

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

**UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI, OUM EL BOUAGHI**  
**FACULTE DES SCIENCES EXACTES ET SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA**  
**VIE**

**DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE**



**THESE**

**Présentée en vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat en**

**Sciences de la Nature**

**Option : Hydrobiologie**

**THÈME**

**Recherches phréatobiologiques dans la région de Khenchela (Sud Est Algérien) :  
Qualité de l'eau des puits, Biodiversité, Écologie et Biogéographie des espèces stygobies**

**Présenté par : KHALDOUN LATIFA .**

**Membres de jury :**

<b>Mr. Ouldjaoui Abdellah</b>	<b>M.C.A. Université D'Oum-El-Bouaghi</b>	<b>Président</b>
<b>Mr. MERZOUG Djemoui</b>	<b>Pr. Université d'Oum-El-Bouaghi</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>Mme. BELAIDI Nouria</b>	<b>Pr. Université Abouker BelKaid (Tlemcen)</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr. SI BACHIR Abdelkrim</b>	<b>Pr. Université Hadj Lakhdar (Batna)</b>	<b>Examineur</b>
<b>MmeBOULEHBEL Souad</b>	<b>M.C.A. Université D'Oum-El-Bouaghi</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr. SAHEB Ménouar</b>	<b>M.C.A. Université D'Oum-El-Bouaghi</b>	<b>Examineur</b>

**Année : 2014 / 2015**

## **Remerciement**

*La présente étude n'aurait pas été possible sans le bienveillant soutien de certaines personnes. Et je ne suis pas non plus capable de dire dans les mots qui conviennent, le rôle qu'elles ont pu jouer à mes côtés pour en arriver. Cependant, je voudrais les prier d'accueillir ici tous mes sentiments de gratitude qui viennent du fond de mon cœur, en acceptant mes remerciements.*

*Ce travail de thèse s'est déroulé au sein du laboratoire «Ressources Naturelles et Aménagement des milieux sensibles» (RNAMS), de l'Université d'Oum El Bouaghi. C'est un grand plaisir de travailler dans une équipe aussi active.*

*Mes premiers remerciements vont d'abord à mon directeur de thèse, le professeur MERZOUG Djemoui, qui m'a accompagné tout au long de ma formation. Sa disponibilité et ses généreux secours au cours de certains de mes moments difficiles ont été d'une très grande qualité, et d'un immense réconfort; merci infiniment, Je le remercie pour tout ce qu'il m'a apporté, pour ses conseils, sa présence, sa patience, pour m'avoir fait confiance et m'avoir laissé la liberté nécessaire à l'accomplissement de mes travaux. Je suis redevable à Monsieur MERZOUG Djemoui de la découverte du monde souterrain et de mon initiation à la biospéologie.*

*Un immense Merci à Monsieur Claude BOUTIN pour sa disponibilité, sa bonne humeur et pour m'avoir fait bénéficier de ses conseils, son soutien et ses encouragements permanents. Sa capacité à transmettre ses connaissances associées à une disponibilité à toute épreuve ont été un soutien plus que précieux.*

*Je remercie aussi tous les membres de mon jury qui m'ont aidé à bien structurer mon étude : il s'agit de Monsieur Ouldjaoui Abdellah Maître de conférences à l'Université d'Oum El Bouaghi qui nous a fait l'honneur de présider le jury de cette thèse, et pour leur participation enthousiaste à mon jury de thèse et leurs commentaires enrichissants.*

*Merci à Madame BELAIDI Nouria Professeur à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté d'examineur ce travail et de participer à mon jury de thèse. Ainsi que pour sa disponibilité malgré la distance.*

*Il s'agit aussi de Mr SI BACHIR Abdelkrim Professeur à l'Université de Batna, vous m'avez honoré en acceptant d'être membre de ce jury.*

*Merci à Madame BOULEHBEL Souad maitre de conférenceA à l'Université d'Oum El Bouaghi pour avoir accepté d'évaluer ce modeste travail*

*Merci aussi à Monsieur SAHEB Ménouar maitre de conférenceA à l'Université d'Oum El Bouaghi pour avoir bien voulu participer au jury de cette thèse et pour ses encouragements et ses commentaires bienveillants.*

*Un grand merci à monsieur le directeur du Laboratoire «Ressources Naturelles et Aménagement des milieux sensibles» (RNAMS), le professeur KHIARI AbdelKader pour sa disponibilité et pour m'avoir permis de travailler dans des conditions adéquates et dans une ambiance agréable.*

*Je remercie tout particulièrement Djouhra mansouri, Anissa zidi et Amina sassi pour leur disponibilité, leur bonne humeur et pour m'avoir fait bénéficier de leur conseils qui ont rendu mon apprentissage des méthodes de mesures de quelques paramètres physico-chimiques et le temps passé au laboratoire des plus enrichissants.*

*Il y a une personne de très grande importance dans la réalisation de ma thèse, qui m'accompagne et qui me soutient tout le temps par la force et l'énergie qui lui sont disponibles. Il s'agit de mon merveilleux, splendide et vertueux mari, dont je ne pourrai mesurer l'apport dans l'accomplissement de cette formation. Dans tout ce que j'ai pu souffrir et obtenir, il a été l'autre moi. Je te remercie infiniment Moussa.*

*Je remerci également nawel ababsa et dalila qui m'ont beaucoup aidé dans la réalisation de l'étude statistique.*

*Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué à faciliter cette étude dans ce cadre trouvent ici le témoignage de ma sincère gratitude.*

## Résumé :

Ce travail représente les premières données sur la faune aquatique des eaux souterraine dans la région de Khenchela, dans le Nord-Est de l'Algérie. Cette étude avait comme objectif de rechercher et de préciser la relation pouvant exister entre la qualité de l'eau des puits et des sources et la diversité de la faune aquatique présente dans ces habitats. Pour cela 21 stations (19 puits et 2 sources) ont fait l'objet, de février 2011 à Janvier 2012, de prélèvements mensuels de l'eau et d'un échantillonnage de la faune aquatique. Les stations retenues ont été choisies en raison de la diversité de leur faune mais aussi et surtout parce qu'elles présentaient entre elles certaines différences évidentes (profondeur de la nappe, nature du substratum, protection des puits et utilisation de l'eau par la population locale), qui pouvaient laisser espérer une certaine diversité. Les principales composantes physico-chimiques de la qualité de l'eau ont donc été mesurées puis une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée à partir des valeurs moyennes de chaque paramètre ; on a pu révéler ainsi l'existence d'une variation spatiale relativement marquée de ces descripteurs, faisant apparaître quatre groupes de stations très inégaux et bien différenciés : les deux premiers groupes rassemblent 12 puits dont l'eau est très polluée et les deux derniers qui contiennent les autres puits et les deux sources fournissent une eau de bonne qualité ou légèrement polluée. La faune aquatique de ces puits et sources a également été échantillonnée de façon périodique. La richesse faunistique globale des stations apparaît faiblement corrélée avec la qualité de l'eau, mais en revanche la richesse spécifique de la faune stygobie (celle qui vit dans la nappe phréatique) et plus encore l'abondance de ces espèces stygobies, diminuent de façon significative avec la pollution. La présence d'une faune stygobie, et particulièrement celle des crustacés péracarides, apparaît ainsi comme un indicateur de la qualité de l'eau de ces puits et des sources.

## **Abstract**

This work represents the first data on the fauna of the region of Khenchela, North-Eastern Algeria. This study aimed at showing the possible relationships between the water quality of wells and springs and the diversity of the aquatic fauna which occurs in these habitats. To this end, the water quality and the fauna were regularly investigated each month, from February 2011 to January 2012, in 21 stations (19 wells and 2 springs) selected in the region north-east of the Aures Massif. The stations were chosen considering visible differences related to both their fauna and some evident characteristics i.e. water table depth, nature of geological substratum, protection and human use, so that it was possible to expect a certain biological diversity. The main physicochemical characteristics of water were measured and a Principal Component Analysis (PCA) was performed with the mean values of each variable. The PCA indicated an appreciable spatial variation of water quality related to the values of some hydrological variables and clearly showed four groups of stations: The two first groups assemble wells having a very polluted water and the last two other groups include the springs and six wells, where the water is feebly or not polluted. The total faunal richness of stations was poorly correlated with water quality but, in contrast, the occurrence of the stygobiontic fauna (the subterranean species living in groundwater), and moreover the abundance of stygobiontic species decreased significantly in case of water pollution. Thus the stygobiontic fauna and especially the peracarid crustaceans appear to be indicators of water quality in the studied wells and springs.

## ملخص :

هذا العمل يمثل البيانات الأولى على الحيوانات المائية من المياه الجوفية في منطقة خنشلة في الشمال الشرقي من الجزائر. هدفت هذه الدراسة لتحقيق وتوضيح العلاقة التي قد تكون موجودة بين نوعية المياه من الآبار والينابيع وتنوع هذه الحيوانات في هذه البيئات. لهذا 21 محطة (19 بئرا و 2 الينابيع) أن يكون، اعتبارا من فبراير 2011 إلى يناير 2012، أخذت عينات المياه الشهري و عينات من الحيوانات المائية شهريا. وقد تم اختيار المحطات بسبب الحياة البرية المتنوعة، ولكن أيضا وخصوصا لأن لديهم بعض الاختلافات الواضحة بينها (عمق المياه، الطبيعة التحتية، وحماية الآبار واستخدام المياه من قبل السكان محليين)، والتي يمكن أن تقدم بعض الأمل في التنوع. وقد تم قياس المكونات الفيزيائية والكيميائية الرئيسية لنوعية المياه، ثم تم إجراء تحليل المكون الرئيسي (ACP) باستخدام متوسط قيم كل معلمة. وبالتالي قادرة على كشف الاختلاف المكاني القوي نسبيا من هذه الأوصاف، والتي تبين أربع مجموعات من محطات متباينة جدا جيدا وغير المتكافئة: وتضم المجموعتين الأولى 12 آبار المياه التي هي ملوثة جدا وآخر اثنان آبار أخرى تحتوي على كل مصادر المياه وتوفير نوعية جيدة أو ملوثة قليلا. وأخذت عينات من الحيوانات من هذه الآبار والينابيع أيضا بشكل دوري. الثروة الحيوانية الإجمالية للمحطات تظهر ارتباطا ضعيفا مع نوعية المياه، ولكن بدلا من ذلك ثراء stygobie الحياة البرية (تلك التي تعيش في المياه الجوفية) و stygobitic الأنواع أكثر وفرة، وانخفاض الطريق مع تلوث كبير. ويبدو وجود الحيوانات stygobie، وخاصة أن من القشريات peracarid، كمؤشر لجودة المياه لهذه الآبار والينابيع.

## LISTE DES FIGURES

**Figure 1 :** Classification écologique des invertébrés souterrains aquatiques (d'après Marmonier *et al.* 1993).

**Figure 2 :** Exemples d'invertébrés souterrains aquatiques. Crustacés Amphipodes: *Niphargus virei* (taille moyenne 20 mm), photo M.J. Dole-Olivier. Crustacés Copépodes : *Graeteriella unisetigera* (taille moyenne 0.5 mm), photo T. Datry. Crustacés Ostracodes : *Pseudocandona zschokkei* (taille moyenne 1 mm), photo P. Marmonier. Crustacés Isopodes : *Proasellus cavaticus* (taille moyenne 7-8 mm), photo J.P. Henry. Crustacés Syncarides : Parabathynellidae (taille moyenne 1.5 mm), photo T. Lefébure. Vers Annélide Oligochète (taille moyenne 5 mm), photo M. Creuzé des Châtelliers.

**Figure 3 :** La situation géographique de la wilaya de Khenchela.

**Figure 4 :** La géologie de la région de Khenchela.

**Figure 5 :** Localisation géographique des 21 stations échantillonnées, dans la région de Khenchela. P1 : Puits n°1 ; S1 : Source n°1, etc.

**Figure 6 :** Schéma du filet phréatobiologique utilisé.

**Figure 7 :** Schéma de la nasse utilisée au cours de ce travail. En haut, vue latérale sur le fond du puits et en bas vue arrière de l'entonnoir d'entrée, nasse également en place sur le fond du puits.

**Figure 8 :** Valeurs moyennes des températures de l'eau des 19 puits et deux sources étudiées dans la ville de Khenchela.

**Figure 9 :** Valeurs moyennes de pH de l'eau des 19 puits et deux sources étudiés dans la ville de Khenchela.



**Figure 10 :** Valeurs moyennes de la conductivité électrique de l'eau des 19 puits et deux sources étudiées dans la ville de Khenchela.

**Figure 11 :** Valeurs moyennes de la turbidité de l'eau des 19 puits et deux sources étudiées dans la ville de Khenchela.

**Figure 12 :** Valeurs moyennes de l'oxygène dissous de l'eau des 19 puits et deux sources étudiées dans la ville de Khenchela.

**Figure 13 :** Valeurs moyennes de la dureté totale de l'eau des 19 puits et deux sources étudiées dans la ville de Khenchela.

**Figure 14 :** Valeurs moyennes de la teneur en calcium de l'eau des 19 puits et deux sources étudiées dans la ville de Khenchela.

**Figure 15 :** Valeurs moyennes de la teneur en magnésium de l'eau des 19 puits et deux sources étudiées dans la ville de Khenchela.

**Figure 16 :** Valeurs moyennes des chlorures de l'eau des 19 puits et deux sources étudiées dans la ville de Khenchela.

**Figure 17 :** Valeurs moyennes des Sulfates de l'eau des 19 puits et deux sources étudiés dans la ville de Khenchela.

**Figure 18 :** Valeurs moyennes des Orthophosphates de l'eau des 19 puits et deux sources étudiées dans la ville de Khenchela.

**Figure 19 :** Valeurs moyennes des Nitrates de l'eau des 19 puits et deux sources étudiées dans la ville de Khenchela.

**Figure 20 :** Valeurs moyennes des Nitrites de l'eau des 19 puits et deux sources étudiées dans la ville de Khenchela.

**Figure 21 :** Valeurs moyennes des Ions ammonium de l'eau des 19 puits et deux sources étudiés dans la ville de Khenchela.

**Figure 22 : A :** Projections des variables physico-chimiques de l'eau des 21 stations figurant dans le tableau 4, sur le plan des deux premiers axes factoriels de l'ACP (axe 1 horizontal et axe 2 vertical). **B :** Projection des 4 groupes de stations (1 à 19 : P1 à P19, 20 et 21 : S1 et S2) décrites par leurs caractéristiques physico-chimiques, sur le plan des deux premiers axes de l'ACP (axe 1 horizontal et axe 2 vertical).

**Figure 23 :** Structure générale des groupes zoologiques de l'ensemble des stations.

**Figure 24 :** Ensemble de figures représentant les abondances relatives des groupes zoologiques dans l'ensemble des stations.

**Figure 25.1 :** Structure de la composition faunistique du puits 1.

**Figure 25.2 :** Structure de la composition faunistique du puits 2.

**Figure 25.3 :** Structure de la composition faunistique du puits 3.

**Figure 25.4 :** Structure de la composition faunistique du puits 4.

**Figure 25.5 :** Structure de la composition faunistique du puits 5.

**Figure 25.6 :** Structure de la composition faunistique du puits 6.

**Figure 25.7 :** Structure de la composition faunistique du puits 7.

**Figure 25.8 :** Structure de la composition faunistique du puits 8.

**Figure 25.9 :** Structure de la composition faunistique du puits 9.

**Figure 25.10 :** Structure de la composition faunistique du puits 10.

**Figure 25.11 :** Structure de la composition faunistique du puits 11.

**Figure 25.12 :** Structure de la composition faunistique du puits 12.

**Figure 25.13 :** Structure de la composition faunistique du puits 13.

**Figure 25.14 :** Structure de la composition faunistique du puits 14.

**Figure 25.15 :** Structure de la composition faunistique du puits 15.

**Figure 25.16 :** Structure de la composition faunistique du puits 16.

**Figure 25.17 :** Structure de la composition faunistique du puits 17.

**Figure 25.18 :** Structure de la composition faunistique du puits 18.

**Figure 25.19:** Structure de la composition faunistique du puits 19.

**Figure 25.20 :** Structure de la composition faunistique de la source 1.

**Figure 25.21 :** Structure de la composition faunistique de la source 2.

**Figure. 26. -A :** Projections des taxons récoltés au cours de l'étude sur le plan des deux premiers axes de l'ACP (axe 1 horizontal et axe 2 vertical). Plana : Triclares ; Lubr : Lubriculidae ; Tubi : Tubificidae ; Naid : Naididae ; Plano : Planorbidae ; Psda : *Pseudamnicola* sp. ; Cycl : Cyclopoïdes ind ; Eucy : *Eucypris virens* ; Ilyo : *Ilyocypris* sp. ; Cypr : *Cypridopsis vidua* ; Echi : *Echinogammarus* sp. ; Psdo : *Pseudoniphargus* sp. ; Proa : *Proasellus* sp. ; Typh : *Typhlocirolana* sp. ; Arrh : *Arrhenurus* sp ; Coll : Collemboles ; Coli : Coléoptères ; Héte : Hétéroptères ; Chir : Chironomidae ; Larv : Larvules ind. - B : Projections des stations (1 à 19 : P1 à P19, 20 et 21 : S1 et S2), décrites par leur faune, sur le plan des deux premiers axes factoriels de l'ACP (axe 1 horizontal et axe 2 vertical).

## LISTE DES TABLEAUX

**Tableau 1 :** Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays.

**Tableau 2 :** Exploitation des eaux souterraines du Sud du pays (Source ANRH).

**Tableau 3 :** Caractéristiques morphologiques des 19 puits étudiées de la Wilaya de Khenchela. **D:** diamètre (m); **P:** profondeur du puits (m); **PTN:** profondeur du toit de la nappe (m).

**Tableau 4 :** Valeurs moyennes des variables physico-chimiques de l'eau des 21 stations d'étude (P = puits ; S = sources).

**Tableau 5 :** Liste et abondance des divers taxons aquatiques dans l'eau des 21 stations d'étude.

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b> -----	<b>01</b>
---------------------------	-----------

### **CHAPITRE I : Synthèse bibliographique**

1 – Les eaux souterraines-----	04
2 – Les eaux souterraines en Algérie-----	05
2 – 1 – Dans le Nord du pays-----	05
2 – 2 – Dans le Sud du pays-----	06
3 – Les eaux souterraines à Khenchela-----	07
4 – Classification du monde aquatique-----	08
4 – 1 – Terrains perméables en petit-----	09
4 – 1 – 1 – Les nappes phréatiques-----	09
4 – 1 – 2 – Milieux hyporéiques-----	10
4 – 1 – 3 – Milieux hypothelminorhéiques-----	10
4 – 2 – Terrains perméables en grand-----	10
5 – Diversité biologique des eaux souterraines-----	10
6 – Les invertébrés souterrains-----	11
7 – Caractéristiques et rôles de la faune aquatique souterraine-----	14

## **CHAPITRE II : Milieu d'étude**

1 – Situation géographique-----	16
2 – Approche géologique-----	17
3 – Aperçu géomorphologique-----	19
4 – Choix des sites d'étude-----	20

## **CHAPITRE III : Matériels et méthodes**

1 – Échantillonnage des invertébrés aquatiques souterrains-----	23
1 – 1 – Au niveau des puits-----	23
1 – 1 – 1 – Le filet phréatobiologique-----	23
1 – 1 – 2 – La nasse-----	24
1 – 2 – Au niveau des sources-----	27
2 – Traitement des échantillons-----	27
3 - Analyses physico-chimique de l'eau-----	27
3 – 1 – Facteurs mesurés sur le terrain-----	27
3 – 2 – Facteurs analysés au laboratoire-----	28
3 – 2 – 1 – Les chlorures-----	28
3 – 2 – 2 – La dureté totale-----	28
3 – 2 – 3 – Le calcium-----	28
3 – 2 – 4 – Le magnésium-----	28

3 – 2 – 5 – Les sulfates-----	28
3 – 2 – 6 – Les orthophosphates-----	29
3 – 2 – 7 – Les composés azotés-----	29
• L’Azote ammoniacal-----	29
• L’Azote nitreux-----	29
• L’Azote nitrique-----	29
4 – Traitement statistique des données-----	29
4 – 1 – Analyses en composantes principales-----	30
4 – 2 – Analyses hiérarchiques-----	30
<b>CHAPITRE IV : Résultats et interprétation de l'analyse physico-chimique</b>	
1 – Introduction-----	31
2 – Paramètres physiques-----	32
2 – 1 - La température-----	32
2 – 2 - Le potentiel Hydrogène-----	33
2 – 3 - La conductivité électrique-----	34
2 – 4 - La turbidité-----	36
3 - Paramètres chimiques-----	37
3 – 1 - L'oxygène dissous-----	37
3 – 2 - La dureté totale-----	37
3 - 3 - Le calcium-----	38

3 – 4 - Le magnésium-----	39
3 – 5 - Les chlorures-----	40
3 – 6 - Les sulfates-----	41
3 – 7 - Les orthophosphates-----	42
3 – 8 - Les composés azotés-----	43
• L'Azote nitrique-----	43
• L'Azote nitreux-----	44
• L'Azote ammoniacal-----	45
4 – Classification des stations sur la base de la physico-chimie de l'eau au moyen d'une ACP-----	46
4 – 1 – Signification des axes-----	46
4 – 2 – Classification hiérarchiques-----	47
5 – Conclusion-----	48

## **CHAPITRE V : Résultats et interprétation de l'analyse faunistique**

1 – Introduction-----	52
2 – Composition faunistique globale-----	53
3 – Composition faunistique de chaque station (Puits et Sources)-----	56
3 – 1 – Puits 1-----	56
3 – 2 – Puits 2-----	57



3 – 3 – Puits 3	58
3 – 4 – Puits 4	58
3 – 5 – Puits 5	59
3 – 6 – Puits 6	60
3 – 7 – Puits 7	60
3 – 8 – Puits 8	61
3 – 9 – Puits 9	61
3 – 10 – Puits 10	62
3 – 11 – Puits 11	63
3 – 12 – Puits 12	63
3 – 13 – Puits 13	64
3 – 14 – Puits 14	64
3 – 15 – Puits 15	65
3 – 16 – Puits 16	66
3 – 17 – Puits 17	66
3 – 18 – Puits 18	67
3 – 19 – Puits 19	68
3 – 20 – Source 1	68
3 – 21 – Source 2	69

4 – Biotypologie des stations-----70

5 – Conclusion-----74

**DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE-----76**

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES-----78**

# **INTRODUCTION**

# INTRODUCTION

---

## **Introduction :**

Les eaux souterraines représentent approximativement 97% des eaux douces continentales liquides (GINET & DECOU, 1977 ; BOSCA, 2002) et l'Homme dépend, dans de très nombreuses régions du globe, de l'existence, de l'accessibilité et de la qualité de cette ressource vitale, pourtant limitée et fragile (BOUTIN, 1987), puisque 75 à 90 % de la population mondiale, selon les régions, utilise une eau d'origine souterraine. C'est dire l'importance de la connaissance des nappes souterraines dans toutes leurs composantes, en vue d'une meilleure compréhension de ces écosystèmes, et l'intérêt qu'il y aurait à introduire des concepts scientifiques nouveaux, utilisables pour la gestion, l'aménagement, la surveillance, et enfin la protection et la conservation de ces eaux souterraines (DANIELOPOL *et al.*, 2004).

Les recherches écologiques concernant la faune aquatique souterraine et plus particulièrement celle des nappes phréatiques accessibles au niveau des puits ordinaires et accessoirement des sources, représentent un des aspects de la phréatobiologie appliquée qui a connu depuis quelques dizaines d'années un développement important dans le monde entier. En fait les puits ordinaires (à la différence des forages), de même que les sources, constituent des écotones (VANDEL, 1964 ; DALMAS, 1972, 1973 ; GIBERT *et al.*, 1997) qui abritent un assemblage faunistique comportant, à côté des espèces aquatiques d'origine superficielle, variables selon les lieux et suivant l'état de protection du site, des espèces stygobies présentes aux alentours dans la nappe phréatique. On s'est aperçu assez rapidement que ce sont précisément ces dernières qui semblent, plus que les espèces aquatiques épigées, en relation avec la qualité des eaux souterraines (BOUTIN, 1984). Pour ces raisons, on s'est intéressé de plus en plus à la faune des milieux aquatiques souterrains, notamment à celle des nappes phréatiques ainsi qu'à celle du sous-écoulement des cours d'eau (qui entre en contact avec les nappes phréatiques voisines), en utilisant diverses méthodes proposées notamment par des

## INTRODUCTION

---

chercheurs tels que CVETKOV (1968), BOU (1974), BOUTIN & BOULANOUAR (1983). Ces recherches sur l'écologie des milieux aquatiques hypogés ont fait l'objet de plusieurs synthèses parmi lesquelles on peut citer celles de DELAMARE DEBOUTTEVILLE (1960), COINEAU (1971), BOTOSANEANU (1971, 1986), GIBERT (1986), COINEAU & BOUTIN (1992), GIBERT *et al.* (1994, 1997), JUBERTHIE & DECU (1994, 1998, 2001), WILKENS *et al.* (2000), GUNN (2004), CULVER & WHITE (2005).

De nombreuses études ont été entreprises un peu partout dans le monde, en Amérique, notamment par BOUSFIELD (1958), MAGUIRE (1964), HOLSINGER (1972, 1986, 1994, 2000), CULVER (1982), KOENEMANN & HOLSINGER (2001), en Inde (TIWARI *et al.*, 2009), en Australie (HUMPHREYS, 2008, GUZIC *et al.*, 2011) et en Afrique subsaharienne par MAGNIEZ (1979), par ZEBAZE-TOGOUET *et al.* (2009 et 2011) et plus récemment par RAOUL TUEKAM KAYO *et al.* (2013).

Au Maroc on peut citer les travaux anciens de RACOVITZA (1912) et de MONOD (1924, 1927) ainsi que les prospections plus récentes de PESCE *et al.* (1981) et, en particulier au Maroc, parmi d'autres, les travaux de NOURRISSON (1956), KARAMAN & PESCE (1980), BOUTIN & BOULANOUAR (1983), BOULANOUAR (1986 et 1995), MESSOULI (1984, 1988, 1994), BOUTIN & MESSOULI (1988a, 1988b), BOULAL (1988, 2002), BOUTIN & IDEBENNACER (1989), IDEBENNACER (1990), BOUTIN (1993), FAKHER EL ABIARI (1999), AÏT BOUGHROUS (2007), AÏT BOUGHROUS *et al.* (2007), EL ALALI EL FILALI (2010) ou HALLAM (2011).

En Tunisie l'étude de la faune aquatique souterraine s'est résumé à un inventaire peu détaillé fait à partir des prélèvements effectués sur des oueds, puits et sources dans le bassin versant de Barkoukech (GHLALA et MESSANA, 2005, 2006 ; GHLALA *et al.*, 2009) puis plus récemment par la thèse de A. GHLALA (2013).

## INTRODUCTION

---

En Algérie on ne dispose à ce jour que de très peu de données sur la faune stygobie car seules des investigations ponctuelles et souvent anciennes ont été réalisées par des chercheurs de passage, européens en général : RACOVITZA (1912), GAUTHIER (1928), MONOD (1930), NOURRISSON (1956), DELAMARE DEBOUTTEVILLE (1960), puis par PESCE & TETE (1978), PESCE *et al.* (1981) et DUMONT (1981). Actuellement les programmes d'étude en hydrobiologie se développent avec un rythme en croissance dans cette région (DECU *et al.*, 2001 ; BELAIDI, 2004 ; BELAIDI *et al.*, 2004 ; MAHI, 2007 ; TALEB *et al.*, 2008 ; MERZOUG *et al.*, 2010 ; BELAIDI *et al.*, 2011 ; HARRATH *et al.*, 2012). Elles concernent en premier lieu les échanges entre le milieu superficiel et le milieu interstitiel des cours d'eau, en considérant les nutriments (TALEB *et al.*, 2004 ; TALEB *et al.*, 2008) et la faune aquatique (GAGNEUR et CHAOUI BOUDGHRANE, 1991 ; BELAIDI *et al.*, 2004 ; PISCARD *et al.*, 2015). Depuis quelques années, la faune souterraine a fait l'objet d'études systématiques visant à inventorier les espèces stygobies de la nappe alluviale de l'oued Tafna (CHEBIKA, 2003 ; BELAIDI, 2004 ; BENOuada, 2005 ; MAHI, 2007 ; HAICHA, 2008, 2012 ; BELAIDI *et al.*, 2011 ; BENHADJI, 2013; LAKHDARI, 2014).

Une toute première recherche vient d'être entreprise sur la faune aquatique des puits et des sources de la région de Khenchela, dans le Nord-est algérien, au piémont nord-est du massif des Aurès ( KHALDOUN *et al.*, 2014). Région encore inexplorée à ce jour. Il nous a semblé utile en effet d'envisager dans cette région une étude faunistique comparée des puits et des sources. Ainsi qu'une étude physico-chimique de l'eau de ces mêmes stations. Afin de connaître d'une part l'état actuel de la qualité de l'eau et de connaître également les caractéristiques de la faune aquatique, tant épigée que stygobie, de la région. Puis de rechercher enfin s'il existe une corrélation entre la composition des zoocénoses et les caractéristiques de l'eau de ces puits et sources, comme celle qui a déjà été mise en évidence dans d'autres pays africains comme le Maroc ou le Cameroun.

# **CHAPITRE I :**

## **Synthèse**

## **bibliographique**

**1 - Les eaux souterraines :**

À l'exception des glaces non directement utilisables, les eaux souterraines constituent le plus grand réservoir d'eau douce mondial renfermant près de 98 % des eaux douces continentales directement mobilisables (Shiklomanov et Rhoda 2003, cités par Gibert *et al.* 2004). La présence de l'Homme ainsi que ses possibilités de survie dépendent dans plusieurs régions du globe de l'existence et de la qualité de cette ressource limitée et fragile : 75 à 90% de la population mondiale utilise une eau d'origine souterraine. C'est à dire l'importance de l'étude des nappes souterraines dans toutes leurs composantes en vue d'une meilleure connaissance de ces écosystèmes et d'introduire des concepts scientifiques nouveaux en matière de gestion, d'aménagement, de surveillance, de protection et de conservation (DANIELOPOL *et al.*, 2004).

Composante essentielle du cycle de l'eau (CASTANY, 1998). L'eau souterraine constitue la dimension verticale des hydrosystèmes fluviaux (AMORAS et PETTS, 1993) ; elles assurent de nombreuses et importantes fonctions hydrologiques (régulation des régimes hydrologiques des cours d'eau) et écologiques (échange de matière, d'énergie et d'organismes) dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques (GIBERT *et al.*, 1994, BRUNKE et GOUSER, 1997, WARD, 1998 ; MALARD *et al.*, 2003), offrant de plus des propriétés de qualité et de protection souvent supérieures à celles des eaux de surface qui sont généralement plus polluées. Les eaux souterraines présentent donc une ressource naturelle d'une très grande valeur socioéconomique quasiment inestimable, pour les besoins agricoles, industriels et domestiques, et cela dans les pays développés autant que dans les pays en voie de développement (DANIELOPOL *et al.*, 2003 ; GIBERT *et al.*, 2004).



**2 - Les eaux souterraines en Algérie :**

En Algérie les nappes phréatiques jouent comme ailleurs un rôle fondamental qui conditionne toute forme de vie et tout développement socioéconomique, agricole et industriel.

Cette division en 5 grands bassins hydrographiques, a pour but d'adapter, dans chaque région, la gestion et la disponibilité en fonction de l'importance du peuplement et de l'activité économique. En plus de la région hydrographique Sud qui réunit toutes les régions sahariennes (et où les conditions climatiques, humaines et socioéconomiques sont très particulières), quatre bassins hydrographiques principaux ont été définis dans le Nord du pays, d'Ouest en Est : l'Oranie avec notamment le bassin endorhéique du Chott Ech Chergui, puis le Bassin hydrographique du Cheliff-Zahrez, ensuite celui de l'Algérois y compris les régions méridionales et d'altitude du Hodna et du Soumman, enfin le Bassin hydrographique du Constantinois et du Seybouse-Mellegue dans le Nord-Est.

**2 – 1 - Dans le Nord du pays :**

L'ensemble des ressources en eaux souterraines a été évalué par les services techniques de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) et de la Direction des Grands Aménagements Hydrauliques (DGAIH) et dans le cadre du Plan national de l'eau à environ 1,9 milliard de m<sup>3</sup>. Les ressources qui sont les plus faciles à mobiliser, sont aujourd'hui exploitées à plus de 90%; beaucoup de nappes sont même déjà dans un état de surexploitation critique. Actuellement, on estime que plus de 12.000 forages, 9.000 sources et 100.000 puits sollicitent les nappes pour les besoins de l'agriculture et de l'alimentation en eau potable et industrielle (AEPI).

La répartition par région hydrographique des eaux souterraines du Nord se présente comme suit :

**Tableau 1** : Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays.

Bassin hydrographique	Oranie	Chélif	Algérois	Constantinois	Total
	Chott	Zahrez	Soumam	Seybouse	
	Chergui		Hodna	Mellègue	
<b>Ressources pot. (hm<sup>3</sup>/ an)</b>	375	231	745	28,9	1 379,9
<b>Total(%)</b>	19,7	12,2	39,2	28,9	100,0

Si on peut considérer que l'évaluation des potentialités en eaux souterraines (1,3 à 1,5 milliards de m<sup>3</sup>) est déjà faite, il reste que la connaissance de cette ressource est à parfaire. Pour ce qui est d'abord de l'évaluation, qui est basée selon l'ANRH sur des études de modèles, de bilans ou simplement sur la relation pluie-infiltration. A l'inverse des ressources en eaux souterraines situées dans le Sud, les réservoirs du Nord du pays sont renouvelables, ils concernent au total quelque 126 nappes principales.

## 2 – 2 - Dans le Sud du pays :

Quelques nappes phréatiques, souvent saumâtres, existent dans les lits d'oueds tels que les oueds Ghir, M'zab, Saoura etc..., mais l'essentiel du potentiel en eau vraiment utilisable se trouve dans les nappes du Sahara septentrional qui, seules, ont fait l'objet d'études en 1969-1971, (ERES UNESCO) et en 1981-1985 (ANRH, Projet RAB PNUD).

Le renouvellement de ces nappes fossiles ou semi-fossiles n'est assuré qu'à hauteur de 800 millions de mètres cubes environ. Selon les dernières études citées ci-dessus, l'exploitation de ces nappes pourrait être portée à cinq milliards de m<sup>3</sup>/an dont 56 % pour celles du « continental intercalaire » et 44 % pour celles du complexe terminal ainsi que l'indique le tableau ci-dessous :

**Tableau 2** : Exploitation des eaux souterraines du Sud du pays (Source ANRH).

Wilaya	Prélèvements possibles hm <sup>3</sup> /an		
	Continental intercalaire	Complexe Terminal	Totaux
- Biskra	24,6 %	9,3 %	33,9 %
- El Oued	310,5 %	713,9 %	1024,4 %
- Ouargla	507,0 %	1446,2 %	1953,2 %
- Ghardia	559,9 %	-	559,9 %
- Adrar	1180,1 %	-	1179,3 %
- Tamanrasset	184,8 %	-	184,8 %
<b>Totaux</b>	<b>2766,9 %</b>	<b>2169,4 %</b>	<b>4936,3 %</b>

### 3 - Les eaux souterraines dans la Wilaya de Khenchela :

La Wilaya se caractérise par un réseau hydrographique, assez dense mais pour l'essentiel non permanent et souvent à sec pendant la majeure partie de l'année. Elle est située sur une zone charnière, entre le Nord et le Sud (Tell et Sahara). Les exutoires naturels sont constitués de la Garaet Taref au Nord, des Chotts (Sbikha) à l'Est et Chott Melghir au Sud, qui se répartissent en deux grandes familles :

1- Les oueds qui se dirigent vers le Nord pour se déverser généralement dans la dépression de Garaet Taref (oued Baghai, oued Kais, oued Tamza.....).

2- Les oueds qui se dirigent vers le sud pour se déverser dans les chotts (oued-El-Abiod, oued-El-Arab, oued Bidjer).

Les eaux souterraines localisées dans la région de Khenchela sont mobilisées (ou mieux « réparties ») en trois nappes principales. Dans les hautes plaines du Nord et du Centre, elles sont exploitées à plus de 90% (par au moins 196 forages), contrairement à la zone Sud où les eaux souterraines restent peu exploitées.

Les ressources en eau superficielles, comportent notamment deux barrages qui sont actuellement en exploitation, totalisant une capacité globale de 44 hm<sup>3</sup> :

- Le barrage réservoir de Foum El Guiss d'une capacité initiale de 2 hm<sup>3</sup> mis en service en 1936 est envasé au 2/3 de sa capacité.

- Le barrage de Babar d'une capacité de 42 hm<sup>3</sup>, mis en service en 1999 est destiné à l'agriculture.

Les ressources en eaux souterraines, comportent 196 forages réalisés à travers la Wilaya, totalisant un débit théorique de 3 300 L/s, (ce qui doit faire environ 1 730 000 m<sup>3</sup> par an...) et 97 forages en service.

#### **4 - Classification du monde aquatique souterrain :**

Du point de vue écologique, le milieu souterrain aquatique a été divisé en deux grandes catégories fondées sur la nature des terrains dans lesquels les eaux circulent. On peut alors, avec ROUCH (1970), distinguer des terrains perméables en petit et des terrains perméables en grand.

**4 - 1 - Terrains perméables en petit :**

Ces terrains poreux sont représentés essentiellement par les sables, plus ou moins fins ou grossiers, et les graviers dont les espaces inter-granulaires contiennent de l'eau ; ils sont caractérisés par une perméabilité d'interstices. Dans le domaine continental, on distingue traditionnellement parmi les milieux interstitiels, trois grands ensembles, suivant la nature de l'aquifère : les nappes phréatiques, les milieux hyporhéiques ou sous-écoulements des cours d'eau) et le psammon (ou sables côtiers ou lacustres saturés d'eau. Il convient d'ajouter à ces différents milieux, le milieu hypothelminorhéique nettement plus rare et qui s'observe en montagne, lorsque de l'eau ruisselle sous un sol protecteur, qui recouvre un substrat imperméable en pente...(MESTROV, 1962).

**4 - 1 - 1 – Les nappes phréatiques :**

En 1887, DAUBRÉE a introduit l'expression de nappe phréatique pour désigner la nappe d'eau la plus proche de la surface du sol, celle qui alimente les puits ordinaires ou tubés. Elle se trouve partout dans les vallées et les plaines alluviales. Ces nappes sont dites libres, si elles reçoivent directement, par infiltration, des eaux de surface. Elles sont captives, si les aquifères qui les contiennent sont emprisonnées entre des couches imperméables et sont alimentés par un écoulement de la nappe venant d'ailleurs. En notant que les nappes phréatiques libres s'écoulent plus ou moins lentement de l'amont vers l'aval hydraulique, en fonction de la pente du terrain aquifère et de la nature et la porosité des sédiments aquifères).

**4 - 1 - 2 - Milieu hyporhéique :**

La notion de biotope hyporhéique, créée par ORGHIDAN (1955) désigne le milieu limnique existant dans les interstices des alluvions le long d'un cours d'eau, au voisinage immédiat du cours d'eau superficiel e surtout dans les alluvions des cours d'eau (même lorsque l'oued est à sec car il persiste souvent un cours d'eau souterrain qui coule plus lentement et à une profondeur plus ou moins grande, dans l'axe du thalweg). On peut dire plus simplement qu'il s'agit du sous-écoulement des cours d'eau.

**4 - 1 - 3 - Milieu hypothelminorhéique :**

Ce milieu interstitiel correspond aux petites nappes superficielles suspendues, en montagne, sous des sols peu profonds, au contact d'une roche mère imperméable.

**4 - 2 - Terrains perméables en grand :**

Caractérisé par une perméabilité des fissures, ils sont représentés principalement dans le domaine karstique. Ce milieu est défini comme étant constitué généralement de roches carbonatées compactes et solubles dans lesquels apparaissent des formes d'érosion de surface ou exokarst (grottes, gouffres, rivières souterraines....) et des formes souterraines ou endokarst (fissures, fentes et conduits créés dans les roches calcaires par la circulation de l'eau qui dissout les carbonates).

**5 - Diversité biologique des eaux souterraines :**

Les eaux souterraines ne constituent pas seulement un vaste réservoir d'eau. Elles sont également le réservoir d'une diversité biologique originale composée d'organismes dont la plupart n'ont pas d'équivalent dans les écosystèmes aquatiques de surface et dont certaines lignées sont anciennes de plusieurs millions d'années (ROUCH et DANIELOPOL, 1987,

---

DANIELOPOL *et al.*, 2000 ; HUMPHREYS, 2000), parfois de plusieurs dizaines voire centaines de millions d'années (BOUTIN, 1993).

En effet tous les grands phylums du règne animal, depuis les Protozoaires jusqu'aux Vertébrés, en passant par les divers groupes de vers, de Mollusques et surtout d'Arthropodes, ont des représentants inféodés aux eaux souterraines : c'est **la faune stygobie**. Cette faune peut être échantillonnée par différentes techniques adaptées, au niveau des puits ou des forages, des sources, et des alluvions des cours d'eau et bien sûr des grottes.

Ces écosystèmes abritent une faune aquatique extrêmement diversifiée, et qui renferme de nombreuses espèces à caractère endémique très souvent dont l'origine est souvent en relation avec l'histoire géologique de la région et les possibilités énormes de colonisation offertes par le milieu souterrain (JUBERTHIE, 1983). Plusieurs scénarios ont été formulés pour expliquer l'installation de cette faune (BOUTIN et COINEAU, 1990 ; COINEAU et BOUTIN, 1992). Autant dire qu'il s'agit de réels témoins vivant de l'histoire biologique et géologique de la planète qui constituent un patrimoine inestimable (ROUCH et DANIELOPOL, 1987 ; MALARD *et al.*, 1997a).

## **6 - Les invertébrés aquatiques souterrains :**

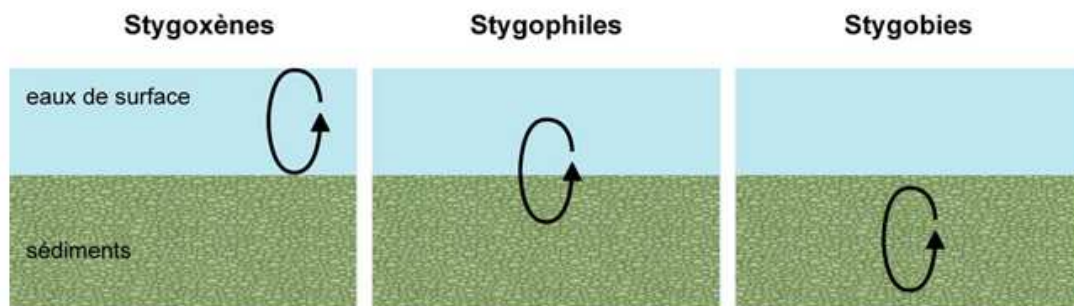
Les aquifères abritent des communautés d'invertébrés dont la richesse et la composition varient en fonction de la connectivité entre les eaux souterraines et les eaux de surface. Au sein des écotones et des aquifères en liaison hydraulique avec un cours d'eau, ces communautés comportent généralement (Figure 1) :

(1) des organismes épigés présents de manière accidentelle dans les habitats souterrains où ils peuvent jouer le rôle de proies (ce sont les stygoxènes) ;

(2) des organismes épigés capables d'exploiter les ressources des habitats souterrains et d'y réaliser une partie ou la totalité de leur cycle de vie mais que l'on peut parfois rencontrer dans d'autres types d'habitat non souterrains (ce sont les stygophiles) ;

(3) et des organismes souterrains qui sont des formes spécialisées réalisant la totalité de leur cycle de vie dans les eaux souterraines et qui sont totalement inconnus dans les eaux de surface (ce sont les stygobies).

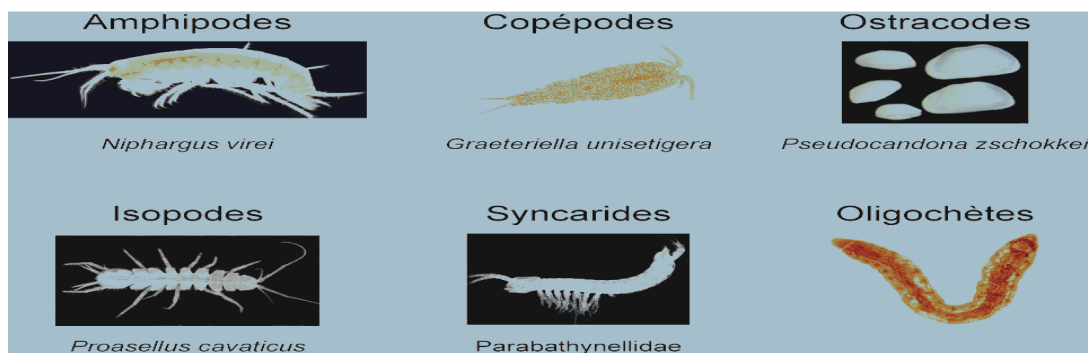
**Figure 1 :** Classification écologique des invertébrés souterrains aquatiques (d'après Marmonier *et al.* 1993).



Les communautés d'invertébrés présentes dans les couches profondes des aquifères ou les aquifères alimentés essentiellement par infiltration naturelle des eaux de pluie sont principalement composées d'organismes souterrains. Ces derniers appartiennent en majorité au groupe des Crustacés et plus particulièrement aux Malacostracés et Copépodes qui représentent respectivement près de 61 et 23 % des espèces stygobies mondiales de Crustacés connues à ce jour (Ferreira 2005, Hobbs 2000). En comparaison aux espèces épigées, les organismes souterrains présentent un certain nombre de traits biologiques reflétant leur adaptation à une faible disponibilité des ressources trophiques et une relative stabilité des conditions environnementales (Figure 2). Ces différents traits correspondent à un allongement des cycles de vie, un métabolisme et un taux de reproduction ralentis, une résistance accrue au jeûne et des capacités élevées de détection des sources de nourriture (Gibert *et al.* 1994, Hervant *et al.* 1997, Hervant & Renault 2002, Gibert & Deharveng 2002).



Ces adaptations nécessitant un investissement important dans l'acquisition et la conservation d'énergie impliquent que ces organismes sont de relativement faibles compétiteurs et présentent une sensibilité importante aux perturbations environnementales (Brunke & Gonsler 1999, Issartel *et al.* 2005). Vivant à l'obscurité, les stygobies sont le plus souvent dépigmentés et anophtalmes.



**Figure 2** : Exemples d'invertébrés souterrains aquatiques. Crustacés Amphipodes: *Niphargus virei* (taille moyenne 20 mm), photo M.J. Dole-Olivier. Crustacés Copépodes : *Graeteriella unisetigera* (taille moyenne 0.5 mm), photo T. Datry. Crustacés Ostracodes : *Pseudocandona zschokkei* (taille moyenne 1 mm), photo P. Marmonier. Crustacés Isopodes : *Proasellus cavaticus* (taille moyenne 7-8 mm), photo J.P. Henry. Crustacés Syncarides : Parabathynellidae (taille moyenne 1.5 mm), photo T. Lefébure. Vers Annélide Oligochète (taille moyenne 5 mm), photo M. Creuzé des Châtelliers.

Bien que la biodiversité des eaux souterraines puisse être appréhendée à différentes échelles constituant des niveaux hiérarchiques interdépendants tels que l'écosystème, l'espèce ou plus récemment le niveau génétique (Marmonier *et al.* 1993, Lefébure *et al.* 2006), peu de données sont actuellement disponibles sur la diversité fonctionnelle des invertébrés souterrains et leur rôle potentiel dans le fonctionnement des écosystèmes (Claret *et al.* 1999, Boulton *et al.* 2008).

Il n'existe actuellement pas de classification en groupes fonctionnels trophiques telle que celle proposée par Cummins & Klug (1979) pour les invertébrés des cours d'eau de surface. Cette classification est difficilement transposable aux invertébrés souterrains puisqu'il semblerait que la faible disponibilité des ressources trophiques favorise une stratégie généraliste de la part des invertébrés souterrains se traduisant par une faible spécialisation vers un type de ressource trophique donné (Gibert & Deharveng 2002). Ce comportement généraliste est d'ailleurs illustré par Simon *et al.* (2003) montrant que certaines espèces d'amphipodes considérées comme des déchiqueteurs ou « shredders » (utilisant la matière organique particulaire > 1mm, notamment des feuilles) ou des prédateurs de proies de plus petite taille sont également capables de se comporter comme des collecteurs ou « gathering collectors » (ingérant de la matière organique particulaire fine < 1 mm) ou des racleurs, « scrapers » (raclant les biofilms microbiens attachés aux surfaces) lorsque leur ressource privilégiée n'est pas disponible. Cependant, les apports de matière organique ayant lieu principalement sous forme dissoute dans les aquifères phréatiques et les horizons hyporhéiques les plus éloignés de la surface, les biofilms microbiens sont généralement considérés comme la ressource trophique principale pour les communautés d'invertébrés souterrains (Brunke & Gonser 1997, Pusch *et al.* 1998, Ward *et al.* 1998).

### **7 - Caractéristiques et rôles de la faune aquatique souterraine :**

Les eaux souterraines hébergent de nombreux animaux aquatiques ; ils y vivent, s'y nourrissent, y grandissent et meurent dans un environnement privé de l'abondance des sources d'énergies élémentaires présentes en surface. Bien que ce milieu se distingue par une obscurité permanente et par la rareté des ressources nutritives, les formes animales qui se développent, sont presque aussi diversifiées que celles des eaux de surface (CREUZÉ DES CHÂTELLIERS et DOLE-OLIVIER, 1991). La majorité des embranchements du règne animal sont présents dans ce milieu.

---

Par leur place dans les aquifères, les animaux souterrains interviennent sur la qualité des eaux souterraines. En agissant sur la dégradation de la matière organique véhiculée par l'eau, en respirant et en excréant, ils agissent aussi sur la composition physico-chimique de l'eau. Ce sont des descripteurs de la structure et du fonctionnement des aquifères (CREUZÉ DES CHÂTELLIERS et DOLE-OLIVIER, 1991).

La faune souterraine est capable de métaboliser et transformer ainsi certains polluants en produits non toxiques (SINTON, 1984). Cet auteur estime même que les Crustacés hypogés qui se trouvent dans un puits d'une station d'épuration pourraient recycler jusqu'à 20% de la matière organique provenant des eaux usées via les eaux souterraines.

# **CHAPITRE II :**

## **Milieu d'étude**

**1 - Situation géographique :**

La Wilaya de Khenchela est située au Nord de l'Algérie, au Sud-Est du constantinois (Figure 3) ; et au contrefort du mont des Aurès entre  $34^{\circ} 06' 36''$  et  $35^{\circ} 41' 21''$  latitudes Nord ; et entre  $06^{\circ} 34' 12''$  et  $07^{\circ} 35' 56''$  de longitudes Est. Sa superficie est de 9715,6 km<sup>2</sup>. Elle est limitée géographiquement au Nord par la Wilaya d'Oum El Bouaghi, au Sud par la wilaya d'El Oued, à l'Est par celle de Tébessa à l'Ouest par celle de Batna et au Sud-ouest par celle de Biskra.

La région de Khenchela se distingue par ses milieux physiques et naturels très diversifiés et à facettes multiples, comportant :

- des paysages telliens (zones de haute montagne, bien arrosées et bien boisées à paysages verdoyants), les Monts des Aurès occupant la partie ouest de la wilaya ;
- des paysages de hautes plaines (hautes plaines céréalières semi-arides) pour la partie Nord de la wilaya ;
- des paysages steppiques et sahariens composés : de monts totalement dénudés et érodés (monts des Némemchas à l'Est), et d'oasis (Siar, Khirane et El Ouldja) et enfin de basses plaines comme El Meita à Ouazerne.

Elle est caractérisée par sa vocation agrosylvopastorale où la superficie agricole représente 22%, les forêts, 12% et la steppe représente 49% de la superficie totale (Anonyme, 2001).



**Figure 3 :** La situation géographique de la wilaya de Khenchela

**2 - Approche géologique :**

La région de Khenchela est caractérisée par trois (03) zones naturelles qui peuvent être distinguées comme suit :

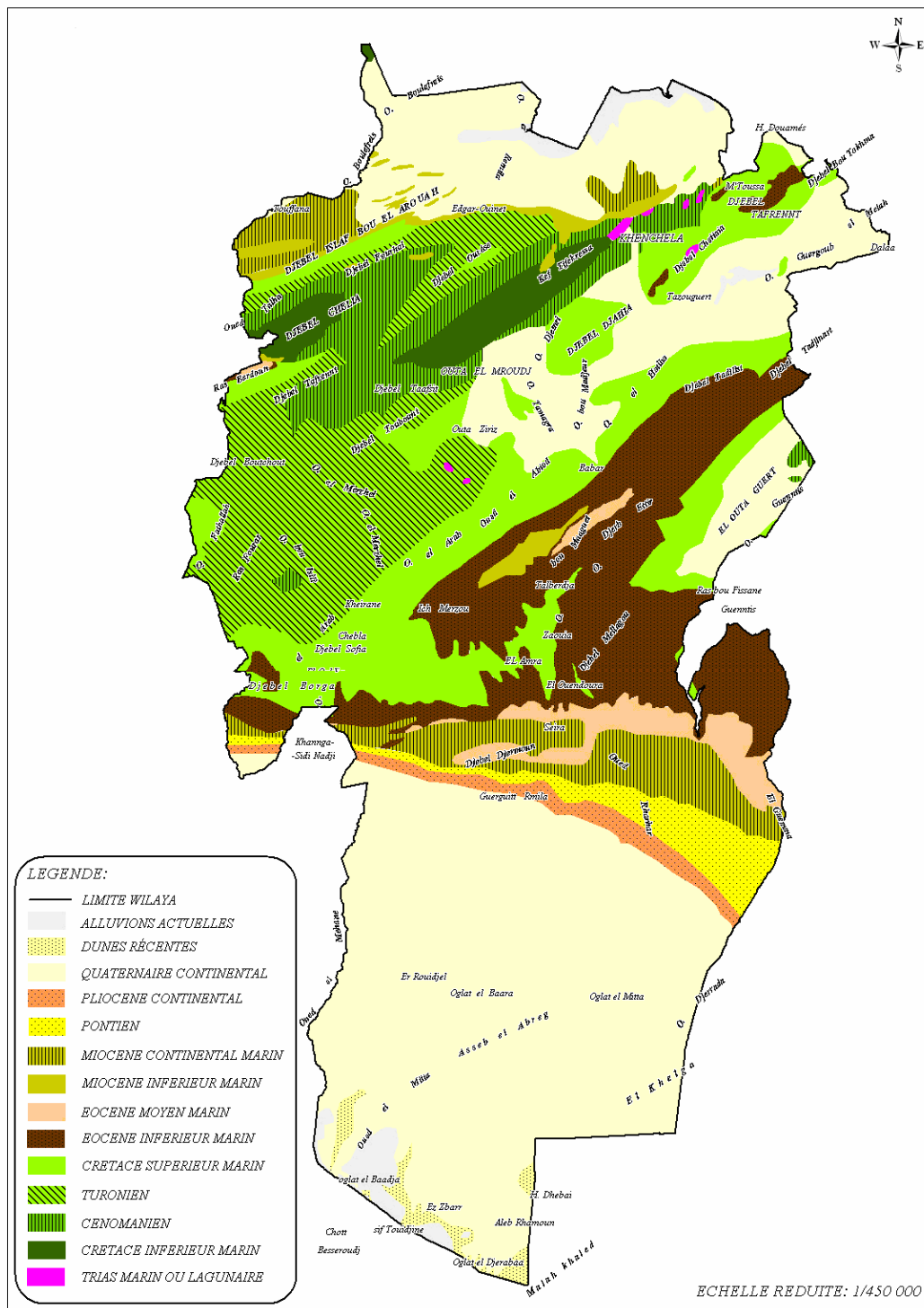
- Au Nord : c'est le bassin miocène de Timgad et de Douffana. C'est une zone plate, steppique qui correspond à la bordure méridionale de la grande dépression de Garat El Taref.
- les parties occidentales et centrales constituent la terminaison périclinale Nord/Est de la chaîne des Aurès, région caractérisée par des diapirs triasiques.
- La zone méridionale au Sud constitue les monts des Nememchas ; et plus au Sud, c'est la zone plate qui correspond à la bordure septentrionale du pays des chotts.

Du point de vue tectonique, le territoire de la Wilaya de Khenchela est situé au Nord de la flexure sud atlasique (Figure 4). Les reliefs montagneux sont très accidentés par des failles. On peut reconnaître deux principales familles de failles:

La première correspond aux plus grande failles de direction Est/Ouest à Nord-est/ Sud-ouest.

La seconde celle des plus petites et dont la direction est de Nord-Ouest/Sud –Est. Ces deux types de failles sont verticaux. Il est à noter que les diapirs ou dômes triasiques, qui se rencontrent dans la partie orientale, empruntent généralement les zones de failles et de plus faible résistance pour remonter vers la surface du sol et affleurer.

Du point de vue lithologie et pétrographie, on rencontre des calcaires, des marnes, des argiles, du gypse, des sables, des grès et des conglomérats.



**Figure 4 :** La géologie de la région de Khenchela.



**3 - Aperçu géomorphologique :**

Le territoire de la région de Khenchela est situé dans une zone de transition entre le domaine atlasique, assez plissé au Nord et la plate forme saharienne au Sud (Figure 5). Le contact entre ces deux domaines est très brutal ; il est marqué par un grand accident tectonique, la « flexure Sud-atlasique ».

Dans la wilaya, on rencontre deux grands ensembles sédimentaires :

- Un ensemble souple affecté par des plis ayant généralement une direction Sud-ouest/Nord-est.
- Un ensemble rigide affecté par des failles verticales.

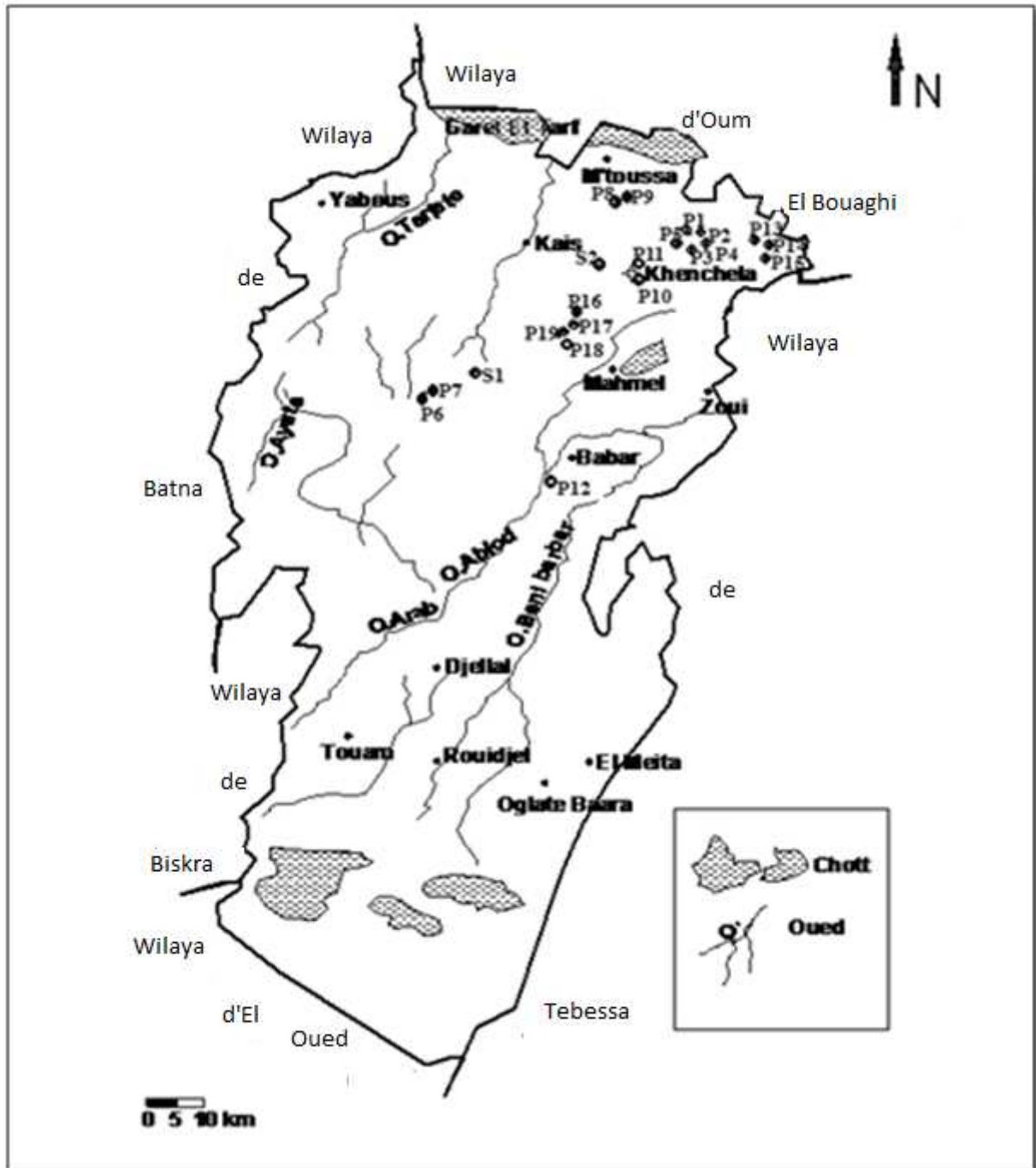
**4 - Choix des sites d'étude :**

Dans la présente étude notre choix s'est porté sur 19 puits et deux sources situés dans la wilaya de **K**henchela (Tableau 3, Figure 6).

**Tableau 3 :** Caractéristiques morphologiques des 19 puits étudiées de la Wilaya de Khenchela.

**D:** diamètre (m); **P:** profondeur du puits (m); **PTN:** profondeur du toit de la nappe (m).

stations	D	P	PTN	parois	Localité	protection	Usage
<b>P1</b>	1.5	6.5	5.5	Oui	Ouled boukehil	Non protégé	Irrigation
<b>P2</b>	3.5	15	9.8	Oui	Ouled boukehil	Non protégé	Irrigation
<b>P3</b>	1.8	20.8	10.8	Oui	Ouled boukehil	Non protégé	Irrigation
<b>P4</b>	2.7	18.7	12.8	Oui	Ouled boukehil	Non protégé	Irrigation
<b>P5</b>	1.6	15	10.7	Oui	Ouled boukehil	Non protégé	Irrigation
<b>P6</b>	2.7*3.5	25.2	10.5	Oui	Tamza	Bien protégé	Irrigation et usage domestique
<b>P7</b>	2.5	19.9	9.4	Oui	Tamza	Bien protégé	Abandonné
<b>P8</b>	2	35	14	Oui	Baghai	Protégé	Irrigation
<b>P9</b>	1.6	23	15	Oui	Baghai	Protégé	Irrigation
<b>P10</b>	1.5	25	20	Non	Khenchela ville	Très bien protégé	Usage domestique
<b>P11</b>	2.3	19	17	Non	Khenchela ville	Très bien protégé	Usage domestique
<b>P12</b>	2	23	14	Non	Khiren	Non protégé	Irrigation
<b>P13</b>	3.6	30.8	15	Oui	Ain touila	Protégé	Irrigation et usage domestique
<b>P14</b>	3.3	5.2	2.7	Non	Ain touila	Protégé	Irrigation et usage domestique
<b>P15</b>	2.8*2.8	32	27.4	Non	Ain touila	Protégé	Irrigation et usage domestique
<b>P16</b>	1	2.8	0.9	Oui	N'sigha	Protégé	Irrigation
<b>P17</b>	1	7.9	1.4	Oui	N'sigha	Protégé	Irrigation et usage domestique
<b>P18</b>	1.4	6.7	5.9	Oui	N'sigha	Non protégé	Irrigation
<b>P19</b>	1.4	4.6	0.6	Oui	N'sigha	Non protégé	Irrigation



**Figure 5 :** Localisation géographique des 21 stations échantillonnées, dans la région de Khenchela. P1 : Puits n°1 ; S1 : Source n°1, etc.

# **CHAPITRE III :**

## **Matériels et méthodes**

**1 - Échantillonnage des invertébrés aquatiques souterrains :**

Les eaux souterraines que nous avons prospectées sont essentiellement des eaux phréatiques interstitielles, accessibles au niveau des sources et des puits.

L'échantillonnage a été effectué régulièrement au niveau d'une vingtaine de puits (19 puits exactement) et de deux sources, pour avoir une connaissance globale aussi bonne que possible de la faune stygobie de la région de Khenchela.

**1 – 1 - Au niveau des puits :**

Pour récolter la faune des puits, plusieurs procédés peuvent être utilisés ; chacun présente des avantages et des limites (BOUTIN et BOULANOUAR, 1983 ; PASCALIS, 2006).

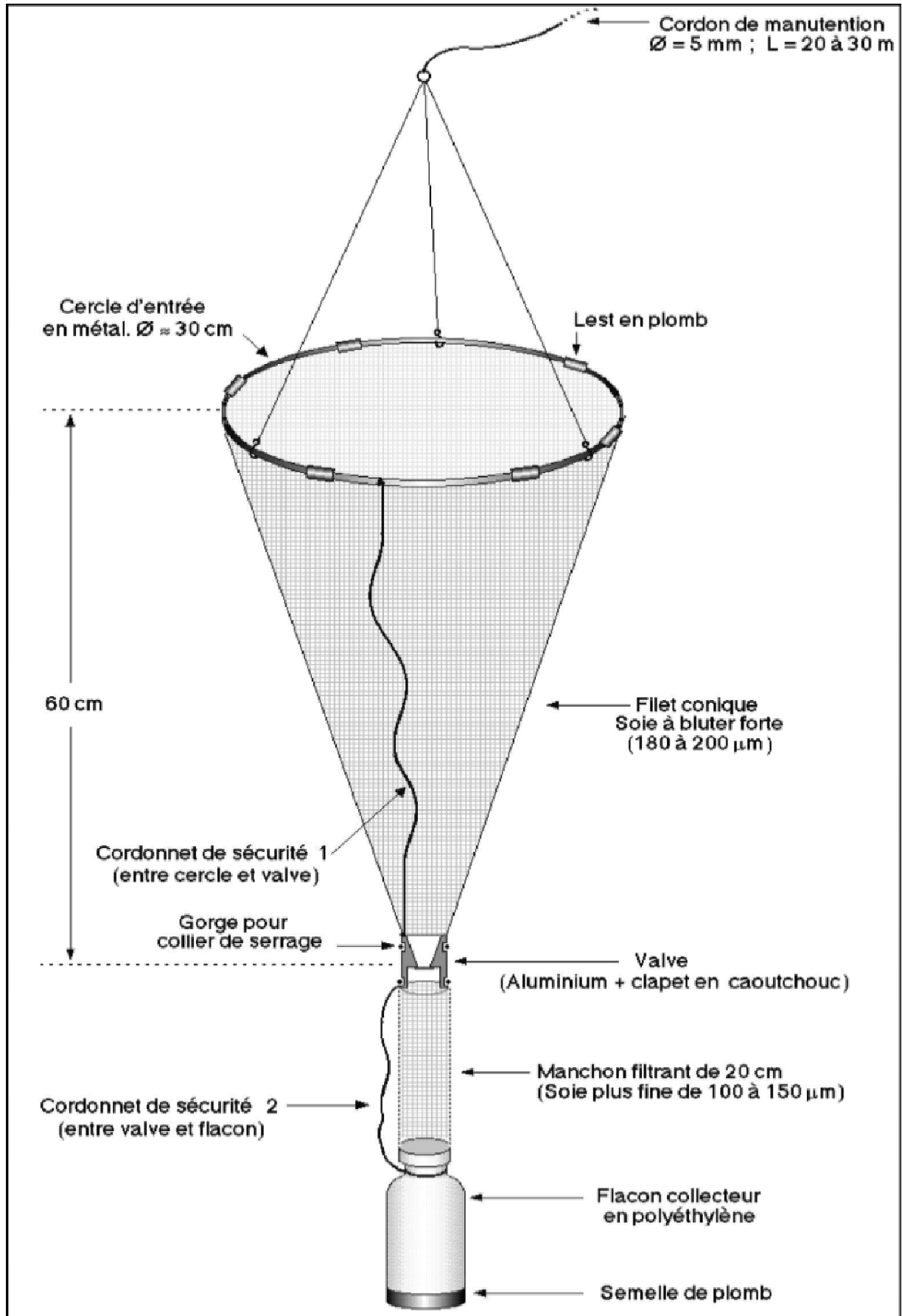
**1 – 1 – 1 - Le filet phréatobiologique :**

Le filet phréatobiologique que nous avons utilisé a été conçu à partir du modèle mis au point d'abord par CVETKOV (1968) puis modifié. Il s'agit d'un cône en toile de nylon fin, monté sur un cercle métallique lesté, de 40 cm de diamètre (figure 7). A la base de ce cône est attachée une valve (en aluminium, munie d'un clapet en caoutchouc) qui permet l'entrée de la faune nageuse lors de la remontée du filet et l'empêche de ressortir pendant la redescende (BOUTIN et BOULANOUAR, 1983).

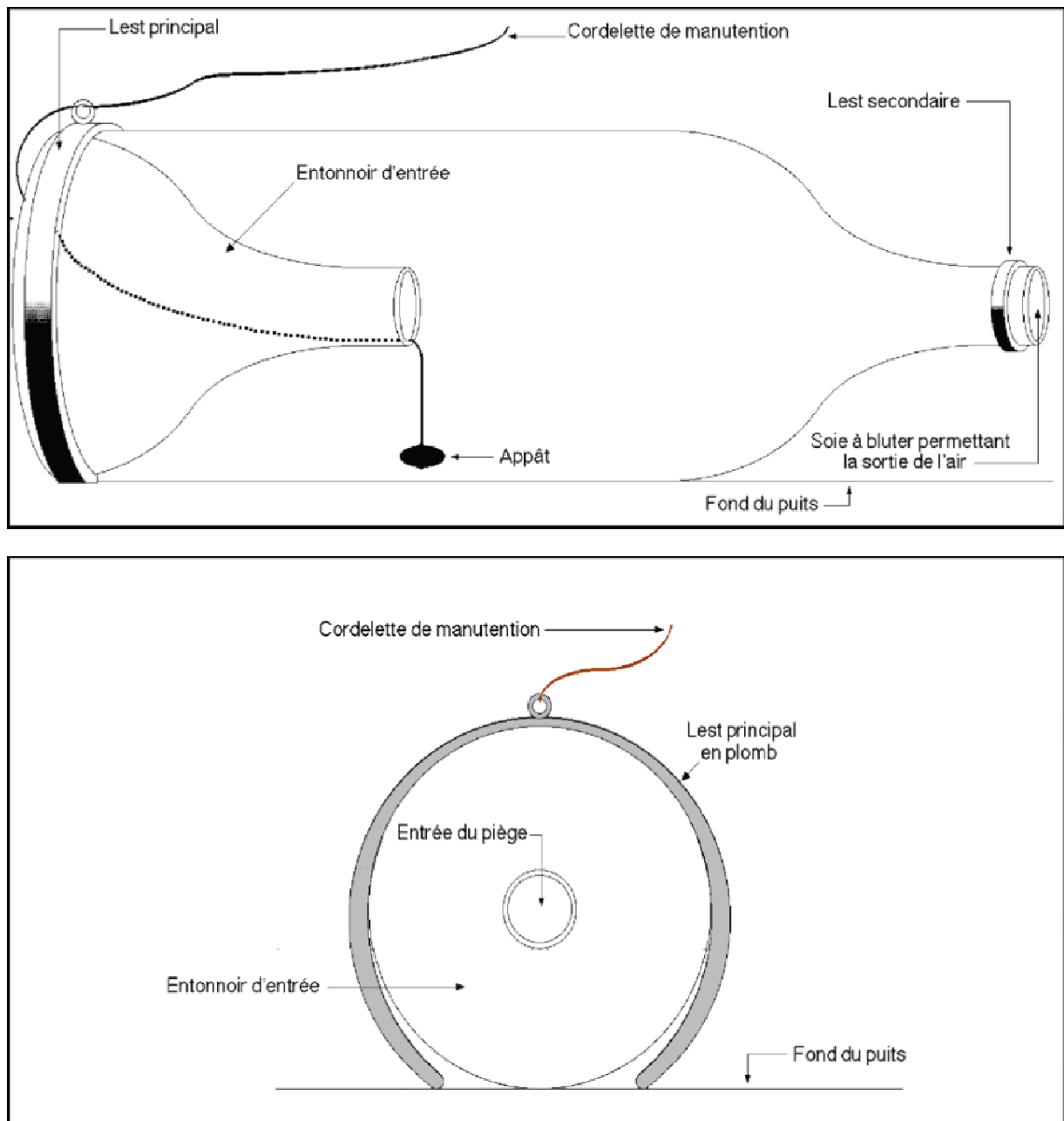
L'efficacité du filet phréatobiologique a été signalée par plusieurs auteurs (BOULANOUAR, 1986; BOULAL, 1988; IDBENNACER, 1990; YACOUBI-KHÉBIZA 1990; FAKHER EL ABIARI, 1999). L'expérience a montré qu'une dizaine de coups de filet sont généralement suffisants, pour obtenir un échantillon représentatif et semi-quantitatif du peuplement d'un puits (IDBENNACER, 1990).

**1 – 1 - 2 – La nasse :**

Les pièges appâtés et posés au fond du puits sont souvent plus efficaces pour la capture de la faune rampante. Parmi plusieurs types de pièges testés, la nasse est la plus efficace. Elle est constituée par une bouteille en plastique de 1,5 litres (une bouteille à eau minérale), dont le fond a été découpé et remplacé par un entonnoir constituant un goulet qui permet à la faune de pénétrer dans le piège. Le bouchon de la bouteille principale est remplacé par un morceau de soie à bluter qui permet à l'air de sortir de la nasse lors de l'immersion (figure 8). Le remplissage de la bouteille et sa descente sont facilités par des lests de Plomb. Le piège est appâté au moyen d'un petit morceau de viande rouge (BOUTIN et BOULANOUAR, 1983).



**Figure 6 :** Schéma du filet phréatobiologique utilisé.



**Figure 7 :** Schéma de la nasse utilisée au cours de ce travail. En haut, vue latérale sur le fond du puits et en bas vue arrière de l'entonnoir d'entrée, nasse également en place sur le fond du puits.



**1 – 2 - Au niveau des sources :**

La faune des sources a été récoltée par filtration directe après une agitation manuelle des sédiments à l'amont du filet. (Une seconde technique pourtant efficace souvent autant que la précédente n'a pas pu être utilisée, faute de disposer du matériel nécessaire : il s'agit de la sonde et de la pompe Bou et Rouch qui peuvent utilement être utilisés en aspirant l'eau interstitielle qui imprègne les sédiments sableux qu'on rencontre souvent au point d'émergence d'une source, notamment lorsqu'une source forme une vasque sur le fond de laquelle on voit des points où l'agitation du sable révèle le flux d'eau souterraine qui sort du sédiment).

**2 - Traitement des échantillons :**

Les échantillons sont conservés dans du formol 5%, ensuite ils sont transportés au laboratoire, où ils sont triés minutieusement sous une loupe binoculaire. Les organismes extraits sont conservés dans de l'alcool à 70% avant d'être identifiés. Les déterminations ont été réalisées en utilisant la clef de détermination des macroinvertébrés aquatiques (TACHET *et al.*, 1980 ; TACHET *et al.*, 2000). Les individus sont identifiés jusqu'au niveau du genre ou de la famille ou à l'ordre en fonction du groupe considéré.

**3 - Analyses physico-chimique de l'eau :**

Pour caractériser l'eau des diverses stations selon la qualité physicochimique et écologique, plusieurs facteurs ont été étudiés : quelques-uns ont été mesurés sur place alors que d'autres ont été analysés au Laboratoire des Ressources Naturelles et Aménagement des milieux sensibles, à l'Université Larbi Ben M'hidi, d'Oum El Bouaghi.

**3 – 1 - Facteurs mesurés sur le terrain :**

La température, le pH, la conductivité, l'oxygène dissous et la turbidité ont été mesurés sur le terrain à l'aide d'un multi-mesureur électrique (un appareil **HORIBA type W-23XD**).

**3 – 2 - Facteurs analysés au laboratoire :**

L'eau prélevée, est stockée dans des bouteilles en plastique, après l'ajout de quelques gouttes de formol à 5% pour bloquer les activités bactériennes. Les bouteilles sont complètement remplies sans bulles d'air et sont fermées hermétiquement et transportées au laboratoire où les analyses ont été effectuées dans les 48 heures qui suivent les prélèvements.

**3 – 2 – 1 - Les Chlorures :**

Ils sont dosés selon la méthode de Mohr (RODIER, 2009).

**3 – 2 – 2 - La dureté totale :**

Le dosage de la dureté totale est effectué par la méthode complexométrique avec une solution d'E.D.T.A à pH = 10 en présence d'ériochrome comme indicateur coloré (RODIER, 2009).

**3 – 2 – 3 - Le calcium :**

Les ions calcium sont également dosés par complexométrie avec une solution d'E.D.T.A mais à un pH compris entre 12 et 13, avec la murexide comme indicateur coloré. Le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'interfère pas lors du dosage (RODIER, 2009).

**3 – 2 – 4 - Le magnésium :**

La concentration des ions magnésium est obtenue par différence entre la dureté totale et la dureté calcique.

**3 – 2 – 5 - Les Sulfates :**

Ils sont déterminés par la méthode néphélométrique (RODIER, 2009). Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de Tween 20. Les suspensions homogènes sont dosées à l'aide d'un spectromètre à la longueur d'onde de 650 nm.

**3 – 2 – 6 - Les Orthophosphates :**

Ils sont déterminés par la formation, en milieu acide (à pH compris entre 2 et 7) d'un complexe phosphomolybdique avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium. Ce complexe réduit par l'acide ascorbique développe une coloration bleue susceptible d'un dosage colorimétrique à 700 nm, selon la norme AFNOR T90-023.

**3 – 2 – 7 - Les composés azotés :****• L'Azote ammoniacal :**

Il est dosé par la méthode colorimétrique au bleu d'indophénol. La procédure est celle de la norme AFNOR T 90-015.

**• L'Azote nitreux :**

Il est dosé par la méthode colorimétrique en réalisant la diazotation des nitrites par la sulfanilamide et sa complexation avec le N-naphtyl-éthylène-diamine qui donne un complexe coloré susceptible d'un dosage colorimétrique à 540 nm. La méthode utilisée est celle de la norme AFNOR T 90-013.

**• L'Azote nitrique :**

Pour doser les nitrates, on les transforme en nitrites par le passage sur colonne réductrice cadmium-cuivre, puis on dose les nitrites formés comme précédemment. (RODIER, 2009)

**4 - Traitements statistiques des données :**

Deux analyses statistiques ont été réalisées au moyen du logiciel STATISTICA 10 (Édition 2011), aussi bien pour la classification des stations en fonction de leur faune que lors de la classification des stations en fonction de leurs caractéristiques abiotiques. La première est une analyse en composante principale (ACP) et la seconde est une classification hiérarchique ascendante.

**4 – 1 - Analyses en composantes principales :**

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) consiste à chercher la structure sous-jacente à un grand tableau de données empiriques croisant variables et individus (chaque variable est mesurée sur chaque individu), ces structures étant le plus souvent occultées par la complexité et la taille du tableau. Il ne s'agit plus de tester des hypothèses, mais bien de découvrir des structures existantes avant de chercher des hypothèses explicatives (FRONTIER *et al.*, 2001).

Dans notre cas, les individus sont les stations, et les variables sont les taxons ou les valeurs moyennes des descripteurs physico-chimiques de l'eau.

**4 – 2 - Classification hiérarchiques :**

Une classification hiérarchique est réalisée à partir des coordonnées des individus et des variables (transcrites par l'ordinateur) sur les 4 principaux axes de l'analyse en composantes principales ; elle permet d'établir objectivement une typologie des stations à partir des résultats de l'ACP des stations.

**CHAPITRE IV :**

**Résultats et**

**interprétation de**

**l'analyse physico-**

**chimique**

### 1 – Introduction :

Par leur circulation souterraine, les eaux phréatiques se chargent, au contact des différents terrains traversés, d'un certain nombre d'éléments chimiques solubles, chlorures, carbonates, sulfates et autres. Ces éléments peuvent être d'origine géologique ou anthropique. Elles sont capables de changer la qualité des eaux de la nappe et par la suite les caractéristiques de l'écosystème.

Selon la définition de la Directive Cadre Européenne DCE (ROCHE *et al.*, 2005), l'état écologique se réfère « à la structure et au fonctionnement des écosystèmes aquatiques ; l'évaluation en repose donc principalement sur la bio-indication : les peuplements aquatiques, invertébrés et poissons, en sont les juges de paix. Le « bon état » se comprend dès lors comme « bon fonctionnement ». Les seuils concernant les divers paramètres physicochimiques généraux qui contribueront à caractériser chaque masse d'eau doivent donc pouvoir être reliés à l'altération des peuplements.

Pour les polluants toxiques, des normes sont définies sur la base de tests écotoxicologiques. L'évaluation des altérations physiques (ou hydromorphologiques) est requise pour identifier les situations de référence, mais n'intervient pas pour définir le bon état.

Par ailleurs la présence d'une pollution locale au voisinage d'un point d'eau (puits ou source) peut être l'origine de la contamination de la nappe, par infiltration ou par déversement direct. Cette contamination est beaucoup plus accentuée lorsque le puits n'est pas protégé (absence de margelle). Ainsi, l'apport à la nappe d'éléments exogènes, matières organiques, ions azotés, métaux lourds et autres constitue un danger pour la faune aquatique souterraine. Dans cette partie de notre travail, nous allons essentiellement présenter les résultats de notre étude physico-chimique menée dans la région de Khenchela. Une telle étude va permettre de formuler un diagnostic de la qualité des eaux souterraines dans cette région.

### 1 - Paramètres physiques :

#### 2 – 1 - La température :

La température est un facteur physique fondamental dans les milieux aquatiques superficiels et terrestres. Elle conditionne grandement la répartition des organismes végétaux et animaux et influence l'activité physique des êtres vivants. Elle contrôle aussi l'évolution et la transformation dans le milieu aquatique, de nombreux facteurs chimiques dont l'oxygène dissous, facteur indispensable aux organismes aquatiques. Les variations de température influent en particulier sur la dynamique des populations de crustacés (ROUX, 1970).

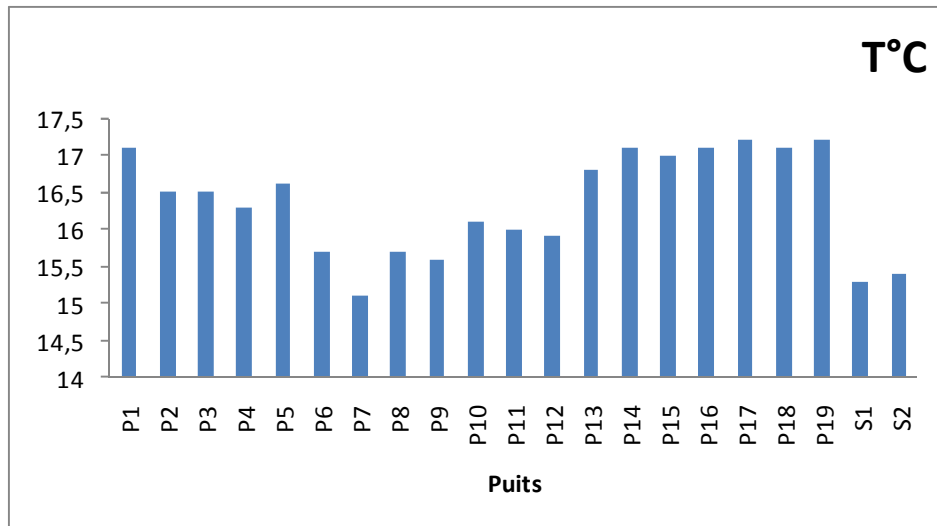
Dans les eaux souterraines, les variations thermiques sont très atténuées, le sol ne transmettant pas les variations saisonnières de température aux quelles il est soumis à la surface. D'après MORETTE (1964), à partir de 12 à 15 m de profondeur la température de celui-ci est indépendante de sa couche superficielle et à fortiori de la température extérieure. Ainsi à -7,50 m l'amplitude thermique annuelle n'excède pas 2°C. D'autres auteurs (PICARD, 1962; DOLE, 1983) estiment qu'à partir de -50 cm dans le substrat, les écarts journaliers ne se font plus ressentir, alors que les variations saisonnières peuvent encore s'observer.

Finalement il est clair que les variations thermiques du sol sont moins influencées par celles du climat local lorsque la profondeur du point de mesure est plus grande.

D'après les résultats la température des eaux des puits de Khenchela (figure 8) sont relativement stables, elle dépend principalement de la situation géographique et du climat général. Les relevés thermiques effectués au niveau des puits étudiés ont montré une légère variation thermique entre les stations: une valeur maximale moyenne de 17,27°C dans le puits P19 et d'une valeur minimale moyenne de 15.16°C dans le puits P7.

## CHAPITRE IV : Résultats et interprétation de l'analyse physico-chimique

La température de l'eau est un très bon descripteur du fonctionnement des écosystèmes souterrains, elle renseigne sur l'origine de l'eau et l'importance des apports superficiels (CREUZÉ DES CHÂTELLIERS et POINSART, 1991 ; YACOUBI-KHÉBIZA, 1996).



**Figure 8** : Valeurs moyennes des températures de l'eau des 19 puits et des deux sources étudiées dans la région de Khenchela.

### 2 - 2 - Le pH de l'eau :

L'acidité de l'eau, mesurée par son pH (potentiel hydrogène) dépend de plusieurs facteurs tels que la concentration de l'oxygène dissous, et surtout celle du gaz carbonique ainsi que celle du taux de la matière organique. Ainsi une chute de pH révèle souvent l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub>, la diminution de la teneur en O<sub>2</sub> et l'accroissement de la teneur en matières organiques.

Le pH indique le caractère acide ou basique de l'eau. Dans les eaux souterraines, il est déterminé, en partie, par la nature géologique du bassin de drainage. Le pH peut être également influencé par les précipitations acides, l'activité biologique et certains rejets industriels.

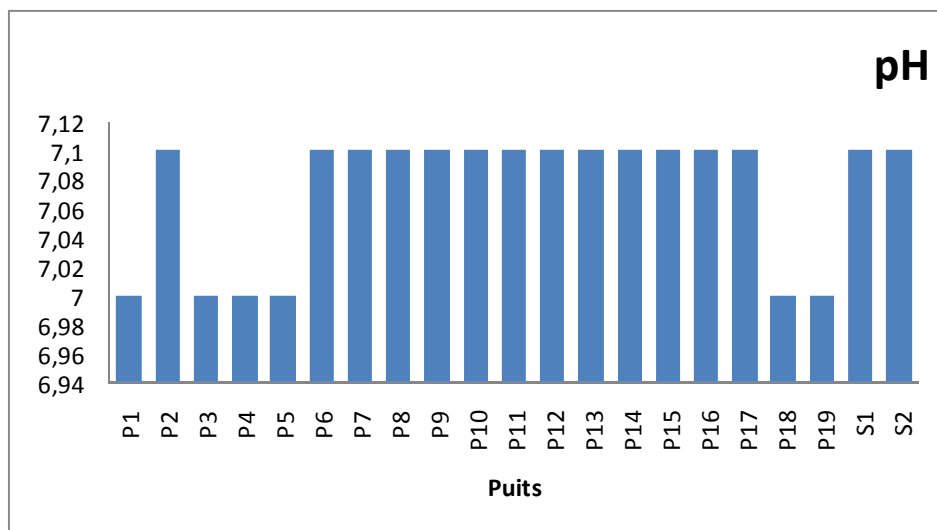


## CHAPITRE IV : Résultats et interprétation de l'analyse physico-chimique

Les valeurs du critère de qualité pour l'eau brute d'approvisionnement se situent entre 6,5 et 8,5 et entre 6,5 et 9,0 pour la protection de la vie aquatique (PAINCHAUD, 1997). D'une manière générale, le pH ne constitue quasiment jamais un facteur limitant en hydrobiologie (DELAMARE de BOUTTEVILLE, 1960) sauf dans des situations exceptionnelles, bien entendu.

Les variations du pH dans les eaux souterraines suivent celles des eaux de surface, avec des valeurs qui sont toujours moins élevées (RUFFO, 1961 ; ANGELIER, 1962). Tous les puits prospectés dans la zone d'étude contiennent de l'eau dont le pH est proche de la neutralité (figure 9), les valeurs observées étant comprises entre 7 et 7,20.

La stabilité de la neutralité d'eau des puits pourrait résulter d'un équilibre entre les fortes teneurs en dioxyde de carbone et les bicarbonates de calcium dissous, stabilisées par l'effet tampon résultant de la forte minéralisation des eaux.

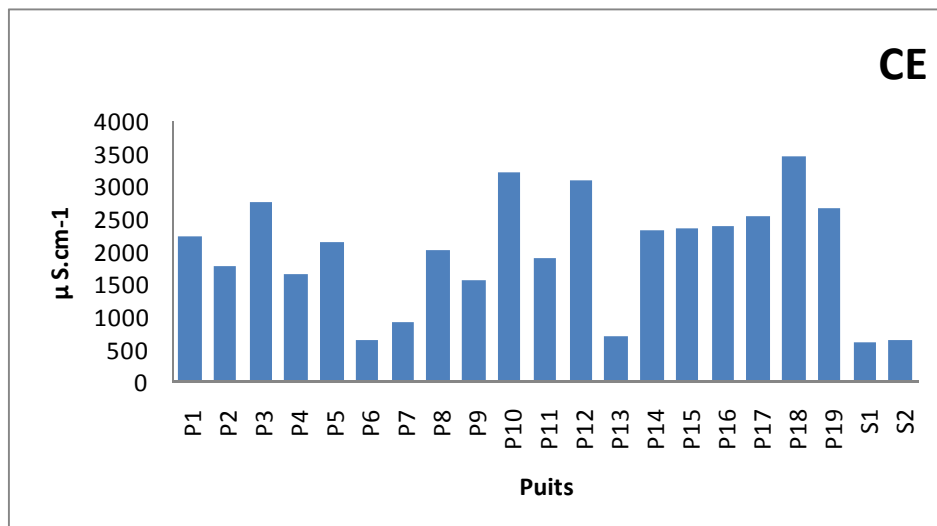


**Figure 9 :** Valeurs moyennes de pH de l'eau des 19 puits et 2 sources étudiés dans la région de Khenchela.

### 2 – 3 - La conductivité électrique :

La conductivité électrique de l'eau dépend essentiellement sa minéralisation globale, car elle résulte de la charge ionique de cette eau. Les pollutions domestiques et industrielles modifient souvent les teneurs naturelles de différents éléments, une modification de la conductivité permet ainsi de mettre en évidence ces pollutions. Elle est proportionnelle à la concentration des sels ionisables qui varie elle-même, mais pour une faible part, avec la température de l'eau. C'est un indice de l'abondance des ions dans l'eau. Les acides et les bases inorganiques ainsi que les sels contribuent fortement à la conductivité de l'eau. NISBET et VERNEAUX (1970), estiment que la conductivité électrique permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau, mais ne doit pas être considérée seule lors de l'étude d'aquifères inconnus. Parfois en effet, les fluctuations des valeurs de la conductivité sont, en grande partie, expliquées par les changements de régime hydrologique.

Selon la grille des qualités des eaux souterraines établie par l'OMS, seules les eaux des puits P3, P10, P12, P17 et P19 appartiennent à la classe des eaux de qualité passable (figure 10), alors que les autres puits, en ce qui concerne leur conductivité et leur minéralisation peuvent être rangés dans la classe des eaux de bonne qualité qui sont consommables après un traitement simple.



**Figure 10 :** Valeurs moyennes de la conductivité électrique de l'eau des 21 stations étudiées à Khenchela et aux environs.

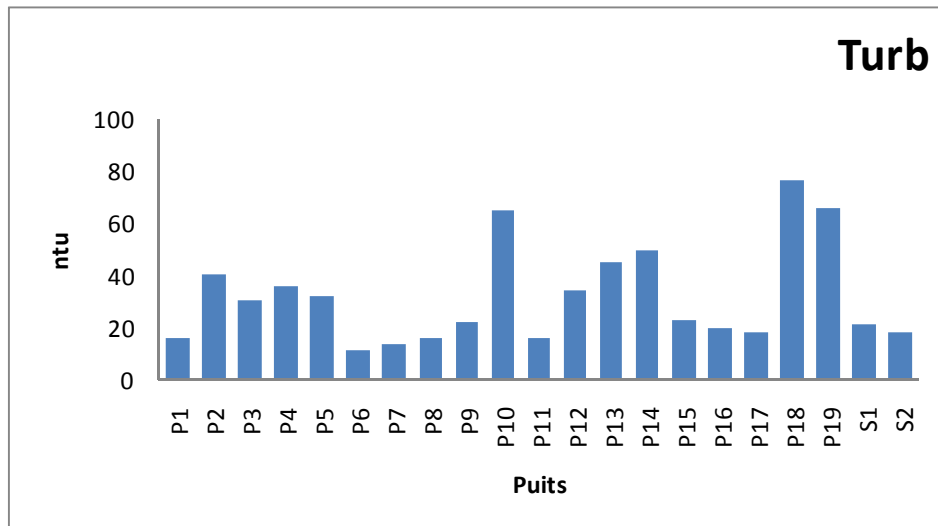
## 2 – 4 - La turbidité :

La turbidité est liée à la présence de particules organiques diverses en suspension, d'argile, de colloïdes, de plancton, etc. qui réduisent la transparence de l'eau.

D'après les résultats regroupés sur la Figure 11, on voit que la plus grande valeur moyenne de cette turbidité (76,25 ntu) est enregistrée au niveau de l'eau du puits P18. Alors que la plus faible valeur (10,5 ntu) est enregistrée dans les eaux du puits P6.

La turbidité est favorisée par la pluviométrie et les apports dus au ruissellement. En profondeur, la turbidité empêche la lumière d'arriver, influençant ainsi la végétation, spécialement dans les hydrosystèmes superficiels (Rodier, 1996). On peut penser qu'il en est de même dans les puits, lorsque la lumière du soleil atteint directement la surface de l'eau et permet une certaine photosynthèse.

Selon la grille de la qualité des eaux souterraines du Ministère algérien des ressources en eau, l'eau des puits de la région de Khenchela est, en raison de sa turbidité, de qualité passable (eau non potable, nécessitant un traitement de potabilisation).



**Figure 11 :** Valeurs moyennes de la turbidité de l'eau des 21 puits et sources étudiés

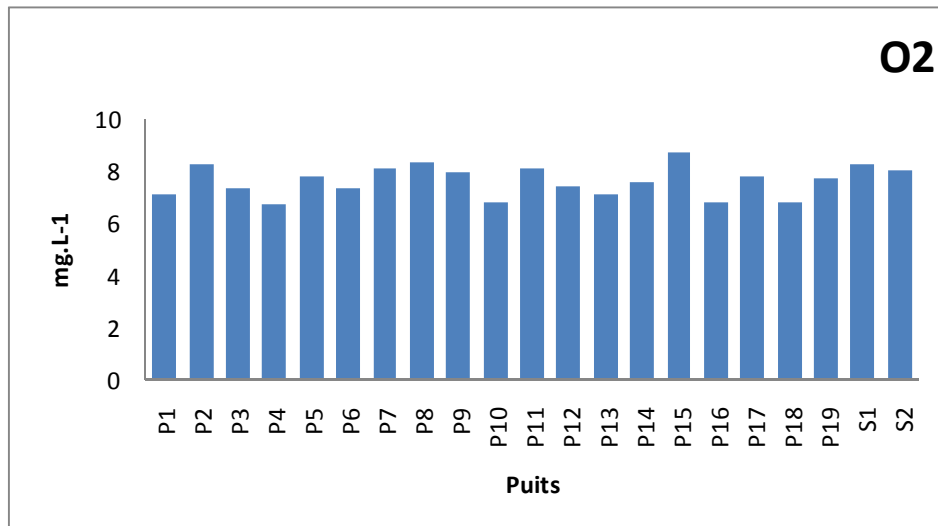
dans la zone de Khenchela.

## 2 – Paramètres chimiques :

### 3 – 1 - L'oxygène dissous :

Dans les eaux souterraines, les teneurs en oxygène dissous sont relativement faibles par rapport à celles des eaux de surface, à cause de l'absence des végétaux photosynthétiques, du faible contact eau-atmosphère, et de l'absence de la turbulence de l'eau. Néanmoins, une circulation rapide, entraînant un renouvellement perpétuel de l'eau, assure parfois une bonne oxygénation de l'eau, dans des réservoirs aquifères très poreux ainsi que dans les biotopes hyporhéiques (ANGELIER, 1962; HAHN, 2006).

À Khenchela, les teneurs en oxygène dissous quelque peu variables d'une station à l'autre (Figure 12). Les eaux du puits P2 et la source S1, sont les plus oxygénées avec une concentration moyenne de 8,1 mg.L<sup>-1</sup> d'oxygène dissous, alors que l'eau du puits P4, est la moins oxygénée avec 6,7 mg.L<sup>-1</sup> en moyenne. Ces valeurs qui semblent faibles, si on les compare avec celle de l'eau des écosystèmes aquatiques superficiels, ne le sont pas réellement dans un écosystème souterrain où on observe assez souvent des valeurs encore plus faibles.

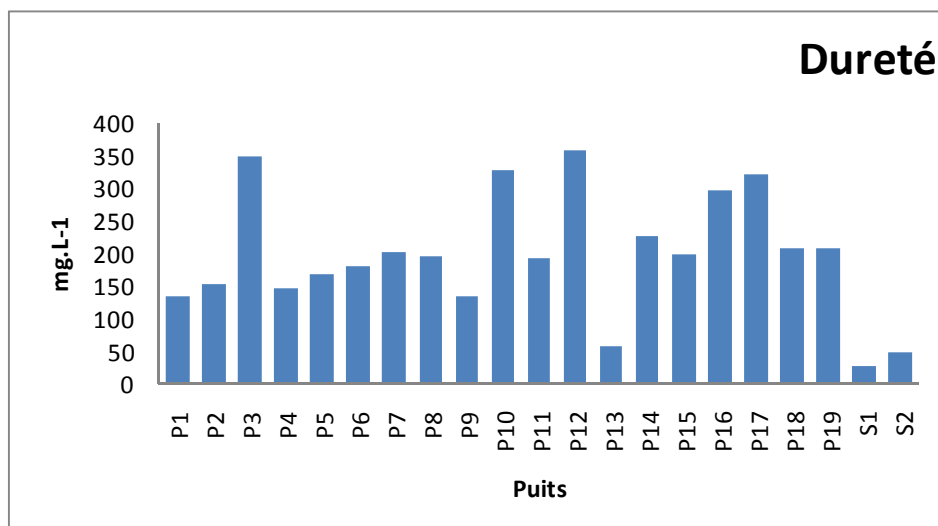


**Figure 12 :** Concentrations moyennes, en mg.L<sup>-1</sup> de l'oxygène dissous de l'eau des 21 puits et sources étudiés à Khenchela.

## 2 – 2 – La dureté totale :

La dureté totale ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception des métaux alcalins et des ions hydrogènes. Dans la plupart des cas, la dureté est due aux ions calcium et magnésium (RODIER, 2009).

La dureté totale de l'eau des puits prospectés est le plus souvent moyenne ou plutôt dure; elle est cependant assez variable d'une station à l'autre (figure 13). L'eau du puits P12 par exemple présente la dureté totale la plus élevée: 357,49 mg.L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>; son eau est donc une eau franchement dure. L'eau de la source S1, au contraire se distingue par une eau très douce contenant 26,02 mg.L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> (ou d'équivalent CaCO<sub>3</sub>) en moyenne.



**Figure 13 :** Valeurs moyennes de la dureté totale de l'eau des 19 puits

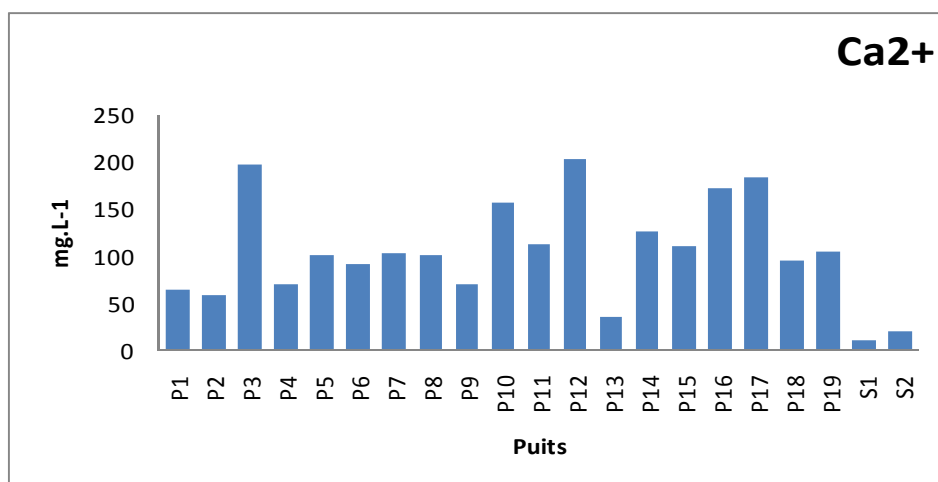
et deux sources étudiés à Khenchela.

### 3 - 3 - Le calcium :

La concentration en ions  $\text{Ca}^{2+}$  est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par les eaux. Les ions calcium résultent de l'attaque par l'eau chargée de dioxyde de carbone des roches calcaires ou parfois de la dissolution des sulfates comme le gypse.

Le calcium joue un rôle essentiel dans la constitution des squelettes et des coquilles, et dans les phénomènes de perméabilité cellulaire, il est concentré par les organismes à partir de l'eau ou des aliments. Il ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage. Par contre, les eaux très douces peuvent entraîner des problèmes de corrosion des canalisations (GAUJOUS, 1995).

Dans les puits étudiés à Khenchela (figure 14), les teneurs en ions calcium sont élevées ( $202,87 \text{ mg.L}^{-1}$  en moyenne dans le puits P12, presque autant dans le puits P3 ; ces concentrations suffisent pour caractériser une eau très dure. Alors que, les teneurs les plus faibles ont été enregistrées dans la source S1  $10,95 \text{ mg.L}^{-1}$  qui peut ainsi être considérée comme une eau douce (dans la mesure où la concentration du magnésium est également faible).



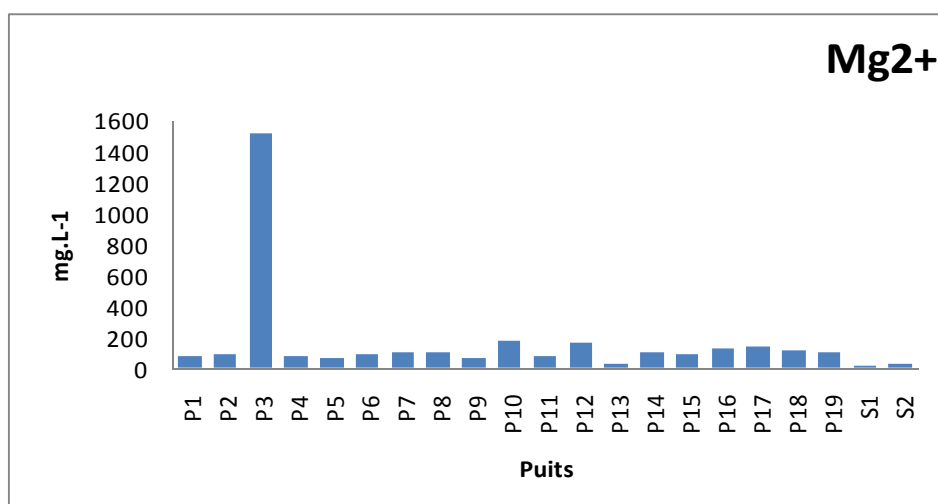
**Figure 14 :** Valeurs moyennes de la teneur en calcium de l'eau des 19 puits

et des deux sources étudiées à Khenchela.

### 3 – 4 - Le magnésium :

Les ions  $Mg^{2+}$  contribuent considérablement à la dureté totale de l'eau. En effet, la concentration du magnésium dans l'eau des stations étudiées, exprimé en  $mg.L^{-1}$ , représente des valeurs proches de celles de la concentration du calcium.

Les concentrations moyennes du  $Mg^{2+}$  sont élevées dans l'eau de la majorité des stations (Figure 15) puisqu'elles sont comprises entre 15,07  $mg.L^{-1}$  dans la source S1 et 171,27  $mg.L^{-1}$  dans le puits P10, et même une valeur exceptionnellement élevée de 1 515  $mg.L^{-1}$  dans le puits P3.



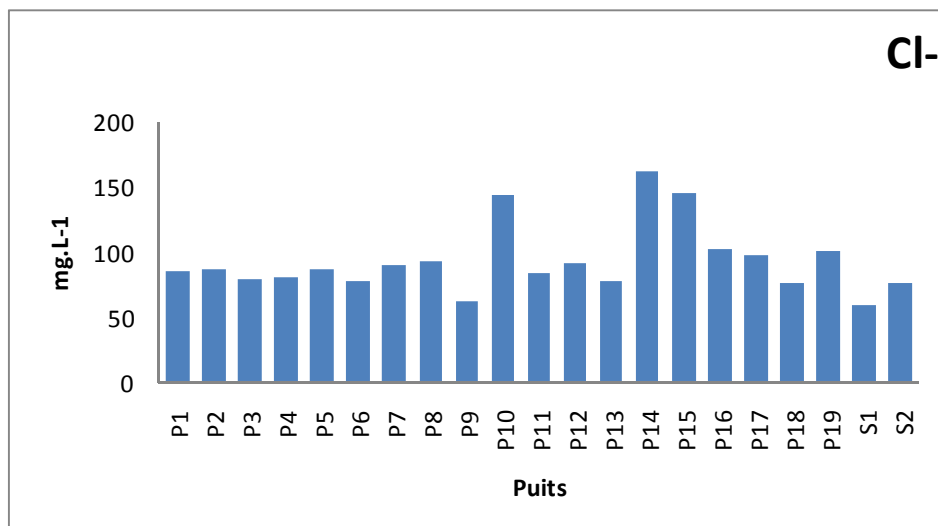
**Figure 15 :** Valeurs moyennes de la teneur en magnésium de l'eau des 21 puits et sources étudiées à Khenchela et aux environs.

### 3- 5 - Les chlorures :

Les chlorures peuvent avoir une triple origine dans les milieux aquatiques : naturelle, lorsqu'ils proviennent des intrusions marines ou dans les terrains salés (EL ACHHEB *et al.*, 2001 ; TRABELSI *et al.*, 2005), humaine (10 à 15 g de NaCl sont rejetés dans les urines par jour et par personne) ou encore industrielle (potasse, industrie pétrolière et agro-alimentaire) (GAUJOUS, 1995).

En France, des études récentes (BARBIER, 2005) ont montré que les eaux des sources présentent souvent des concentrations en chlorures négativement corrélées avec l'altitude. Cela a été expliqué par le ratio évapotranspiration/pluies, plus faible en altitude, ou d'une variation de la composition des pluies et par une solubilisation croissante, tout au long du cours d'eau, des roches solubles.

Les teneurs en ions  $\text{Cl}^-$  varient d'une station à l'autre (figure 16). Elles sont situées entre  $162,83 \text{ mg.L}^{-1}$  dans le puits P14 et  $59,76 \text{ mg.L}^{-1}$  au niveau de la source S1. Selon les normes européennes des eaux destinées à la production de l'eau potable, qui exigent un maximum de  $200 \text{ mg.L}^{-1}$ , les eaux des puits sont dans les normes.



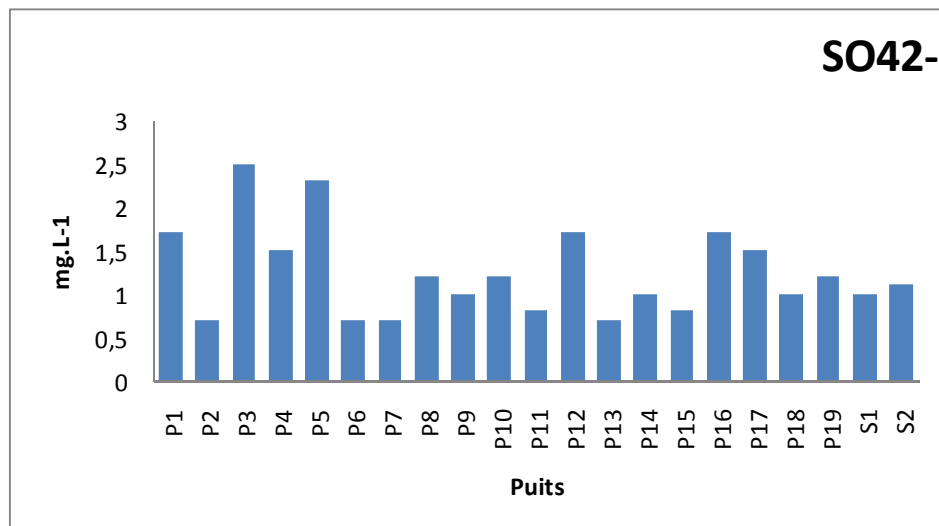
**Figure 16 :** Valeurs moyennes des chlorures de l'eau des 19 puits et deux sources étudiées dans la ville de Khenchela.



### 3- 6 - Les sulfates :

La présence des sulfates dans l'eau peut être liée à la dissolution de gypse, au lessivage des terrains pyrifères ; ou à l'oxydation des sulfures (BAKALOWICZ, 1974) ou encore d'origine anthropique en relation avec une pollution industrielle ou urbaine (MISEREZ, 1973).

Les eaux des puits étudiées ne sont pas séléniteuses (figure 17), les teneurs en  $\text{SO}_4^{2-}$  sont très faibles, allant de  $0,71 \text{ mg.L}^{-1}$  dans le puits P7 à  $2,52 \text{ mg.L}^{-1}$  dans les eaux du puits P3.



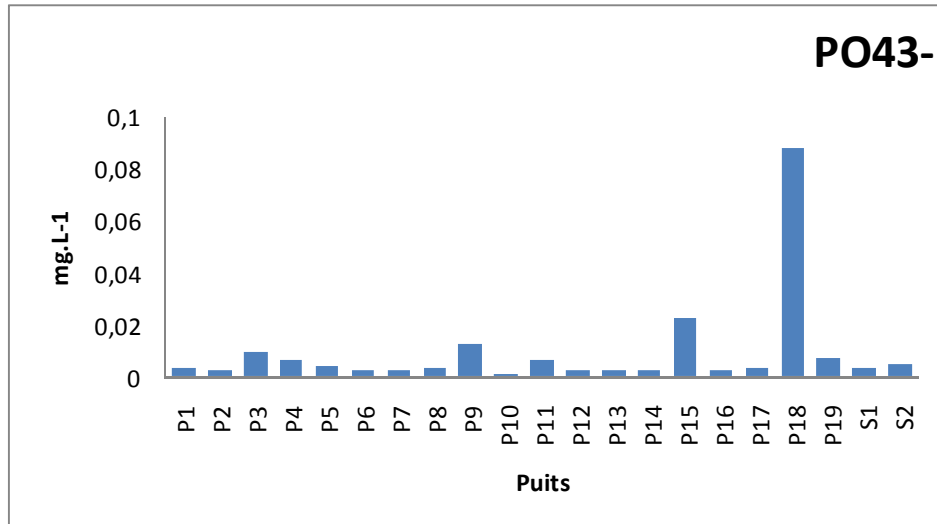
**Figure 17 :** Valeurs moyennes des Sulfates de l'eau des 19 puits et deux sources étudiés dans la ville de Khenchela.

### 3- 7 – Les orthophosphates :

Les Orthophosphates ont le plus souvent une origine urbaine (composants des détergents) ou agricole (lessivage d'engrais) ; ils sont comme les nitrates, un nutriment majeur des végétaux, qui peuvent, dans les milieux aquatiques, entraîner leur prolifération à partir de  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . On considère généralement que les variations des concentrations des phosphates constituent l'élément limitant des phénomènes d'eutrophisation (RÉFEA, 2003).

## CHAPITRE IV : Résultats et interprétation de l'analyse physico-chimique

Tous les puits prospectés présentent des teneurs très faibles (et non détectables) ou faibles en orthophosphates (figure 18), comprises entre 0,0019 mg.L<sup>-1</sup> (P10) et 0,0882 mg.L<sup>-1</sup> (P18).



**Figure 18 :** Valeurs moyennes des Orthophosphates de l'eau des 19 puits et deux sources étudiées dans la ville de Khenchela.

### 3- 8 – Les composés azotés :

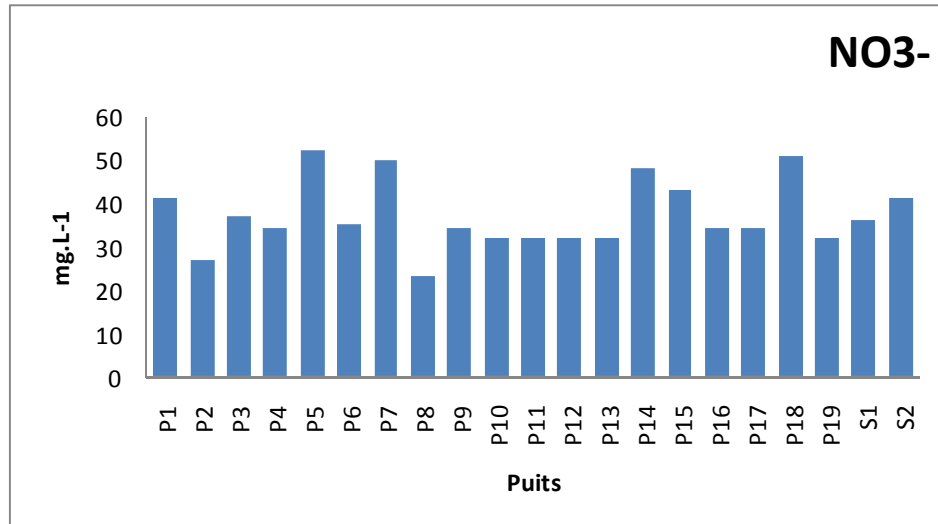
L'azote est l'un des composants importants de la matière vivante. Dans les eaux, cet élément peut être présent soit sous forme combinée dans les composés organiques, soit sous forme minérale plus simple : ions ammonium, nitrites et nitrates, en provenance de la dégradation de la matière organique (eaux usées et lixiviats des décharges), ou des engrais chimiques.

- **L'azote nitrique :**

Vu le danger que peuvent présenter les nitrates dans l'eau de boisson, risque de méthémoglobinémie (cyanose) et formation de nitrosamines (carcinogènes), la valeur maximale admissible en cet élément a été fixée à 50 mg.L<sup>-1</sup> par la totalité des normes internationales sauf les normes américaines qui fixent 45 mg.L<sup>-1</sup> comme valeur maximale admissible.

## CHAPITRE IV : Résultats et interprétation de l'analyse physico-chimique

Dans notre zone d'étude des valeurs comprises entre 23,4 mg.L<sup>-1</sup> et 50 mg.L<sup>-1</sup> (figure 19), sauf pour les puits P5 et P18 qui dépassent légèrement les normes avec des valeurs successives de 52,2 mg.L<sup>-1</sup> et 51,3mg.L<sup>-1</sup>.



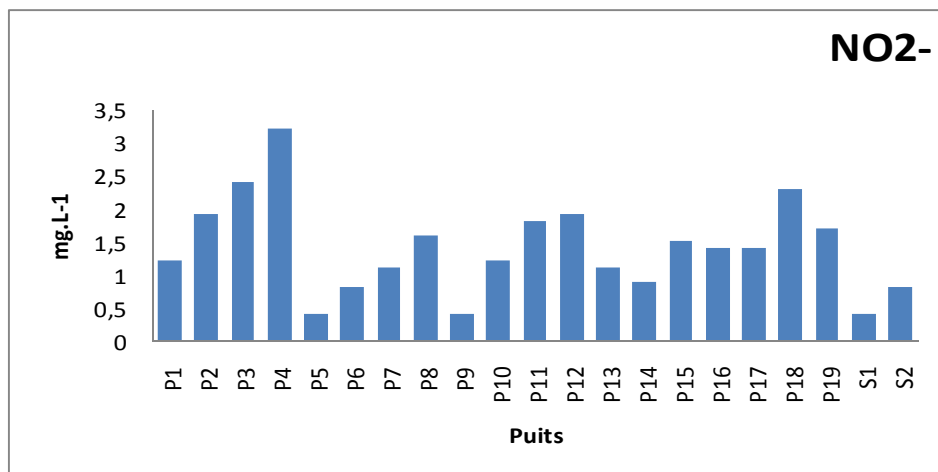
**Figure 19 :** Valeurs moyennes des Nitrates de l'eau des 19 puits et deux sources étudiées dans la ville de Khenchela.

- **L'azote nitreux :**

Les nitrites constituent le plus souvent un stade intermédiaire, peu stable, entre les ions ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). On ne les rencontre que lorsqu'il existe un déséquilibre au niveau de l'oxygénation et l'activité de la flore bactérienne de l'écosystème.

En dehors de tout apport externe (industriel, chimique, ...), les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit, dans les situations exceptionnelles, d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant (RODIER, 2009).

À l'exception des puits P4 (3,21 mg.L<sup>-1</sup>) qui présente la teneur la plus élevée en nitrites, et dépassent la valeur maximale admissible par les normes de l'OMS et des Etats-Unis, les autres puits présentent des eaux ayant des teneurs faibles en nitrites. Elles varient de 0,44 mg.L<sup>-1</sup> dans la source S1 à 2,43 mg.L<sup>-1</sup> dans le puits P3 (figure 20).

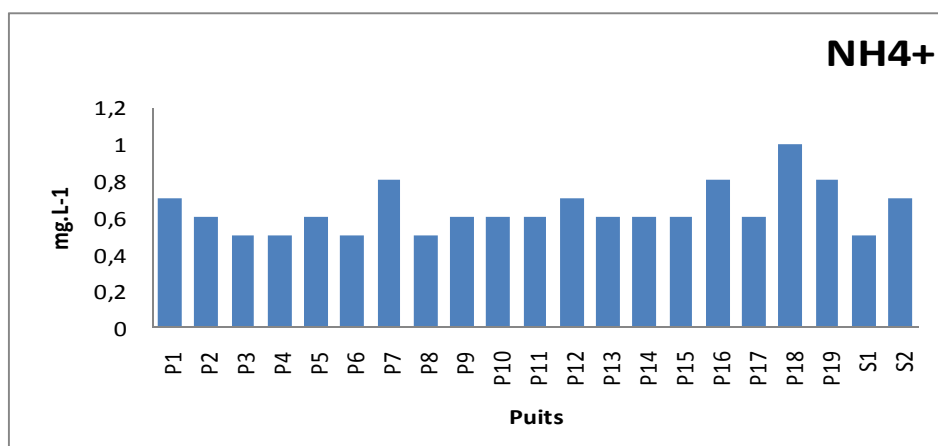


**Figure 20** : Valeurs moyennes des Nitrites de l'eau des 19 puits et deux sources étudiées dans la ville de Khenchela.

- **L'azote ammoniacal :**

La présence des ions ammonium dans les eaux, est souvent le signe d'une dégradation incomplète de la matière organique en relation avec le manque d'oxygène disponible. Il est l'indice d'une contamination par des rejets d'origine humaine ou industrielle (RODIER, 2009 et BOULANOUAR, 1986).

L'ammonium est présent dans les puits prospectés avec des teneurs qui varient de 0,51 mg.L<sup>-1</sup> (P3) à 1,07 mg.L<sup>-1</sup> dans P18 (figure 21). D'après les normes des eaux souterraines, les eaux des puits prospectés sont classées dans la classe des eaux de qualité passable c'est-à-dire une eau non potable nécessitant un traitement de potabilisation.



**Figure 21** : Valeurs moyennes des Ions ammonium de l'eau des 19 puits et deux sources étudiés dans la ville de Khenchela.

### **4 - Classification des stations sur la base de la physico-chimie de l'eau au moyen d'une ACP :**

Pour réaliser une typologie des stations en fonction de la qualité de l'eau, nous avons donc procédé à une analyse en composantes principales. La matrice de données est composée de 21 colonnes correspondant aux puits et sources étudiés dans la ville de Khenchela et 14 lignes correspondants aux facteurs physico-chimiques mesurés ou analysés (Tableau 4).

#### **4 – 1 – Signification des axes :**

Dans l'ensemble des stations, on pourra remarquer (Figure 22 A) que le pH de l'eau, varie très peu et ne montre pratiquement pas de corrélations avec l'ensemble des autres descripteurs qui eux varient plus significativement. Il en va de même du taux d'oxygène dissous qui est relativement constant car stabilisé par les échanges avec l'atmosphère. Toutefois l'axe 1 pourrait exprimer une certaine corrélation, négative, entre l'oxygène dissous et la concentration des nitrites, probablement parce qu'en présence de teneurs plus élevées de l'oxygène dissous, les nitrites sont plus rapidement oxydés en nitrates.

On observe aussi une corrélation négative entre le taux d'oxygène dissous et la température de l'eau car plus celle-ci s'élève plus le taux d'oxygène dissous diminue. Les coordonnées des projections des autres variables sur le 1er axe sont toutes positives mais indiquent de faibles corrélations entre elles. Toutefois le second axe de l'ACP (l'axe vertical Figure 22 A) tend à séparer dans cet ensemble d'une part des variables naturelles liées à la géologie de toute la région (comme les sulfates, la dureté, les chlorures le magnésium) qui se projettent du côté négatif de l'axe, et d'autre part des composantes indiquant un certain degré de pollution et des apports extérieurs de matières organiques (tous les ions azotés ainsi que les phosphates) qui se projettent du côté positif et dont les teneurs varient de façon plus marquées dans l'ensemble des stations.

### 4 – 2 – Classification hiérarchique :

La classification hiérarchique des stations permet de distinguer, sur la base des descripteurs physico-chimiques de l'eau, quatre groupes de stations (figure 22 B) qui diffèrent significativement entre eux :

- Groupe 1 : il isole le puits P18, qui est un puits sans couvercle, donc non protégé des apports éoliens divers. Il présente une eau de qualité médiocre à mauvaise. Elle est en effet, plus riche en ions indicateurs de pollution organique, dont les teneurs dépassent souvent les normes fixées par l'OMS. Les nitrates par exemple sont présents à une concentration moyenne de 51,3 mg.L<sup>-1</sup>. Les nitrites sont présents à une concentration de 2,32 mg.L<sup>-1</sup> et même les ions ammonium sont détectables dans ce puits en dépit du fait que l'eau est encore oxygénée (avec 6,8 mg.L<sup>-1</sup> d'oxygène dissous). L'eau de ce puits présente donc un risque potentiel sérieux pour la santé des populations locales qui la consomment.

- Groupe 2 : ce groupe réunit un ensemble de 11 puits : P1, P3, P4, P5, P10, P12, P14, P15, P16, P17, P19 dont l'eau présente une minéralisation excessive et une dureté importante. Elles sont en effet souvent plus riches en ions indicateurs de pollution organique, dont les teneurs dépassent parfois les normes fixés par l'OMS. Les nitrates sont présents à des concentrations moyennes qui vont de 32,4 à 52,2 mg.L<sup>-1</sup>. Les nitrites sont toujours présents à des concentrations qui vont de 0,44 à 3,21 mg.L<sup>-1</sup> et même les ions ammonium sont détectables dans ces puits bien que l'eau soit oxygénée (avec une moyenne de 6.7 à 8.7 mg.L<sup>-1</sup> d'oxygène dissous).

- Groupe 3 : il réunit six puits, P2, P6, P7, P8, P9, P11, qui sont tous non protégés des apports éoliens mais situés assez loin des lieux habités. L'eau dans ces puits présente des indices de pollution organique ou minérale moins élevés que l'eau des puits du groupe précédent (groupe2).

## CHAPITRE IV : Résultats et interprétation de l'analyse physico-chimique

---

- Groupe 4 : Ce groupe ne contient qu'un seul puits P13 ainsi que les deux sources S1 et S2. L'eau de ces stations, mieux filtrée sans doute, au moins pour les sources, présente des concentrations très faibles en ions indicateurs de pollution (organique et minérale). De plus elles sont globalement peu minéralisées avec les conductivités les plus faibles ; ces 3 stations sont, dans l'ensemble des puits et sources étudiés, celles dont l'eau est la plus pure.

### **5 – Conclusion :**

De ces résultats, il ressort que, dans l'ensemble de la région, les eaux souterraines sont fortement minéralisées, avec notamment des valeurs élevées de la dureté totale et de la salinité. Tous ces ions provenant principalement des roches, calcaires ou parfois salines, traversées par les eaux, cela ne représentant certainement pas un réel danger pour les utilisateurs. Cependant si certaines stations révèlent une pollution organique légère, d'autres en revanche (toutes celles des groupes 1 et 2 et spécialement le puits P18), montrent un risque potentiel pour la santé des populations des environs qui les consomment quotidiennement.

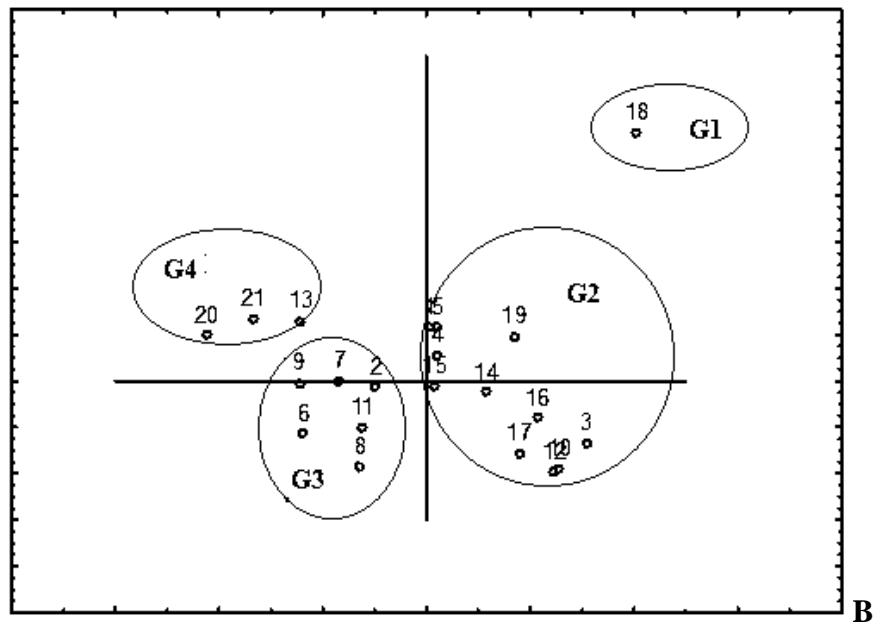
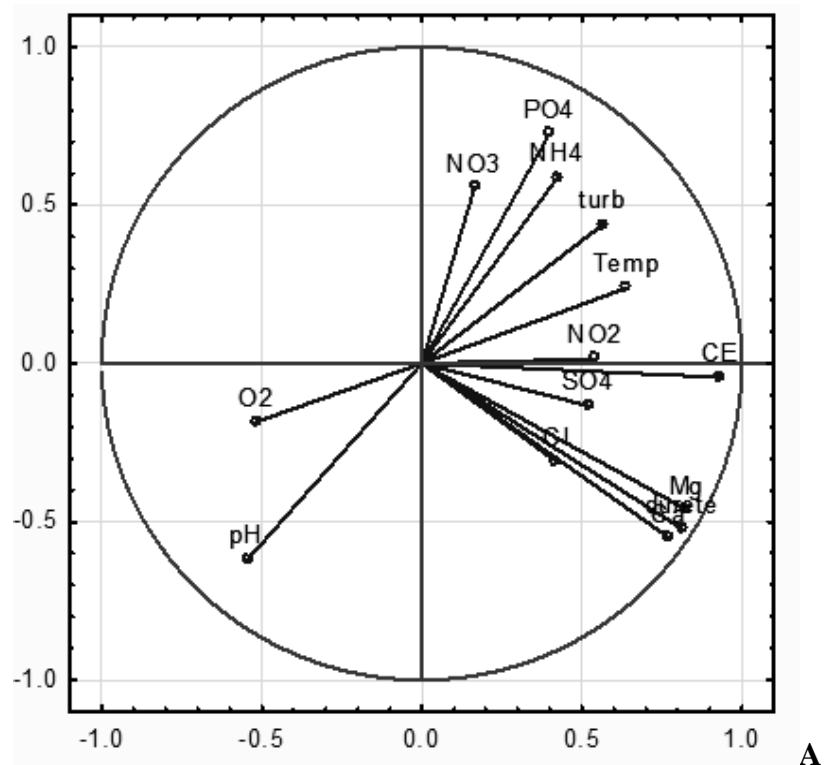
La plupart des stations étudiées sont localisées loin de la ville dans des champs ou dans des zones de pâturages. Aussi, les causes principales de la pollution de l'eau de ces puits sont très probablement en rapport avec les rejets d'eaux usées brutes qui circulent dans des petits canaux très souvent utilisés pour l'irrigation, ou plus simplement pour évacuer l'eau usée loin des habitations; dans tous les cas ces eaux usées peuvent s'infiltrer jusqu'à la nappe phréatique qui n'est pas très profonde en général. Une seconde cause de pollution semble liée quelques fois à la présence d'accumulations de fumier et parfois de purin, provenant des bergeries et des étables. Ces fumiers sont périodiquement lessivés par l'eau des pluies qui entraîne aussi vers la nappe bactéries et substances solubles. Enfin l'absence de protection du plus grand nombre des puits contribue aussi à l'enrichissement de l'eau en matières organiques en raison des apports éoliens de feuilles et autres débris végétaux qui vont se décomposer sur place, et de poussières diverses.

## CHAPITRE IV : Résultats et interprétation de l'analyse physico-chimique

**Tableau 4 :** Valeurs moyennes des variables physico-chimiques de l'eau des 21 stations d'étude (P = puits ; S = sources).

Stations	T °C	pH	CE μS.cm <sup>-1</sup>	Turb.	O <sub>2</sub> mg.L <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg.L <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup> mg.L <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> mg.L <sup>-1</sup>	Dureté mg.L <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg.L <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg.L <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.L <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg.L <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg.L <sup>-1</sup>
P1	17,1	7,0	2223	15,5	7,1	84	63	70	133	1,2	0,7	41	0,003	1,7
P2	16,5	7,1	1758	39,7	8,2	86	58	92	151	1,9	0,6	27	0,002	0,7
P3	16,5	7,0	2753	29,7	7,3	79	196	1515	347	2,4	0,5	37	0,009	2,5
P4	16,3	7,0	1621	35,7	6,7	80	70	75	145	3,2	0,5	34	0,006	1,5
P5	16,6	7,0	2126	31,5	7,8	86	100	67	167	0,4	0,6	52	0,004	2,3
P6	15,7	7,1	610	10,5	7,3	77	91	88	180	0,8	0,5	35	0,002	0,7
P7	15,1	7,1	881	13,0	8,1	89	102	99	201	1,1	0,8	50	0,002	0,7
P8	15,7	7,1	1993	15,0	8,3	93	100	94	194	1,6	0,5	23	0,003	1,2
P9	15,6	7,1	1546	21,5	7,9	62	69	61	131	0,4	0,6	34	0,012	1,0
P10	16,1	7,1	3213	64,5	6,8	143	156	171	327	1,2	0,6	32	0,001	1,2
P11	16,0	7,1	1868	15,5	8,1	83	112	78	190	1,8	0,6	32	0,006	0,8
P12	15,9	7,1	3090	33,5	7,4	91	202	154	357	1,9	0,7	32	0,002	1,7
P13	16,8	7,1	670	44,6	7,1	77	34	20	54	1,1	0,6	32	0,002	0,7
P14	17,1	7,1	2316	49,0	7,5	162	125	99	224	0,9	0,6	48	0,002	1,0
P15	17,0	7,1	2343	22,0	8,7	144	109	89	198	1,5	0,6	43	0,022	0,8
P16	17,1	7,1	2383	19,5	6,8	102	171	124	295	1,4	0,8	34	0,002	1,7
P17	17,2	7,1	2526	17,7	7,8	97	183	138	321	1,4	0,6	34	0,003	1,5
P18	17,1	7,0	3450	76,2	6,8	75	94	110	205	2,3	1,0	51	0,088	1,0
P19	17,2	7,0	2643	65,5	7,7	100	103	103	207	1,7	0,8	32	0,007	1,2
S1	15,3	7,1	574	20,5	8,2	59	10	15	26	0,4	0,5	36	0,003	1,0
S2	15,4	7,1	600	17,5	8,0	75	20	26	47	0,8	0,7	41	0,005	1,1





**Figure 22 :** **A :** Projections des variables physico-chimiques de l'eau des 21 stations figurant dans le tableau 4, sur le plan des deux premiers axes factoriels de l'ACP (axe 1 horizontal et axe 2 vertical). **B :** Projection des 4 groupes de stations (1 à 19 : P1 à P19, 20 et 21 : S1 et S2) décrites par leurs caractéristiques physico-chimiques, sur le plan des deux premiers axes de l'ACP (axe 1 horizontal et axe 2 vertical).

**CHAPITRE V :**

**Résultats et**

**interprétation de**

**l'analyse faunistique**

### 1 – Introduction :

Partout dans le monde, les nappes phréatiques représentent une part importante des ressources en eau douce utilisables par l'Homme. Elles constituent donc pour les populations une richesse naturelle vitale, mais limitée et surtout vulnérable. Cet écosystème abrite une faune aquatique extrêmement diversifiée, et qui renferme de nombreuses espèces endémiques. En effet tous les grands phylums du règne animal, depuis les protozoaires jusqu'aux vertébrés, en passant par les divers groupes de vers, de mollusques et surtout d'Arthropodes, ont des représentants inféodés aux eaux souterraines : c'est la faune stygobie. Cette faune peut être échantillonnée par différentes techniques adaptées, au niveau des puits, des sources, et des alluvions des cours d'eau, ainsi que dans les grottes dans les régions calcaires notamment. La communauté stygobie renferme des espèces plus au moins sensibles aux pollutions. Il en résulte que dans une même région géographique, la richesse spécifique de la faune aquatique présente dans les puits, les sources, les alluvions des cours d'eau, plus généralement dans les nappes phréatiques, varie avec la qualité de l'eau. L'observation de ces variations locales de la richesse spécifique des eaux souterraines, de même que la présence d'espèces sensibles, indicatrices de la qualité de l'eau, constitue donc un outil utilisable pour l'évaluation de la qualité globale de l'eau et assurer le suivi de cette qualité (BOULANOUAR, 1995). Cet outil est généralement beaucoup moins onéreux que les méthodes classiques d'analyses physico-chimiques et bactériologiques.

Des organismes épigés sont souvent rencontrés dans les biotopes souterrains. Leur présence peut être accidentelle, due aux pluies, au vent ou aux crues qui apportent au milieu souterrain des matières exogènes sous forme de substances organiques ou d'organismes vivants ; mais cette présence peut également être active et résulter d'un déplacement volontaire d'animaux épigés vers le milieu souterrain (CREUZÉ des CHATELLIERS et POINSART, 1991).

En Algérie, la distribution des peuplements aquatiques des eaux souterraines, en dépit de son importance, reste nettement peu connue bien que depuis quelques années on puisse citer une série de travaux dont ceux de CHEBIKA, 2003 ; BELAIDI, 2004 ; BENOUDA, 2005 ; MAHI, 2007 ; HAICHA, 2008 ; BELAIDI *et al.*, 2011.

Le présent travail a pour but de compléter ces travaux; il nous permet de dresser un premier inventaire du peuplement aquatique souterrain de la région de Khenchela, située au nord-est de l'Algérie, région méconnue sur le plan stygobiologique et de vérifier le devenir de la biodiversité aquatique souterraine dans la région.

### **2 – Composition faunistique globale :**

L'analyse faunistique des 19 puits et 2 sources de la région de Khenchela a révélé que ces écotones abritent une faune aquatique dont la richesse taxonomique moyenne est proche de 8,5 taxons par station mais varie en fait de 2 à 14 taxons d'une station à l'autre et atteint un total de 20 taxons sur l'ensemble des stations échantillonnées.

Quatre groupes zoologiques sont représentés dans nos récoltes. Il s'agit des crustacés qui sont les plus abondants (73,80%), les annélides (10,08%), les insectes (9,63%) et les mollusques (2,4%).

Les crustacés comportent 4 taxons et sont représentés par les Amphipodes du genre *Pseudoniphargus* (81,35%) et *Echinogammarus* (18,64%). Les Isopodes qui sont représentés par le genre *Proasellus* qui domine (99,42%) et *Typhlocyrolana* qui sont faiblement représentés (0,57%).

Les microcrustacés sont représentés par les copépodes Cyclopoïdes et les ostracodes avec 3 genres *Eucypris* (45,56%), *Ilyocypris* (29,60%) et *Cypridopsis* (24,84%).

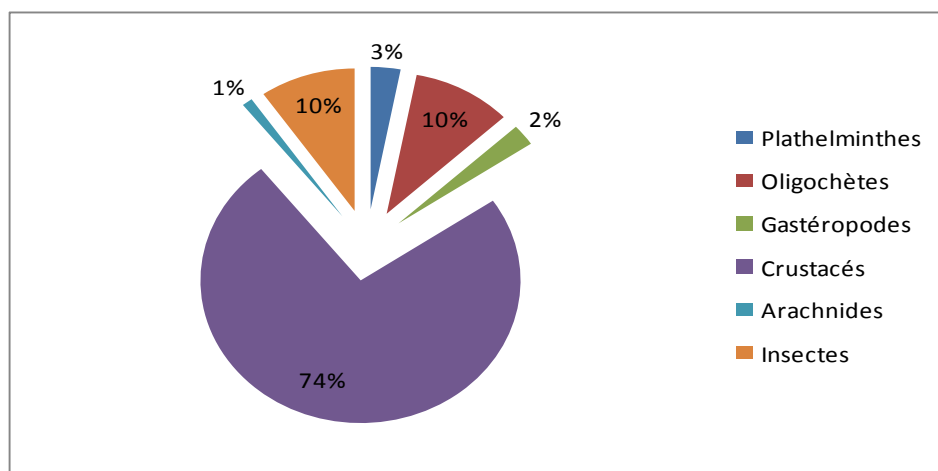
## CHAPITRE V : Résultats et interprétation de l'analyse faunistique

Les annélides relativement abondant. Ils sont représentés par 3 taxons différents appartenant à la classe des oligochètes. Les Lumbriculudae (39,21%), les Tubificidae (34,20%) et les Naïdidae (26,58%).

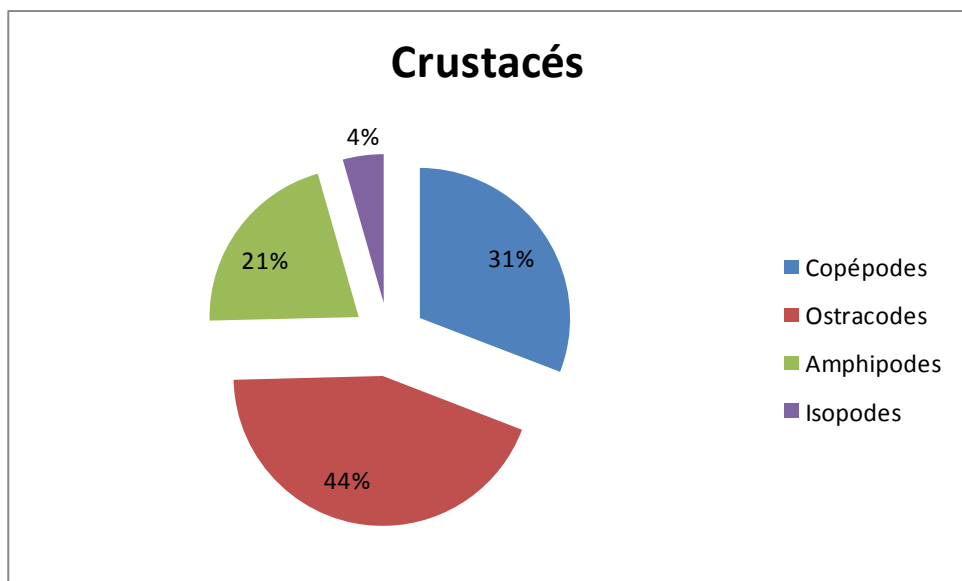
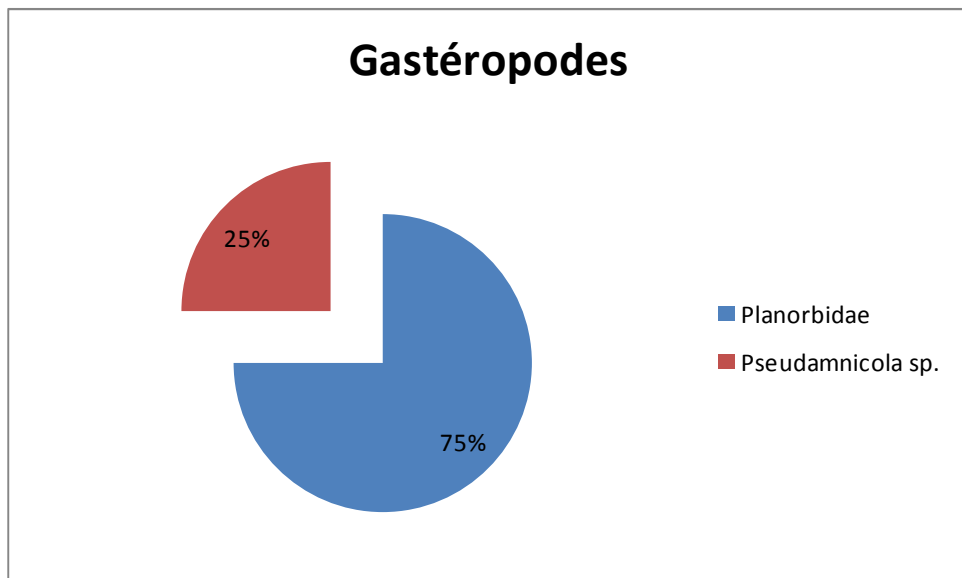
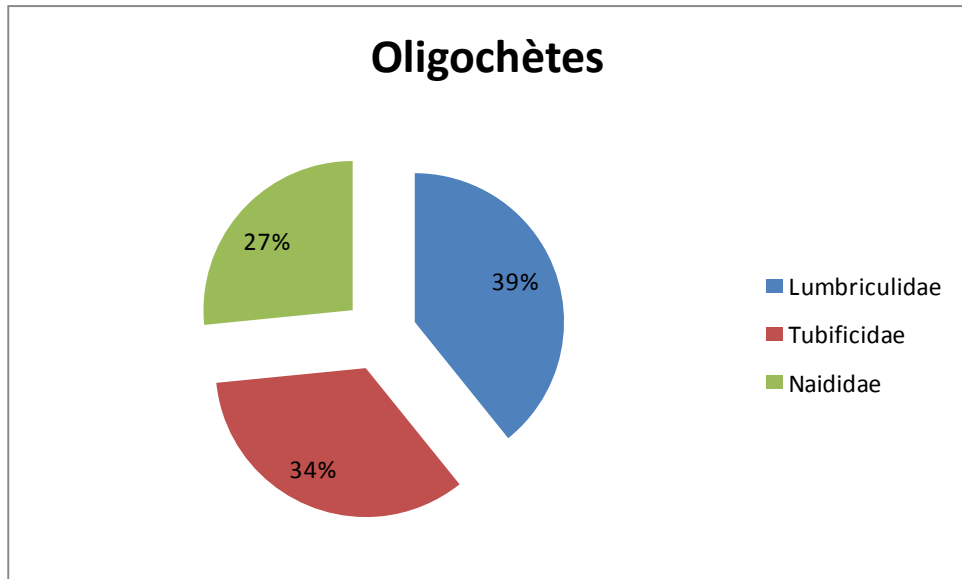
Les insectes sont représentés par 5 taxons. Ils sont présentés principalement par des larvules indéterminées (34,63%). Les chironomides et les hétéroptères présentent une abondance relative approximativement similaire et comportent respectivement 27,82% et 23,73%. Les coléoptères ne comportent que 11,09%. Les collemboles sont les moins abondants et représentent seulement 2,72%.

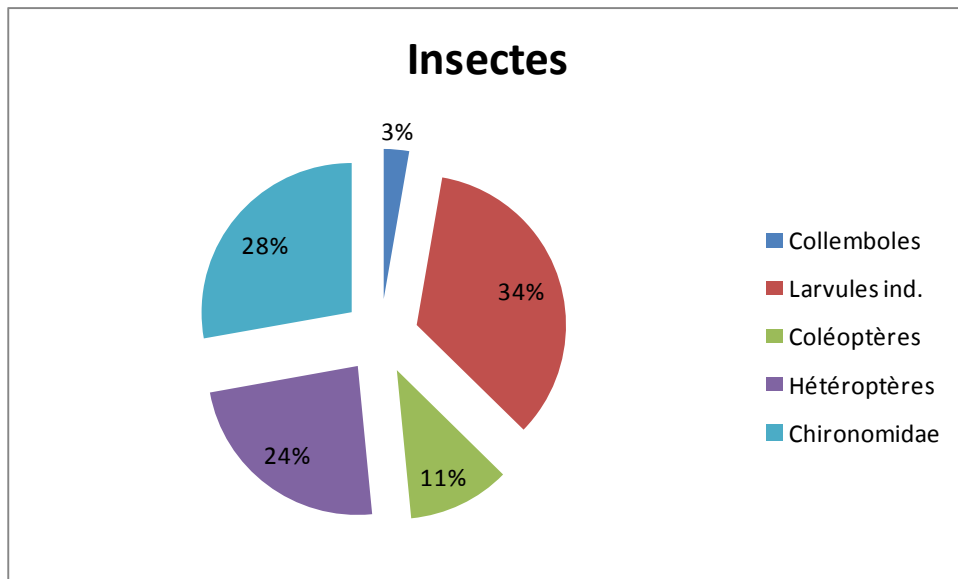
Parmi les mollusques Gastéropodes, seul deux taxons sont récoltés, les Planorboïdes (75 %) et les Pseudamnicola (25%).

Il convient de signaler que la liste faunistique que nous avons dressée n'est pas complète. Si les taxons stygobies ont été un peu identifiés et déterminés au niveau spécifique, ce n'est pas le cas des taxons d'origine épigée, qui n'ont été déterminés qu'au niveau du genre ou même de la famille. Le peuplement épigé est formé généralement des larves, ou de formes immatures et dont l'identification est difficile et ne présente pas le même intérêt dans un travail orienté vers les caractéristiques des eaux souterraines.



**Figure 23 :** Structure générale des groupes zoologiques de l'ensemble des stations.



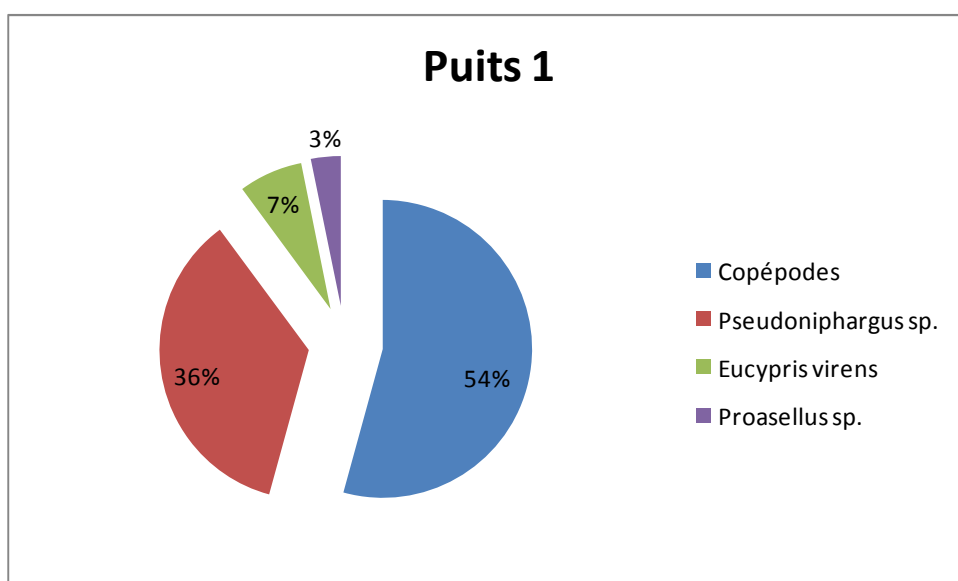


**Figure 24 :** Ensemble de figures représentant la structure des principaux groupes zoologiques dans l'ensemble des stations.

### 3 – Composition faunistique de chaque station (puits et sources) :

#### 3 – 1 – Puits 1 :

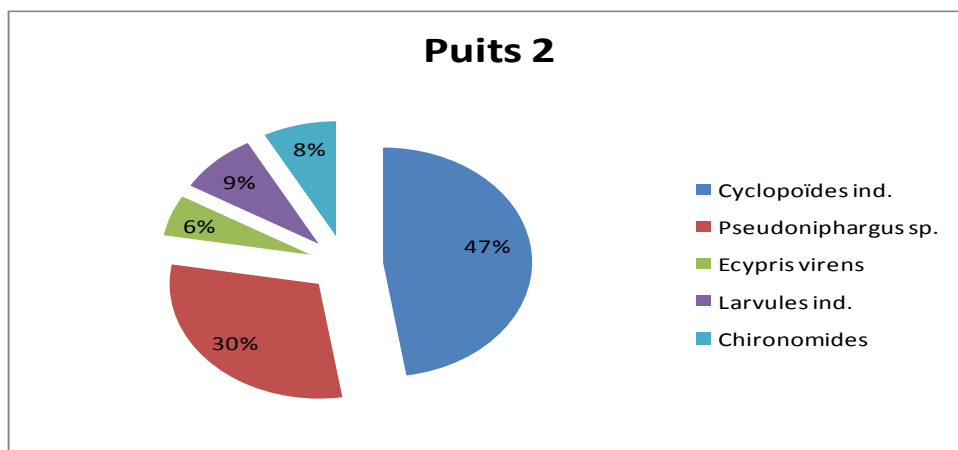
La faune récoltée dans ce puits est représentée par les crustacés avec 4 taxons et 188 individus. Les copépodes, Cyclopides dominent avec une fréquence de 54,25%. Ensuite, les Amphipodes *Pseudoniphargus* (35,64%), les Ostracodes du genre *Eucypris virens* (6,92%) et les Isopodes *Proasellus* sp (3,19%). (Figure 25.1).



**Figure 25.1 :** Structure de la composition faunistique du puits 1.

**3 – 2 – Puits 2 :**

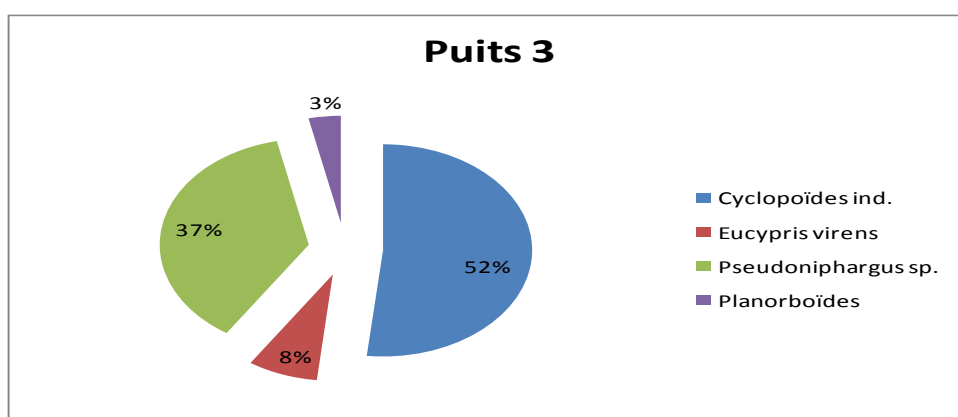
La faune récolté dans ce puits est composée de 5 taxons et 139 individus. Le taxon le plus abondant est celui des crustacés représenté par des Copépodes Cyclopoïdes (47,48%), suivi par les Amphipodes Pseudoniphargus (30,22%) et les Ostracodes du genre Eucypris virens (5,75%). Les insectes sont les moins abondants. Ils sont représentés par des larvules (8,63%) et les Chironomides (7,91%). (Figure 25.2).



**Figure 25.2 :** Structure de la composition faunistique du puits 2.

**3 – 3 – Puits 3 :**

Ce puits comporte 145 individus et 4 taxons. Cette faune est représentée essentiellement par les Crustacés du genre Copépodes (51,72%), Amphipodes (37,24%) et les Ostracodes (7,59%). Alors que les Gastéropodes Planorboïdes sont très faibles (3,45%). (Figure 25. 3).

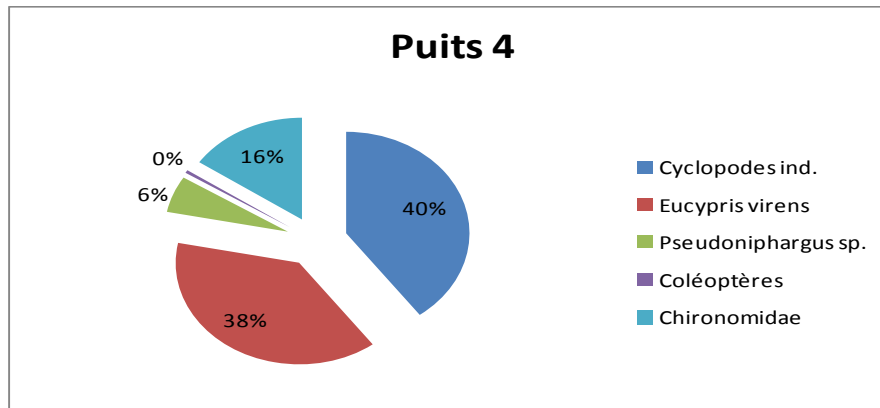


**Figure 25. 3 :** Structure de la composition faunistique du puits 3.



**3 – 4 – Puits 4 :**

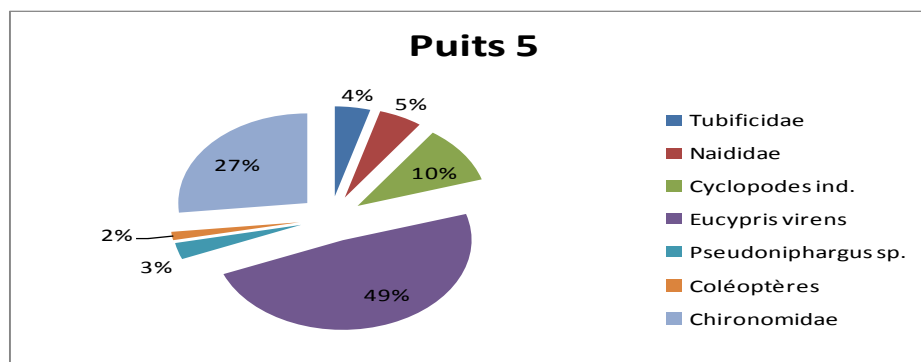
Ce puits représente 206 individus et 5 taxons. Cette faune est représentée par des Crustacés du genre Copépodes Cyclopoïdes (39,81%), des Eucypris virens (38,35%) et des Amphipodes Pseudoniphargus (5,82%), et des insectes du genre Coléoptères (0,48%) et Chironomides (15,53%). (Figure 25. 4).



**Figure 25. 4 :** Structure de la composition faunistique du puits 4.

**3 – 5 – Puits 5 :**

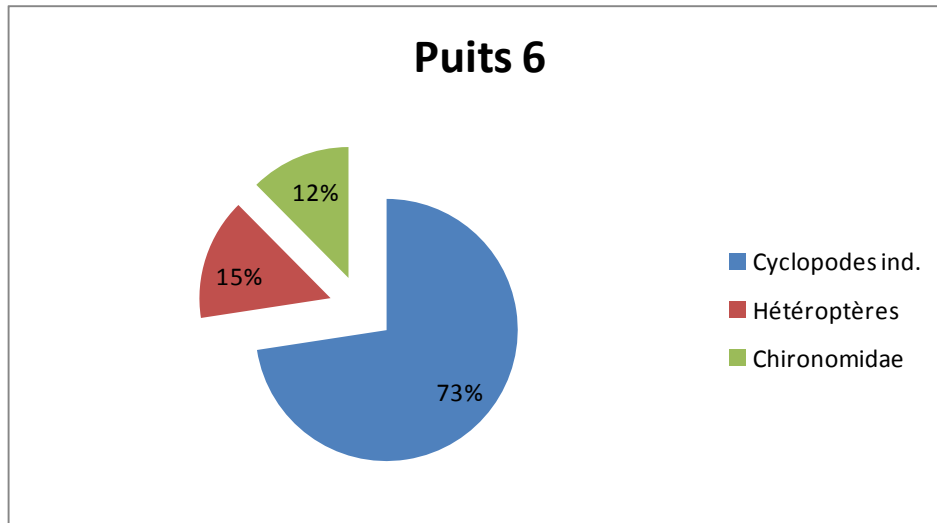
Ce puits comporte 202 individus regroupés dans 7 taxons, appartenant aux trois groupes zoologiques. Les Crustacés sont représentés par les Copépodes Cyclopoïdes (10,40%), les Ostracodes du genre Eucypris virens (48,51%) et les Amphipodes pseudoniphargus (2,97%). Les oligochètes qui comportent les Tubificidae (4,45%) et les Naïdidae (5,45%). Les insectes avec (1,48%) de Coléoptères et (26,73%) de Chironomidae. (Figure 25. 5).



**Figure 25. 5 :** Structure de la composition faunistique du puits 5.

**3 – 6 – Puits 6 :**

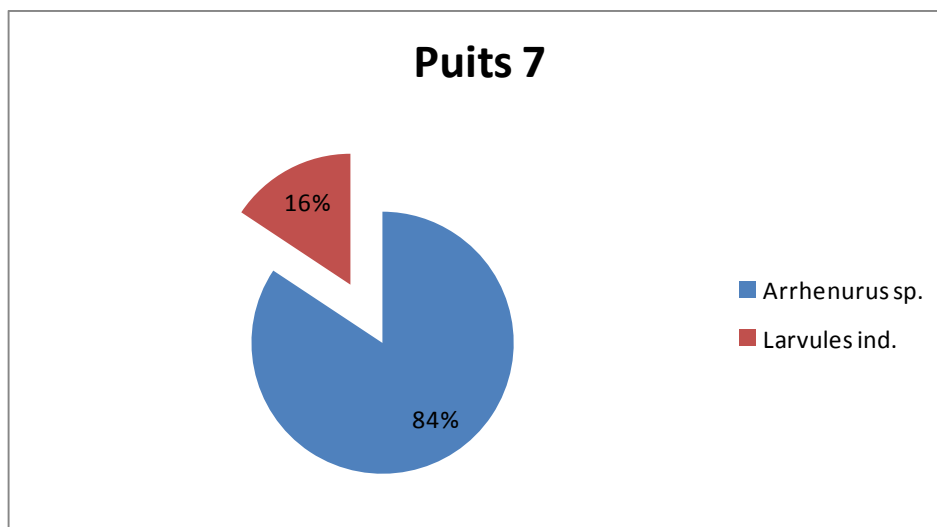
Avec un effectif de 153 individus, ce puits a fourni une diversité de 3 taxons (Figure 25-6). Les Copépodes (72,55%) constituent le groupe le mieux représenté. Ils sont suivis par les insectes dans un ordre décroissant par les Coléoptères (15,03%) et les Chironomidae (12,42%).



**Figure 25. 6 :** Structure de la composition faunistique du puits 6.

**3 – 7 – Puits 7 :**

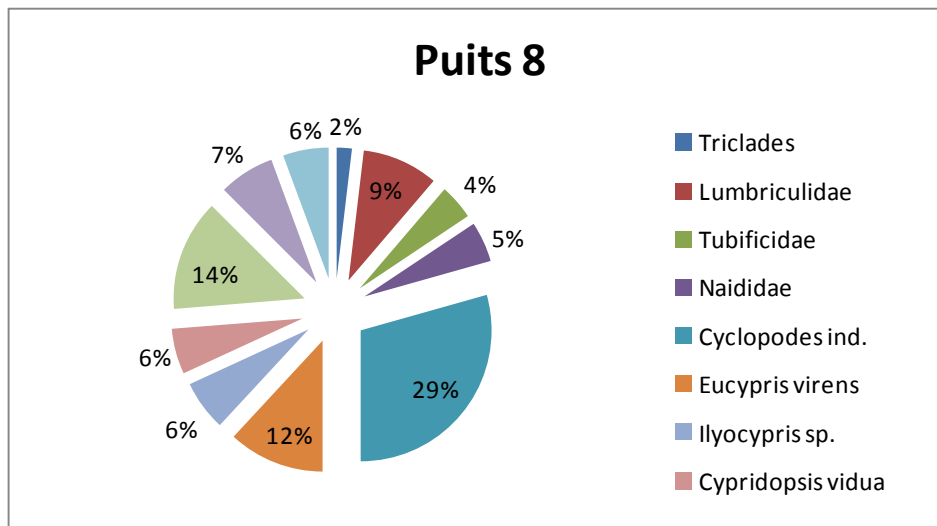
Dans le puits 7, nous avons récolté 2 taxons et 51 individus. Les Arrhenurus (84,31%) suivi par des insectes du genre Larvules (15,69%). (Figure 25.7).



**Figure 25. 7 :** Structure de la composition faunistique du puits 7.

**3 – 8 – puits 8 :**

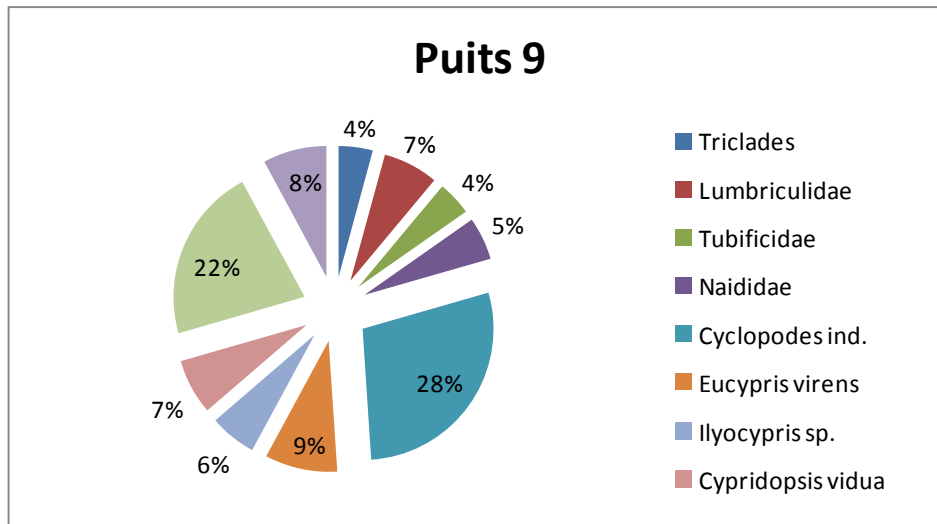
Ce puits comporte 160 individus regroupés dans 11 taxons, appartenant aux trois groupes zoologiques dont un taxon stygobie. Les Crustacés sont représentés par les Copépodes Cyclopoïdes (29,37%), les Ostracodes du genre Eucypris virens (11,87%), Ilyocypris sp (6,25%) et Cypridopsis vidua (5,62%), les Amphipodes Pseudoniphargus (13,75%) et les Isopodes Proasellus (6,87 %), qui non seulement dominent le peuplement mais sont les plus fréquents. Suivi par les Olygochètes du genre Lumbriculidae (9,37%), Tubificidae (4,37%) et les Naïdidae (5%). Ensuite, les Arrachnides Arrhenurus (5,62%) et les Plathelminthes Trichlades (1,87%). (Figure 25.8).



**Figure 25. 8 :** Structure de la composition faunistique du puits 8.

**3 – 9 – Puits 9 :**

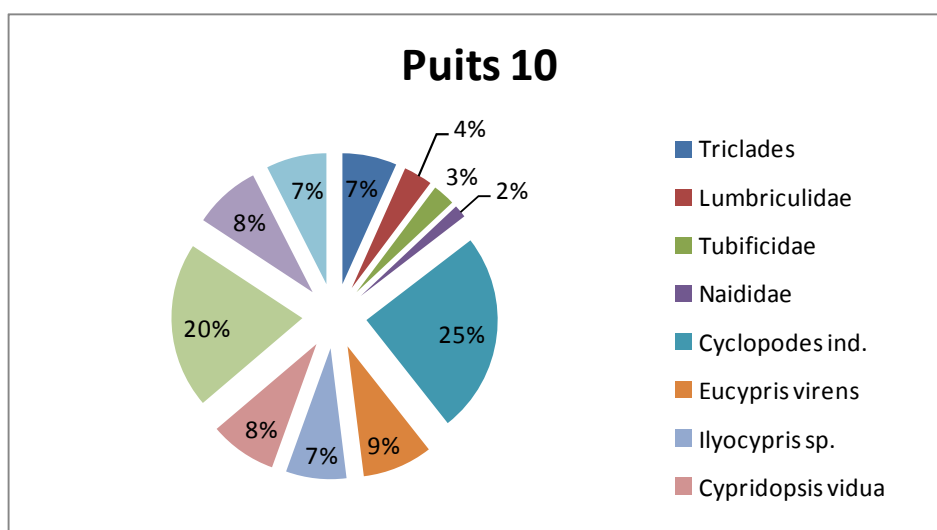
Avec 190 individus et 10 taxons. Les Crustacés constituent le groupe le mieux représenté par les Copépodes (28,42%), Eucypris virens (8,95%), Ilyocypris sp (5,79%), Cypridopsis vidua (6,84%), Pseudoniphargus (21,57%) et Proasellus sp (7,89%). Ils sont suivis par les Olygochètes du genre Lumbriculidae (6,84%), les Tubificidae (4,21%) et les Naïdidae (5,26%). Ensuite, les Trichlades avec 4,21%. (Figure 25.9).



**Figure 25. 9 :** Structure de la composition faunistique du puits 9.

### 3 – 10 – Puits 10 :

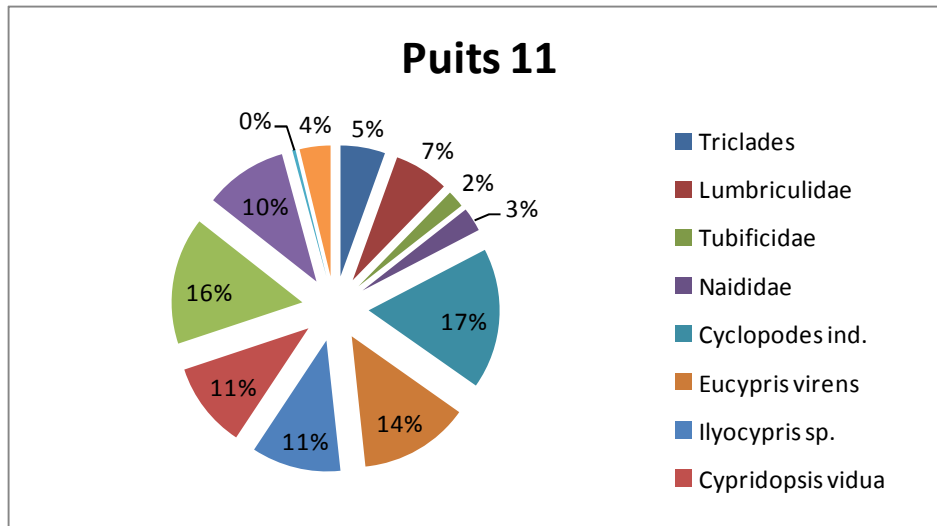
Dans le puits 10, nous avons récolté 11 taxons et 254 individus. Les Copépodes Cyclopoïdes dominent avec 24,8%. Suivi par les Pseudoniphargus (20,47%) puis Eucypris virens (8,66%). Ensuite, les Cypridopsis vidua et les proasellus sp avec 8,27%. Les Ilyocypris sp et les larvules présentent 7,48%. Les Plathelminthes 6,69%. Les Oligochètes sont les plus faiblement représentés avec 3,54% de Lumbriculidae, 2,76% de Tubificidae et 1,57% de Naïdidae. (Figure 25.10).



**Figure 25. 10 :** Structure de la composition faunistique du puits 10.

**3 – 11 – Puits 11 :**

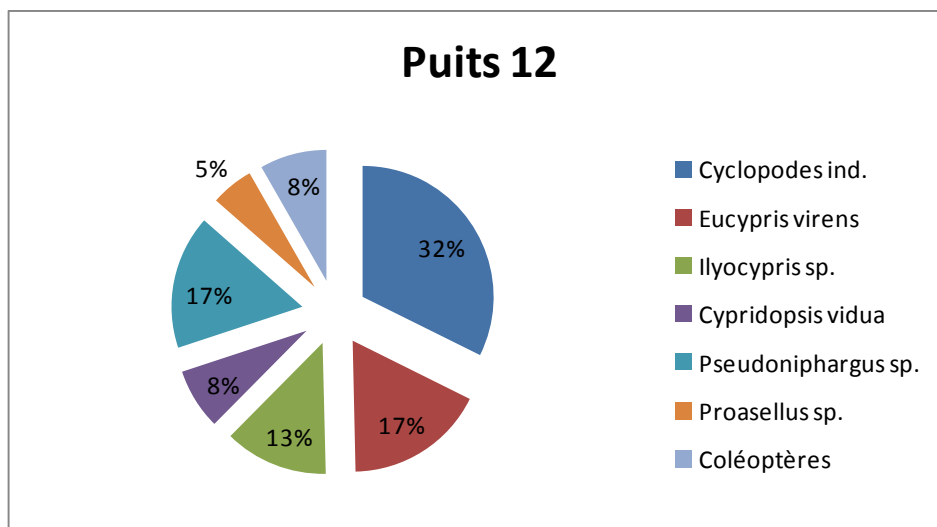
Avec 236 individus représentés par 12 taxons dont l'un présente un *Typhlocirolana* sp. Les Copépodes Cyclopoïdes dominent avec 17,37%. Suivi par les Ostracodes (35,17%) et les *Pseudoniphargus* (15,68%). (Figure 25.11).



**Figure 25. 11 :** Structure de la composition faunistique du puits 11.

**3 – 12 – Puits 12 :**

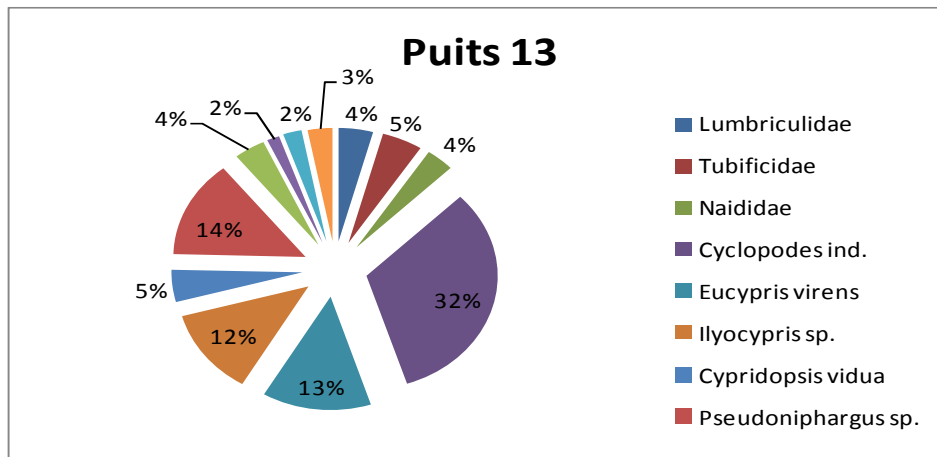
Ce puits comporte 133 individus regroupés dans 7 taxons. Les Ostracodes dominent avec 37,59% suivi par les Copépodes Cyclopoïdes 32,33% et les *Pseudoniphargus* avec 16,54%. Les Isopodes *Proasellus* sont faiblement représentés avec 5,26%. (Figure 25.12).



**Figure 25. 12 :** Structure de la composition faunistique du puits 12.

**3 – 13 – Puits 13 :**

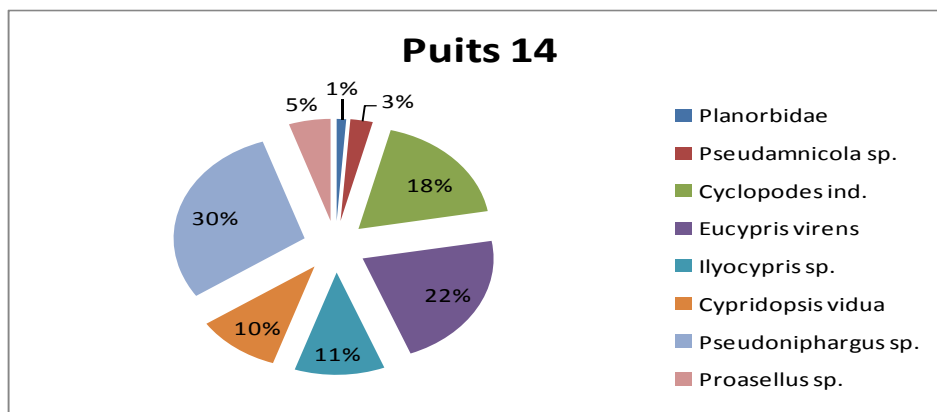
La faune de ce puits est composée de 12 taxons et de 260 individus. Le taxon le plus abondant est celui des Copépodes avec 32,31% et des Ostracodes avec 30,38%. Suivi par les Pseudoniphargus (13,85%) et les Oligochètes (12,69%). Les Arrachnides sont faiblement représentés avec 1,54%. (Figure 25.13).



**Figure 25. 13 :** Structure de la composition faunistique du puits 13.

**3 – 14 – Puits 14 :**

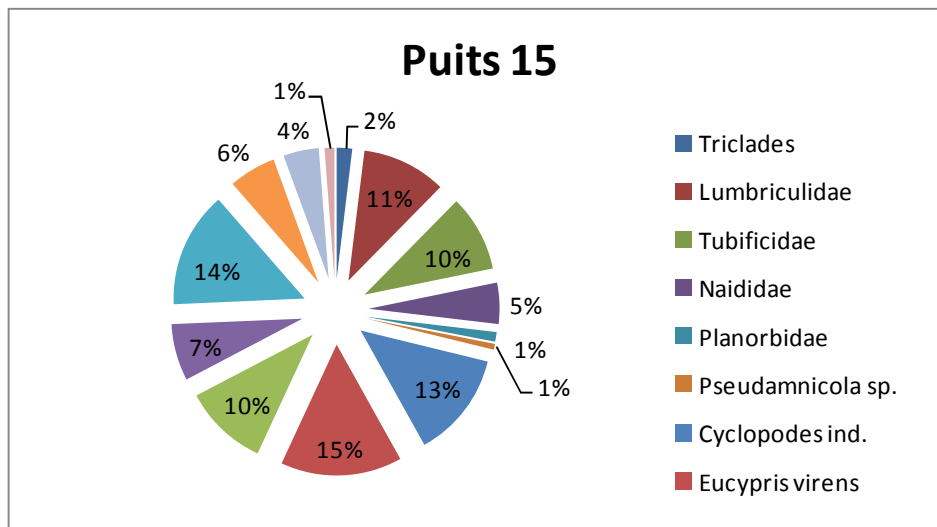
La faune récoltée dans ce puits est représenté par 8 taxons et 252 individus. Les Ostrcodes dominant avec 43,25%. Suivi par les Pseudoniphargus 29,36% et les Copépodes Cyclopoïdes 18,25%. Les Gastéropodes sont les moins abondants avec 3,97%. (Figure 25.14).



**Figure 25. 14 :** Structure de la composition faunistique du puits 14.

**3 – 15 – Puits 15 :**

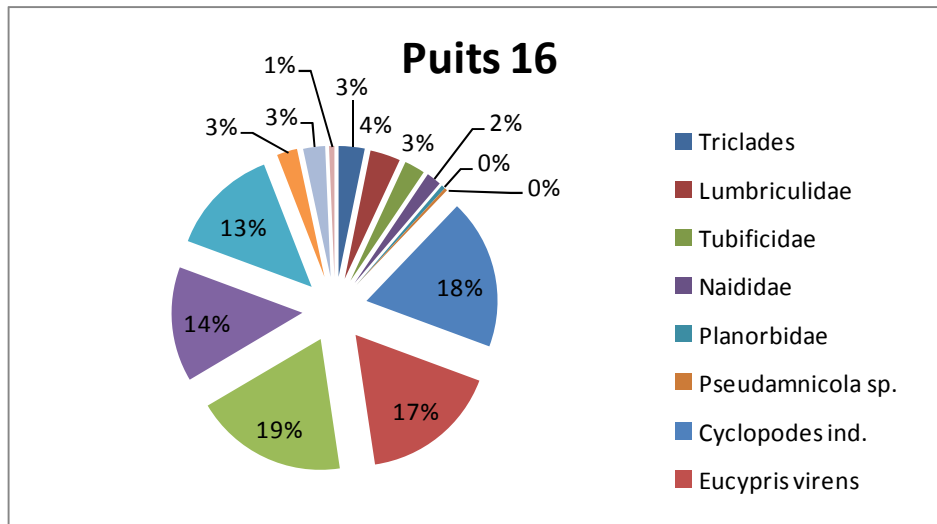
Avec un effectif de 403 individus, ce puits a fourni une diversité de 14 taxons. Les Ostracodes sont les plus abondants avec 33,25%. Suivi par les Oligochètes avec 25,56%, les Pseudoniphargus avec 14,64% et les Copépodes Cyclopoïdes avec 13,40%. Tandis que les Plathelminthes et les Gastéropodes présentent le plus faible pourcentage avec la même valeur de 1,98%. (Figure 25.15).



**Figure 25. 15 :** Structure de la composition faunistique du puits 15.

**3 – 16 – Puits 16 :**

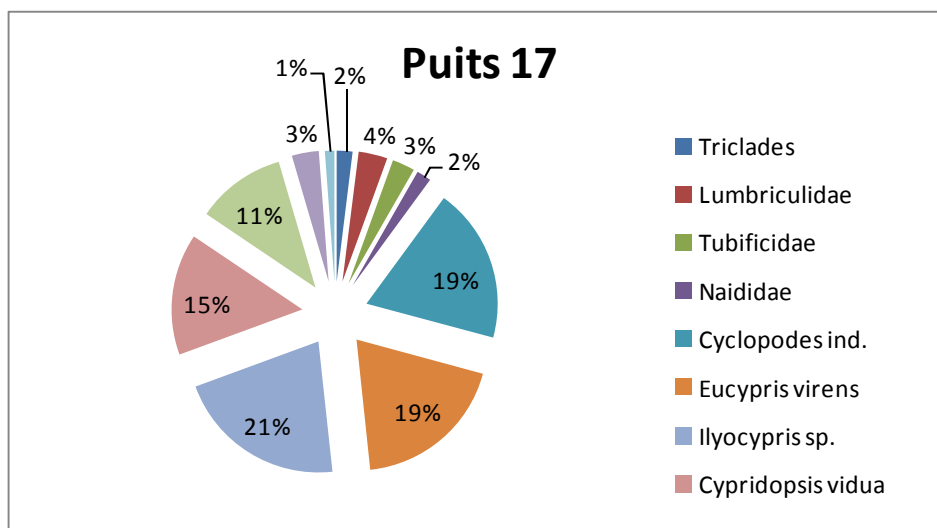
Ce puits se distingue largement des autres par le plus grand nombre d'individus enregistré (594 individus), constituant 14 taxons. Ce sont les Ostracodes qui représentent la moitié du peuplement. Ensuite, les Copépodes Cyclopoïdes avec 18,52% et les Pseudoniphargus avec 13,47%. Alors que les Gastéropodes sont les plus faibles avec 0,84% seulement. (Figure 25.16).



**Figure 25. 16 :** Structure de la composition faunistique du puits 16.

**3 – 17 – Puits 17 :**

Les résultats des prélèvements faunistiques au niveau de ce puits montrent la présence de 507 individus appartenant à 11 taxons. Les plus abondants sont les Ostracodes avec plus de la moitié du peuplement (55,23%). Suivi par les Copépodes Cyclopoïdes avec 19,13% et les Pseudoniphargus avec 11,04%. Alors que les insectes sont les plus faibles avec 1,18% de Collemboles. (Figure 25.17).



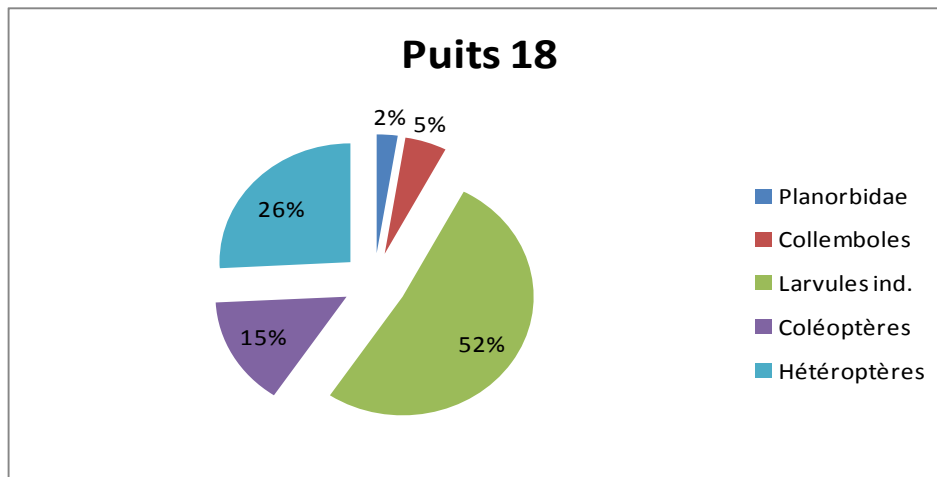
**Figure 25. 17 :** Structure de la composition faunistique du puits 17.



**3 – 18 – Puits 18 :**

Ce puits compte seulement 5 taxons et 155 individus. Cette faune est représentée essentiellement par des insectes 97,42% et une très faible valeur de Gastéropodes 2,58%.

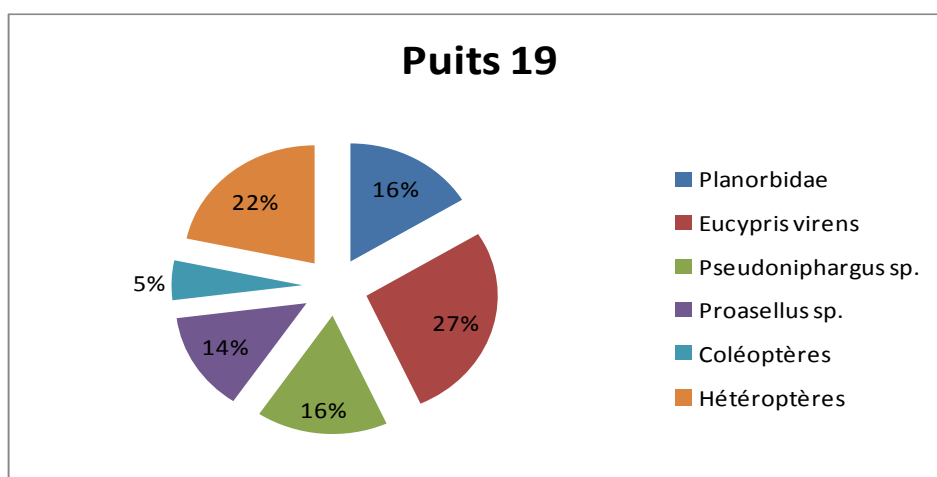
(Figure 25.18).



**Figure 25. 18 :** Structure de la composition faunistique du puits 18.

**3 – 19 – Puits 19 :**

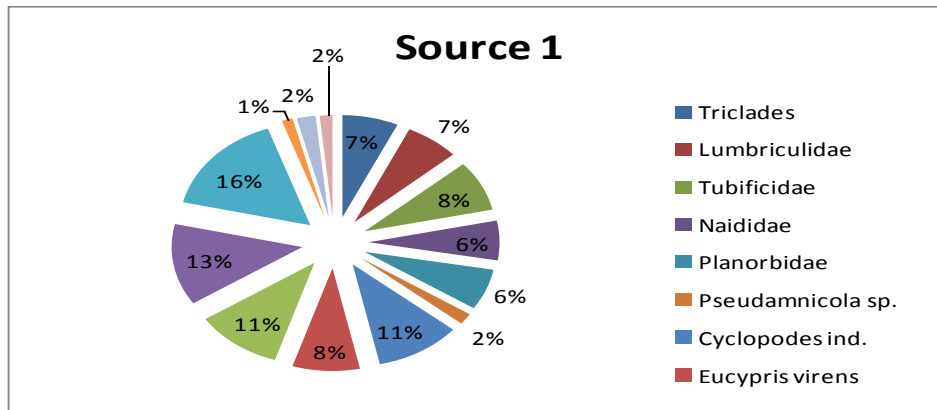
La composition faunistique de ce puits révèle la présence de 6 taxons (74 individus). Les Ostracodes et les insectes dominent avec une même valeur de 27,02%. Suivi par les Gastéropodes et les pseudoniphargus avec une même aussi de 16,22%. Les Isopodes Proasellus sont les plus faibles avec 13,51%. (Figure 25.19).



**Figure 25. 19 :** Structure de la composition faunistique du puits 19.

3 – 20 – Source 1 :

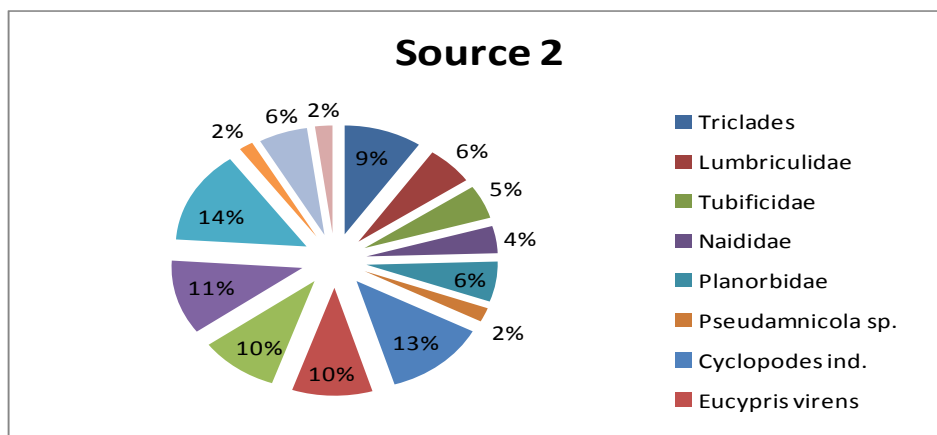
La composition de la biocénose aquatique de cette source est représentée par 14 taxons et 510 individus. Les Ostracodes dominent avec 32%. Suivi par les Oligochètes avec 21%, et les Amphipodes Echinogammarus avec 16,08%. Les Gastéropodes et les Insectes sont les plus faibles avec les valeurs successives de 8,23% et 5,29%. (Figure 25.20).



**Figure 25. 20** : Structure de la composition faunistique de la source 1.

3 – 21 – Source 2 :

La deuxième source (S2) abrite une faune aquatique de 514 individus appartenant à 14 taxons. Les Ostracodes dominent avec 30,7%. Suivi par des valeurs approximatives de 14,98% des Oligochètes et 14,01% des Amphipodes Echinogammarus. Ensuite, les Copépodes Cyclopoïdes avec 12,65%. Les plus faibles valeurs sont enregistrées chez les insectes avec 9,92% et chez les Gastéropodes avec 8,17%. (Figure 25.21).



**Figure 25. 21** : Structure de la composition faunistique de la source 2.

#### 4 - Biotypologie des stations :

Afin d'établir une biotypologie des stations, nous avons fait appel à l'analyse en composantes principales (ACP) dont l'intérêt, dans une telle situation, a été souligné par de nombreux auteurs (YACOUBI-KHEBIZA, 1996 ; BOULAL, 2002). Elle a été appliquée à une matrice de données représentée par 20 lignes correspondant aux principaux taxons (stygoxies et épigés) et 21 colonnes représentant les stations étudiées (puits et sources).

Les premières recherches effectuées ici dans les puits et les sources de la région de Khenchela, ont révélé que ces écotones abritent une faune aquatique dont la richesse taxonomique moyenne est proche de 8,5 taxons par station mais varie en fait de 2 à 14 taxons d'une station à l'autre et atteint un total de 20 taxons sur l'ensemble des stations échantillonnées (Tableau 5).

L'analyse de la distribution des divers taxons fait apparaître plus ou moins nettement (Fig. 26A) un regroupement vers les coordonnées négatives de l'Axe 2, de l'ensemble des Crustacés (Copépodes Cyclopoïdes, *Proasellus*, *Pseudoniphargus* et même *Typhlocirolana*, bien que la contribution de ce dernier taxon reste faible en raison de sa rareté). Quelques autres taxons, essentiellement des Insectes contribuent un peu à ce même axe avec des valeurs positives et la plupart des autres faiblement regroupés, se projettent avec des valeurs négatives sur le premier axe. Toutefois l'ensemble des variables faunistiques est relativement peu structuré. Mais l'ACP permet cependant de reconnaître (Fig.26B) 4 groupes de stations, et on peut remarquer que la station P18, dont l'eau est visiblement polluée (voir Tableau 4 et résultats indiqués ci-dessus au § Physico-chimie des eaux), se trouve de ce fait isolée de toutes les autres dans un Groupe 1 de la typologie des stations (Figure 26B), est aussi séparée des autres stations et isolée dans un Groupe 1 des stations dans une classification établie à partir de leurs caractéristiques faunistiques (Figure 26B), et que cette station n'abrite aucun taxon stygobie.

On observera en revanche que les deux sources S1 et S2 (qui sont les stations 20 et 21 dans les analyses multivariées) sont regroupées avec le puits P13 lorsque les descripteurs des stations sont les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (Figure 26B), et qu'elles se trouvent isolées dans un même groupe (Groupe 2) lorsque l'ACP est réalisée à partir des descripteurs faunistiques (Figure 26B). En effet les 3 stations S1, S2 et P13 sont bien celles dont l'eau est la plus pure (c'est-à-dire peu minéralisée, caractérisée par une faible dureté et une très faible conductivité, par comparaison avec l'ensemble des 18 autres stations); elles correspondent cependant à deux types d'habitat assez distincts et la faune des sources diffère assez significativement de celle des puits ce qui apparaît sur la figure 26B. Les stations du groupe 2 sont caractérisées par une richesse taxonomique maximale (14 taxons).

Enfin, les groupes 3 et 4 contiennent les 18 autres puits, dont la richesse taxonomique est inférieure à celle du groupe II (à l'exception d'une station, P15 qui présente la même richesse taxonomique (14) mais une abondance faunistique moindre. La majorité des puits (15) abrite un certain taux de taxons stygobie, notamment des Crustacés Isopodes et Amphipodes.

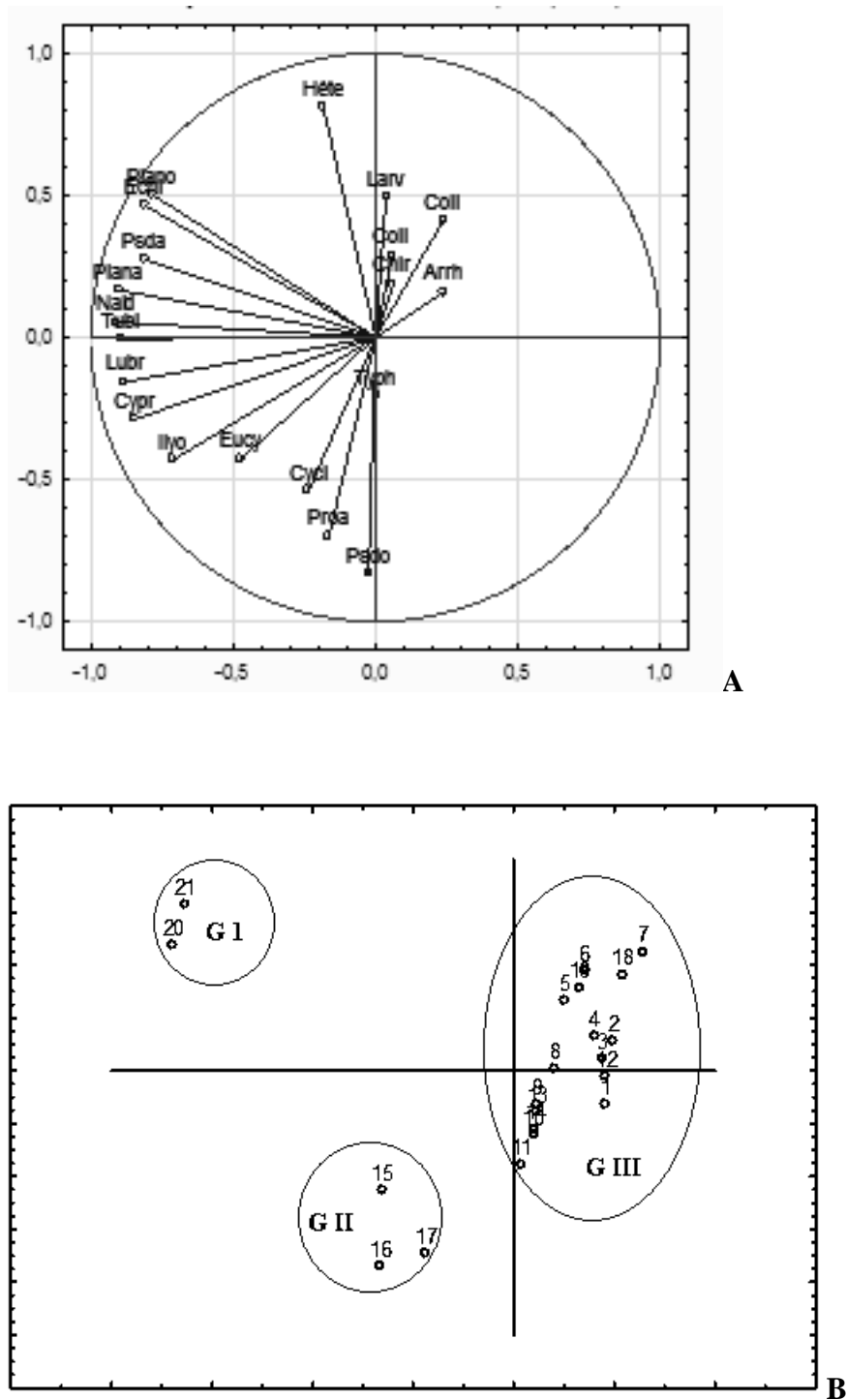
**Tableau 5 :** Liste et abondance des divers taxons aquatiques dans l'eau des 21 stations d'étude.

Taxons		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	S1	S2
<b>Plathelminthes</b>	Triclares								3	8	17	13				8	19	10			35	49
<b>Oligochètes</b>	Lumbriculidae								15	13	9	16		11		43	22	18			34	30
	Tubificidae					9			7	8	7	5		13		39	15	14			41	26
	Naïdidae					11			8	10	4	7		9		21	11	9			32	21
<b>Gastéropodes</b>	Planorbidae			5											3	5	3		4	12	33	31
	<i>Pseudamnicola</i> sp.														7	3	2				9	11
<b>Copépodes</b>	Cyclopoïdes ind.	102	66	75	82	21	111		47	54	63	41	43	84	46	54	110	97			54	65
<b>Ostracodes</b>	<i>Eucypris virens</i>	13	8	11	79	98			19	17	22	32	23	35	55	62	101	97		20	42	51
	<i>Ilyocypris</i> sp.								10	11	19	26	17	32	28	43	112	107			55	50
	<i>Cypridopsis vidua</i>								9	13	21	25	10	12	26	29	84	76			66	57
<b>Amphipodes</b>	<i>Echinogammarus</i> sp.																				82	72
	<i>Pseudoniphargus</i> sp.	67	42	54	12	6			22	41	52	37	22	36	74	59	80	56		12		
<b>Isopodes</b>	<i>Proasellus</i> sp.	6							11	15	21	24	7	10	13	24	15	17		10		
	<i>Typhlocirolana</i> sp.											1										
<b>Arachnides</b>	<i>Arrhenurus</i> sp.							43	9					4								
<b>Insectes</b>	Collemboles																	6	8			

CHAPITRE V :

Résultats et interprétation de l'analyse faunistique

	Larvules ind.		12					8			19	9				18	16		80		7	9
	Coléoptères				1	3							11	6		5	4		23	4		
	Hétéroptères																		40	16	12	31
	Chironomidae		11		32	54	19							8							8	11
<b>Abondance de la faune (N d'Ind.)</b>		188	139	145	206	202	153	51	160	190	254	236	133	260	252	413	594	507	155	74	510	514
<b>Richesse taxonomique</b>		<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>14</b>	<b>14</b>



**Figure. 26.** -A : Projections des taxons récoltés au cours de l'étude sur le plan des deux premiers axes de l'ACP (axe 1 horizontal et axe 2 vertical). Plana : Triclades ; Lubr : Lubriculidae ; Tubi : Tubificidae ; Naid : Naididae ; Plana : Planorbidae ; Psda : *Pseudamnicola* sp. ; Cycl : Cyclopoïdes ind ; Eucy : *Eucypris virens* ; Ilyo : *Ilyocypris* sp. ; Cypr : *Cypridopsis vidua* ; Echi : *Echinogammarus* sp. ; Psdo : *Pseudoniphargus* sp. ; Proa : *Proasellus* sp. ; Typh : *Typhlocirolana* sp. ; Arrh : *Arrhenurus* sp ; Coll : Collemboles ; Coli : Coléoptères ; Héte : Hétéroptères ; Chir : Chironomidae ; Larv : Larvules ind. - B : Projections des stations (1 à 19 : P1 à P19, 20 et 21 : S1 et S2), décrites par leur faune, sur le plan des deux premiers axes factoriels de l'ACP (axe 1 horizontal et axe 2 vertical).

## 5 – Conclusion :

Une revue systématique de la faune aquatique souterraine de la région, comportant pour chaque taxon des commentaires taxonomiques et biogéographiques en plus des caractères écologiques, est donc indispensable. Elle ne serait cependant pas à sa place dans cette première approche écologique régionale orientée vers la recherche des rapports entre la biodiversité de la faune, considérée globalement (et caractérisée essentiellement par sa richesse taxonomique), et la qualité de l'eau. Enfin elle ne sera envisageable qu'après une analyse taxonomique plus précise et plus complète de l'ensemble de la faune récoltée qui impliquera toute une série de collaborations avec des spécialistes des groupes taxonomiques concernés.

Cependant ces nombres de taxons aquatiques sont encore très provisoires, et bien en dessous de la réalité, du fait que l'identification de la plupart des taxons au niveau spécifique n'a pas encore pu être faite. En effet certains groupes taxonomiques comme celui des Crustacés Amphipodes Gammaridés ou encore celui des Annélides Oligochètes, également celui des Copépodes, n'ont pas été étudiés par les spécialistes, alors que beaucoup d'entre eux renferment très certainement de nombreuses espèces et même des genres différents dont la signification écologique devra être prise en compte. Parmi ces espèces, certaines sont d'origine superficielle ; ce sont par exemple des Insectes (ou plus souvent des larves aquatiques d'insectes), des Arachnides, des Mollusques ou certains Crustacés qui peuvent se rencontrer ailleurs, dans d'autres types d'habitats comme les bassins, les mares ou les lacs de la région. D'autres espèces, en revanche (comme celles des genres *Typhlocirolana* et *Pseudoniphargus*, mais aussi sans doute certains Copépodes et Annélides) sont d'origine interstitielle, c'est à dire qu'elles habitent normalement dans l'eau de la nappe phréatique, et peuvent se déplacer et vivre entre les grains de sable et les graviers qui constituent l'aquifère.



## CHAPITRE V : Résultats et interprétation de l'analyse faunistique

---

Ce sont ces espèces stygobies qui, dans le futur, retiendront le plus notre attention car elles peuvent, plus que les autres espèces aquatiques, nous renseigner sur l'état de la nappe phréatique dans son ensemble, alors que la présence des espèces épigées (notamment des larves d'Insectes) dépend certes pour une part des caractères hydrologiques du puits mais tout autant et sans doute plus encore de circonstances locales comme la morphométrie de la station, de son aménagement et de sa protection en surface, et enfin des facteurs aléatoires de dispersion : arrivée d'insectes aériens venus pondre dans le puits, présence ou passage de batraciens ou d'oiseaux, ou d'autres animaux vecteurs, et même des apports dus à l'homme, au vent, au ruissellement, etc....

**DISCUSSION ET  
CONCLUSION  
GENERALE**

## DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE

---

### **Discussion et conclusion générale :**

Cette première approche de l'étude de la nappe phréatique de la région de Khenchela, considérant d'une part les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, et d'autre part la diversité globale de la faune aquatique présente dans les puits et les sources permettent dès maintenant de tirer certaines conclusions :

- La qualité de l'eau souterraine, dans la zone d'étude semble être très sensiblement altérée, mais à des degrés divers par des sources de pollution superficielles locales. Certaines stations situées dans les localités à vocation agricole, sont visiblement soumises à une certaine pollution qui pourrait provenir, au moins pour une part, de l'utilisation des engrais chimiques à base d'ammonium et autres sels azotés comme les nitrates. Mais la diversité des résultats obtenus dans les différentes stations rend cependant difficile la formulation d'un diagnostic de qualité de l'eau valable pour l'ensemble du secteur. Une surveillance de la qualité de l'eau de la nappe paraît évidemment souhaitable, mais une analyse plus complète des mécanismes de contamination de cette nappe ne pourra être envisagée qu'à deux conditions : - en augmentant dans la mesure du possible le nombre des stations étudiées sur la zone et la fréquence des prélèvements, ainsi que le nombre de paramètres mesurés (SULLIVAN, 1982) – également en procédant à un travail d'enquête qui n'a plus rien à voir avec la faune des stations mais dont l'objectif sera de déceler aux environs, et notamment à l'amont hydraulique des stations les plus polluées, les causes possibles de ces pollutions, afin d'être en mesure de formuler des recommandations concrètes, réalistes et efficaces de gestion.

- L'analyse des données physico-chimiques de l'eau a montré que l'eau des sources est nettement moins minéralisée que celle des puits et semble donc plus pure. L'analyse de l'eau et celle du peuplement aquatique des puits et sources ont permis de montrer que les stations protégées et situées assez loin des sources de pollution, comme le puits P13, et les

## DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE

---

sources S1 et S2, abritent une faune stygobie relativement riche et diversifiée. À l'opposé, un puits comme P18 se trouve isolé de toutes les autres stations et singularisé aussi bien dans une classification des stations réalisée à partir de leurs caractéristiques physico-chimiques (Figure 22B), que dans une classification utilisant comme descripteurs les caractéristiques faunistiques (Figure 26B). La faune de ce puits qui vit dans les eaux de qualité médiocre, est moins diversifiée que dans toutes les autres stations. Enfin elle est essentiellement de type épigé.

Ces résultats sont interprétés comme une confirmation du fait que les caractéristiques de la faune aquatique des puits ou des sources (richesse et abondance globales et présence des espèces stygobies) reflète bien la qualité l'eau dans ces diverses stations et peut donc permettre de concevoir un outil simple, et beaucoup moins onéreux qu'une série d'analyses physico-chimiques, ou bactériologique pour évaluer très globalement la qualité de l'eau d'une nappe, accessible au niveau des puits ou des sources. Ces premiers résultats sont donc, à eux seuls, de nature à justifier la poursuite des investigations dans cette région, poursuite qui devra être menée en parallèle avec l'étude systématique plus précise des taxons déjà récoltés afin d'apporter aussi une contribution à la connaissance de la biodiversité régionale.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AFNOR (1983).- *Association française de normalisation : Eaux, méthodes d'essai*. 2e édition, Paris.

AÏT BOUGHROUS, A. (2007). –Biodiversité, écologie et qualité des eaux souterraines de deux régions arides du Maroc : le Tafilalet et la région de Marrakech. Thèse de Doctorat en sciences et techniques des eaux. Option : Hydrobiologie Souterraine. Université Cadi Ayyad-Marrakech. 236pp.

AÏT BOUGHROUS, A. YACOUBI-KHEBIZA, M. BOULANOUAR, M. BOUTIN, C. & MESSANA, G. (2007).- Qualité des eaux souterraines dans deux régions arides du Maroc : impact des pollutions sur la biodiversité et implications paléogéographiques. *Environmental Technology*, **28**, 1299-1315.

AMORAS, C. et PETTS, G.E. (1993). - Hydrosystèmes fluviaux. *Édt. Masson*. Paris.

ANGELIER, E. (1962). - Remarques sur la répartition de la faune dans le milieu interstitiel hyporhéique. *Zoologischer Anzeiger*, 168-170.

ANONYME. (2001).- *Monographie de la Wilaya de Khenchela*, Direction Générale du Budget DPAT de la Wilaya de Khenchela, 166 p.

BAKALOWICZ, M. (1974). - Géochimie des eaux aquifères karstiques. I. Relation entre minéralisation et conductivité. *Ann. Spéléol.*, 29, 2 : 267– 282.

BARBIER, J. (2005). - Altitude et géochimie des eaux de source, Nord-Ouest du Massif central, France. *C. R. Geoscience*, 337: 763–768

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- BELAIDI-ALIANE, N. (2004).- *Rôle du milieu hyporhéique dans le fonctionnement de l'écosystème Oued. Dynamique de la faune hyporhéique à l'aval d'un barrage pollué*. Thèse doctorat d'État, Univ. Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 78 p.
- BELAIDI, N., TALEB, A. et GAGNEUR, J. (2004).- Composition dynamics of hyporheic and surface fauna in a semi-arid stream in relation to the management of a polluted reservoir. *Ann.Limnol.Int.J.Lim*,40 (3): 237-248.
- BELAIDI, N., TALEB, A. MAHI, A. & MESSANA, G. 2010 (2011).- Composition and distribution of stygobionts in the Tafna alluvial aquifer (north-western Algeria). *Subterranean Biology*, **8**, 21-32.
- BENAOUDA, B. (2005). - Contribution à l'étude du genre *Typhlocirolana* (Isopode, Crustacée) de la moyenne Tafna: Ouest algérien. Mém. Ing. Fac. Sc. Univ. Tlemcen: 46p.
- BENHADJI NADHIRA. (2013). – Contribution à l'étude de la faune benthique et hyporhéique des zones des sources dans les Monts de Tlemcen. Thèse de Magistère en Ecologie et Biodiversité des Ecosystèmes Continentaux. Option: Ecosystème Aquatique. Université Abu Bakr Belkaïd – Tlemcen. 163pp.
- BOSCA, C. (2002). - Ground water law and administration of sustainable development. *Mediterranean Magazine, Science, Training and Technology*, **2**, 13-17.
- BOTOSANEANU, L. (1971).- Observation sur la faune aquatique hypogée des monts du Banat, Roumanie. *Trav. Inst. Spéol. E. Racovitza*, **10**, 123-166.
- BOTOSANEANU, L. (1986).- *Stygofauna mundi, a Faunistic, Distributional, and Ecological Synthesis of the World Fauna inhabiting Subterranean Waters (including the Marine Intertidal)*. E. J. Brill, Dr Backhuys, Eds. (Leiden),The Netherlands. 740 p.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

BOU, C. (1974).- Recherches sur les eaux souterraines : les méthodes de récolte dans les eaux souterraines interstitielles. *Ann. Spéléol.* **29**(4), 611-619.

BOULAL, M. (1988).- *Recherches écologiques sur la faune aquatique des puits de la région de Tiznit (Anti-Atlas occidental, Maroc)*. Thèse de 3e cycle, Fac. Sc. Marrakech, 228 p.

BOULAL, M. (2002).- *Recherches phréatobiologiques dans le Souss et les régions voisines du Maroc Occidental : Qualité de l'eau des puits, Biodiversité, Écologie et Biogéographie historique des espèces stygobies*. Thèse de doctorat d'État, Fac. Sc. Marrakech, 425 p.

BOULANOUAR, M. (1986).- *Étude écologique comparée de quelques puits de la région de Marrakech. Impact des pollutions sur les zoocénoses des puits*. Thèse de 3e cycle, Fac, Sc. Marrakech, 159 p.

BOULANOUAR, M. (1995).- *Faune aquatique des puits et qualité de l'eau dans les régions de Marrakech et des Jbilet. Statut et dynamique d'une population de Proasellus coxalis africanus (Crustacé Isopode) des Jbilet*. Thèse de Doctorat d'État, Fac. Sc. Univ. Marrakech, 159 pp.

Boulton, A. J. Boyero, L. Covich, A. P. Dobson, M. Lake, S. Pearson, R. (2008). - Chapter 9 : Are tropical streams ecologically different from temperate streams?. *Tropical stream ecology*. D. Dudgeon, Academic Press, 257-284.

BOUSFIELD, E.L. (1958).- Freshwater amphipod crustaceans of glaciated North America. *Canad. Field Naturalist*, **72**(2), 55-113.

BOUTIN, C. (1984).- Sensibilité à la pollution et répartition de quelques espèces de crustacés phréatobies à Marrakech (Maroc occidental). *Mém. Biospéol.* **11**(38), 55-64.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- BOUTIN, C. (1987).- L'eau des nappes phréatiques superficielles, une richesse naturelle vitale mais vulnérable. L'exemple des zones rurales du Maroc. *Sc. de l'eau*, **6 (3)**, 357-365.
- BOUTIN, C. (1993).- *Biogéographie historique des Crustacés Malacostracés stygobies du Maroc*. Thèse de Doctorat, Univ. Cl. Bernard Lyon I, France, 263 p.
- BOUTIN, C. & BOULANOUAR, M. (1983).- Méthodes de capture de la faune stygobie. Expérimentation de différents types de pièges appâtés dans les puits de Marrakech. *Bull. Fac. Sc. Marrakech*, **2**, 5-21.
- BOUTIN, C. et COINEAU, N. (1990). - "Regression Model" "Modèle biphasé d'évolution" et origine des microorganismes interstitiels continentaux. *Revue de Micropaléontologie*, **33,3-4**: 303-322.
- BOUTIN, C. & IDEBENNACER, B. (1989).- Faune stygobie du Sud de l'Anti-Atlas marocain : premiers résultats. *Rev. Sc. de l'eau*, **2**, 891-904.
- BOUTIN, C. & MESSOULI, M. (1988a).- *Longipodacranconyx maroccanus* n. gen., n. sp., nouveau représentant du groupe *Metacranconyx* (Crustacés, Amphipoda) dans les eaux souterraines du Maroc. *Crustaceana*. Suppl. **13**, 156-271.
- BOUTIN, C. & MESSOULI, M. (1988b).- *Metacranconyx gineti* n. sp. d'une source du Haut-Atlas marocain et la famille des *Metacranconyctidae* n. fam. (Crustacés Amphipodes stygobies). *Vie et Milieu*, **38(1)**, 67-84.
- BRUNKE, M. GONSER, T. (1997). - The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater, *Freshwater Biology*, n° 37, p. 1-33.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

BRUNKE, M. & GONSER, T. (1999). - hyporheic invertebrates - the clinal nature of interstitial communities structured by hydrological exchange and environmental gradient. *Journal of the North American Benthological Society* 18:344-362.

CASTANY, G. (1998). - Hydrogéologie, principes et méthodes. *Dunod*, Paris: 236p.

CHEBIKA, R. (2003). - Contribution à l'étude de la faune de quelques puits de la moyenne Tafna (région de Maghnia). *Mém. Ing. Fac. Sc. Tlemcen (Algérie)*: 65p.

CLARET, C. MARMONNIER, P. DOLE-OLIVIER, M.J. CREUZE DES CHANTELLIERS, M. BOULTON, A.J. et CASTELLA, E. (1999). - A functional classification of interstitial invertebrates : supplementing measures of biodiversity using species traits and habitat affinities. *Arch. Hydrobiol.* 145.4. 385-403p.

COINEAU, N. (1971).- Les Isopodes interstitiels, documents sur leur écologie et leur biologie. *Mém. Mus. Nat. Hist. Nat. Paris*, **LXIV** (A), 170 p.

COINEAU, N. & BOUTIN, C. (1992).- Biological processes in space and time : colonization, evolution and speciation in interstitial stygobionts. In *The Natural History of Biospeleology*, 423-451, A.I. Camacho ed. Monografias 7, Mus. Nat. Cie. Nat. C.S.I.C, Madrid, 680 p.

CREUZÉ DES CHÂTELLIERS M. et DOLE-OLIVIER M.J. (1991). - Limites d'utilisation du sondage de type Bou-Rouch pour la capture de la faune interstitielle. (I) traçage chimique au chlorure de Sodium—*C.R. Acad. Sci. Paris*, 312, 3 : 671-676.

CREUZÉ DES CHÂTELLIERS, M. et POINSART, D. (1991). - Caractéristiques des aquifères alluviaux et densité faunistique du sous écoulement du Rhône. *Hydrogéologie*, 3: 201-215.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- CULVER, D.C. (1982).- *Cave life: Evolution and Ecology*. Harvard Univ. Press, Cambridge Massachusetts, 189 p.
- CULVER, D.C. & WHITE, W.B. (Eds.). (2005).- *Encyclopedia of caves*. Elsevier, Academic Press, Amsterdam, New York, 654 p.
- CUMMINS, K. W. and KLUG, M. J. (1979). - Feeding ecology of stream invertebrates. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 10:147-172. (Citation Classic).
- CVETKOV, L. (1968).- Un filet phréatobiologique. *Bull. Inst. Zool. Mus. Sofia XXVII* : 215-219.
- DALMAS, A. (1972).- *Contribution à l'étude des caractères physico-chimiques de l'eau et de la faune de quelques puits artificiels de la Provence*. Thèse de doctorat, Université de Provence, 160 p.
- DALMAS, A. (1973).- Zoocénoses de puits artificiels en Provence. *Ann. Spéol.* **28**(3), 517-522.
- DANIELOPOL, D.L. POSPISIL, P. et ROUCH, R. (2000). - Biodiversity in groundwater: a large-scale view. *Trends in ecology and evolution*, 15, 6: 223-224.
- DANIELOPOL, D.L. GREIBLER, C. GUNATILAKA, A. et NOTENBOOM, J. (2003). Present state and future prospects for groundwater ecosystems. *Environmental Conservation* 30: 104-130.
- DANIELOPOL, D. L. GIBERT, J. GRIEBLER, C. GUNATILAKA, A. HAHN, H. J. MESSANA, G. NOTENBOOM, J. and SKET, B. (2004). - Incorporating ecological perspectives in European groundwater management policy. *Environ. Conserv.*, **31**, 185-189.
- DAUBRÉE, A. (1987). - Les eaux souterraines à l'époque actuelle. Dunod, Paris, 455.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

DECU, V. JUBERTHIE, C. COLLIGNON, B. & LEBRETON, B. (2001).- « Algérie » In *Encyclopaedia Biospeologica*, Soc. Intern. Biospeol., Bucarest et Moulis. Vol. 3 : 1477-1496.

DELAMARE DEBOUTTEVILLE, C. (1960).- *Biologie des eaux souterraines littorales et continentales*. Hermann, Paris, 740 p.

DOLE, M.J. (1983). - Le domaine souterrain de la plaine alluviale du Rhône à l'est de Loyal; écologie des niveaux supérieurs de la nappe. Thèse Doct. 3ème cycle, Université Claude Bernard Lyon I, 168p.

DUMONT, H.J. (1981).- *Cteniobathynella essameuri* n. sp., the first representative of the Bathynellacea (Crustacea) in the central Sahara. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, **14** (1), 59-62.

EL ACHHEB, A. MANIA, J. et MUDRY, J. (2001). - Processus de salinisation des eaux souterraines dans le bassin Sahel-Doukkala (Maroc occidental), in : *Proc. 1st Int. Conf. on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers: Monitoring, Modeling, and Management*, Essaouira, Maroc.

EL ALALI EL FILALI, A. (2010).- *Biodiversité aquatique souterraine du Maroc : Base de données, répartition et implications en termes de conservation*. Thèse doctorat, Écologie des eaux souterraines, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sc. Semlalia, Marrakech. 123 p.

FAKHER EL ABIARI, A. (1999).- *Rôle des facteurs abiotiques dans la répartition de la faune aquatique souterraine du Maroc : Cas des Crustacés Péracarides stygobies*. Thèse de doctorat National, Fac. Sc. Semlalia, Marrakech, 208 p.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- FERREIRA, D. (2005). - Biodiversité aquatique souterraine de la France: base de données, patrons de distribution et implications en termes de conservation. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard, Lyon I, 230p.
- FRONTIER, S. DAVAUT, D. GENTILHOMME, V. et LAGADEUC, Y. (2001). – Statistique pour les sciences de la vie et de l’environnement, cours et exercices corrigés. Dunod, Paris, 377p.
- GAGNEUR, J. et CHAOUI-BOUDGHANE, C. (1991). - Sur le rôle du milieu hyporhéique pendant l’assèchement des oueds de l’ouest Algérien. *Stygologia*, 6: 77-89.
- GAUJOUS, D. (1995). - La pollution des milieux aquatiques : *aide-mémoire*. 2<sup>ème</sup> Ed. 217p.
- GAUTHIER, H. (1928).- *Recherches sur la faune des eaux continentales de l’Algérie et de la Tunisie*. Impr. Minerva. Alger : 419 p. + 3 Pl. et 6 Cartes H. T.
- GHLALA, A. (2013).- *Diversité de la faune aquatique souterraine de la Tunisie, Systématique et Biogéographie des genres Typhlocirolana et Proasellus (Crustacés, Isopodes)*. Thèse Doctorat Fac. Sc. Biol., Univ. Tunis El Manar. 240 pp.
- GHLALA, A. et MESSANA, G. (2005). – Diversité de la faune souterraine ,3p.
- GHLALA, A. et MESSANA, G. (2006). – Description d’un nouvel asellide épigé (Isopoda, asellota) du nord de la Tunisie. *Proasellus tunusiensis* sp. Troisième congrès Franco-Tunisien de Zoologie, Tabarka (Tunisia). NESCO, Paris, 24-28 janvier 2005.
- GHLALA, A. DELLA VALLE, D. et MESSANA, G. (2009). – First record of the genus *Typhlocirolana* Racovitza, 1905 (Isopoda: Cirolanidae) from Tunisia and description of a new species from the National Park of Ichkeul. *Zootaxa*, 2176: 57-64.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

GIBERT, J. (1986).- Écologie d'un système karstique jurassien : hydrogéologie, dérive animale, transits de matières et dynamique de la population de *Niphargus* (Crustacé, Amphipode). *Mém. Biospéol.*, **XIII**(40), 1-379.

GIBERT, J. DANIELOPOL, D.L. & STANFORD, J.A. (Eds.). (1994). - *Groundwater Ecology*. Academic Press, New York, 572 p.

GIBERT, J. MATHIEU, J. & FOURNIER, F. (Eds.). (1997).- *Groundwater / Surface Water Ecotones: Biological and Hydrological Interactions and Management Options*. Cambridge University Press, Cambridge, 246 p.

GIBERT, J. et DAHARVENG, L. (2002). - Subterranean ecosystems: a truncated functional biodiversity. *Bioscience* 52: 473-481.

GIBERT, J., DOMÈNECH, R. and MARTINELL, J. (2004), An ethological framework for animal bioerosion trace fossils upon mineral substrates with proposal of a new class, fixichnia. *Lethaia*, 37: 429-437.

GINET, R. & DECOU, V. (1977).- *Initiation à la Biologie et à l'Écologie souterraines*. J.P. Delarge, Paris. 345 p.

GUNN, J. (Ed.). (2004).- *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. Fitzroy Dearborn, Taylor and Francis Group, London, 902 p.

GUZIK, M.T. AUSTIN, A.D. COOPER, J.B. HARVEY, M.S. HUMPHREYS, W.F. BRADFORD, T. EBERHARD, M. KING, R.A. LEYS, R. MUIRHEAD, K.A. & TOMLINSON, M. (2011).- Is the Australian subterranean fauna uniquely diverse? *Invertebrate Systematics*, **24**(5), 407-418.

HAHN, H. J. (2006). - The GW-Fauna-Index: A first approach to a quantitative ecological

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

assessment of groundwater habitats. *Limnologica* 36: 119-137.

HAICHA, B. (2008). - Contribution à l'étude de la faune aquatique de quelques puits de la haute Tafna (Nord-Ouest Algérien). Mém. Ing. Fac. Sc. Univ. Tlemcen: 56p.

HAICHA, B. (2012). – Contribution à la connaissance de la stygofaune d'Algérie. Etude de la faune des puits de la nappe alluviale de la basse Tafna. Thèse de Magistère en Ecologie et Biodiversité des Ecosystèmes Continentaux. Option: Ecosystème Aquatique. Université Abu Bakr Belkaïd – Tlemcen. 144pp.

HALLAM, F. (2011).- *Biodiversité et qualité des eaux souterraines des Jbilet (Région de Marrakech) : rôle des interactions entre les Crustacés Péracarides stygobies et la Flore bactérienne d'intérêt sanitaire*. Thèse doctorat, Hydrobiologie et Microbiologie, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sc. Semlalia, Marrakech. 143 pp.

HARRATH ABDUL HALIM. SLUTS RONALD. MERZOUG DJEMOI. YACOUBI KHEBIZA MOHAMED. ALWASEL SALEH. RIUTORT MARTA. (2012). - Freshwater planarians (platyhelminthes, tricladida) from the palearctic section of the african continent: new records, with the description of a new species. *Zootaxa* 3182: 1–15 4.

HERVANT, F. MATHIEU, J. BARRE, H. SIMON, K. and PINON, C. (1997). - Comparative study on the behavioral, ventilatory and respiratory responses of hypogean and epigean crustaceans to longterm starvation and subsequent feeding. *Comp. Biochem. Physiol.*118A, 1277–1283.

HERVANT, F. RENAULT, D. (2002). - Long-term fasting and realimentation in hypogean and epigean isopods: a proposed adaptive strategy for groundwater organisms. *J. Exp. Biol.* 205 (14) : 2079-2087.

HOBBS, R. J. (2000). – *Invasive species in a changing world*. Island Press, Washington DC.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- HOLSINGER, J.R. (1972).- The freshwater amphipod crustaceans (Gammaridae) of North America. Biota of freshwater ecosystems, Identification. *Manual U. S. Environmental Agency* **5**, 1-89.
- HOLSINGER, J.R. (1986).- Zoogeographic patterns of North American subterranean amphipod crustaceans. In : R.H. Gore and K.L. Heck (Eds.), *Crustacean Biogeography In Crustacean Issues*. **3**, 85-106.
- HOLSINGER, J.R. (1994).- Pattern and process in the biogeography of subterranean amphipod crustaceans. In D.C. Culver and J.R. Holsinger (Eds.), *Biogeography of Subterranean Crustaceans : the effects of different scales*. *Hydrobiologia* **287**(1), 131-145.
- HOLSINGER, J.R. (2000).- Ecological derivation, colonization, and speciation. In : H. Wilkens, D.C. Culver, & W.F. Humphreys, (Eds.), *Ecosystems of the World 30 : Subterranean Ecosystems*. Elsevier. Amsterdam, New York, 399-415.
- HUMPHREYS, W.F. (2000). - Relict fauna and their derivation. in : Wilkens H. Culver D.C. and Humphreys W.F. (Eds.) *Subterranean Ecosystems*. *Ecosystems of the world 30*, Elsevier, Amsterdam, 417-432.
- HUMPHREYS, W.F. (2008).- Rising from download under: developments in subterranean biodiversity in Australia from a groundwater fauna perspective. *Invert. Systematics*, **22**(2), 85-101.
- IDEBENACER, B. (1990).- *Recherches écologiques, biogéographiques et démographiques sur la faune aquatique souterraine de la région de Guelmim (Sud-ouest de l'Anti-Atlas marocain)*. Thèse de 3e Cycle, Fac. Sc. Semlalia. Marrakech, 118 p.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

ISSARTEL, J. RENAULT, D. VOITURON, Y. BOUCHEREAU, A. VERNON, P & HERVANT, F. (2005). – *Metabolic responses to cold in subterranean crustaceans*. J. Exp. Biol. 208 : 2923-2929.

JUBERTHIE, C. (1983). - Le milieu souterrain ; théories et modèles, relation avec la spéciation et l'évolution souterraines. *Mém. Biospéol., Moulis*, 16, 43: 3-14.

JUBERTHIE, C. & DECU, V. (Eds.). (1994, 1998, 2001).- *Encyclopaedia Biospeologica* 1 : 1-834; 2 : 835-1374; 3 : 1375- 2294; Soc. Intern. Biospeol., Bucarest (Roumanie) et Moulis (France) : 2 294 p.

KARAMAN, S.G. & PESCE, G.L. (1980).- Researches in Africa by the Zoological Institute of l'Aquila, Italy, V- On three subterranean Amphipods from North Africa (Amphipoda, Gammaridae). *Bull. Zool. Mus. Univ. Van Amsterdam*, 7(20), 197-207.

KHALDOUN, L. MERZOUG, D. BOUTIN, C. – Faune aquatique et qualité de l'eau des puits et sources de la région de Khenchela (Aurès, Algérie Nord-Orientale). *Bull. Soc. zool. Fr.*, 2013, 138(1-4) : 273-292.

KOENEMANN, S. & HOLSINGER, J.R. (2001). - Systematics of the North American subterranean amphipod genus *Bactrurus* (Crangonyctidae). *Beaufortia (Bull. Zool. Mus. Univ. Amsterdam)*, 51(1), 1-56.

LAKHDARI FAKHREDDINE TAHAR. (2014). – Contribution à la connaissance de la stygofaune d'Algérie: Etude de la qualité de l'eau et la faune aquatique des puits de la region de Mascara (Nord-Ouest Algérien). Thèse de Magistère en Ecologie et Biodiversité des Ecosystèmes Continentaux. Option: Ecosystème Aquatique. Université Abu Bakr Belkaïd – Tlemcen. 107pp.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- LEFEBURE, T. DOUADY, C.J. GOUY, M. TRONTELJ, P. BRIOLAY, J. & Gibert, J. (2006). - Phylogeography of a subterranean amphipod reveals cryptic diversity and dynamic evolution in extreme environments. *Molecular Ecology* 15(7) : 1797-806.
- MAGNIEZ, G. (1979).- *Metastenasellus powelli* sp.n. A new stenasellid Isopod Crustacean from littoral groundwaters of Southern Nigeria. *Crustaceana*, **37**(3), 265-276.
- MAGUIRE, B. Jr. (1964).- Crustacea: a primitive Mediterranean group also occurs in North America. *Science*, **146**, 931-932.
- MAHI. (2007). – Contribution à l'étude de la faune stygobie de la région de Tlemcen (Nord-Ouest Algérien). Thèse. Magister.Univ. Tlemcen (Algérie) : 127p.
- MALARD, F. GIBERT, J. et LAURENT, R. (1997A). - L'aquifère de la source du lez : un réservoir d'eau et de la biodiversité. *Karstologia*, 30: 49-54.
- MALARD, F. FERREIRA, D. DOLÉDECS et WARD, J.V. (2003). - Influence of groundwater upwelling on the distribution of the hyporheos in a headwater river flood plain. *Archiv. Für Hydrobiologie*, 157 (1): 89-116.
- MARMONIER, P. VERVIER, P. GIBERT, J. et DOLE-OLIVIER, M.J. (1993). – Biodiversity in ground waters. *Trends in Ecology & Evolution* 8, 11: 392-395.
- MERZOUG, D. KHIARI, AÏT BOUGHROUS, A. & BOUTIN, C. (2010).- Faune aquatique et qualité de l'eau des puits et sources de la région d'Oum-El-Bouaghi (Nord-Est algérien). *Hydroécol. Appl.*, **17**, 77-97.
- MESSOULI, M. (1984).- *Recherches sur la faune aquatique endogée des sources du Haouz*. Mém. C.E.A. Fac. Sc. Semlalia. Marrakech, 46 p.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- MESSOULI, M. (1988).- *Les Crustacés Amphipodes souterrains du Groupe Metacrangonyx. Répartition, Systématique, Phylogénie*. Thèse de 3e Cycle, Fac. Sc. Marrakech, 220 p.
- MESSOULI, M. (1994).- *Évolution, Phylogénie et Biogéographie historique des Metacrangonyctidae, Crustacés Amphipodes stygobies du Nord de l'Afrique et des régions voisines*. Thèse de doctorat d'État, Fac. Sc. Marrakech, 311 p.
- MESTROV, M. (1962). - Un nouveau milieu aquatique souterrain : le milieu hypohelminorhéique. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 254, 14: 2677-2679.
- MISEREZ, J.J. (1973). - *Géochimie des eaux du karst jurassien*. Thèse doctorat, Université Neuchatel, 299p.
- MONOD, TH. (1924).- Sur un type nouveau de Malacostracé, *Thermosbaena mirabilis* nov. gen., n. sp. *Bull. Soc. zool. France*, **49**, 58-68.
- MONOD, TH. (1927).- *Thermosbaena mirabilis* Monod. Remarques sur sa morphologie et sa position systématique. *Faune Col. Françaises*, **1**, 29-51.
- MONOD, TH. (1930).- Contribution à l'étude des "Cirolanidae". *Ann. Sc. nat. zool.*, **10**(13), 129-183.
- MORETTE, A. (1964). - Précis d'hydrobiologie. *Masson, Paris*, 532p.
- NISBET, M. VERNEAUX, J. (1970).- Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition des classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Ann. Limnol.*, **6**(2), 161-190.
- NOURRISSON, M. (1956).- Étude morphologique comparative et critique des *Typhlocirolana* (Crustacés Isopodes Cirolanides) du Maroc et de l'Algérie. *Bull. Soc. Sc. Nat. Phys. Maroc*. **36**, 103-124.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- ORGHIDAN, T. (1955). - Un nou domeniu de viața acvatică subterană : “Biotopul hiporheic”. *Bull. Sec. Biologie și Sti. Agronom., și sect. Géol. Géologie. Acad.*, 7, 3: 657-676.
- PAINCHAUD, J. (1997). - La qualité de l’eau des rivières du Québec : État et tendances. Direction des écosystèmes aquatiques. Rapport du Ministère de l’Environnement et de la Faune du Québec. 55p.
- PASCALIS. (2006). - Protocols for the Assessment and Conservation of Aquatic Life In the Subsurface: [www.pascalis-project.com](http://www.pascalis-project.com)
- PISCARD, C. MERZOUG, D. HAFID, H. (2015). - A new species of *Echinogammarus* from Algerian freshwaters, *Echinogammarus Haraktis* N. SP. (CRUSTACEA, AMPHIPODA) *Crustaceana* sous presse.
- PESCE, G.L. et TETE, P. (1978).- Recherches en Afrique de l’Institut de Zoologie de l’Aquila (Italie). I- Microparasellides d’Algérie (Crustacea : Isopoda). *Rev. Zool. Afr.*, **92**(4), 991- 1002.
- PESCE, G.L. TELE, P. & SIMONE, DE. (1981).- Ricerche in Africa dell’ Istitut di Zoologia de l’Aquila. VI. Ricerche, faunistiche in acque sotterranee del Magreb (Tunisia, Algeria, Morroco) e, dell Egitto. *Natura. Soc. Ital. Sci. Nat., Museo. Civ. Stor. Nat. E Acquir. Civ. Milano.* **72**(1-2), 63-69.
- PICARD J.Y., 1962. Contribution à la connaissance de la faune psammique de Lorraine. *Vie et milieu*, 13, 3: 471-506.
- PUSCH, M. FIEBIG, D. BRETTAR, I. EISENMANN, H. ELLIS, BK. KAPLAN, LA. LOCK, MA. NAEGELI, MW. TRAUNSPURGER, W. (1998). - The role of micro-organisms in the ecological connectivity of running waters. *Freshw Biol* 40:453–495

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

RACOVITZA, E.G. (1912).- Cirolanides (1<sup>ère</sup> série). **10**(5), 203-205.

RAOUL TUEKAM KAYO, PIERRE MARMONIER, SERGE, H. ZEBAZE TOGOUET, MOÏSE NOLA, CHRISTOPHE PISCART. (2013). - An annotated checklist of freshwater stygobiotic crustaceans of Africa and Madagascar. *Crustaceana*, Brill Academic Publishers, 2012, 85 (12-13), pp.1613-1631.

RÉFEA. (2003). - Réseau francophone sur l'eau et l'assainissement. [www.oie.fr/ReFEZ/](http://www.oie.fr/ReFEZ/)

ROCHE, P.A. BILLEN, G. BRAVARD, J.P. DÉCAMPS, H. PENNEQUIN, D. VINDIMIAN, E. et WASSON, J.G. (2005). - Les enjeux de recherche liés à la directive cadre européenne sur l'eau. *C. R. Geoscience* 337(1-2): 243–267.

RODIER, J. (1996). -L'analyse de l'eau, Eaux naturelles - eaux résiduaires- eau de mer ,8ème edt,Dunod: 1383p,

RODIER, J, LEGUBE, B. MERLET, N. et COLL. (2009).- *L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. Dunod, 9e éd., 1600 p.

ROUCH, R. (1970). - Le système karstique du Baget I. le phénomène d'hémorragie au niveau de l'exutoire principal. *Annales de spéléologie*, 23, 1: 5-168.

ROUCH, R. et DANIELOPL, D.L. (1987). - L'origine de la faune aquatique souterraine, entre le paradigme de refuge et le modèle de la colonisation active. *Stygologia* 3, 4: 345-372.

ROUX, M. (1970). - Analyse biologique de l'eau. Edt. Lavoisier. Tech et Doc: 230p.

SHIKLOMANOV, I. A. et RODDA, J. C. (2003). – World Water Ressources at the Beginning of the Twenty First Century, 1<sup>st</sup> Edn., UNESCO, Cambridge, 2003.

RUFFO, S. (1961). - Problemi relativi alla studie delle fauna interstitiale ipporeica. *Bull. Zool.*, 28, 2: 273-319.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

SIMON, A.F. SHIH, C. MACK, A. BENZER, S. (2003). - Steroid control of longevity in *Drosophila melanogaster*. *Science* 299(5611): 1407--1410.

SINTON, L. W. (1984). - The macroinvertebrates in a sewage-polluted aquifer. *Hydrobiologia* 119: 161-169.

STATISTICA 10, STATISTICA. (2011).- Copyright@stat soft 1994, 2011.

SULLIVAN, P.J. (1982).- Dilution of municipal landfill leachate in Franklin County. Indiana. *J. of Environ. Health.*, **44**(5), 253-257.

TACHET, M. BOURNAUD, M. et RICHOUX, P. (1980). - Introduction à l'étude des macroinvertebrés des eaux douces (systématique élémentaire et aperçu écologique). *Univ. Lyon I. Ass. Française de Limnologie*: 155p.

TACHET, M. BOURNAUD, M. RICHOUX, P. et USSEGLIO-POLATERA, PH. (2000). - Invertébrés des eaux douces : Systématique, Ecologie, Biologie. Ed CNRS-Paris : 588p.

TALEB, A. BELAIDI, N. et GAGNEUR, J. (2004). - Water quality before and after dam building on a heavily polluted river in semi-arid Algeria. *River Research and Applications*, 20: 1-14.

TALEB, A. BELAIDI N, J. SANCHEZ PEREZ, M. VERVIER, P. SAUVAGE, S. et

GAGNEUR, J. (2008). - The role of the hyporheic zone in the nitrogen dynamics within a semi-arid gravel bed stream located downstream of a heavily polluted reservoir (Tafna wadi, Algeria). *River Research and Applications* 24: 183-196.

TIWARY, S.N. RANDA REDDY, Y. & RAM KUNMAN. (2009).- Groundwater Faunal Diversity: constraints and Prospects:

<http://8thicoc.ntou.edu.tw/download/Ram's%20presentation%20NTOU20091029-1.pdf>

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- VANDEL, A. (1964).- *Biospéologie : la biologie des animaux cavernicoles*. Gauthier-Villars, Paris, 620 p.
- TRABELSI, R. ZAÏRI, M. SMIDA, H. et BEN DHIA, H. (2005). - Salinisation des nappes côtières: cas de la nappe nord du Sahel de Sfax, Tunisie. *C. R. Geosciences* 337: 515–524.
- WARD, J.V. (1998). - Riverine landscapes: biodiversity patterns, disturbance regimes and aquatic conservation. *Biological conservation*, 83 (3): 269-278.
- WARD, J.V. BRETSCJKO, G. BRUNKE, M. DANIELOPOL, D. GIBERT, J. GONSER, T. HILDREW, A. G. (1998). - The boundaries of river system: the metazoan perspective. *Freshwater biology*, 40, 531-569.
- WILKENS, H. CULVER, D.C. & HUMPHREYS, W.F. (Eds.). (2000).- *Ecosystems of the World 30 : Subterranean ecosystems*. Elsevier, New York, 791 p.
- YACOUBI-KHEBIZA, M. (1990). - Écologie, Biogéographie des biocénoses aquatiques des nappes alluviales de quelques vallées du Haut-Atlas de Marrakech (Maroc). Paléogéographie des crustacés phréatiques. Thèse doctorat 3<sup>ème</sup> cycle, Université Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia Marrakech. 246p.
- YACOUBI-KHEBIZA, M. (1996). - Biocénoses aquatiques interstitielles des vallées du Haut-Atlas de Marrakech: Microdistribution, Dynamique de répartition, Écologie et Biogéographie. Thèse Doctorat d'État ès Sciences, Université Cadi Ayyad, Fac. Sci., Marrakech, 374p.
- ZEBAZE-TOGOUET, S.H. BOUTIN, C. NJINE, T. KEMKA, K. NOLA, M. & FOTO MENBOHAN, S. (2009). - First data on the groundwater quality and aquatic fauna of some wells and springs from Yaoundé (Cameroun). *Eur. Journ. Water Quality*, **40**, 51-74.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

ZEBAZE-TOGOUET, S.H. TUEKAM KAYO, R.P. BOUTIN, C. NOLA, M. & FOTO MENBOHAN, S. (2011). - Impact de la pression anthropique sur l'eau et la faune aquatique des puits et sources de la région de Yaoundé (Cameroun, Afrique Centrale). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 147, 27-41.