République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université El Hadj Lakhdar - Batna
Département des Sciences de la Nature et de la Vie (SNV)

MÉMOIRE

de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en Ecologie et environnement
Option : Biologie de la conservation

THEME

Evaluation multiparamétrique de la qualité de l'eau et biodiversité des macro-invertébrés benthiques de quatre cours d'eau du parc national (réserve de la biosphère) de Belezma (Batna, Algérie).

Réalisé par :

M^lle^ **Imène BENZINA**

Soutenu devant le jury :

Président : Dr. CHAFAA S. : Maitre de conférences 'A', Université El Hadj Lakhdar, Batna
Promoteur : Dr. SI BACHIR A. : Professeur, Université El Hadj Lakhdar, Batna
Examinateur: Mme. GHANEM N. : Maître assistante 'A', Université El Hadj Lakhdar, Batna
Invité : Mr. ABDERRAHMANI S. : Directeur du Parc National du Belezma - Batna

Année universitaire 2014 - 2015

Remerciements

Ce mémoire doit beaucoup aux nombreuses personnes qui m'ont encouragé, soutenu et conforté au long de cette année. Qu'elles trouvent dans ce travail l'expression de mes plus sincères remerciements pour leur aide, leurs conseils et disponibilité, tout en leur exprimant ma profonde gratitude.

Le Dr. **Abdelkrim SI BACHIR,** Professeur à l'Université de Batna, encadreur de ce mémoire, celui qui représente pour moi le leader de l'écologie algérienne et qui a des réponses à toutes les questions d'écologie. Je le remercie d'avoir dirigé avec rigueur et passion ce travail, en étant toujours disponible, patient et encourageant. Merci pour votre aide et précieux conseils et pour vos grandes valeurs humaines.

Le Dr. **Régis CEREGUINO,** Professeur et directeur-adjoint du laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle LEFE/ECOLAB - UMR 5245 (EcoLab, Université Paul Sabatier de Toulouse, France), de m'avoir accueilli au sein de son laboratoire dans le cadre d'un stage qui m'a permis d'enrichir mes connaissances tant fondamentales que pratiques. Je le remercie vivement pour sa disponibilité, ses conseils judicieux ainsi que pour son aide précieuse et sa proposition de rédiger un article scientifique dont je serais fière.

Le Dr. **Smail CHAFAA,** maitre de conférences 'A', à l'université El Hadj Lakhdar de Batna qui m'a honoré en acceptant d'être président de ce jury et pour ces encouragements lors de la réalisation de ce travail.

Madame **Nadra GHANEM**, maître assistante 'A' à l'université de Batna, pour avoir accepté d'évaluer ce manuscrit de mémoire ainsi que d'avoir bien voulu être membre de mon jury de soutenance.

Mr. **Said ABDERRAHMANI,** Directeur du Parc National de Belezma, de m'avoir accueilli au sein du parc pour un stage puis pour la réalisation de ce mémoire, il m'a beaucoup encouragé, a mis à ma disposition de la documentation et m'a facilité les déplacements sur le territoire du parc.

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.

Je tiens à remercier infiniment Mr. **Frédéric AZEMAR** pour les magnifiques photos des invertébrés aquatiques qu'il m'a prises. Je le remercie pour sa patience et sa gentillesse. Je remercie également Cherif GHAZZI et Faycal GHOUGALI (Doctorants à l'université de Ouargla et de Tlemcen) pour leur aide inestimable, notamment lors des sorties de terrain. Je ne saurais oublier de remercier vivement Mesdames Leila BECHAH et Fouzia BENAOUF pour m'avoir assuré les conditions idéales pour mes expérimentations de laboratoire.

A tous les enseignants qui ont contribué à ma formation et à toutes les personnes qui ont contribuées de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, j'exprime ma profonde gratitude et reconnaissance.

Dédicaces

Je dédie cet humble travail, comme preuve de respect, de gratitude et de reconnaissance à :

Mes chers parents, source de ma réussite, qui m'ont apporté soins et affection, ainsi que l'aide et les encouragements nécessaires qui m'ont permis de réaliser tous mes projets. Qu'ils trouvent à travers cette dédicace le faible témoignage de ma reconnaissance pour leurs efforts et sacrifices.

A mes frères que j'aime et qui m'ont toujours gâté et encouragé.

A toute la famille BENZINA en témoignage de mon respect et attachement familial.

J'ai également pu compter sur le soutien, les encouragements et l'aide de mon professeur le Dr. Abdelkrim SI BACHIR qui a toujours cru en mes capacités et qui était présent à chacun de mes pas avec le plein de conseils qui me poussent constamment vers le meilleur.

A mes copines Dalel, Imène, Lyna et Noussa avec qui j'ai passé des moments et des souvenirs inoubliables.

A mes camarades de promotion avec qui j'ai partagé beaucoup d'idées et d'expériences, que ce soit en classe ou lors des sorties et stages de terrain.

Intitulé **: ''Evaluation multiparamétrique de la qualité de l'eau et biodiversité des macro-invertébrés benthiques de quatre cours d'eau du parc national (réserve de la biosphère) de Belezma (Batna, Algérie)''.**

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction 01

Matériels et méthodes d'étude 04

1. Description générale du parc national de Belezma (PNB) et des cours d'eau étudiés 04
2. Choix et description des stations d'échantillonnage 06
3. Analyses physico-chimiques de l'eau 06
4. Echantillonnage des macro-invertébrés benthiques 07
5. Exploitation des données 08
   - 5.1. Méthodes de calcul des paramètres de structure et d'organisation des populations et peuplements 08
   - 5.2. Méthodes de calcul des paramètres et indices de diversité 09
   - 5.3. Méthode d'évaluation de la qualité biologique de l'eau (calcul de l'IBGN) 11
   - 5.4. Méthode d'étude de l'organisation des peuplements de macro- invertébrés, prenant en considération les traits de vie 12
   - 5.5. Analyses statistiques 16

Résultats et discussions 18

1. Vitesse du courant de l'eau et description des habitats disponibles dans les oueds du parc national de Belezma 18
2. Qualité physico-chimique de l'eau des oueds du parc national de Belezma 19
3. Biodiversité des invertébrés benthiques des cours d'eau du Parc National de Belezma 21
   - 3.1. Inventaire systématiques 21
   - 3.2. Structure et organisation des peuplements des macro-invertébrés benthiques du PNB 23
     - 3.2.1. Fréquences d'abondance des différents ordres d'invertébrés recensés 23
     - 3.2.2. Fréquences d'occurrence (constance) des populations de macro-invertébrés benthiques dans les cours d'eau du PNB 25
     - 3.2.3. Similitude entre la composition taxonomique des peuplements de macro-invertébrés benthiques des cours d'eau du PNB 26

3.3. Evaluation de la biodiversité 26
4. Evaluation de l'Indice biologique global normalisé (IBGN) 28
5. Impact des paramètres physico-chimiques de l'eau ainsi que de l'habitat sur les populations (taxons) d'invertébrés benthiques 29
6. Etude du schéma de distribution des peuplements de macro-invertébrés en fonction des variables physico-chimiques et de l'habitat ainsi que des traits de vie de la faune considérée . 30
Conclusion 36
Bibliographie 39
Annexe photographique

Liste des abréviations

ADE: Algérienne des eaux.

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydriques

CCA: Analyse Canonique des Coordonnées

CE: Conductivité électrique

Cl^-: Chlorures

GPS: Global Positioning System

IBGN: Indice Biologique Global Normalisé,

MAB: Man and Biosphere

NO_2^-: Nitrites

NO_3^-: Nitrates

NTU: Nephrometric Turbidity Unit

O. : Oued

O_2: Oxygène dissous

PNB : Parc National de Belezma

S : Salinité

SOM: Self Organization Model

SO_4^{2-}: Sulfates

TAC: Titre Alcalimétrique Complet

TDS : Total des Solides Dissous

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau 1	Caractéristiques générales des stations d'échantillonnage dans les quatre cours d'eau étudiés dans le Parc National de Belezma.	**7**
Tableau 2	Grille d'appréciation de la qualité de l'eau.	**12**
Tableau 3	Traits de vie des macro-invertébrés benthiques pris en considération lors de la présente étude (selon TACHET et *al*., 2014).	**12**
Tableau 4	Vitesse de l'eau et pourcentages en surfaces des principaux habitats des quatre oueds étudiés dans le parc national de Belezma (vitesse d'écoulement : 1 = très faible ; 2 = faible ; 3 = moyenne ; 4 = forte).	**18**
Tableau 5	Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des quatre oueds étudiés dans le parc national de Belezma.	**19**
Tableau 6	Liste systématique des espèces de macro-invertébrés benthiques des cours d'eau du Parc National de Belezma.	**21**
Tableau 7	Fréquences d'occurrence (C%) des différentes populations de macro-invertébrés benthiques recensés dans les cours d'eau du PNB.	**25**
Tableau 8	Indices de similitude de Sorenson (%) entre la composition taxonomique des peuplements de macro-invertébrés benthiques des quatre cours d'eau étudiées dans le PNB.	**26**
Tableau 9	Paramètres de structure et de diversité calculés pour les peuplements des macro-invertébrés benthiques dans les onze stations échantillonnées dans les cours d'eau du PNB (O1 = Oued Hamla, O2 = Oued Chaaba, O3 = Oued Bouilef, O4 = Oued El Ma ; S1 à S4 = Station 1 à Station 4).	**27**
Tableau 10	Paramètres de structure et de diversité calculés pour les peuplements des macro-invertébrés benthiques dans les quatre cours d'eau échantillonnées dans le PNB.	**27**
Tableau 11	Grille d'appréciation de la qualité de l'eau des 4 oueds étudiés dans le PNB.	**28**
Tableau 12	Tableau récapitulant les résultats de l'analyse par les SOM.	**35**

Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure 1	Réseau hydrographique général de la wilaya de Batna avec localisation des quatre cours d'eau étudiés sur le territoire du parc National de Belezma.	**5**
Figure 2	Fréquences en nombre des différents ordres de macro-invertébrés benthiques recensés globalement dans le PNB (histogramme en haut) et dans les quatre cours d'eau étudiés (A : O. Hamla, B : O. Chaaba, C : O. Bouilef, D : O. El Ma).	**24**
Figure 3	Nuages de points représentants les résultats de l'analyse canonique des corrélations ACC 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 4 cours d'eau du Parc National de Belezma.	**30**

Figure 4	Visualisation des paramètres physico-chimiques de l'eau sur le SOM formé par les groupes de stations les plus corrélées des cours d'eau étudiés. La valeur moyenne de chaque variable a été calculée dans chaque neurone de sortie du SOM formé. (a) Analyse du gradient des 12 paramètres physico-chimiques de l'eau sur le SOM formé, avec la visualisation à l'échelle d'ombrage (foncé = haute valeur, clair = faible valeur) ; (b) Distribution et regroupement des 11 stations échantillonnés sur la carte d'auto-organisation ''self-organizing map'' selon le gradient des paramètres physico-chimiques de l'eau.	**31**
Figure 5	Visualisation des 7 paramètres de l'habitat global sur le SOM formé par les groupes de stations les plus corrélées des cours d'eau étudiés. La valeur moyenne de chaque variable a été calculée dans chaque neurone de sortie du SOM formé. (a) Analyse du gradient des 7 paramètres de l'habitat sur le SOM formé, avec la visualisation à l'échelle d'ombrage (foncé = haute valeur, clair = faible valeur) ; (b) Distribution et regroupement des 11 stations échantillonnés sur la carte d'auto-organisation ''self-organizing map'' selon le gradient des paramètres de l'habitat.	**32**
Figure 6	Visualisation des 28 taxons recensés sur le SOM formé par les groupes de stations les plus représentatives (corrélées) des cours d'eau étudiés. La valeur moyenne de chaque variable a été calculée dans chaque neurone de sortie du SOM formé. (a) Analyse du gradient combiné (abondance/traits de vie) de chaque taxon de macro-invertébré recensé sur le SOM formé, avec la visualisation à l'échelle d'ombrage (foncé = haute valeur, clair = faible valeur) ; (b) Distribution et regroupement des 11 stations échantillonnés sur la carte d'auto-organisation ''self-organizing map'' selon le gradient des variables environnementales considérées. * : Représente le taxon le plus représentatif parmi les 28 taxons (probabilité d'occurrence la plus haute).	**33**

Liste des Annexes

Annexe 1	Détails des méthodes et appareillages des mesures physico-chimiques de l'eau étudiés.
Annexe 2	Valeur de l'IBGN selon la nature et la variété taxonomique de la macrofaune (AFNOR, 1992).
Annexe 3	Liste des 138 taxons utilisés (les 38 taxons indicateurs sont soulignes) (AFNOR, 1992).

Introduction

Les eaux sont très irrégulièrement réparties à la surface de la planète : 97 % du volume total s'accumule dans les océans, 2 % sur les continents, 0,6 % en phase solide dans les inlandsis polaires et les glaciers, enfin une part très modeste en phase gazeuse dans l'atmosphère (GHISLAIN, 2006).

La limnologie peut être définie comme la science des eaux continentales et des organismes qui y vivent. De nos jours, la limnologie s'intéresse à toutes les eaux intérieures, qu'elles soient douces ou saumâtres, stagnantes (lacs, étangs,…), courantes (ruisseaux, rivières...) ou souterraines (nappes, rivières souterraines...) et aux organismes de la flore et de la faune qui y sont liés ; elle examine l'ensemble des interactions entre les caractéristiques des milieux et ces organismes (DUSSART, 1966).

Parmi les applications des études de limnologie, l'évaluation de la qualité biologique des eaux courantes peut être effectuée par plusieurs méthodes d'approche classiques (biochimiques, toxicologiques, biocénotiques, …) et actualisées telles les études biocénotiques et plus exactement celles fondées sur les macro-invertébrés benthiques connus comme bio indicateurs (ANGELIER, 2000). D'après l'application des indices biologiques, le recensement des espèces dans les cours d'eau, par exemple, permet de conclure sur le degré de pollution. Par la présence ou l'absence, leur comportement ou leur disparition, les macro-invertébrés pourront donc nous renseigner sur la qualité de l'eau (RODIER, 2000).

Les premières recherches en Afrique du nord en limnologie datent du XIX^{ème} siècle avec les travaux de GAUTHIER sur la faune des eaux continentales d'Algérie et de Tunisie et VAILLANT sur la faune madicole 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), LOUNACI-DAOUDI (1996), THOMAS (1998), MEBARKI (2001), ZERGUINE et *al*., (2009), YASRI et *al*., (2013), MOUBAYED-BREIL et LOUNACI (2013).

De nos jours, la législation environnementale visant la surveillance, la gestion et la protection des écosystèmes d'eau douce repose sur des indicateurs biologiques permettant d'évaluer la santé de ces écosystèmes (STODDARD et *al.*, 2008; DOS SANTOS et *al.*, 2011). Les organismes nationaux et régionaux de suivi des cours d'eau fournissent une

importante masse de données spécifiques aux communautés biologiques et physico-chimiques de l'environnement associé (HARRIS et SILVEIRA, 1999a et 1999b ; PAULSEN et *al.*, 2008; MONDY et *al.*, 2012).

En effet, les caractéristiques biologiques des organismes vivants des eaux douces (taille du corps, statut trophique, etc.) sont potentiellement plus utiles que la structure taxonomique pour définir les schémas de distribution en se basant sur les conditions de référence des différentes écorégions concernées (BONADA et *al*., 2006), bien que les écologistes font traditionnellement usage de listes taxonomiques (BERNADET et *al*., 2013). Alors que la présence des espèces ne peut représenter qu'un élément de validité locale/régionale uniquement, les traits de vie reflètent les conditions environnementales et peuvent ainsi être partagés entre de nombreuses espèces simultanément (SOUTHWOOD, 1988, STATZNER et *al.*, 2001). Ces traits peuvent alors donner un meilleur aperçu des changements de l'habitat (DOLEDEC et *al*., 1999; STATZNER et *al*., 2004) et leur détermination nécessite généralement moins de connaissances taxonomiques, permettant ainsi l'exploitation d'innombrables informations pour des groupes faunistiques dont la taxonomie est peu connue (DOLEDEC et *al.*, 2000).

La plupart des travaux basées 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, 2007; 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.

Dans le bassin méditerranéen, les cours d'eaux sont caractérisés par une irrégularité des flux hydrologiques et des fluctuations brutales dues aux précipitations irrégulières et violentes. Le débit annuel est marqué par un maximum au printemps et en automne et un faible niveau d'eau sévère en été. On y trouve ainsi une large gamme de variabilité des conditions environnementales, liées non seulement aux inondations et aux sécheresses, mais également à la pression humaine de plus en plus accrue (GUIDECELLI et *al*., 1985).

C'est dans cet objectif connaissance bioécologique et d'évaluation environnementale, que nous avons entrepris ce travail qui se fixe plusieurs objectifs :

(1) caractériser la qualité physico-chimique de l'eau des oueds du Parc national de Belezma, 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 du PNB (3) mettre en évidence la qualité biologique et l'état de santé des eaux courantes du PNB 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 recensée.

Les résultats de cette pionnière contribueront certainement à l'enrichissement des connaissances sur la biodiversité des invertébrés aquatiques du PNB qui est très peu connue et trouveront leurs applications dans la conservation et la gestion des espèces et des espaces dans l'aire protégée du PNB.

Matériels et Méthodes d'étude

1. Description générale du parc national de Belezma (PNB) et des cours d'eau étudiés

Le parc national de Belezma (PNB) est une aire protégée créé par le décret n° 84-326 du 03 novembre 1984 (ANONYME, 2010). 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. 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 (ANONYME 2010). 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 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).

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^2) et en particulier du sous bassin versant de Sebkhet Ezzemoul (sous bassin N°07-03, surface : 560 km^2) (ANRH, 2001) (Fig. 1). 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.

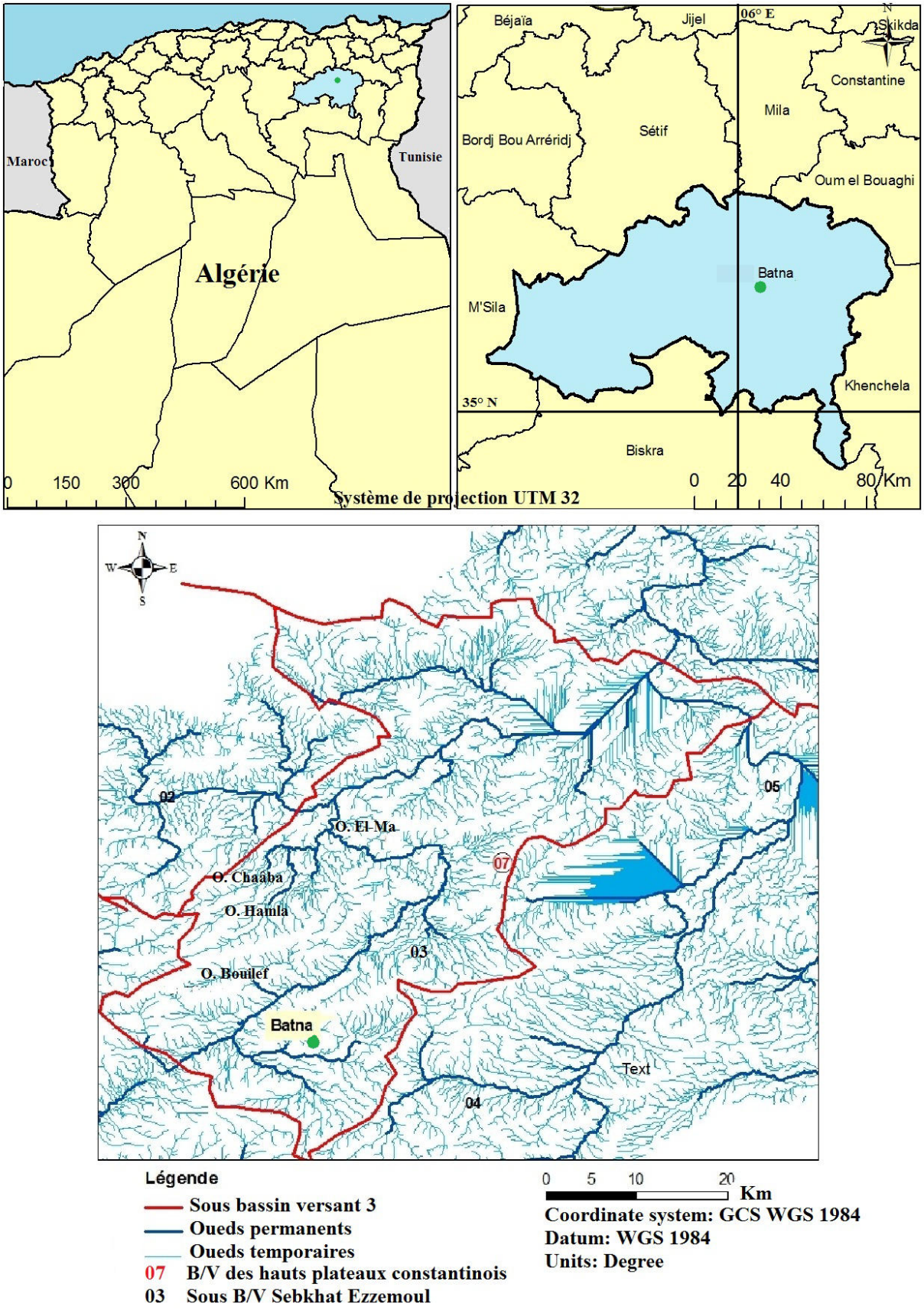


Figure 1. Réseau hydrographique général de la wilaya de Batna avec localisation des quatre cours d'eau étudiés sur le territoire du parc National de Belezma (BENZINA.I)

2. Choix et description des stations d'échantillonnage

L'exploration des cours d'eau ainsi que l'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques ont été réalisé au mois d'avril 2015, qui représente une période propice au développement de la faune aquatique.

Sur chacun des quatre oueds (cours d'eau) échantillonnés, nous avons exploré trois stations situées en amont, au milieu et en aval. Pour chacune de ces stations, nous notons l'altitude (m), les coordonnées géographiques (latitude, longitude) en utilisant un GPS (Type Garmin, Oregon 650).

Le débit de l'eau est caractérisé par la vitesse moyenne d'écoulement de l'eau et est mesurée en surface du cours axial à l'aide d'un flotteur relâché en dérive sur un espace connue. Le temps mis par le flotteur à parcourir cette distance permet de calculer la vitesse (HAOUCHINE, 2011).

Les relevés de la vitesse de l'eau sont classés selon l'échelle de Berg (HAOUCHINE, 2011):

- ✓ 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. 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 quatre cours d'eaux (Tableau1).

3. Analyses physico-chimiques de l'eau

Pour les analyses physico chimiques de l'eau, nous nous sommes intéressé à 12 paramètres : la température (T°) en °C, le pH, la turbidité (NTU : Nephrometric Turbidity Unit) et la conductivité électrique (Cond. en µs), mesurés *in-situ.* Les paramètres mesurés au laboratoire sont: la Salinité (S en %), les Nitrates (NO_3^- en mg/l), les Nitrites (NO_2^- en mg/l), l'Oxygène dissous (O_2 en mg/l), le total des solides dissous (TDS en mg/l), le Chlore (Cl^- en mg/l), le titre alcalimétrique complet (TAC en mg/l) et les Sulfates (SO_4^{2-} en mg/l).

Les échantillons d'eau prélevés sont 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).

Tableau 1. Caractéristiques générales des stations d'échantillonnage dans les quatre cours d'eau étudiés dans le Parc National de Belezma.

Oueds	Station	Altitude (m)	Longitude & Latitude	Habitats (substrats)	Occupation du sol
O. Hamla	1	1411	35°34'785" N 06°03'011" E	Sable grossier, galets, rochers.	Forêt
	2	1316m	35° 34' 808" N 6° 03' 814" E	Sable grossier, galets	Forêt
	3	1136m	35° 32' 914" N 6° 04' 926" E	Sable grossier, galets, rochers	Urbain
O. Chaaba	1	1345m	35° 33' 673" N 6° 00' 730" E	Sable grossier, galets, rochers	Forêt
	2	1303m	35° 33' 375" N 06° 00' 512" E	Sable fin, galets, rochers	Forêt
	3	1277m	35° 33' 124" N 06° 00' 402" E	Sable fin, rochers	Agriculture
O. Bouilef	1	1075 m	35° 37' 36" N 6° 11' 252" E	Sable grossier, galets, rochers	Forêt
	2	1043m	6° 11' 558" N 35° 36' 612" E	Sable fin, galets, rochers	Forêt
	3	1039m	35° 36' 499" N 6° 11' 650" E	Sable fin, galets, rochers	Urbain
O. El Ma	1	1440m	35° 35' 924" N 6° 02' 409" E	Sable fin, galets, rochers	Forêt
	2	1183m	35° 36' 988" N 6° 02' 184" E	Sable fin, galets, rochers	Agriculture
	3	1045m	35° 37' 277" N 6° 2' 232" E	galets, rochers	Agriculture

4. Echantillonnage des macro-invertébrés benthiques

Les macro-invertébrés ont été échantillonnés dans les mêmes 11 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.

Le prélèvement de la faune benthique, au niveau du sable fin et grossier, a été réalisé 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^2. 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 d'une surface de 1/20 du m^2. 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. Les échantillons de macro-invertébrés prélevés sont alors conservés au formol à 4% (TOURON-PONCET et *al.*, 2014).

Au laboratoire, les organismes collectés sont manipulés à l'aide d'une pince dans des boites de Pétri. Le tri et la détermination du matériel biologique récolté se fait à l`aide d`une loupe binoculaire en prélevant tous les organismes et en les séparant en grands groupes systémiques dans des tubes contenant de l'éthanol à 70%. Les invertébrés sont par la suite triés et déterminés en poussant l'identification à la famille, au genre mais rarement à l'espèce. Cet ensemble de données a été utilisé comme un développement d'abondance d'habitat.

5. Exploitation des données

5.1. Méthodes de calcul des paramètres de structure et d'organisation des populations et peuplements

- ✓ **Fréquence d'abondance (F)**

La fréquence d'abondance (**F**) ou fréquence centésimale représente correspond au pourcentage d'individus d'une espèce ($\mathbf{n_i}$) par rapport au total des individus recensés (**N**) d'un peuplement. Elle peut être calculée pour un prélèvement ou pour l'ensemble des prélèvements d'une biocénose (DAJOZ, 1985).

$$\mathbf{F = n_i / N}$$

- ✓ **Fréquence d'occurrence (indice de Constance)**

La constance ou indice de constance (**C**) est le rapport du nombre des relevés contenant l'espèce étudiée ($\mathbf{P_i}$), au nombre total des relevés (**P**) exprimé en pourcentage (DAJOZ, 1982).

$$\mathbf{C\ (\%) = P_i / P \times 100}$$

BIGOT et BIDOT (1973), distinguent des groupes d'espèces en fonction de leur fréquence d'occurrence :

- ✓ Les espèces constantes sont présentes dans 50% ou plus des relevés effectués.
- ✓ Les espèces accessoires sont présentes dans 25 à 49% des prélèvements.
- ✓ Les espèces accidentelles sont celles dont la fréquence est inférieure à 25%.
- ✓ Les espèces très accidentelles qualifiées de sporadiques, ont une fréquence inférieure à 10%.

- ✓ **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).

$$\mathbf{Q_S = (2c /a+b) \times 100}$$

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. Méthodes de calcul des paramètres et indices de diversité

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).

✓ **Richesse spécifique totale :**

Par définition ; la richesse spécifique 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).

✓ **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 :

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

$\mathbf{n_i}$: nombre d'individus de l'espèce de rang i

N: nombre total d'individus.

La diversité est minimale quand **α** tend vers le zéro et est maximale quand α tend vers ∞.

✓ **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):

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

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

N : nombre total d'individus des différentes espèces présentes

✓ **Indice de diversité de Shannon**

Cet indice symbolisé par la lettre **H'** fait appel à la théorie de l'information. La diversité est 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 et donnée par la formule suivante (BLONDEL, 1979 ; DAJOZ, 1985 ; MAGURRAN, 1988) :

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

Où : P_i représente le nombre d'individus de l'espèce i par rapport au nombre total d'individus recensés (**N**).

$$P_i = n_i / N$$

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 (MAGURRAN, 1988).

✓ **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

✓ **Indice de Pielou** (équirépartition des populations ou équitabilité)

L'indice d'équitabilité ou d'équirépartition (**E**) est le rapport entre la diversité calculée (**H'**) et la diversité théorique maximale (H_{max}) qui est représentée par le $\log_2$ de la richesse totale (**S**) (BLONDEL, 1979).

$$E = H'/ H_{max}$$

Où : **H'** est l'indice de Shanon : $H_{max} = \log_2 S$

Cet indice varie de zéro à un. Lorsqu'il tend vers zéro (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).

5.3. Méthode d'évaluation de la qualité biologique de l'eau (calcul de l'IBGN)

Les méthodes d'évaluation de la qualité biologique de l'eau sont multiples et permettent de détecter les probables impacts d'une perturbation quelconque. Dans le présent travail, nous avons porté notre choix sur le calcul de l'IBGN: l'Indice Biologique Global Normalisé. Cet indice permet d'évaluer la qualité hydro biologique de l'eau dans un point donné, par l'intermédiaire de la composition du peuplement d'invertébrés benthiques qui y vivent. L'IBGN varie en fonction de la qualité physico-chimique de l'eau, il est influencé particulièrement par la pollution organique et chimique, mais aussi par la nature des substrats et des conditions climatiques (HAOUCHINE, 2011).

L'Indice Biologique Global constitue ainsi une information synthétique exprimant l'aptitude d'un cours d'eau au développement des invertébrés benthiques toutes causes confondues. Il accède un classement objectif des qualités biogènes de sites appartenant à des systèmes différents, naturels, modifiés, artificiels ou diversement dégradés (VERNEAUX et COLL, 1982).

Une fois le tri des macro-invertébrés est réalisé et la liste faunistique est établie, on déterminera :

- La variété taxonomique de l'échantillon ($\sum t$), c'est-à-dire le nombre total de taxons identifiés, quel que soit le nombre d'individus trouvés par taxon.
- Le groupe faunistique indicateur (G.I., ou groupe repère : GR) le plus "polluo-sensible" c'est-à-dire le taxon indicateur ayant une présence significative sur la station (au moins 3 ou 10 individus selon les taxons) et possédant l'indice le plus élevé possible.
- L'IBGN est alors calculé à partir d'un tableau d'analyse à double-entrée : en abscisses des classes de variétés taxonomiques (classe 1 à 14) et en ordonnées, des groupes faunistiques indicateurs, aménagés par ordre décroissant (indice 9 à 1) de sensibilité aux pollutions (Annexe1).

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 2).

Tableau 2 : Grille d'appréciation de la qualité de l'eau (AFNOR 1992).

IBGN	≥ 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.					

5.4. Méthode d'étude de l'organisation des peuplements de macro-invertébrés, prenant en considération les traits de vie

Les traits de vie fondamentaux de la faune étudiée (biologie, physiologie et écologie) sont subdivisés en un ou plusieurs traits secondaires, et pour chacun de ces derniers des modalités ont été définies en utilisant un système de codage flou (CHEVENET et *al.*, 1994 ; DOLEDEC et STRATZNER, 1999). Dans ce système de codage, pour un trait donné, une valeur 0 indique l'absence d'affinité d'un taxon avec la modalité, une valeur 1 une faible affinité, une valeur 2 une affinité moyenne et une valeur 3 ou > à 3 correspond à une faible affinité (Tableau 3) (TACHET et *al.*, 2014).

Tableau 3. Traits de vie des macro-invertébrés benthiques pris en considération lors de la présente étude (selon TACHET et *al.*, 2014)

N°	Traits	Code de la modalité	Nature de la modalité
1	Taille maximale (mm)	1	<2,5
		2	2,5-5
		3	5-10
		4	10-20
		5	20-40
		6	40-80
		7	<80
2	Cycle vital (durée)	1	≤1 an
		2	>1 an
3	Nombre générations/an	1	<1
		2	1
		3	>1
4	Stade aquatique	1	œuf
		2	larve
		3	nymphe
		4	adulte
5	Reproduction (sexuée et asexuée)	1	ovoviviparité + soin aux jeunes
		2	œufs isolés, libres
		3	œufs isolés, fixés
		4	pontes (cimentées ou fixées)
		5	pontes, libres
		6	pontes endophytiques
		7	pontes terrestres

		8	reproduction asexuée
		9	parthénogenèse
6	Dispersion	1	aquatique passive
		2	aquatique active
		3	aérienne passive
		4	aérienne active
7	Forme de résistance	1	œufs, gemmules, statoblastes, coques
		2	cocons
		3	logette contre dessiccation
		4	diapause ou quiescence
		5	aucune
8	Type de nourriture	1	sédiments fins + micro-organismes
		2	débris <1 mm
		3	débris végétaux > 1 mm
		4	microphytes vivants
		5	macrophytes vivants
		6	animaux morts > 1 mm
		7	microinvertébrés vivants
		8	macroinvertébrés vivants
		9	vertèbres
9	Mode d'alimentation	1	absorption a travers les téguments
		2	mangeur de sédiments fins
		3	broyeurs
		4	racleur, brouteur
		5	filtreur
		6	perceur (algivore ou prédateur suceur)
		7	prédateur (découpeur ou avaleur)
		8	parasite
10	Respiration	1	tégument
		2	branchies
		3	plastron
		4	stigmates (respiration aérienne)
		5	vésicules hydrostatistiques
11	Température	1	sténotherme : psychrophile (<15°c)
		2	sténotherme : thermophile (>15°c)
		3	eurytherme
12	Ph	1	<4
		2	4-4,5
		3	4,5-5
		4	5-5,5
		5	5,5-6
		6	>6
13	Degré de trophie	1	oligotrophe
		2	mésotrophe
		3	eutrophe
14	Valeur saprobiale	1	xénosaprobe
		2	oligosaprobe
		3	béta mésosaprobe
		4	alpha mésosaprobe
		5	polysaprobe
15	Salinité	1	eau douce
		2	eau saumâtre
16	Mode de locomotion en relation de substrats	1	Vol
		2	nageur en surface

		3	nageur en pleine eau (plancton, necton)
		4	rampant
		5	fouisseur (épibenthique)
		6	endobenthique (interstitiel)
		7	fixation temporaire
		8	fixation permanente
17	Courant	1	nul
		2	lent (< 25 cm/s)
		3	moyen (25-50 cm/s)
		4	rapide (>50 cm/s)
18	Micro-habitats (Préférendum)	1	dalles, blocs, pierres, galets
		2	graviers
		3	sable
		4	limon
		5	macrophytes, algues filamenteuses
		6	microphytes
		7	branches, racines
		8	litières
		9	vase

TACHET et *al*. (2014), citent un ensemble de 22 traits de vie dont nous énumérons ci-dessous les 18 traits pris en considération lors de cette étude.

✓ **Traits liés à la biologie**

- Trait 1 : Taille maximale

La taille considérée est celle qui est atteinte au dernier stade en milieu aquatique. Pour ce trait sept modalités ont été définies.

- Trait 2 : Nombre de générations par an

Pour les insectes, l'information apportée par ce trait est en partie redondante avec le trait du cycle vital, en revanche pour les autres macro-invertébrés, l'information apportée vient compléter celle du trait du cycle vital. Trois modalités ont été définies.

- Trait 3 : Cycle vital

Le cycle vital des macro-invertébrés varie de quelques semaines (Diptères du groupe des Simuliidae) à plusieurs décennies.

- Trait 4 : Stade aquatique

Certains organismes passent tout leur cycle vital en milieu aquatique (holobiotique), d'autres ne sont présents qu'à certains stades (amphibiotique).

- Trait 5 : Reproduction (sexuée et asexuée)

Ce trait intègre les deux types de reproduction : sexuée et asexuée. Pour prendre en compte ces différents aspects, neuf modalités ont ainsi été définies.

- Trait 6 : Dispersion

La dispersion des invertébrés peut être aquatique et passive ; elle peut cependant être active, notamment pour des organismes occupant des milieux à courant lent ou nul.

- Trait 7 : Forme de résistances

Lorsque les conditions deviennent défavorables, notamment en périodes hivernales ou estivales, certains macro-invertébrés ont développé des stratégies de survie.

- Trait 8 : Type de nourriture

La nourriture peut être constituée d'éléments organiques (en majorité d'origine végétale) et de micro-organismes. Ces éléments seront séparés en fonction de leur taille en trois modalités.

- Trait 9 : Mode d'alimentation

Huit modalités ont été retenues pour ce trait (absorbeurs, mangeurs de sédiments fins, broyeurs, racleurs et brouteurs de substrat, filtreurs, perceur, prédateurs, parasites).

- ✓ **Traits liés à la physiologie**

- Trait 10 : Respiration

En raison de la diversité des macro-invertébrés, les modes respiratoires sont très variés (cinq modalités). Cette respiration peut se faire : directement à travers les téguments pour les organismes primitifs ; grâce à des branchies ''sanguine'' ; grâce à des branchies trachéennes ; grâce à des stigmates ; grâce à un plastron respiratoire.

- Trait 11 : Température

On peut distinguer deux types d'organismes en fonction de leur relation avec la température : des organismes eurythermes, capables de résister à des variations importantes de température et des organismes sténothermes, qui ne peuvent supporter que des variations de température de faible amplitude.

- Trait 12 : pH

Selon le substratum (calcaire ou cristallin) et aussi sous l'action de l'Homme (pluies acides), les eaux sont plus ou moins acides. Comme pour la température, certains organismes sont euryèces ou sténoèces.

- Trait 13 : Valeur saprobiale

Les différentes espèces de macro-invertébrés sont classées en fonction de leur polluo-résistance à une pollution organique, cette polluo-résistance étant déterminée à partir d'observations de terrain et/ou d'expériences de laboratoire.

- Trait 14 : Degré de trophie

En fonction de nombreux paramètres liés à la chimie de l'eau (et notamment la teneur en azote et phosphore), on peut distinguer des eaux eutrophes où ces deux composants sont abondants, des eaux oligotrophes où ces deux composants sont rares, et enfin des eaux mésotrophes où les teneurs de ces deux composants ont des valeurs intermédiaires.

- Trait 15 : Salinité

Les organismes que nous étudions sont d'eau douce.

✓ **Traits liés à l'écologie**

- Trait 16 : Mode de locomotion et relation avec le substrat

Les organismes peuvent être libres ou fixés (même temporairement).

- Trait 17 : Courant

En fonction de la vitesse du courant, 4 modalités ont été définies.

- Trait 18 : Microhabitats (préférendum)

Les différents types de microhabitat sont répartis en neuf modalités (voir tableau 3).

5.5. Analyses statistiques

✓ **Analyse canonique des corrélations (CCA)**

L'analyse canonique des corrélations ou analyse des corrélations canoniques (CCA ou encore ACC) est une méthode de statistique descriptive multidimensionnelle qui présente des analogies à la fois avec l'analyse en composantes principales (ACP), pour la construction et l'interprétation de graphiques, et avec la régression linéaire, pour la nature des données (ANONYME 2015).

L'objectif général de CCA et d'explorer les relations pouvant exister entre deux groupes de variables quantitatives observées sur le même ensemble d'individus. L'étude des relations entre deux groupes de variables constitue la principale particularité de CCA par rapport à l'ACP. De ce point de vue, la CCA est d'avantage proche de la régression linéaire multiple (explication d'une variable quantitative par un ensemble d'autres variables quantitatives), méthode dont elle constitue, d'ailleurs, une généralisation (ANONYME 2015).

Nous avons appliqué cette méthode statistique afin de rechercher les relations probables pouvant exister entre d'une part, les caractéristiques abiotiques du milieu : 12 paramètres physico-chimiques de l'eau (voir ci-dessus) et 7 paramètres caractérisant l'habitat global (altitude, débit, occupation du sol et les 4 types de substrat/habitat observés) et d'autre

part, l'effectif des différents taxons de macro-invertébrés recensés au niveau des 11 stations d'échantillonnage.

✓ **Analyse par les réseaux de neurones (Self-Organization Model, SOM)**

Afin d'étudier les modalités de variation des caractéristiques environnementales des 11 stations échantillonnées, nous avons pris en considération tour à tour, les 12 paramètres physico-chimiques de l'eau (voir plus haut) et les 7 paramètres caractérisant l'habitat global (altitude, débit, occupation du sol et les 4 types de substrat observés).

Pour la macrofaune invertébrée benthique, nous avons utilisé 18 traits biologiques couvrant 56 ''modalités'' du total des 96 modalités que recouvrent l'ensemble des traits biologiques considérés. L'attribution d'un trait biologique et d'une catégorie donnée a été appliquée à l'ensemble des 28 taxons recensés dans les 11 stations échantillonnées (RESH et *al*., 1994; STATZNER et *al*., 1997 ; USSEGLIO-POLATERA et *al*., 2000; GAYRAUD et *al*., 2003; BECHE, 2005, Tableau 2). Les traits recommandés pour caractériser les taxons recensés ont été déterminés à la base de la liste de référence établie par TACHET et *al*., (2014) (voir plus haut). Ils conviennent grossièrement à ceux de la macrofaune invertébrée des régions méditerranéennes. Ces traits ont été codés au niveau du taxon considéré lors de l'identification, qui est principalement le genre (19 genres, 6 familles et 3 espèces).

La procédure complète de la modélisation du Self Organisation Model ''SOM'' a été rapportée dans CEREGHINO et *al*., (2008). La structure du SOM est composée de deux couches de neurones connectés par des poids (intensités de connexion): la couche d'entrée constituée par 28 neurones (une par taxon) reliés aux 11 stations, et la couche de sortie constituée par 15 neurones (visualisé comme cellules hexagonales) organisée sur un tableau avec cinq lignes et trois colonnes. Le SOM trace les similitudes des données dans une grille 2D, en regroupant les éléments de données similaires ensemble à travers un processus d'apprentissage itératif.

À la fin de la formation des clusters, l'intensité de la connexion entre les couches d'entrée et de sortie calculées au cours du processus d'apprentissage qui peut être considérée comme la probabilité d'occurrence de chaque taxon dans la station concernée (CEREGHINO et *al*., 2005). Les probabilités d'occurrence de chaque taxon ont été visualisées sur la carte du SOM en nuance de gris, permettant ainsi d'analyser l'effet de chaque taxon sur l'ensemble des données d'entrée (station). L'analyse par le SOM a été effectuée à l'aide de l'algorithme de Ward (LEROY et *al*., 2009).

Résultats et discussions

1. Vitesse du courant de l'eau et description des habitats disponibles dans les oueds du parc national de Belezma

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 (Tableau 4).

La vitesse de l'écoulement de l'eau est généralement très faible à moyenne. Seul le cas de la station 1 de l'oued Chaaba présente un écoulement fort (Tableau 4).

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 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.

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 (Tableau 4).

Tableau 4. Vitesse de l'eau et pourcentages en surfaces des principaux habitats des quatre oueds étudiés dans le parc national de Belezma (vitesse d'écoulement : 1 = très faible ; 2 = faible ; 3 = moyenne ; 4 = forte).

Oued	**Oued Hamla (1)**			**Oued Chaaba (2)**			**Oued Bouilef (3)**			**Oued El Ma (4)**		
Station	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Vitesse de l'eau	1	2	2	4	3	2	3	2	1	3	2	1
Sable fin (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	70,00	25,00	0,00	25,00	70,00	35,00	15,00	0,00
Sable grossier (%)	45,00	95,00	5,00	90,00	0,00	0,00	50,00	0,00	0,00	0,00	15,00	0,00
Galet (%)	10,00	5,00	90,00	5,00	15,00	30,00	20,00	65,00	20,00	35,00	40,00	70,00
Rochers (%)	45,00	0,00	5,00	5,00	15,00	45,00	30,00	10,00	10,00	30,00	30,00	30,00

Les stations à galets dominent généralement dans les quatre cours d'eau. Dans la station 2 de O. Hamla et la station 1 de l'O. Chaaba, c'est le sable grossier qui domine.

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). La même chose est signalée pour le type du 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), 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. Qualité physico-chimique de l'eau des oueds du parc national de Belezma

Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau des quatre 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 12 paramètres (Tableau 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 7,29 à 8,50 alors que les nitrates et les nitrites ne figurent que par des teneurs infimes (Tableau 5).

Tableau 5. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des quatre oueds étudiés dans le parc national de Belezma.

Oued	**Oued Hamla**			**Oued Chaaba**			**Oued Bouilef**			**Oued El Ma**		
Station	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
pH	8,12	8,09	8,50	8,11	8,04	8,04	7,46	7,50	7,51	7,40	7,29	7,30
Conductivité (µs/cm)	603	602	819	605	572	672	813	747	725	700	590	651
TDS (mg/l)	291	290	395	291	276	325	392	360	349	338	284	314
Salinité (%)	0,20	0,20	0,30	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,20
Turbidité (NTU)	2,80	2,80	5,66	4,13	4,53	5,45	9,11	3,97	5,29	6,08	22,00	7,12
TAC (°F)	26,10	25,03	27,20	26,20	23,80	24,50	24,00	19,30	18,60	33,60	28,40	35,00
[Cl^-] (mg/l)	1,00	1,00	1,00	0,50	0,40	0,40	0,90	1,00	1,00	0,50	0,50	0,60
[$SO4^{--}$] (mg/l)	68,89	60,83	103,93	73,94	70,09	94,35	36,61	33,28	36,76	10,41	12,41	5,91
[$NO3^-$] (mg/l)	0,21	0,49	0,00	0,22	0,50	0,32	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00	0,00
[$NO2^-$] (mg/l)	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
O_2	2,41	2,34	2,34	1,99	1,99	2,38	2,60	2,54	2,64	2,54	2,08	2,02

Le pH de l'eau permet de classer celle-ci en trois catégories selon l'échelle adoptée par HECKER et *al.*, (1996): eau acide (pH < 5,5) ; eau neutre (pH = 5,5 à 7,4) ; eau alcaline (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 8,12 à 8,50. Sa variation dans l'O. Chaaba est presque similaire avec un pH alcalin allant de 8,11 à 8,04, 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, 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 0,20% et 0,30%, 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 2,8 à 22 NTU. Ces valeurs indiquent que les quatre cours d'eau étudiés sont d'une eau claire. 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. Environnement Protection Agency ; l'intensité de la turbidité permet de classer l'eau suivant les normes ci-après (ANONYME, 1978) :

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: O1S3, O3S1, O3S2, O3S3, O4S2 et O4S3. Certains auteurs ont montré que les nitrates sont en relation avec le régime pluviométrique (BEN REJEB, 1989; TURKI, 2002).

3. Biodiversité des invertébrés benthiques des cours d'eau du Parc National de Belezma

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

3.1. Inventaire systématiques

L'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques nous a permis de dresser une liste systématique de l'ensemble des espèces identifiées. Cet inventaire englobe un total de 28 genres/espèces répartis sur 3 embranchements, 5 classes, 11 ordres et 23 familles différentes (Tableau 6).

Tableau 6. Liste systématique des espèces de macro-invertébrés benthiques des cours d'eau du Parc National de Belezma

Embranchemet	**Classe**	**Ordre**	**Famille**	***Genre/ Espèce***
Annelida	Clitellata	Oligochaeta	Lumbriculidae	Lumbriculidae ind
	Clitellata	Hirudinida	Hirudidae	*Hirudo medicinalis*
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Lymnaeidae	*Lymnaea sp*
	Bivalvia	Veneroida	Sphaeriidae	*Pisidium sp*
Arhropoda	Crustacea	Amphipoda	Gammaridae	*Gammarus sp*
	Insecta	Ephemeroptera	Ameletidae	*Ameletus inopinatus*
			Baetidae	*Acentrella sp*
			Caenidae	*Caenis sp*
			Heptageniidae	*Ecdyonurus sp*
				Epeorus sp
				Heptagenia sp
			Leptophlebiidae	*Leptophlebia sp*
		Plecoptera	Capniidae	*Capnioneura sp*
		Heteroptera	Gerridae	*Gerris lacustris*
		Coleoptera	Hydrophilidae	*Hydrophilus sp*
			Scirtidae	*Hydrocyphon sp*
				Cyphon sp

	Trichoptera	Brachycentridae	*Brachycentrus sp*
		Hydropsychidae	*Hydropsyche sp*
			Cheumatopsyche sp
	Diptera	Chaoboridae	*Chaoborus sp*
		Chironomidae	*Chironomus sp*
			Podonominae ind
		Simuliidae	Simuliidae ind
		Limoniidae	Limoniidae ind
		Stratiomyidae	Stratiomyidae ind
		Dixidae	*Dixa sp*
		Thaumaleidae	Thaumaleidae ind

L'identification de ces invertébrés est poussée dans la majorité des cas à la famille et au genre. Seules trois espèces sont entièrement déterminées, il s'agit de : *Hirudo medicinalis, Aneletus inopinatus et Gerris lacustris.* Ceci est principalement dû à l'absence de spécialistes en la matière et de clés d'identification poussée.

La région d'étude de par son relief et sa topographie, offre ainsi une plus au moins grande diversité aquatique. Les ordres d'éphéméroptères et de diptères regroupent le nombre le plus élevé de genres/espèces. Les diptères rassemblent 7 familles et 8 genres alors que les éphéméroptères regroupent 4 familles et 6 genres. La majorité des autres familles ne sont notées que par une ou deux familles seulement. La présence importante des diptères et des éphéméroptères dénote de la capacité de ces espèces de résister aux conditions de l'environnement très variables, tandis que les autres seraient apparemment moins tolérants.

Par ailleurs, il est utile de souligner que le présent inventaire, malgré qu'il soit partiel et mené dans un laps de temps court, représente un certain enrichissement des connaissances sur les macro-invertébrés du PNB, étant donné que les quasis majorités des espèces/genres identifiées ici sont signalés pour la première fois, ceci permettrait d'enrichir la biodiversité connue du parc.

Les études (BOUZIDI et GUIDECELLI, 1994 ; GAGNEUR et ALIANE, 1991; BOUMAIZA, 1994; LOUNACI et *al*., 2000; BERRAHOU et *al*., 2001) ont mis en évidence la faible diversification des peuplements dans les écosystèmes continentaux d'Afrique du Nord. En effet, la plupart des familles et des genres sont pauvres en espèces : *Baetidae, Heptageneidae, Capniidae*…, par contre ces taxons ont une grande variété spécifique dans les réseaux hydrographiques européens. La faiblesse relative de cette diversité serait ainsi en relation avec les températures plus élevées qu'en Europe et les précipitations plus faibles.

En outre, les variations de la biodiversité des invertébrés aquatiques sont principalement dues aux caractéristiques mésologiques des stations, telles que la nature du substrat, la vitesse du courant, la température de l'eau (HYNES, 1971 ; LAVANDIER, 1979) et les caractéristiques chimiques de l'eau (GAGNEUR et THOMAS, 1988).

3.2. Structure et organisation des peuplements des macro-invertébrés benthiques du PNB

3.2.1. 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 quatre oueds étudiés ainsi que celle de la communauté globale, nous avons établi des histogrammes représentant les fréquences d'abondances de chaque ordre inventorié (Fig. 2).

Nous notons que globalement les diptères (36,85%), les trichoptères (20,92%) ainsi que les éphéméroptères (16,73%) 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. 2).

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

- ✓ A O. Hamla (Fig. 2A): l'ordre le mieux représenté est celui des plécoptères avec 76,19 %, les hirudinées, éphéméroptères et diptères sont très peu représentés. Les plécoptères, sont également représentés en faibles proportions.
- ✓ A O. Chaaba (Fig. 2B): les peuplements les mieux représentés sont les éphéméroptères (31,2 %) et les diptères (24,0%), suivies des plécoptères, des hétéroptères, des coléoptères et des trichoptères.
- ✓ A O. Bouilef (Fig. 2C): ce sont les trichoptères et les éphéméroptères qui sont les mieux représentés avec des taux respectifs de 58,0 % et 24,0 %. Les amphipodes, coléoptères et diptères sont très peu représentés.
- ✓ A O. El Ma (Fig. 2D), avec 74 % de l'effectif total des invertébrés recensés, les diptères représentent la majorité écrasante laissant loin derrière les amphipodes avec 14,14%.

Cette variation de la dominance en nombre des différents groupes taxonomiques serait en relation avec l'abondance naturelle de ces derniers, tels les insectes parmi les autres classes recensées, ainsi qu'à la difficulté de reconnaissance taxonomique des groupes échantillonnés. En outre, l'abondance des différents groupes faunistiques recensés présenterait des indications sur les aptitudes qu'auraient ces animaux à fréquenter en grands nombre certains types de

milieu par rapport à d'autres. Selon MOUBAYED (1986), les diptères, par exemple, se caractérisent par leur grande diversité, ils possèdent non seulement une large distribution altitudinale, mais aussi une grande capacité de coloniser divers biotopes pollués ou non pollués. Les plécoptères sont très intéressants dans les études de biogéographie en raison de leur ancienneté (CONSEGLIO, 1963).

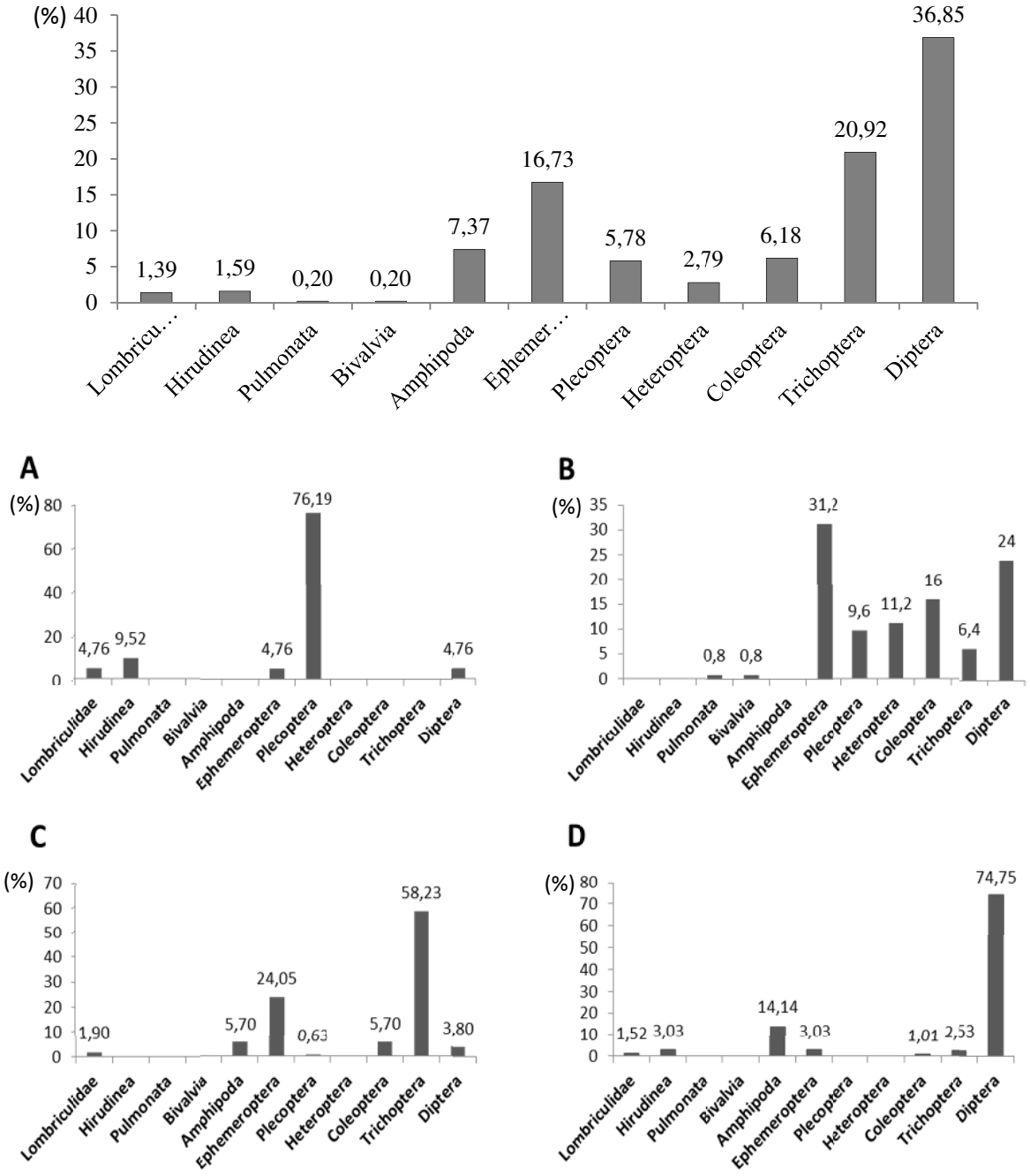


Figure 2. Fréquences en nombre des différents ordres de macro-invertébrés benthiques recensés globalement dans le PNB (histogramme en haut) et dans les quatre cours d'eau étudiés (A : O. Hamla, B : O. Chaaba, C : O. Bouilef, D : O. El Ma).

3.2.2. Fréquences d'occurrence (constance) des populations de macro-invertébrés benthiques dans les cours d'eau du PNB

Afin de donner un aperçu comparatif des fréquences de constance des populations de macro-invertébrés recensés dans les quatre oueds du PNB, nous avons établi le tableau suivant représentant les fréquences d'occurrence de chaque espèce lors du prélèvement de chaque taxon recensé (Tableau 7).

Tableau 7. Fréquences d'occurrence (C%) des différentes populations de macro-invertébrés benthiques recensés dans les cours d'eau du PNB

Espèce	C (%)	Echelle de Constance
Lumbriculidae ind	45,45	Accessoire
Hirudo medicinalis	18,18	Accidentelle
Lymnaea sp	9,09	Très accidentelle
Pisidium sp	9,09	Très accidentelle
Gammarus sp	27,27	Accessoire
Aneletus inopinatus	9,09	Très Accidentelle
Acentrella sp	45,45	Accessoire
Caenis sp	36,36	Accessoire
Ecdyonurus sp	54,55	Constante
Epeorus sp	36,36	Accessoire
Heptagenia sp	18,18	Accidentelle
Leptophlebia sp	27,27	Accessoire
Capnioneura sp	45,45	Accessoire
Gerris lacustris	9,09	Très Accidentelle
Hydrophilus sp	27,27	Accessoire
Hydrocyphon sp	36,36	Accessoire
Cyphon sp	36,36	Accessoire
Brachycentrus sp	9,09	Très accidentelle
Hydropsyche sp	54,55	Constante
Cheumatopsyche sp	45,45	Accessoire
Chaoborus sp	9,09	Très accidentelle
Chironomus sp	18,18	Accidentelle
Podonominae ind	27,27	Accessoire
Simulinae ind	27,27	Accessoire
Limoniidae ind	9,09	Très accidentelle
Stratiomyidae ind	9,09	Très accidentelle
Dixa sp	9,09	Très accidentelle
Thaumaleidae ind	27,27	Accessoire

La fréquence de constance montre que les taxons observés sont majoritairement accessoires à très accidentelles. Nous notons seulement deux taxons ayant une fréquence d'occurrence supérieure à 50 % (constants) et ont donc une répartition cosmopolite, il s'agit

de *Ecdyonurus sp* et d'*Hydropsyche sp.* 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.

3.2.3. Similitude entre la composition taxonomique des peuplements de macro-invertébrés benthiques des cours d'eau du PNB

Nous avons comparé la composition taxonomique des peuplements des macro-invertébrés benthiques composants les quatre oueds étudiés en les rassemblant deux par deux. Les indices de similitude ainsi calculés sont rapportés dans le Tableau 8.

Tableau 8. Valeurs de l'indice de similitude de Sorenson (%) entre la composition taxonomique des peuplements de macro-invertébrés benthiques des quatre cours d'eau étudiées dans le PNB

	Oued Hamla	Oued Chaaba	Oued Bouilef	Oued El Ma
O. Hamla	100			
O. Chaaba	23,08	100		
O. Bouilef	27,27	38,46	100	
O. El Ma	36,36	26,67	46,15	100

L'indice de similitude calculé entre les oueds étudiés, pris deux à deux, est dans tous les cas présentés inférieur à 50%. Le taux de ressemblance le plus élevé est noté entre O. Bouilef et O. El Ma avec 46,15 % de ressemblance, alors que la plus petite valeur est notée entre O. Hamla et 0. Chaaba avec 23,08 %. Ceci dénote une différence de composition taxonomique entre les 4 oueds.

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 physico-chimie 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.

3.3. Evaluation de la biodiversité

Nous avons calculé pour chaque communauté de macro-invertébrés 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 et de Pielou. Ces valeurs calculées pour les 11 stations étudiées sont rapportées dans le Tableau 9.

Tableau 9. Paramètres de structure et de diversité calculés pour les peuplements des macro-invertébrés benthiques dans les onze stations échantillonnées dans les cours d'eau du PNB (O1 = Oued Hamla, O2 = Oued Chaaba, O3 = Oued Bouilef, O4 = Oued El Ma ; S1 à S4 = Station 1 à Station 4).

Indice/Paramètre	O1S2	O1S3	O2S1	O2S2	O2S3	O3S1	O3S2	O3S3	O4S1	O4S2	O4S3
Effectif total (N)	20	1	39	18	68	32	67	59	42	3	153
Richesse totale (S)	4	1	12	7	14	7	11	13	7	1	5
Margalef (α)	1,00	0	3,00	2,07	3,08	1,73	2,37	2,94	1,60	0	0,79
Berger-Parker (D')	0,85	1	0,38	0,44	0,29	0,53	0,59	0,66	0,73	1	0,92
Shannon (H')	1,10	0	2,30	1,87	2,44	1,73	1,98	1,96	1,56	0	0,63
Brillouin (HB)	0,90	0	1,93	1,47	2,15	1,47	1,75	1,69	1,35	0	0,59
Pielou (E)	0,79	0	0,92	0,96	0,92	0,89	0,82	0,76	0,80	0	0,39

Les valeurs de H', de E et l'indice de Margalef dans les 11 stations échantillonnées varient respectivement entre : $0,63 < H' < 2,44$; $0,79 <$ Margalef $< 3,08$; $0,39 < E < 0,96$. La station 3 de l'Oued 1 (O. Hamla), en aval du village de Condorcet présente une diversité pratiquement nulle, étant donné qu'un seul spécimen d'invertébré a été échantillonné. 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'= 0,63 Margalef = 0,79 et E= 0,39). Le taxon le plus abondant en effectifs est représenté par les larves de diptères qui dominent, donnant ainsi la plus faible équitabilité calculés (E = 0,39) (Tableau 9). 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.

Nous avons également calculé la richesse totale, les indices de diversité et l'équirépartition pour les peuplements des macro-invertébrés benthiques, d'une manière globale pour les 4 oueds prospectés (Tableau 10).

Tableau 10. Paramètres de structure et de diversité calculés pour les peuplements des macro-invertébrés benthiques dans les quatre cours d'eau échantillonnées dans le PNB

Indice/Paramètre	O. Hamla	O. Chaaba	O. Bouilef	O. El Ma
Effectif total (N)	21	125	158	198
Richesse totale (S)	5	22	16	11
Margalef (α)	1,31	4,34	2,96	1,891
Berger-Parker (D')	0,80	0,17	0,54	0,73
Shannon (H')	1,31	2,84	2,13	1,36
Brillouin (HB)	1,07	2,57	1,97	1,27
Pielou (E)	0,81	0,91	0,77	0,56

Même si l'effectif total du peuplement recensé dans l'O. Chaaba est de 125 individus seulement (2ème position après O. El Ma), la richesse totale y est la plus élevée (22 taxons). Les valeurs des indices de diversité y sont également les plus élevées (H'= 2,84, Margalef = 4,34 et E = 0,91) traduisant une assez bonne diversité des peuplements avec une représentation équilibrée des différents taxons, sans dominance apparente en nombre de l'un d'eux (bonne équirépartition). Notons, que ce sont les larves de diptères et des éphéméroptères qui y sont les plus abondants. A cet effet, il apparait que l'O. Chaaba serait le plus prémuni des aléas climatiques (grâce à l'altitude et le relief) et de la pression humaine (absente dans les stations étudiées). Cet Oued renfermerait une diversité plus riche qui mériterait d'être mieux explorée et protégée.

4. Evaluation de l'Indice biologique global normalisé (IBGN)

Afin de statuer sur la qualité hydrobiologique générale des 4 oueds étudiés, nous avons calculé les valeurs de l'IBGN chacun de ces oueds avec classification de la qualité de ces eaux (Tableau 11).

Tableau 11. Grille d'appréciation de la qualité de l'eau des 4 oueds étudiés dans le PNB

Oued	Diversité	GI	Valeur IBGN	Classe de qualité	Qualité de l'eau
Oued Hamla	5	8	9	2	Moyenne
Oued Chaaba	8	8	10	2	Moyenne
Oued Bouilef	8	8	10	2	Moyenne
Oued El Ma	7	5	9	2	Moyenne

La qualité hydro biologique de l'eau dans les 4 cours d'eau étudiés est qualifiée de moyenne (IBGN entre 9 et 10, classe de qualité 2), alliant une faible variété faunistique (entre 5 et 8 taxa selon les oueds) ce qui entrainerait une limitation de la valeur de l'IBGN. Un groupe indicateur de 5 pour O. El Ma et 8 pour les 3 oueds de Hamla, Chaaba et Bouilef, indiquant une légère altération de la qualité de l'eau.

Les familles présentes en abondance sont en effet peu exigeantes vis-à-vis de la qualité de l'eau et du milieu, elles appartiennent à des groupes plus ou moins polluo-résistants tel que les éphéméroptères (HAOUCHINE, 2011). La proximité de certaines stations échantillonnées près de la route ou des habitations, les exposeraient beaucoup plus à l'influence permanente des rejets ponctuels issus des villages et des exploitations avoisinants. Toutefois, la dégradation qui en résulte est limitée puisqu'on obtient une classe de qualité moyenne et non médiocre ou mauvaise. Les cours d'eau du PNB présentent donc une qualité hydro biologique

moyenne, acceptable mais qui mérite d'être surveillée et suivie. Le contrôle permanent de certaines sources de pollution contribuerait certainement à avoir une eau de ''bonne'' qualité, notamment dans les zones de montagne, en altitude.

5. Impact des paramètres physico-chmiques de l'eau ainsi que de l'habitat sur les populations (taxons) d'invertébrés benthiques

Les résultats de l'analyse CCA nous ont permis de définir 3 principaux groupes, représentés par 3 nuages de points (Fig. 3). Le premier nuage (délimité par la couleur noire) est représenté essentiellement par les stations O1S3, O4S1 et O4S2 (station 3 de l'O. Hamla et les stations 1 et 2 de l'O. El Ma). Les paramètres physico-chimiques les plus représentatifs de ces stations sont : la salinité, l'O_2 dissous, la turbidité, le TDS et la conductivité. Les principaux taxons correspondant à ce genre d'habitats sont représentés par : les *Gammarus sp* et les Lumbriculidae. Les habitats décrits ici sont affectés d'une pollution notable induite principalement par les activités humaines avoisinantes (agriculture et pollution urbaine) et les espèces caractérisant ces milieux sont réputé être plus résistants aux perturbations du milieu.

Le deuxième nuage de points (délimité par la couleur rouge) est représenté par la station O2S2 (station 2 de l'O. Chaaba). Les paramètres physico-chimiques les plus remarquables de cette stations sont : les nitrites NO_2^-et les sulfates SO_4^{2-}. Les taxons des macro-invertébrés les plus caractéristiques sont : *Chaoborus sp*, *Lymnaea sp, Hydrocyphon sp, Gerris lacustris, Pisidium sp,* Stratiomyidae et les Podonominae. Cet habitat se trouve en forêt naturelle, relativement peu touché par la pollution englobe en particulier des taxons considéré comme bioindicateurs de la santé de ces milieux.

Enfin, le troisième nuage de points (délimité par la couleur bleue) est représenté par la station O4S3 (station 3 de l'O. El Ma). Même si aucun paramètre physico-chmique de l'eau n'est englobé dans ce nuage de points, il apparait toutefois que le type de substrats est quasidominé par les galets qui y représentent 70 % de l'ensemble des habitats observé. Les taxons des macro-invertébrés les plus caractéristiques de ce type d'habitat sont les *Chironomus sp* et les Simuliidae.

La CCA qui représente une analyse multidimensionnelle montre ici qu'il y a plusieurs gradients de variables environnementales (qualité pysico-chimique de l'eau, type d'habitat, type de pression) qui conditionnent les conditions d'existence des macro-invertébrés benthiques. Ces derniers sont par ricochet l'image fidèle de l'état de santé des cours d'eau étudiés. C'est ainsi qu'on remarque que certains taxons sont plus ou moins résistants aux perturbations environnementales par rapport aux autres. Les stations soumises à des pollutions

engendrées par les activités humaines en particulier sont représentées par la station située en aval du village de Hamla ainsi que les stations 2 et 3 de l'O. El Ma où nous avons noté également une forte pression des activités agricoles polluantes.

Toutefois, vu le grand nombre de variables environnementales explicatives des modalités de répartition des peuplements de macro-invertébrés benthiques prises en considération dans ce travail, les résultats de la CCA ne montrent pas avec grande précision les interactions multiples entre ces paramètres d'une part et la dynamique des populations des macro-invertébrés étudiés.

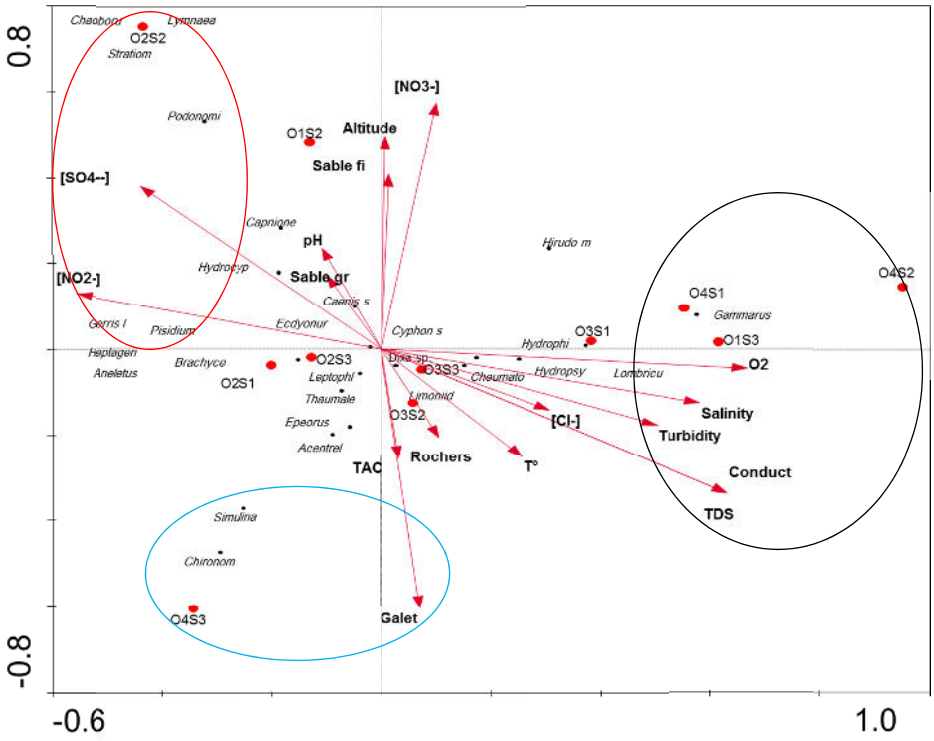


Figure 3. Nuages de points représentants les résultats de l'analyse canonique des corrélations CCA entre les paramètres physico-chimiques de l'eau, les caractéristiques générales de l'habitat ainsi que l'abondance des différents taxons de macro-invertébrés benthiques échantillonnés dans 4 cours d'eau du Parc National de Belezma.

6. Etude du schéma de distribution des peuplements de macro-invertébrés en fonction des variables physico-chimiques et de l'habitat ainsi que des traits de vie de la faune considérée

L'application de l'analyse par SOM à l'étude de la caractérisation et la variation des paramètres physico-chimiques ainsi que ceux de l'habitat dans les 11 stations étudiées nous a permis d'obtenir les résultats de cette analyse sous forme de graphiques. Les graphiques concernent les paramètres physico-chimiques de l'eau sont représentés dans la Figure 4 alors que ceux qui se rapportent aux paramètres de l'habitat sont rassemblés dans la Figure 5.

Les résultats concernant les modalités de distribution des populations des 28 taxons recensés, considérés non seulement par leurs effectifs mais également par leurs traits de vie, sont consignés dans la Figure 6.

Ainsi, les 11 stations rassemblées suivant l'analogie de leurs caractéristiques sont réunies dans 3 groupes de clusters différents. Ces mêmes groupes sont représentés dans les 3 figures citées plus haut (Fig.4, 5 et 6):

Le groupe A: rassemble les stations O1S2, O1S3, O2S1, O2S2, O3S1, O4S2 et O4S3,

Le groupe B: rassemble les stations O3S2 et O4S1,

Le groupe C: rassemble les stations O2S3 et O3S3.

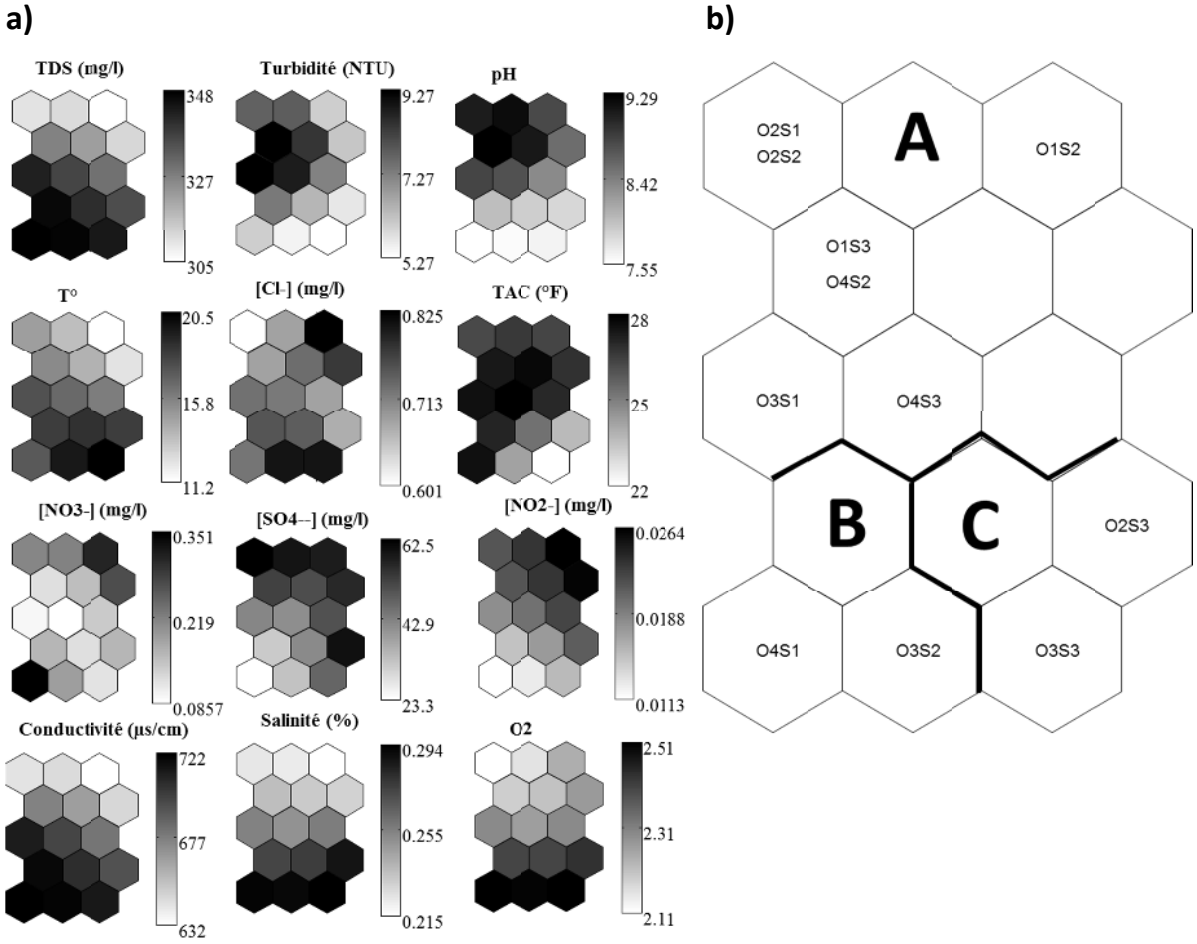


Figure 4. Visualisation des paramètres physico-chimiques de l'eau sur le SOM formé par les groupes de stations les plus corrélées des cours d'eau étudiés. La valeur moyenne de chaque variable a été calculée dans chaque neurone de sortie du SOM formé.

(a) Analyse du gradient des 12 paramètres physico-chimiques de l'eau sur le SOM formé, avec la visualisation à l'échelle d'ombrage (foncé = haute valeur, clair = faible valeur) ; (b) Distribution et regroupement des 11 stations échantillonnés sur la carte d'auto-organisation ''self-organizing map'' selon le gradient des paramètres physico-chimiques de l'eau.

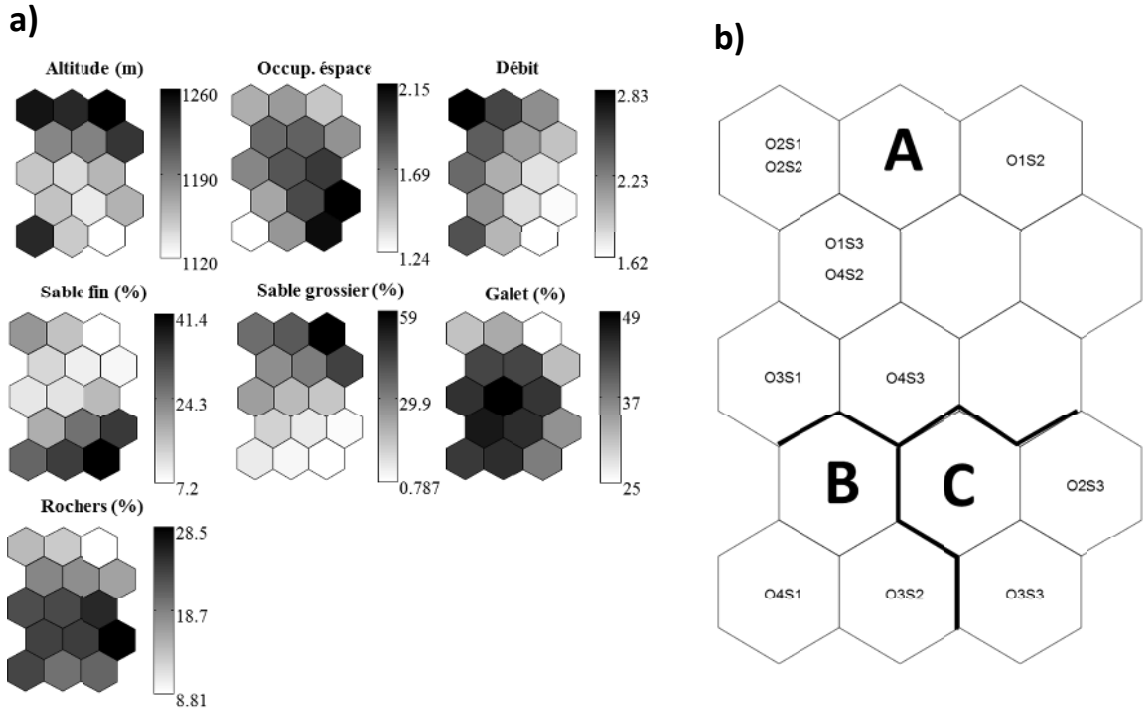


Figure 5. Visualisation des 7 paramètres de l'habitat global sur le SOM formé par les groupes de stations les plus corrélées des cours d'eau étudiés. La valeur moyenne de chaque variable a été calculée dans chaque neurone de sortie du SOM formé.

(a) Analyse du gradient des 7 paramètres de l'habitat sur le SOM formé, avec la visualisation à l'échelle d'ombrage (foncé = haute valeur, clair = faible valeur) ; (b) Distribution et regroupement des 11 stations échantillonnés sur la carte d'auto-organisation ''self-organizing map'' selon le gradient des paramètres de l'habitat.

Les quatre groupes de clusters ainsi formés par le modèle correspondent chacun à un ensemble de paramètres caractérisant les différentes stations concernées. La comparaison des variables prises en considération (physico-chimie de l'eau, qualité de l'habitat, abondance/traits de vie) avec les groupes de clusters formés renseigne d'une manière très explicite sur les corrélations qui peuvent se présenter entre ces différentes variables ainsi que les modalités de distribution des populations des macro-invertébrés benthiques en fonction des facteurs du milieu. Ces corrélations n'ont pas été nettement définies par la CCA par le biais des nuages de points établis.

A cet effet, nous essayons de montrer ici les principales corrélations existants entre d'une part, les diverses variables environnementales prises en considération et d'autre part, entre ces paramètres abiotiques et la dynamiques des populations des invertébrés étudiés. Les corrélations représentées par les graphiques et les clusters qui les forment sont passés en revue ci-dessous, en prenant en considération les trois niveaux de perception considérés :

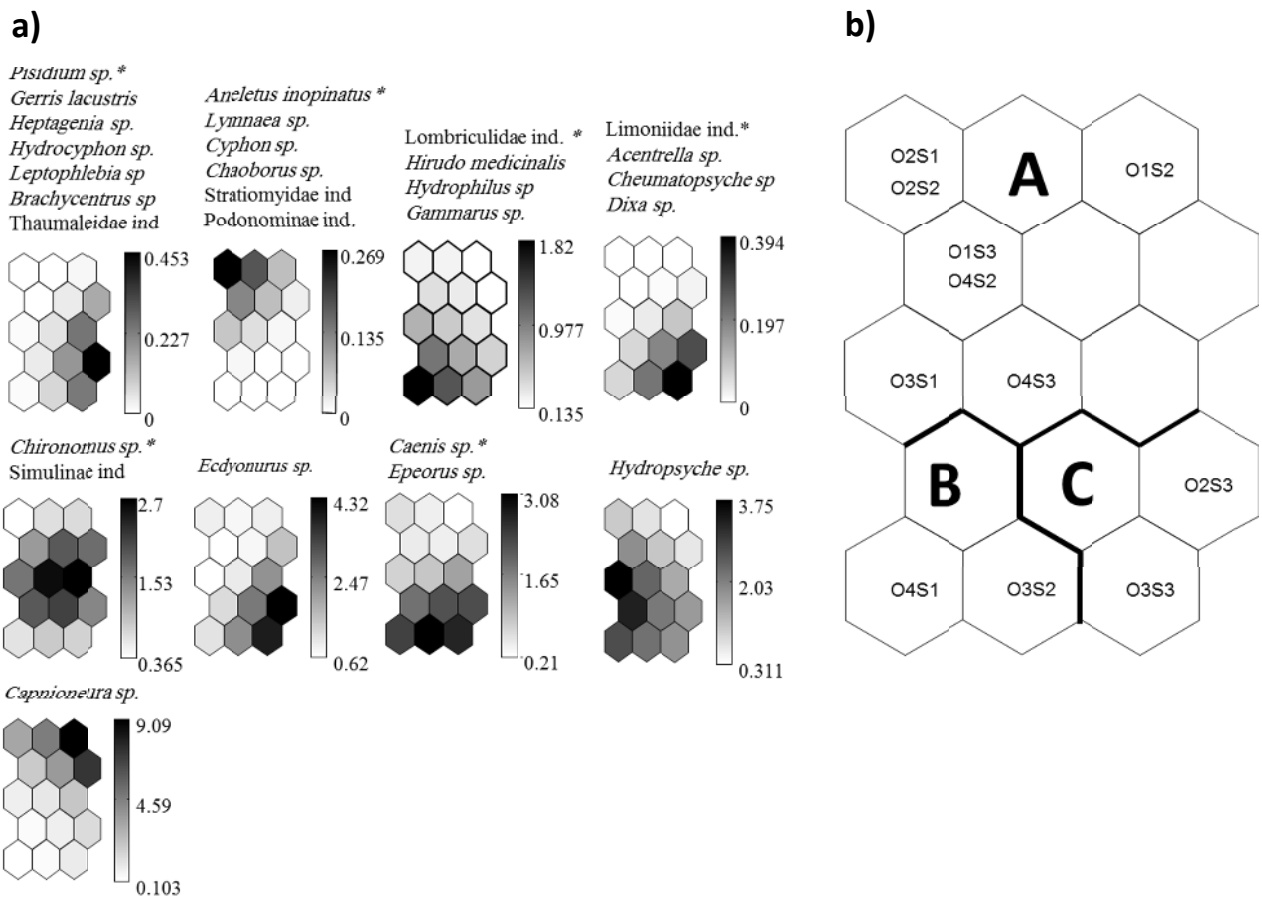


Figure 6. Visualisation des 28 taxons recensés sur le SOM formé par les groupes de stations les plus représentatives (corrélées) des cours d'eau étudiés. La valeur moyenne de chaque variable a été calculée dans chaque neurone de sortie du SOM formé.

(a) Analyse du gradient combiné (abondance/traits de vie) de chaque taxon de macro-invertébré recensé sur le SOM formé, avec la visualisation à l'échelle d'ombrage (foncé = haute valeur, clair = faible valeur) ; (b) Distribution et regroupement des 11 stations échantillonnés sur la carte d'auto-organisation ''self-organizing map'' selon le gradient des variables environnementales considérées. * : taxon le plus représentatif (probabilité d'occurrence la plus haute).

✓ Paramètres physico chimiques de l'eau (Fig.4):

- Groupe 'A' : eau à pH alcalin avec des teneurs considérables en Nitrites et une eau trouble (turbidité élevée),
- Groupe 'B' : eau bien oxygénée avec une conductivité électrique relativement élevée et une présence même faible des teneurs en nitrates,
- Groupe 'C' : eau plus saine (absence des nitrates et des nitrites), bonne oxygénation avec des températures plus ou moins élevées.

✓ Types d'habitat et pression anthropique (Fig.5):

- Groupe 'A' : habitats d'altitude à débit moyen à fort avec dominante du sable grossier,
- Groupe 'B' : habitats caractérisés grossièrement par la dominance des galets,

- Groupe 'C' : débits d'eau faible, les rochers dominent et ces stations sont soumises à une plus grande pression humaine.

✓ Modalités de répartition des macro-invertébrés benthiques (Fig.6) : taxons les plus caractéristiques :

- Groupe 'A' : *Aneletus inopinatus, Lymnaea sp, Cyphon sp, Chaoborus sp,* Stratiomyidae et Podonominae,
- Groupe 'B' : Lomriculidae*, Hirudo medicinalis, Hydrophilus sp* et *Gammarus sp*,
- Groupe 'C' : Limoniidae, *Acenterella sp, Cheumatopsyche sp, Dixa sp, Ecdyonurus sp, Gerris lacustris, Pisidium sp, Heptagenia sp, Hydrocyphon sp, Leptophlebia sp, Brachycentrus sp* et Thaumaleidae.

Afin de permettre une lecture synthétiques et multiparamétrique des résultats obtenus, suite à l'analyse par le SOM, nous avons dressé un tableau récapitulant l'ensemble des 3 groupes de clusters définis (A, B et C) en correspondant à chaque groupe de clusters, les stations les plus représentatives, les facteurs du milieu les plus éloquents ainsi que les taxons de macro-invertébrés benthiques les plus caractéristiques, tant par leurs traits de vie que par leur abondance (Tableau 12).

Les résultats obtenus montrent une grande variabilité des caractéristiques physico-chimiques de l'eau tant d'un oued à un autre, qu'au niveau des différentes stations du même oued. Ces variations sont en relation avec le type de substrat et l'altitude qui elle-même conditionne certains facteurs climatiques (températures et précipitations). Aussi, la qualité de l'eau est soumise à des perturbations dues aux activités humaines (agriculture, rejets en milieu urbain, …).

Par ailleurs, les taxons de macro-invertébrés benthiques les plus caractéristiques de ces habitats, de par leur abondance et leurs traits de vie, sont représentés par des espèces/genres ou familles ayant des exigences écologiques particulières vis-à-vis de la qualité de l'eau et du type de substrat, ou bien pouvant tolérer certaines perturbations (assèchement, pollution,…). En raison de leur style de vie, ces taxons ont aussi une préférence stricte pour un type de substrat donné (MERRITT et CUMMINS, 1996). La compétence du cours d'eau détermine la taille du substrat et, par la suite, la diversité des invertébrés (ARRINGTON et WINEMILLER 2006 ; SALMAN et *al*., 2013)

La détérioration de ces communautés benthiques peut s'exprimer de différentes manières, soit par l'absence de taxons polluo-sensibles, par la dominance de certains taxons polluo-résistants comme les Chironomidae ou par les changements importants dans la composition relative dans la communauté benthique (PLAFKIN et *al.,* 1989).

Tableau 12. Tableau récapitulant les résultats de l'analyse par les SOM.

Groupe	Oueds plus représentants	Stations	Paramètres physico-chimiques de l'eau (plus notables)	Caractéristiques de l'habitat				Taxons
				Altitude moyenne	Occupation espace (Pression humaine)	Substrat dominant	Débit eau (vitesse)	
Groupe A	Hamla Chaaba Bouilef El Ma	O1S2, O1S3, O2S1, O2S2, O3S1, O4S2, O4S3	Nitrites Turbidité pH	Large variation (1125 à 1200 m)	Moyenne	Galets Sable fin Sable grossier	Faible à Forte	*Aneletus inopinatus* *Hydropsyche sp* *Chironomus sp*
Groupe B	Bouilef El Ma	O3S2, O4S1	Oxygène dissous Conductivité électrique Nitrates	Haute (jusqu'à 1200 m)	Faible	Galets	Faible à Moyenne	Lomriculidae *Caenis sp*
Groupe C	Chaaba Bouilef	O2S3, O3S3	Sulfate Température Oxygène dissous	Moyenne (jusqu'à 1150 m)	Forte	Sable fin Rochers	Très faible à Faible	*Pisidium sp* Limoniidae *Ecdyonurus sp*

Conclusion

Au terme de ce travail, nous pouvons émettre les conclusions partielles suivantes :
La vitesse moyenne de l'écoulement de l'eau enregistrée dans les 11 stations des 4 oueds du Parc National de Belezma est relativement faible, ceci serait dû à notre échantillonnage qui a ciblé beaucoup plus des terrains plats. Toutefois, le débit des eaux varie énormément suivant le relief. Dans les stations explorées, 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 absence même si les rivages immédiats des oueds abritent parfois une végétation assez importante.

Les analyses physico-chimiques de l'eau ont montré une importante variation, non seulement d'un oued à un autre, mais également entre les stations du même Oued. L'eau est généralement à pH alcalin, le degré de salinité et de turbidité des eaux étudiées sont faibles, indiquant que les cours d'eau étudiés sont d'une eau douce et claire.

L'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques nous a permis de connaitre la biodiversité des invertébrés des cours d'eau du Parc National de Belezma, enrichissant ainsi les bases de données existantes avec de nouvelles espèces ou taxons non signalés à ce jour dans le parc. Cette biodiversité englobe un total de 28 genres/espèces répartis sur 3 embranchements, 4 classes, 11 ordres et 22 familles différentes.

Le peuplement des macro-invertébrés dénombrés dans les quatre cours d'eau montre que les diptères (36,85%), les trichoptères (20,92%) ainsi que les éphéméroptères (16,73%) sont les ordres les mieux représentés en nombre, tandis que les bivalves et les pulmonaires sont les moins abondants avec des pourcentages minimes. 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 observés sont en majorité accessoires à très accidentelles. Seules *Ecdyonurus sp* et *Hydropsyche sp* sont des espèces considérées constantes, représentant ainsi les taxons les plus caractéristiques des oueds étudiés dans le PNB.

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 l'O. Bouilef et O. El Ma.

L'oued Chaaba renferme une richesse spécifique totale ainsi qu'une diversité taxonomique plus grande que les trois autres cours d'eau. Les peuplements les mieux représentés en nombre sont les éphéméroptères (31,2 %) et les diptères (24%), suivis par les plécoptères, les hétéroptères, les coléoptères et les trichoptères.

Les stations disposant de faibles indices de diversité et surtout une faible équitabilité (indice Pielou) mériteraient d'être surveillées pour repérer et endiguer les facteurs entrainant la perturbation de ces cours d'eau et des peuplements d'invertébrés qui les peuplent. Il apparait 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 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 de l'eau des quatre oueds étudiés est moyenne (IBGN entre 9 et 10). Les cours d'eau du PNB présentent donc une qualité hydrobiologique moyenne, 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 perturbante.

En outre, l'étude des schémas de distribution des peuplements de macro-invertébrés benthiques étudiés par le biais d'analyses statistiques poussées (CCA et SOM) 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,…).

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,
- Afin d'enrichir les connaissances sur la biodiversité des macro-invertébrés benthiques, très peu documentés que ce soit dans le PNB ou en Algérie, 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 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 recommandant 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.
- Dans cette optique, il serait urgent de remédier aux perturbations que connaissent les eaux de l'O. Hamla, soumis à une forte pollution, notamment en son aval. Par contre, l'O. Chaaba par sa plus au moins grande diversité mériterait une protection particulière et des prospections approfondies qui permettraient de consolider les recherches non seulement sur la biodiversité des macro-invertébrés benthiques en particulier, mais également sur la faune aquatique en général.

Bibliographie

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-Jérome. Marseille. 149 pages.

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

ANGELIER E., 2000. Ecologie des eaux courantes. Edit TEC & DOC, 177 p.

ANONYME, 1978. Urban stormwater. Management Workshop Proceeding. N3, EPA-600/9-78-017,110 p.

ANONYME, 2010. Plan de Gestion du Parc National de Belezma Partie « A » Approche descriptive et analytique.

ANONYME, 2015. Analyse canonique des corrélations (ACC). Pdf téléchargé le 1 août 2015 sur wikistat.fr, 10 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. et PARK Y.S., 2004. Distribution patterns of benthic macro-invetebrates in an intermittent river. *Annales Limnologie* 40 (4): 317-327.

ARRINGTON D.A., WINEMILLER K.O., 2006. Habitat affinity, the seasonal flood pulse, and community assembly in the littoral zone of a neotropical flood plain river. *Journal of the North American Benthological Society* 25: 126-141.

BARBAULT R., 1981. Ecologie des populations et des peuplements. Ed. Masson, Paris, 200p.

BÊCHE L.A., 2005. Long-term variability, disturbance, and biological traits of aquatic invertebrates in Mediterranean- climate streams. PhD Thesis, University of California, Berkeley, U.S.A.

BEDEL L., 1895. Catalogue raisonné des Coléoptères du Nord de l'Afrique (Maroc, Algérie, Tunisie et Tripolitaine) avec notes sur la faune des Iles Canaries et de Madère. Première partie. *Soc. Ent. Fr.* (ed.), Paris, 402 p.

BEN REJEB-JENHANI A., 1989. Le lac Ichkeul: Conditions du milieu, peuplements et biomasses phytoplanctoniques. Thèse 3ème Cycle, Univ. Tunis, 221 p.

BERCHI S., 1993. Les phlébotomes (Insecta, Diptera, Phlebotomidae), vecteurs de leishmanioses dans l'est algérien. *Bull. Soc. Zool. de France* 118: 341-349

BERCHI S., 2000. Bioécologie de Culex pipiens l. (Diptera, Culicidae) dans la région de Constantine et perspectives de lutte. Thèse Doc. es-Sciences, université de Constantine, 133p.

BERNADET C., TOURON-PONCET H., DESROSIERS C., COMPIN A., BARGIER N., CEREGHINO R., 2013. Invertebrate distribution patterns and river typology for the implementation of the water framework directive in Martinique, French Lesser Antilles. *Knowl. Manage. Aquat. Ecosyst.* 408, 1–14.

BERRAHOU A., CELLOT B., RICHOUX P., 2001. Distribution longitudinale des macro-invertébrés benthiques de la Moulouya et de ses principaux affluents (Maroc). *Annales de Limnologie* 37 (3): 223-235.

BERTRAND H., 1972. Larves et nymphes des Coléoptères aquatiques du globe. F. Paillart, Imp. Paris: 804 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*, Vol. 23, Fasc. 2 (Sér. C): 229 - 249.

BLONDEL., 1979. Biologie et écologie. Ed. Masson, Paris, 173 p.

BONADA N., PRAT N., RESH V.H., STATZNER B., 2006. Developments in aquatic insectbiomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annu. Rev. Ento-mol.* 51, 495–523.

BOUMAIZA M., 1994. Recherche sur les eaux courantes de Tunisie: faunistique, écologie et biogéographie. Thèse de Doctorat es Sciences, Université de Tunis II, 330 p.

BOUZIDI A., GUIDECELLI J., 1994. Ecologie et distribution des macro-invertébrés des eaux courantes du Haut-Atlas marocain. *Rev. Fac. Sci. Mar.*, 8: 23-43.

CAMARGO J.A., ALONSO A., DE LA PUENTE M., 2004. Multimetric assessment of nutrient enrichment in impounded rivers based on benthic macro-invertebrates. *Environmental Monitoring and Publishers*, 96: 233-249.

CEREGHINO R., SANTOUL F., COMPIN A., MASTRORILLO S., 2005. Using self-organizing maps to investigate spatial patterns of non-native species. *Biological Conservation* 125: 459-465.

CEREGHINO R., RUGGIERO A., MARTY P. et ANGELIBERT S., 2008. Biodiversity and distribution patterns of freshwater invertebrates in farm ponds of a southwestern French agricultural landscape. *Hydrobiologia* 597: 43–51.

CHAIB N., SAMRAOUI B., MARZIALI L et ROSSARO B., 2011. Chironomid taxocenosis in a South Mediterranean wadi, the Kebir-East (Algeria). *Studi Trent. Sci. Nat.*, 89: 29-34 29

CHEVENET F., DOLEDEC S., CHESSEL D., 1994. A fuzzy coding approach for the analysis of long-term ecological data. *Freshw Biol* 31:295–309

CONSEGLIO C., 1963. Plecotteri delle isole del Mediterrano. *Mon. Zool. Ital.* 70-71 :147-185.

DAJOZ R., 1982. Précis d'écologie. (4e édition).Gaulthier-villars, Paris. 503 p.

DAJOZ R., 1985. Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 505p.

DECAMPS H., 1971. La vie dans les cours d'eau. Presses universitaire de France. Paris : 128p.

DE PAUW, N., VANHOOREN G., 1983. Method for biological quality assessment of watercourses in Belgium. *Hydrobiologia*. 100:153-168.

DOLÉDEC S., STATZNER B., BOURNARD M., 1999. Species traits for future biomonitoring across ecoregions: patterns along a human impacted river. *Freshwater Biology*. 42,737–758.

DOLÉDEC S., OLIVIER J.M., STATZNER B., 2000. Accurate description of the abundance of taxa and their biological traits in stream invertebrate communities: effects of taxonomic and spatial resolution. *Arch. Hydrobiol.* 148, 25–43.

DOLÉDEC S., PHILLIPS N., SCARSBROOK M., RILEY R.H., TOWNSEND C.R., 2006. Comparison of structural and functional approaches to determining land-use effectson grassland stream invertebrate communities. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 25,44–60.

DOS SANTOS., MOLINERI C., REYNAGA M.C., BASUALDO C., 2011. Which index is the best to assess stream health? Ecol. Indic. 11, 582–589.

DUSSART B., 1966. Limnologie. L'étude des eaux continentales. Ed. Gauthier Villars, Paris, 677 p.

DUSSART B., 1992. Limnologie. L'étude des eaux continentales. Ed. Gauthier Villars, Paris, 736 p

GAGNEUR J., CLERGUE-GAZEAU M., 1988. Les Simulies d'Algérie (Diptera: Simuliidae). I. Premières données biogéographiques et écologiques sur les espèces de l'ouest algérien. *Annls. Limnol*., 24 (3): 275-284.

GAGNEUR J., THOMAS A.G.B., 1988. Contribution à la connaissance des Ephéméroptères d'Algérie. I. Répartition et écologie (1ère partie) (Insecta, Ephemeroptera). *Bull. Soc. Hist. Nat*., Toulouse, 124: 213-223.

GAGNEUR J. et ALIANE N., 1991. Contribution à la connaissance des Plécoptères d'Algérie in 'Overview and strategies of Ephemeroptera and Plecoptera' Gainesville. Albatercedor J., Sanchez-Ortega A. (eds). *Sandhill Crane Press*., Inc.: 311- 324.

GAGNEUR J., GIANI N., MARTINEZ-ANSEMIL E., 1986. Les Oligochètes aquatiques d'Algérie. *Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse,* 122: 119-124

GAUTHIER H., 1928. Recherches sur la faune des eaux continentales de l'Algérie et de la Tunisie. Minerva, Alger. 149p.

GAYRAUD S., STATZNER B., BADY P., HAYBACHP 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 Biol*. 48, 2045–2064.

GENIN B., CHAUVIN C., MENARD, F., 2003. Cours d'eau et indices biologiques : pollution, méthodes et IBGN. 2ème Edition Educagri, Dijon.

GHISLAIN DM., 2006. Les eaux continentales, Rapport sur la science et la technologie N°25.Académie des sciences, 329 p.

GUIDECELLI J., DAKKI M., DIA A., 1985. Caractéristiques abiotique et hydrobiologiques des eaux courantes méditerranéennes. Verh.Internat. *Verein. Linnology*, 22 : 2094-2101.

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.

HAMMER O., HARPER D.A.T., RYAN P.D., 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4 (1): 9p. http://folk.uio.no/ohammer/past/

HARRIS J.H., SILVEIRA R., 1999b. Large-scale assessments of river health using an Index of Biotic Integrity with low-diversity fish communities. *Freshwater Biol*. 41,235–252.

HECKER N., COSTA L.T., FARINHA J.C., et THOMAS VIVES P., 1996. Inventaire des zones humides méditerranéennes : collecte des données. Publication MedWet/wetlands International/ Instituo da Conservaçao da Natureza Volume III Lisbone, 99p.

HYNES H.B.N., 1971. The ecology of running water, Liverpool University Press, Liverpool, 555 p.

LAVANDIER P., 1979. Ecologie d'un torrent Pyrénéen de haute montagne : l'Estaragne. Thèse de doctorat d'Etats. Univ Paul Sabatier, Toulouse, 523 p.

LECLERCQ Ll., 2001. Intérêt et limites des méthodes d'estimation de la qualité de l'eau. Station scientifique des Hautes-Fagnes, Belgique.

LEROY C., GUE´ROULT M.N, WAHYUNI S., ESCOUTE J., CEREGHINO R., SABATIER S., AUCLAIR D., 2009. Morphogenetic trends in morphological, optical, biochemical features of phyllodes in *Acacia mangium* Willd (Mimosaceae). Trees Structure and Function 23: 37–49.

LOUNACI A., 1987. Recherches hydrobiologiques sur les peuplements d'invertébrés benthiques du bassin de l'oued Aïssi (Grande Kabylie). Thèse Magister, Université d'Alger, 133 p.

LOUNACI A., 2005. Recherche sur la faunistique, l'écologie et biogéographie des macro-invertébrées des cours d'eau de Kabylie. Thèse doctorat d'état. U.M.M.T.O: 209 p.

LOUNACI A., BROSSE S., THOMAS A.G.B., LEK S., 2000. Abundance, diversity and community structure of macro-invertebrates in an Algerian stream: the Sebaou wadi. *Annls Limnol*., 36 (2): 123-133.

LOUNACI A., VINÇON G., 2005. Les Plécoptères de la Kabylie du Djurdjura (Algérie) et Biogéographie des espèces d'Afrique du Nord [Plecoptera]. Ephemera, 6 (2): 109-124.

LOUNACI-DAOUDI D., 1996. Travaux sur la faunistique, l'écologie et la biogéographie des insectes aquatiques du réseau hydrographique du Sébaou. Thèse Magister, Université de Tizi-Ouzou, 152 p.

MAGURRAN A.E., 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 179 p.

MALICKY H., LOUNACI A., 1987. Beitrag zur taxonomie und faunistik der köcherfkiegen von Tunisien, Algerien und Morokko (Trichoptera).*Opusc. Zool. Flumin*., 14: 1-20 p.

MARGALEF R., 1960. Valeur indicatrice de la composition des pigments duphytoplancton sur la productivité, composition taxonomique et propriétés dynamiques des populations. *Rapp. Comm. Int. Medit*., 15: 277 – 281.

MARY N., 1999. Thèse de Doctorat, Université France du Pacifique, France.

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, 178 p.

MERRITT R.W., CUMMINS K.W., 1996. An introduction of the aquatic insects of North America, 3rd edition. *Kendall & Hunt Publishing Company*.

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.

MONDY C.P., VILLENEUVE B., ARCHAIMBAULT V., USSEGLIO-POLATERA P., 2012. A new macroinvertebrate-based multimetric index to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: a taxonomical and trait approach. *Ecol. Indic*. 18, 452–467.

MOUBAYED Z., 1986. Recherches sur la faunistique, l'écologie et la zoogéographie de trois réseaux hydrographiques du Liban : l'Assi, le Litani et le Beyrouth. Thèse de Doctorat es Science. Univ 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), Vol. 14 (1): 25-34.

PAULSEN S.G., MAYIO A., PECK D.V., STODDARD J.L., TARQUINIO E., HOLDSWORTH S.M., OLSEN A.R., 2008. Condition of stream ecosystems in the US: an overview of the first national assessment. J. N. *Am. Benthol. Soc*. 27, 812–821.

PETERSON M., 2006. Course materials: Biology 326, ecology lab. Western Washington University, Department of biology, Bellingham, Washington.

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.

PLAFKIN J.L., BARBOUR M.T., PORTER K.D., GROSS S.K., HUGHES R.M., 1989. Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers, 32 p.

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.

REJSEK F., 2002. Analyse des eaux, Aspects réglementaire et techniques. Série : Siences et techniques de l'environnement. Paris, 360 p.

RESH V.H., HILDREW A.G., STATZNER B., TOWNSEND C.R., 1994. Theoretical habitat temples, species traits and species richness: a synthesis of long-term research on the Upper Rhône River in the context of concurrently developed ecological theory. *Freshwater Biology*, 31, 539–554.

RODIER J., 2000. Analyse de l'eau : eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer. Analyses physico-chimiques, bactériologiques. 8eme Edit. Dunod, 973p.

SALMAN A.A.S., HEINO J., SALMAH A.A., HASSAN M.R.C., SUHAILA A.H., MADRUS M.R., 2013. Drivers of beta diversity of macro-invertebrate communities in tropical forest streams. *Freshwater Biology* 58: 1126-1137.

SAMRAOUI B., MENAI R., 1999. A contribution to the study of Algerian Odonata. *Int. J. Odonatology*, 2 (2): 145-165.

SAMRAOUI B., CORBET P.S., 2000a. The Odonata of Numidica. Part I: Status and distribution. Int. J. *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.

SOUTHWOOD T.R.E., 1988. Tactics, strategies and templets. *Oikos* 52, 3–18.

STATZNER B., HILDREW A.G., RESH V.H., 2001. Species traits and environmental constraints: entomological research and the history of ecological theory. *Annu. Rev. Entomology.* 46, 291–316.

STATZNER B., DOLÉDEC S., HUGUENY B., 2004. Biological trait composition of Europeanstream invertebrate communities: assessing the effects of various trait filtertypes. *Ecography* 27, 470–488.

STATZNER B., HOPPENHAUS K., ARENS M.F., RICHOUX P., 1997. Reproductive traits, habitat use and templet theory: a synthesis of world-wide data on aquatic insects. *Freshwater Biology*, 38, 109–135.

STATZNER B., BADY P., DOLEDEC S., SCHÖLL F., 2005. Invertebrate traits for the biomon-itoring of large European rivers: an initial assessment of trait patterns in least impacted river reaches. *Freshwater Biology.* 50, 2136–2161.

STEWART R., 1971. Atmospheric Science 28, 1069.

STODDARD J.L., HERLIHY A.T., PECK D.V., HUGHES R.M., WHITTIER T.R., TARQUINIO E., 2008. A process for creating multitachetmetric indices for large-scale aquatic surveys. J. N. *Am. Benthol. Soc*. 27, 878–891.

TACHET H., RICHOUX M., BOURNAUD M., USSEGLIO-POLATERA P., 2014. Invertébrés d'eau douce: Systématique, Biologie, Écologie, CNRS éditions. Paris, France.

TOMANOVA S., 2007. Functional Aspect of Macro-invertebrate Communitiesin Tropical and Temperate Running Waters. Masaryk University, Brno (PhD Thesis).

TOMANOVA S., GOITIA E., HELESIC J., 2006. Trophic levels and functional feeding groups of macro-invertebrates in neotropical streams. *Hydrobiologia* 556,251–264.

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. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 408: 1-14.

TOURON-PONCET H., CAROLINE BERNADET., ARTHUR COMPIN., NICOLAS BARGIER., KHELIFA R., YOUCEFI A., KAHLERRAS A. ALFARHAN A., Al RASHEID K., SAMRAOUI B., 2001. L'odonatofaune (Insecta : Odonata) du bassin de la Seybouse en Algérie : intérêt pour la biodiversité du Maghreb. *Rev. Écol. (Terre Vie), vol*. 66, 1:55-66

THOMAS A.G.B., 1998. A provisional checklist of the Mayflies of North Africa (Ephemeroptera). *Bull. Soc. Hist. Nat*., Toulouse, 134: 13-20.

TUFFERY G., VERNEAUX J., 1967. Une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité des eaux courantes – Indices biotiques – *Ann. Sci*. Univ. Fr.-Comté, Besançon, 3, 79-89.

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.

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* 422/423, 153–162.

VAILLANT F., 1955. Recherches sur la faune madicole de France, de Corse et d'Afrique du Nord. *Mem. Mus. Hist. Nat*., Paris (Zool.), 11, 258p.

VANNOTE, R.L., 1985. Developments in stream ecosystem theory. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42: 1045-1055.

VERNEAUX J., COLL., 1982. Une nouvelle méthode pratique d'évaluation de la qualité des eaux courantes. Un indice biologique de qualité générale (IBG). *Ann. Sc.* Univ. Franche-Comté Besançon, 4(3), 11-21

WALLACE J.B., WEBSTER J.R., 1996. The role of macro-invertebrates in stream ecosystem function. *Annual Review of Entomology,* 41: 115-139.

WOODCOCK T. S., HURYN A.D., 2007. The response of macro-invertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream. *Freshwater biology*, 52: 177-196.

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 Gesellscheft. *Bull. Soc. Entomol*ogy. Suisse, 86: 25–33, 2013

ZERGUINE K., SAMRAOUI B., ROSSARO B., 2009. A survey of Chironomids from seasonal ponds of Numidia, northeastern Algeria. *Boll. Zool. agr. Bachic.Ser*. II, 41 (3): 167-174.

ZOUGGAGHE F., 2010. Etude des communautés de macro-invertébrés benthiques dans le bassin versant de la Soummam, université de Béjaia, Algérie, 159 p.

Annexes

Annexe 1. Détails des méthodes et appareillages des mesures physico-chimiques de l'eau étudiés.

Paramètres physico-chimiques	**Unités**	**Appareils**	**Mode opératoire**
Température	**°C**	Thermomètre à mercure Thermomètre électronique (Digital Thermometer : WT-1 made in China)	- Enfoncer le thermomètre dans l'eau, - Attendre quelques minutes et lire la valeur indiquée.
potentiel Hydrogène	**pH**	pH mètre (Hach Company sension3 pH meter s/n 021000003035 made in USA)	- Prendre environ 100 ml de l'échantillon à mesurer, - Tremper l'électrode dans le bécher contenant l'eau à analyser, - Laisser stabiliser un moment et noter le pH indiqué.
Turbidité	**NTU**	Turbidimètre (modèle CACH 2100AN)	- Remplir une cuvette de mesure propre avec l'échantillon à analyser bien homogénéisé, - Effectuer rapidement la mesure.
Conductivité Electrique (CE)	**µS/cm**	Conductimètre (modèle CACH session 7)	- Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité ; - Faire la mesure dans un récipient contenant de l'eau à examiner en prenant soin que les électrodes soient bien émergées.
TDS	**(mg/l)**		
Salinité	**‰**		- A partir de la conductivité (lecture directe).
NO_3^- (Taux de nitrates)	**Mg/l**	Spectrophomètre (modèle CACH ODYSSEY)	- Prendre 10 ml d'eau à analyser ; -Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30% ; - Ajouter 1 ml de Salicylate de Sodium ; - Evaporer à sec au bain Marie ou à l'étuve à une température de 75-88 °C et laisser refroidir ; - Reprendre le résidu avec 2 ml de H_2SO_4 pur ; - laisser reposer 10 mn puis ajouter 15 ml d'eau distillée ; - ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium ; - multiplier par 4,43 pour obtenir la concentration en NO3.

NO_2^- (Taux de nitrites)	**mg/l**		- Prendre 50 ml d'eau à analyser ; - Ajouter 1 ml de réactif mixte ; - L'apparition de la coloration rose indique la présence de NO^-_2
O2 (oxygène dissous)	**mg/l**	Oxymétre	-Prendre environ 100 ml de l'échantillon à mesurer -Tremper l'électrode dans le bécher contenant l'eau à analyser - Laisser stabiliser un moment - Noter la valeur indiquée.
Chlore (Cl^-)	**(mg/l)**	Eprouvette, Bêcher, Pipette graduée, Agitateur, Barreau magnétique	La méthode utilisée est celle de MOHR (Rodier et al, 2005): - Introduire10 ml d'eau à analyser dans un bêcher. -Ajouter 3 gouttes de solution de Chromates de Potassium à 10%. -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. -Soit V le nombre de millilitres de Nitrates d'Argent 0,1N utilisés. -Calculer la teneur de Chlore comme suit : Cl (méq/l)= $V(AgNO_3)$. $N(AgNO_3)$.1000/V

Annexe 2. Valeur 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**
Taxons indicateurs	**∑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**
Chloroperlidae Perlidae Perlodidae Taeniopterygidae	9	20	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
Capniidae Brachycentridae Odontoceridae Philopotamidae	8	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
Leuctridae Glossosomatidae Beraeidae Goeridae Leptophlebiidae	7	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7
Nemouridae Lepidostomatidae	6	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6

Sericostomatidae *Ephemeridae*															
Hydroptilidae *Heptageniidae* *Polymitarcidae* *Potamanthidae*	5	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
Leptoceridae *Polycentropodidae* *Psychomyidae* *Rhyacophilidae*	4	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
*Limnephilidae ** *Hydropsychidae* *Ephemerellidae ** *Aphelocheiridae*	3	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
*Baetidae ** *Caenidae ** *Elmidae ** *Gammaridae ** *Mollusques*	2	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
*Chironomidae ** *Asellidae ** *Achètes* *Oligochètes **	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 utilisés (les 38 taxons indicateurs sont soulignés) (AFNOR, 1992).

INSECTES	HÉTÉROPTÈRES	Scatophagidae	**MOLLUSQUES**
PLÉCOPTÈRES	Aphelocheiridae	Sciomyzidae	BIVALVES
Capniidae	Corixidae	Simuliidae	Corbiculidae
Chloroperlidae	Gerridae	Stratiomyidae	Dreissenidae
Leuctridae	Hebridae	Syrphidae	Sphaeriidae
Nemouridae	Hydrometridae	Tabanidae	Unionidae
Perlidae	Naucoridae	Thaumaleidae	GASTÉROPODES
Perlodidae	Nepidae	Tipulidae	Ancylidae
Taeniopterygidae	Notonectidae	ODONATES	Bithynidae
TRICHOPTÈRES	Mesoveliidae	Aeschnidae	Bythinellidae
Beraeidae	Pleidae	Calopterygidae	Hydrobiidae
Brachycentridae	Veliidae	Coenagrionidae	Limnaeidae
Ecnomidae	COLÉOPTÈRES	Cordulegasteridae	Neritidae

Glossosomatidae	Curculionidae	Corduliidae	Physidae
Goeridae	Donaciidae	Gomphidae	Planorbidae
Helicopsychidae	Dryopidae	Lestidae	Valvatidae
Hydropsychidae	Dytiscidae	Libelludiae	Viviparidae
Hydroptilidae	Eubriidae	Platycnemididae	
Lepidostomatidae	Elmidae		
Leptoceridae	Gyrinidae	MÉGALOPTÈRES	
Limnphilidae	Haliplidae	Sialidae	**VERS**
Molannidae	Helodidae	PLANIPENNES	PLATHELMINTHES
Odontoceridae	Helophoridae	Osmylidae	TRICLADES
Philopotamidae	Hydraenidae	Sysyridae	Dendrocoelidae
Phryganeidae	Hydrochidae	HYMÉNOPTÈRES	Dugesiidae
Polycentropodidae	Hydrophilidae	LÉPIDOPTÈRES	Planariidae
Psychomyidae	Hydroscaphidae	Pyralidae	NÉMATHELMINTHES
Rhyacophilidae	Hygrobiidae		ANNÉLIDES
Sericostomatidae	Limnebiidae		**ACHÈTES**
Thremmatidae	Spercheidae		Erpobdellidae
	DIPTÈRES	**CRUSTACÉS**	Glossiphoniidae
ÉPHÉMÉROPTÈRES	Anthomydae	BRANCHIOPODES	Hirudidae
Baetidae	Athericidae	AMPHIPODES	Piscicolidae
Caenidae	Blephariceridae	Gammaridae	OLIGOCHÈTES
Ephemerellidae	Ceratopogonidae	ISOPODES	
Ephemeridae	Chaoboridae	Asellidae	
Heptageniidae	Chironomidae	DÉCAPODES	
Leptophlebiidae	Culicidae	Astacidae	**HYDRACARIENS**
Oligoneuriidae	Dixidae	Atyidae	
Polymitarcidae	Dolichopodidae	Grapsidae	
Potamanthidae	Empididae	Cambaridae	
Prosopistomatidae	Ephydridae		**HYDROZOAIRES**
Siphlonuridae	Limoniidae		
	Psychodidae		

	Ptychopteridae Rhagionidae		**SPONGIAIRES**
			BRYOZOAIRES
			NÉMERTIENS

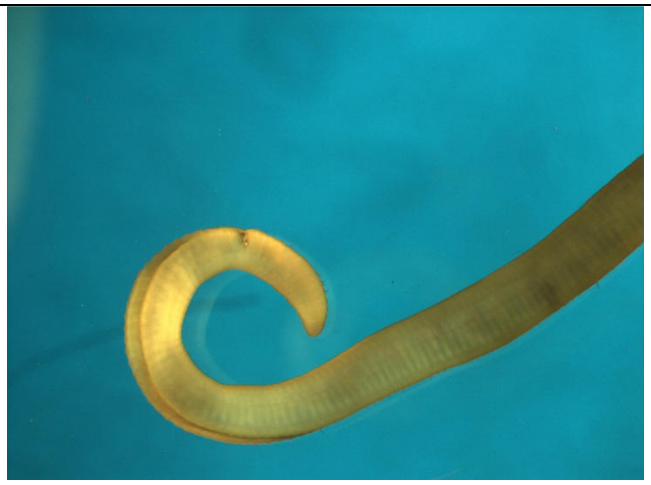
Annexe photographique : Photos illustrant quelques espèces d'invertébrés aquatiques recensées au Parc National du Belezma et classées par ordre systématique



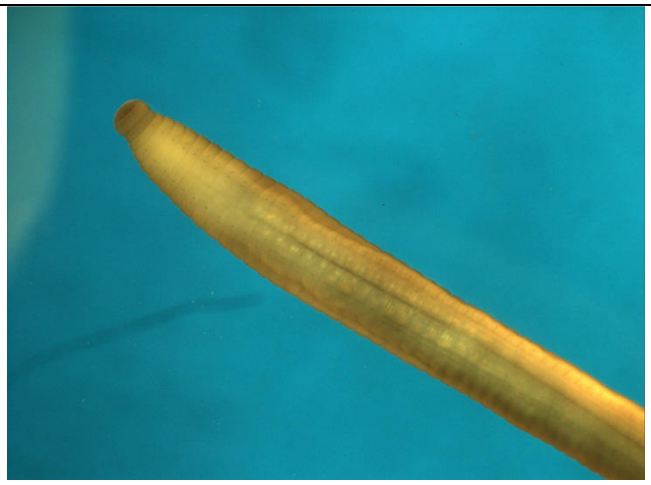
Lumbriculidae (Oligochaeta) ×1,5



Hirudo medicinalis (Hirudinidae, Hirudinida) ×1,25



Lumbriculidae (Oligochaeta) extrémité postérieure ×0,8



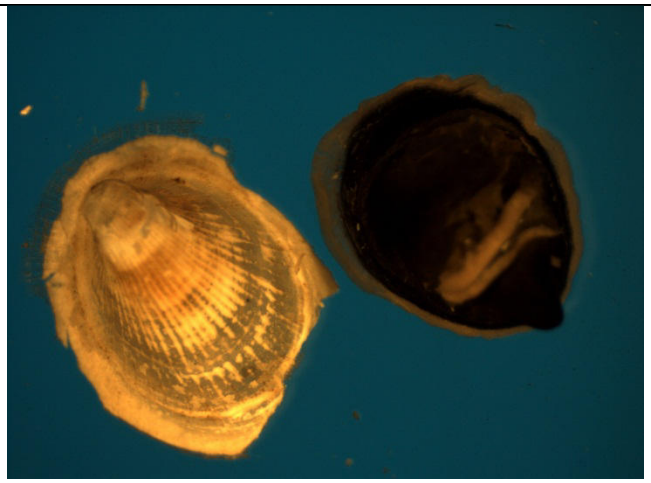
Lumbriculidae (Oligochaeta) extrémité antérieure ×0,8



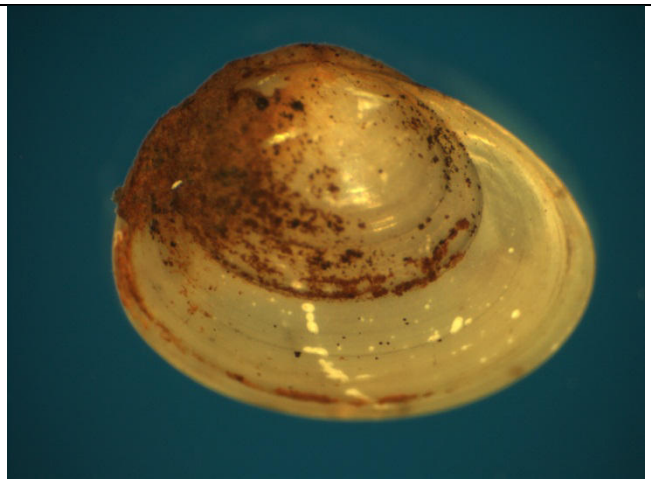
Lymnaea sp (Lymnaeidae, Pulmonata) ×2,5



Pulmonata ×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) ×1,25



Leptophlebia sp (Leptophlebiidae, Ephemeroptera) ×2,5



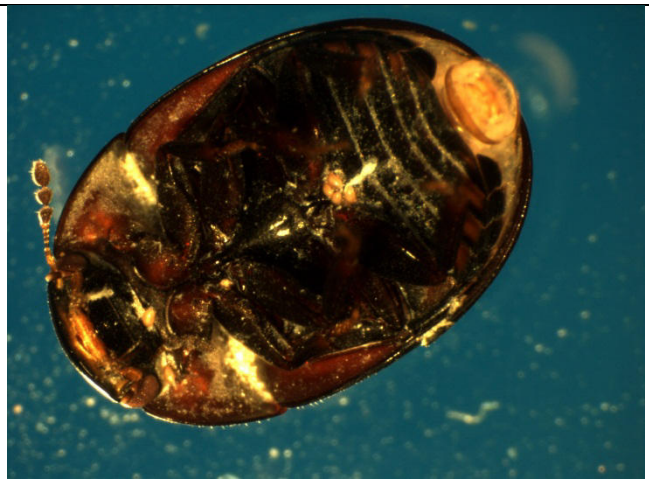
Capnioneura sp (Capniidae, Plecoptera) ×1,25



Gerris lacustris (Gerridae, Heteroptera) ×0,8



Hydrophilus sp (Coleoptera, Hydrophilidae) Vue latérale ×2,5



Hydrophilus sp (Coleoptera, Hydrophilidae) Vue ventrale ×2,5



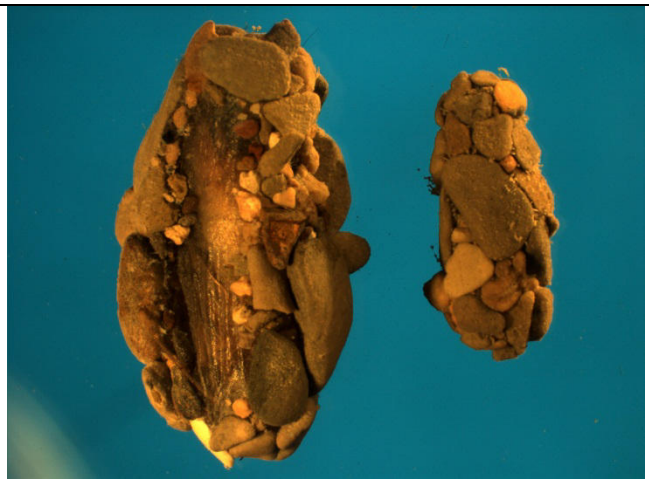
Cyphon sp (Coleoptera, Scirtidae) Vue latérale ×2,5



Cyphon sp (Coleoptera, Scirtidae) Vue ventrale ×2,5



Brachycentrus sp (Trichoptera, Brachycentridae) ×3,2



Hydropsyche sp (Trichoptera, Hydropsychidae) Foureau (×2,5)



Hydropsyche sp (Trichoptera, Hydropsychidae) ×2



Chaoborus sp (Diptera, Chaoboridae) × 4,5



Chironomus sp (Diptera, Chironomidae) × 2,25



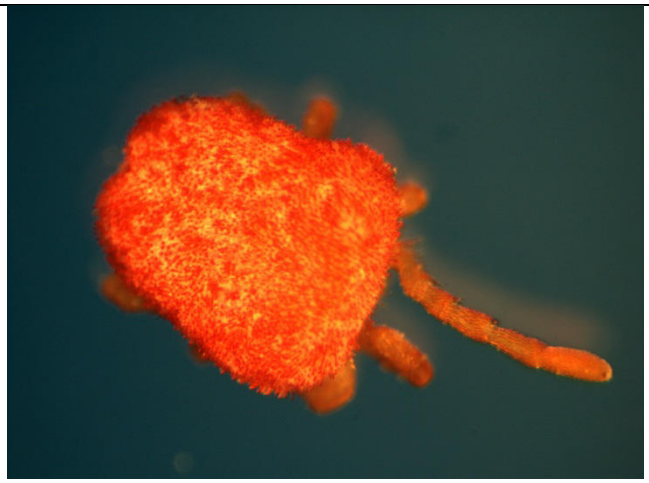
Limoniidae (Diptera) ×0,8



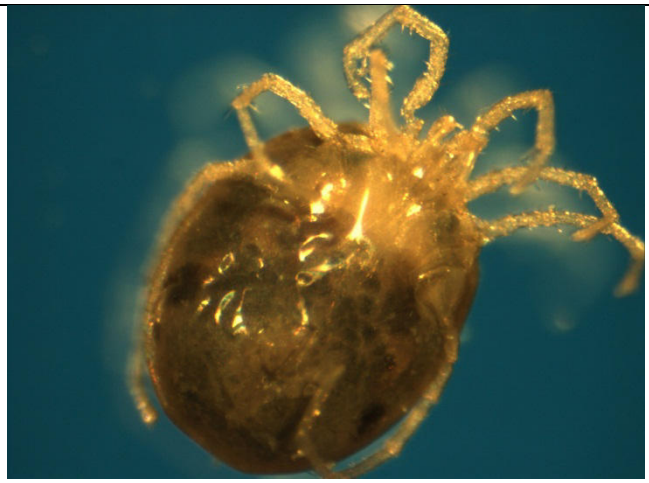
Stratiomyidae (Diptera) ×5



Dixa sp (Dixidae, Diptera) ×3,2



Hydracaria ×6,3



Hydrachnidia ×6,3

Vues générales des onze stations explorées dans quatre cours d'eau du Parc National du Belezma







Oued Hamla (station 1, 2 et 3)







Oued Chaaba (stations 1, 2 et 3)





Oued Bouilef (stations 1, 2 et 3)





Oued El-Ma (stations 1, 2 et 3)

Résumé

Ce travail a pour objectifs de mettre en évidence la qualité biologique et l'état de santé des eaux courantes du Parc National de Belezma (Réserve de biosphère) à travers une approche multiparamétrique. La biodiversité et les traits de vie des macro-invertébrés benthiques de 4 oueds du Parc (O. Hamla, O. Chaaba, O. Bouilef et O. El Ma) sont analysés en relation avec les facteurs environnementaux : 12 paramètres physico-chimiques de l'eau, caractéristiques globales de l'habitat, degré de pression humaine. La vitesse de l'écoulement de l'eau est généralement très faible à moyenne. Les habitats recensés sont dominés par les galets et les rochers (5 à 90%), les habitats à sable fin et grossier sont peu représentés et ceux à végétation sont totalement absents. L'eau est d'un pH variant entre 7,29 et 8,50, les nitrates et les nitrites ne figurent que par des teneurs infimes. L'eau est douce avec un degré de salinité (0,20% et 0,30%), elle est très faiblement salée et généralement claire (turbidité : 2,8 à 22 NTU). Nous avons recensé un total de 28 taxons de macro invertébrés benthiques répartis en 3 embranchements, 4 classes, 11 ordres et 22 familles différentes. Parmi les insectes, les groupes les plus dominants en nombre sont les diptères (36,85%), les trichoptères (20,92%) ainsi que les éphéméroptères (16,73%). C'est dans l'O. Chaaba où l'on retrouve une biodiversité élevée (richesse totale : 22 taxons ; indice de Shannon : 2,84). Le calcul de l'IBGN montre que la qualité hydrobiologique de l'eau dans les 4 cours d'eau étudiés est globalement qualifiée de moyenne (IBGN entre 9 et 10). Des analyses statistiques faisant appel aux méthodes classiques (CCA : Analyse canonique des corrélations) sont appuyées par des analyses modernes faisant appel aux réseaux de neurones (SOM : Self Organisation Model) 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.

Mots clés : Macro-invertébrés – qualité de l'eau – analyse multiparamétrique – Parc national de Belezma.

Abstract

This work aims to highlight the biological quality and health status of flow waters of Belezma National Park (Biosphere Reserve) through a multi-parametric approach. We describe and analyze the biodiversity and life traits of benthic macroinvertebrates of 4 rivers (wadis, Oueds) in the Park (O. Hamla, O. Chaaba, O. Bouilef and O. El Ma) in relation to environmental factors: 12 physicochemical water parameters, global habitat characteristics, degree of human pressure. The velocity of the water flow is generally very low to medium. The habitats are dominated by pebbles and stones (5-90%), fine and coarse sand habitats are poorly represented while plants habitats are completely absent. The water pH is between 7.29 and 8.50, nitrates and nitrites are represented only by trace levels. The water is soft with salinity level (0.20% and 0.30%), it is slightly salted and generally clear (turbidity: 2.8 to 22 NTU). We identified a total of 28 taxa of benthic macroinvertebrates divided into 3 embranchments, 4 classes, 11 orders and 22 different families. Among the insects, the most numerous dominant groups are Diptera (36.85%), Trichoptera (20.92%) and Ephemeroptera (16.73%). High biodiversity (total richness: 22 taxa; Shannon index: 2.84) are noted in O. Chaaba. The evaluated IBGN shows that hydro-biological quality of the water in the 4 streams studied is generally described as ''average'' (IBGN between 9 and 10). Statistical analyzes using conventional methods (CCA: Canonical analysis of correlations) are supported by modern analyzes using the neural networks (SOM: Self Organization Model) are performed to describe the distribution schemes of benthic macro populations under the influence of large environmental factors.

Key words: Macro invertebrates - water quality – multi-parametric analysis - Belezma National Park.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى تسليط الضوء على الحالة البيولوجية و الصحية للمياه الجارية للحظيرة الوطنية لبلزمة (محمية المحيط الحيوي) من خلال تحليل متعدد القياسات. التنوع البيولوجي و صفات حياة اللافقاريات الكبيرة في 4 أودية لحظيرة بلزمة (و. حملة ، و. شعبة ، و. بوييلف ، و. الماء) تم قياسها بواسطة عدة عوامل بيئية : 12 مقياس فيزيو كيميائي للماء، الخصائص العامة للوسط الذي يحتضنها ودرجة الضغط البشري. سرعة تدفق المياه منخفضة جدا إلى متوسطة بشكل عام. الوسط يغلب عليه طابع الحصى و الصخور (5-90٪) اما الوسط الذي يحوي الرمال الناعمة والخشنة فنسبته ضعيفة. بالنسبة للأوساط التي تحوي النباتات فهي منعدمة تماما. درجة حموضة الماء (pH) بين 7.29 و 8.50، اما النترات والنتريت فهي موجودة بنسب ضعيفة . نسبة الملوحة تتراوح ما بين (0.20٪ و 0.30٪)، اذن فالماء عذب و صافي عموما (نسبة التعكر:8 .2 حتي 22 NTU). حددنا 28 صنف من اللافقاريات الكبيرة مقسمة إلى 3 شعب، 4 اقسام، 11 رتبة و 22 عائلة مختلفة. من بين هاته الحشرات، المجموعات الأكثر غالبية : Diptera (36.85%) , Tricoptera (20.92%) و(16.73%) Ephemeroptera . في واد الشعبة نجد تنوع بيولوجي مهم (إجمالي الثروة: 22 صنف؛ مؤشر شانون: 2.84). ان حساب المؤشر البيولوجي الشامل الموحد (IBGN) بين ان الجودة البيولوجية للماء في الأودية السابقة ذكرها هوعادة متوسط (IBGN بين 9 و 10). التحاليل الاحصائية التي تعتمد على المراجع الكلاسيكية (CCA) تم تدعيمها بتحاليل حديثة باستخدام الشبكات العصبية (SOM) بهدف وصف نموذج توزع اللافقاريات الكبيرة تحت تأثير العوامل البيئية.

الكلمات الرئيسية : اللافقاريات الكبيرة - نوعية المياه - تحليل متعدد القياسات - الحظيرة الوطنية بلزمة.