aurès. O.C: Oued Chaaba ; O.B: Oued. Bouilef; O.E.: Oued. El Ma; O.H: Oued. Hamla; O.G: Oued. Chélia; O.Y: Oued.Yabous. AF (%): Fréquence d'Abondance moyenne; ind: taxons indéterminés.

Ordre/Famille	Genre/ Espèce	Code	O.C	O.B	O.E	O.H	O.G	O.K	O.Y	AF(%)
<b>Amphipoda</b>										
Gammaridae	<i>Gammarus sp</i>	<i>Gamm</i>	-	3,33	9,77	-	4,26	-	4,36	4,82
<b>Oligochaeta</b>										
Lumbriculidae	<i>Lumbriculidae ind</i>	<i>Lumb</i>	1,25	1,48	0,45	2,94	-	-	-	0,46
<b>Hirudinida</b>										
Hirudidae	<i>Hirudo medicinalis</i>	<i>Hiru</i>	0,00	0,0	4,06	5,88	1,16	-	-	1,33
<b>Pulmonata</b>										
Hydrobiidae	<i>Lithoglyphus sp</i>	<i>Lith</i>	-	-	1,20	-	0,78	-	-	0,42
Lymnaeidae	<i>Lymnaea sp.</i>	<i>Lymn</i>	0,42	-	-	-	-	-	-	0,04
<b>Total Pulmonata</b>			0,42	-	1,20	-	0,78	-	-	0,46
<b>Bivalvia</b>										
Sphaeriidae	<i>Pisidium sp.</i>	<i>Pisi</i>	0,42	-	-	-	-	-	-	0,04
<b>Ephemeroptera</b>										
Baetidae	<i>Baetis sp</i>	<i>Baet</i>	5,00	12,22	10,98	-	5,04	-	10,55	8,57
	<i>Procloeon sp</i>	<i>Proc</i>	0,42	-	0,15	-	1,55	-	-	0,25
	<i>Acentrella sp</i>	<i>Acen</i>	1,25	6,67	0,75	-	-	1,76	2,11	1,87
Ameletidae	<i>Ameletus inopinatus</i>	<i>Amel</i>	0,42	-	-	-	-	-	-	0,04
Heptageniidae	<i>Heptagenia sp</i>	<i>Hept</i>	8,75	-	-	-	-	-	-	0,87
	<i>Ecdyonurus sp</i>	<i>Ecdy</i>	6,67	2,96	-	2,94	-	-	-	1,04
	<i>Epeorus sp.</i>	<i>Epeo</i>	0,42	2,22	0,15	0,00	-	-	-	0,33
Leptophlebiidae	<i>Leptophlebia sp</i>	<i>Lept</i>	5,42	1,48	-	-	-	-	-	0,71
Caenidae	<i>Caenis sp</i>	<i>Caen</i>	2,50	5,56	-	-	-	-	-	0,87
<b>Total Ephemeroptera</b>			30,83	31,11	12,03	2,94	6,59	1,76	12,66	14,55
<b>Plecoptera</b>										
Capniidae	<i>Capnia sp</i>	<i>Capn</i>	1,67	-	-	-	-	-	-	0,17
	<i>Capnioneura sp.</i>	<i>Capni</i>	5,00	0,37	-	47,06	-	-	-	1,21
Chloroperlidae	<i>Siphonoperla sp</i>	<i>Siph</i>	0,83	-	-	20,59	-	-	-	0,37
	<i>Xanthoperla sp</i>	<i>Xant</i>	1,25	-	-	-	-	-	-	0,12
Nemouridae	<i>Protonemura sp</i>	<i>Prot</i>	0,00	-	0,75	-	-	-	-	0,21
<b>Totale Plecoptera</b>			8,75	0,37	0,75	67,65	-	-	-	2,08
<b>Heteroptera</b>										
Notonectidae	<i>Notonecta sp</i>	<i>Noto</i>	-	-	-	-	0,39	0,44	-	0,08
Hydrometridae	<i>Hydrometra sp</i>	<i>Hydrom</i>	0,42	0,37	0,30	-	-	-	-	0,17
Mesoveliidae	<i>Mesovelia sp</i>	<i>Meso</i>	-	-	-	-	-	-	0,14	0,04
Veliidae	<i>Microvelia sp</i>	<i>Micr</i>	2,50	-	-	-	-	-	0,42	0,37
Gerridae	<i>Gerris lacustris</i>	<i>Gerr</i>	5,83	-	-	-	-	-	-	0,58
	<i>Aquarius najas</i>	<i>Aqua</i>	5,83	-	-	-	-	-	-	0,58
Nepidae	<i>Nepa sp</i>	<i>Nepa</i>	-	-	0,15	-	-	-	0,14	0,08
<b>Total Heteroptera</b>			14,58	0,37	0,45	-	-	0,44	0,70	1,91

## Chapitre II: Résultats

Suite Tableau 11.

Ordre/Famille	Genre/ Espèce	Code	O.C	O.B	O.E	O.H	O.G	O.K	O.Y	AF(%)
<b>Hymenoptera</b>										
Agriotypidae	<i>Agriotypus sp</i>	<i>Agri</i>	-	-	-	-	3,88	-	-	0,42
<b>Coleoptera</b>										
Scirtidae	<i>Hydrocyphon sp</i>	<i>Hydroc</i>	16,25	0,74	-	11,76	-	-	-	1,87
	<i>Cyphon sp.</i>	<i>Cyph</i>	2,50	1,48	-	-	-	-	-	0,42
Dytiscidae	<i>Bidessus sp</i>	<i>Bide</i>	-	-	0,15	-	0,39	-	-	0,08
	<i>Agabus sp</i>	<i>Agab</i>	-	-	0,15	-	-	-	-	0,04
	<i>Hydrovatus sp</i>	<i>Hydrov</i>	1,25	-	0,00	-	0,39	-	0,42	0,29
	<i>Ilybius finestratus</i>	<i>Ilyb</i>	-	-	0,15	-	0,00	0,44	-	0,08
	<i>Copelatus sp</i>	<i>Cope</i>	-	-	-	-	0,78	0,44	0,42	0,25
	<i>Hydroporinae ind</i>	<i>Hydrop</i>	0,42	-	-	-	-	-	-	0,04
Elmidae	<i>Dupophilus sp</i>	<i>Dupo</i>	-	-	0,30	-	-	-	-	0,08
	<i>Elmidae ind</i>	<i>Elmi</i>	-	-	0,45	-	-	-	-	0,12
Hydrophilidae	<i>Hydrophilus sp.</i>	<i>Hydrph</i>	-	1,11	0,30	-	-	-	-	0,21
	<i>Laccobius sp</i>	<i>Lacc</i>	-	-	0,15	-	-	-	-	0,04
Hydraenidae	<i>Hydraena sp</i>	<i>Hydra</i>	-	-	0,15	-	-	-	-	0,04
Hydroscaphidae	<i>Hydroscapha sp</i>	<i>Hydros</i>	-	-	0,15	-	-	-	-	0,04
Noteridae	<i>Noterus sp</i>	<i>Noter</i>	0,83	-	-	2,94	-	-	-	0,12
Spercheidae	<i>Helophorus sp</i>	<i>Helop</i>	0,42	-	-	-	-	-	-	0,04
<b>Total Coleoptera</b>			21,67	3,33	1,95	14,71	1,55	0,88	0,84	3,78
<b>Trichoptera</b>										
Brachycentridae	<i>Brachycentrus sp</i>	<i>Brach</i>	0,42	-	1,35	-	65,89	-	11,25	10,81
Hydropsychidae	<i>Hydropsyche sp</i>	<i>Hydrop</i>	3,75	23,70	0,30	-	-	-	-	3,12
	<i>Cheumatopsyche sp</i>	<i>Cheu</i>	2,08	27,78	0,60	-	-	-	-	3,49
<b>Total Trichoptera</b>			6,25	51,48	2,26	-	65,89	-	11,25	17,42
<b>Diptera</b>										
Limoniidae	<i>Dicranota sp</i>	<i>Dicr</i>	1,67	-	-	2,94	-	-	0,42	0,33
	<i>Limoniidae ind</i>	<i>Limo</i>	-	0,37	-	-	-	-	-	0,04
Scatophagidae	<i>Acanthocnema sp</i>	<i>Acan</i>	1,25	-	-	-	0,39	-	-	0,17
Tabanidae	<i>Tabanidae ind</i>	<i>Taba</i>	-	-	0,45	-	-	-	-	0,12
Culicidae	<i>Culicinae sp</i>	<i>Culi</i>	-	-	-	-	-	7,49	-	0,71
	<i>Culex pipiens</i>	<i>Cule</i>	-	-	0,15	-	-	-	-	0,04
Chaoboridae	<i>Chaoborus sp.</i>	<i>Chao</i>	0,42	-	-	-	-	-	-	0,04
	<i>Mochlonyx sp</i>	<i>Moch</i>	-	-	-	-	-	-	0,14	0,04
Chironomidae	<i>Chironomus sp</i>	<i>Chir</i>	0,42	-	1,65	-	-	0,88	-	0,58
	<i>Podonominae ind.</i>	<i>Podo</i>	2,92	-	-	2,94	-	-	-	0,33
Stratiomyidae	<i>Stratiomyidae ind.</i>	<i>Stra</i>	0,42	-	-	-	-	-	-	0,04
Thaumaleidae	<i>Thaumaleidae ind.</i>	<i>Thau</i>	3,33	-	0,30	-	-	-	-	0,42
Dixidae	<i>Dixa sp</i>	<i>Dixa</i>	-	4,81	-	-	-	-	0,14	0,58
Simuliidae	<i>Simuliidae ind</i>	<i>Simu</i>	5,42	3,33	64,51	-	15,12	88,55	69,48	49,27
<b>Total Diptera</b>			15,83	8,52	67,07	5,88	15,50	96,92	70,18	52,72

2.3. Importance des différents ordres par station

2.3.1. Oligochètes

Ce groupe dans nos stations est présenté par une seule famille, les Lumbriculidae. Au total, 11 individus (soit 0,45% de la faune totale) sont récoltés. Ils sont absents dans les stations du mont de Chelia. Concernant la répartition spatiale de ces organismes (Fig.9), sont très peu présent dans nos stations avec un pic de 3 taxons dans les stations C6 et E1.

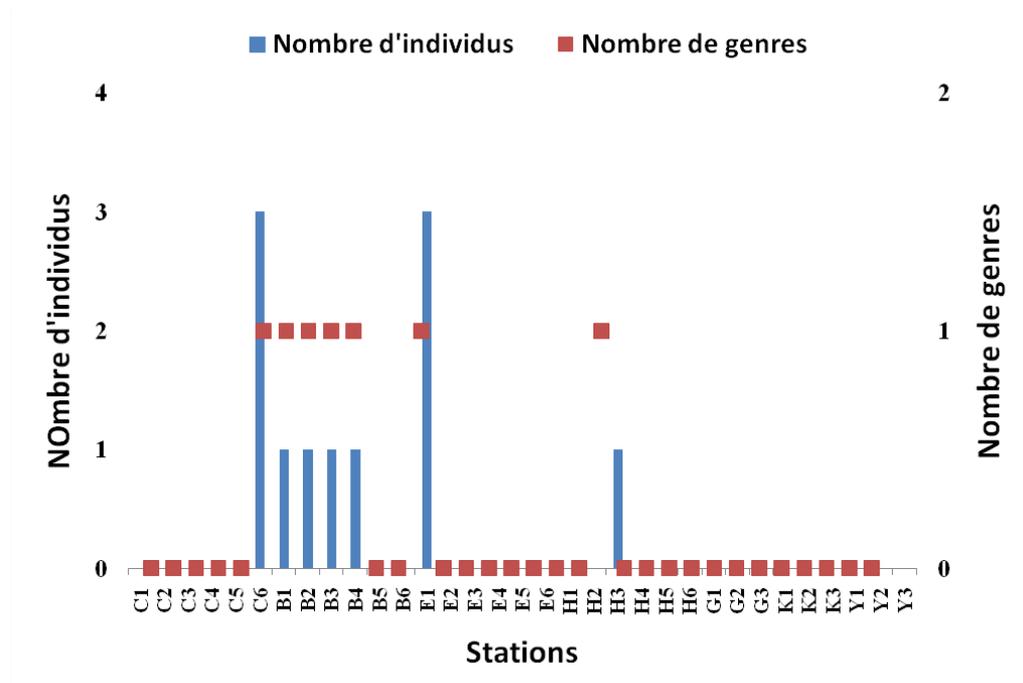


Figure 9. Abondance (A) et répartition spatiale (B) des Oligochètes dans les stations

2.3.2. Achètes ou Hirudinées

32 individus de ce groupes ont été identifiés (soit 1,33% de la faune totale) appartenant à la famille des Hirudidae (Sangsues). Les Hirudidae présentent une répartition hétérogène, sont présents seulement dans les stations d’oued Elma, oued Hamla dans le park national de Belzama et oued Chelia dans les cours d’eau du mont de Chélia. La répartition spatiale des Achètes (Fig. 10) montre que ces macro-invertébrés se développent favorablement dans les stations d’altitude (E1, E4, H2, G1 et G2). Cependant, on observe une absence de ces organismes dans les autres stations.

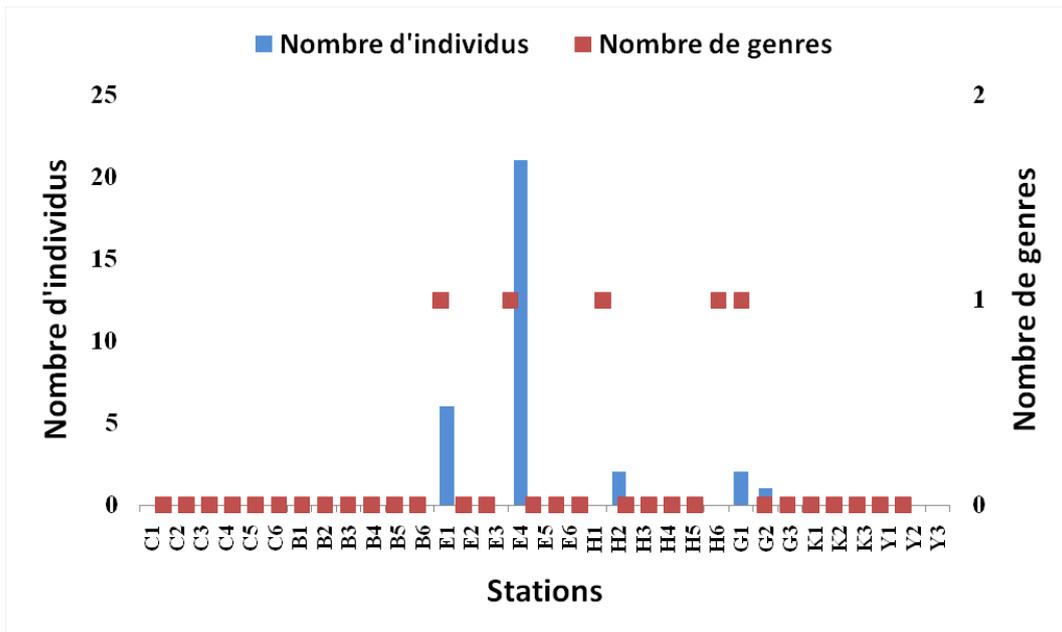


Figure 10. Abondance et répartition spatiale des Hirudinées dans les stations étudiées

### 2.3.3. Mollusques

Dans nos stations, 12 individus (soit 0,50% de la faune totale) ont été récoltés, appartenant à 3 familles et 3 genres: Hydrobiidae (*Lithoglyphus*), Lymnaeidae (*Lymnaea*) et Sphaeriidae (*Pisidium*). La famille des Hydrobiidae était la plus importante numériquement (10 individus, soit 83.33% des Mollusques ; Fig.11B). Sont présents seulement dans les stations (E5 et E6) d'oued El Ma et G1 d'oued Chelia. Les deux autres familles ont été présentées par un seul individu. (Fig.11A).

### 2.3.4. Crustacés

Les crustacés dans la présente étude étaient parmi les groupes les moins diversifiés. Une famille et un genre ont été identifiés: Gammaridae (*Gammarus*). Du point de vue abondance relative, ils occupaient la quatrième place après les Diptères, les Trichoptères et les Epheméroptères. 116 individus (soit 4,80% de la faune) ont été récoltés. La répartition spatiale des crustacés (Fig.12) révèle la distribution hétérogènes de ce groupe zoologique dans les stations des Aurès. Il est représenté par le genre *Gammarus*, avec un pic maximal en E1 (25 individus). Dans les milieux prospectés les *Gammarus* montrent une préférence pour les cours d'eau d'altitude dans des habitats essentiellement de galets, roches et sable grossier.

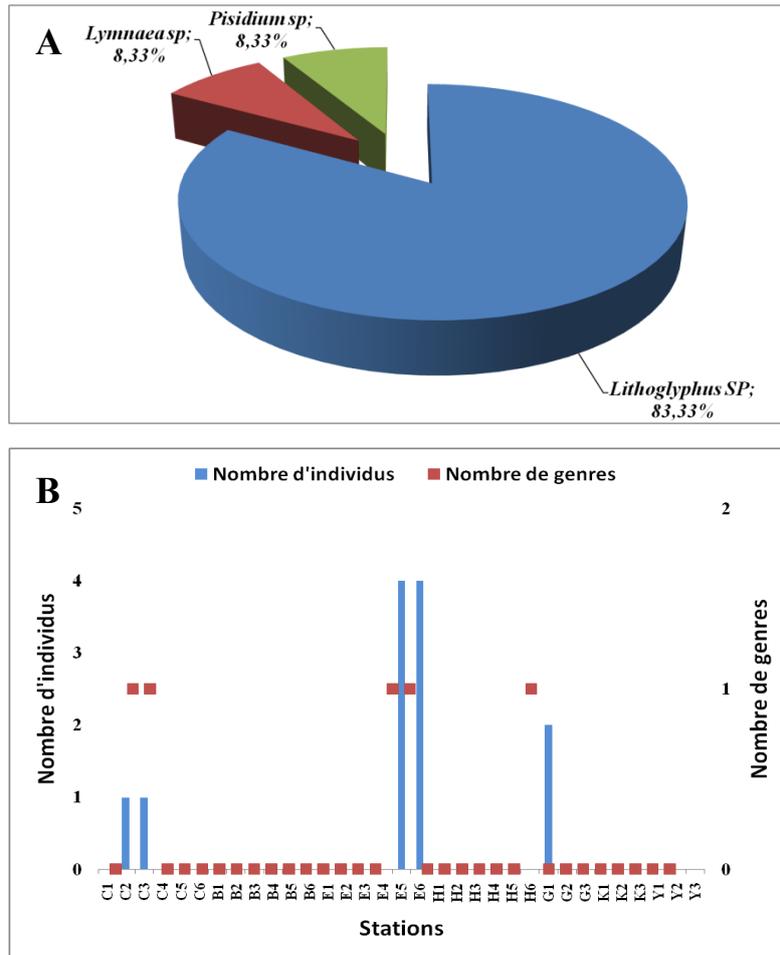


Figure 11. Abondance (A) et répartition spatiale (B) des Mollusques dans les stations étudiées

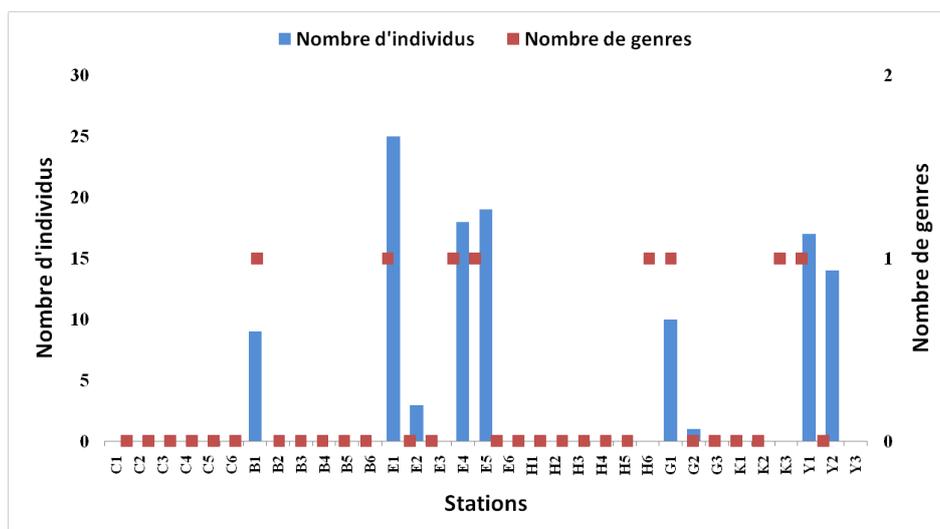


Figure 12. Abondance et répartition spatiale des Crustacés dans les stations étudiées

### 2.3.5. Ephéméroptères

D'après nos résultats, l'abondance des Ephéméroptères est plus au moins diversifiée : 350 individus (soit 14,52% de la faune totale) ont été inventoriés, appartenant à 5 familles et 9 genres (Fig.13A). Sur le plan de la diversité taxonomique, La famille Baetidae, avec 3 taxons recensés (*Baetis sp*, *Procloeon sp*, *Acentrella sp*.) est la plus diversifiée parmi les Ephéméroptères récoltés. Elle est également la plus abondante, elle représente 63,93% de ce peuplement, soit 257 individus. Les Heptageniidae représentés par 3 taxons (*Heptagenia sp*, *Ecdyonurus sp*, *Epeorus sp*), occupent le deuxième rang sur le plan d'abondance numérique, elle présente 13.43% de l'abondance des Ephéméroptères. Les autres familles, représentées uniquement par un seul taxon. Les Caenidae (*Caenis sp*), les Leptophlebiidae (*Leptophlebia sp*) et les Ameletidae (*Aneletus inopinatus*), constituent respectivement 5.22%, 4.23% et 0.25%.

La répartition spatiale des Ephéméroptères (Fig. 13B) montre que ce groupe d'insectes occupe presque la totalité des milieux étudiés. Les abondances maximales des Ephéméroptères ont été observées en E5 et Y3 (58 individus pour chaque un soit 16,57% de la faune totale récoltée dans cette station), et en B5 (37 individus soit 10,57%). Aussi la richesse taxonomique était plus importante au niveau des stations C6, C3 et B2 (5 à 6 taxons) recensés. En revanche, on note une diminution de l'abondance de ce groupe zoologique au niveau des autres stations.

### 2.3.6. Plécoptères

C'est un groupe peu diversifié et peu représenté dans cette étude. 50 individus (soit 2,07% de la faune totale) appartenant aux Plécoptères ou 3 familles et 5 genres ont été inventoriés, Capniidae (*Capnia*, *Capnioneura*), Chloroperlidae (*siphonoperla*, *xanthoperla*), Nemouridae (*Protonemura*). La famille des Capniidae est la plus abondante, elle représente 66 % des Trichoptères, soit 33 individus (Fig. 14A). Avec de faibles abondances, leur présence est surtout marquée dans les stations de Belzma. Toutefois, le maximum de l'effectif de ce groupe a été relevé aux stations H2 et C4 de oued Hamla et oued Chaaba. On note un pic maximal de variété taxonomique au niveau de station C4 (3 genres), en revanche, un seul genre caractérise les autres stations présentées par ce groupe (Fig. 14B).

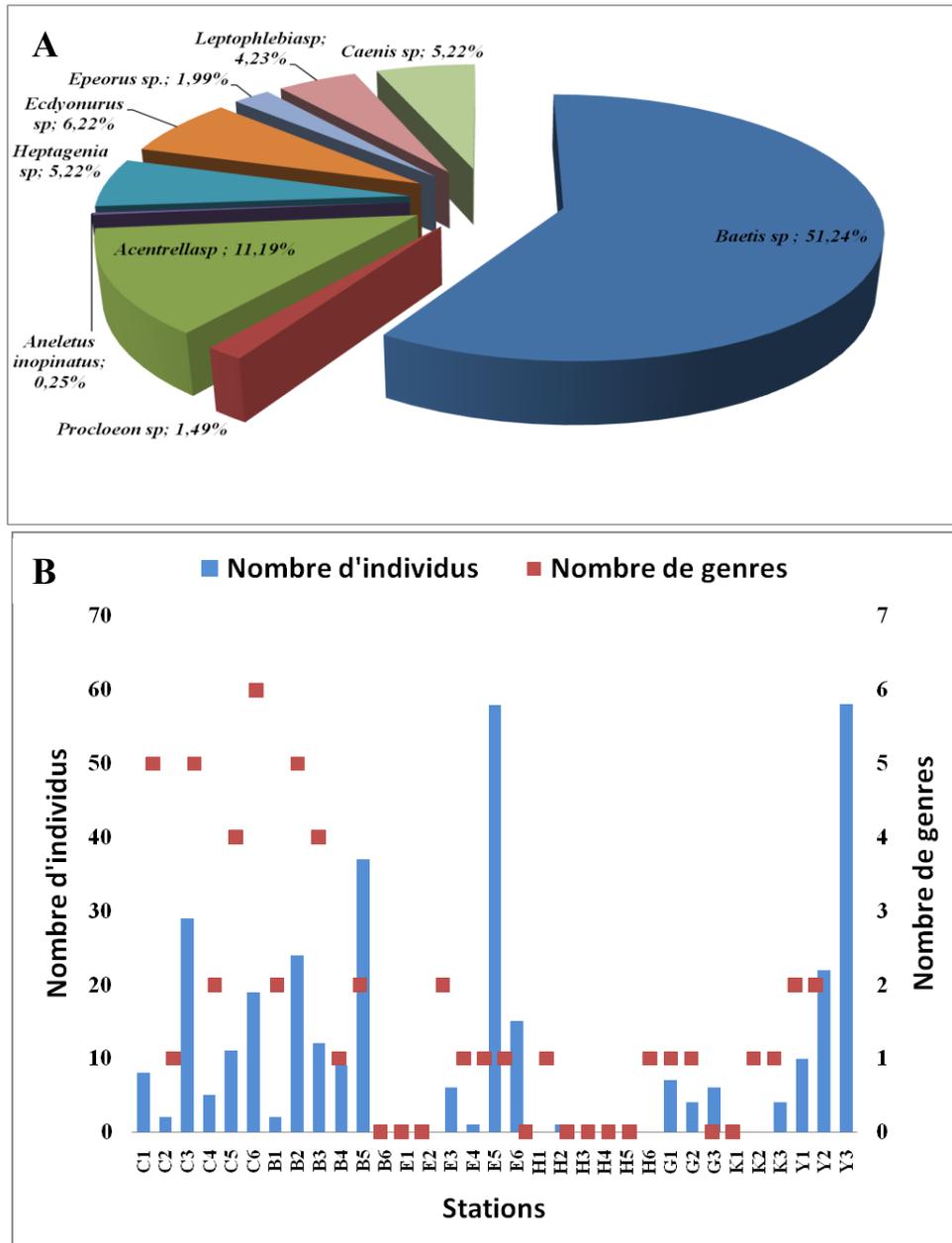
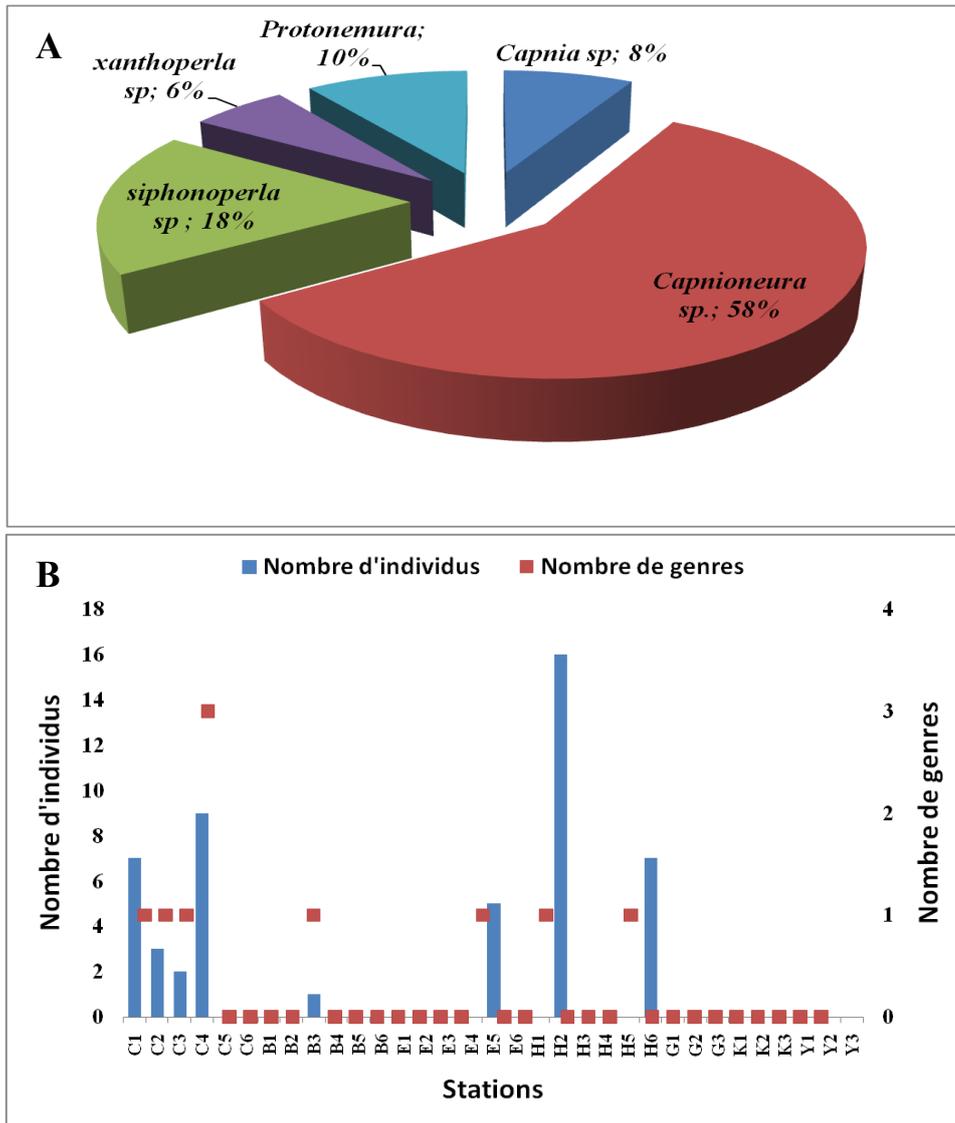


Figure 13. Abondance (A) et répartition spatiale (B) des Ephéméroptères dans les stations étudiées.



**Figure 14.** Abondance (A) et répartition spatiale (B) des Plécoptères dans les stations étudiées

### 2.3.7. Hétéroptères

Selon nos résultats, la faune récoltée des Hétéroptères compte 46 individus, soit 1,91% de la faune totale inventoriée. Ce groupe d'invertébrés appartient à 6 familles et 7 genres: Gerridae (*Gerris lacustris*, *Aquarius najas*), Hydrometridae (*Hydrometra*), Mesoveliidae (*Mesovelina*), Nepidae (*Nepa*), Notonectidae (*Notonecta*) et Veliidae (*Microvelia*). Les familles des Gerridae (28 individus soit 60.86%) et les Veliidae (9 individus soit 19.57%) sont les mieux représentées parmi les Hétéroptères. Cependant, les autres familles sont faiblement représentées : Notonectidae (8.70%), Nepidae (4.35%) et Notonectidae (4.35% ; Fig. 15A). La répartition spatiale des Hétéroptères (Fig. 15B) montre un pic maximal en C3 et C5 (14

individus), alors que le nombre des individus récoltés dans les autres stations est très faible. Quant au nombre de genres inventoriés, il est compris entre 1 et 2 genres.

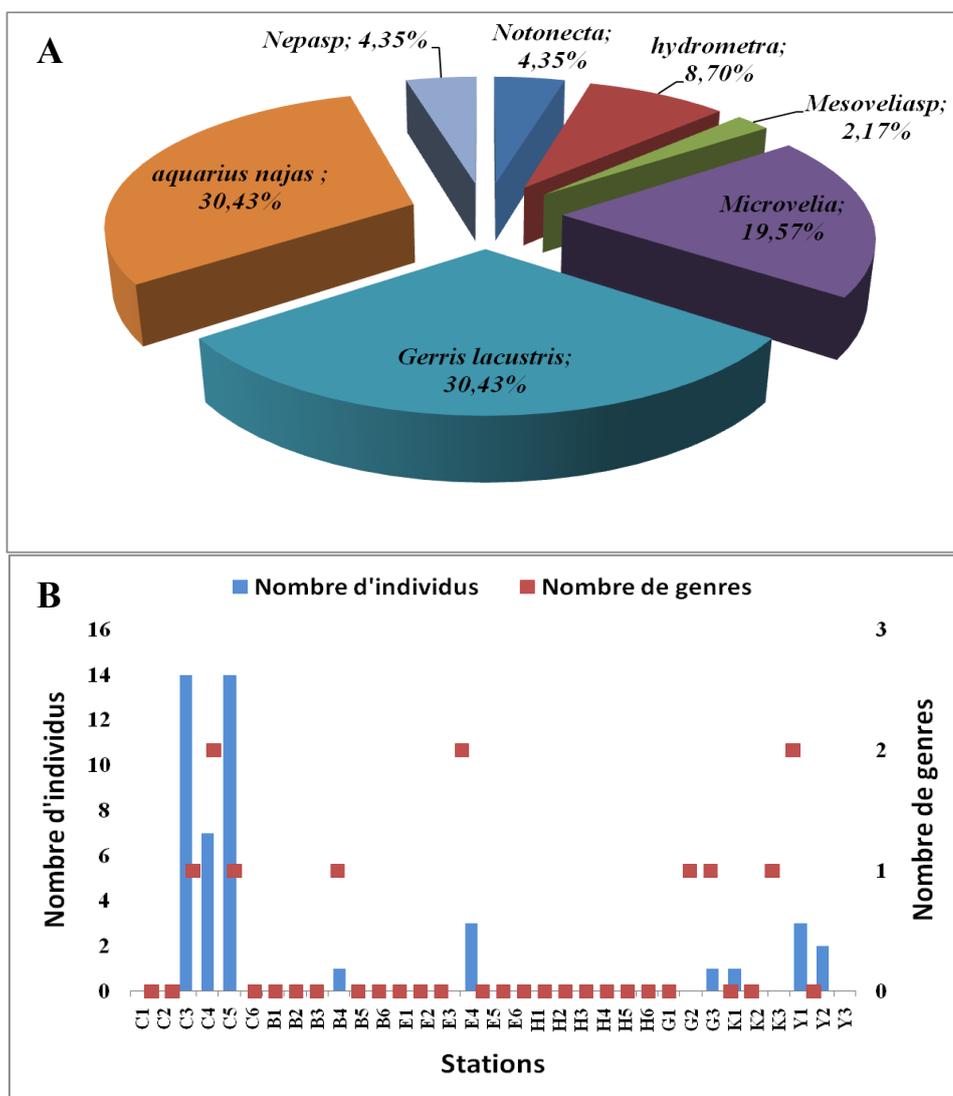
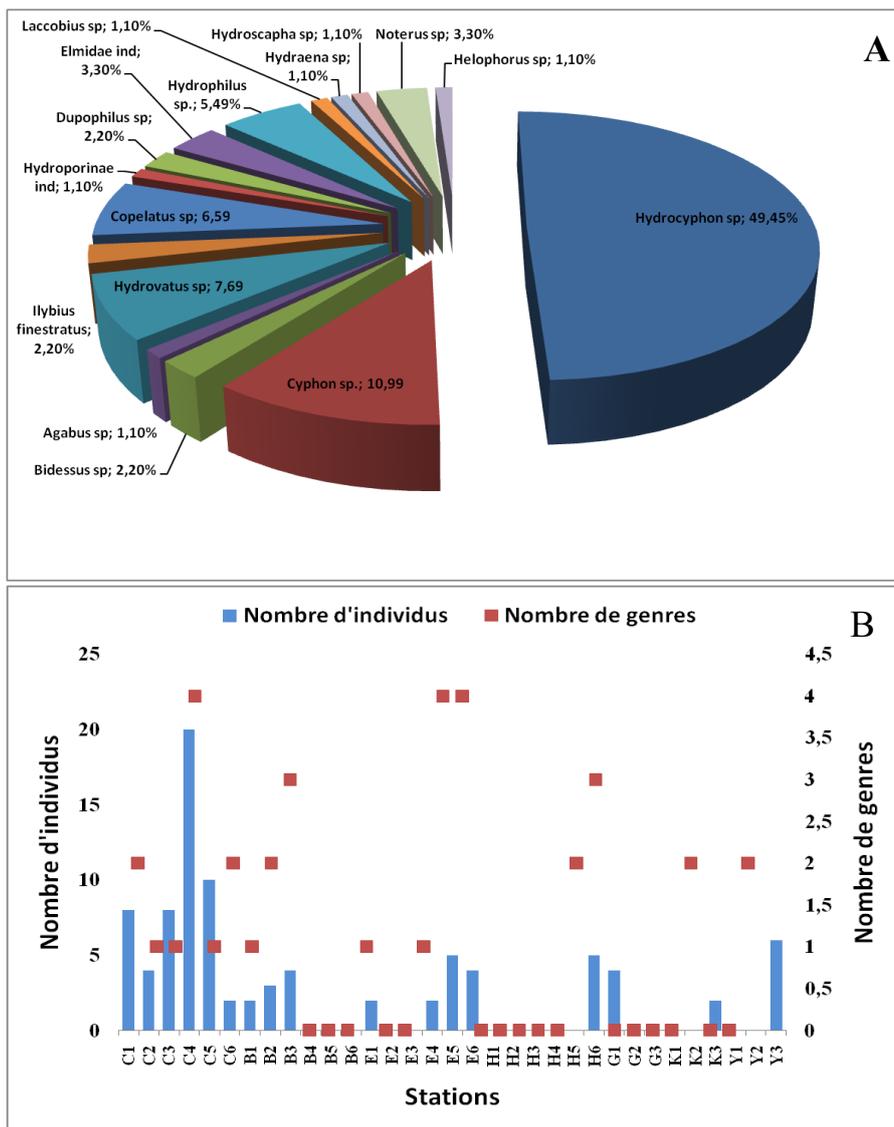


Figure 15. Abondance (A) et répartition spatiale (B) des Héteroïptères dans les stations étudiées

### 2.3.8. Coléoptères

Dans le présent travail, l'ordre des Coléoptères est un groupe assez diversifié. Il compte 8 familles et 16 genres qui sont: Dytiscidae (*Bidessus*, *Agabus*, *Hydrovatus*, *Ilybiuse finestratus*, *Copelatus*, *Hydroporinae ind*), Elmidae (*Dupophilu*, *Elmidae ind*), Hydrophilidae (*Hydrophilus*, *Laccobius*), Hydraenidae (*Hydraena*), Hydroscaphidae (*Hydroscapha*), Noteridae (*Noterus*), Scirtidae (*Hydrocyphon*, *Cyphon*), Spercheidae (*Helophorus*). Les deux genres les plus représentés sont *Hydrocyphon sp.* (45 individus soit 49,45%) et *Cyphon sp.* (10 individus soit 10,99% ; Fig. 16A). Par contre ils étaient moins représentés dans cette

étude. Un total de 91 individus, soit 3,78% de la faune totale ont été récoltés. La distribution spatiale des Coléoptères (Fig.16B) montre globalement la présence de ces invertébrés dans la plupart des stations avec un effectif important au niveau des stations C4 et un effectif faible au niveau des autres stations. Concernant la richesse taxonomique des stations en Coléoptères, on note un pic maximal au niveau des stations E5 (5 genres) et C4 (4 genres). En revanche, la variété taxonomique varie entre 1 et 3 dans les autres stations caractérisées par la présence de ce groupe.



**Figure 16.** Abondance (A) et répartition spatiale (B) des Coléoptères dans les stations étudiées.

### 2.3.9. Trichoptères

La faune des Trichoptères compte 419 individus, soit 17,39% des faunes totales récoltées. Ce groupe d'invertébrés appartient à 2 familles : Brachycentridae (260 individus) et

Hydropsychidae (159 individus). Les individus récoltés se répartissent en 3 genres. La famille des Hydropsychidae est représentée par deux Taxons : *Hydropsyche sp*, *Cheumatopsyche sp*. La famille des Brachycentridae est monospécifiques représentée par *Brachycentrus sp*. On constate ainsi que la famille la plus abondante est celle des Brachycentridae (62.05% des Trichoptères) (Fig. 17A). La répartition spatiale des Trichoptères montre un effectif important en G1 et Y1 qui se traduit par les abondances maximales de *Brachycentrus* (Fig. 17B). La répartition des Hydropsychidae était plus concentrée dans les stations B2, B3 et B5 d’oued Chaaba avec des abondances relativement moins importantes.

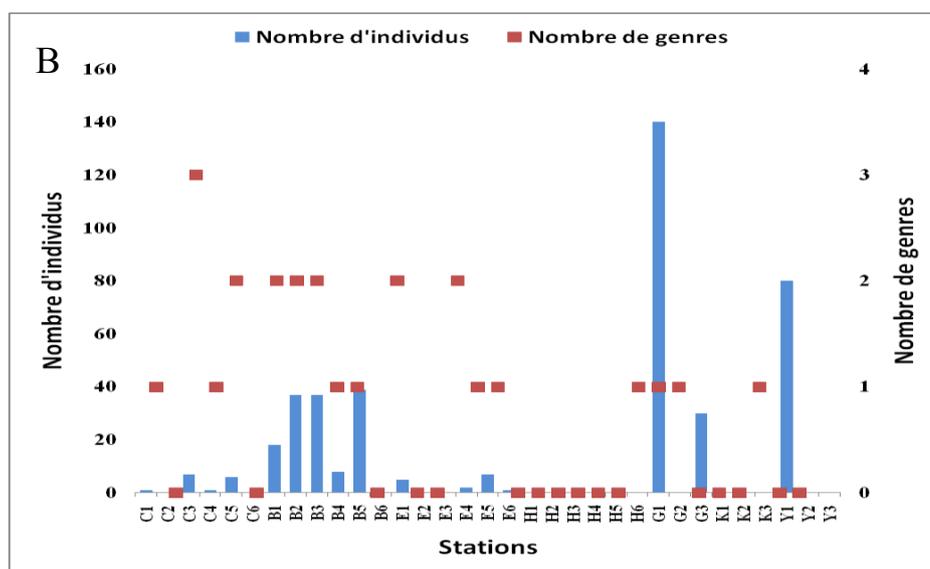


Figure 17. Abondance (A) et répartition spatiale (B) des Trichoptères dans les stations étudiées

### 2.3.10. Hyménoptères

Ils constituent le groupe faunistique le moins représenté dans la faune benthique récoltée dans notre étude, avec 0,41% (10 individus) de la faune globale. Ils sont représentés par une seule famille et un seul taxon, Agriotypidae (*Agriotypus sp*), Leur présence a été révélée seulement dans la station G2 d’oued Chélia (Fig. 18).

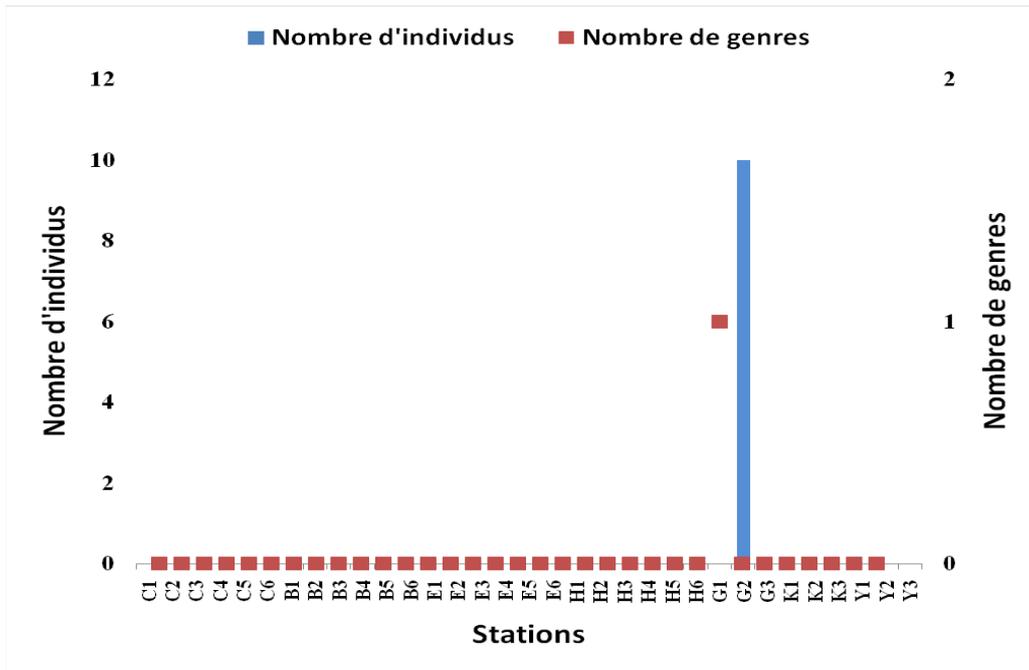


Figure 18. Abondance répartition spatiale des Hyménoptères dans les stations étudiées

### 2.3.11. Diptères

Les Diptères sont l'ordre le plus diversifié dans ce travail. 1269 individus (soit 52,65% de la faune totale) ont été inventoriés, appartenant à 10 familles et 14 genres: Chaoboridae (*Chaoborus*, *Mochloyx*), Chironomidae (*Chironomus*, *Podonominae ind*), Culicidae (*Culicinae*, *Culex pipiens*), Dixidae (*Dixa*), Limoniidae (*Dicranota*, *Limoniidae ind*), Scatophagidae (*acanthocnema*), Simuliidae (*Simuliidae ind*), Stratiomyidae (*Stratiomyidae ind*), Tabanidae (*Tabanida*), Thaumaleidae (*Thaumaleidae ind*). La famille des Simuliidae était la plus importante numériquement et comptait à elle seule 1185 individus (Fig. 19A). La répartition des Diptères dans notre étude apparaît très localisée, limitée aux stations E3 et E6 de oued El Ma, K1 et K3 d'oued Kimel et Y2, Y3 d'oued Yabous (Fig. 19B). On note également que les stations proches des sources de pollution renferment abondamment de Diptères par rapport aux autres stations. Quant au nombre de genres inventoriés, il est compris entre 1 et 3 genres dans nos stations.

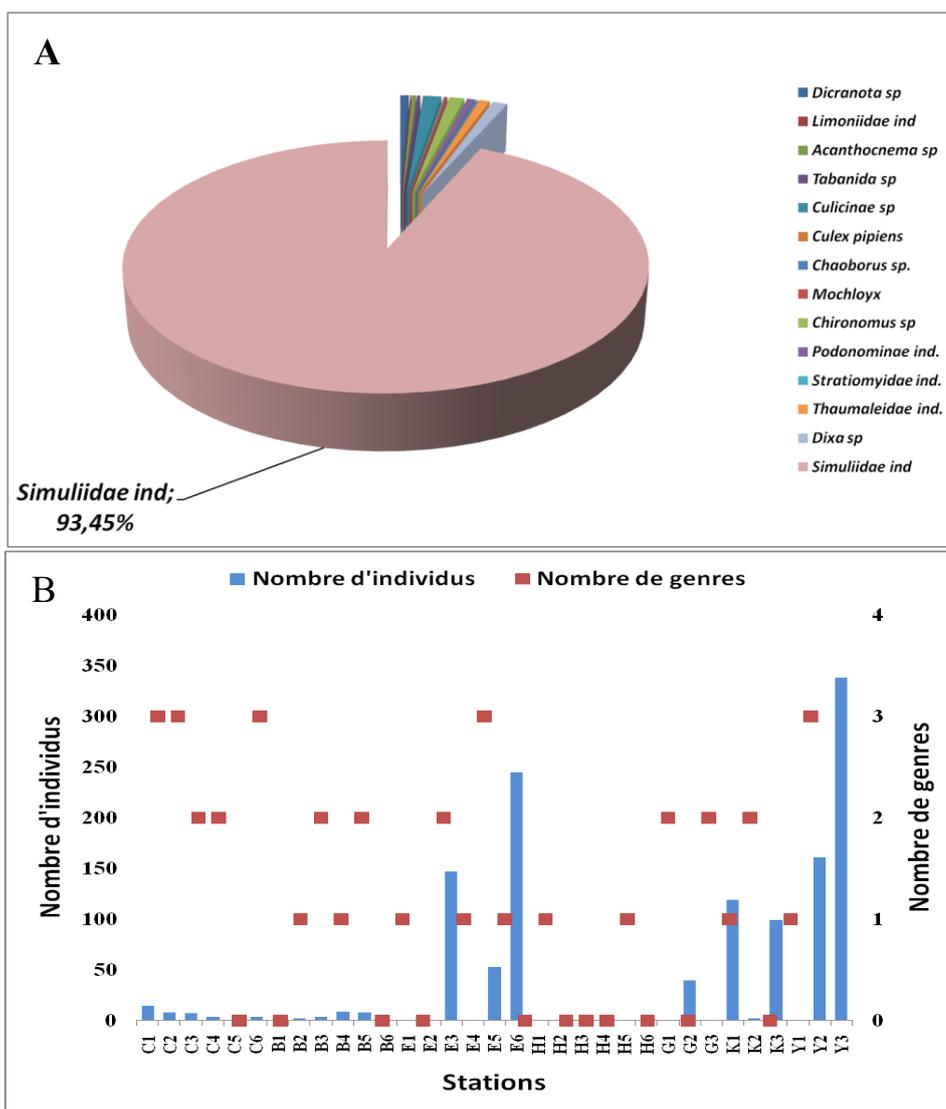


Figure 19. Abondance (A) et répartition spatiale (B) des Diptères dans les stations étudiées

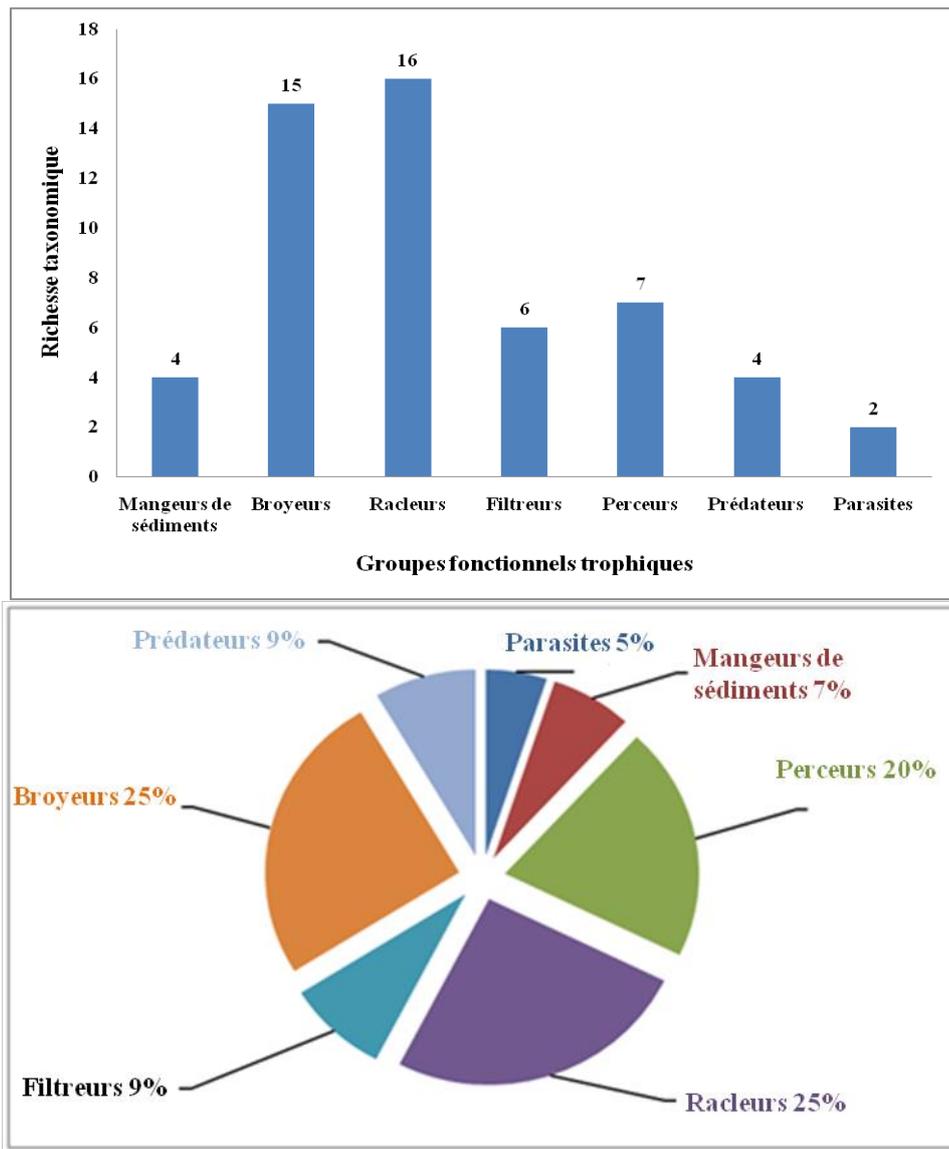
### 3. Groupes fonctionnels trophiques

Les groupes trophiques décrivent le mode d'alimentation des macroinvertébrés. Cummins, (1973) a proposé une classification de la faune benthique par catégorie trophique.

Les macroinvertébrés sont classifiés non pas par ce qu'ils mangent mais la façon dont ils se procurent leur nourriture. Nous avons utilisé les 8 catégories du trait biologique mode d'alimentation codifié par Tachet et al 2000 pour décrire la composition trophique des communautés d'invertébrés. Les invertébrés identifiés dans la présente étude sont repartis dans sept groupes fonctionnels trophiques: les broyeurs, les racleurs, les perceurs, les filtres, les prédateurs, les mangeurs des sédiments fins et les parasites. La liste de macroinvertébrés identifiés et leur assignation à des groupes fonctionnels trophiques est présentée dans le tableau 12.

## Chapitre II: Résultats

Du point de vue richesse taxonomique, les broyeur et les racleurs dans la présente étude, sont les plus diversifiés (15 et 16 genres). Ils sont suivis les perceurs (7 genres), les filtreurs (6 genres) et les mangeurs de sédiments et les prédateurs (4 genres) et en fin les parasites (figure 6). En termes d'abondance numérique, les broyeur, les racleurs et les perceurs dominaient les effectifs, ensuite viennent les filtreurs; les prédateurs ; les mangeurs des sédiments fins et en fin les parasites (Fig.20).



**Figure 20.** Richesse taxonomique et abondance relative des groupes fonctionnels trophiques des macro-invertébrés recensés dans les stations d'étude.

## Chapitre II: Résultats

**Tableau 12.** Liste des invertébrés benthiques récoltés dans les Oueds des Aurès et leur assignation aux groupes fonctionnels trophiques selon Tachet et al., (2010).

<b>Ordre/Genre</b>	<b>GFT</b>	<b>Ordre/Genre</b>	<b>GFT</b>
<b><u>Amphipoda</u></b>		<i>Hydrocyphon sp</i>	Racleur
<i>Gammarus sp</i>	Broyeur	<i>Cyphon sp.</i>	Racleur
<b><u>Oligochaeta</u></b>		<i>Bidessus sp</i>	Broyeur, Perceur
<i>Lumbriculidae ind</i>	Mangeur de sédiments	<i>Agabus sp</i>	Broyeur, Perceur
<b><u>Hirudinida</u></b>		<b><u>Coleoptera</u></b>	
<i>Hirudo medicinalis</i>	Perceur, Parasite	<i>Hydrovatus sp</i>	Broyeur, Perceur
<b><u>Pulmonata</u></b>		<i>Ilybius finestratus</i>	Broyeur, Perceur
<i>Lithoglyphus sp</i>	Racleur	<i>Copelatus sp</i>	Broyeur, Perceur
<i>Lymnaea sp.</i>	Racleur	<i>Hydroporinae ind</i>	Broyeur, Perceur
<b><u>Bivalvia</u></b>		<i>Dupophilus sp</i>	Racleur
<i>Pisidium sp.</i>	Filtreur	<i>Elmidae ind</i>	Racleur
<b><u>Ephemeroptera</u></b>		<i>Hydrophilus sp.</i>	Broyeur
<i>Baetis sp</i>	Racleur	<i>Laccobius sp</i>	Broyeur
<i>Procloeon sp</i>	Racleur	<i>Hydraena sp</i>	Racleur
<i>Acentrella sp</i>	Racleur	<i>Hydroscapha sp</i>	Broyeur
<i>Ameletus inopinatus</i>	Racleur	<i>Noterus sp</i>	Broyeur, Prédateur
<i>Heptagenia sp</i>	Racleur	<i>Helophorus sp</i>	Racleur
<i>Ecdyonurus sp</i>	Racleur	<b><u>Trichoptera</u></b>	
<i>Epeorus sp.</i>	Racleur	<i>Brachycentrus sp</i>	Filtreur
<i>Leptophlebia sp</i>	Mangeur de sédiments	<i>Hydropsyche sp</i>	Filtreur
<i>Caenis sp</i>	Mangeur de sédiments	<i>Cheumatopsyche sp</i>	Filtreur
<b><u>Plecoptera</u></b>		<b><u>Diptera</u></b>	
<i>Capnia sp</i>	Broyeur	<i>Dicranota sp</i>	-
<i>Capnioneura sp.</i>	Broyeur	<i>Limoniidae ind</i>	-
<i>Siphonoperla sp</i>	Broyeur	<i>Acanthocnema sp</i>	-
<i>Xanthoperla sp</i>	Broyeur	<i>Tabanidae ind</i>	Perceur
<i>Protonemura sp</i>	Broyeur	<i>Culicinae sp</i>	M. sédiments, prédateur
<b><u>Heteroptera</u></b>		<i>Culex pipiens</i>	-
<i>Notonecta sp</i>	Perceur	<i>Chaoborus sp.</i>	Predateur
<i>Hydrometra sp</i>	Perceur	<i>Mochlonyx</i>	Predateur
<i>Mesovelia sp</i>	Perceur	<i>Chironomus sp</i>	Mangeur de sédiments
<i>Microvelia sp</i>	Perceur	<i>Podonominae ind.</i>	Predateur
<i>Gerris lacustris</i>	Perceur	<i>Stratiomyidae ind.</i>	Broyeur
<i>Nepa sp</i>	Perceur	<i>Thaumaleidae ind.</i>	Racleur
<b><u>Hymenoptera</u></b>		<i>Dixa sp</i>	Filtreur
<i>Agriotypus sp</i>	Parasite	<i>Simuliidae ind</i>	Filtreur
<b><u>Coleoptera</u></b>			

L'importance relative des différents groupes fonctionnels variait considérablement selon les différents Oueds (figure 21) :

### ✓ Les mangeurs de sédiments fins

La modalité des «deposit feeders» se nourrissent des fines particules organiques qui se sont déposées à la surface de sédiments meubles. Ce groupe était présent beaucoup plus dans l'Oued Chaaba, Oued Bouilef, Oued El Ma et Oued Yabous avec un pic d'abondance dans les stations E1, E4 et E5 de l'Oued El Ma. Il s'agissait des oligochètes (*Lumbriculidae*), les éphéméroptères (*Leptophlebia sp*, *Capia sp* et *Caenis sp*).

### ✓ Les broyeurs

Il existe des broyeurs herbivores et des broyeurs détritvires. Souvent les broyeurs détritvires sont polyphages, ingérant des micro-invertébrés en même temps que des débris. Les broyeurs étaient présents dans tous les Oueds avec un pic d'abondance dans les stations G1 de l'Oued Chélia et Y1 de l'Oued Yabous (Fig 21). Ils étaient représentés dans notre étude par tous les plécoptères sauf les *Capnia sp*, les coléoptères (*Hydrophilus sp*, *Laccobius sp*, *Hydroscapha sp*, *Copelatus sp*, *Noterus sp*) et les diptères (*Stratiomyidae*) et les crustacés (*Gammarus sp* ; Fig 21)

### ✓ Les racleurs

Ce sont les animaux qui utilisent les dépôts très minces (les débris organiques fins, les microphytes et les microinvertébrés) à la surface de l'eau, sur des substrats durs (pérlithon) ou sur des macrophytes (périphyton). Ils étaient présents dans tous les Oueds même que si leur abondance varie dans nos stations. Le pic d'abondance était marqué dans les stations C3 et C4 de l'Oued Chaaba. Les taxons composant ce groupe étaient principalement les éphéméroptères, les coléoptères, les diptères (*Thaumaleidae*) et les gastéropodes (Fig. 21).

### ✓ Les filtreurs

Les débris organiques, les microphytes et les micro-invertébrés peuvent être récoltés dans la colonne d'eau par les filtreurs. La filtration peut se faire avec des dispositifs morphologiques ou comportementaux. Ils étaient abondants surtout dans Oued El Ma, Oued Chelia et Oued Yabous. Les stations E6 et Y3 étaient les plus abondantes (Fig. 21). Il s'agissait de trichoptères, les diptères (*Dixa sp*, *Simuliidae ind*) et les Bivalves (*Pisidium sp*).

### ✓ Les perceurs

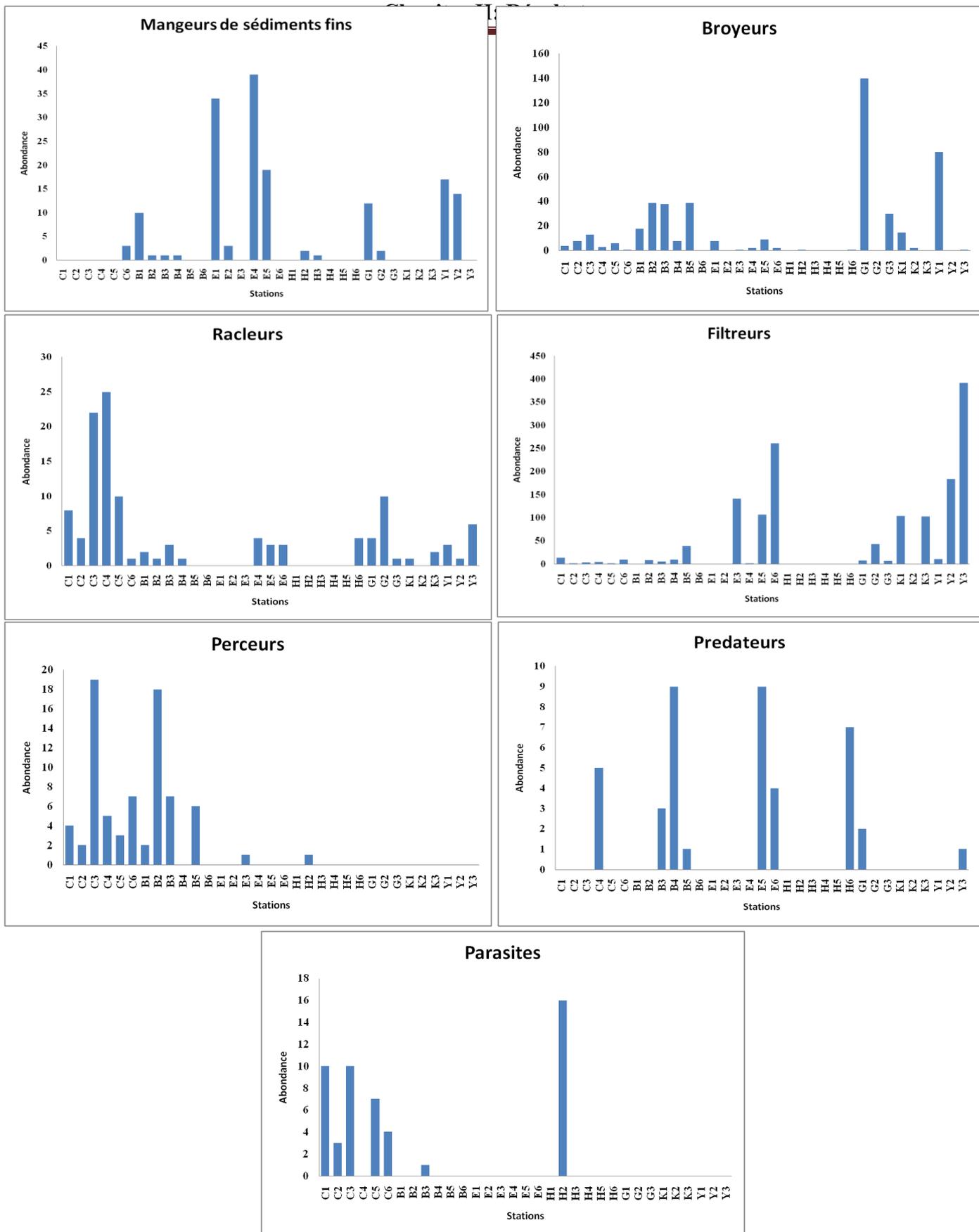
La nourriture est liquide (ou liquéfiée par action enzymatique). Cette nourriture peut être d'origine végétale ou animale. Ils étaient présents principalement dans Oued Chaaba et Oued Bouilef même que si leur abondance varie dans nos stations. Le pic d'abondance était marqué dans les stations C3 de l'Oued Chaaba et B2 de l'Oued Bouilef (Fig. 21). Les taxons appartenant à ce groupe sont principalement les hétéroptères, les diptères Tabanidae.

### ✓ Les prédateurs

Cette catégorie inclut tous les macro-invertébrés qui sont adaptés spécifiquement à la capture de proies vivantes (d'autres invertébrés et parfois de petits vertébrés comme des alevins). Leurs pièces buccales sont en général très robustes. Ils chassent, piquent, suçent leurs proies. Les prédateurs se sont caractérisés par leur faible présence dans la plupart des Oueds et par l'hétérogénéité de leur distribution. Ils étaient représentés dans notre étude par les Coléoptères (*Noterus sp*) et les diptères (*Chaoborus sp*, *Mochloyx* et *Podonominae*), ils étaient présents surtout dans les stations B4 de l'Oued Bouilef, E5 de l'Oued El Ma, H6 de l'Oued Hamla et aussi dans la station C4 de l'Oued Chaaba (Fig. 21).

### ✓ Les parasites

Ce groupe est représenté par les Hirudinées (*Hirudo medicinalis*) et les hyménoptères (*Agriotypus sp*).



**Figure 21.** Distribution des groupes fonctionnels des macro-invertébrés recensés dans les stations d'étude

### 4. Structure et organisation des peuplements des macro-invertébrés benthiques

#### 4.1. Fréquences d'abondance des différents ordres d'invertébrés recensés

Afin de donner un aperçu comparatif de la structure des peuplements d'invertébrés recensés dans les sept oueds étudiés ainsi que celle de la communauté globale, nous avons établi des histogrammes représentant les fréquences d'abondances de chaque ordre inventorié.

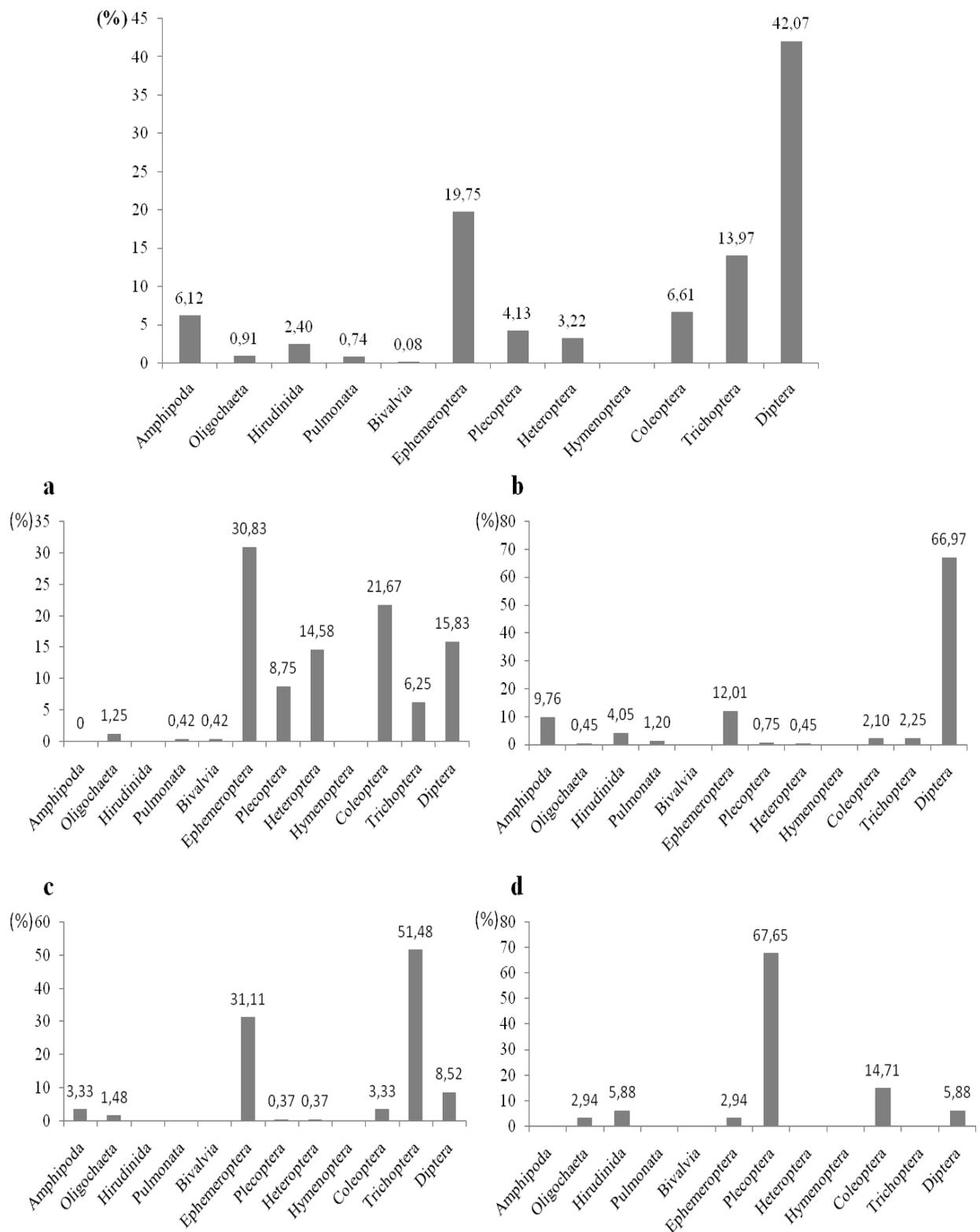
##### 4.1.1. Le parc national de Belezma (PNB)

Nous notons que globalement les diptères (42,07%), les éphéméroptères (19,75%) ainsi que les trichoptères (13,97%) sont les ordres les mieux représentés dans les cours d'eau du PNB. Les Bivalvia ainsi que les Pulmonata sont les moins représentés avec des pourcentages infimes (0,2 %) (Fig. 22).

Suivant les oueds, nous notons une variation dans la structure des peuplements de macro-invertébrés aquatiques :

- ✓ A O. Chaaba (Fig. 22a): les peuplements les mieux représentés sont les éphéméroptères (30,83 %) et les coléoptères (21,67%), suivies des diptères, des hétéroptères, des plécoptères et des trichoptères.
- ✓ A O. Bouilef (Fig. 22b): Les diptères ce sont nettement l'ordre le mieux représenté avec un taux de 66,97% suivi par les éphéméroptères qui présentent 12,01% de l'abondance totale. Les amphipodes, coléoptères et trichoptères sont très peu représentés.
- ✓ A O. El Ma (Fig. 22c), avec 51,48 % et 31,11% de l'effectif total des invertébrés recensés, les trichoptères et les éphéméroptères représentent respectivement la majorité écrasante laissant loin derrière les diptères avec 8,52%.
- ✓ A O. Hamla (Fig. 22d): l'ordre le mieux représenté est celui des plécoptères avec 67,65 %, les hirudinées, éphéméroptères et diptères sont très peu représentés. Les coléoptères, sont également représentés en faibles proportions.

## Chapitre II: Résultats



**Figure 22.** Fréquences en nombre des différents ordres de macro-invertébrés benthiques recensés dans le PNB (histogramme en haut), **a** : Oued Chaaba, **b** : Oued Bouilef, **c** : Oued El-Ma, **d** : Oued Hamla.

### 4.1.2. Le mont de Chélia

Les diptères (63.30%) et les trichoptères (20,85%) sont les ordres les mieux représentés dans les cours d'eau du mont de Chélia (Fig. 23).

- ✓ A oued Chélia (fig. 23a) Les trichoptères ce sont nettement l'ordre le mieux représenté avec un taux de 65,89% suivi par les diptères qui présentent 15,50% de l'abondance totale. Les amphipodes, éphéméroptères et hyménoptères sont très peu représentés.
- ✓ A oued Kimel (fig. 23b) avec 95,65 de l'effectif total des invertébrés recensés, les diptères représentent la majorité écrasante laissant loin derrière les coléoptères avec 2,17%.
- ✓ A oued Yabous (fig. 23c) les diptères dominant l'effectif total des invertébrés recensés avec 70,18 %, les éphéméroptères et les trichoptères représentent respectivement 12,66 et 11,25%. Les amphipodes, coléoptères et les hétéroptères sont très peu représentés.

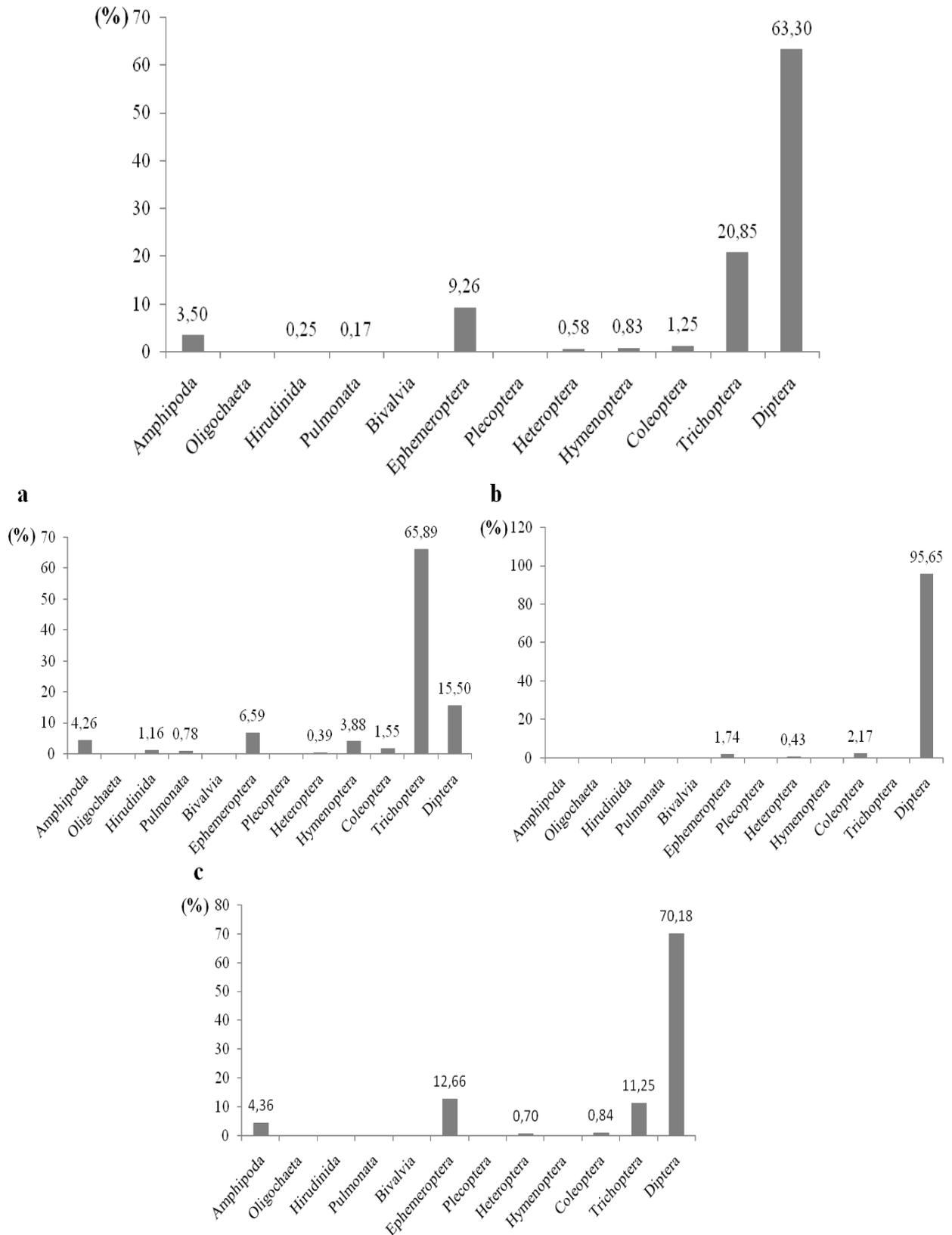
### 4.2. Fréquences d'occurrence (constance) des populations de macro-invertébrés benthiques dans les sept cours des Aurès.

Afin de donner un aperçu comparatif des fréquences de constance des populations de macro-invertébrés recensés, nous avons établi le tableau suivant représentant les fréquences d'occurrence de chaque espèce lors du prélèvement de chaque taxon recensé (Tab. 13).

Du point de vue quantitatif, l'analyse de l'abondance et l'occurrence des espèces des cours d'eau étudiés ont permis de mettre en évidence 3 groupes d'espèces :

- ❖ Les groupes Accessoires : des éléments à population peu denses tels que, les Amphipodes (*Gammarus sp*), les Ephéméroptères (*Baetis sp*, *Acentrella sp*), les Trichoptères (*Hydropsyche sp*) et les diptères (*Simuliidae*).
- ❖ Les groupes Accidentels : des éléments à la fois peu abondants, peu fréquents et très localisés, représentés par *Cheumatopsyche sp*, *Caenis sp*, *Dixa sp*, *Nepa sp*, *Agabus sp*, *Gammarus sp*, *Dupophilus sp*, *Hydrovatus sp*.
- ❖ Les groupes rares : à la fois très peu abondants et très peu fréquents : ce sont des taxons très localisés représentés par *Lymnaea sp*, *Pisidium sp*, *Capnia sp*, *Xanthoperla sp*, *Protonemura sp*, *Mesovelia sp*, *Gerris lacustris*, *Agriotypus sp*, *Dupophilus sp*.

## Chapitre II: Résultats



**Figure 23.** Fréquences en nombre des différents ordres de macro-invertébrés benthiques recensés dans le mont de Chélia (histogramme en haut), **a** : Oued Chélia, **b** : Oued Kimel, **c** : Oued Yabous).

## Chapitre II: Résultats

La fréquence de constance montre que les taxons observés sont majoritairement accidentelles, très accidentelles à rares. Nous notons seulement cinq taxons accessoires et ont donc une répartition peu dense.

**Tableau 13.** Fréquences d'occurrence (C%) des différentes populations de macro-invertébrés benthiques recensés dans les sept Oueds de l'Aurès

<i>Genre/ Espèce</i>	C%	Echelle de Constance	<i>Genre/ Espèce</i>	C%	Echelle de Constance
<i>Gammarus sp</i>	30,30	Accessoire	<i>Hydrovatus sp</i>	12,12	Accidentelle
<i>Lumbriculidae ind</i>	21,21	Accidentelle	<i>Ilybiuse finestratus</i>	6,06	Très accidentelle
<i>Hirudo medicinalis</i>	15,15	Accidentelle	<i>Copelatus sp</i>	9,09	Très accidentelle
<i>Lithoglyphus sp</i>	9,09	Très accidentelle	<i>Hydroporinae ind</i>	3,03	Rares
<i>Lymnaea sp.</i>	3,03	Rares	<i>Dupophilus sp</i>	3,03	Rares
<i>Pisidium sp.</i>	3,03	Rares	<i>Elmidae ind</i>	6,06	Très accidentelle
<i>Baetis sp</i>	36,36	Accessoire	<i>Hydrophilus sp.</i>	9,09	Très accidentelle
<i>Procloeon sp</i>	9,09	Très accidentelle	<i>Laccobius sp</i>	3,03	Rares
<i>Acentrella sp</i>	30,30	Accessoire	<i>Hydraena sp</i>	3,03	Rares
<i>Aneletus inopinatus</i>	3,03	Rares	<i>Hydroscapha sp</i>	3,03	Rares
<i>Heptagenia sp</i>	12,12	Accidentelle	<i>Noterus sp</i>	6,06	Très accidentelle
<i>Ecdyonurus sp</i>	27,27	Accessoire	<i>Helophorus sp</i>	3,03	Rares
<i>Epeorus sp.</i>	12,12	Accidentelle	<i>Brachycentrus sp</i>	21,21	Accidentelle
<i>Leptophlebia sp</i>	15,15	Accidentelle	<i>Hydropsyche sp</i>	33,33	Accessoire
<i>Caenis sp</i>	18,18	Accidentelle	<i>Cheumatopsyche sp</i>	18,18	Accidentelle
<i>Capnia sp</i>	3,03	Rares	<i>Dicranota sp</i>	12,12	Accidentelle
<i>Capnioneura sp.</i>	15,15	Accidentelle	<i>Limoniidae ind</i>	3,03	Rares
<i>siphonoperla sp</i>	6,06	Très accidentelle	<i>Acanthocnema sp</i>	9,09	Très accidentelle
<i>Xanthoperla sp</i>	3,03	Rares	<i>Tabanida sp</i>	3,03	Rares
<i>Protonemura sp</i>	3,03	Rares	<i>Culicinae sp</i>	6,06	Très accidentelle
<i>Notonecta sp</i>	6,06	Très accidentelle	<i>Culex pipiens</i>	3,03	Rares
<i>Hydrometra sp</i>	9,09	Très accidentelle	<i>Chaoborus sp.</i>	3,03	Rares
<i>Mesovelvia sp</i>	3,03	Rares	<i>Mochlonyx sp</i>	3,03	Rares
<i>Microvelia sp</i>	6,06	Très accidentelle	<i>Chironomus sp</i>	15,15	Accidentelle
<i>Gerris lacustris</i>	3,03	Rares	<i>Podonominae ind.</i>	9,09	Très accidentelle
<i>Aquarius najas</i>	3,03	Rares	<i>Stratiomyidae ind.</i>	3,03	Rares
<i>Nepa sp</i>	6,06	Très accidentelle	<i>Thaumaleidae ind.</i>	12,12	Accidentelle
<i>Agriotypus sp</i>	3,03	Rares	<i>Dixa sp</i>	12,12	Accidentelle
<i>Hydrocyphon sp</i>	21,21	Accidentelle	<i>Simuliidae ind</i>	36,36	Accessoire
<i>Cyphon sp.</i>	12,12	Accidentelle			
<i>Bidessus sp</i>	6,06	Très accidentelle			
<i>Agabus sp</i>	3,03	Rares			

**4.3. Similitude entre la composition taxonomique des peuplements de macro-invertébrés benthiques dans les sept cours d'eau des Aurès.**

Pour pouvoir comparer les peuplements entre eux et juger de leur degré de similitude, nous avons utilisé l'indice de Sorensen. Il mesure ici le pourcentage selon un critère qualitatif (présence -absence de taxons) entre les peuplements des oueds. Les indices de similitude ainsi calculés sont rapportés dans le Tableau 14.

**Tableau 14.** Indice de similitude de Sorensen des sept oueds échantillonnés prises deux à deux

Sites	O. Chaaba	O. Bouilef	O. ElMa	O. Hamla	O. Chelia	O. Kimel	O. Yabous
<b>O. Yabous</b>	28,57	32,26	28,57	9,09	46,15	30	100
<b>O. Kimel</b>	13,95	16,00	22,22	0,00	30	100	
<b>O. Chelia</b>	24,49	19,35	38,10	9,09	100		
<b>O. Hamla</b>	35,56	29,63	10,53	100			
<b>O. ElMa</b>	36,92	42,55	100				
<b>O. Bouilef</b>	51,85	100					
<b>O. Chaaba</b>	100						

L'indice de similitude calculé entre les oueds étudiés, pris deux à deux, montre la plus grande similitude entre O. Chaaba et O. Bouilef avec 51,85% de ressemblance. L'indice est dans la plupart des cas inférieur à 50%. Le taux de ressemblance le plus élevé après celui entre O. Chaaba et O. Bouilef est noté entre O. Bouilef et O. El Ma et entre O.Chelia et O.Yabous avec 46,15 % de ressemblance, alors que la plus petite valeur est notée entre O. Hamla et O. Yabous et entre O. Hamla et O. Chelia avec 9,09 %. Nous notons également aucune ressemblance entre O. Hamla et O. Kimel. Ceci dénote une différence de composition taxonomique entre la plupart des oueds.

**4.4. Evaluation de la biodiversité**

Nous avons calculé pour chaque communauté de macro-invertébrées benthiques prise en considération, un ensemble de paramètres d'indices permettant de décrire et d'évaluer la biodiversité par station et par oued, il s'agit des valeurs de l'effectif total du peuplement échantillonné, la richesse totale, les indices de diversité de Margalef, de Berger-Parker, de Shannon, de Brillouin, Simpson et de Pielou. (Fig.24).

Seules la richesse taxonomique (S) et l'indice de Shannon (H') qu'étaient significativement différents entre les sites d'échantillonnage, les scores de S enregistrés à O.

## Chapitre II: Résultats

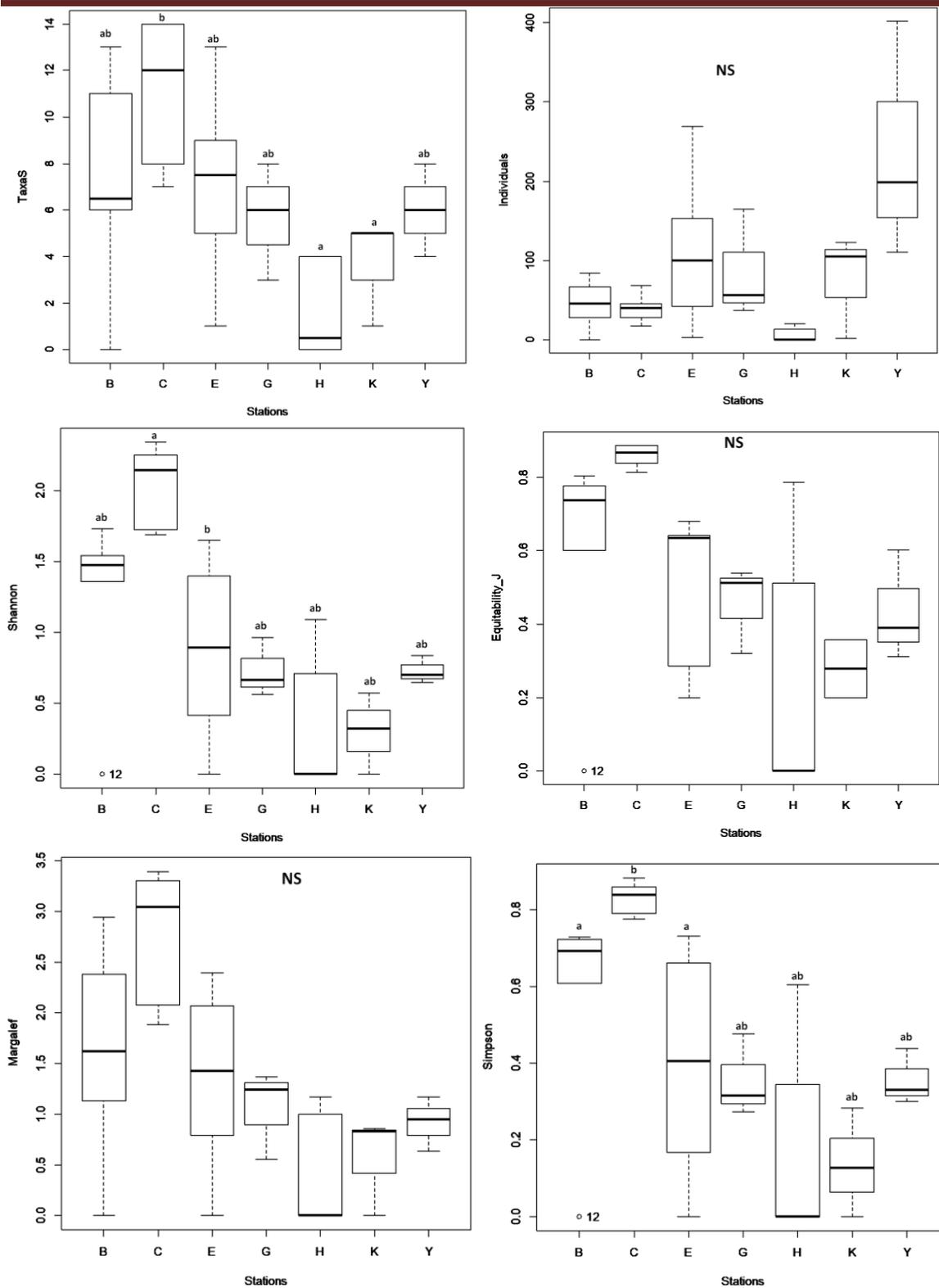
Chaaba étant supérieurs à ceux de O. Hamla ( $p < 0.001$ ) et O. Kimel ( $p < 0,05$ ; Fig. 24). L'indice de Shannon était significativement plus élevé dans O. Chaaba que O. El Ma ( $p < 0,05$ ; Fig. 24). Aucune différence significative en termes d'abondance, indice de Pielou ( $J'$ ) et l'indice de Margalef n'a été enregistrée entre les sites d'échantillonnage ( $P > 0,05$ ).

Le modèle GLM indique que l'abondance et la richesse taxonomique étaient principalement déterminées par l'altitude, la pression humaine et les paramètres physico-chimiques de l'eau (pH, conductivité et  $PO_4^{3-}$ ). Les variables étudiées se sont avérées statistiquement hautement significatives, à l'exception de la variation de la richesse taxonomique avec les orthophosphates (Tab.15, Tab.16).

**Tableau 15.** Modèle linéaire généralisé analysant les effets des variables environnementales et de la pression humaine sur la richesse taxonomiques des insectes benthiques dans les cours d'eau des Aurès.

Effet	Richesse taxonomique (S)			
	Estimate	Std. error	Z-values	p-value
<b>Null</b>	-1.9016682	0.6772905	-2.808	0.00499 **
<b>Altitude</b>	0.0005895	0.0001843	3.199	0.00138 **
<b>Conductivité</b>	-0.0029386	0.0001855	-15.838	< 2.2e-16 ***
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	28.7224794	1.8913045	15.187	< 2.2e-16 ***
<b>pH</b>	0.4975799	0.0648550	7.672	1.69e-14 ***
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	0.0106315	0.0052045	2.043	0.04108 *
<b>Pression. h (a)</b>	0.7804682	0.0424098	18.403	< 2e-16 ***
<b>Pression. h (b)</b>	0.2203308	0.0548332	4.018	5.86e-05 ***

## Chapitre II: Résultats



**Figure 24.** Boîtes à moustaches montrant les différents paramètres de structure et de diversité des sept ueds étudiés. Abondance (AF), richesse taxonomique totale (S), indice de Shannon (H'), indice de Margalef, indice de Simpson et l'indice Pielou (E) de l'entomofaune benthique. B: O. Bouleif; C: O. Chaaba; E: O. El Ma; G: O. Chélia; H: O. Hamla; K: O. Kimel; Y: O. Yabous.

**Tableau 16.** Modèle linéaire généralisé analysant les effets des variables environnementales et de la pression humaine sur l'abondance des insectes benthiques dans les cours d'eau du nord-est de l'Algérie.

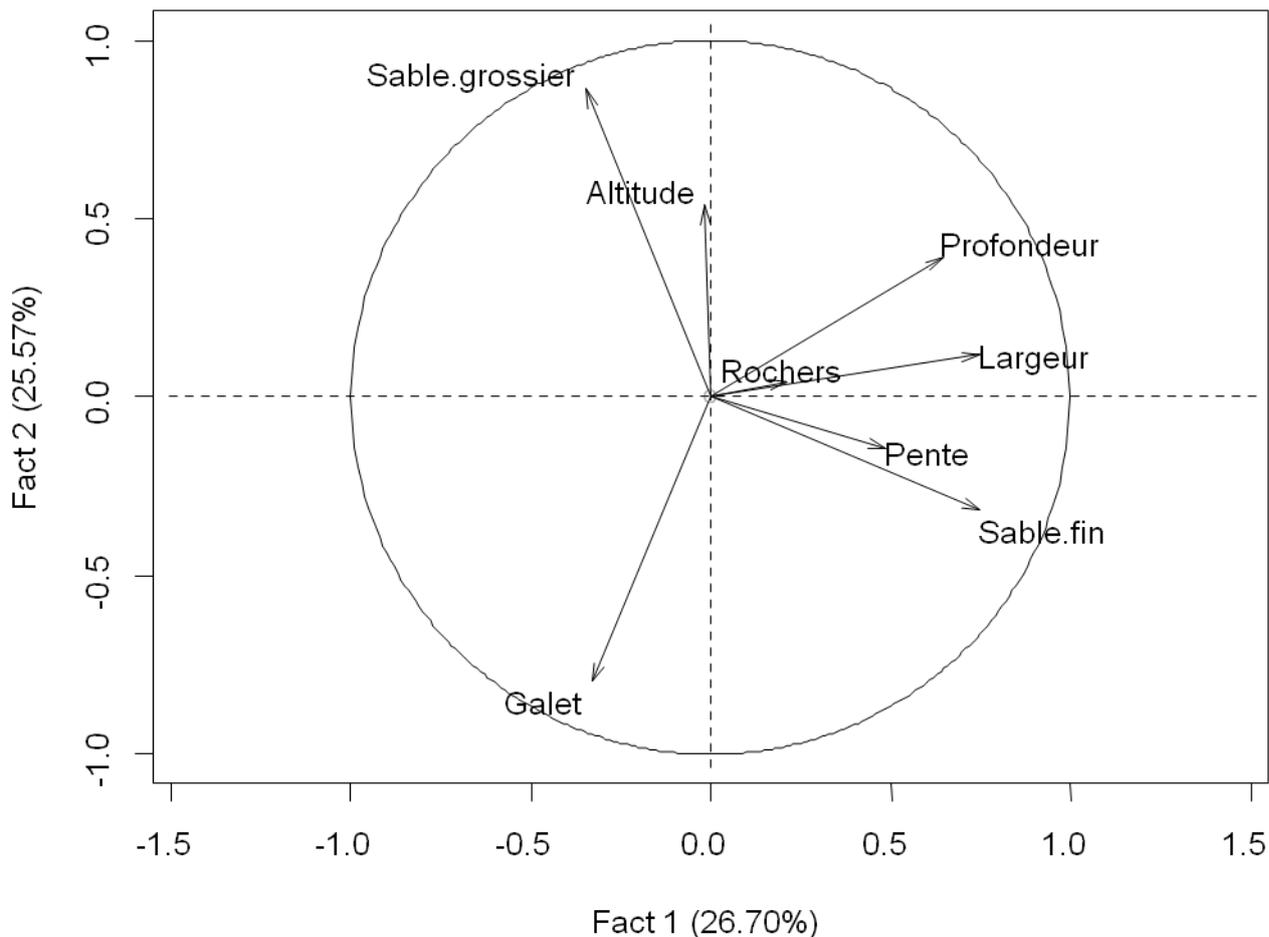
Effet	Abondance			
	Estimate	Std. error	Z-values	p-value
<b>Null</b>	2.592e+01	1.923e-01	134.79	< 2.2e-16 ***
<b>Altitude</b>	-2.859e-03	4.424e-05	-64.63	< 2.2e-16 ***
<b>Conductivité</b>	-7.743e-03	5.999e-05	-129.08	< 2.2e-16 ***
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	-6.788e+01	6.654e-01	-102.01	< 2.2e-16 ***
<b>pH</b>	-1.795e+00	1.753e-02	-102.42	< 2.2e-16 ***
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	-5.866e-02	1.932e-03	-30.36	< 2.2e-16 ***
<b>Pression. h (a)</b>	1.525e+00	1.571e-02	97.08	< 2.2e-16 ***
<b>Pression. h (b)</b>	2.722e+00	1.717e-02	158.59	< 2e-16 ***

#### 4.5. Structure de la faune

##### 4.5.1. Structure mésologique

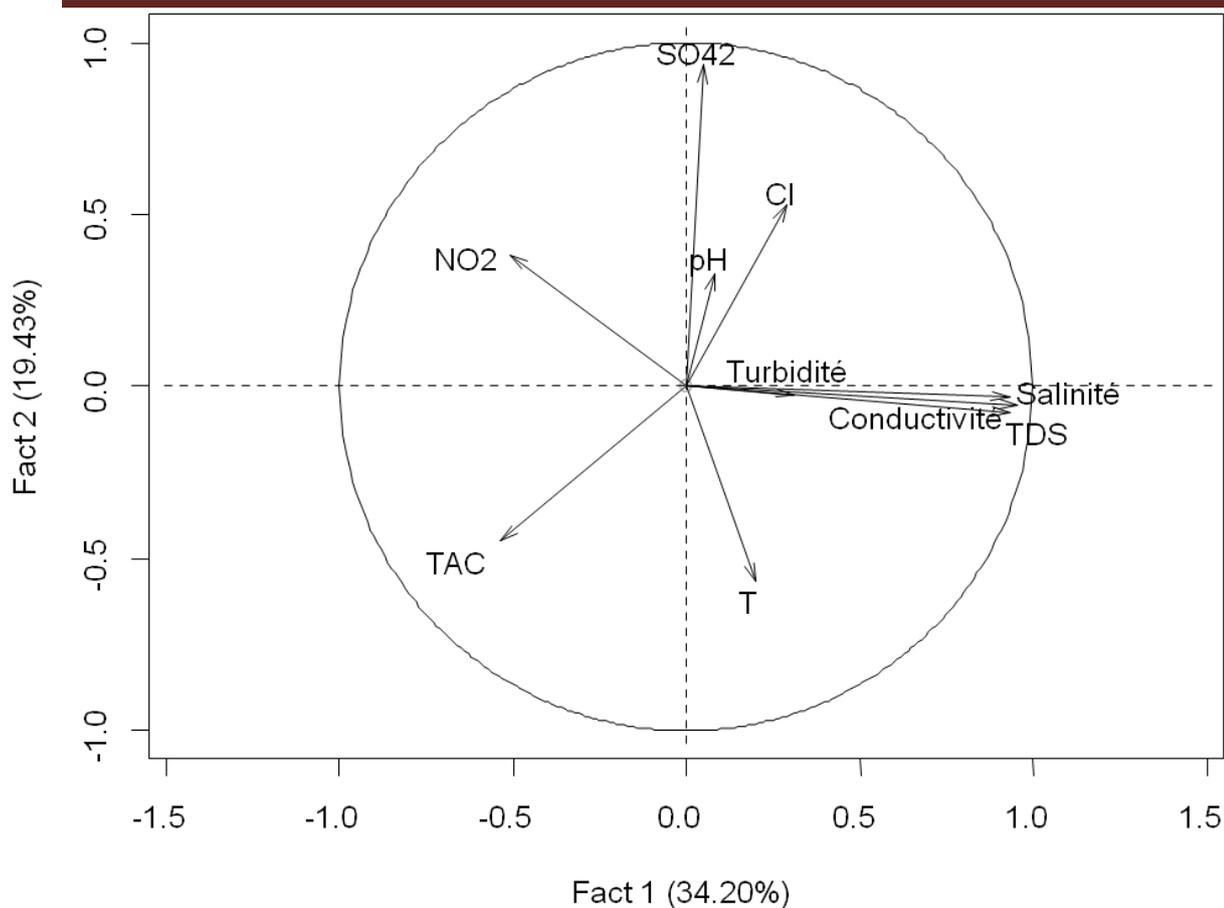
L'étude des facteurs environnementaux et des paramètres physico-chimiques mesurés au cours de la période d'étude dans les différentes stations prospectées à été approché par l'utilisation de l'analyse en composante principale (ACP). L'analyse des corrélations entre les axes et les différentes composantes mésologiques et physico-chimiques montre que les deux premiers axes F1 et F2 permet d'expliquer la signification de chaque axe dans la répartition structurée du nuage des stations et la relation entre la structure typologique et les variables du milieu.

L'analyse en composante principale des paramètres mésologiques présente 52.27 % de l'inertie totale. L'axe F1 (26,70% de l'inertie totale) est corrélé significativement surtout avec la largeur ( $r=0.74$ ,  $p<0.0001$ ), la profondeur ( $r=0.64$ ,  $p<0.0001$ ), le substrat de type sable fin ( $r=0.75$ ,  $p<0.0001$ ) et significativement moins corrélé avec la pente ( $r=0.49$ ,  $p<0.001$ ). L'axe F2 (25.57% de l'inertie totale) s'explique très significativement par le substrat sable grossier et galet qui présentent respectivement les coefficients de corrélation ( $r=0.86$  et  $r= -0.80$ ) et par l'altitude ( $r=0.53$ ,  $p<0.001$  ; Fig.25). L'occupation du sol et le débit présentent des corrélations faibles et non significatives avec les deux axes de l'ACP.



**Figure 25.** Analyse des composantes principales représentant la distribution des paramètres environnementaux

L'analyse des paramètres physico-chimiques en composante principale fait apparaître les deux premiers facteurs significatifs qui prennent en compte 53.63% de l'inertie totale (Fig. 26). L'axe F1 (34,20% de l'inertie totale) est corrélé très significativement avec la salinité ( $r=0.95$ ,  $p<0.0001$ ), la conductivité ( $r=0.93$ ,  $p<0.0001$ ) et les TDS ( $r=0.93$ ,  $p<0.0001$ ). Le premier axe F1 été également corrélé négativement avec le  $\text{NO}_2$  et le TAC ( $r= -0.53$ ,  $p<0.001$ ). L'axe F2 (19.43% de l'inertie totale) présente une corrélation très significative avec les  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $r=0.93$ ,  $p<0.0001$ ) et le Chlore ( $r=0,53$ ,  $p<0.01$ ). La température de l'eau été corrélé négativement avec le deuxième axe F2 ( $r= -0,57$ ,  $p<0.01$ ).



**Figure 26.** Analyse des composantes principales représentant la distribution des paramètres physico-chimiques

Une analyse factorielle des correspondances a été réalisée sur une matrice des moyennes des 20 paramètres météorologiques et physico-chimiques des 30 stations prospectées sachant que les trois stations K1, K2 et K3 de oued Kimel ont été exclus dans cette analyse à cause des résultats aberrantes de leur paramètres physico-chimiques. Les deux premiers axes F1 et F2 représentent l'essentiel de l'information avec 48 % de l'inertie totale. Ainsi, le plan F1-F2 n'a pas donné des résultats suffisamment explicatifs de la répartition de nos stations par rapport aux paramètres environnementaux.

#### 4.5.2. Structure du peuplement dans les différents oueds

##### 4.5.2.1. Oued Chaaba

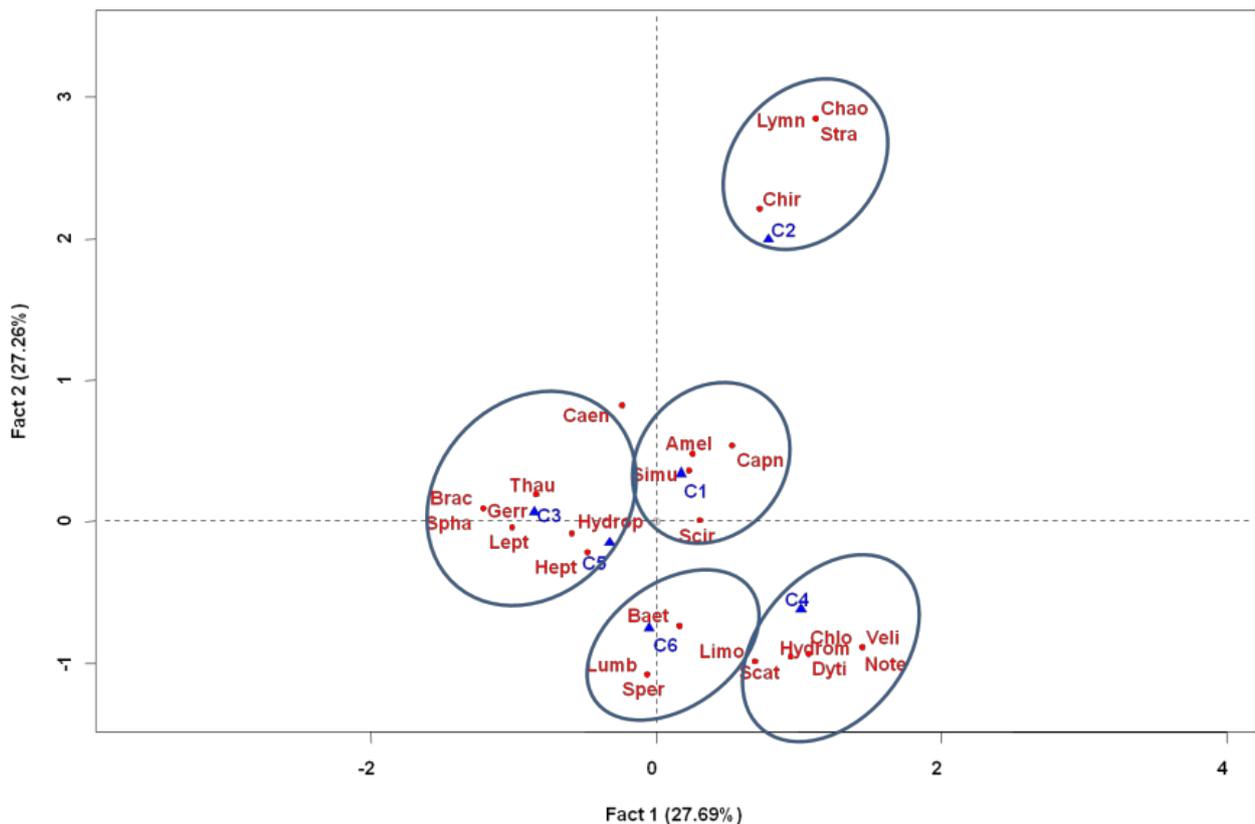
Le traitement des données par l'AFC est réalisé à partir d'un tableau binaire composé de 26 familles recensées et 6 stations prospectées le long de l'oued Chaaba. Les deux premiers axes expliquent 56,23% de la variabilité totale de l'information traitée avec 28,84% et 27,39% pour F1 et F2 respectivement (Fig.27). Les stations C1, C2 et C4 de haute altitude se situent

## Chapitre II: Résultats

vers la droite du plan factoriel et celles de moyenne altitude C3, C5 et C6 vers la gauche ou le facteur altitude semble donc se manifester suivant l'axe F1. Les stations C1, C2 et C3 sont également des sites entourés de forêt et, globalement, la zone a été privée de pression humaine permanente. Inversement, les stations qui se situent à gauche du plan factoriel sont situés soit dans des zones agricoles (C3) soit traversent des zones urbaines (C6).

Dans le plan factoriel F1xF2, nous avons pu identifier 6 groupements d'affinité entre les stations d'une part et les familles de taxons d'autre part.

La distribution des familles dans les stations de l'oued Chaaba est nettement hétérogène. Il regroupe différentes familles dont leurs présences et leurs abondances varient en fonction de leur degré de préférence des biotopes qu'ils côtoient. La station C1 est distinguée des autres groupes ou elle comprend principalement que les diptères (Chironomidae, Chaoboridae et Stratiomyidae) et les pulmonés (Lymnaeidae ; Fig. 27).



**Figure 27.** Distribution des familles et des stations dans le plan F1xF2 de l'AFC de l'oued Chaaba

4.5.2.2. Oued Bouilef

L'analyse de la structure biotypologique montre que les deux premiers axes cumulent 72,55% de l'inertie totale des points avec 42,58% pour l'axe F1 et 29,97% pour l'axe F2 (Fig.28). Dans le plan F1-F2, la station B1 se situe vers la droite du plan factoriel et elle se distingue des autres groupes par la présence des crustacés (Gammaridae), cette stations est significativement corrélée avec la profondeur, la conductivité plus au moins importante et le substrat de type sable grossier. La station B4 se distingue également des autres groupes par la présence des hétéroptères (Hydrometridae) et les diptères (Dixidae), elle se situe à l'opposé de la station B1 à gauche du plan F1. Cette station présente une corrélation significative avec un pH plus alcalin et avec les concentrations supérieures en chlore. La station B5 présente une signification négative avec les teneurs en chlore et le PH, elle se distingue par la présence des éphéméroptères (Baetidae) et les diptères (Simuliidae ; Fig. 28).

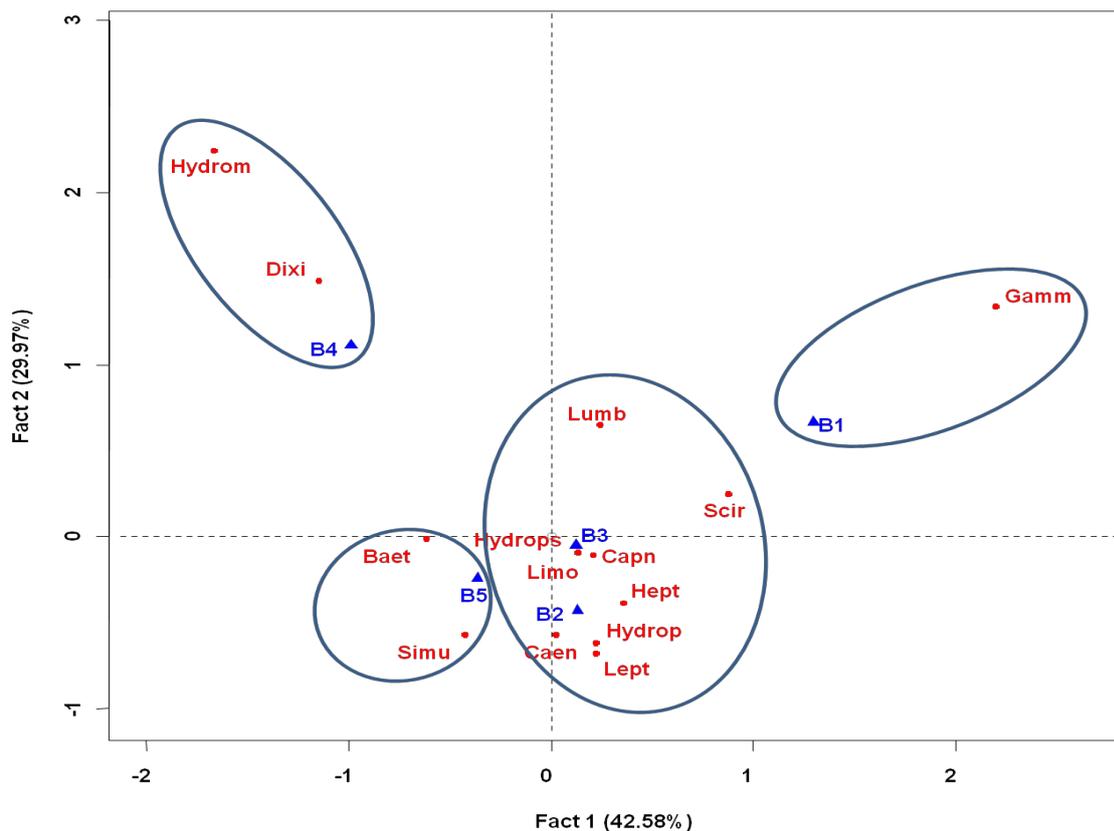


Figure 28. Distribution des familles et des stations dans le plan F1xF2 de l'AFC de l'oued Bouilef

4.5.2.3. Oued El Ma

Les deux premiers axes de l'analyse de la structure de l'oued El Ma expliquent 78,93% de la variabilité totale de l'information traitée avec 55,74% et 23,19% pour F1 et F2 respectivement (Fig.29). Les stations E1 et E4 de haute altitude se situent vers la droite du plan factoriel et celles de basse altitude E3 et E6 vers la gauche ou le facteur altitude semble donc se manifester suivant l'axe F1. La distribution des familles dans le groupes des stations E1 et E4 est hétérogène par contre le groupes des stations E3 et E6 se distingue principalement par la présence des diptères (Chironomidae et Simuliidae) et aussi par les éphéméroptères (Heptageniidae). Le groupe de station E2 de moyenne altitude se distingue par la présence des crustacés (Gammaridae).

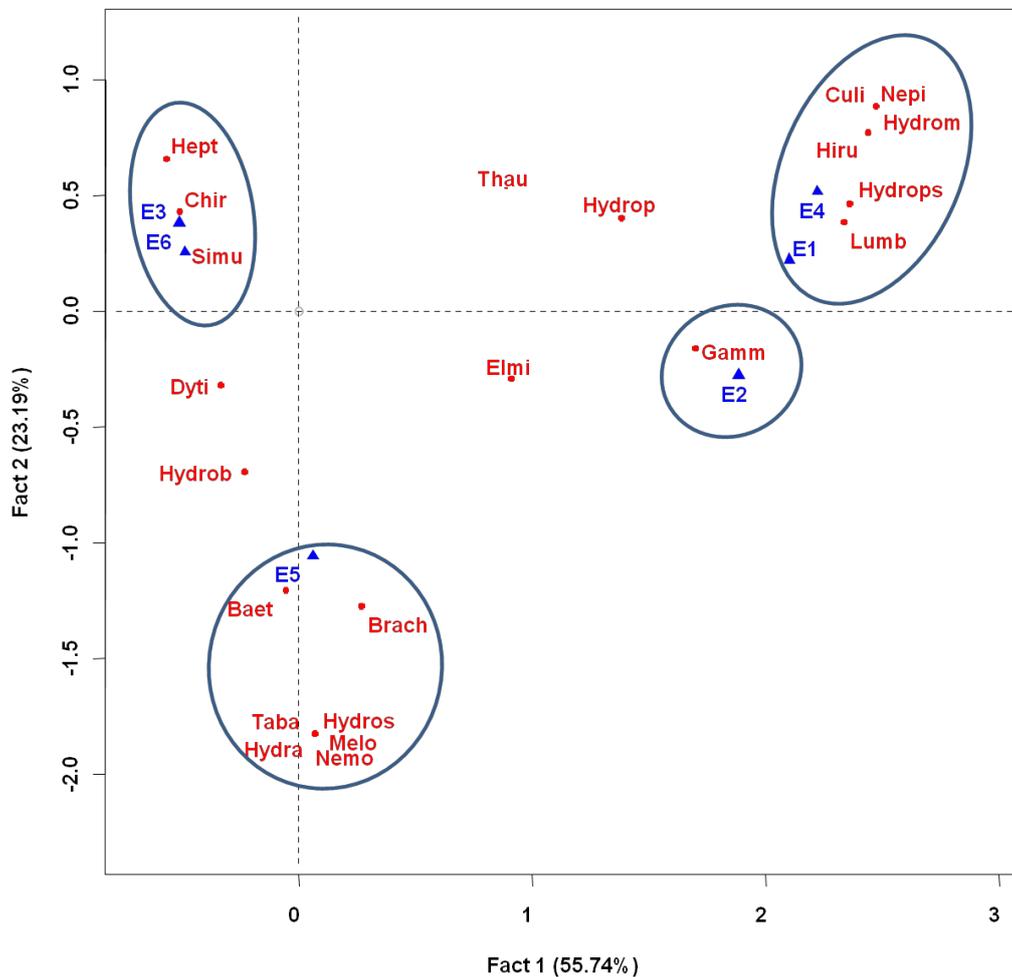


Figure 29. Distribution des familles et des stations dans le plan F1xF2 de l'AFC de l'oued El Ma

### 4.5.2.4. Oued Hamla

La matrice binaire utilisée pour l'analyse factorielle des correspondances, de l'oued Hamla, avec 9 espèces et 6 stations. Les 2 premiers axes cumulent un total d'inertie 100% du nuage des points, avec 50 % pour l'axe F1 et 50 % pour l'axe F2. Le plan factoriel F1xF2 de la biotypologie différencie 3 groupements bien distincts (Fig. 30) :

Le premier et deuxième groupe représenté par les stations H3 et H6 présentant respectivement des altitudes de 1136 et 1246 m. C'est des stations de zone urbaine, qui se caractérisent par une conductivité importante, des concentrations de TDS élevés. On note aussi une turbidité bien élevée pour la station H6. La station H3 se distingue uniquement par la présence des oligochètes (Lumbriculidae). La station H6 se caractérise par la présence des coléoptères (Scirtidae et Noteridae), les plécoptères (Chloroperlidae) et les diptères (Limoniidae).

Le troisième groupe renferme la station de haute altitude H2 qui se trouve en forêt naturelle avec 1316 m, qui possède principalement un substrat de type sable grossier. Les taxons des macro-invertébrés les plus caractéristiques sont les éphéméroptères (Heptageniidae), les plécoptères (Capniidae), les diptères (Chironomidae) et les Hirudinées (Hirudinidae).

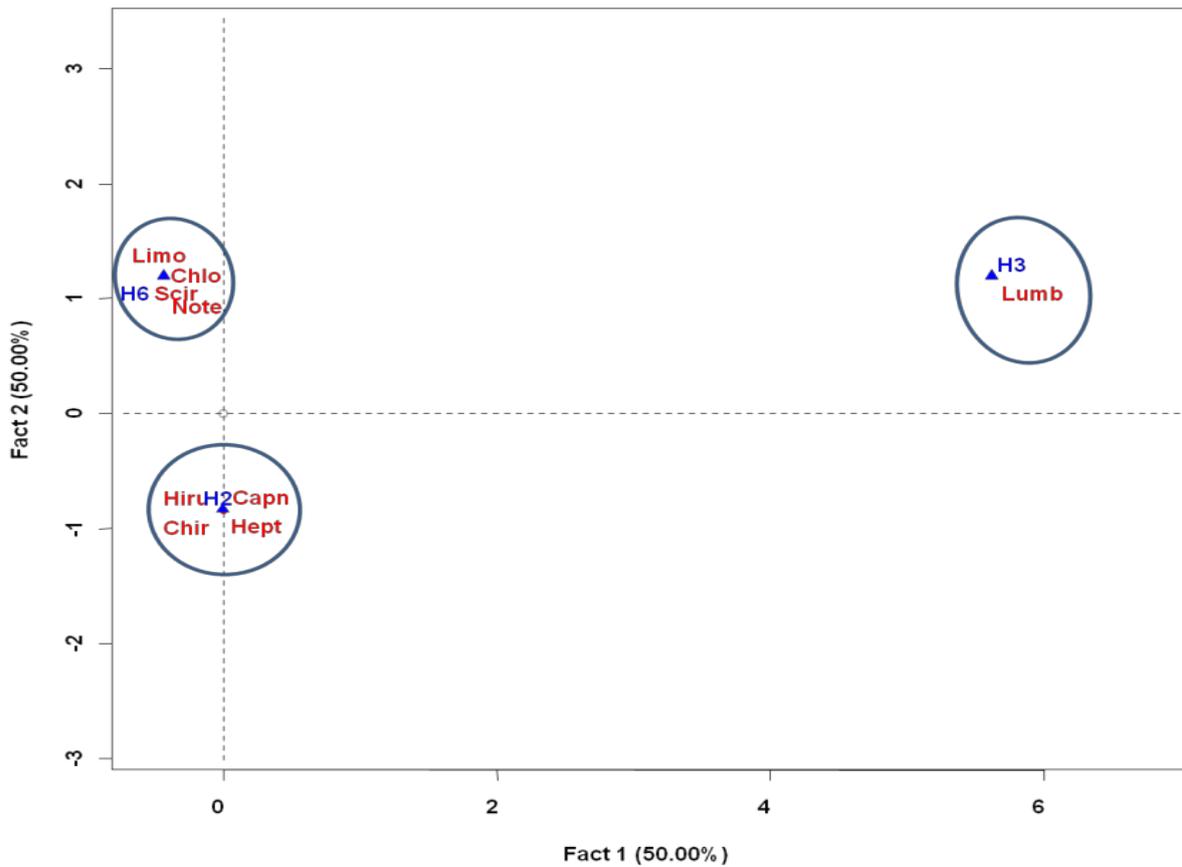
### 4.5.2.5. Oued Chelia

Les deux premiers axes de l'analyse de la structure de l'oued Chelia cumulent 100% de l'information continue dans la matrice des données (F1 : 93,15%, F2 : 6,85%; Fig.31). Ces pourcentages importants s'expliquent par la petite taille de la matrice (3 stations et 8 familles de taxons).

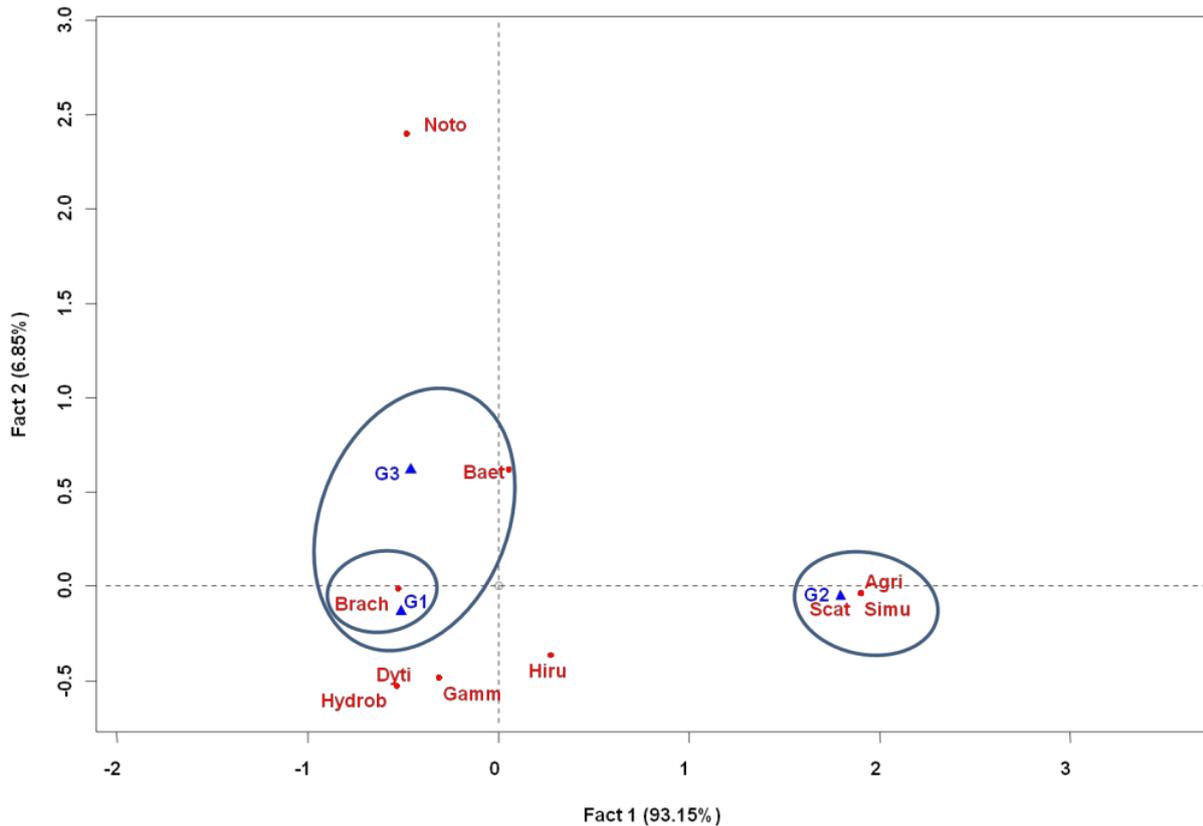
La station G1 de haute altitude (1560 m) qui se trouve en milieu agricole avec un substrat relativement grossier (rocher), se distingue par l'abondance importante des trichoptères (Brachycentridae). Elle est présentée également par les crustacés (Gammaridae), les éphéméroptères (Baetidae), les coléoptères (Dytiscidae), les Hirudinées (Hirudinidae) et les pulmonés (Hydrobiidae).

## Chapitre II: Résultats

Les taxons de macro-invertébrés les plus caractéristiques de la station G2 de haute altitude (1415 m) qui se trouve également en zone agricole avec une dominance de substrat de sable fin, sont les diptères (Scatophagidae et Simuliidae) et les hyménoptères (Agriotypidae). La station G3 s'explique sur le plan factoriel par les paramètres physico-chimique (conductivité, TDS, concentration des NO<sub>2</sub> et Cl<sup>-</sup>) relativement élevés et se distingue essentiellement par la présence des Trichoptères (Brachycentridae) et les éphéméroptères (Baetidae).



**Figure 30.** Distribution des familles et des stations dans le plan F1xF2 de l'AFC de l'oued Hamla



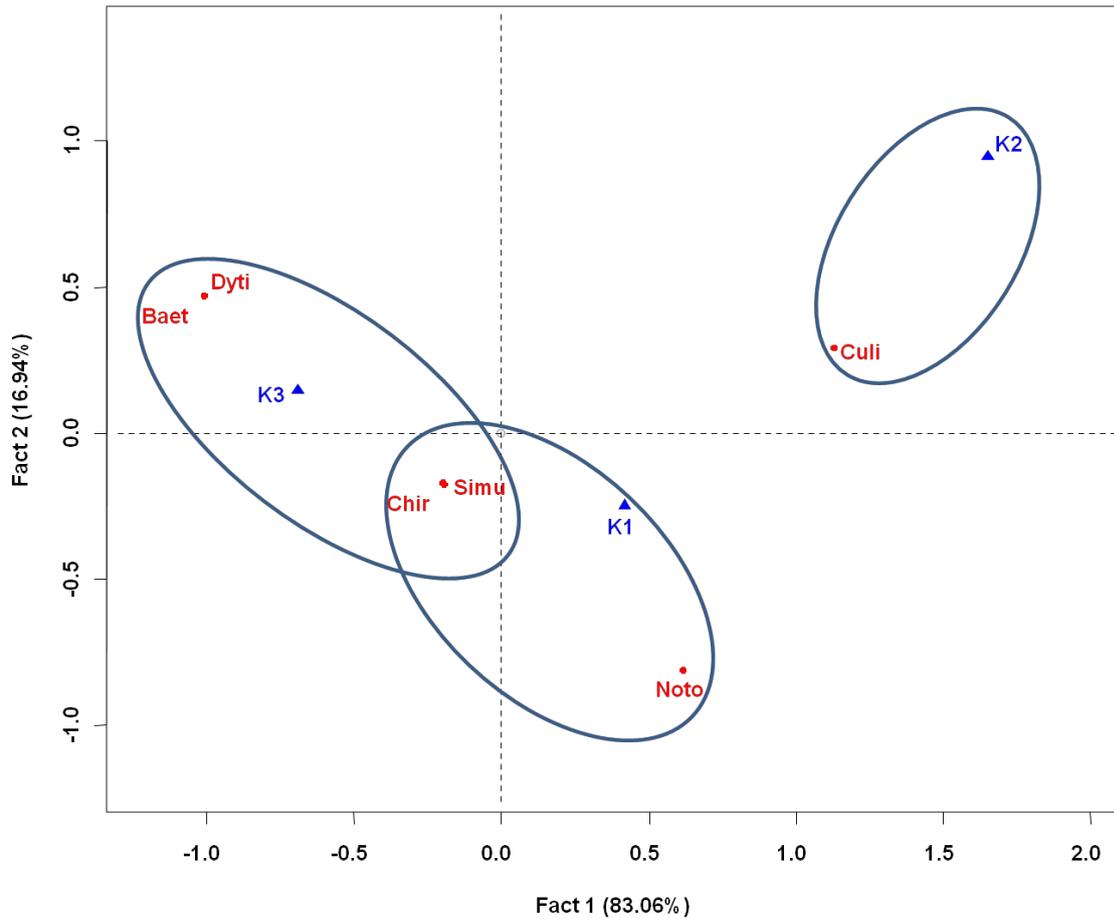
**Figure 31.** Distribution des familles et des stations dans le plan F1xF2 de l'AFC de l'oued Chélia

#### 4.5.2.6. Oued Kimel

Les deux premiers axes de l'analyse de la structure de l'oued Kimel cumulent 100% de l'information continue dans la matrice des données (F1 : 83,06, F2 : 16,94% ; Fig.32). Ces pourcentages importants s'expliquent également par la petite taille de la matrice (3 stations et 6 familles de taxons).

Les trois stations de l'oued Kimel se trouvent en forêt naturelle incendiée surtout dans la partie de la troisième station (K3). Les stations de cet oued se caractérisent par des teneurs très élevées de conductivité, TDS et de salinité. On note aussi un pH neutre au niveau de la troisième station (K3)

La station K2 est présentée uniquement par les diptères (Culicidae), les stations K1 et K3 se distinguent par l'abondance remarquable des diptères (Simuliidae) et la présence des Chironomidae. On note aussi que la station K3 est présentée par les éphéméroptères (Baetidae) et les coléoptères (Dytiscidae)



**Figure 32.** Distribution des familles et des stations dans le plan F1xF2 de l'AFC de l'oued Kimel

#### 4.5.2.7. Oued Yabous

Le traitement des données par l'AFC est réalisé à partir d'un tableau binaire composé de 11 familles recensées et 3 stations prospectées le long de l'oued Yabous. Les deux premiers axes expliquent 100% de la variabilité totale de l'information traitée avec 72,16% et 27,84% pour F1 et F2 respectivement (Fig. 33). Ces pourcentages importants s'expliquent par la petite taille de la matrice.

La station Y1 d'une altitude de 1365 m se situe vers la droite du plan factoriel et elle se distingue des autres groupes par l'abondance des trichoptères (Brachycentridae) et les hétéroptères (Veliidae), elle est présentée également par les crustacés (Gammaridae) et les éphéméroptères (Baetidae). Cette station est significativement corrélée avec l'altitude, le débit et au substrat de type galet. La station Y2 (1285 m) qui se trouve en zone urbaine et agricole est corrélée significativement avec les teneurs en  $\text{NO}_2^-$  et le substrat relativement

grossier (galet), se distingue par l'abondance importante des Diptères (Simuliidae), des crustacés (Gammaridae) et les éphéméroptères (Baetidae). Egalement la station Y3 situé en zone urbaine se distingue par la présence des diptères (Limoniidae, Dixidae, Chaoboridae et Simuliidae) ou l'abondance des Simuliidae été la plus importante.

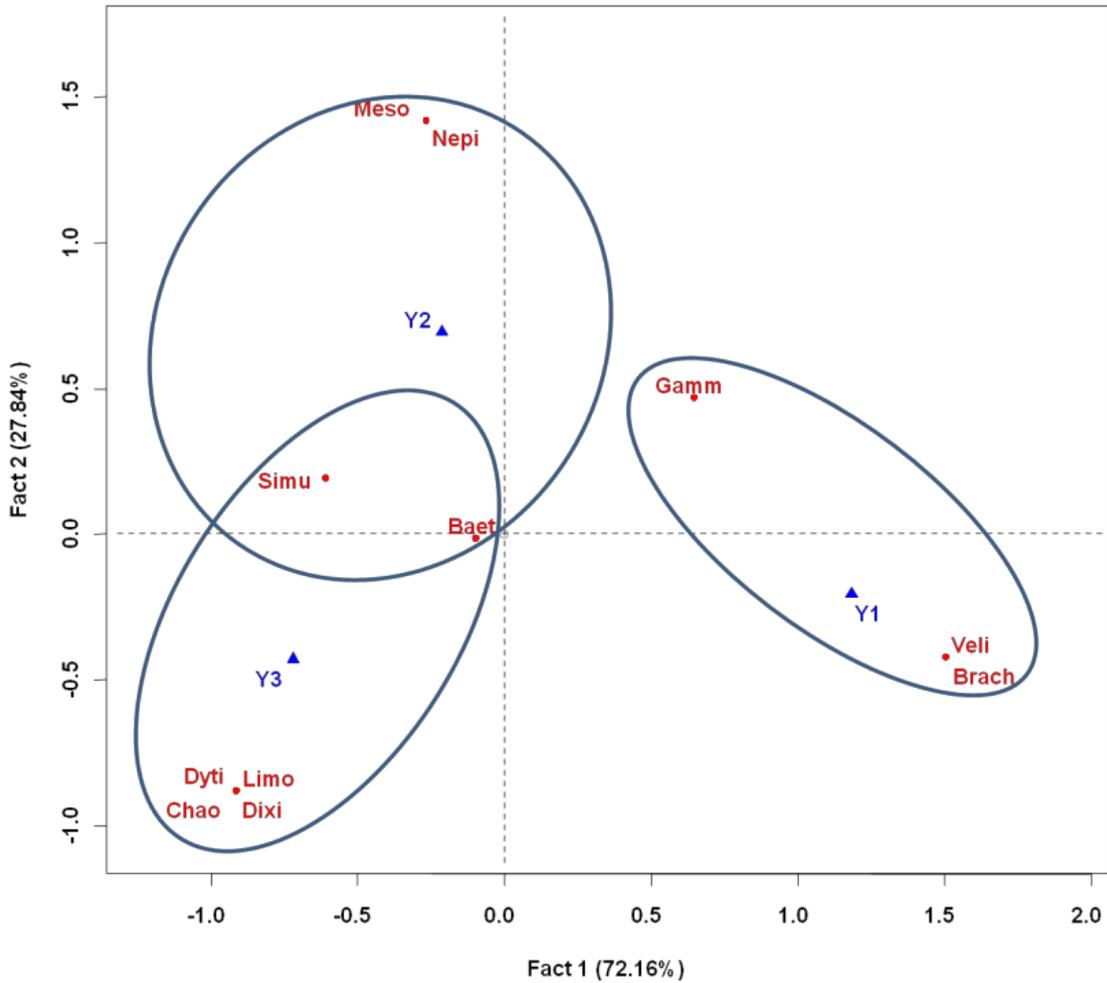


Figure 33. Distribution des familles et des stations dans le plan F1x2 de l'ACF de l'oued Yabous

### 4.6. Evaluation de la qualité biologique des stations

Les valeurs des ETP (Ephéméroptères, Trichoptères et Plécoptères) les plus élevées (6 à 9 taxons) se situent au niveau des stations où la richesse spécifique est la plus importante (C1, C3, C4, C5, C6, B2 et B3) sauf la station E5 de oued El Ma qui présente une faible valeur des ETP comparant a des valeurs de richesse plus ou moins importante (Tab. 17).

Les pourcentages relatifs en Oligochètes ont été faible à nuls et sont compris entre 1% et 10% dans toutes les stations. Les pourcentages relatifs en Chironomes sont plus faible à nuls également dans toutes les stations (Tab.17).

Les stations (B1et B3) de oued Bouilef et (C1 et C3) de oued Chaaba se caractérisent par les indices biotiques et les indices de diversité les plus important confirmant plus au moins la bonne qualité de ces milieux : Shannon : 2.08 à 2.34, Margalef : 3 à 3.40, IGBN (Indice Biologique Global Normalisé) :  $\geq 8$ , à l'exception la valeur de B3 qui renseigne sur la qualité médiocre de cette station (IBGN = 6). Sur l'ensemble des autres stations, les valeurs moyennes varient entre 0,13 (K3) et 0,79 (C2) pour les indices de Simpson, 0,32 (K3) et 1,73 (C2, E2) pour les indices de Shannon, 0,55 (G3) et 2,94 (E3) pour les indices de Margalef, 4 (E1, E3) et 20 (Y1, G1) pour les IGBN (Tab. 17). Les deux oueds forestiers (Chelia, Yabous) alimentés principalement par les eaux de sources, présentent les IGBN les plus élevées dans toutes les stations (entre 15 et 20) présentant une meilleure qualité.

La figure 34 présente les coefficients de corrélations de rang de Spearman entre les différents indices étudiés.

Le nombre total de taxons et l'ETP sont très significativement corrélés ( $r=0,99$ ,  $p<0,0001$ ) et présentent de fortes corrélations avec l'IBGN (respectivement 0,90 et 0,94,  $p<0,0001$ ). En revanche la richesse générique et l'ETPs sont également très significativement corrélés ( $r=0,91$ ,  $p<0,001$ ), mais uniquement les ETPs été significativement corrélé avec l'IBGN ( $r=-0,65$ ,  $p<0,05$ ). La majorité des autres indices biotiques et de diversité présentent des corrélations moins élevées avec l'ETP et la richesse générique.

Les valeurs des indices de diversité de Shannon, Simpson et Margalef présentent des corrélations hautement significatives entre eux ( $r= 0,99$ ,  $p<0,0001$ ). La seule corrélation significatives entre les indices de diversité et l'indice biologique été observé entre l'indice de Margalef et l'IBGN ( $r= -0,63$ ,  $p<0,05$ ).

## Chapitre II: Résultats

**Tableau 17.** Valeurs des indices calculés sur les 33 stations d'étude

Stations	Nbre total de taxon	ETP	Richesse générique	ETPs	% chironome	% Oligochètes	Indice de Simpson	Indice de Shannon	Indice de Margalef	IBGN
B1	32	20	7	4	0	3,13	0,85	2,25	3,40	8
B2	65	61	11	7	0	1,49	0,78	1,69	1,89	7
B3	59	50	13	7	0	1,69	0,86	2,19	3,30	6
B4	28	17	6	3	0	3,57	0,66	1,40	2,07	6
B5	77	76	6	4	0	0	0,73	1,65	2,39	13
B6	0	0	0	0	0	0	0,17	0,41	1,25	-
C1	27	16	12	7	0	0	0,83	2,08	3,00	10
C2	18	5	7	2	0	0	0,79	1,73	2,08	8
C3	68	38	14	9	1,47	0	0,88	2,34	3,08	10
C4	46	15	14	6	0	0	0,61	1,32	1,61	9
C5	41	17	8	6	0	0	0	0	0	7
C6	27	19	12	6	0	10,71	0,20	0,46	0,80	7
E1	42	5	7	2	0	7,14	0,72	1,51	1,73	4
E2	3	0	1	0	0	0	0,71	1,73	2,38	-
E3	17	6	4	2	6,54	0	0,61	1,54	2,94	4
E4	48	3	9	3	0	0	0	0	0	7
E5	103	70	13	3	0,66	0	0,35	0,71	1,00	10
E6	24	16	8	2	0	0	0	0	0	6
G1	165	147	8	2	0	0	0,27	0,67	1,37	20
G2	17	4	6	1	0	0	0,48	0,96	1,24	-
G3	37	36	3	2	0	0	0,32	0,56	0,55	16
H1	0	0	0	0	0	0	0,73	1,44	1,50	-
H2	20	17	4	2	0	0	0,68	1,35	1,13	12
H3	1	0	1	0	0	100	0	0	0	-
H4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
H5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
H6	13	7	4	1	0	0	0,60	1,09	1,17	11
K1	20	0	5	0	0,81	0	0,28	0,57	0,83	-
K2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	-
K3	7	4	5	1	0,95	0	0,13	0,32	0,86	-
Y1	110	90	4	2	0	0	0,44	0,84	0,64	20
Y2	38	22	6	2	0	0	0,33	0,70	0,94	8
Y3	69	58	8	2	0	0	0,30	0,65	1,17	15

Les pourcentages d'Oligochètes et de Chironomes présentent des corrélations non significatives aux autres indices sauf les Oligochètes été significativement corrélé avec l'IBGN ( $r = -0.66$ ,  $p < 0.05$ ).

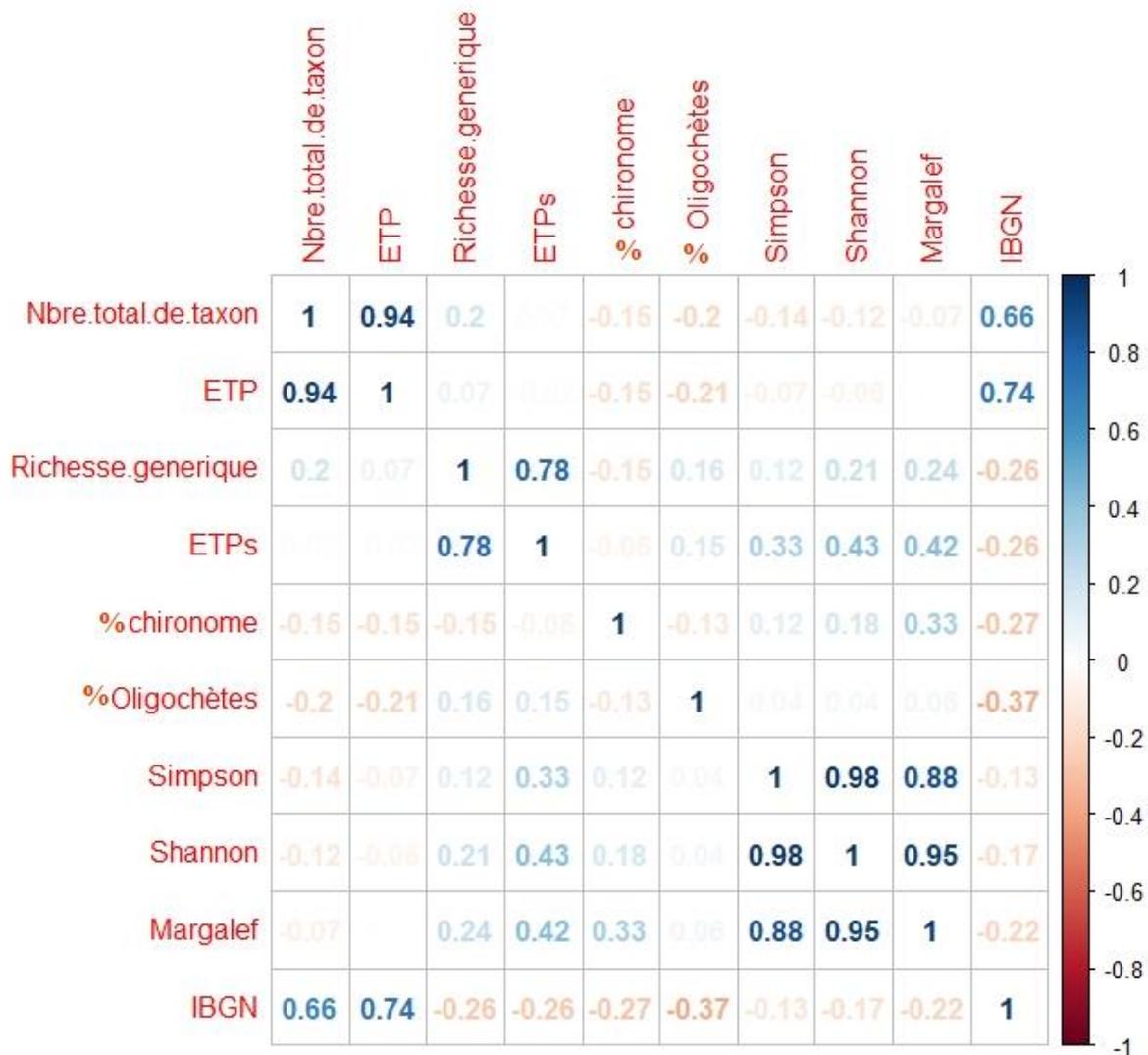


Figure 34. Coefficients de corrélation de rang de Spearman entre les 10 indices étudiés

Concernant les corrélations avec les paramètres physico-chimiques (Fig. 35), l'IBGN présente une corrélation significative avec les concentrations de Sulfates. Les indices de Shannon, Simpson et Margalef sont corrélés négativement aux teneurs de Chlore.

Afin de statuer sur la qualité hydrobiologique générale des 7 oueds étudiés, nous avons calculé les valeurs de l'IBGN chacun de ces oueds avec classification de la qualité de ces eaux (Tab.18).

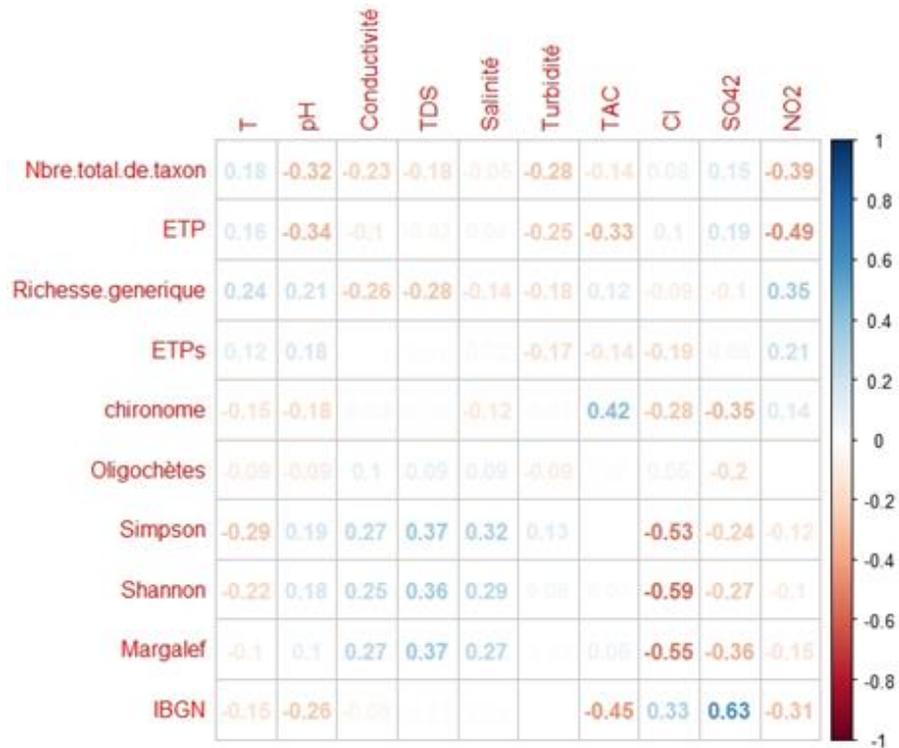


Figure 35. Coefficients de corrélation de rang de Pearson entre les indices biotiques et les indices de diversité et 10 paramètres physico-chimiques

Tableau 18. Grille d'appréciation de la qualité biotique de l'eau des 7 oueds étudiés

Oued	Diversité	GI	Valeur IBGN	Classe de qualité	Qualité de l'eau
Oued Hamla	4	9	10	2	Moyenne
Oued Chaaba	5	9	10	2	Moyenne
Oued Bouilef	4	7	8	2	Médiocre
Oued El Ma	7	9	11	3	Moyenne
Oued Chelia	170	8	20	14	Très bonne
Oued Yabous	80	8	20	14	Très bonne

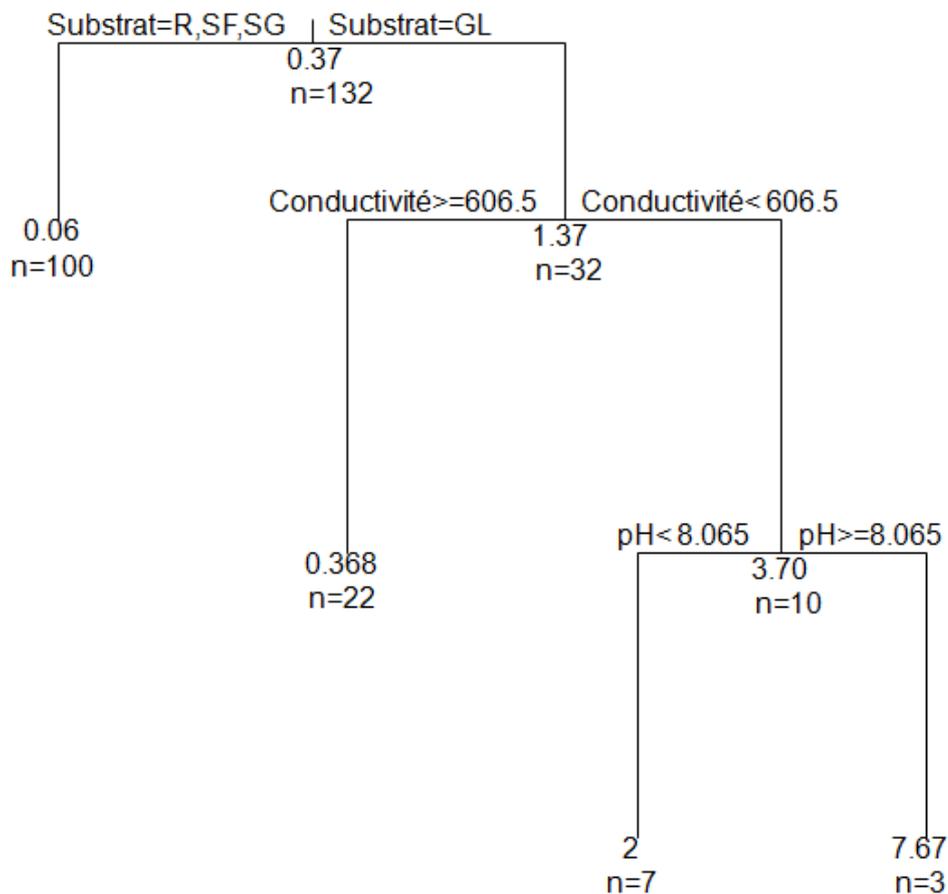
La qualité hydro biologique de l'eau dans les 7 cours d'eau étudiés est qualifiée de :

- 1- Moyenne pour O. Hamla, O. Chaaba et O. El Ma (IBGN entre 10 et 11, classe de qualité entre 2 et 3), alliant une faible variété faunistique (entre 4 et 7 taxa selon les oueds) ce qui entrainerait une limitation de la valeur de l'IBGN. Un groupe indicateur de 8 indiquant une légère altération de la qualité de l'eau.
- 2- Médiocre pour O. Bouilef (IBGN 8, classe de qualité 2), Cette qualité peut être expliqué par l'influence permanente des rejets ponctuels issus des villages et des exploitations avoisinants.
- 3- Très bonne pour O. Chelia et O. Yabous (IBGN 20, classe de qualité entre 14), alliant une forte variété faunistique (entre 80 et 170 taxa selon les oueds).



5.2. Les Plécoptères

L'abondance des Plécoptères a été décrite par une RT de quatre feuilles qui expliquait 45% de la variance totale. Les variables prédictives importantes identifiées étaient le type de substrat, la conductivité et le potentiel de l'hydrogène (pH). Les Plécoptères étaient plus faible (0.06, n = 100) dans les substrats de type rocher, sable fin et sable grossier (Substrat = R, SF, SG). Cependant, ils correspondaient à 7.67; n = 3, associé à un substrat de type galet (Substrat = GL), des conductivités < 606.5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ; et à un potentiel d'hydrogène ( $\text{pH} \geq 8,065$  - Fig. 37).

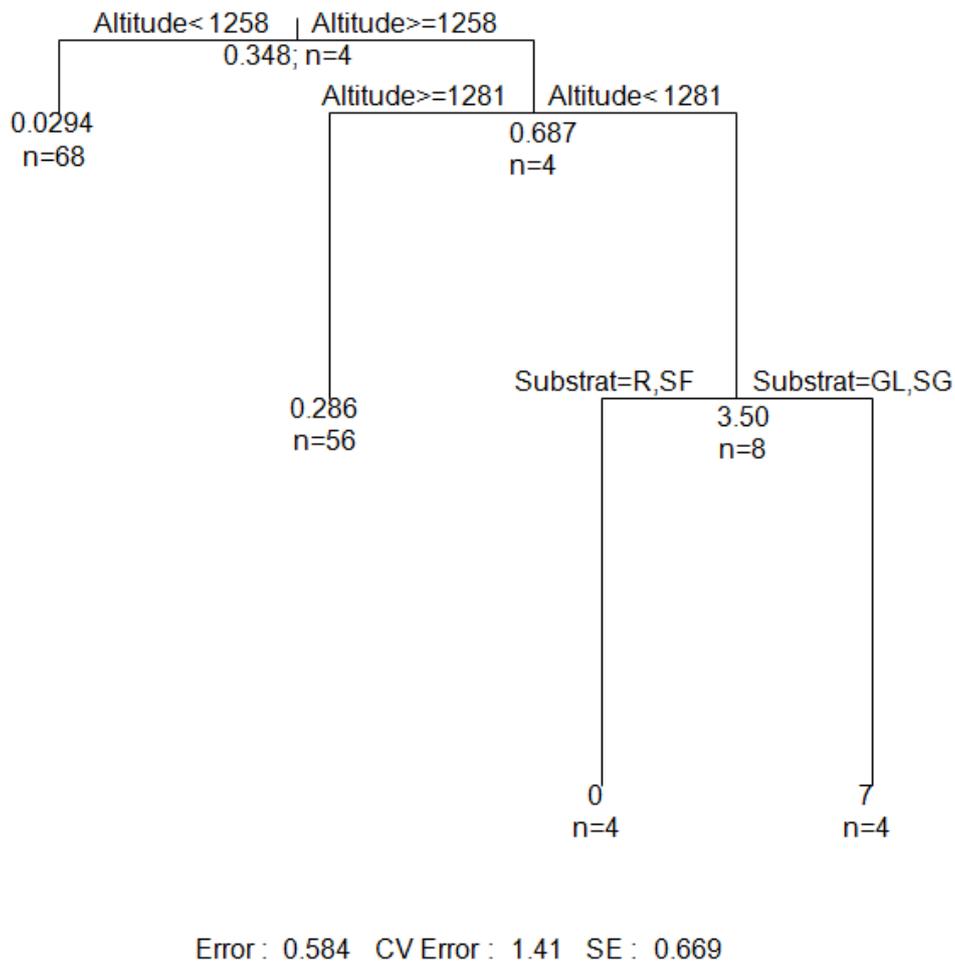


Error : 0.551 CVError : 2.77 SE : 0.889

**Figure 37.** Arbre de régression pour l'abondance des Plécoptères. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division. Substrat (**GL**: galet, **SF**: sable fin, **SG**: sable grossier, **R**: rocher).

5.3. Les Hétéroptères

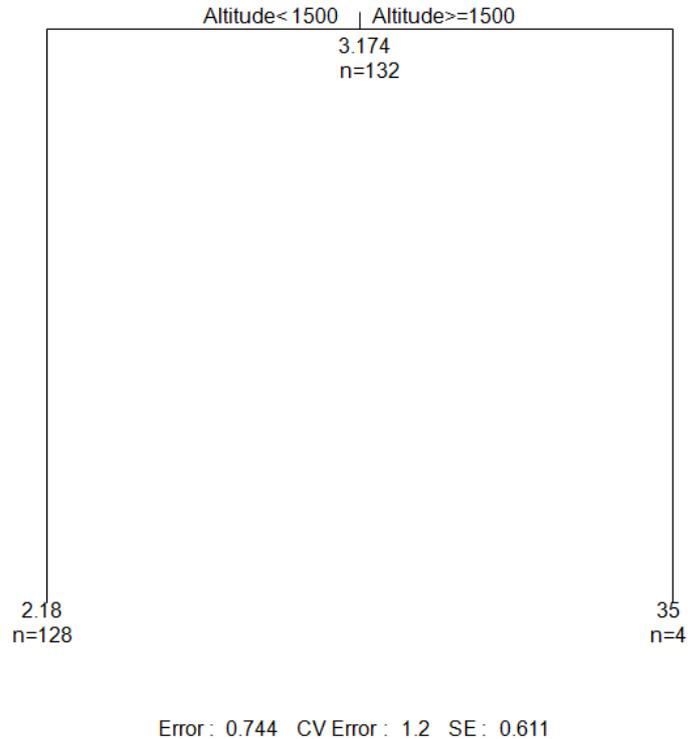
Pour les hétéroptères, l'altitude et le type de substrat étaient les deux variables prédictives les plus importantes. Au total, 42% de la variance de l'abondance des hétéroptères a été expliquée par un arbre de régression à trois feuilles obtenue. L'abondance des Hétéroptères (7 individus,  $n = 4$ ) était associée à une altitude ( $1258 \leq \text{altitude} < 1281$ ), avec un substrat de type galet et sable grossier (Substrat = GL, SG). Par contre à des altitudes  $< 1258\text{m}$  les Hétéroptères étaient beaucoup moins abondants ( $0.0294$  ;  $n=96$  - Fig. 38).



**Figure 38.** Arbre de régression pour l'abondance des Hétéroptères. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division. Substrat (**GL**: galet, **SF**: sable fin, **SG**: sable grossier, **R**: rocher).

#### 5.4. Les Trichoptères

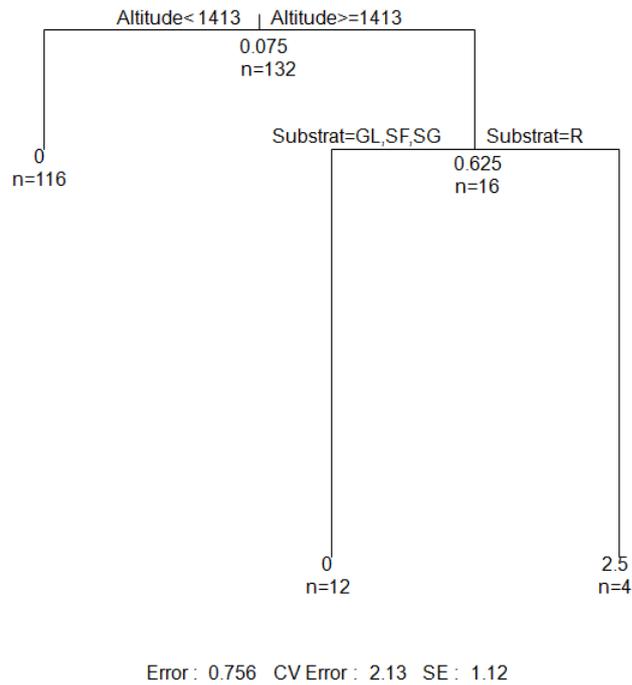
L'abondance des Trichoptères a été décrite par un arbre de régression à deux feuilles qui expliquait 26% de la variance d'abondance. Les Trichoptères étaient plus abondants (35; n = 4) associé à des altitudes plus élevées (Altitude  $\geq$  1500m - Fig. 39).



**Figure 39.** Arbre de régression pour l'abondance des Trichoptères. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division.

### 5.5. Les Hyménoptères

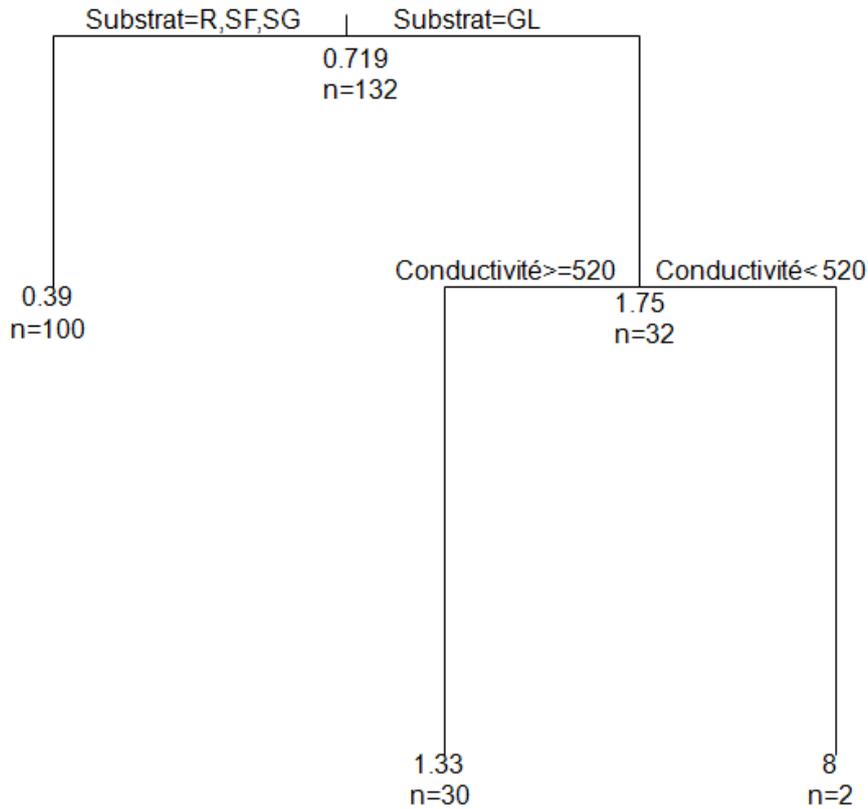
L'abondance des Hyménoptères a été décrite par un arbre de régression de trois feuilles qui expliquait 25% de la variance totale. Les variables prédictives importantes identifiées étaient l'altitude et le type de substrat. Les Hyménoptères étaient absents (0, n = 116) dans les altitudes < 1413m. La plus grande abondance enregistrée (2.5 ; n=4) était associée à des altitudes  $\geq$  1413m et un substrat rocheux (Substrat = R- Fig. 40).



**Figure 40.** Arbre de régression pour l'abondance des Hyménoptères. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division. Substrat (**GL**: galet, **SF**: sable fin, **SG**: sable grossier, **R**: rocher).

### 5.6. Les Coléoptères

L'erreur dans l'abondance des coléoptères était de 0,72, indiquant que l'arbre de régression à trois feuilles obtenue expliquait 28% de la variance totale. Les variables prédictives importantes étaient le type de substrat et la conductivité. Relativement élevé (8; n = 2), aux sites en galets (Substrat = GL) et à des valeurs de conductivité <520  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . En revanche, sur les substrats de sable grossier (CS), de sable fin (FS) et de rocher (R), l'abondance des coléoptères était plus faible (0.39, n = 100 – fig. 41).

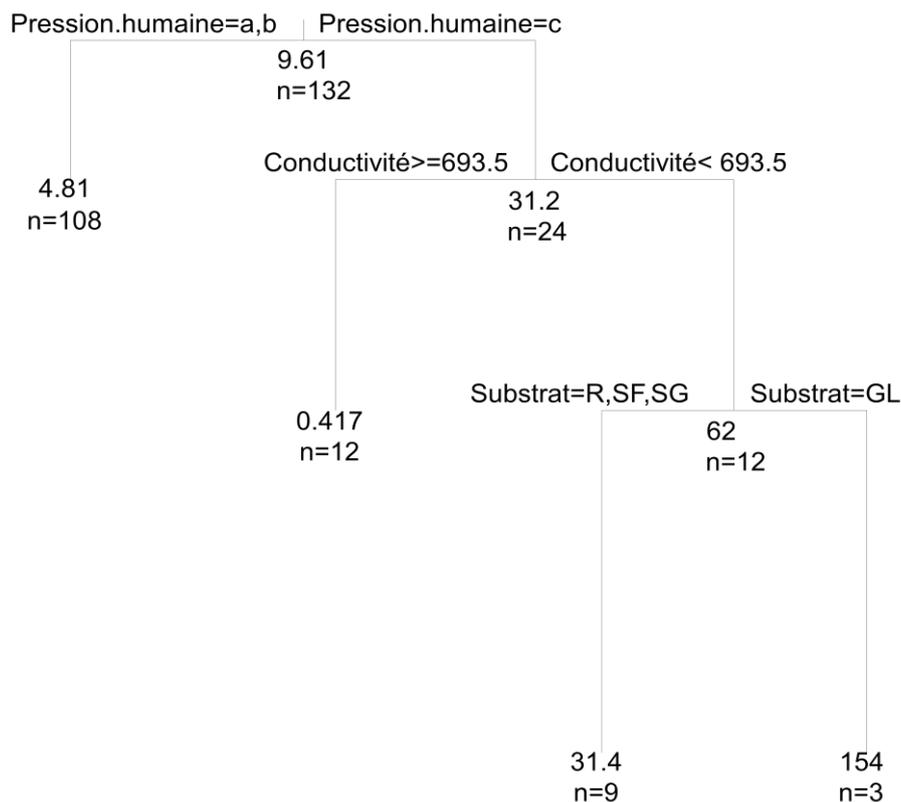


Error : 0.721 CVError : 1.35 SE : 0.573

**Figure 41.** Arbre de régression pour l'abondance des coléoptères. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division. Substrat (**GL**: galet, **SF**: sable fin, **SG**: sable grossier, **R**: rocher).

### 5.7. Les Diptères

L'abondance des diptères a été décrite par une RT à quatre feuilles expliquant 50% de la variance totale. Les variables prédictives importantes identifiées étaient le degré de pression humaine, la conductivité et le type de substrat. L'abondance importante des Diptères (154; n = 3) et (31,4; n = 9) était associée respectivement au degré de pression humaine (pression humaine = C), aux valeurs de conductivité <693,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et au substrat de type galet (substrat =GL). Les diptères étaient plus importants dans les substrats de type galet (GL) par rapport aux sables grossiers (SG), sables fins (SF) et aux rochers (R). Dans les sites agricoles et forestiers (pression humaine = a et b), le nombre d'individus dans ce groupe était faible (9,61; n = 132- Fig. 42).

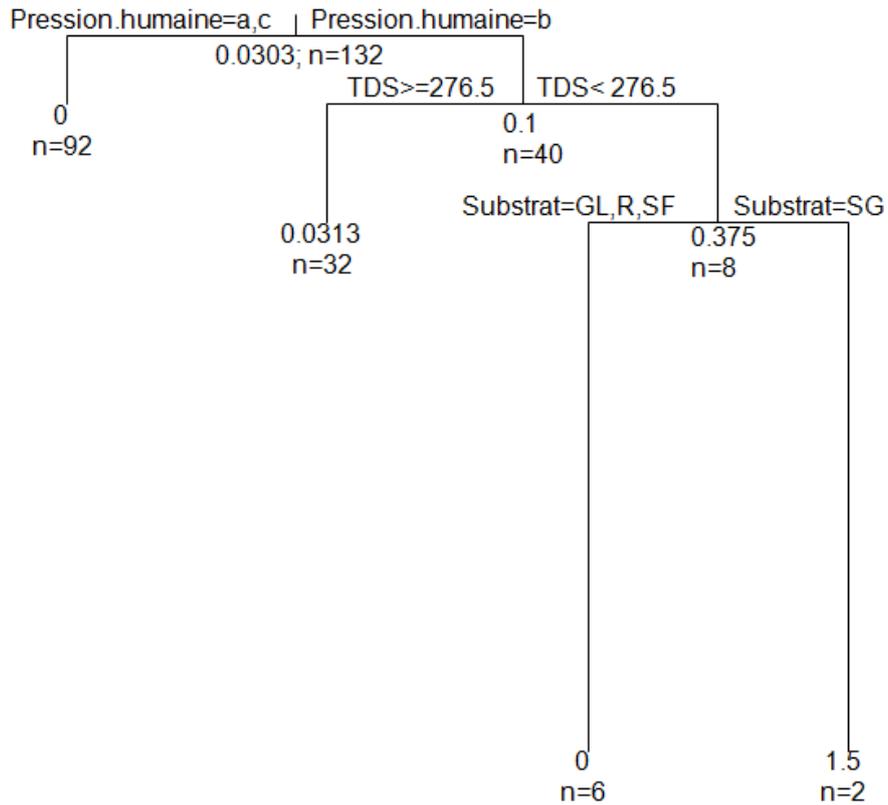


Error : 0.503 CV Error : 1.1 SE : 0.34

**Figure 42.** Arbre de régression pour l'abondance des Diptères. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division. Substrat (**GL**: galet, **SF**: sable fin, **SG**: sable grossier, **R**: rocher).

### 5.8. Les Oligochètes

L'abondance des Oligochètes a été décrite par un AR de quatre feuilles qui expliquait 45% de la variance totale (Fig. 43). Les variables prédictives importantes identifiées étaient la pression humaine, total des solides dissouts (TDS) et le type de substrat. La grande abondance des Oligochètes (1,5, n =2) était associée à des zones à un impact agricole (Pression humaine =b), des TDS <276.5 mg/l et à un substrat de type sable grossier (Substrat=SG). Cependant ils étaient absent (0, n=92) dans les sites urbains et forestiers (Pression humaine =a,c).

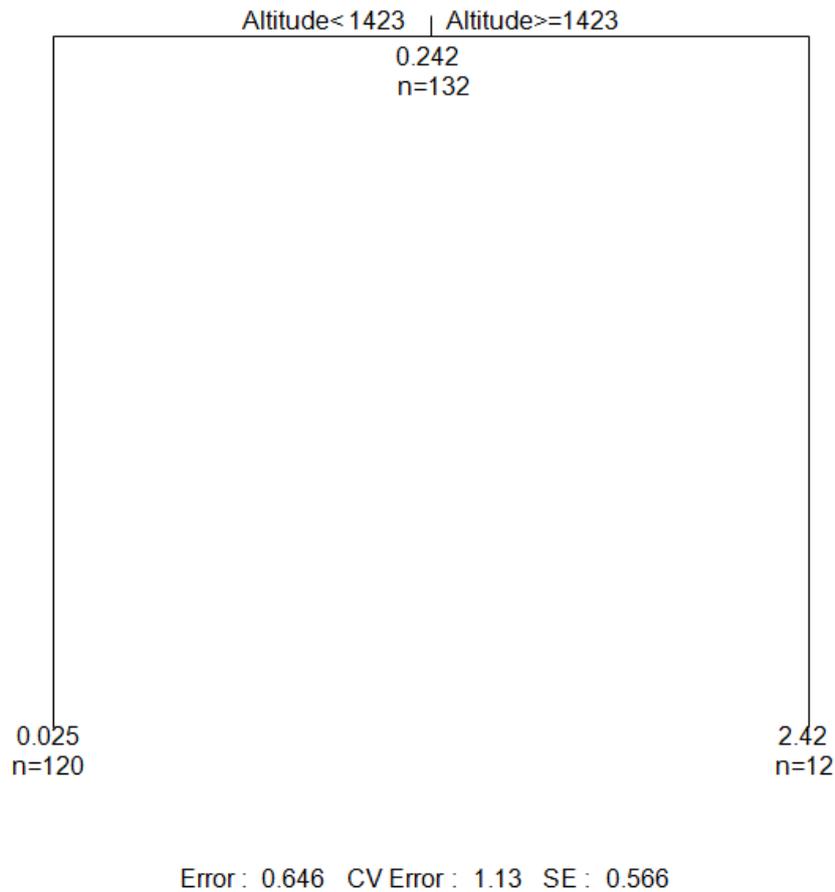


Error : 0.554 CV Error : 1.64 SE : 0.93

**Figure 43.** Arbre de régression pour l'abondance des Oligochètes. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division. Substrat (**GL**: galet, **SF**: sable fin, **SG**: sable grossier, **R**: rocher).

### 5.9. Les Hirudinées

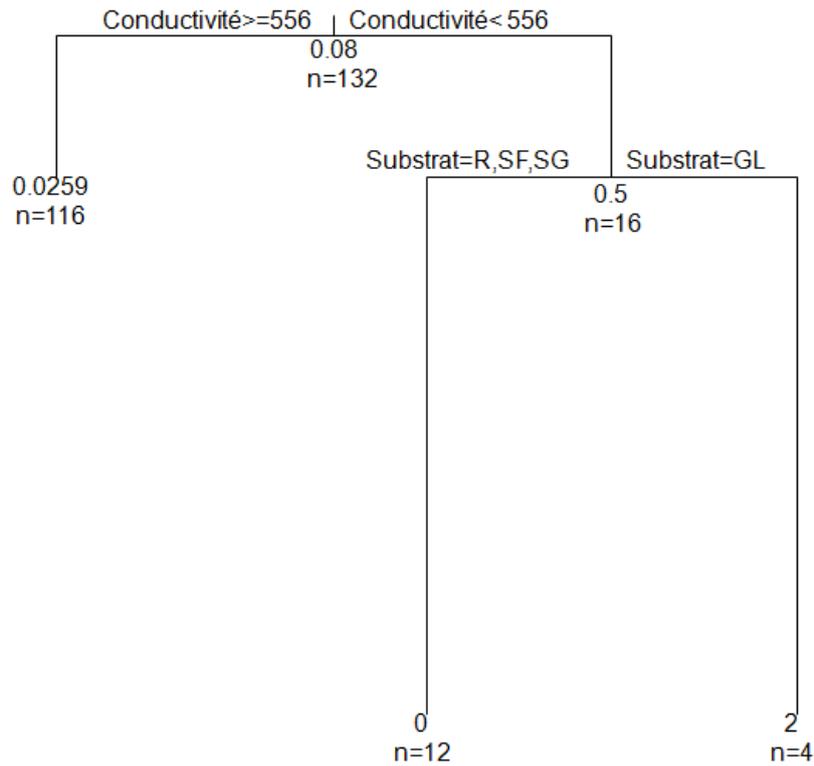
Les Hirudinées ont été décrites par un AR à deux feuilles qui expliquait 36% de la variance d'abondance. L'altitude était la variable prédictive la plus importante de l'abondance de cet ordre. Les Hirudinées étaient plus élevées (2,42; n = 12) à des hautes altitudes (Altitude  $\geq$  1423m - Fig. 44).



**Figure 44.** Arbre de régression pour l'abondance des Hirudinées. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division.

### 5.10. Les Pulmonés

L'erreur dans l'abondance des Pulmonés était de 0,58, indiquant que l'arbre de régression à trois feuilles obtenue expliquait 42% de la variance totale. Les variables prédictives importantes étaient la conductivité et le type de substrat. Relativement élevé (2; n = 4), à des valeurs de conductivité (Cond < 556  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et au substrat en galet (Substrat =GL). En revanche, avec des valeurs de conductivité (Cond  $\geq$  556  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), l'abondance des Pulmonés était plus faible (0,0259, n = 216 – Fig. 45).

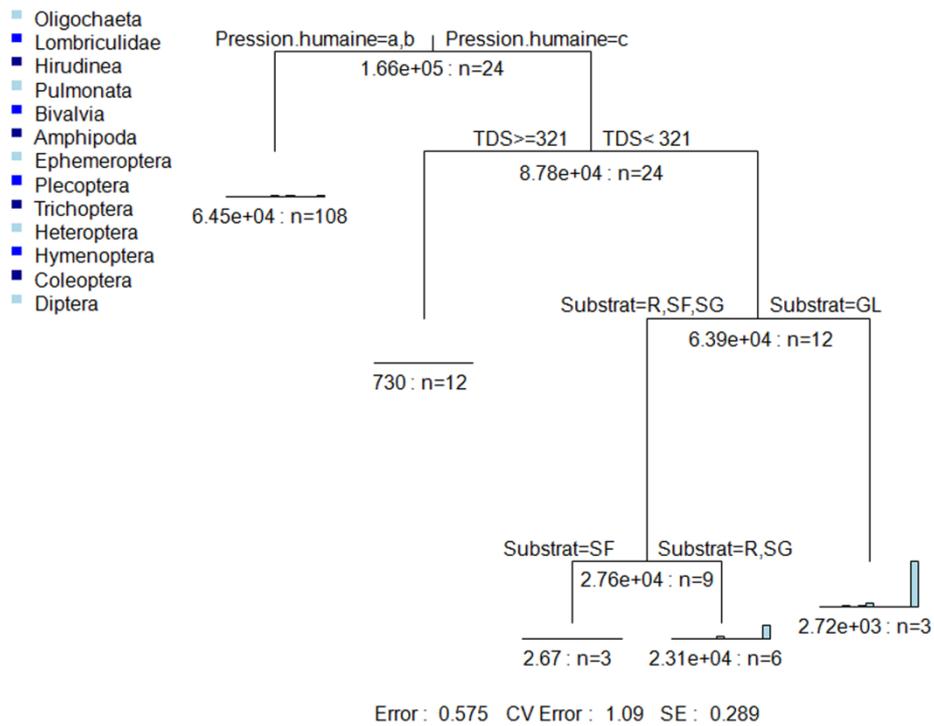


Error : 0.58 CV Error : 1.9 SE : 0.873

**Figure 45.** Arbre de régression pour l'abondance des Pulmonés. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division. Substrat (GL: galet, SF: sable fin, SG: sable grossier, R: rocher).

### 5.11. L'arbre multivarié

L'erreur dans l'abondance de l'arbre de régression multivarié était de 0,57, ce qui indique que la RT à cinq feuilles obtenue expliquait 43% de la variance totale. La pression humaine, total des solides dissouts et le type de substrat sont identifiés comme les principaux facteurs prédictifs de la distribution des différents taxons dans les assemblages de macro-invertébrées. Dans les zones urbaines (pression humaine = c) avec des substrats en galet (GL), les diptères présentaient une abondance plus élevée que les autres ordres. Dans les zones forestières et agricoles (pression humaine = a, b), l'abondance des Hétéroptères, des Epheméroptères et des trichoptères était plus ou moins élevée. Les assemblages étaient caractérisés par une abondance faible et équitable pour la plupart des ordres (Fig. 46).



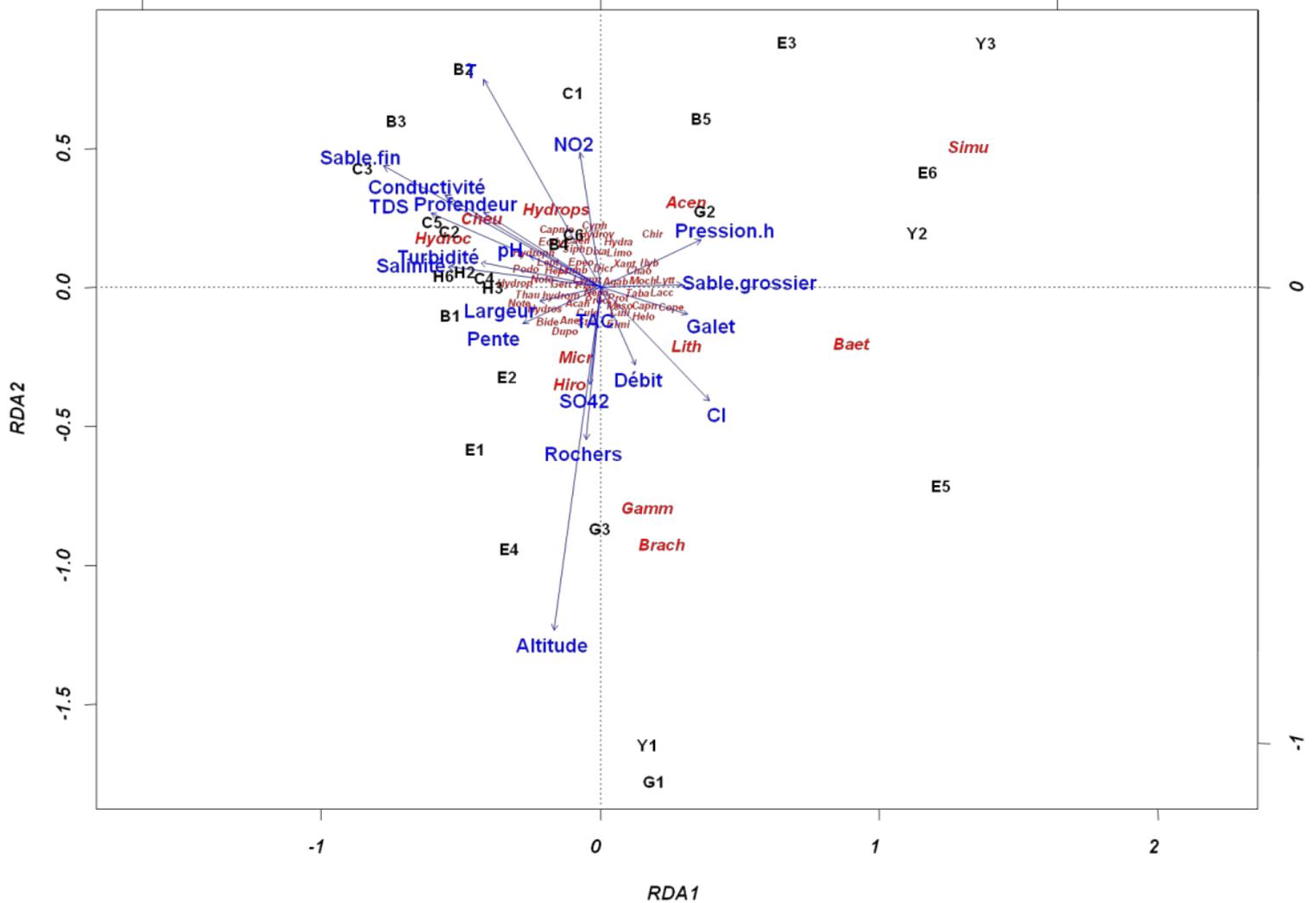
**Figure 46.** Arbre de régression multivarié pour l'abondance des ordres de macro-invertébrés benthiques. Pour chaque arbre, les divisions (nœuds non terminaux) sont étiquetées avec une variable et la valeur qui détermine la division. Substrat (**GL**: galet, **SF**: sable fin, **SG**: sable grossier, **R**: rocher).

### 6. Etude du schéma de distribution des peuplements de macro-invertébrés en fonction des variables physico-chimiques et de l'habitat

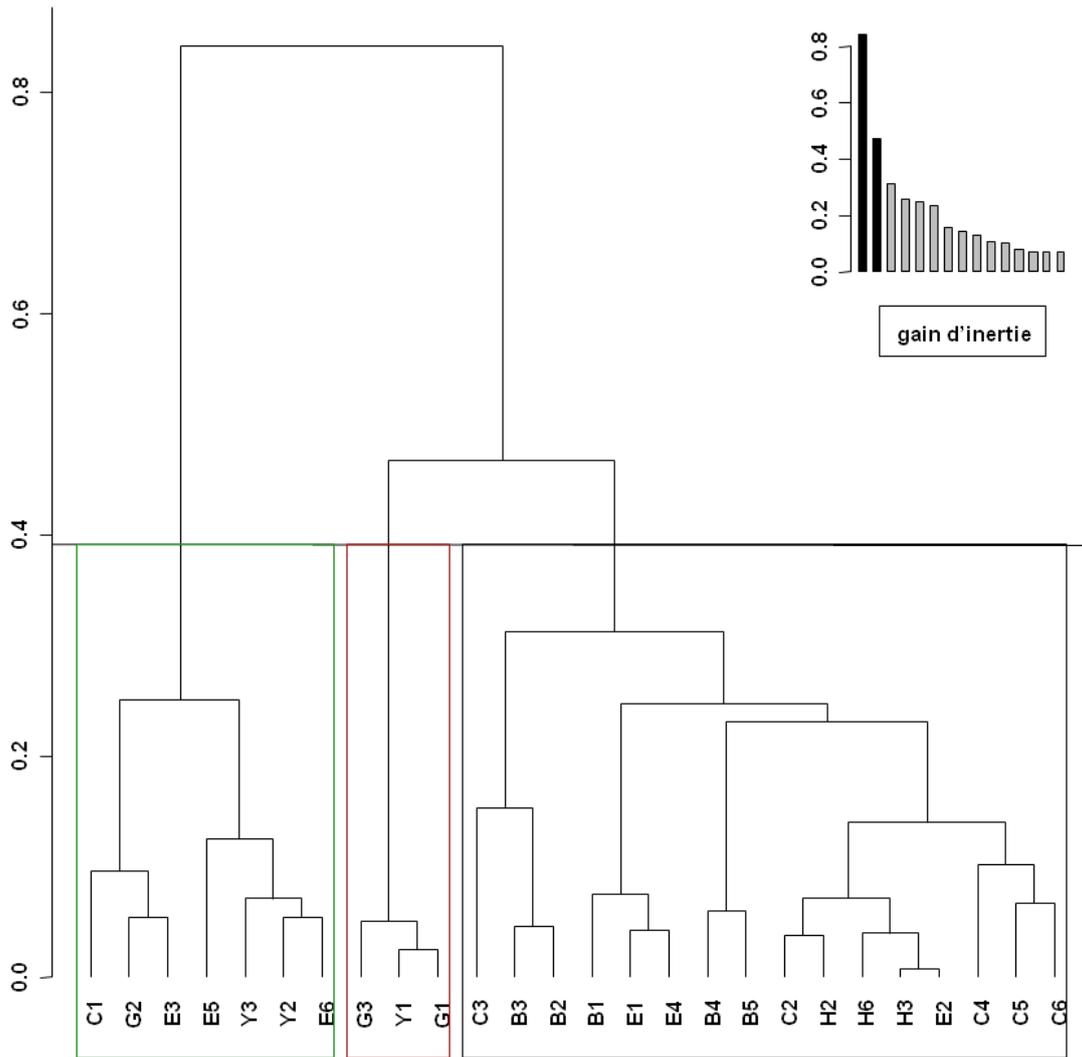
L'analyse RDA effectuée avec 23 variables environnementales et 42 taxons d'insectes ayant commandé les 18 échantillons représentait 61% de la variance totale. La contribution des axes canoniques du modèle total est hautement significative (test de signification de Monte Carlo:  $p < 0,0001$ ). Le premier axe représente 39,9% de la variance totale et le second 21,1%. La sélection directe permet d'identifier dix-sept variables pour expliquer une quantité significative de la variance des taxons (flèches sur la Fig. 47).

L'arbre hiérarchique permet d'identifier trois groupes de sites. Les sites du groupe 1 sont entourés de forêt et, globalement, la zone a été privée de pression humaine permanente. Inversement, les sites du groupe 2, situés dans des zones agricoles, étaient caractérisés par un substrat rocheux et des altitudes élevées. Les sites du groupe 3 étaient typiques des cours d'eau traversant des zones urbaines (Fig. 48).

Les paramètres qui révèlent la plus grande influence sur la distribution des taxons dans le groupe 1, principalement présenté par les *Hydrocyphon sp*, *Hydropsyche sp* et les *Cheumatopsyche sp* sont le substrat de sable fin et certains paramètres physico-chimiques de l'eau (conductivité, turbidité, salinité et TDS). L'altitude, le pourcentage de roches et de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dans les sites du groupe 2 expliquent de manière significative la répartition des *Brachycentrus sp* et des *Gammarus sp*. Les sites du groupe 3 montrent une plus grande diversité d'insectes (richesse taxonomique) et d'abondance, en particulier les *Simuliidae*, *Baetis sp* et les *Acentrella sp*. Leur distribution est expliquée par les variables environnementales: pression humaine, pourcentages grossiers de pierre.



**Figure 47.** L'analyse de redondance (RDA) entre les paramètres physico-chimiques de l'eau, les caractéristiques générales de l'habitat ainsi que l'abondance des différents taxons de macro-invertébrés benthiques échantillonnés dans 7 oueds étudiés. (Les codes de taxons et des stations sont indiqués respectivement dans les tableaux 7 et 12)



**Figure 48.** Classification hiérarchique des stations d'étude réalisée à partir de la distribution des taxons.

### 7. Traits de vie

Nous avons étudié Les relations entre les caractéristiques biologiques des macro-invertébrés et les caractéristiques environnementales. Nous avons utilisé une technique d'ordination, l'analyse RLQ, qui relie un tableau environnemental (R) à un tableau de traits (Q) par le biais d'un tableau d'abondance (L) afin d'étudier la relation entre les caractéristiques de l'habitat et les traits biologiques

Trois ordinations séparés des tableaux R (variables environnementales), L (composition taxonomique) et Q (traits biologiques) ont été effectuées avant l'analyse RLQ. Premièrement, une analyse de la correspondance (CA) a été réalisée sur la table de composition taxonomique (L), fournissant une ordination optimale simultanée des stations et des taxons. Dans ce cas, nous avons utilisé des données d'abondance transformées par

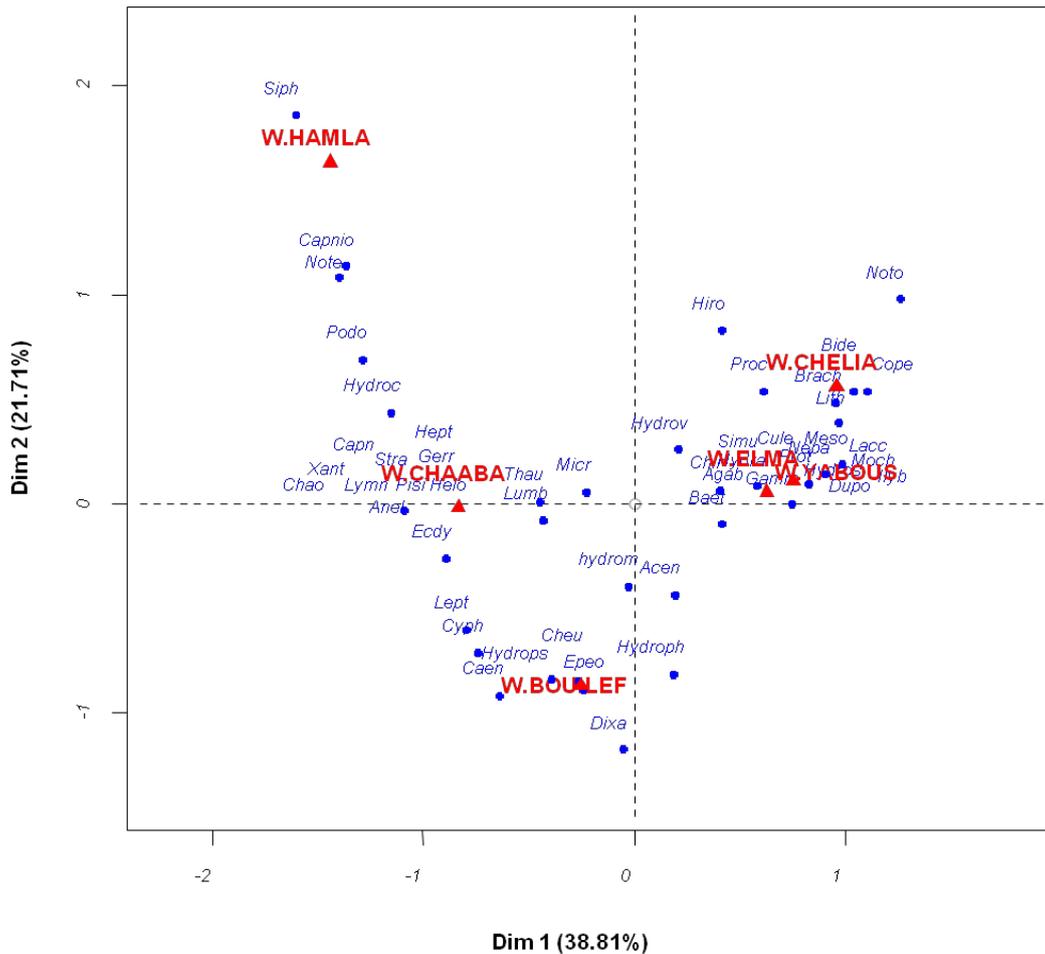
logarithme pour réduire le poids des abondances élevées. Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée à l'aide de variables environnementales transformées en log. Pour interpréter cette analyse, nous avons utilisé les charges de chaque variable environnementale sur les composants de la ACP. Ensuite, la table de caractères Q a été étudiée par analyse de correspondance floue (ACF, Chevenet et al., 1994). Pour sélectionner les traits qui expliquent le mieux la variance sur un axe donné, nous avons comparé les rapports de corrélation (c'est-à-dire le rapport entre la variance entre la catégorie et la variance totale, voir Chevenet et al., 1994).

### 7.1. Tableau environnemental (R)

Les deux premiers axes de l'ACP des caractéristiques environnementales des sites ont représenté 34,95% de la variance totale, les axes 1 et 2 représentant respectivement 19,35% et 15,60% de la variance totale (Tab. 19). La signification de l'ensemble des variables environnementales sur les deux axes de l'ACP ont été détaillés dans la partie structure des peuplements (Fig 25, Fig 26).

### 7.2. Table faunistique (L)

les quatre premiers axes d'une AC réalisée sur le tableau log-abondance expliquaient 92,35% de cette variabilité, dont 60,52% dans les deux premiers axes. Le premier axe expliquait 38,81% alors que le second l'axe expliquait 21,71% (Tab. 19). Les autres axes n'ont pas été pris en compte dans l'analyse du RLQ. La première valeur propre correspondant à la première corrélation canonique était de 0,76 (la racine carrée de 0,58). Cette valeur était la meilleure corrélation possible dans le tableau d'abondance des espèces. La projection des taxons sur la carte factorielle (Fig. 49) a montré un regroupement clair dans les six types de cours d'eau définis précédemment ou l'oued Chaaba présente une clair diversité par rapport aux autres avec des abondances importante des différents groupes taxonomiques, oued Chelia été dominé par les Trichoptères (*Brachycentrus sp*), Oued El Ma et oued Yabous été clairement dominés par les diptères et surtout les Simuliidae. Oued Hamla présentait le site le moins diversifié occupé surtout par les plécoptères.



**Figure 49.** Analyse de correspondance du tableau faunistique montrant les taxons regroupés par oueds.

### 7.3. Tableau des traits biologiques (Q)

Nous avons utilisé 39 catégories de 5 traits biologiques pour décrire la composition fonctionnelle des communautés d'invertébrés (Tab. 7). La sélection des traits et de leurs catégories a été dictée par les informations disponibles. La base de données utilisée ici était celle de Tachet et al. (2000), qui décrit l'affinité moyenne de chaque genre pour chaque catégorie. Il a attribué un score d'affinité (1 à 5) de chaque genre à chaque catégorie de traits en utilisant une approche de codage flou (Chevenet, Dole'dec et Chessel, 1994). Pour certains genre identifiés (principalement des diptères) sans aucune information à ce niveau dans Tachet et al. (2000), nous avons attribué les affinités de sous-famille ou de famille à ce genre.

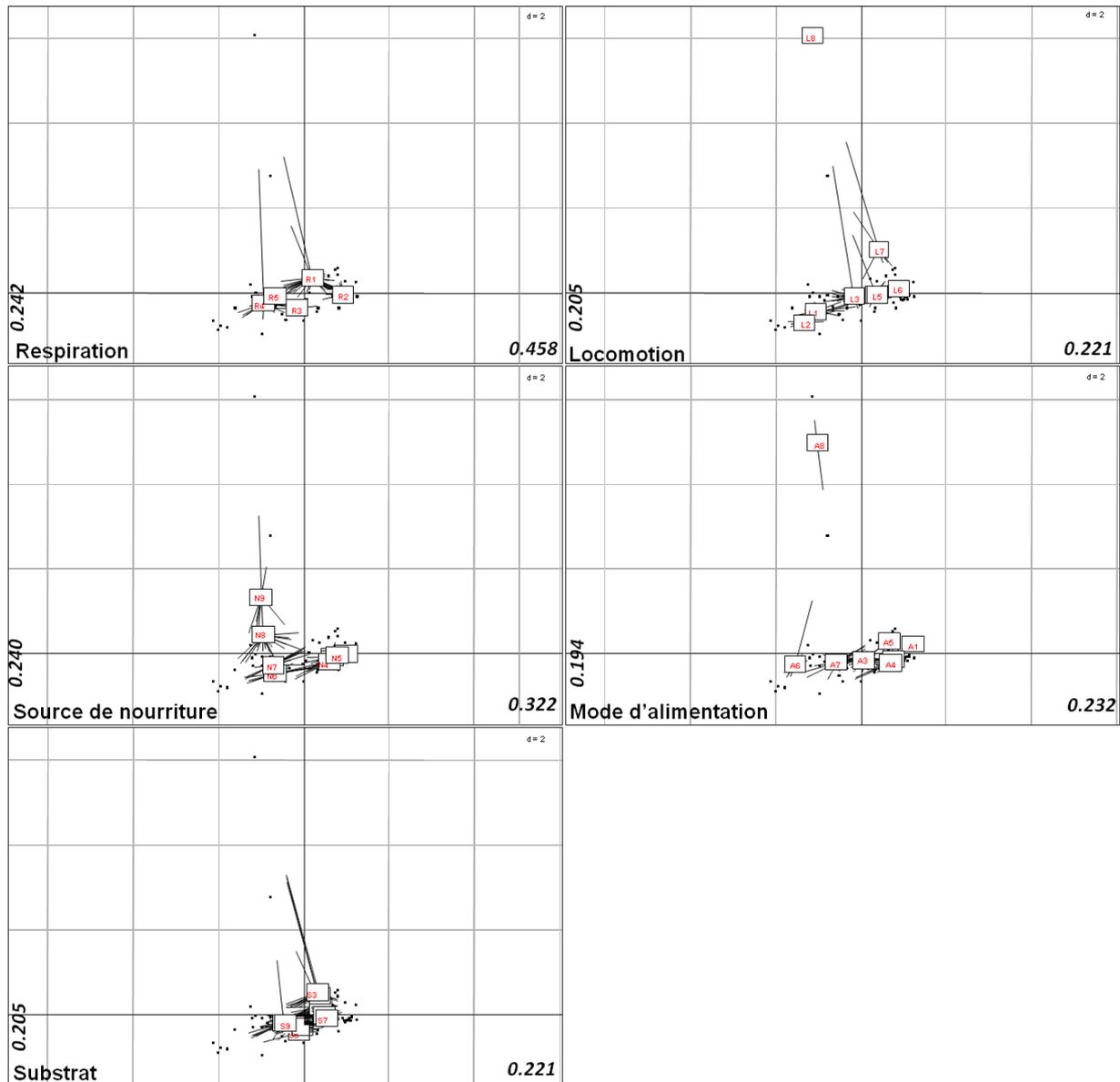
Les deux premiers axes d'une ACF réalisés sur la table traits biologiques-taxons représentaient 31,53% de la variance totale (Tab. 19). Le premier axe (18,53% de la variance) était principalement lié au type de respiration et au source de nourriture, dans une moindre

mesure, au type de substrat, mode d'alimentation et à la locomotion (Fig. 50). Le deuxième axe (12,99% de la variance) était également lié au type de respiration, à la source de nourriture et à la locomotion mais pas autant que sur le premier axe. Le troisième axe (9,88%) n'ajoutait pas de nouvelles informations à l'analyse et n'était pas davantage pris en compte.

Les taxons occupaient le côté positif le long des deux axes (Fig. 50) sont principalement, mais non exclusivement, de broyeur (A3) et absorbeurs (A1) se nourrissant de microorganismes (N1) et des débris végétaux (>1mm ; N3), respirant à travers le tégument (R1), se sont beaucoup plus des fouisseurs (épibenthiques ; L5), des interstitiel (endobenthique ; L6) ou à fixation temporaire (L7) et se présente dans les substrat gravier (S2), sable (S3) et limon (S4). Les invertébrés de ce groupe comprenaient surtout les trichoptères, les plécoptères, les diptères (*Podonominae*). Les gastropodes (*Lymnaea sp*), ainsi que l'oligochète et l'hirudiné (Fig. 51). De l'autre côté positif de l'axe F1 (Fig. 50) se concentre les taxons racleurs (A4), mangeurs de sédiments fins (A2) ou filtreurs (A5) se nourrissant de macrophytes (N5) ou de détritus (< 1mm ; N2), respirant à travers les branches (R2), marcheurs (L4) fréquent souvent dans les substrat grossier (blocs, pierres, cailloux ; S1), ou dans les branches et racines (S7). Les macro-invertébrés de ce groupe se compose principalement par les éphéméroptères, les crustacés (*Gammarus sp*) et par certains coléoptères (*Hydrocyphon sp*, *Cyphon sp* et *Dupophilus sp* ; Fig. 51).

Le quadrant supérieur gauche (valeurs négatives sur le premier et positives sur le deuxième axe) était principalement occupé par des prédateurs (A7) et des parasites (A8) se nourrissant de micro-invertébrés (N7), macro-invertébrés (N8) et de vertébrés (N9). Il s'agissait de taxons nageurs à plein eau (L2) ou fixateur permanent au substrat (L8), qui fréquentaient beaucoup plus les substrat de type vase (S9; Fig. 50). Ce groupe se compose par les coléoptères (*Noterus sp*), certains diptères (*Chaoborus sp* et *Mochloxyx sp*) et par les hyménoptères (*Agriotypus sp*; Fig. 51).

Sur le côté négatif des deux axes se trouvaient les taxons perceurs (A6) se nourrissant de débris animaux (>1mm ; N3). La respiration se faisait principalement par une spirale (R4), la locomotion de ces organismes se faisait par vol (L1) ou par nage à la surface (L2). Les coléoptères et les hétéroptères dominaient ce groupe, ainsi que certains diptères.



**Figure 50.** Répartition des catégories (étiquettes blanches) des 5 traits biologiques sur les deux premiers axes de l'analyse de correspondance floue (ACF). Les nombres indiquent les rapports de corrélation avec le premier axe (nombres horizontaux) et le deuxième axe (nombres verticaux) (voir Chevenet et al., 1994). L'échelle de la parcelle d'ordination (c'est-à-dire la longueur des divisions principales, «d») est indiquée (voir le Tab. 2 pour connaître les codes utilisés pour les modalités relatives aux traits).

**Tableau 19.** Résultats des analyses séparées impliquées dans l'analyse RLQ

**Tableau AC – taxons – oueds (tableau ‘L’)**

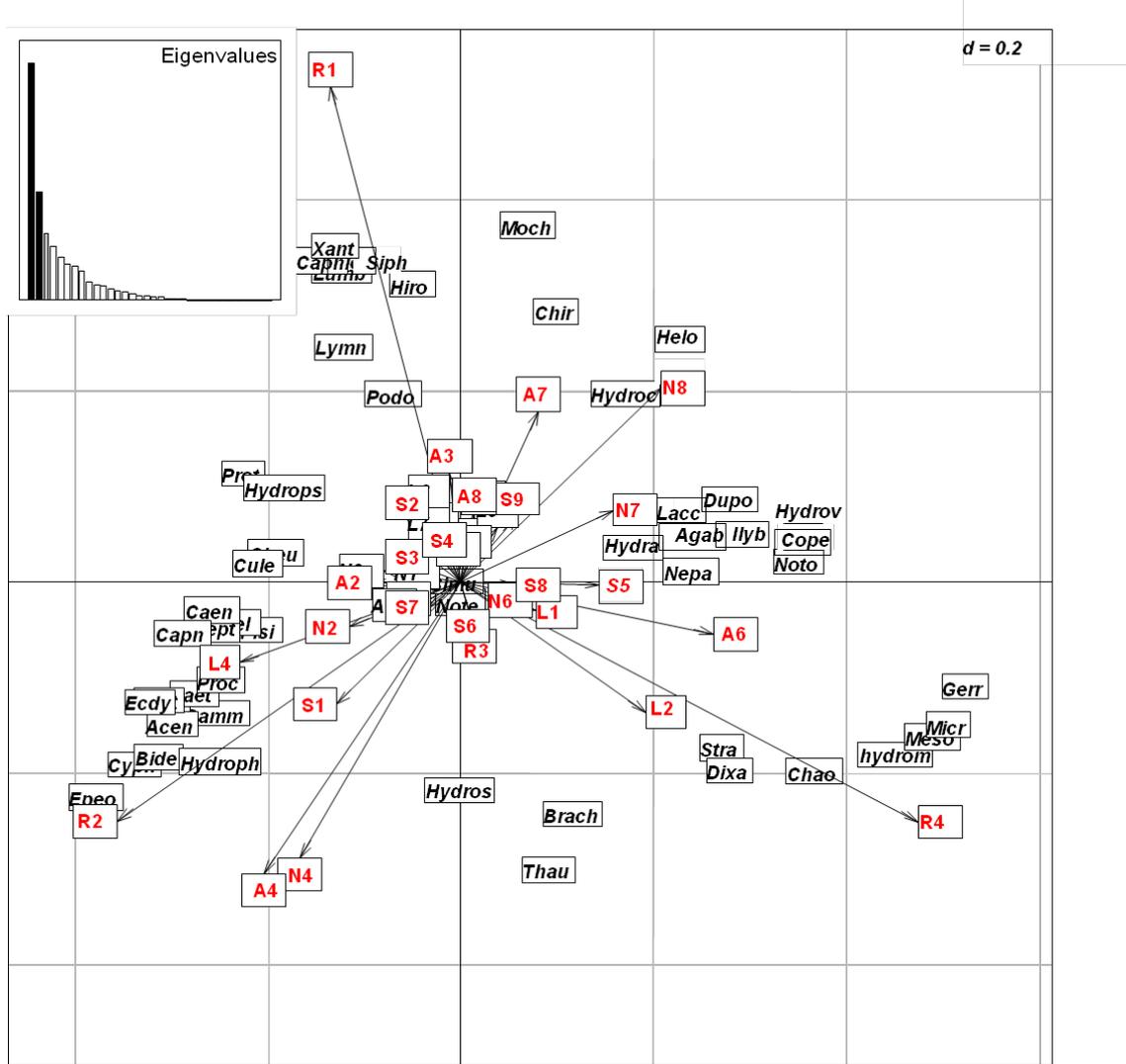
Valeurs propres (1-4)	0.584	0.326	0.274	0.205
Variance (%)	38.81	21.71	18.20	13.64

**Tableau ACP - variables environnementales (tableau ‘R’)**

Valeurs propres (1-4)	3.87	3.12	2.59	1.84
Variance (%)	19.35	15.60	12.98	9.21

**Tableau ACF - traits biologiques (tableau ‘Q’)**

Valeurs propres (1-4)	0.45	0.31	0.24	0.21
Variance (%)	18.52	12.98	9.87	8.78



**Figure 51.** Répartition des groupes faunistiques sur les deux premiers axes de l'analyse de correspondance floue des traits biologiques. Les traits biologiques (étiquettes rouge), taxons composants (étiquettes rouge). Pour les codes de taxon (voir Tab. 7), pour les codes de traits biologiques (voir Tab. 8)

**7.4. Analyse simultanée des traits biologiques, des variables environnementales et de la composition taxonomique (RLQ)**

## Chapitre II: Résultats

Les deux premiers axes ont extrait 43,21% et 26,73%, respectivement, de la variance totale du tableau qui recoupe les caractéristiques environnementales du site et les traits biologiques des genres (tableau 20). Le test de permutation était significatif ( $p = 0,001$ , 1000 permutations aléatoires). Le premier axe RLQ représentait 75,6% de la variabilité dans le premier axe de l'ACP séparée des variables environnementales (c'est-à-dire le rapport entre la variance des caractéristiques de l'habitat prise en compte dans RLQ (3,41) et celle de l'analyse séparée (3,87), voir Tab 19 et 20). De même, il a représenté 70% de la variabilité dans le premier axe des caractères biologiques. Les deux nouveaux ensembles de sites et de scores de taxons présentaient une corrélation de 0,64 le long du premier axe RLQ (tableau 20), valeur qui peut être comparée à la corrélation la plus élevée possible entre les sites et les taxons, donnée par la racine carrée de la première valeur propre de l'AC (0,69, voir Tableau 19). Ainsi, le premier axe RLQ expliquait 71,2% de la variabilité dans le tableau faunistique (L).

**Tableau 20.** Résumé de l'analyse RLQ effectuées sur les table R, L et Q

Valeurs propres	axe 1	axe 2
<b>RLQ analysis</b>	4.76	2.95
variance (%)	43.21	26.73
<b>R/RLQ</b>	<b>axe 1</b>	<b>axe 1+2</b>
variance	3.41	6.09
variance ratio (%)	75	70
<b>L/RLQ</b>	<b>axe 1</b>	<b>axe 1+2</b>
variance	0.64	0.73
variance ratio (%)	71	80
<b>Q/RLQ</b>	<b>axe 1</b>	<b>axe 1+2</b>
variance	2.99	5.01
variance ratio (%)	70	59

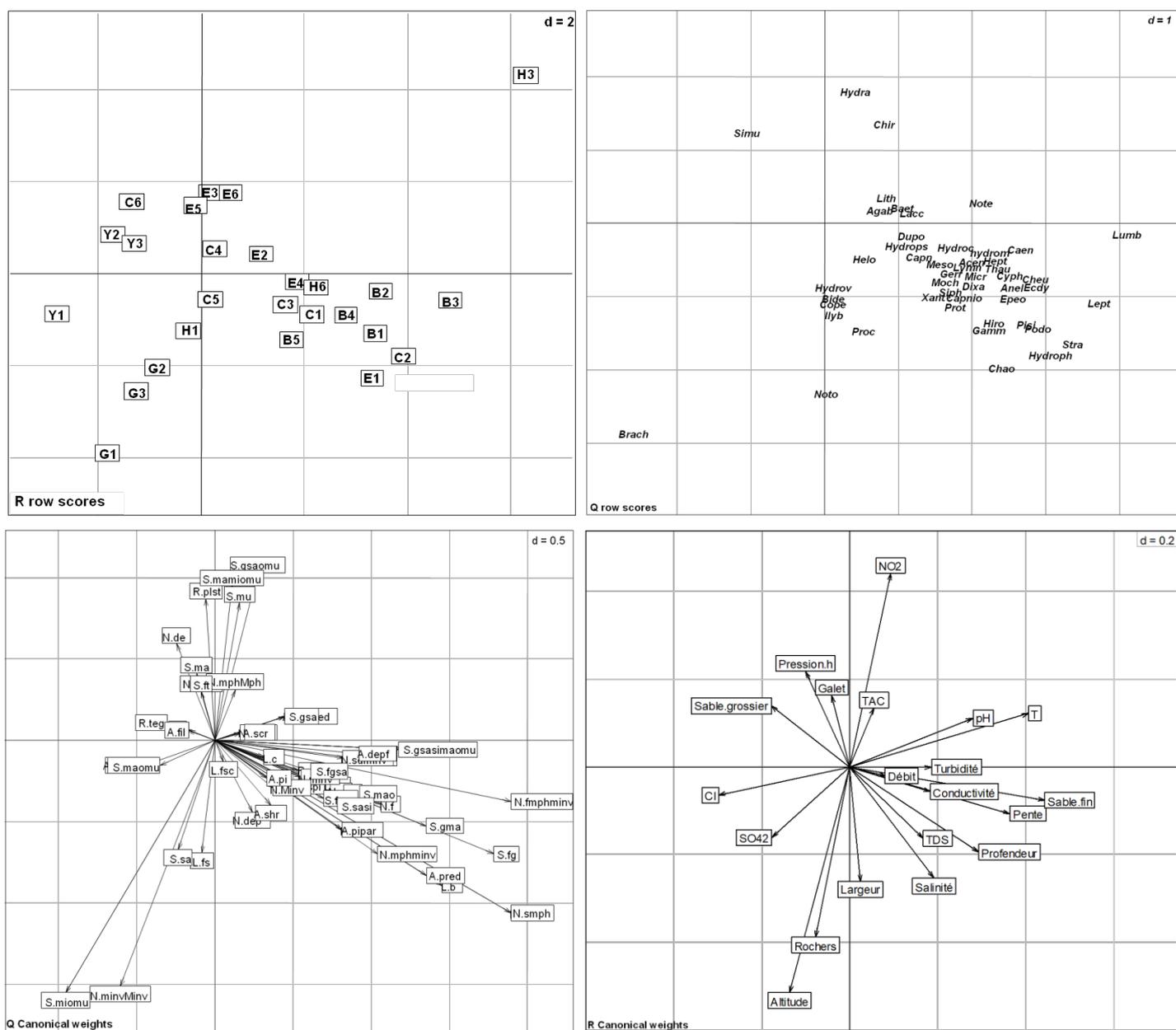
Les variables environnementales présentent une corrélation positive entre la température de l'eau ( $r=0.56$ ,  $p<0.0001$ ), substrat de type sable fin ( $r=0.57$ ,  $p<0.0001$ ), la pente ( $r=0.43$ ,  $p<0.01$ ) et également une corrélation significative du pH ( $r=0.35$ ,  $p<0.001$ ) et de la profondeur ( $r=0.34$ ,  $p<0.05$ ) avec le premier axe RLQ, tandis que le chlore présente une corrélation négative ( $r= -0.36$ ,  $p<0.05$ ). L'altitude ( $r= -0.57$ ,  $p<0.05$ ) et les nitrites ( $r=0.54$ ,  $p<0.05$ ) présentaient des corrélation significative avec deuxième axes RLQ.

La figure 52 montre les associations bidimensionnelles entre les deux premiers axes RLQ pour les gradients environnementaux (AxeR1 / AxeR2) et les traits fonctionnels. Il

apparaît que les stations de l'oued Bouilef, les trois premières stations de l'oued Chaaba (C1, C2 et C3), les stations E1 et E4 de l'oued El Ma et la station H6 de l'oued Hamla situées dans des sites naturels ou agricole/forestier avec des conductivités peu élevées étaient positivement corrélées au premier axe RLQ à des taxons caractérisés par une respiration à travers les branches, spirale et plastron, souvent c'était des perceurs, prédateurs ou des parasites se nourrissant des fines sédiments et microorganismes, débris végétaux (>1mm), microphytes, des micro-invertébrés et des macro-invertébrés. Ces taxons se déplacent par nage (surface ou pleine eau), marche ou par enfouissement (épibenthique) qui occupent plusieurs types de substrat.

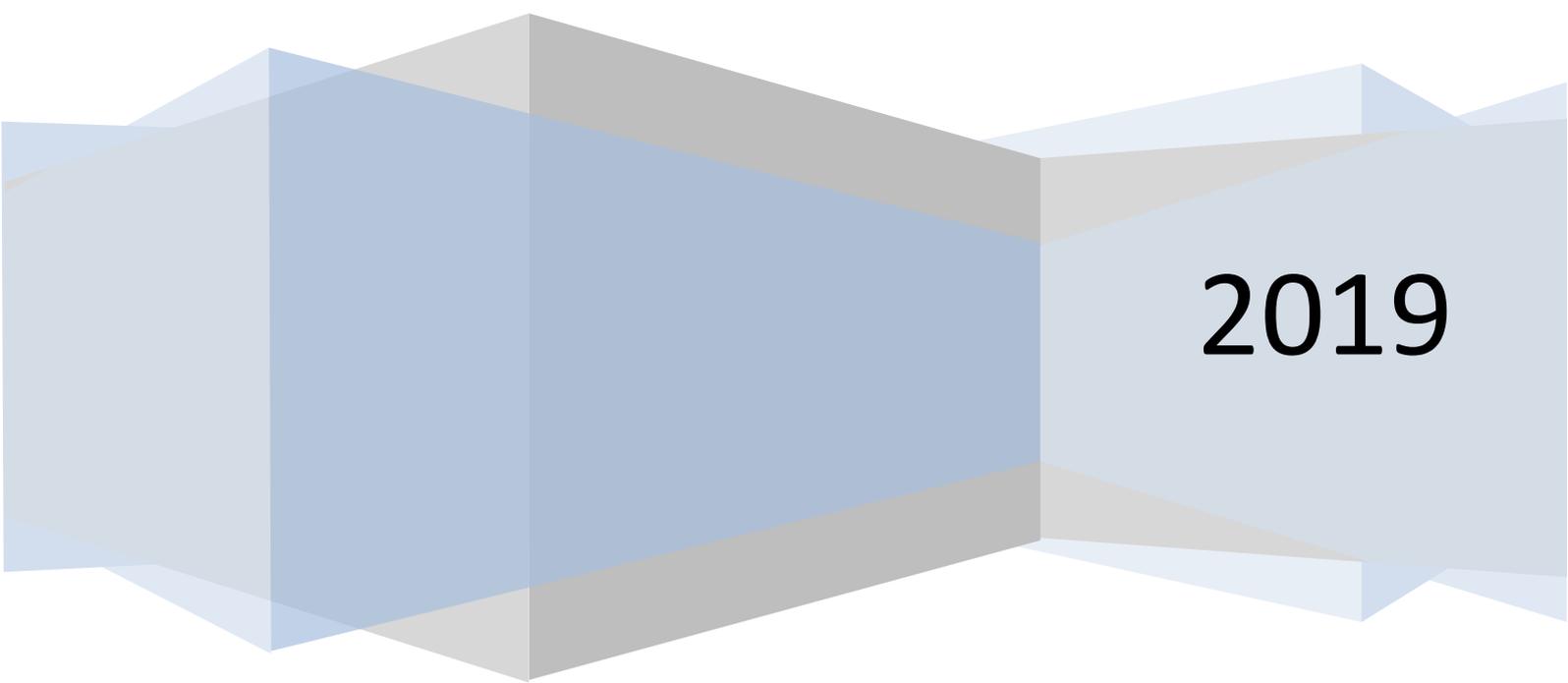
Les stations E3, E5 et E6 de l'oued El Ma et les stations Y2 et Y3 de l'oued Yabous situées dans des sites agricoles et urbains étaient corrélées aux premier et deuxième axes RLQ. Il s'agissait de taxons filtreurs à respiration par tégument, spirale et plastron se nourrissant par des détritus (< 1mm) et des macrophytes. Ces taxons occupent les substrats grossiers (blocs, pierres, cailloux et galets) et les branches. Les diptères Simuliidae dominaient ce groupe.

Les stations de l'oued Chelia et la première station de l'oued Yabous (Y1) de haute altitude présentent une corrélation négative aux deux axes RLQ. Les taxons occupant ce groupe sont principalement des filtreurs et perceurs se nourrissant de micro-invertébrés et macro-invertébrés se déplacent par une nage à pleine eau et se trouvent dans des substrats de type sable, macrophytes, microphytes, débris organiques et des vases. Les macro-invertébrés de ce groupe comprenaient les trichoptères (*Brachycentrus sp*) et les hétéroptères (*Notonecta sp*).



**Figure 52.** Les deux premiers axes de l'analyse RLQ à partir de la matrice de données qui traverse les variables environnementales du site et les caractères des espèces: covariation des sites (a), taxons (b), variables environnementales (c) et caractères des espèces (d).

# Chapitre III : Discussions



2019

### Discussions

#### 1. Facteurs environnementaux des cours d'eau étudiés

La région des Aurès se caractérise par des oueds intermittents avec un régime hydrologique de grandes fluctuations du débit où les crues sont soudaines et violentes. Ce sont des oueds de faibles largeurs et profondeurs présentant une grande diversité structurelle qui se traduit par une grande diversité d'habitats dominés en surfaces par les galets et les rochers. L'altitude dans nos sites varie entre 1032 à 1560m traduisant des pentes plus au moins importantes. Les diminutions des pentes, de la taille des composants du substrat et l'augmentation de l'occupation des sols sont associées à la réduction de l'altitude de l'amont vers l'aval.

Les débits faibles seraient dus au relief et aux pentes de la région ainsi qu'à l'environnement aride caractérisé par des précipitations qui deviennent de plus en plus faibles et imprévisibles, dès le printemps. Aussi nous rappelons que notre échantillonnage a été réalisé au mois d'avril qui coïncide avec la baisse des précipitations et la hausse de la température dans la région.

La qualité physico-chimique des eaux des cours d'eau des Aurès est globalement bonne. Les concentrations des paramètres indicateurs de la pollution organique (Oxydabilité, Nitrates, Ammonium) sont généralement faibles, les teneurs importantes étant ponctuelles et localisées à proximité de certains villages ou villes, dans l'agglomération de Bouilef et au niveau des cours inférieurs des oueds.

Nos résultats montrent que le pH représente des variations d'un oued à un autre et d'une station à une autre. Le pH de l'eau permet de classer celle-ci en trois catégories selon l'échelle adoptée par Hecker et al., (1996): eau acide ( $\text{pH} < 5,5$ ) ; eau neutre ( $\text{pH} = 5,5$  à  $7,4$ ) ; eau alcaline ( $\text{pH} > 7,4$ ). Dans l'O. Hamla le pH varie de 7,05 à 8,12 à. Sa variation dans l'O. Chaaba, Oued Bouilef et Oued El Ma est presque similaire avec un pH alcalin allant de 7,43 à 8,11, ainsi qu'à O. Chélia, O. Kimel et O. Yabous où le pH de l'eau varie entre 6,56 et 7,50. Les valeurs de pH se situent globalement dans un intervalle d'alcalinité, ceci est dû en grande partie à l'effet tampon des terrains traversés par les cours d'eau étudiés et qui sont en majorité de nature calcaire. Les valeurs du pH ainsi que de la conductivité des quatre oueds nous révèlent que l'eau est principalement douce à pH alcalin. D'après Decamps (1971), les roches calcaires sont lessivées, ce qui rend l'eau très riche en calcium. Il se forme du carbonate de

calcium qui neutralise tout à partir des sols acides et contribue à maintenir le pH de l'eau à un niveau alcalin.

En outre, le degré de salinité des stations étudiées varie entre 0,10% et 0,40%, indiquant que les cours d'eau étudiés sont d'une eau douce, très faiblement salée. Selon Hecker et al., (1996), le degré de salinité permet de classer l'eau selon les catégories suivantes : Eau douce (< 0,5 g/l) ; eau douce à saumâtre (0,5 à 5 g/l) ; eau saumâtre à salée (18 à 30 g/l) et eau salée (> 30 g/l).

La turbidité de l'eau mesurée dans nos stations varie entre 1,1 et 105 NTU. Ces valeurs indiquent que la plupart des sites étudiés sont d'une eau claire sauf pour les stations H5 et H6 de l'Oued Hamla qui présentent respectivement les valeurs 81 et 105 NTU traduisant une eau trouble. La turbidité est représentative de la transparence d'une eau. Cette transparence peut être affectée par la présence de particules en suspension et de matières colloïdales dans l'eau (limons, argiles, matières organiques...) (Dussart, 1992). Selon l'U.S. Environment Protection Agency ; l'intensité de la turbidité permet de classer l'eau suivant les normes ci-après :

NTU < 30 NTU : Eau claire ;

30 NTU < NTU < 50 NTU : Eau moyennement trouble ;

NTU > 50 NTU : Eau trouble ;

En ce qui concerne les nitrates et les nitrites, nos données montrent que la teneur en azote nitreux est très faible et varie autour d'une moyenne de 0,2 mg/l avec une concentration maximale de 0,4 mg/l notée dans l'O. Hamla. Selon Dussart (1992), les nitrites représentent la forme intermédiaire et le résultat de l'oxydation des matières organiques azotées. La présence de nitrites dans une eau peut être due à une oxydation incomplète de composés azotés (azote organique ou ammoniacal). Elle correspond à un stade intermédiaire et sa concentration est en général inférieure à 1,0 mg/l (Rejsek, 2002).

Nos résultats indiquent également la présence de faibles teneurs en nitrates variant entre 0,21 mg/l à 0,76 mg/l, avec parfois absence totale des nitrates dans plusieurs stations. Certains auteurs ont montré que les nitrates sont en relation avec le régime pluviométrique (Ben Rejeb, 1989; Turki, 2002).

Les deux analyses associant les données physico-chimiques et mésologiques donnent des résultats similaires et permettent de sélectionner les paramètres abiotiques induisant la plus grande variabilité spatiale :

- les paramètres physico-chimiques indicateurs de pollutions organiques : conductivité, Chlorures, et l'Ammonium.

- les paramètres liés au gradient altitudinal : altitude, pente, occupation des sols, largeur des oueds, pH et Température,

La distribution des stations en fonction de l'altitude et de la nature du substrat montre une hétérogénéité du substrat au sein des étages altitudinaux. D'après Angelier (2000), il est possible de caractériser les milieux des cours d'eau par leurs facteurs physiques tels que l'altitude, la pente, la largeur du lit, la vitesse du courant, le substrat et la température qui évoluent régulièrement de l'amont vers l'aval, ainsi que les facteurs chimiques de l'eau.

Il faut noter la diminution des densités de la faune aquatique pour les vitesses d'eau élevées, ce qui suit les conclusions de nombreux auteurs ayant travaillé sur les conséquences des crues (Quinn et Hickey, 1990). Le même phénomène est signalé pour le type de substrat fin (limons, sable) qui entraîne également de faibles densités faunistiques (Angelier, 2000).

La structure des communautés biologiques dans les cours d'eau n'est pas due à des processus aléatoires (Minshall et al., 1985) mais fortement influencée par des facteurs physiques tels que la morphologie du lit des cours d'eau (Wallace et Webster, 1996) et les conditions hydrologiques (Power et al., 1988). On peut supposer que l'homogénéisation du substrat par des activités anthropiques sera amplement conditionnée par la structure de la communauté benthique.

### **2. Biodiversité et structure des macro-invertébrés benthiques des cours d'eau de la région des Aurès**

Les cours d'eau étudiés des Aurès présentent une richesse taxonomique de 62 taxons répartis dans cinq grands groupes zoologiques : les Insectes dominant largement avec 57 taxons, soit 89%. Cette composition faunistique de la macrofaune benthique des cours d'eau étudiés correspond en général à celle des eaux douces Nord Africaines (Giudicelli et Dakki, 1984; Dakki, 1992; Lounaci et al., 2000; Arab et al., 2004; Zouggaghe et al., 2009; Haouchine, 2011; Lakhdara et al., 2014; Sellam et al., 2017 et Ghougali et al., 2019). Parmi les insectes, les Diptères sont nettement les mieux représentés suivis des trichoptères et des

éphéméroptères. Ceci rejoint les résultats d'autres travaux réalisés au Maroc (Giudicelli et Dakki, 1984) et en Algérie (Arab et al., 2004; Sellam et al., 2017; Ghougali et al., 2019).

L'abondance en nombre des Coléoptères était faiblement présentée dans cette étude (95 individus), mais ils étaient assez bien diversifiés avec 16 taxons échantillonnés en particulier sur un substrat majoritairement constitué de galets et rochers. Cette richesse en coléoptères est supérieure à celle rapportée dans d'autres rivières à l'étage bioclimatique aride: Laghouat (4 taxons), Djelfa (11 taxons) et Bouira (7 taxons) (Sellam et al., 2017), mais comparable à celle signalée dans les rivières de Moulay idriss Zerhoun, Maroc (13 taxons) (Ben Moussa et al., 2014). Les coléoptères sont les seuls insectes holométaboles à présenter à la fois sous forme imaginaire et larvaire dans les milieux aquatiques. Ils colonisent divers habitats: sources, cours d'eau de source, rivières modérément coulantes et rivières quasi-stagnantes et à végétation (Tachet et al., 1980).

La population d'insectes benthiques inventoriée montre de faibles proportions d'ordres de plécoptère et d'hyménoptères par rapport aux autres groupes. Les hyménoptères étaient répartis dans la seule famille d'Agriotypidae et dans un seul genre *Agriotypus* (10 individus) dans la station G2 de W.Chelia. Les plécoptères sont présents dans les eaux supérieures de l'oued, alors que ceux de l'aval sont en fait dépourvus de ces organismes à l'exception de la station E3 de W.Hamla. Les plécoptères n'avaient pas été signalés dans des travaux antérieurs sur les rivières de Laghouat (Wadi M'zi), Djelfa (Wadi Djedir) et Bouira (Wadi Sahel) en Algérie (Sellam et al., 2017) et à Moulay idriss Zerhoun au Maroc (Ben Moussa et al., 2014), Boufekrane (Chahlaoui, 1996) et au Wadi Ouislane (Aboukacem, 2007). Les plécoptères sont bien connus pour leur sensibilité aux polluants vis-à-vis des milieux affectés par toute perturbation (Haouchine., 2011). Cela pourrait s'expliquer en partie par l'absence de ces invertébrés dans les stations en aval exposées à des perturbations anthropiques (Ben Moussa et al., 2014). Ainsi, de nombreux travaux (Giudicelli et Dakki, 1984; Giudicelli et al., 1985; Dakki, 1986; Chergui et al., 1990) mentionnent que les Plécoptères sont limités aux eaux courantes de haute altitude bien oxygénées. La rareté, voire l'absence des Plécoptères dans certaines rivières d'Afrique du Nord semble être également due aux températures estivales élevées (Berrahou et al., 2001).

Cette étude offre un premier aperçu de la composition des assemblages d'insectes qui caractérisent les oueds Aurassiens et de certains déterminants environnementaux qui semblent jouer un rôle dans la structuration de ces assemblages.

Le total des 62 taxons de macro-invertébrés benthiques enregistrés dans notre inventaire confirme la faible diversité qualitative et quantitative des taxons révélée dans des études antérieures sur les oueds d'Afrique du Nord qui partagent avec d'autres rivières méditerranéennes les caractéristiques d'être soumises à un large éventail de fluctuations hydrologiques et de conditions physiques extrêmes (Arab et al., 2004; Lounaci et al. 2000; Belaidi et al., 2004). En conséquence, les cours d'eau intermittents hébergent généralement moins d'espèces que les cours d'eau permanents (Del Rosario et Resh 2000). La richesse taxonomique observée dans la région semi-aride des Aurès était inférieure à celle observée dans les régions à climat plus humide dans le nord de l'Algérie avec des précipitations annuelles plus élevées, comme dans la région de la Kabylie (Lounaci, 2005) ou dans le cours d'eau de la Soummam (Zouggaghe et Moali 2009).

La faible richesse taxonomique également rencontrées dans d'autres régions bioclimatiques arides et semi-arides d'Algérie (Bebba et al., 2015; Sellam et al., 2017) peuvent s'expliquer par les conditions environnementales instables, principalement l'absence fréquente de flux, des niveaux d'eau insuffisants quand elle coule et par les températures estivales élevées (> 35 °C) qui entraînent une augmentation des périodes de sécheresse, ce qui influence négativement la biodiversité qui a tendance à être faible (Arab et al., 2004). A priori, ce phénomène a également été observé dans les cours d'eau temporaires de toutes les régions du monde: Californie, bassin méditerranéen, Chili, Afrique du Sud et sud-ouest de l'Australie (Williams, 1996; Bonada, 2003). Les assemblages d'insectes étaient également dominés en termes d'abondance par les diptères, les éphéméroptères et les trichoptères.

Les diptères étaient particulièrement les taxons les plus dominants, comme cela à été observé dans d'autres cours d'eau méditerranéens arides en Afrique du Nord (Sellam et al., 2017). Pires et al., (2000), ont indiqué que les diptères étaient également les taxons dominants dans les cours d'eau intermittents au Portugal, en raison de leur capacité de tolérer la sécheresse et leurs mécanismes de recolonisation efficaces. Les Simuliidae étaient parmi les familles les plus abondantes notées à O.Elma et O.Yabous avec des larves adhérant à des substrats stables tels que des pierres et des roches, probablement en raison de leur habitude de filtrage (Tachet et al., 2010) et leur tolérance à des niveaux modérés de pollution (Augusto et Marcos, 2010).

Oued Chaaba, situé dans la zone intégrale du PNB, présentait une bonne biodiversité par rapport aux autres oueds, tandis que la faune de W. Hamla, W. Chelia et W. Yabous était moins diversifiée. Cette différence de diversité entre les sites est probablement due aux

perturbations anthropiques de l'écosystème aquatique, comme certains sites souffrant de pollution domestique. De même, Azrina et al., (2006) et Cereghino et al., (2002), ont notés que la richesse en espèces est sensible à l'impact humain sur les écosystèmes aquatiques, en particulier sur les insectes aquatiques, qui sont souvent de bons indicateurs des conditions environnementales dans les cours d'eau et sont donc très sensibles à la pollution. La richesse en espèces peut être un bon descripteur de l'influence des perturbations anthropiques sur les cours d'eau (Compin et Cereghino 2003).

La fréquence de constance montre que les taxons observés sont majoritairement accessoires, très accidentelles à rare. La fréquence d'occurrence renseigne sur les espèces caractéristiques des stations qui sont généralement omniprésentes. Les espèces accessoires, par contre, se développent dans un type de biotope particulier ou bien à des périodes assez limitées de l'année.

La faiblesse de similitude observée entre les oueds s'expliquerait surtout par le fait qu'ils offrent généralement des conditions de milieu différentes, notamment la physicochimie de l'eau. Ceci serait également en relation avec l'effort d'échantillonnage dans le temps qui reste ponctuel et non suivi sur une longue période.

Les valeurs de  $H'$ , de  $E$  et l'indice de Margalef dans les 33 stations échantillonnées varient respectivement entre :  $0,32 < H' < 2,34$  ;  $0,55 < \text{Margalef} < 3,39$  ;  $0,19 < E < 0,88$ . Les stations B6 de l'Oued Bouilef; H1, H4 et H5 de l'Oued Hamla et K2 de l'Oued Kimel présentent une diversité pratiquement nulle, étant donné l'absence des spécimens d'invertébré échantillonnés. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans la station 3 d'O. El Ma où la richesse totale est faible avec 5 espèces/genres recensés. Les valeurs des indices de biodiversité y sont également les plus faibles ( $H' = 0,46$  Margalef = 0,79 et  $E = 0,28$ ). Le taxon le plus abondant en effectifs est représenté par les larves de diptères qui dominent, donnant ainsi la plus faible équitabilité calculés ( $E = 0,19$  à 0.31). Les stations ayant montrées de faibles indices de diversité et surtout une faible équitabilité (indice Pielou) mériteraient d'être surveillées pour détecter et endiguer les facteurs entrainant la perturbation de ces peuplements et de leurs habitats.

L'ET(P) est un indice qui consiste à comptabiliser le nombre de taxons appartenant aux ordres des Ephéméroptères, des Trichoptères et des Plécoptères. Cet indice ainsi que la richesse spécifique permettent une différenciation globale des sites : les plus fortes valeurs ont été relevées sur les stations les moins perturbées des Oueds dans des zones naturelles. Cependant, les stations proches d'habitations ont les indices les plus faibles.

L'indice biotique IBGN discrimine les stations de façon différente. L'IBGN est non corrélé à la plupart des paramètres physico-chimiques. En revanche, il dépend de la richesse taxonomique qui elle-même est liée à la diversité des habitats des stations (Marry, 1999). Les indices les plus élevés sont obtenus sur les cours supérieurs des zones forestières. L'IBGN permet ainsi de donner un indice de la qualité générale d'un site et témoigne des conditions physiques naturelles du milieu étudié et des perturbations d'origine anthropiques auxquelles il est soumis (Agences de l'Eau, 1993). Il n'a pas été réalisé pour mettre en évidence un type de pollution particulier mais pour traduire une qualité globale du milieu.

Les connaissances et les travaux sur les réseaux trophiques et l'écologie alimentaire des invertébrés des cours d'eau Nord Africaines sont insignifiant, voir absent. L'assignation des macro-invertébrés à des groupes fonctionnels trophiques dans la présente étude a permis d'identifier les différences dans la composition fonctionnelle des communautés de macro-invertébrés. Globalement, les broyeur et les racleurs étaient les plus diversifiés. La proportion des différents groupes trophiques, en termes du nombre de taxons variait entre les stations étudiées. Ceci met en évidence le rôle prépondérant de l'environnement abiotique dans la structuration trophique des communautés. Les invertébrés identifiés dans nos stations sont repartis dans sept groupes fonctionnels trophiques selon (Tachet et al., 2010) : les broyeur, les racleurs, les filtreur, les prédateurs, les perceurs et les parasites. Les broyeur, les racleurs et les filtreurs étaient les plus diversifiés et aussi les plus abondants. Les filtreurs étaient représentés principalement par des espèces appartenant aux familles cosmopolites Hydropsychidae et Simuliidae. Les racleurs sont notés surtout par des éphéméroptères et les broyeur par les plécoptères et les coléoptères alors que les perceurs par les hétéroptères. Cette répartition reflète l'état du milieu colonisé, notamment par les disponibilités alimentaires qu'il recèle.

### **3. Impact des paramètres physico-chimiques de l'eau et de l'habitat sur les peuplements de macro-invertébrés benthiques**

L'analyse statistique basée sur la diversité des taxons et l'abondance des populations de macro-invertébrés benthiques a montré que la diversité totale et celle des six groupes étudiés étaient réparties en fonction d'une multitude de facteurs liés à l'habitat, aux pressions humaines et aux paramètres physico-chimiques de l'eau. Le pH était une variable importante expliquant la variation de la diversité. La richesse taxonomique et l'indice de diversité de Shannon ont été influencés par le pH, cette différence implique que de nombreux taxons sont favorisé par un habitat de plus en plus alcalin, Clenaghan et al., (1998), signalent que la

densité et la richesse des macro-invertébrés augmentaient avec les niveaux croissants de nutriments et de variables liées au pH. Plusieurs études ont montré que les éphéméroptères étaient l'ordre le plus affecté des macro-invertébrés par un pH faible. Ces études ont souligné l'importance du pH dans la structuration des invertébrés aquatiques (Feldman et Connor 1992; Bird et Day 2016).

Le modèle TR a identifié la TDS comme indicateur de prédiction de la diversité des taxons et qui explique 40% de la variance de la richesse taxonomique. La diversité présentait une baisse avec l'augmentation de la TDS (> 291 mg.l-1). Timpano et al., (2011), ont calculé des probabilités d'effet de 0, 50 et 100% associées aux valeurs de TDS de 190; 422 et 1108 mg/l, respectivement, dans les cours d'eau des Appalaches centrales, en Virginie. Les TDS étaient significativement plus élevées dans les zones agricoles et urbaines (W. Hamla et W. Chelia), aggravées par la pollution des eaux usées et des eaux de ruissellement urbaines, affectant négativement les macroinvertébrés benthiques (Timpano et al., 2010). Les résultats de l'étude de Timpano et al. (2010) ont également montré que les corrélations les plus fortes entre TDS élevé et richesse réduite étaient observées dans le cas des groupes généralement sensibles de macro-invertébrés aquatiques (éphéméroptères, plécoptères et trichoptères).

La conductivité expliquait la plus grande variation dans la composition des plécoptères, coléoptères, diptères et pulmonés. L'abondance de ces groupes était affectée négativement par des valeurs de conductivité à partir de 520  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Timpano et al., (2011), calculent également les probabilités d'effet de 0, 50 et 100% associées aux valeurs de conductivité de 332; 625 et 1 366  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivement, dans les cours d'eau des Appalaches du centre, en Virginie. Les niveaux critiques de conductivité et les valeurs de TDS devraient donc être un sujet de préoccupation pour l'abondance des taxons dans ces cours d'eau.

Le modèle RT montre que la distribution des éphéméroptères était associée à des vitesses d'écoulement modérées, indiquant qu'ils favorisaient des courants plus ou moins rapides. De nombreuses études ont établi que la dynamique des micro-écoulements joue un rôle clé dans la distribution à petite échelle des communautés benthiques (Hart et al., 1996; Statzner et Holm 1982). Cela pourrait être dû au fait que la vitesse de l'eau joue un rôle clé dans son oxygénation et dans l'alimentation fonctionnelle de certains groupes de macro-invertébrés (Fenoglio et al., 2004).

#### **4. Schéma de distribution des peuplements de macro-invertébrés en fonction des variables physico-chimiques et de l'habitat**

La distribution des macro-invertébrés benthiques, leur composition et leur abondance dépend étroitement des facteurs environnementaux, conditionnés par les caractéristiques physico-chimiques et écologiques de l'environnement physique. Les résultats concernant la distribution des différents groupes de macro-invertébrés appuient le fait que la réponse observée de l'abondance totale des insectes pourrait largement refléter celle de l'ordre dominant (Diptères). En effet, l'abondance des diptères, principalement dominée par les simuliidés, était plus élevée en zone urbaine avec substrat de pierre. Au fait, le type de substrat s'est révélé être un déterminant important dans la distribution des invertébrés (Halwas et al., 2005). Les substrats stables relativement grossiers et fortement structurés attirent la faune benthique car ils représentent des sites de perturbation minimale pendant les inondations et aident à fournir des refuges où la recolonisation peut se produire après les inondations (Lancaster et Hildrew 1993; Rempel et al., 1999). De plus, la détermination de la pression humaine comme principal facteur affectant l'abondance des groupes de macro-invertébrés pourrait s'expliquer par le fait que l'ordre le plus représenté était celui des Diptères qui sont considérés comme plus résistants à la pollution (Augusto et Marcos 2010).

Nos résultats indiquent que la taille du substrat et la vitesse d'écoulement étaient associées à la répartition de *Baetis sp* et *Acentrella sp* en zone urbaine. Selon les différences de composition du substrat (caractérisé par une couverture relativement élevée de pierres et de sable grossier) et la vitesse d'écoulement modérée en zone urbaine, la répartition des taxons peut s'expliquer par leur préférence à certains habitats. Les Baetidae sont des taxons tolérants eurytopiques que l'on retrouve en grande abondance dans les plaines et dans les cours d'eau des piémonts des régions septentrionales de l'Algérie. Les modifications de l'hétérogénéité des sédiments peuvent être très importantes pour expliquer les variations de la composition taxonomique des macro-invertébrés le long du gradient résidentiel (De Sousa et al., 2008). La nature du substrat sédimentaire et la vitesse de flux semblent également influencer la structure de la communauté des macro-invertébrés dans les cours d'eau humides et arides d'Afrique du Nord (Lounaci et al., 2000; Arab et al., 2004; Chaib et al., 2011; Sellam et al., 2017). La structure des communautés benthiques dans les cours d'eau semi-arides au Portugal était associée à une faible stabilité et à une grande résilience, avec les espèces ayant une forte capacité de recolonisation des cours d'eau soumis à des inondations de grande ampleur ou inversement impacté par la sécheresse. (Cortes et al., 2002).

*Brachycentrus sp* a été trouvé dans les oueds des montagnes de Chelia et Yabous, caractérisés par une couverture relativement élevée de roches. En conséquence, moins

d'habitats sont vacants pour les taxons sténothermiques, induisant une diversité taxonomique plus faible en raison du manque d'habitats potentiels. De même, le remplacement amont-aval des espèces retrouvés dans d'autres cours d'eau (Dakki, 1992; Arab et al., 2004; Arigue et al., 2016) n'a pas ou peu eu lieu dans les cours d'eau arides des Aurès. Cependant, les caractéristiques climatiques particulières des hautes altitudes nord-africaines induisent une adaptation de certains taxons des cours d'eau supérieurs (Giudicelli, 1984; Giudicelli et al., 1985). Les taxons les plus abondants qui n'appartiennent à aucun des quatre groupes identifiés dans l'analyse RDA peuvent donc être considérés i) omniprésents puisqu'ils se situent au milieu du plan RDA, ou ii) avec une distribution spatiale étroite fortement influencée par une ou plusieurs variables environnementales.

#### 5. Traits d'histoire de vie

Dans cette étude, nous avons mis en évidence les divers facteurs environnementaux liés à la structure de la communauté et aux attributs biologiques observés. Les variables les plus importantes (c'est-à-dire celles qui indiquaient les valeurs les plus élevées ou les plus basses le long de l'axe RLQ) étaient : l'occupation du sol, l'altitude, le type de substrat, la conductivité, la température de l'eau et les teneurs en nitrites. Lorsqu'elles sont examinées à des échelles spatiales relativement grandes, la répartition des espèces peut être très variée en raison de la diversité des variations dans le paysage (Townsend et al., 2003). Richards et al., (1996), ont constaté que les attributs du paysage à grande échelle, tels que l'occupation du sol, l'altitude et l'hydrologie, avaient la plus grande influence sur les assemblages de macro-invertébrés. Cependant, Richards et al., (1997), ont constaté que les caractéristiques physiques à l'échelle de la portée étaient davantage liées aux antécédents biologiques et aux attributs comportementaux des macro-invertébrés qu'à des variables d'échelle de captation, ce qui suggère que les caractéristiques des espèces présentent de fortes relations avec les conditions environnementales locales.

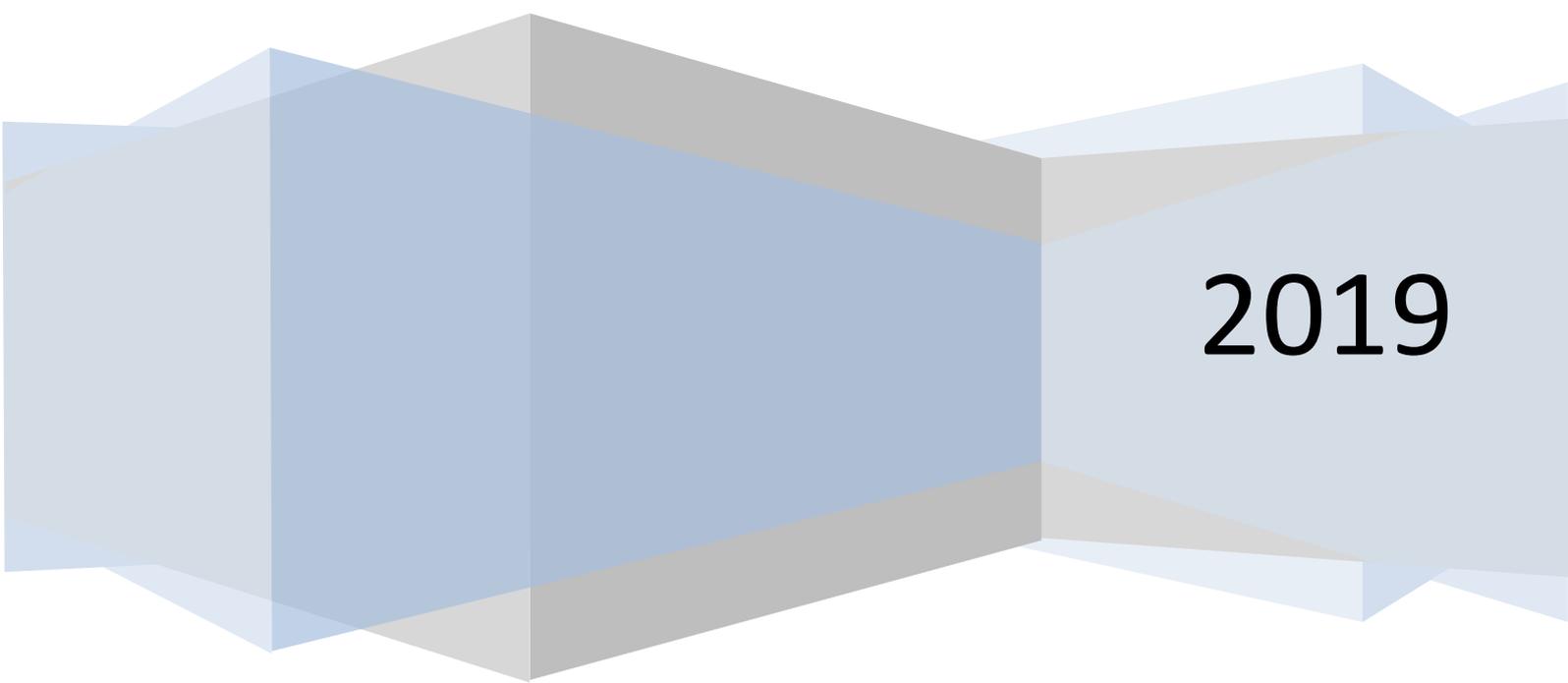
Nos résultats montrent un groupe des Simuliidae cosmopolites qualifié de filtreurs à respiration par tégument, spirale et plastron se nourrissant par des ditritus (< 1mm) et des macrophytes. Ces taxons occupent les substrats grossiers (galets et rochers), ce groupe était caractéristique des stations des zones urbaines. Un deuxième groupe de (*Brachycentrus sp* et *Notonecta sp*) se distingue dans les stations de haute altitude. Ce se sont des perceurs prédateurs se nourrissant de micro-invertébrés et macro-invertébrés se déplacent par une nage à pleine eau.

Le lien entre les modalités à trait unique et les variables environnementales n'est significatif que dans un sous-ensemble d'espèces, cela pourrait expliquer le faible pouvoir discriminant des analyses trait-environnement qui ne font que regrouper les abondances de tous les taxons partageant une modalité de trait.

Les cours d'eau intermittents dans la région des Aurès étant imprévisibles en termes de conditions climatique et hydrologique, on pourrait s'attendre à ce que le cycle de vie des macro-invertébrés montre des caractères spécifiques à la région. Il faut beaucoup plus de travail sur les histoires de vie et l'écologie de la répartition des macro-invertébrés des cours d'eau des Aurès afin de mieux comprendre les conséquences de la dégradation des sols due aux conditions de l'aridité sur le mode d'adaptation des taxons inventoriés.

Les facteurs environnementaux dans ces cours d'eau affectaient directement ou indirectement les assemblages de macro-invertébrés, montrant que ces derniers étaient des indicateurs utiles de la qualité de l'eau. Les communautés biotiques pourraient souffrir de changements irréversibles résultant de déplacements anthropiques de régimes d'écoulement pérennes à intermittents (Darty et al., 2014). Les populations deviendraient encore plus fragmentées dans des conditions sèches et les extinctions locales seraient plus probables pour certains taxons mal adaptés qui pourraient être éliminés des fleuves nouvellement intermittents (Phillipsen et Lytle 2013). La faune d'invertébrés de ces cours d'eau intermittents est sensible aux conditions environnementales sévères et peut donc être utilisée comme outil de surveillance précieux dans l'évaluation des milieux aquatiques d'eau douce.

# Conclusion



2019

### Conclusion

Les résultats obtenus ont permis de fournir de nouvelles connaissances sur la dynamique des écosystèmes et les communautés de macro-invertébrés des cours d'eau de la région semi-aride des Aurès. En utilisant les macro-invertébrés comme indicateurs écologiques et en collectant des données environnementales (physiques, chimiques et biologiques) à diverses échelles spatiales, ce travail contribue à l'accroissement des connaissances sur les facteurs qui contrôlent les communautés des cours d'eau des régions semi-aride et leur dégradation.

Dans les sept cours d'eau étudiés dans la région des Aurès, la vitesse de l'écoulement de l'eau est généralement très moyenne. Ces vitesses faibles seraient dues au relief et aux pentes de la région ainsi qu'à l'environnement aride caractérisé par des précipitations qui deviennent de plus en plus faibles. Au cours des dernières années les habitats recensés sont des substrats minéraux (rochers, galets, sable fin et sable grossier), les habitats les plus dominants en surface sont généralement les galets et les rochers, formant des mosaïques avec des pans de sable fin et/ou grossier. Nous notons l'absence des habitats présentant une végétation émergée. Cette dernière est quasiment absente même si les rivages immédiats des oueds abritent parfois une végétation assez importante.

Les résultats obtenus sur le plan physique ont montré que les eaux des oueds des Aurès sont douces, avec un pH alcalin, un degré de minéralisation moyen, moyennement troubles. Sur le plan chimique, ces eaux sont également dans les normes, dans la mesure où leur teneur en azote ammoniacal, nitrites et ortophosphates est bonne par rapport aux valeurs maximales admissibles.

L'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques nous a permis de connaître la biodiversité des invertébrés des cours d'eau de la grande région des Aurès, enrichissant ainsi les bases de données existantes avec de nouvelles espèces ou taxons non signalés à ce jour, notamment dans le parc national de Belezma. Cette biodiversité englobe un total de 62 genres/espèces inventoriés répartis sur 3 embranchements, 5 classes, 12 ordres et 42 familles différentes.

Les groupes les mieux représentés sont les Diptères et les Coléoptères, ils comptent chacun 10 familles. Ensuite viennent les Hétéroptères (6 familles), les Ephéméroptères (5 familles), les Plécoptères et les Mollusques (3 familles). Les trichoptères et les crustacés (2 familles), les oligochètes et les hirudinées sont représentés par 1 famille. Globalement, l'effectif du peuplement montre que les diptères sont nettement dominants. Ils représentent

## Conclusion

---

52,65% de la faune récoltée. Ils sont suivis des Trichoptères, 17,38% et les éphéméroptères 14,52%.

La composition et la distribution des populations de macro-invertébrés benthiques varient également d'un cours d'eau à un autre et d'une station à une autre, au sein du même oued. Les fréquences de constance calculés pour chaque taxon a montré que les populations observées sont en majorité accessoires à très accidentelles. Alors que la structure des peuplements des macro-invertébrés présente une faible similitude entre les différentes stations étudiées démontrant ainsi la différence des conditions du milieu, notamment la physico-chimie de l'eau, le type de substrat et la pression humaine. Le taux de ressemblance le plus élevé est signalé entre Oued Bouilef et Oued Chaaba ensuite entre Oued Bouilef et Oued. El Ma.

Les invertébrés identifiés dans nos stations sont repartis dans sept groupes fonctionnels trophiques : les broyeurs, les racleurs, les filtreurs, les prédateurs, les perceurs et les parasites. Les broyeurs, les racleurs et les filtreurs étaient les plus diversifiés et aussi les plus abondants. Les filtreurs étaient représentés principalement par des espèces appartenant aux familles cosmopolites Hydropsychidae et Simuliidae, les racleurs surtout par des éphéméroptères et les broyeurs par les plécoptères et les coléoptères alors que les perceurs par les hétéroptères.

L'oued Chaaba renferme une diversité taxonomique plus grande que les autres cours d'eau. Les peuplements les mieux représentés en nombre sont les éphéméroptères (30,83 %) et les coléoptères (21,67%), suivies par les diptères, les hétéroptères, les plécoptères et les trichoptères. A partir du calcul des indices de diversité, nous notons qu'oued Chaaba est équilibré par rapport aux autres oueds avec  $E=0,86$ , (les stations de cet oued sont loin de la route ou des habitations donc l'absence des pressions humains). Les valeurs minimales d'équitabilité sont signalées surtout à l'Oued Kimel, Oued Chélia et Oued Yabous. Ces faibles valeurs sont dues à la dominance des larves de diptères (*Simuliidae*).

Les valeurs des ETP (Ephéméroptères, Trichoptères et Plécoptères) les plus élevées (6 à 9 taxons) se situent au niveau des stations où la richesse spécifique est la plus importante (C1, C3, C4, C5, C6, B2 et B3). Les stations (B1 et B3) de Oued Bouilef et (C1 et C3) de Oued Chaaba se caractérisent par les indices biotiques et les indices de diversité les plus importants confirmant plus au moins la bonne qualité de ces milieux : Shannon : 2,08 à 2,34, Margalef : 3 à 3.40, IBGN (Indice Biologique Global Normalisé) :  $\geq 8$ , à l'exception la valeur de B3 qui renseigne sur la qualité médiocre de cette station (IBGN = 6).

## Conclusion

---

Les stations disposant de faibles indices de diversité et surtout une faible équitabilité mériteraient d'être surveillées pour repérer et endiguer les facteurs entraînant la perturbation de ces cours d'eau et des peuplements d'invertébrés qui les peuplent. Il apparaît qu'O. Chaaba serait le plus prémuni des aléas climatiques (grâce à l'altitude et le relief) et de la pression humaine (absente dans les autres stations étudiées). Cet Oued renfermerait une diversité plus riche qui mériterait d'être mieux explorée et protégée.

L'évaluation de l'IBGN a révélé que la qualité hydro biologique de l'eau dans les 7 cours d'eau étudiés est qualifiée de moyenne pour O. Hamla, O. Chaaba et O. El Ma (IBGN entre 10 et 11), médiocre pour O. Bouilef (IBGN 8) et très bonne pour O. Chelia et O. Yabous (IBGN 20). La plupart des cours d'eau de la région des Aurès présente donc une qualité hydrobiologique acceptable mais qui mérite d'être surveillée et suivie. Le contrôle permanent de certaines sources de pollution, contribuerait certainement à avoir une eau de meilleure qualité, notamment dans les zones connaissant des activités anthropiques perturbantes.

En outre, l'étude des schémas de distribution des peuplements de macro-invertébrés benthiques étudiés par le biais d'analyses statistiques poussées (RDA et CART et RLQ ) basées sur l'abondance des populations et leurs traits de vie, a montré que ces espèces/genres ou familles se répartissent en fonction d'une multitude de facteurs liés à l'habitat et aux pressions auxquelles ils sont soumis. Ceci démontrerait des exigences écologiques particulières de ces organismes vivants vis-à-vis, notamment de la qualité physico-chimique de l'eau, du type de substrat ou bien ceux pouvant tolérer certaines perturbations (assèchement, pollution,...).

Compte tenu de la brièveté de notre étude, il serait donc imprudent de considérer ses conclusions comme définitives ou de généraliser ces résultats à d'autres périodes de l'année, et d'autres études pourraient examiner comment les insectes réagissent aux changements saisonniers caractéristiques. Cela permettra de prévoir comment les changements dans les conditions des habitats peuvent influencer les assemblages des macro-invertébrés.

A l'issue de ce travail, nous émettons quelques recommandations scientifiques et de conservation :

- Nécessité de compléter cette étude par d'autres explorations à plus grande échelle de surface (autres oueds et stations) et de temps (études suivies sur plusieurs années et en différentes saisons). Ces études devraient porter non seulement sur la caractérisation de la qualité de l'eau et des habitats, mais également sur la composition et la dynamique des populations des macro-invertébrés benthiques qui représentent un modèle biologique de choix pour statuer sur l'état de santé des cours d'eau.

## Conclusion

---

- Il semble nécessaire de continuer à effectuer des campagnes annuelles d'analyses physico-chimiques des eaux afin de mieux comprendre l'évolution temporelle des paramètres, c'est-à-dire faire la part entre ce qui fut conjoncturel des années d'études et ce qui ne l'est pas.

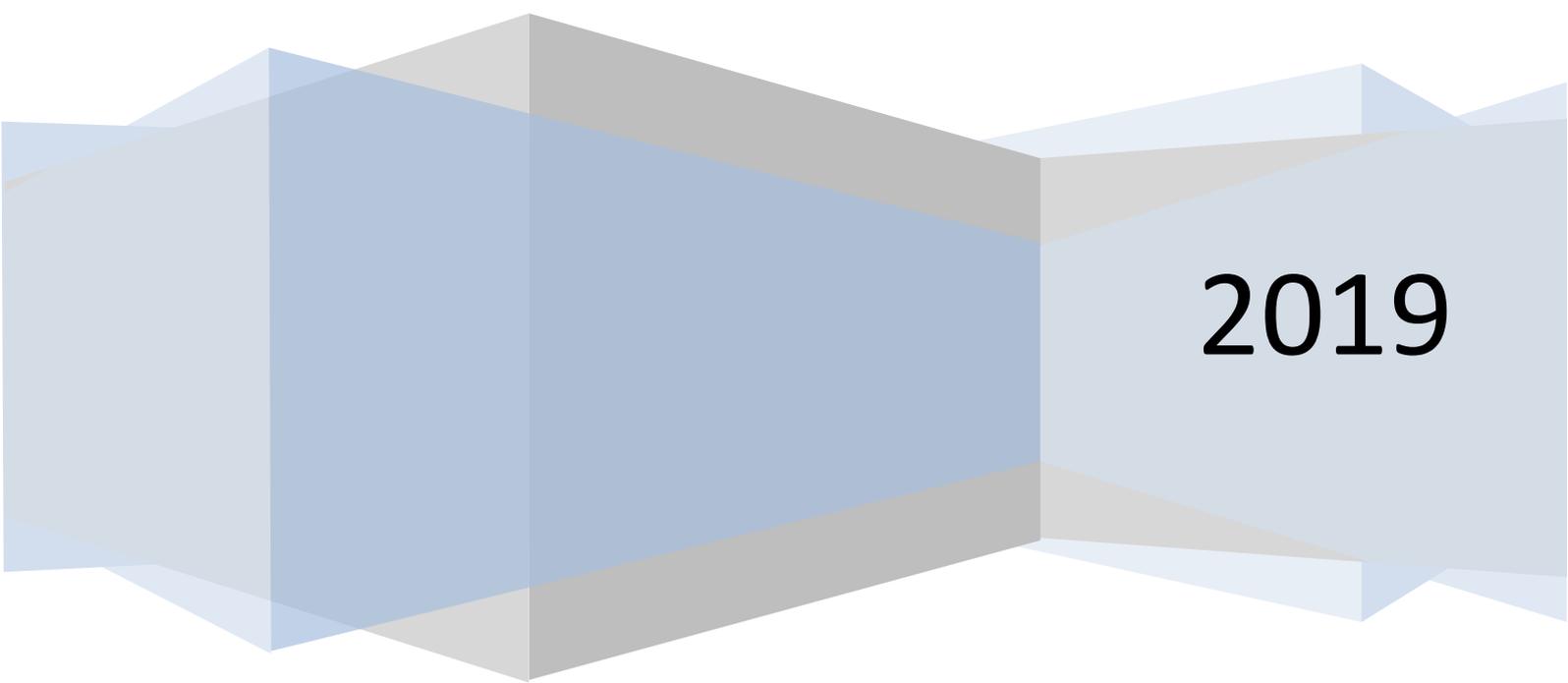
- Afin d'enrichir les connaissances sur la biodiversité des macro-invertébrés benthiques, très peu documentés que ce soit dans les Aurès ou en Algérie, en générale il serait judicieux de se pencher sur l'étude de la taxonomie de certains groupes afin d'approfondir leurs identification. Plusieurs espèces pourraient se révéler nouvelles ou endémiques pour la région.

- Les traits de vie utilisés pour caractériser les taxons recensés dans ce travail ne correspondraient pas fidèlement à la réalité du terrain, étant donné qu'ils sont définis pour les espèces vivant dans les conditions européennes. A cet effet, il serait également intéressant de se pencher sur des études spécifiques contribuant à décrire les traits de vie de nos espèces dans les conditions écologiques particulières de nos habitats,

- Dans les perspectives de conservation et de gestion des espèces et des espaces, nous recommandons aux gestionnaires du PNB de mettre en place un programme de suivi et de surveillance des cours d'eau du Parc, notamment pour enrichir les connaissances sur la biodiversité des macro-invertébrés benthiques et statuer sur la qualité des eaux et des habitats sous l'effet des changements naturels et anthropiques.

- L'occupation des sols, la végétation et la nature géologique des bassins versants sont liées. Ces trois facteurs conditionnent la répartition et la distribution de la macrofaune benthique des cours d'eau. Les pollutions organiques (rejets domestiques, déjections animales essentiellement) sont l'une des principales causes de dégradation de la qualité des eaux sur la région des Aurès. Le déversement des eaux usées dans le milieu naturel transforme certains cours d'eau situés à proximité des villes en égouts. L'état préoccupant de ces cours d'eau rappelle qu'il est indispensable d'installer des dispositifs de collecte et de traitement des eaux usées dans toutes les zones urbanisées. A proximité des tribus, les rejets sont moins importants mais conduisent à une eutrophisation des cours d'eau qui se caractérise par des développements algaux et des populations d'Oligochètes importantes (stations Bouilef et Hamla). Il est donc important d'inciter les gens à mettre des fosses septiques aux abords de leurs habitations.

# Références bibliographiques



2019

### Référence bibliographiques

**Abdessemed K., 1981.** Le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans les massifs de l'Aurès et du Belezma: étude phytosociologique et problèmes de conservation et d'aménagement. Thèse de Docteur-ingénieur. Faculté des Sciences et Techniques Saint-Jérôme. Marseille. 149 p.

**Abdessemed K., 1984.** Les problèmes de la dégradation des formations végétales dans l'Aurès (Algérie). Première partie : La dégradation, ses origines et ses conséquences. Forêt méditerranéenne, T VI, N°1, 1984, PP 19-26.

**Abdul A.S., Gillham R.W., 1989.** Field studies of the effects of the capillary fringe on streamflow generation. *Journal of Hydrology*, 112:1-18.

**Aboukacem A., 2007.** Étude hydrobiologique comparative des oueds Boufekrane et Ouislane à la traversée de la ville de Meknès. Impact sur la Sante et l'Environnement. Thèse d'Etat, Fac. Sciences. Université Moulay Ismail, Meknès (Maroc),159p

**AFNOR., 1992.** Détermination de l'indice biologique global normalisé (I.B.G.N.), 9 p.

**Agences de l'Eau., 1993.** Etude bibliographique des méthodes biologiques d'évaluation de la qualité des eaux de surface continentales. Synthèse bibliographique. Etude inter-Agences 35, 259 p.

**Ait Mouloud S., 1988.** Essais de recherches sur la dérive des macro-invertébrés dans l'oued Aïssi : faunistique, écologie et biogéographie. Thèse Magister, Université d'Alger, 118p.

**Alimen H., Beida Z., Casta L., 1979.** Etude sédimentologique. Economie pastorale préagricole en Algérie orientale : Le Néolithique de tradition capsienne. Exemple : L'Aurès ». pp 190-197.

**Allan J.D., 1995.** Stream ecology: structure and function of running waters. Chapman. Hall, London, 388p.

**Allan, J.D., 2004.** Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 35:257-284.

**Angelier E., 2000.** Ecologie des eaux courantes. Edit TEC. DOC, 177 p.

**ANRH., 2001.** Inventaire des ressources en sols d'Algérie 1963-2001.

- Arab A., 1989.** Etude des peuplements d'invertébrés et de poissons appliquée à l'évaluation de la qualité des eaux et des ressources piscicoles des oueds Mouzaia et Chiffa. Thèse Magister, Université d'Alger, 139 p.
- Arab A., Lek S., Lounaci A., Park Y.S., 2004.** Spatial and temporal patterns of benthic invertebrate communities in an intermittent river (North Africa). *Annales de Limnologie. International Journal of Limnology*, 40(4): 317-327.
- Arigue S.F., Adler P.H., Belqat B., Bebbi N., Arab A., 2016.** Biodiversity of the Black Flies (Diptera: Simuliidae) and physico-chemical quality of watercourses of the oued El Haï basin (Aures -Algeria). *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(12): 4839-4849.
- Augusto O., Marcos C., 2010.** Benthic macroinvertebrates as bioindicators of water quality in an Atlantic forest fragment. *Iheringia. Série Zoologia, Porto Alegre*, 100(4): 291-300.
- Azrina M.Z., Yap C.K., Rahim Ismail A., Ismail A., TAN S.G., 2006.** Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Langat River, Peninsular Malaysia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 64(3): 337-347.
- Bagnouls F., Gaussen H., 1953.** Saison sèche et indice xéothermique. *Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Toulouse*, 88 : 193-194.
- Ballais J.L., Vogt T., 1980.** Croûte calcaires quaternaires du piémont Nord des Aurès (Algérie). *Recherches géographiques à Strasbourg*.
- Ballais J.L., 1981.** Recherches géomorphologiques dans les Aurès (Algérie). Thèse doctorat- Université de Paris I, 572 p.
- Barbaro L., Corcket E., Dutoit T., Peltier J.P., 2000.** Réponses fonctionnelles des communautés pelouses calcicoles aux facteurs agro-écologiques dans les Préalpes françaises. *Canadian Journal of Botany*, 78 : 1010-1020.
- Barbault R., 1981.** Ecologie des populations et des peuplements. Ed. Masson, Paris, 200p.
- Barbour T.M., Stribling J. B., Karr J.R., 1995.** Multimetric approach for establishing biocriteria and measuring biological condition. In : Davis W.S. et Simon T.P. (eds.) *Biological assessment and criteria : tools for water resource planning and decision making. Lewis Publishers*, 63-77.

## Références bibliographiques

---

- Bebba N., El Alami M., Arigue S.F., Arab A., 2015.** Mesological and biotypological study of Mayflies populating in Abdi wadi (Algeria). *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(4):1164-1177.
- Beghami Y., 2013.** Ecologie et dynamique de la végétation de l'Aurès: Analyses patio-temporelle et étude de la flore forestière et montagnard. Thèse doctorat d'état, Université Mohamed Kheider, Biskra, 193p.
- Belaidi N., Taleb A., Gagneur J., 2004.** Composition and dynamics of hyporheic and surface fauna in a semi-arid stream in relation to the management of a polluted reservoir. *Annales de Limnologie. International Journal of Limnology*, 40(3): 237-248.
- Bellion Y., 1976.** Etude géologique et hydrologique de la terminaison occidentale des Monts du Bellezma (Algérie). Thèse 3ème cycle, Paris VI, 221 p.
- Benabderrahmane M.C., 2007.** Contribution à la réalisation d'une carte de sensibilité à la désertification de la région des Aurès à l'aide des Systèmes d'Informations Géographiques. Mémoire. Ingénieur. Écologie. Université de Batna, 94 p.
- Benmessaoud H. 2010.** Étude de la vulnérabilité a la désertification par des méthodes quantitatives numériques dans le massif des Aurès (Algérie). Thèse de docteur En aménagement du territoire. Université de Batna, 227p.
- Benmessaoud H., Kalla M., Dridi H., 2009.** Evaluation de l'occupation des sols et desertification dans le Sud des Aurès (Algérie). *M@ppemonde* 94, <http://mappemonde.mgm.fr/num22/articles/art09206.html>
- Ben Moussa A., Chahlaoui A., Rour E., Chahboune M., 2014.** Diversité taxonomique et structure de la macrofaune benthique des eaux superficielles de l'oued khoumane. Moulay idriss Zerhoun, Maroc. *Journal of Materials and Environmental Science*, 5 (1): 183-198.
- Ben Rejeb-Jenhani A., 1989.** Le lac Ichkeul: Conditions du milieu, peuplements et biomasses phytoplanctoniques. Thèse 3ème Cycle, Univ. Tunis, 221 p.
- Berrahou A., Cellot B., Richoux P., 2001.** Distribution longitudinale des macroinvertébrés benthiques de la Moulouya et de ces principaux affluents (Maroc). *Annales de Limnologie. International Journal of limnology*, 37: 223-235.
- Blondel., 1979.** Biologie et écologie. Ed. Masson, Paris, 173 p.

- Bigot L., Bidot P., 1973.** Contribution à l'étude biocénotique de la garrigue à Quecus coccifera – II. Composition biotique du peuplement des invertébrés. *Vie et Milieu*, 23(2): 229 - 249.
- Bird M.S., Day J.A., 2016.** Impacts of terrestrial habitat transformation on temporary wetland invertebrates in a sclerophyllous sand fynbos landscape. *Hydrobiologia*, 782(1): 169–185.
- Blandin P., 1986.** Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. *Bulletin Ecologique*, 17 : 215-307.
- Blondel J., 1975.** L'analyse des peuplements d'oiseaux, élément d'un diagnostic écologique. I. la méthode des échantillonnages fréquentiels progressifs (E.F.P.). *Terre et Vie*, 29(4) : 533 pp.
- Blondel., 1979.** Biologie et écologie. Ed. Masson, Paris, 173 p.
- BNEDER, 2010.** Plan de gestion relatif à l'étude de classement de la cédraie des Ouled Yacoub et Chélia (Aurès) en parc national. BNEDER, Bouchaoui – Alger, 68p + annexes.
- Bonada N., 2003.** Ecology of the macroinvertebrate communities in Mediterranean rivers at different scales and organization levels. PHD thesis, University of Barcelona, Barcelona. 355p. <https://www.tdx.cat/>.
- Cairns J., Pratt J.R., 1993.** A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*, 10–27.
- Céréghino R., 1992.** Influences des variations artificielles du débit sur la faune.
- Céréghino R., Cugny P., Lavandier P., 2002.** Influence of intermittent hydropeaking on the longitudinal zonation patterns of benthic invertebrates in a mountain stream. *International Review of Hydrobiology*, 87(1): 47-60.
- Chaib N., Samraoui B., Marziali L., Rossaro B., 2011.** Chironomid taxocenosis in a South Mediterranean wadi, the Kebir-East (Algeria). *Museo Tridentino di Scienze Naturali*, 89: 29-34.
- Chergui H., Chavanon G., Berrahou A., Melhaoui M., 1990.** À propos des Plécoptères du Maroc oriental. *Bulletin de l'Institut Scientifique*. Rabat, 14 : 51-53.
- Chevenet F., Dolédec S., Chessel D., 1994.** A fuzzy coding approach for the analysis of longterm ecological data. *Freshwater Biology*, 31: 295-309.

## Références bibliographiques

---

- Choler P., 2005.** Consistent shifts in alpine plant traits along a Mesotopographical gradient. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 37: 444-453.
- Clenaghan C., Giller P.S., O'Halloran J., Hernan R., 1998.** Stream macroinvertebrate communities in a conifer-afforested catchment in Ireland: relationships to physico-chemical and biotic factors. *Freshwater Biology*, 40(1): 175-193.
- Comin F.A., Williams W.D., 1994.** Parched continents: Our common future? In Margalef. R (Ed.), *Limnology Now: a paradigm of planetary problems* (pp. 473–527). Amsterdam Elsevier.
- Compin A., Cereghino R., 2003.** Sensitivity of aquatic insect species richness to disturbance in the Adour–Garonne stream system (France). *Ecological Indicators*, 3(2): 135-142.
- Cornet A., 1951.** Le problème géologique du chott Ech chergui. *70ème congrès A.F.A.S., Tunis, fasc.1*, pp. 115-131.
- Cortes R.M., Ferreira V., Oliveira M.T., Oliveira D., 2002.** Macroinvertebrate community structure in a regulated river segment with different flow conditions. *River Research and Applications*, 18(4): 367-382.
- Côte M., 1974.** Les régions bioclimatiques de l'Est algérien (CURER) Université de Constantine 1974.
- Côte M., 2003.** Société d'étude et de recherche sur L'Aurès antique, *revues annuelle N° 1 Paris*. Page 100.
- Cummins K.W., 1973.** Trophic Relations of Aquatic Insects. *Annual Review of Entomology*, 18:1472.
- Daborn G.R., Clifford H.E., 1974.** Physical and chemical features of an Aestival pond in western Canada, *Hydrobiologia*, 44: 43–59.
- Dajoz R., 2003.** Précis d'écologie. Ed Dunod, Paris. 615- 619.
- Dakki M., 1986.** Recherches hydrobiologiques sur le Haut Sebou (Moyen-Atlas). Une contribution à la connaissance faunistique, écologique et historique des eaux courantes sudméditerranéennes. Thèse d'État, Université. Mohamed V, Fac. Rabat, 214 p.
- Dakki M., 1992.** Étude nationale sur la biodiversité: faune aquatique continentale (invertébrés et poissons), *Projet PNUE/ GEF/6105-92*, 121p.

- Darty T., Larned S.T., Tockner K., 2014.** Intermittent rivers: a challenge for freshwater ecology. *Bio Science*, 64(3): 229-235.
- De'ath G., 2002.** Multivariate regression trees: A new technique for modeling species environment relationships. *Ecology*, 83(4): 1105–1117.
- De'ath G., Fabricius K.E., 2000.** Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology*, 81(11): 3178-3192.
- Death R. G., Collier K.L., 2010.** Measuring stream macroinvertebrate responses to gradients of vegetation cover: when is enough enough? *Freshwater Biology*, 55:1447-1464.
- Decamps H., 1971.** La vie dans les cours d'eau. *Press universitaires de France N°1452. Paris*, 128p.
- De lartigue M., 1904.** "Monographie de l'Aurès" Constantine 1904, 491pp.
- Delucchi C.M., 1988.** Comparison of community structure among streams with different temporal flow regimes. *Canadian Journal of Zoology*, 66(3): 579–586.
- Del Rosario, R.B., Resh V.H., 2000.** Invertebrates in intermittent and perennial streams: is the hyporheic zone a refuge from drying? *Journal of the North American Benthological Society*, 19(4): 680-696.
- De Sousa S., Pinel Alloul B., Cattaneo A., 2008.** Response of littoral macroinvertebrate communities on rocks and sediments to lake residential development. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65:1206-1216.
- Dolédec S., Chessel D., ter Braak C.J.F., Champely S., 1996.** Matching species traits to environmental variables: a new three-table ordination method. *Environmental and Ecological Statistics*, 3:143–166.
- Dolédec S., Phillips N., Scarsbrook M., Riley R.H., Townsend C.R., 2006.** Comparison of structural and functional approaches to determining land-use effects on grassland stream invertebrate communities. *Journal of the North American Benthological Society*, 25: 44-60.
- Dussart B., 1992.** Limnologie. L'étude des eaux continentales. Ed. Gauthier Villars, Paris, 736 p
- Dynesius M., Nilson C., 1994.** Fragmentation qualitatives et quantitatives de la faune benthique d'un ruisseau à truites, la Couse Pavin (PUY-DE-DOME) dues aux pollutions agricoles et urbaines. *Laboratoire de zoologie, biologie animal et Écologie*, INA-INRA , 24p.

- Emberger L., 1971.** Travaux de botanique de l'écologie. *Ed. Masson et Cie, France.* 520p.
- Feldman R.S., Connor E.F., 1992.** The relationship between pH and community structure of invertebrates in streams of the Shenandoah National Park, Virginia, U.S.A. *Freshwater Biology*, 27(2): 261–276.
- Fenoglio S., Bo T., Cucco M., 2004.** Small-scale macroinvertebrate distribution in a riffle of a neotropical rainforest stream (Rio Bartola, Nicaragua). *Caribbean Journal of science*, 40(2): 253-257.
- Flecker A.S., Feifarek B., 1994.** Disturbance and the temporal variability of invertebrate assemblages in two Andean streams. *Freshwater Biology*, 31:131-142.
- Frissell C. A., Liss W.J., Warren C.E., Hurley M.D., 1986.** A hierarchical framework for the stream habitat classification - viewing streams in a watershed context. *Environmental Management*, 10:199-214.
- Gagneur J., Giani N., Martinez-Ansemil E., 1986.** Les Oligochètes aquatiques d'Algérie. *Bulletin de la Société d'histoire naturelle*, 122: 119-124.
- Gasith A., Resh V.H., 1999.** Streams in Mediterranean climate regions: abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 30(1): 51–81.
- Gayraud S., Statzner B., Bady P., Haybach A., Schöll F., Usseglio-Polatera P., Bac-Chi M., 2003.** Invertebrate traits for the biomonitoring of large European rivers: an initial assessment of alternative metrics. *Freshwater Biology*, 48 : 2045– 2064.
- Genin B., Chauvin C., Menard F., 2003.** Cours d'eau et indices biologiques: pollution, méthodes et IBGN. 2ème Edition Educagri, Dijon. 220p.
- Ghougali F., Si Bachr A., Chaabane N., Brik I., Ait Medjber R., Rouabah A., 2019.** Diversity and distribution patterns of benthic insects in streams of the Aurès arid region (NE Algeria). *Oceanological and Hydrobiological studies*, 48(1) : 31 :42.
- Giudicelli J., Dakki M., 1984.** Les sources du Moyen Atlas et du Rif (Maroc) : faunistique (description de deux espèces nouvelles de Trichoptères), écologie, intérêt biogéographique. *Bijdragen tot de Dierkunde*, 54(1) : 83-100.

- Giudicelli J., Dakki M., Dia A., 1985.** Caractéristiques abiotiques et hydrobiologiques des eaux courantes méditerranéennes. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 22(4): 2094-2101.
- Goodnight C.J., Whitley L.S., 1961.** Oligochaetes as indicators of pollution. Proc. 15th Indust. Waste Conf., Purdue Univ. Eng. Ext. Ser,106: 139-142.
- Halwas K. L., Church M., Richardson J.S., 2005.** Benthic assemblage variation among channel units in high-gradient streams on Vancouver Island, British Columbia. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3): 478-494.
- Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D., 2001.** PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 (1): 9pp.
- Haouchine S., 2011.** Recherche sur la faunistique et l'écologie des macro-invertébrés des cours d'eau de Kabylie. Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie. 116p.
- Hart D.D., Clark B.D., Jasentuliyana A., 1996.** Fine-scale field measurement of benthic flow environments inhabited by stream invertebrates. *Limnology and Oceanography*, 41(2): 297-308.
- Hauet A., 2006.** Estimation de débit et mesure de vitesse en rivière par Large-Scale Particle Image Velocimetry. Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble. – INPG. France, 305p.
- Hausner V.H., Yoccoz N.G., Ims R.A., 2003.** Selecting indicator traits for monitoring land use impacts: birds in northern coastal birch forests. *Ecological Applications*, 13: 999-1012.
- Hawkes H.A., 1979.** Invertebrates as indicators of river water quality. In James A. and Evison L. (Eds.), *Biological Indicators of Water Quality 2*. Chichester, Great Britain: Wiley, 1-45.
- Hecker N., Costa L.T., Farinha J.C., Thomas Vives P., 1996.** Inventaire des zones humides méditerranéennes : collecte des données. Publication MedWet/wetlands International/ Instituto da Conservação da Natureza Volume III Lisbon, 99p.
- Higler L.W.G., 2009.** Biology and Biodiversity of River Systems in J.C.I. Dooge (Ed.), *Fresh Surface Water*. Vol. II (pp. 222– 231). *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*.
- Hynes H.B.N., 1960.** The biology of Polluted Waters. *Liverpool University. Press. Liverpool*, England, 202p.

## Références bibliographiques

---

- Jenkins K.M., Boulton A.J., Ryder D.S., 2005.** A common parched future? Research and management of Australian arid-zone flood plain wetlands. *Hydrobiologia*, 552: 57–73.
- Joly F., 2006.** Eaux sauvages des régions arides. Notions de base sur l'hydrologie des déserts. *Géomorphologie Relief Processus Environnement*, 12(4).
- Kadik B., 1987.** Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) en Algérie : Ecologie, dendrométrie, morphologie. OPU - 581p.
- Karr J. R., Chu E.W., 2000.** Sustaining living rivers. *Hydrobiologia*, 422:1-14.
- Krebs C. J., 1989.** Ecological methodology. New York, NY: Harper and Row Publishers Inc., 654 p.
- Laffit R., 1939.** Géologie des Aurès- Tome I et Tome II, Paris.
- Laffly D., 2008.** Introduction à l'analyse factorielle des correspondances. Laboratoire société, environnement, territoire. UMR 5603 du CNRS et Université de Pau.
- Lakhdara D., Bouslama Z., Belabed A., 2014.** Caractérisation des Macro Invertébrés et les Amphibiens dans Différents Plans D'eau de L'extrême Nord-est Algérien. *European Journal of Scientific Research*, 123(1) :38 :58.
- Lancaster J., Hildrew A.G., 1993.** Flow refugia and the micro distribution of lotic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 12(4): 385-393.
- Lê S., Josse J., Husson F. 2008.** FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of statistical software*, 25(1).
- Lebart L., Morineau A., Piron M., 1997.** Statistique exploratoire multidimensionnelle. 2e édition, Dunod, 439 p.
- Le Houérou H.N., Claudin J., Pouget M., 1977.** Etude bioclimatique des steppes Algériennes (Avec une carte bioclimatique à 1/1.000.000ème). *Bulletin de la Société d'histoire naturelle d'Afrique du Nord*. Nord Alger, t.68, fasc. 3 et 4, 33-75.
- Lenat D.R., 1988.** Water quality assessment of streams using a qualitative collection method for benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 7: 222-233.
- Lewis P.A., Donald J.K., William T.T., 2001.** Perspectives on use of a multimetric lake bioassessment integrity index using benthic macroinvertebrates. *Northeastern Naturalist*, 8(2).

## Références bibliographiques

---

- Lounaci A., 1987.** Recherches hydrobiologiques sur les peuplements d'invertébrés benthiques du bassin de l'oued Aïssi (Grande Kabylie). Thèse Magister, Université d'Alger, 133p.
- Lounaci A., 2005.** Recherche sur la faunistique, l'écologie et biogéographie des macroinvertébrées des cours d'eau de Kabylie. Thèse doctorat d'état. U.M.M.T.O: 209 p.
- Lounaci A., Brosse S., Thomas A., Lek, S., 2000.** Abundance, diversity and community structure of macroinvertebrates in an Algerian stream: the Sebaou wadi. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 36(2): 123-133.
- Lozano S.J., Scharold J.V., Nalepa T.F., 2001.** Recent declines in benthic macroinvertebrate densities in Lake Ontario. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58(3):518–529.
- Magurran A.E., 1988.** Ecological diversity and its measurement. *Princeton University Press*, Princeton, New Jersey, 179 p.
- Margalef R., 1960.** Valeur indicatrice de la composition des pigments du phytoplancton sur la productivité, composition taxonomique et propriétés dynamiques des populations. *Rapp. Comm. Int. Medit*, 15: 277 – 281
- Mary N., 1999.** Caractérisations physico-chimique et biologique des cours d'eau de la nouvelle Calédonie, proposition d'un indice biotique fondé sur l'étude des macro-invertébrés benthiques. Thèse de Doctorat, Université France du Pacifique, France. 182p.
- Mebarki M., 2001.** Etude hydrobiologique de trois réseaux hydrographiques de Kabylie (Parc National du Djurdjura, oued Sébaou et oued Boghni) : faunistique, écologie et biogéographie des macro-invertébrés benthiques. Thèse Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 178p.
- Meharzi M.K.E., 2010.** Forêt, géosystème et dynamique du milieu (le cas de l'Aurès). Thèse de Doctorat. Univ. Mentouri de Constantine. Constantine, Algérie, 258 p.
- Minshall G.W., 1988.** Stream ecosystem theory: a global perspective. *Journal of the North American Benthological Society*, 57, 263–288.
- Minshall G.W., Cummins K.W., Petersen R.C., Cushing C.E., Bruns D.A., Sedell, J.R., 1985.** Species richness in streams of different size from the same drainage basin, *Am. Nat*, 125: 16-38.

## Références bibliographiques

---

- Mitard A.E. 1941.** Aperçu des grands traits géographiques de l'Aurès, Algérie. In: *Revue de géographie alpine*, 29(4): 557-578.
- Moisan J., Pelletier L., 2008.** Guide de surveillance biologique basé sur les macro-invertébrés benthiques d'eau douce du Québec - Cours d'eau peu profond avec substrat grossier. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2550-53590-4 (PDF), 86 p.
- Monoury E., 2013.** Fonctionnement écologique des zones de dépôt dans les ruisseaux : contribution des invertébrés benthiques aux processus de décomposition des litières et de bioturbation. Thèse de Doctorat Es Sciences. Univité. Paul Sabatier, Toulouse , 496p.
- Moubayed-Breil A., Lounaci A., 2013.** Orthocladius (Euorthocladius) kabylianus sp. n., a crenophilous element inhabiting karstic helocrenes and temporary streams in Algeria [Diptera: Chironomidae]. *Ephemera*, 2012 (2013), 14 (1): 25-34.
- PNB., 2015.** Plan de Gestion du Parc National de Belezma (PNB, Batna - Algérie). Document interne PNB Partie 'A' : Approche descriptive et analytique, 96p.
- Phillipsen I.C., Lytle D.A., 2013.** Aquatic insects in a sea of desert: Population genetic structure is shaped by limited dispersal in a naturally fragmented landscape. *Ecography*, 36(6): 731–743.
- Pielou E.C., 1969.** An introduction to Mathematical Ecology. Wiley, New York, 214 p.
- Pielou E.C., 1975.** Ecological diversity. Wiley, New York, 108 p.
- Pires A.M., Cowx I.G., Coelho M.M., 1999.** Seasonal changes in fish community structure of intermittent streams in the middle reaches of the Guadiana Basin (Portugal). *Journal of Fish Biology*, 54(2): 235-249.
- Pires A.M., Cowx I.G., Coelho M.M., 2000.** Benthic macroinvertebrate communities of intermittent streams in the middle reaches of the Guadiana Basin (Portugal). *Hydrobiologia*, 435: 167-175.
- Power M.E., Stout R.J., Cushing C.E., Harper P.P., Hauer F.R., Matthews W.J., De Badgen W., 1988.** Biotic and abiotic controls in river and stream communities. *Journal of the North American Benthological Society*, 7, 456-479.

- Quinn J.M., Hickey C.W., 1990.** Characterisation and classification of benthic communities in 88 New Zealand rivers in relation to environment factors. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 24: 387- 409.
- Quinn G. P., Keough M. J. 2002.** ‘Experimental design and data analysis for biologists’, *Cambridge University Press: Cambridg.* 537p.
- R Development Core Team., 2013.** A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- Ramade F., 1984.** Eléments d’écologie, écologie fondamentale. Auckland, McGraw-Hill, Paris, 397 p.
- Regina M., Agostinho S., 1999.** Factorial correspondence analysis: an application to a three-dimensional contingency table. *revista de evista de eestatística*. 2º quadrimestre. Gabinete de Estudos e Conjuntura do Instituto Nacional Estatística.
- Rejsek F., 2002.** Analyse des eaux, Aspects réglementaire et techniques. Série : Siences et techniques de l'environnement. Paris, 360 p.
- Resh V.H., Jackson J.K., 1993.** “Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates”, p. 195-233, dans Rosenberg D.M. et Resh V.H (éd.), *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*, New York, Chapman and Hall.
- Resh V.H., Mac Elravy., 1993.** Contemporary quantitatives approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates. In : Rosenberg D.M., Resh V.H (eds) *Freshwater Biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. *Chapman. Hall New York*, 159-194.
- Resh V.H., Norris R.H., Barbour M.T., 1995.** Design and implementation of rapid assessment approaches for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates. *Australian Journal of Ecology*, 20: 108-121.
- Resh V.H., Brown A.V., Covich A.P., Gurtz M.E., Li H.W., Minshall W., Reice S.R., Sheldon A.L., Wallace J.B., Wissmar R.C., 1988.** The role of disturbance in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 7, 433–455.
- Rempel L.L., Richardson J.S., Healey M.C., 1999.** Flow refugia for benthic macroinvertebrate during flooding of a large river. *Journal of the North American Benthological Society*, 18(1): 34-48.

- Ribera I., Dolédec S., Downie I.S., Foster G.N., 2001.** Effect of land disturbance and stress on species traits of ground beetle assemblages. *Ecology*, 82: 1112-1129.
- Richards C., Haro R.J., Johnson L.B., Host G.E., 1997.** Catchment and reach-scale properties as indicators of macroinvertebrate species traits. *Freshwater Biology*, 37: 219–230.
- Richards C., Johnson L.B., Host G.H., 1996.** Landscape scale influences on stream habitats and biota. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53, 295–311.
- Rosenberg D.M., Resh V.H., 1996.** Use of Aquatic Insects in Biomonitoring. in R. W. Merritt and K. W. Cummins, editors. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Kendall/Hunt Publishing Company, Iowa, USA.
- Samraoui B., 2009.** Seasonal ecology of Algerian Lestidae (Odonata). *International journal of Odonatology*, 12(2): 383–394.
- Samraoui B., Corbet P.S., 2000a.** The Odonata of Numidica. Part I: Status and distribution. *International Journal of Odonatology*, 3 (1): 11-25.
- Samraoui B., Corbet P.S., 2000b.** The Odonata of Numidica. Part II: *Seasonal ecology*. *Int. J. Odonatology*, 3 (1): 27-39.
- Schoenenberger A., 1970a.** Etude du couvert forestier de l'Aurès oriental, tendances évolutives de ce peuplement. *Projet Algérie* 15, 42p.
- Schoenenberger A., 1970b.** Catalogue des espèces vasculaires des massifs forestiers des Béni Melloul, Chélia, Bélezma, Zgag (Aurès). CRBT/ONRS. Alger, 30p.
- Sellam N., Zougaghe F., Pinel Alloul B., Mimouni A., Moulai R., 2017.** Taxa richness and community structure of macroinvertebrates in rivers of different bioclimatic regions of Algeria. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8(5): 1574-1588.
- Seltzer., 1946.** Le climat de l'Algérie. *Institut Meteorologique et de physique du globe*. Université d'Alger : 219p.
- Stafford Smith D.M., Morton S.R., 1990.** A framework for the ecology of arid Australia. *Journal of Arid Environment*, 18: 255–278.
- Stark J.D., Banks J.E., Vargas R., 2004.** How risky is risk assessment: the role that life history strategies play in susceptibility of species stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101 : 732-736.

## Références bibliographiques

---

- Statzner B., Holm T.F., 1982.** Morphological adaptations of benthic invertebrates to stream flow: an old question studied by means of a new technique (Laser Doppler Anemometry). *Oecologia*, 53(3): 290-292.
- Statzner B., Bady P., Doledec S., Schöll F., 2005.** Invertebrate traits for the biomonitoring of large European rivers: an initial assessment of trait patterns in least impacted river reaches. *Freshwater Biology*, 50 : 2136–2161.
- Stewart Ph., 1969.** Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique. *Bulletin de la Société d'histoire naturelle d'Afrique du Nord*, Alger, 59 (4): 23-36.
- Stewart R., 1971.** *Atmospheric Science* 28, 1069.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M., Usseglio-Polatera P., 2006.** Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie. CNRS 2eme Editions, (Paris) 588p.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M., Usseglio-Polatera P., 2010.** Invertébrés d'eau douce: Systématique, Biologie, Écologie. CNRS Ed, Paris 607p.
- Therneau T.M., Atkinson B., 2013.** Package 'mvpart'. R package version 1.6-1.
- Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S., Olivier J.M., 1997.** ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing*, 7 : 75– 83.
- Thomas A.G.B., 1998.** A provisional checklist of the Mayflies of North Africa (Ephemeroptera). *Bulletin de la Société d'histoire naturelle*, Toulouse, 134: 13-20.
- Thorp J.H., 2009.** Models of Ecological Processes in Riverine Ecosystems. Pages 448-455 in G. E. Likens, editor. *Encyclopedia of Inland Waters*. Academic Press, Oxford.
- Thuiller W., Richardson D.M., Rouget M., Prochesx S., Wilson J.R.U., 2006.** Interactions between environment, species traits, and human uses describe patterns of plant invasions. *Ecology*, 87 : 1755-1769.
- Timpano A.J., Schoenholtz S.H., Soucek D.J., Zipper C.E., 2010.** Isolating effects of total dissolved solids on aquatic life in central Appalachian coalfield streams. Proceedings, *National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation*, 1284 -1302.
- Timpano A.J., Schoenholtz S.H., Zipper C.E., Soucek D.J., 2011.** Levels of Dissolved Solids Associated with Aquatic Life Effects in Headwater Streams of Virginia's Central Appalachian Coalfield Region. Final report prepared for Virginia Department of

## Références bibliographiques

---

Environmental Quality; Virginia Department of Mines, Minerals, and Energy; and Powell River Project, 55p.

**Tomanova S., Goitia E., Helesic J., 2006.** Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in neotropical streams. *Hydrobiologia*, 556 : 251-264.

**Touron-Poncet H., 2014.** Biodiversité des communautés d'invertébrés benthiques des rivières de la Guadeloupe et réponses aux perturbations anthropiques. Thèse Doctorat, Université Paul Sabatier. Toulouse, 256p.

**Touron-Poncet H., Bernadet C., Compin A., Bargier N., Cereghino R., 2014.** Implementing the Water Framework Directive in overseas Europe: A multimetric macro-invertebrate index for river bioassessment in Caribbean islands. *Limnologica*, 47: 34-43.

**Townend J. 2002.** 'Practical Statistics for environmental and biological scientists', John Wiley and Sons: West Sussex. 288p.

**Townsend C.R., Hildrew A.G., 1994.** Species traits in relation to a habitat templet for river systems. *Freshwater Biology*, 31(3): 265–275.

**Townsend C.R., Dole 'dec S., Norris R., Peacock K., Arbuckle C., 2003.** The influence of scale and geography on relationships between stream community composition and landscape variables: description and prediction. *Freshwater Biology*, 48: 768–785.

**Turki S., 2002.** Contribution à l'étude bio-écologique des rotifères, cladocères, copépodes des eaux continentales tunisiennes et dynamique saisonnière du zooplancton de la retenue de barrage Bir M'chergua. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques. Université de Tunis El Manar / INSTM. 225 p.

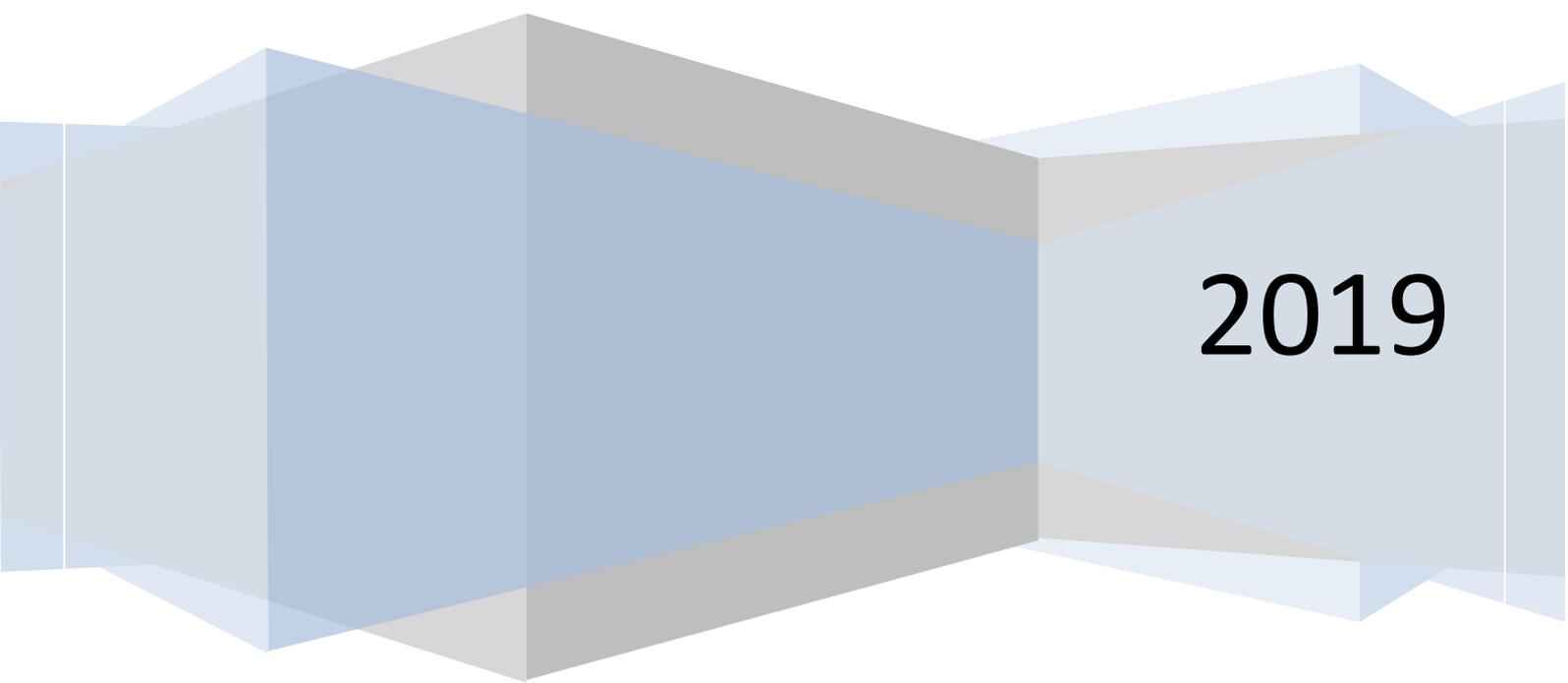
**Urban M.C., D.K Skelly, D. Burchsted, W. Price, and S. Lowry. 2006.** Stream communities across a rural-urban landscape gradient. *Diversity and Distributions*, 12:337-350.

**Usseglio-Polatera P., Bournaud M., Richoux P., Tachet H., 2000.** Biomonitoring through biological traits of benthic macro-invertebrates: how to use species trait data bases. *Hydrobiologia*, 422: 153-162.

**Vinson M. R., Hawkins C.O., 1998.** Biodiversity of stream insects: variation at local, basin, and regional scales. *Annual Review of Entomology*, 43:271-293.

- Walker K.F., Sheldon F., Puckridge J.T., 1995.** An ecological perspective on large dryland rivers. *Regulated Rivers: Research and Management*, 11: 85–104.
- Wallace J.B., Webster J.R., 1996.** The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annual Review of Entomology*, 41:115-139.
- Washington H.G., 1984.** Diversity, Biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research*, 6: 653-694.
- Wiggins G.B., 1973.** A contribution to the biology of caddisflies (Trichoptera) in temporary pools. *Royal Ontario Museum Life Sciences Contribution*, 88: 1–28.
- Wiggins G.B., Mackay R.J., Smith I.M. 1980.** Evolutionary and ecological strategies of animals in annual temporary pools. *Archiv für Hydrobiologie*, 58: 97–206.
- Williams D.D., 1996.** Environmental constraints in temporary fresh waters and their consequences for the insect fauna. *Journal of the North American Benthological Society*, 15(4): 634-650.
- Winner R.E., Boesel M.W., Farrell M.P., 1980.** Insect community structure as an index of heavy metal pollution in lotic ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 37, 647-655.
- Yasri N., Vinçon G., Lounaci A., 2013.** A new Amphinemura from Central Maghreb (Algeria, Tunisia): *A. berthelemyi* sp. n. (Plecoptera: Nemouridae). *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft. Bulletin de la Société Entomologique. Suisse*, 86: 25– 33, 2013
- Yoder C.O., Rankin E.T., 1995.** Biological response signatures and the area degradation value: new tools for interpreting multimetric data. In: *Biological Assessment and Criteria: Tools for Water Resources Planning and Decision Making* (Chapter 17), Davis, W.S et T.P. Simon (Eds), Lewis.
- Zerguine K., Samraoui B., Rossaro B., 2009.** A survey of Chironomids from seasonal ponds of Numidia, northeastern Algeria. *Bollettino di Zoologia Agraria e di Bachicoltura*. II, 41 (3): 167-174.
- Zouggaghe F., Moali A., 2009.** Structural variability of benthic macroinvertebrate stands in the Soummam watershed (Algeria, North Africa). *Revue d'Ecologie, (Terre Vie)*, 64(4): 305-321.

# Annexes



2019

## Annexes

**Annexe 1:** Paramètres physico-chimiques de l'eau mesurés, méthode et appareil utilisé au niveau des laboratoires de l'Algérienne des eaux (ADE) de Batna

Paramètres	Unité	Appareil	Mode opératoire
<b>La turbidité</b>	<b>NTU</b>	Turbidimètre	-Agiter bien l'échantillon à analyser. -Remplir la cuvette jusqu'au trait, en évitant la formation de bulles d'air. -Retirer les gouttes d'eau avec mouchoir. -Placer la cuvette dans le puits de mesure. -Lire le résultat affiché.
<b>pH</b>	<b>pH</b>	PH mètre	-Dans un bécher prendre environ 100ml de l'échantillon. -Enfoncer l'électrode dans le bécher. -Attendre quelques minutes et lire la valeur.
<b>Température</b>	<b>°C</b>	Thermomètre	-Enfoncer l'électrode dans l'eau. -Attendre quelques minutes et lire la valeur.
<b>Conductivité électrique</b>	<b>s/cm</b>	Conductimètre	-Enfoncer l'électrode dans l'eau. -Attendre quelques minutes et lire la valeur.
<b>Taux des sels dissous (TDS)</b>	<b>(mg/l)</b>	Conductimètre	-Enfoncer l'électrode dans l'eau. -Attendre quelques minutes et lire la valeur.
<b>Salinité</b>	<b>‰</b>	Conductimètre	-Enfoncer l'électrode dans l'eau. -Attendre quelques minutes et lire la valeur.
<b>L'azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)</b>	<b>(mg/l)</b>	Spectrophotomètre	-Dans des fioles de 50 ml prendre : - 40 ml prise d'essai. - 4 ml de la solution de Dichlorisocyanurate de sodium. - 4 ml de la solution de réactif coloré. -Ajuster au trait de jauge avec l'eau distillée exempte d'ammonium. -Laisser au repos 1 heure de temps. - Lire au Spectrophotomètre. - La présence de l'ammonium donne une coloration verdâtre.

<b>Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)</b>	<b>(mg/l)</b>	Spectrophotomètre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dans des fioles de 50 ml prendre :</li> <li>- 50 ml prise d'essai.</li> <li>- 1ml réactif mixte.</li> <li>- Laisser au repos 10 mn.</li> <li>- Lire au Spectrophotomètre.</li> <li>- La présence de Nitrites donne une coloration rose.</li> </ul>
<b>Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>)</b>	<b>(mg/l)</b>	Spectrophotomètre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dans des erlenmayer de 250ml prendre :</li> <li>- 100 ml (20 ml échantillon + 80 ml eau distillée) prise d'essai.</li> <li>- 5 ml solution stabilisante.</li> <li>- 2 ml BaCl<sub>2</sub> bien agité.</li> <li>- lire au Spectrophotomètre.</li> </ul>
<b>Calcium (Ca<sup>++</sup>) mg/l - Titrimétrie</b>	<b>(mg/l)</b>	Titrimétrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mélanger bien :</li> <li>- 50 ml de l'échantillon.</li> <li>- 2 ml NaOH à 2 N.</li> <li>- une pincée d'indicateur (Murexide).</li> <li>- Titré avec l'EDTA jusqu' au virage bleu.</li> </ul>
<b>Les Ortrophosphates (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>)</b>	<b>(mg/l)</b>	Spectrophotomètre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dans des fioles de 50 ml prendre : - 40 ml prise d'essai.</li> <li>- 1 ml Acide Ascorbique.</li> <li>- 2 ml réactif mixte PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>.</li> <li>- Laisser au repos 10 mn.</li> <li>- Lire au Spectrophotomètre.</li> </ul>
<b>Chlore (Cl<sup>-</sup>)</b>	<b>(mg/l)</b>	Titrimétrie	<p>La méthode utilisée est celle de MOHR (Rodier et al, 2005):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Introduire 10 ml d'eau à analyser dans un bêcher.</li> <li>- Ajouter 3 gouttes de solution de Chromates de Potassium à 10%.</li> <li>- Verser alors au moyen d'une burette la solution de Nitrates d'Argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre qui doit persister 1 à 3 min.</li> <li>- Soit V le nombre de millilitres de Nitrates d'Argent 0,1N utilisés.</li> <li>- Calculer la teneur de Chlore comme suit : Cl (méq/l) = <math>\frac{V(\text{AgNO}_3) \cdot N(\text{AgNO}_3) \cdot 1000}{V}</math></li> </ul>

**Annexe 2.** Valeurs de l'IBGN selon la nature et la variété taxonomique de la macrofaune (AFNOR, 1992)

Classe de variété		14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
<b>Taxons indicateurs</b>	$\sum t$ GI	>50	49 45	44 41	40 37	36 33	32 29	28 25	24 21	20 17	16 13	12 10	9 7	6 4	3 1
<i>Chloroperlidae</i> <i>Perlidae</i> <i>Perlodidae</i> <i>Taeniopterygidae</i>	9	20	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
<i>Capniidae</i> <i>Brachycentridae</i> <i>Odontoceridae</i> <i>Philopotamidae</i>	8	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
<i>Leuctridae</i> <i>Glossosomatidae</i> <i>Beraeidae</i> <i>Goeridae</i> <i>Leptophlebiidae</i>	7	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7
<i>Nemouridae</i> <i>Lepidostomatidae</i> <i>Sericostomatidae</i> <i>Ephemeridae</i>	6	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
<i>Hydroptilidae</i> <i>Heptageniidae</i> <i>Polymitarcidae</i> <i>Potamanthidae</i>	5	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
<i>Leptoceridae</i> <i>Polycentropodidae</i> <i>Psychomyidae</i> <i>Rhyacophilidae</i>	4	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
<i>Limnephilidae</i> * <i>Hydropsychidae</i> <i>Ephemerellidae</i> * <i>Aphelocheiridae</i>	3	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
<i>Baetidae</i> * <i>Caenidae</i> * <i>Elmidae</i> * <i>Gammaridae</i> * <i>Mollusques</i>	2	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
<i>Chironomidae</i> * <i>Asellidae</i> * <i>Achètes</i> <i>Oligochètes</i> *	1	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
* Taxons représentés par au moins 10 individus - Les autres par au moins 3 individus															

**Annexe 3.** Liste des 138 taxons (extraits de la norme AFNNOR T 90-350,1992)

<b>INSECTES</b>	<b>HÉTÉROPTÈRES</b>	Scatophagidae	<b>MOLLUSQUES(2)</b>
<b>PLÉCOPTÈRES</b>	Aphelocheiridae(3)	Sciomyzidae	<b>BIVALVES</b>
Capniidae(8)	Corixidae	Simuliidae	Corbiculidae
Chloroperlidae(9)	Gerridae	Stratiomyidae	Dreissenidae
Leuctridae(7)	Hebridae	Syrphidae	Sphaeriidae
Nemouridae(6)	Hydrometridae	Tabanidae	Unionidae
Perlidae(9)	Naucoridae	Thaumaleidae	<b>GASTÉROPODES</b>
Perlodidae(9)	Nepidae	Tipulidae	Ancylidae
Taeniopterygidae(9)	Notonectidae	<b>ODONATES</b>	Bithynidae
<b>TRICHOPTÈRES</b>	Mesoveliidae	Aeschnidae	Bythinellidae
Beraeidae(7)	Pleidae	Calopterygidae	Hydrobiidae
Brachycentridae(8)	Veliidae	Coenagrionidae	Limnaeidae
Ecnomidae	<b>COLÉOPTÈRES</b>	Cordulegasteridae	Neritidae
Glossosomatidae(7)	Curculionidae	Corduliidae	Physidae
Goeridae(7)	Donaciidae	Gomphidae	Planorbidae
Helicopsychidae	Dryopidae	Lestidae	Valvatidae
Hydropsychidae(3)	Dytiscidae	Libellulidae	Viviparidae
Hydroptilidae(5)	Eubriidae	Platycnemididae	<b>VERS</b>
Lepidostomatidae(6)	Elmidae(2)	<b>MÉGALOPTÈRES</b>	<b>PLATHELMINTHES</b>
Leptoceridae(4)	Gyrinidae	Sialidae	<b>TRICLADES</b>
Limnphilidae(3)	Haliplidae	<b>PLANIPENNES</b>	Dendrocoelidae
Molannidae	Helodidae	Osmylidae	Dugesidae
Odontoceridae(8)	Helophoridae	Sysyridae	Planariidae
Philopotamidae(8)	Hydraenidae	<b>HYMÉNOPTÈRES</b>	<b>NÉMATHELMINTHES</b>
Phryganeidae	Hydrochidae	<b>LÉPIDOPTÈRES</b>	<b>ANNÉLIDES</b>
Polycentropodidae(4)	Hydrophilidae	Pyralidae	<b>ACHÈTES(1)</b>
Psychomyidae(4)	Hydroscaphidae	<b>CRUSTACÉS</b>	Erpobdellidae
Rhyacophilidae(4)	Hygrobiidae	<b>BRANCHIOPODE</b>	Glossiphoniidae
Sericostomatidae(6)	Limnebiidae	<b>AMPHIPODES</b>	Hirudidae
Thremmatidae	Spercheidae	Gammaridae(2)	Piscicolidae
	<b>DIPTÈRES</b>	<b>ISOPODES</b>	<b>OLIGOCHÈTES(1)</b>
<b>ÉPHÉMÉROPTÈRES</b>	Anthomyidae	Asellidae(1)	

Baetidae(2)	Athericidae	DÉCAPODES	
Caenidae(2)	Blephariceridae	Astacidae	<b>HYDRACARIENS</b>
Ephemerellidae(4)	Ceratopogonidae	Atyidae	
Ephemeridae(6)	Chaoboridae	Grapsidae	<b>HYDROZOAIRE</b>
Heptageniidae(5)	Chironomidae(1)	Cambaridae	
Leptophlebiidae(7)	Culicidae		<b>SPONGIAIRES</b>
Oligoneuriidae	Dixidae		
Polymitarcidae(5)	Dolichopodidae		<b>BRYOZOAIRE</b>
Potamanthidae(5)	Empididae		
Prosopistomatidae	Ephydriidae		<b>NÉMERTIENS</b>
Siphonuridae	Limoniidae		
	Psychodidae		
	Ptychopteridae		
	Rhagionidae		

**Annexe photographique :** Photos illustrant quelques espèces d'invertébrés aquatiques recensées au Parc National du Belezma et classées par ordre systématique



Lumbriculidae (Oligochaeta)  $\times 1,5$



*Hirudo medicinalis* (Hirudinidae, Hirudinida)  $\times 1,25$



Lumbriculidae (Oligochaeta)  
extrémité postérieure  $\times 0,8$



Lumbriculidae (Oligochaeta) extrémité antérieure  $\times 0,8$



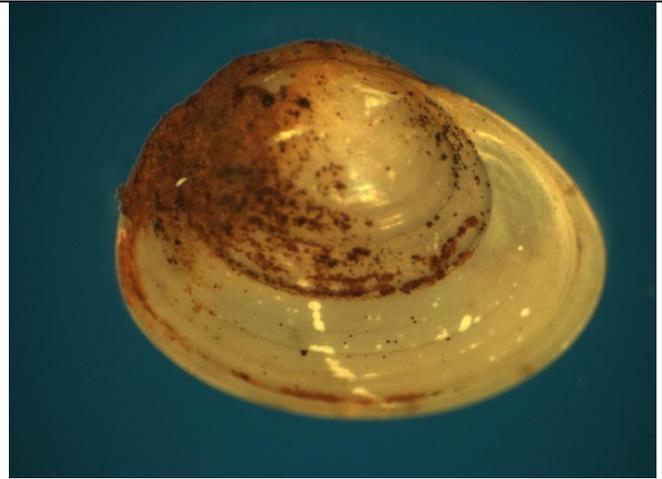
*Lymnaea sp* (Lymnaeidae, Pulmonata)  $\times 2,5$



Pulmonata  $\times 5$



*Pisidium sp 1* (Sphaeriidae, Bivalvia) ×4



*Pisidium sp 2* (Sphaeriidae, Bivalvia) ×4



*Gammarus sp* (Gammaridae, Amphipoda) ×1



*Acentrella sp* (Baetidae, Ephemeroptera) ×1,25



*Caenis sp* (Caenidae, Ephemeroptera) ×2,5



*Ecdyonurus sp* (Heptageniidae, Ephemeroptera) ×1



*Epeorus sp* (Heptageniidae, Ephemeroptera)  $\times 1,25$



*Leptophlebia sp* (Leptophlebiidae, Ephemeroptera)  $\times 2,5$



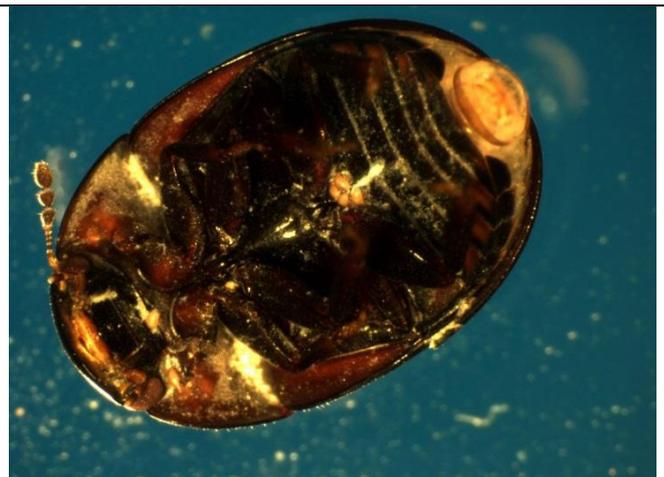
*Capnioneura sp* (Capniidae, Plecoptera)  $\times 1,25$



*Gerris lacustris* (Gerridae, Heteroptera)  $\times 0,8$



*Hydrophilus sp* (Coleoptera, Hydrophilidae) Vue latérale  $\times 2,5$



*Hydrophilus sp* (Coleoptera, Hydrophilidae) Vue ventrale  $\times 2,5$



*Cyphon sp* (Coleoptera, Scirtidae) Vue latérale  $\times 2,5$



*Cyphon sp* (Coleoptera, Scirtidae) Vue ventrale  $\times 2,5$



*Brachycentrus sp* (Trichoptera, Brachycentridae)  $\times 3,2$



*Hydropsyche sp* (Trichoptera, Hydropsychidae) Foureau ( $\times 2,5$ )



*Hydropsyche sp* (Trichoptera, Hydropsychidae)  $\times 2$



*Chaoborus sp* (Diptera, Chaoboridae)  $\times 4,5$



*Chironomus sp* (Diptera, Chironomidae)  $\times 2,25$



Limoniidae (Diptera)  $\times 0,8$



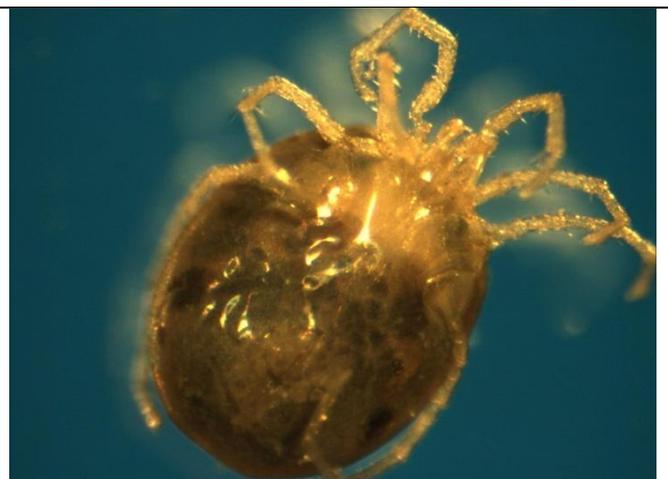
Stratiomyidae (Diptera)  $\times 5$



*Dixa sp* (Dixidae, Diptera)  $\times 3,2$



Hydracaria  $\times 6,3$



Hydrachnidia  $\times 6,3$

**Vues générales des 33 stations explorées dans sept cours d'eau du Parc National  
du Belezma et du Mont de Chélia**



**Les stations 1, 2, 3, 4, 5 et 6 de l'Oued Chaaba**



**Les stations 1, 2, 3, 4, 5 et 6 de l'Oued Bouilef**



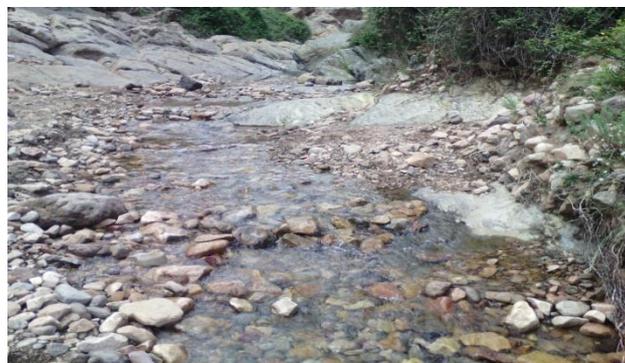
**Les stations 1, 2, 3, 4, 5 et 6 de l'Oued El Ma**



**Les stations 1, 2, 3, 4, 5 et 6 de l'Oued Hamla**



**Les stations 1, 2, 3 de l'Oued Chélia**



**Les stations 1, 2, 3 de l'Oued Kimel**



**Les stations 1, 2, 3 de l'oued Yabous**