



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique

Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi
Faculté Des Sciences Exactes et des Sciences de La Nature et de la Vie
Département des Sciences de La Nature et de la Vie

Thèse

Présenté pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT 3^{eme} CYCLE

Filière Ecologie et Environnement

Spécialité: Structure et dynamique des écosystèmes

Intitulée

***Recherches phréatobiologiques dans la région du
Nord-Constantinois***

Présentée par : Mr. AIDAOUI Samy Charaf Eddine

Devant le jury

Président : BELAIDI Abdelhakim	Professeur	Université d'Oum-El-Bouaghi
Rapporteur : SAHEB Menouar	Professeur	Université d'Oum-El-Bouaghi
Examineur : MERZOUG Djemoui	Professeur	Université d'Oum-El-Bouaghi
Examineur : BENSACI Ettayib	MCA	Université de M'sila
Examineur : MIMECHE Fateh	MCA	Université de M'sila

Année universitaire: 2018-2019

Remerciements

﴿ الحمد لله وحده ﴾

Avant d'exposer le contenu de ce travail, je tiens à remercier "Dieu" le tout puissant de nous avoir donné le privilège et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science et de la connaissance.

« Fidèle à mes maîtres, je transmettrai à leurs enfants ce qui m'a été transmis »

Telle est une partie du serment d'Hippocrate

Sur les mêmes traces, et selon les mêmes principes inculqués par l'être le plus cher après dieu le tout puissant je suivrai le chemin tracé en son absence :

À mon très cher et regretté Père, l'illustre Professeur ASDAOU, je dédie cet humble travail, qui ne représente qu'une goutte dans un océan face à ce qu'il a fait pour l'humanité.

À ma Mère Dr KEBBA Djouher Veuve ASDAOU

À Professeur SAKEB qui m'a toujours été d'un grand soutien lors des moments difficiles.

À Professeur MERZOU pour ses encouragements et tout le savoir ce qu'il m'a transmis étant pionnier en la matière étudiée

À Mes collègues et amis, qui m'ont accompagné

À tous ceux qui ont participé de près ou de loin pour l'accomplissement de Ce Travail

Qu'ils trouvent ici mes remerciements les plus sincères

ASDAOU Samy Charaf Eddine

Dédicace

*Je dédie ce travail à feu mon père l'éminent Professeur Emérite AIDAOUI Hacène qui
malheureusement n'a pas eu la joie d'assister à l'accomplissement de cette thèse.*

Ton fils Samy

Liste des tableaux & figures

- Fig.1: Types d'Aquifères, Puits et Écoulement des Eaux Souterraines
- Fig.2: Schéma expliquant l'écoulement des eaux souterraines
- Fig.3: La classification écologique des organismes souterrains aquatiques.) D'après Marmonier et al., 1993).
- Fig.4: Carte géographique représentant la localisation des Puits étudiés
- Fig.5: Schéma du filet phréatobiologique utilisé.
- Fig.6: L'utilisation du filet phreatobiologique dans le puits
- Fig.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.
- Fig.8: Nombre d'individus invertébrés au niveau de chaque station.
- Fig.9: Variation de la richesse taxonomique de la faune récoltée au niveau des différentes stations
- Fig.10: Abondance relative des groupes faunistiques dans les stations étudiées
- Fig.11: Abondance relative des familles faunistiques dans les stations étudiées
- Fig.12: Variation spatiale du nombre d'individus de la faune récoltée dans les différentes stations
- Fig.13: Variation spatiale du nombre d'individus fauniques récoltés aux différentes stations.
- Fig.14: Variation spatiale du nombre d'individus fauniques récoltés aux différentes stations.
- Fig.15: Fréquence en pourcentage des espèces récoltées aux différentes stations.
- Fig.16: Classes de fréquence des espèces récoltées aux différentes stations
- Fig.17: Températures moyennes de l'eau et variation entre les stations du site d'étude.
- Fig.18: Valeurs moyennes de la conductivité de l'eau des puits étudiés
- Fig.19: Variations du pH dans l'eau du site d'étude
- Fig.20: Valeurs moyennes de la teneur en oxygène des puits étudiés
- Fig.21: Variations des Chlorures des puits étudiés
- Fig.22: Variations des teneurs en calcium des puits étudiés
- Fig.23: Variations des teneurs en orthophosphate des puits étudiés
- Fig.24: Variations des teneurs en sulfates dans l'eau du site étudié
- Fig.25: Variations des teneurs en nitrates dans l'eau du site étudié

Tab.1: Principales caractéristiques des stations échantillonnées

Tab.2: Les différentes méthodes de mesure des paramètres physico-chimiques et leurs unités

Tab.3: Inventaire de la faune échantillonnée au sein de toutes les stations

Tab.4: Liste des taxons présents dans le site d'étude

Tab.5: Pourcentage d'abondance ($A_c\%$) et fréquence ($F_i\%$) des espèces et classification

Tab.6: Inventaire statistique des principaux groupes et classes identifiés

Tab.7: Résultats d'analyses physico-chimiques au sein des différentes stations

Tab.8: Relations existantes entre la minéralisation et la conductivité mesurée

Tab.9: Grille de la qualité des eaux suivant la concentration en Phosphates (PO_4^{2-})

Liste des abréviations

- % : Pourcentage.
- C° Degré Celsius
- Ca⁺² : Calcium.
- CE Conductivité Electrique
- D : Diamètre.
- E : Indice d'équitabilité.
- E.D.T.A : Acide Ethylène Diamine Tétracétique
- H' : Indice de diversité de Shannon et Weaver.
- HCO₃⁻ : Hydrogénocarbonate
- K° Kelvin
- Max : Maximale.
- mg : milligramme.
- mg/l Milligramme par litre
- Mg⁺²: Magnésium.
- Min : Minimale.
- mm : millimètre.
- Moy : Moyenne.
- NH₄⁺ Ammonium
- NO₃⁻ Nitrate
- NP : Niveau piézométrie
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé.
- P : Précipitation.
- Pr : Profondeur
- P1, P2,... P16 : Puits 1, Puits 2, ... Puits 16
- pH : potentiel Hydrogène.
- PO₄ Phosphates
- Q2 Quotient pluviométrique d'Emberger
- S1,S2,... S4 : Source 1, Source 2, ... Source 4
- SO₄ Sulfate
- T° Température
- TAC : Alcalinité (Titre alcalimétrique complet)
- λ: longueur d'onde.
- μS Micro siemens

Sommaire

) Liste des tableaux & figures

) Liste des abréviations

Introduction1

Chapitre 1 : Caractéristiques et écologie des eaux souterraines

1 .1 Généralités sur les eaux souterraines4

1 .2 Les écosystèmes aquatiques souterrains.....4

1 .3 Classification du monde aquatique souterrain.....5

1 .3 .1 Terrains perméables en petit.....5

1. Nappe phréatique.....6

2. Milieu hyporhéique.....6

3. Milieu hypothelminorhéique.....6

1 .3 .2 Terrains perméables en grand.....6

1 .4 Ecologie des eaux souterraines7

1 .5 Diversité biologique des eaux souterraines.....8

1 .6 La diversité de la stygofaune a l'échelle mondiale.....8

1 .7 La diversité de la stygofaune en Algérie.....9

1 .8 Le concept de bioindication..... 11

1 .8 .1 Introduction..... 11

1 .8 .2 Définition des bio-indicateurs12

1 .8 .3 Motifs d'utilisations de ces indicateurs biologiques12

1 .8 .4 Etude des bio-indicateurs12

Chapitre 2 : Zone d'étude

2.1. Présentation du cadre de la zone d'étude.....14

2.2. Description des stations échantillonnées14

Chapitre 3 : Matériels et méthodes

3.1 Choix et description des stations.....	17
3.2 Analyses physico-chimiques de l'eau	
3.2.1 Paramètres analysés sur terrain.....	17
3.2.2 Paramètres analysés au laboratoire.....	17
3.3 Prélèvement faunistique	19
a) Le filet phreatobiologique	19
b) Les pièges appâtés	21
3.3.1 Pré-tri et conservation des échantillons	23
3.3.2 Conservation des échantillons.....	23
3.3.2 Identification des invertébrés.....	23
3.4 Niveau piézométrique... ..	24
3.5 Traitement des données	24
3.5.1. Indices de diversité de Shannon-Weaver H'	24
3.5.2 Richesse Taxonomique.....	25
3.5.3 Abondance relative des espèces	25
3.5.4. Analyse de variance.....	25
3.5.5 Analyse factorielle des correspondances (AFC).....	26

Chapitre 4 : Résultats et discussions

4.1 Résultats faunistiques	27
4.1.1 Les indices de diversité.....	29
a. Abondance (A).....	29
b. Richesse spécifique (S).....	29
4.1.2 Analyse globale de la faune aquatique.....	30
a. Richesse taxonomique.....	30
b. Abondance relative	31
c. Abondance totale	33
d. Indice de Shannon-Weaver.....	33
e. Indice de l'Équitabilité	34

f. Abondance et fréquence.....	34
4 .1 .3 Écologie des principaux groupes identifiés.....	37
4 .1 .3 .1 Les Mollusques Gastéropodes	37
4 .1 .3 .2 Les Amphipodes.....	38
4 .1 .3 .3 Les Coléoptères	38
4 .1 .2 .3 .4 Les Ephéméroptères	38
4 .1 .2 .3 6 Les Diptères.....	39
4 .1 .4. Inventaire statistique des principaux groupes et classes identifiées.....	39
4 .1 .5. Groupes stygobies.....	41
4 .2 Résultats d'analyse physico-chimique	
4 .2 .1 Les paramètres physiques	43
4 .2 .1 .1 La Température (C).....	43
4 .2 .1 .2 Conductivité électrique (CE)	44
4 .2 .1 .3 Potentiel Hydrogène (pH).....	46
4 .2 .2 Les paramètres chimiques.....	49
4 .2 .2 .1 Oxygène Dissous.....	49
4 .2 .2 .2 Chlorures (Cl^-).....	47
4 .2 .2 .3 Calcium (Ca^{2+}).....	48
4 .1 .2 .4 Les orthophosphates (P_4^{3-})	49
4 .1 .2 .5 Les sulfates (S_4^{2-})	51
4 .1 .2 .6 Nitrates (N_3^-)	52
4 .3 Résultats d'analyse physico-chimique	
4 .3 .1 Analyse Factorielle des Correspondances (AFC).....	53
4 .3 .2 Analyse en Composantes Principales (ACP).....	57
Conclusion.....	67
Références bibliographiques	
Annexes	

Introduction

Les eaux souterraines constituent le plus grand réservoir d'eau douce mondial renfermant près de 98 % des eaux douces continentales directement mobilisables (GIBERT & AL. 2004). Elles sont considérées comme un véritable océan souterrain participant au cycle de l'eau. Elles se présentent aussi comme un réservoir de faune (ISSARTEL & AL, 2007).

Certaines lignées sont anciennes de plusieurs millions d'années (ROUCH & DANIELOPOL, 1987 ; DANIELOPOL & AL, 2000 ; HUNPHREYS, 2000). Mais la richesse spécifique expulsive reste encore mal connue (GIBERT & CULVER, 2004). Cette situation découle du faible niveau de connaissance dans son ensemble car de vastes zones géographiques restent encore inexploitées (FERREIRA & AL, 2005)

Les recherches écologiques sur la faune aquatique souterraine et plus particulièrement sur celle des nappes phréatiques accessibles au niveau des puits, représente un des aspects de la phréatobiologie appliquée qui a connu depuis la mise au point des méthodes appropriées (CVETCOV, 1968) un développement important.

Les premières recherches stygobiologiques ont commencé en Europe et se sont multipliées rapidement (BOTOSANEANU, 1986). Les connaissances dans ce domaine se rapportaient soit à des prélèvements ponctuels d'ordre biogéographique (PESCE, 1981 ; MALARD, 2003), soit à l'étude d'un biotope déterminé (PECK, 1998 ; VAIL, 1997), soit à une étude d'ordre systématique (PESCE, 1981 ; AIT BOUGHROUS, 2007). Ensuite, l'hydrobiologie souterraine a été entreprise dans d'autres continents, particulièrement en Afrique où seulement des observations ont été publiées dans les années 50 (NOURISSON, 1956).

Les recherches stygobiologiques sont conduites d'une manière importante au Maroc (BOUTIN & BOULAOUAR 1983 ; MESSOULI, 1988 ; YACOUBI-KHEBIZA, 1990). Ces recherches ont montré que la richesse de la faune stygobie était très variable d'une région à l'autre vu le caractère endémique de ces espèces (BOUTIN & AL, 1996) et pouvait constituer un outil relativement efficace en vue de la détection de la pollution organique (BOULANOUAR, 1995) et minérale (EL GHARMALI, 2005 ; EL ADNANI & AL, 2005).

En Tunisie l'étude de la faune aquatique souterraine n'a jamais fait l'objet d'une étude scientifique approfondie et avancée, contrairement à ce qui a été entrepris par rapport à la faune du Maroc. Elle s'est résumée à un inventaire peu détaillé fait à partir des prélèvements effectués sur des oueds, puits et sources dans le bassin versant de Barkoukech (GHALALA ET MESSANA, 2006 ; GHALALA & AL, 2009) et la description d'un Cirolanidae (GHALALA & AL, 2009).

En Algérie, les connaissances de la diversité de la faune aquatique souterraine restent limitées, malgré les données relativement anciennes. En effet, la faune souterraine est connue au début du siècle grâce aux descriptions de quelques espèces par Racovitza (1912) de plus, les recherches sur les eaux souterraines étaient rares et /ou partielles. Il s'agit des relevés faunistiques réalisés par Gurney (1908), Monod (1924), Gauthier (1928), Nourrisson (1956), Delamare et Deboutteville (1960), Pesce & Tete (1978) et Pesce & al. (1981). Après cela les études et recherches furent plus sérieuses et complètes et ont été commencées puis mises en place et dirigées par Pr MERZOUG, pionnier en matière de recherche de la faune aquatique qui en 1998 fut le premier algérien à diriger des recherches phreatobiologiques dans l'histoire de l'Algérie indépendante en coopérant avec les illustres experts en la matière à l'échelle internationale en l'occurrence le Professeur Claude Boutin qui a dirigé d'innombrables recherches sur la faune stygobie tant qu'en France ainsi qu'en Algérie, Tunisie et Maroc et d'autres pays d'Afrique et du Sahel, sans oublier Dr. Messana Guessepé qui dirigeait le Centre de recherche sur les écosystèmes aquatiques de Florence –Italie ; qui après ont permis d'obtenir des résultats d'études différentes tout d'abord au niveau de la région de l'est Algérien réalisées par D. Merzoug, A. Khiari & M. Saheb en 2001 qui a été la première au sein de la région de Bir Amar puis s'en sont suivies d'autres dont les plus importantes (D. MERZOUG, A. KHIARI M. SAHEB, & S. RUFFO, 2008), (D. MERZOUG, A. KHIARI, A. AÏT BOUGHROUS, C. BOUTIN. 2011), (D. MERZOUG, L. KALDOUN & C. BOUTIN. 2013), (C. PISCART, D. MERZOUG & H. HAFID. 2013), (N. ALLAOUA, H. HAFID, D. MERZOUG, N. GHOURAF & M. HOUHAMDI. 2015), (KHAMMAR H, HADJAB, REBBAH ABD RAOUF CHOUAIB, SAHEB MENOVAR, MERZOUG DJEMOI. 2018), (RAMZI HADJAB, HICHEM KHAMMAR, YASSINE NOUIDJEM, MENOVAR SAHEB, DJEMOI MERZOUG. 2018), (MARIE-JOSE DOLE-OLIVIER, HINDA HAFID, CHRISTOPHE PISCART, 2018), ces études sus-citées ont essayé de cerner la composition de la faune aquatique de la région est de l'Algérie

Dans le nord-ouest algérien, les programmes d'étude en hydrobiologie sont venus bien après et en collaboration avec le Pr Merzoug D et cela avec un rythme en croissance au niveau du bassin versant de la Tafna (BELAIDI ET AL. 2004 ; TALEB ET AL. 2008 ; BELAIDI, 2004 ; MAHI, 2007 ; MERZOUG & AL., 2010 ; BELAIDI ET AL., 2011 ; BENHADJI, 2013). ; elles concernent en premier lieu les échanges entre le milieu superficiel et le milieu interstitiel en considérant les nutriments (TALEB & AL, 2004 ; TALEB & AL, 2008) et la faune aquatique (BELAIDI & AL. 2004 ; MAHI, 2007) ; 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 ; BELAIDI ET AL. 2011. MAHI & AL. 2011 ; HAICHA, 2013).

L'objectif visé est donc de compléter les résultats déjà obtenus dans le nord-est de l'Algérie; et cela en élargissement le secteur d'étude. Nous essayons d'exposer les résultats d'une recherche stygobiologique de la région du Nord Constantinois par la prospection des puits creusés dans au sein de cette région qui est l'un des réservoirs les plus importants des eaux phréatiques.

Dans la région du Nord Constantinois, la faune des eaux souterraines n'a jamais fait l'objet d'une étude scientifique avancée et approfondie. Seule l'analyse de la qualité physico chimique des eaux a été menée dans le périmètre de la plaine de la wilaya de Constantine, l'un des secteurs irrigués les plus importants où l'irrigation se fait à partir des eaux souterraines.

Le travail proposé dans cette thèse s'inscrit dans un contexte global de la faune stygobie d'Algérie et des enjeux de la connaissance de la biodiversité des écosystèmes souterrains. En particulier, l'importance des invertébrés hébergés par les puits creusés dans la nappe alluviale.

Ceci implique la nécessité urgente de la connaissance de la composante taxonomique de ces espèces indicatrices de la qualité de l'eau, de mettre la lumière sur leurs particularités bioécologiques, d'observer leurs modes de vie, et d'étudier l'écologie de chaque espèce suivant son importance numérique.

Outre le protocole d'échantillonnage spatio-temporel et de collecte sur le terrain des espèces animales (sous différentes phases de leurs développement), l'étude des paramètres abiotiques de leurs milieux de vie (climat, qualité physico-chimiques de l'eau, ...) ; le travail se poursuivra particulièrement au laboratoire avec plusieurs études (taxonomie, morphométrie, ...). En fonction de la disponibilité de matériel approprié. L'analyse des données permettant de connaître les interactions espèces animales-milieu aquatique se fera à l'égard de plusieurs variables : abiotiques (paramètres physico-chimiques du biotope), biotiques (relations inter et intra spécifiques) et anthropiques (activités humaines, changements globaux, ...) en faisant appel à des outils modernes (analyses statistiques appropriées, bases de données et systèmes d'informations géographiques, ...).

Notre travail est structuré en quatre chapitres dont :

- Le premier traite les caractéristiques des eaux souterraines, leur diversité en invertébrés et leur rôle d'indicateur de qualité.
- Le second chapitre aborde le cadre général de la région du Nord Constantinois.
- Tandis que le troisième expose le matériel et les méthodes utilisés.
- Et enfin le quatrième et dernier chapitre traite les résultats obtenus ainsi que leur discussion

Ainsi le travail s'achève avec une conclusion qui donne l'essentiel des notions tirées de cette étude

Chapitre 1 :

Caractéristiques et écologie des eaux souterraines

1. Caractéristiques et écologie des eaux souterraines :

1.1 Généralités sur les eaux souterraines :

Les eaux souterraines représentent au total environ 97% des eaux douces continentales liquides (BOSCA, 2002) et 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 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 (ex. régulation des régimes hydrologiques des cours d'eau(et écologiques)ex. échange de matière, d'énergies 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 supérieur à celles des eaux de surface qui sont généralement plus polluées.

Les eaux souterraines présentent une importante valeur socioéconomique en tant que ressource naturelle inestimable pour les besoins agricoles, industriels et domestiques dans les pays développés ou en voie de développement (DANIELOPOL ET AL, 2003 ; GIBERT et AL, 2004).

En Algérie on ne dispose à ce jour que de très peu de données sur la faune stygobie car seules des investigations sur les cours d'eaux ont été réalisés par les universités d'Alger, Tizi-Ouzou, Guelma et Tlemcen. Enfin la faune aquatique des puits et des sources de la région d'Oum-El-Bouaghi, dans le Nord-Est algérien a été investi par (MERZOUG et AL, 2000).

1.2 Les écosystèmes aquatiques souterrains :

Il existe une grande diversité d'habitats souterrains (JUBERTHIE et DECU., 1994). Les eaux souterraines représentent au contraire un réservoir de biodiversité souvent ignoré (BOUTIN.C et AL, 2011). 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 (CREUZE DES CHATELLIERS et DOLE-OLIVIER, 1991). La majorité des embranchements du règne animal sont présents dans ce milieu.

1.3 Classification du monde aquatique souterrain :

Les parties souterraines de terre ou de roche où on trouve des quantités d'eau s'appellent aquifères. Ces aquifères sont les ressources en eaux pour l'alimentation des puits et des sources.

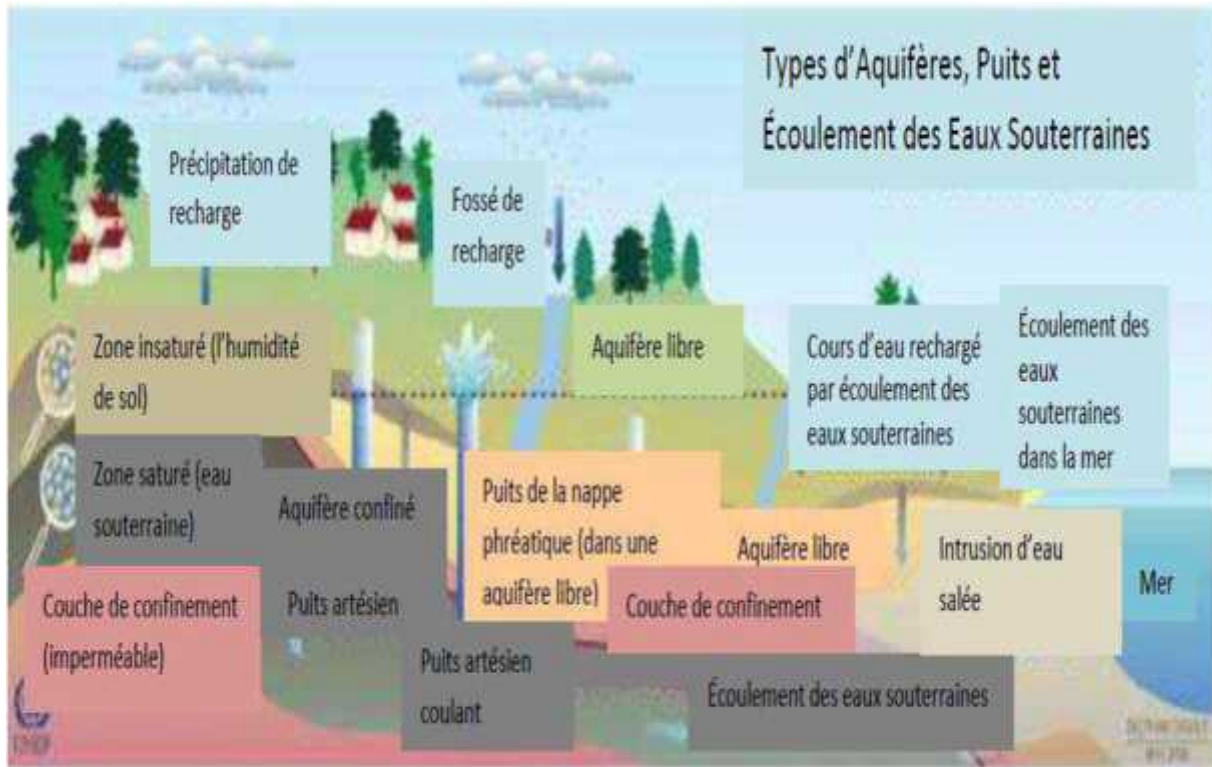


Figure 1 : Types d'Aquifères, Puits et Écoulement des Eaux Souterraines

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 les terrains perméables en petit et les terrains perméables en grand.

1.3.1 Terrains perméables en petit :

Ces terrains poreux sont représentés essentiellement par les sables et les graviers dont les espaces intergranulaires contiennent de l'eau ; ils sont caractérisés par une perméabilité d'interstices. Dans le domaine continental, le milieu interstitiel peut être séparé en trois grands ensembles suivant la nature de l'aquifère : les nappes phréatiques, les milieux

hyporhéiques et le psammon. Il convient d'ajouter à ces différents milieux, le milieu hypothelminorhéique (MESTROV, 1962).

1. Nappe phréatique :

En 1987, 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.

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 ou dans les alluvions des cours d'eau à sec qui conservent, souvent, un cours d'eau souterrain qui coule plus lentement. On peut dire plus simplement qu'il s'agit du sous-écoulement des cours d'eau.

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.

1.3.2 Terrains perméables en grand :

Caractérisé par une perméabilité des fissures, ils sont représentés principalement par 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 et fentes et conduits créés dans les roches calcaires par la circulation de l'eau).

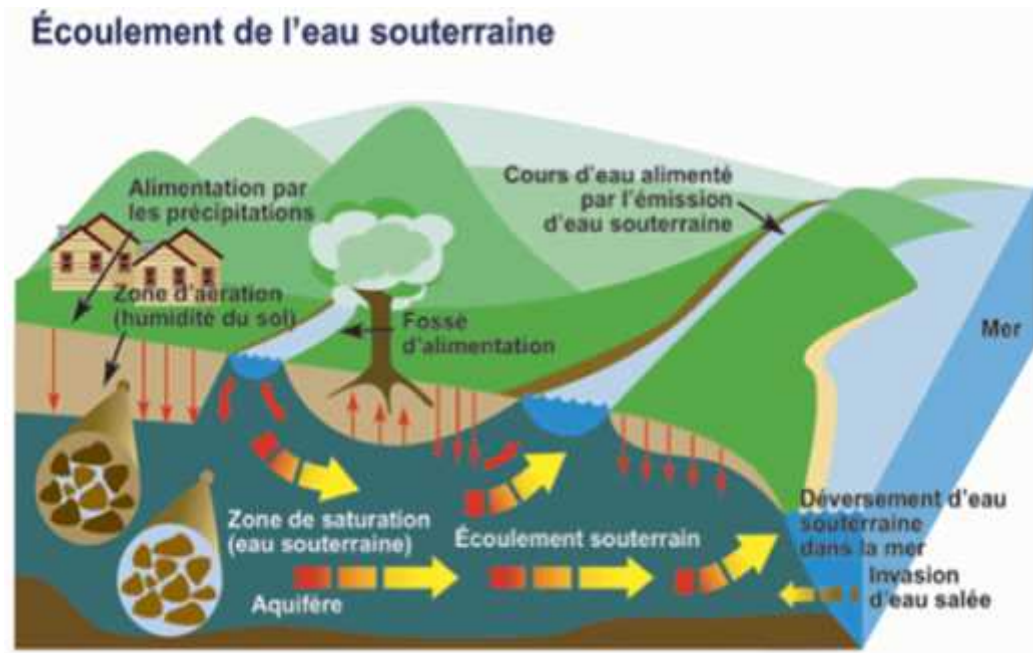


Figure 2 : Schéma expliquant l'écoulement des eaux souterraines

1.4 Ecologie des eaux souterraines :

L'obscurité permanente est l'une des caractéristiques fondamentales de l'environnement souterrain, elle détermine la quasi-totalité des paramètres biotiques de ces écosystèmes. Ainsi, la photosynthèse n'existe pas dans les milieux hypogés, et cette absence va avoir des répercussions majeures sur les paramètres que sont les ressources trophiques et la teneur en oxygène.

Les végétaux sont habituellement les premiers maillons de la chaîne trophique dans les milieux superficiels, mais en l'absence de lumière, leur développement est impossible, Il n'existe donc pas de production primaire dans les écosystèmes souterrains

La flore fongique et bactérienne qui compose le biofilm souterrain représente une source alternative de nutriment pour les macro-organismes hypogés (MALARD et HERVANT, 1999).

Le renouvellement de l'oxygène dissout dans les eaux souterraines est accompli par diffusion avec la zone non saturée de l'aquifère ou par recharge avec de l'eau de pluie ou de cours d'eau superficiel (rivière, fleuve...) (MALARD et HERVANT, 1999).

La température du milieu souterrain est égale à la moyenne annuelle de la température extérieure des écosystèmes superficiels adjacents, et ne varie en général que de quelques

dixièmes de degrés au cours de l'année (GINET et DECOU, 1977, JUBERTHIE et DECU, 1994).

Des différences de température sont tout de même observées selon la latitude et la longitude du biotope souterrain considéré.

Les milieux souterrains présentent donc une grande stabilité vis-à-vis de certains paramètres biotiques et abiotiques en comparaison des écosystèmes superficiels, mais sont aussi un biotope contraignant présentant des conditions extrêmes d'hypoxie et de rareté de ressources trophiques (GINET et DECOU, 1977, JUBERTHIE et DECU, 1994).

1.5 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, HUMPHREYS, 2000), parfois de plusieurs dizaines voire centaines de millions d'années (BOUTIN, 1994). 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.

1.6 La diversité de la stygofaune à l'échelle mondiale :

Les connaissances faunistiques dans près de 160 pays distribués sur les 5 continents. Sans compter la quarantaine de pays où la faune stygobie est inconnue, des listes d'espèces complètes sont disponibles pour près de 65 % des pays. Cependant dans plus de 75 % d'entre eux, le nombre d'espèces stygobies inventoriées est faible et varie de 1 à 25, auquel peut s'ajouter le nombre, parfois important, d'espèces indéterminées. Les données biologiques acquises sur les pays ayant fait l'objet de peu de recherches biologiques sont ainsi généralement quasi-exhaustives, ce qui est encore loin d'être le cas pour les pays dont la richesse spécifique des eaux souterraines avoisine ou dépasse largement les 200 espèces, tels le Japon 210 espèces (JUBERTHIE et DECU, 2001), les Etats-Unis 300 espèces (CULVER et AL, 2000), la Roumanie 193 espèces (DECU et RACOVITZA, 1994), la France 218 espèces

(JUBERTHIE et GINET, 1994), l'Italie 265 espèces (STOCH, 2001), la Croatie 170 espèces (MATOCEC et AL, 2002) et la Slovénie 210 espèces (SKET, 1999).

En effet, si la richesse spécifique qui compose la stygofaune de certains de ces pays a fait l'objet de bilans précis, régulièrement mis à jour : Etats-Unis (NICHOLAS 1960, PECK 1998, CULVER et AL 2000) ; Italie (PESCE 1985, STOCH 2001), contrairement à d'autres qui restent approximatifs comme en France (JUBERTHIE et GINET, 1994). Ces bilans sont, une fois de plus, rarement accompagnés de listes d'espèces exhaustives (PESCE, 1985). A l'échelle régionale, seuls (CULVER et AL. 2003) fournissent une liste des espèces stygobies et troglobies présentes dans 9 régions des Etats-Unis.

En Europe, la faune aquatique souterraine, quant à elle, est largement dominée par les Crustacés (Copépodes, Ostracodes, Syncarides, Isopodes, Amphipodes, Décapodes) comptant de nombreux fossiles vivants et habitant les nappes karstiques, le milieu interstitiel du sous-écoulement des cours d'eau, les nappes alluviales ou encore, pour être complet, les grottes anchihalines (en relation avec la mer) où l'on a récemment découvert une nouvelle classe de Crustacés (les Remipèdes), les plus primitifs connus.

En plus des Crustacés, il faut mentionner les Mollusques aquatiques Hydrobiidae des nappes alluviales et du sous-écoulement des cours d'eau d'Europe occidentale (JUBERTHIE et GINET 1994).

1.7 La diversité de la stygofaune en Algérie :

En Algérie du nord, la complexité des hydro systèmes et la multiplicité des perturbations anthropiques d'une part, ainsi que les conditions climatiques difficiles (régression de la pluviométrie, élévation de la température) d'autre part, ont conduit à la fragmentation croissante des milieux se traduisant par des modifications profondes et rapides des communautés d'invertébrés avec une perte de la diversité et/ou des déséquilibres démographiques (LOUNACI, 2005).

Les études faunistiques (invertébrés benthiques), écologiques (répartition spatiale, structure des communautés) revêtent d'une importance primordiale dans la compréhension du fonctionnement et de la gestion des systèmes naturels et, d'autre part, dans l'évaluation de l'état de santé écologique des hydrosystèmes.

Un certain nombre de travaux sur ce pays ont déjà été exposés par différents auteurs auxquels viennent s'ajouter des essais faunistiques réalisés récemment. Les premières études sur la

limnologie datent du XIX^{ème} siècle et elles sont limitées le plus souvent à des notes zoologiques, l'écologie n'étant que sommairement abordée (BEDEL, 1895 ; EDWARDS, 1923 ; LESTAGE, 1925 ; SEURAT, 1934 ; VAILLANT, 1955).

Les études hydrobiologiques réalisées se sont focalisées sur certains groupes zoologiques et remontent aux années 80 par les laboratoires des universités, de Tizi-Ouzou (YASRI, 2009), de Guelma (ZERGUINE et AL. 2009), et de Tlemcen (GAGNEUR, 1983, GAGNEUR et AL, 1991, GAGNEUR et THOMAS, 1988, GAGNEUR et CLERGUE GAZEAU, 1988, GAGNEUR et ALIANE, 1991). A ces travaux d'inventaire, se sont succédées, plusieurs travaux sur l'impact anthropique sur certains oueds (TALEB, 1991) ainsi que leur fonctionnement (TALEB et AL. 2004, BELAIDI et AL. 2004, TALEB et AL. 2008) dans la région de Tlemcen, (LOUNACI, 2005) sur la faune benthique des cours d'eau de Kabylie du Djurdjura à Tizi-Ouzou, (HAMZAOUI, 2009), sur la macrofaune benthique de l'Oued Saoura (wilaya de Bechar) et (SEKHI, 2010) sur les macroinvertébrés des cours d'eau Tiout (wilaya de Naâma).

L'étude de la faune stygobie a été entreprise ces dernières années afin de dresser un inventaire aussi exhaustif que possible et d'avoir des connaissances sur la systématique, l'écologie ainsi que la biogéographie de ces espèces. Deux régions ont fait l'objet d'étude sur le milieu souterrain : le nord-ouest algérien au niveau de la nappe alluviale de la Tafna (BELAIDI 2004 ; BELAIDI et AL. 2011 ; MAHI, 2011) Et le nord est au niveau de la région de d'Oum El Bouaghi (MERZOUG et AL. 2010).

1.8 Les organismes souterrains :

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 (CREUZE DES CHATELLIERS 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. 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 (CREUZE DES CHATELLIERS et DOLE-OLIVIER, 1991) Ainsi selon (GINET et DECOU

1977; GIBERT et AL. 1994), trois catégories d'organismes sont susceptibles d'être rencontrées dans les eaux souterraines (Figure 3).

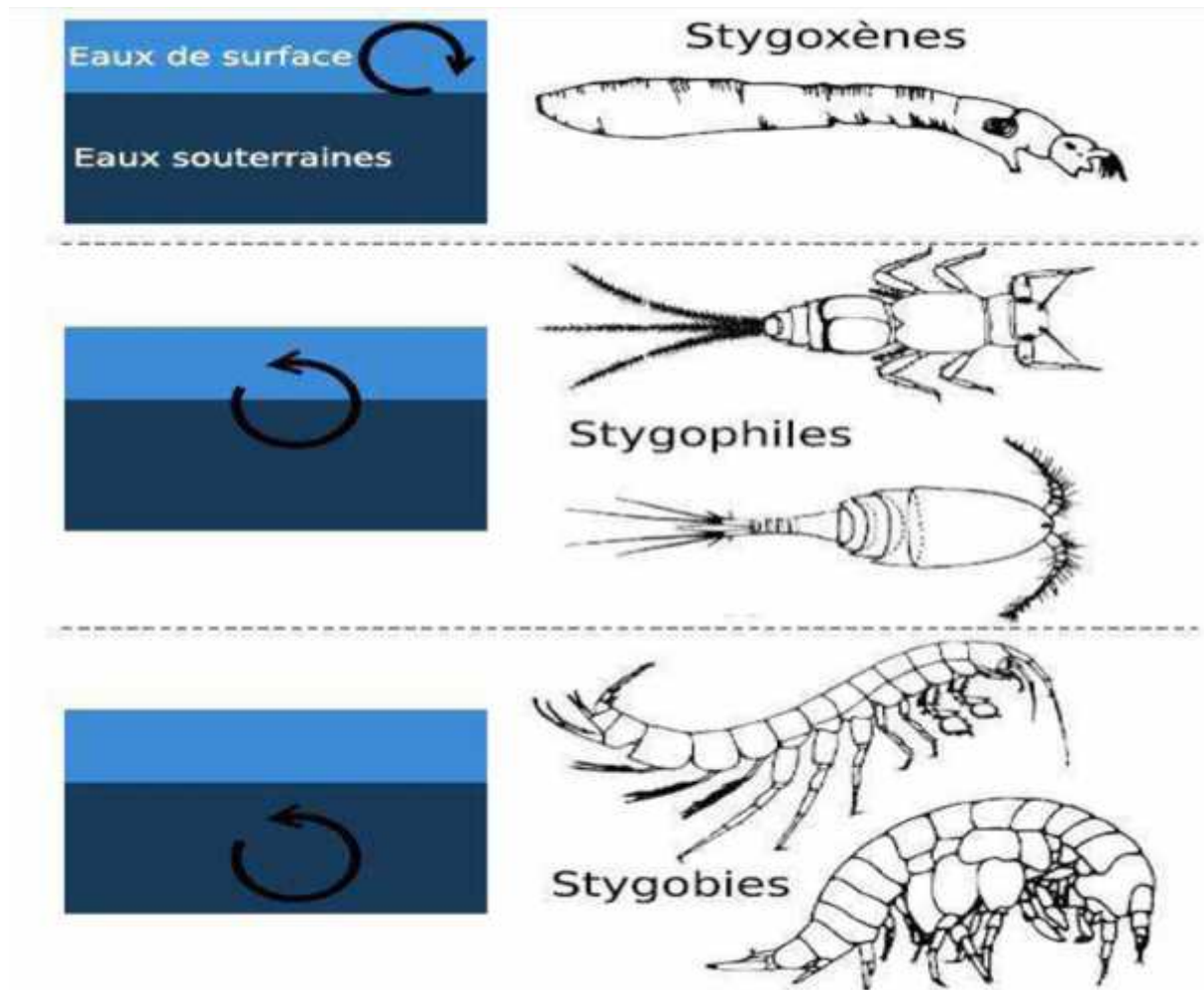


Figure 3 : La classification écologique des organismes souterrains aquatiques. (d'après Marmonier et al, 1993).

Les stygoxènes : ce sont des visiteurs accidentels du milieu souterrain,

Les stygophiles : ce sont des espèces qui peuvent utiliser les ressources du milieu souterrain pendant tout ou partie de leur cycle de vie,

Les stygobies : ce sont les organismes souterrains aquatiques au sens strict. Ils passent tout leur cycle de vie exclusivement dans les eaux souterraines.

1.9 Le concept de Bioindication :

1.9.1 Introduction :

L'appréciation de la qualité d'un milieu aquatique à l'aide des méthodes biologiques est fondée sur l'application d'un principe général selon lequel à un milieu donné correspond une biocénose particulière. De ce fait, les peuplements d'un habitat peuvent être considérés comme l'expression synthétique de l'ensemble des facteurs écologiques qui conditionnent le système. Le matériel biologique utilisé dans ce cas est représenté par les invertébrés benthiques. Ce groupe biologique présente l'avantage d'être le plus souvent tributaire d'un milieu, de répondre rapidement aux stress et de constituer un des premiers maillons de la chaîne alimentaire des cours d'eau (BARBOUR et AL, 1999). De plus, il existe une certaine rémanence chez ces organismes qui leur permet de témoigner de pollutions plus ou moins anciennes (FRIEDRICH et AL, 1992). La détérioration de ces communautés benthiques peut s'exprimer de différentes manières, soit par l'absence de taxons polluo-sensibles, par la dominance de certains taxons polluo-résistants comme les chironomidae ou par les changements importants dans la composition relative dans la communauté benthique (PLAFKIN et AL, 1989)

1.9.2 Définition des bio-indicateurs :

Les bio-indicateurs ou les indicateurs biologiques, sont des organismes vivants utilisés pour surveiller la santé de l'environnement. Ils sont un moyen de détecter et de contrôler les impacts des interventions humaines sur l'environnement, dans le but de minimiser leurs effets négatifs. (MARIE-PIERRE BEAUMONT, 2010)

1.9.3 Motifs d'utilisations de ces indicateurs biologiques :

Les scientifiques utilisent les bio-indicateurs pour quatre raisons :

Déceler des changements dans l'environnement.

Détecter la présence de polluants et en mesurer la teneur.

Déterminer les effets de la pollution sur un écosystème.

Confirmer l'amélioration de la qualité de l'environnement naturel de l'organisme.

1.9.4 Etude des bio-indicateurs :

L'étude d'un bio-indicateur se fonde sur le suivi des perturbations que l'organisme peut vivre. Ces dernières sont regroupées en trois catégories. Il y a les perturbations chimiques, comportementales et physiologiques :

Les perturbations chimiques se détectent entre autres par une augmentation de la concentration des métaux, des non-métaux ou de la matière organique toxique dans l'organisme étudié.

Pour ce qui est des perturbations comportementales, elles sont déterminées par la présence ou l'absence dans un écosystème de certaines espèces. Ceci donne un indice sur la qualité du milieu observé.

Les perturbations physiologiques engendrent des mutations génétiques et des déséquilibres hormonaux de l'organisme étudié. Par exemple, il y a des bactéries bioluminescentes qui sont affectées par la présence de toxines dans l'eau. Les toxines affectent le métabolisme cellulaire de ces bactéries et diminuent la quantité ou la qualité de la lumière émise.

Ces bactéries sont donc utilisées pour évaluer la qualité de l'eau en déterminant la teneur en toxines qu'elles contiennent.

La classification des bio-indicateurs se fait selon trois grandes classes. Il y a des indicateurs animaux, microbiens et végétaux. Les scientifiques peuvent faire le suivi des indicateurs animaux en étudiant l'augmentation ou la diminution des populations. En déterminant la concentration en toxines dans leurs tissus, les scientifiques connaissent l'ampleur de la pollution présente dans l'écosystème ou des dommages causés à l'écosystème. (MARIE-PIERRE BEAUMONT, 2010)

Chapitre 2 :

Zone d'étude

2. Zone d'étude :

2.1. Présentation du cadre de la zone d'étude :

La zone d'étude en question est la région Nord Constantinoise est située dans le nord de l'Algérie, dans une vaste région composée de montagnes, de vallées et de plateaux entre la mer Méditerranée et le désert du Sahara, où le paysage est dominé par une végétation de steppe.

Cette zone est caractérisée par un climat semi-aride avec des hivers froids et une température moyenne annuelle de $22,7^{\circ}\text{C}$, et des précipitations annuelles moyennes de 510 mm .

En raison de la très grande superficie de la zone d'étude, nous avons tenté de choisir des points d'échantillonnage d'une manière à obtenir une superficie maximale couverte. Certains de ces points étaient situés en zone urbaine et les autres en zone agricole ou montagneuse et forestière.

Les stations étudiées sont situées dans cinq régions administratives (Wilayas) qui sont réparties comme suit :

Constantine avec 7 points d'échantillonnage (5 puits et 2 sources)

Mila avec 5 points d'échantillonnage (4 puits et 1 source)

Guelma avec 3 points d'échantillonnage (3 puits)

Skikda avec 2 points d'échantillonnage (1 puits et 1 source)

Oum El Bouaghi avec 2 points de prélèvement (2 puits)

La zone d'étude est située entre les latitudes $36^{\circ} 05'$ et $36^{\circ} 66'$ N et les longitudes $6^{\circ} 00'$ et $7^{\circ} 15'$

Les points échantillonnés sont indiqués sur la carte suivante (Figure 4).

2.2. Description des stations échantillonnées

Le tableau suivant regroupe les principales caractéristiques des stations échantillonnées à savoir (Tableau 1) :

N° Station, Nom, Age, Diamètre (D), Profondeur (P), Niveau Piézométrique (N.P), Protection, Caractéristiques (Protection / Usage / Environnement), Coordonnes (Latitude & Longitude)

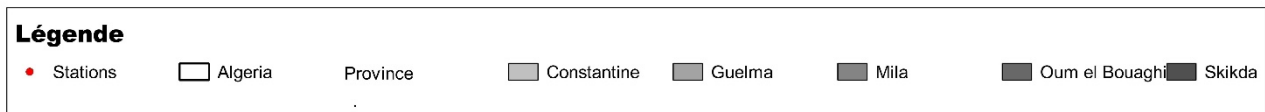
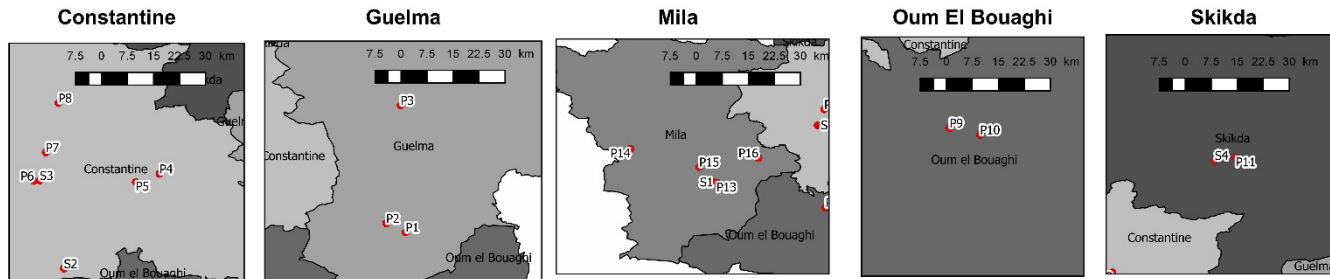
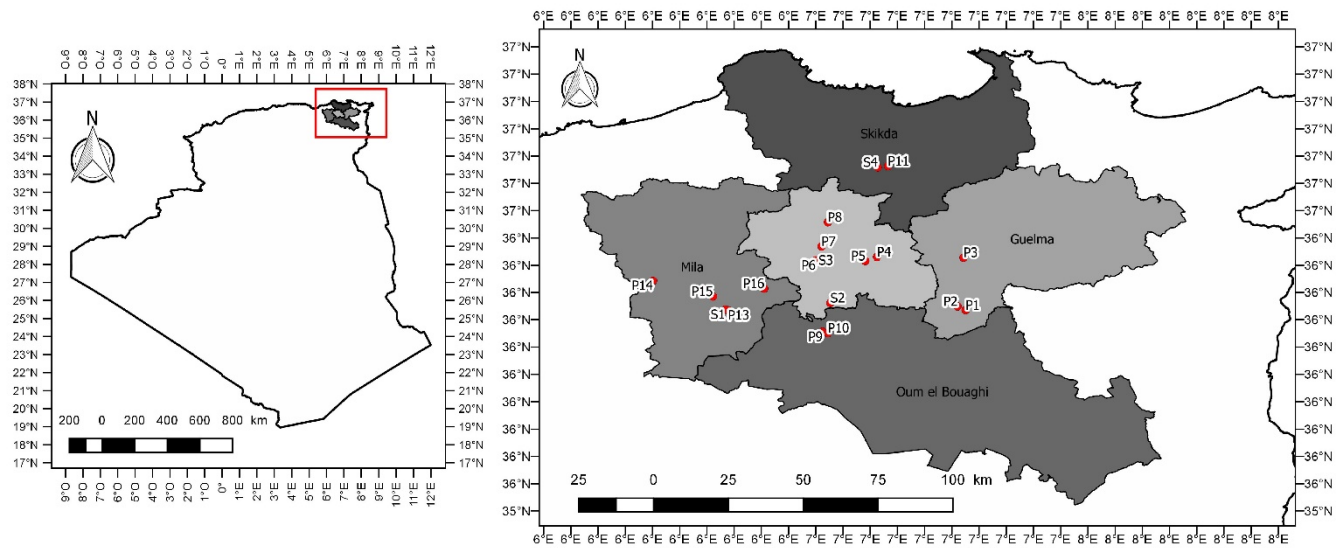


Figure 4. Carte géographique représentant la localisation des Puits étudiés

N° Station	Nom	Age	D	P	N.P	Protection	Caractéristiques (Environnement / Usage)	Latitude	Longitude
P1	Tamlouka Echouwara	60	2,8	17	4,5	Non	Au sein d'un terrain agricole Abandonné	36°08'06.85"N	7°09'02.79"E
P2	Tamlouka Bir Stall	40	2	19	3	Non	Au sein d'un terrain agricole Abandonné	36°08'55.42"N	7°07'16.21"E
P3	Oued Zenati	30	1,8	21	2,5	Oui	Au sein d'un terrain agricole Utilisé pour l'irrigation	36°19'41.83"N	7°08'35.20"E
P4	El Haria	10	3	16	1,9	Non	Au sein d'un terrain agricole Utilisé pour la consommation personnelle occasionnellement	36°19'50.98"N	6°49'29.76"E
P5	Ain Nhass	10	3	18	3,1	Non	Au sein d'un terrain agricole Utilisé pour l'irrigation	36°18'58.26"N	6°46'56.56"E
P6	Constantine Cité Belhadj	12	1,6	12	1,9	Oui	Au sein d'une villa de construction récente Utilisé pour la consommation personnelle occasionnellement	36°19'05.70"N	6°35'59.39"E
P7	Constantine Bab El Kantra	50	1,5	15	2,2	Oui	Au sein d'une villa de l'époque coloniale Utilisé pour la consommation personnelle occasionnellement	36°22'09.64"N	6°37'15.98"E
P8	Constantine Didouche Mourad	20	2	14	2,8	Non	Au sein d'un terrain agricole Abandonné	36°27'28.06"N	6°38'38.73"E
P9	Ain Mlila 1	25	2,4	15	3,1	Non	Au sein d'un terrain agricole Utilisé pour l'irrigation	36°03'20.33"N	6°37'30.02"E
P10	Ain Mlila 2	12	3	16	4,2	Non	Au sein d'un terrain agricole Utilisé pour l'irrigation	36°03'04.85"N	6°38'39.13"E
P11	Skikda El Harrouch	20	2	12	4,5	Oui	Au sein d'un terrain agricole Utilisé pour l'irrigation	36°39'48.13"N	6°51'55.20"E
P12	Telaghma Bir Ben Kacha 1	60	5	24	6	Non	Au sein d'un terrain agricole Utilisé pour l'irrigation	36°08'03.81"N	6°16'38.74"E
P13	Telaghma Bir Ben Kacha 2	3	4,2	22	4,8	Non	Au sein d'un terrain agricole a 100 mètres du précédent Utilisé pour l'irrigation	36°08'03.72"N	6°16'38.26"E
P14	Tadjenant Benyahia Abderrahmane	15	1	20	3,8	Oui	Au sein d'un terrain agricole Utilisé pour l'irrigation et la consommation des bêtes	36°14'34.36"N	6°00'05.79"E
P15	Chelghoum Laid	40	1,5	17	4,3	Non	Au sein d'un terrain agricole Utilisé pour l'irrigation et la consommation des bêtes	36°11'07.02"N	6°13'18.77"E
P16	Oued Seugen	60	1,4	16	3,5	Oui	Au sein d'un terrain agricole (Habitat Rural) Utilisé pour la consommation personnelle	36°12'50.17"N	6°24'39.13"E
S1	Telaghma Foret Route Nationale	100	/	/	/	/	Source située au sein d'une foret	36°08'12.78"N	6°16'00.48"E
S2	Constantine El Gourzi	100	/	/	/	/	Propriétés thérapeutiques très fréquentée	36° 9'40.02"N	6°39'13.31"E
S3	Constantine Ain El Melah	20	/	/	/	/	Quartier calme très peu utilisée	36°19'8.84"N	6°36'37.47"E
S4	Skikda El Harrouch	30	/	/	/	/	Au bord de la route	36°39'31.40"N	6°49'40.24"E

Tableau 1 : Principales caractéristiques des stations échantillonnées

Chapitre 3 :

Matériels et

méthodes

3. Matériels et méthodes :

3.1 Choix et description des stations :

20 stations (16 puits et 4 sources), ont fait l'objet périodiquement d'une étude faunistique et physico-chimique, durant le mois de Mars 2015 jusqu'au mois de Mars 2017.

Les seize puits et les 4 sources qui ont été retenues au cours de la présente étude sont localisés sur la carte mentionnée plus haut (Figure.4). Nos stations s'étendent sur toute la zone d'étude c'est à dire la région du Nord-Constantinois

Le choix des stations s'est porté essentiellement sur les puits et sources anciennes dont l'eau sert traditionnellement à divers usages agricoles et domestiques, y compris parfois d'eau de boisson, pour la population. Les caractéristiques morphologiques et les particularités ainsi que leur localisation de ces stations sont résumées dans le tableau plus haut (Tableau.1)

3.2 Analyses physico-chimiques de l'eau :

Pour mieux caractériser la qualité physico-chimique des eaux souterraines de cette région, et par conséquent l'habitat ou le biotope de la faune souterraine, des prélèvements d'eau ont été effectués au mois d'Avril 2016 au niveau de nos 20 stations ;16 puits et 4 sources.

Plusieurs facteurs ont été étudiés : quelques-uns ont été mesurés in situ alors que d'autres ont été analysés au laboratoire de l'ANRH (L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) de la wilaya de Constantine

3.2.1 Paramètres analysés sur terrain :

La conductivité, et la salinité ont été mesurés sur terrain à l'aide d'un conductimètre-pH-mètre portable de type HANNA instruments, tandis que Le pH a été mesuré par un pH-mètre électronique.

Quant à la température, elle a été mesurée à l'aide d'un thermomètre laser.

3.2.2 Paramètres 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. Les ions indicateurs de pollution organique d'une part – nitrates, ammonium, et orthophosphates – la dureté calcique et magnésienne, de même que les teneurs

en sulfates et chlorures ont été mesurés dans les 24 h suivant le prélèvement, conformément aux normes (AFNOR, 1983) et aux méthodes préconisées par (Rodier, 2009) ; les procédures de dosage sont déduites des méthodes d'analyse standard.

Les duretés totales et calciques des échantillons sont déterminées par titrage avec l'acide éthylène diamine-tétracétique EDTA.

La mesure de l'alcalinité est basée sur la neutralisation d'un certain volume de l'échantillon par l'acide sulfurique N/50.

Les chlorures sont déterminés par la méthode dite de -RODIER, 1984- et les sulfates par lecture de l'absorbance à $\lambda = 420$ nm pour une suspension obtenue par réaction des sulfates avec le chlorure de baryum.

Une gamme variée de méthodes analytiques a donc été utilisée pour les différents essais expérimentaux, en passant des méthodes titrimétriques, pour les Chlorures, la dureté totale, le Calcium ; le Magnésium, l'alcalinité. Ainsi qu'aux méthodes spectrophotométriques pour les sulfates, les orthophosphates l'ammonium et les nitrates.

Les différentes méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques ainsi que leurs unités de mesure sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Paramètres	Unité de mesure	Méthode d'Analyse
Température	°C	Thermomètre
pH	/	pH-mètre
Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$	Multi-paramètre HANNA
Salinité	%	Multi-paramètre HANNA
Chlorures	mg/l	Méthode volumétrique de Mohr
Dureté total	mg/l	Méthode titrimétrique à l'EDTA
Calcium	mg/l	Méthode titrimétrique à l'EDTA
Magnésium	mg/l	Méthode titrimétrique à l'EDTA
Alcalinité	mg/l	Méthode titrimétrique aux nitrates d'argent
Phosphates	mg/l	Méthode spectrophotométrique
Nitrates	mg/l	Méthode spectrophotométrique
Ammonium	mg/l	Méthode spectrophotométrique
Sulfates	mg/l	Méthode spectrophotométrique

Tableau 2: Les différentes méthodes de mesure des paramètres physico-chimiques et leurs unités

3.3 Prélèvement faunistique :

Les prélèvements de la faune aquatique des puits ont été réalisés à l'aide de deux méthodes. Le filet phréatobiologique et la nasse appâtée. Des études comparatives antérieures ont montré que les deux appareils fournissaient des résultats complémentaires (BOULANOUAR, 1983 ; BELAIDI & AL, 2011).

a) Le filet phréatobiologique :

Le filet phréatobiologique que nous avons utilisé a été conçu à partir du modèle mis au point d'abord par Cvetkov en 1968 puis modifié. Il s'agit d'un cône en toile et nylon fin monté sur un cercle métallique lesté, de 40 cm de diamètre. A la base de ce cône est attachée une valve Aluminium et clapet en caoutchouc qui permet l'entrée de la faune nageuse lors de la remontée du filet et empêche sa perte pendant la redescente (BOUTIN & BOULANOUAR, 1983). L'efficacité du filet phréatobiologique a été signalée par plusieurs auteurs (BOULANOUAR, 1986 ; BOULAL, 1988 ; IDBENNACER, 1990 ; YACOUBI-KHEBIZA, 1990 ; FAKHER EL ABIARI, 1999).

L'expérience a montré que dix coups de filet sont généralement suffisants, pour obtenir un échantillon représentatif et semi-quantitatif du peuplement d'un puits (IDBENNACER, 1990).

Le filet phréatobiologique (CVETKOV, 1968 ; BOUTIN, 1974) permet la capture du plancton et de tout ce qui nage en plein eau et la récolte d'une partie de la faune qui se trouve fixée sur la paroi des puits.

Il est composé d'un cône filtrant en soie à bluter (150 μm de vide de maille), d'un diamètre supérieur de 35 cm, qui se prolonge par un clapet en caoutchouc permettant l'entrée de la faune nageuse lors de la remontée du filet et empêchant sa perte pendant la descente (Fig.5). Le cône se prolonge par un manchon filtrant qui communique avec un réservoir en plexiglass, de 11 cm de hauteur et 5 cm de diamètre placé à l'extrémité inférieure du manchon filtrant. Le tout est lesté d'un plomb et mesure 95 cm de hauteur. Nous avons ajouté aussi des lests en plomb au niveau de l'ouverture du filet. Le filet est relié par une sangle et il est manié par tractions successives énergiques qui, créant dans l'eau un brassage, soulèvent la faune des parois et du fond.

Le filet phréatobiologique est abaissé dans le puits, en perturbant le fond et les côtés de la colonne d'eau afin de tourbillonner les sédiments et les animaux associés. Le filet est ensuite

soulevé et abaissé sur toute la colonne d'eau 20 fois de suite (IDBENNACER, 1990)
(Figure.6).

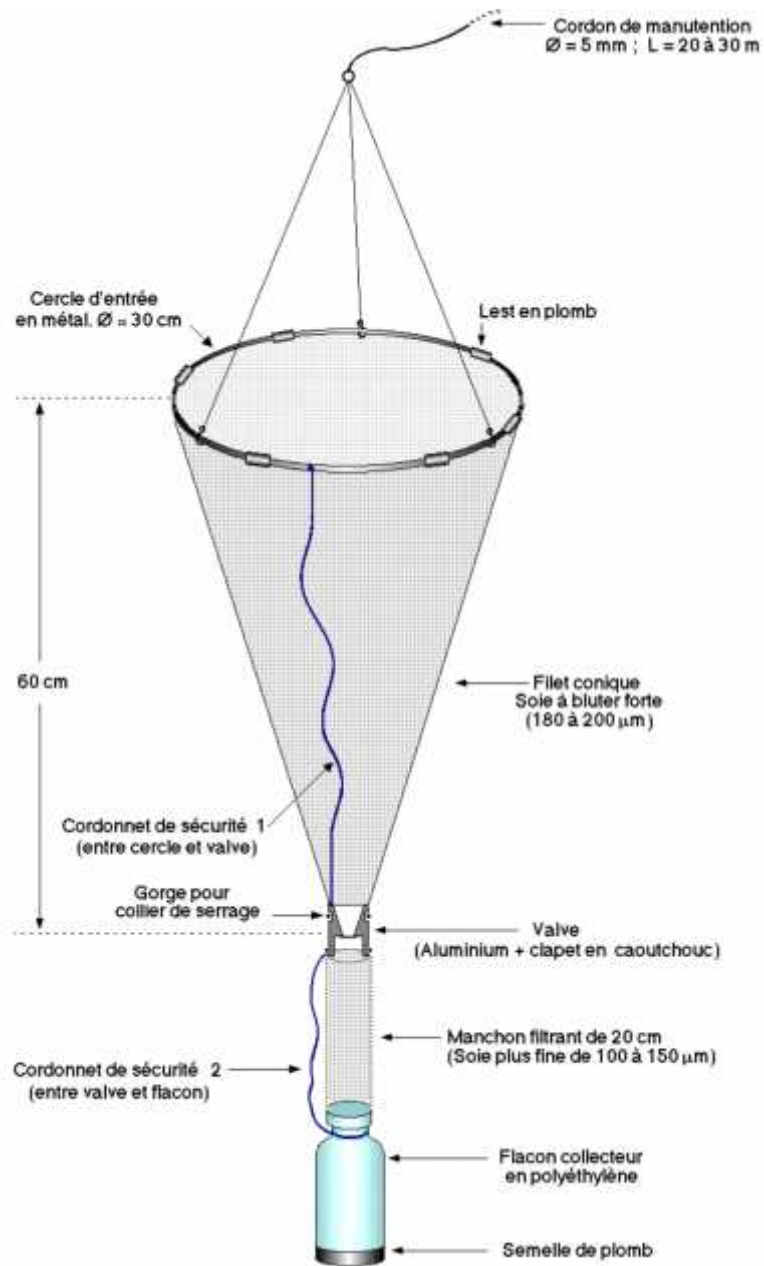


Figure.5 : Schéma du filet phréatobiologique utilisé.

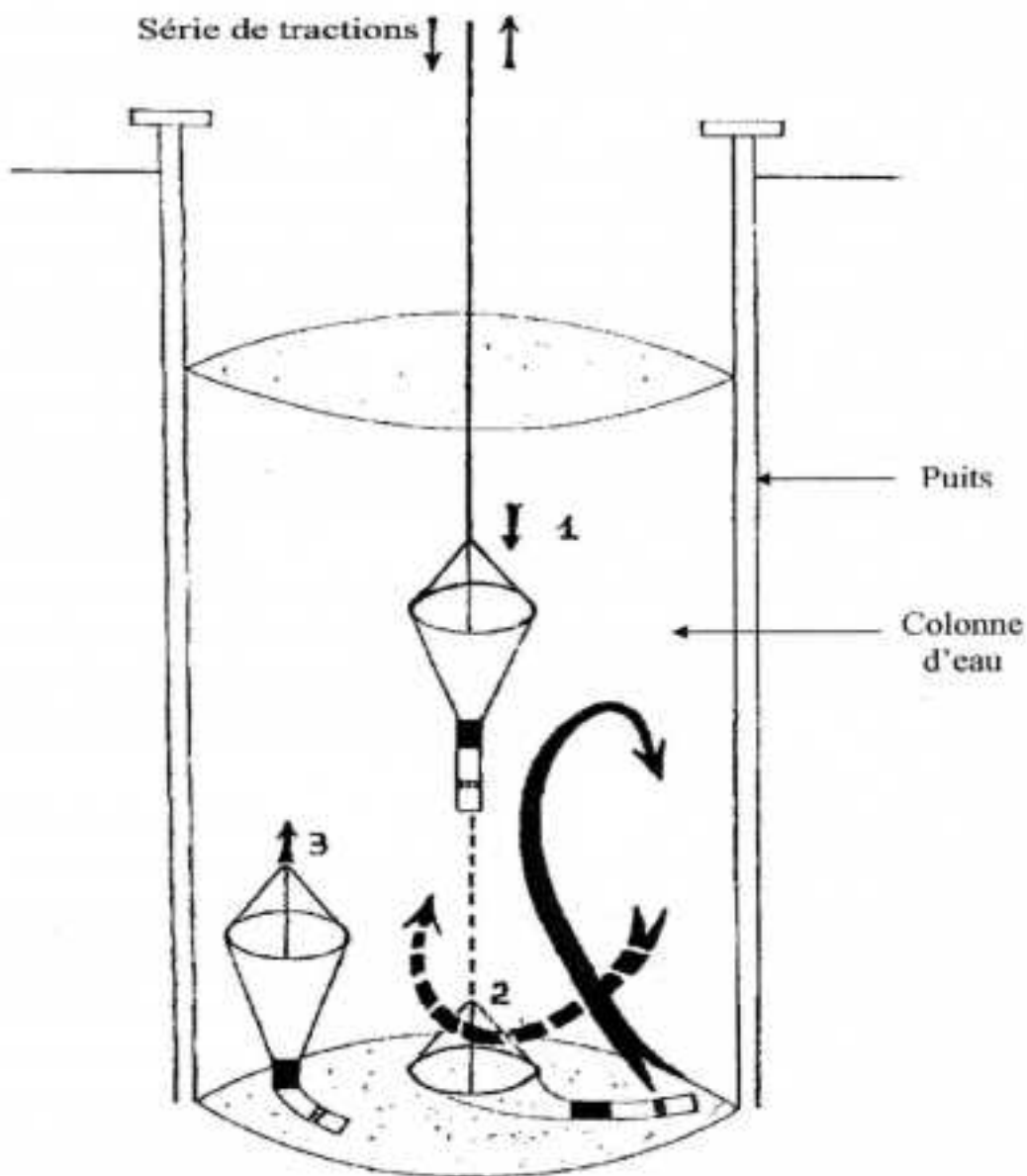


Figure.6 : L'utilisation du filet phreatobiologique dans le puits

1, 2, 3 : Positions successives du filet pendant les séries de tractions. (BOUTIN, 1974)

b) Les pièges appâtés :

Les pièges sont souvent plus efficaces pour la capture de la faune rampante. Parmi plusieurs pièges testés, la nasse est la plus efficace.

La nasse appâtée utilisée a été mise au point par Boutin & Boulanouar (1983).

Elle est constituée par une bouteille en plastique d'eau minérale d'une capacité de 1,5 litre, 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. Le remplissage de la bouteille et sa descente sont facilités par des lests de Plomb (Figure.7).

Le piège est appâté par un morceau de viande rouge (BOUTIN ET BOULANOUAR, 1983).

La durée du piégeage est généralement de 24 Heures.

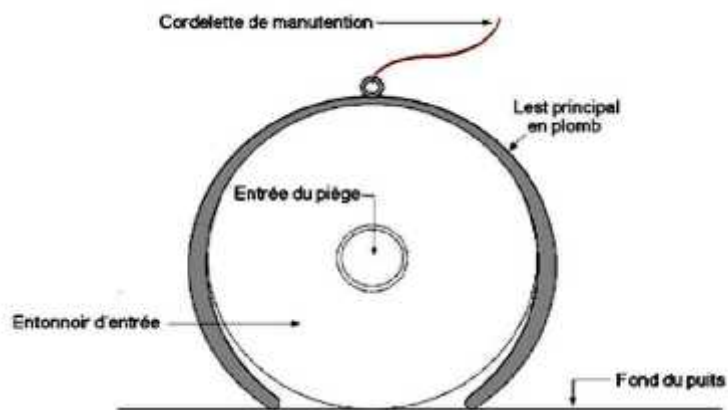
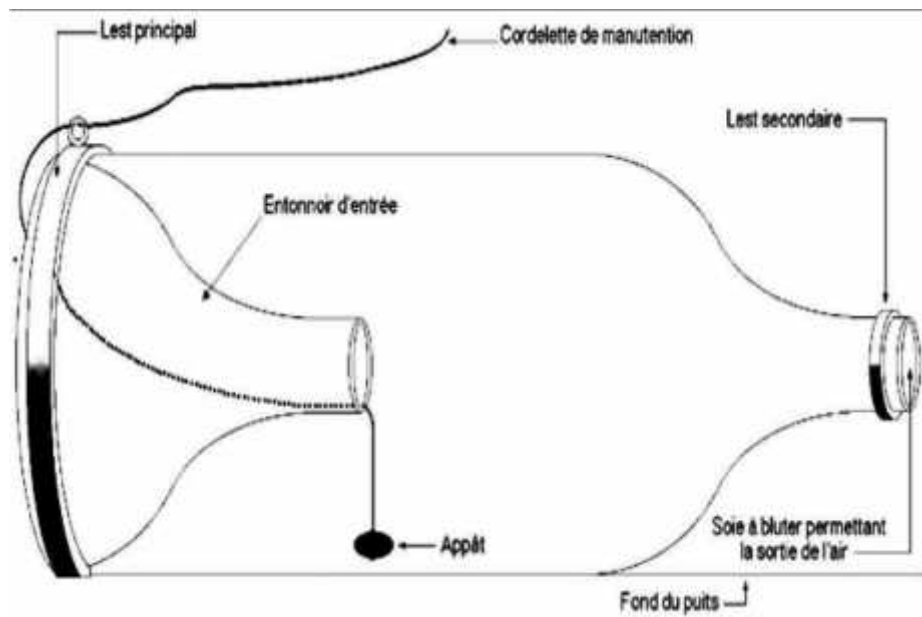


Figure 7 : Schéma de la nasse utilisée au cours de ce travail. En haut, vue latérale sur le fond du puits, et en bas vue arrière de l'entonnoir d'entrée.

3.3.1 Pré-tri et conservation des échantillons :

Sur le terrain, les organismes capturés, sont déposés dans une bassine blanche avec de l'eau pour faciliter leur mobilité ainsi leur capture et aussi afin d'éliminer les éléments les plus grossiers vases, pierres, galets, fragments du bois et feuilles des végétaux (Ben moussa et al, 2013.)

3.3.2 Conservation des échantillons :

Les échantillons récoltés sont transférés dans des tubes, puis fixés à l'aide d'une solution de formol à 5% sur le lieu même du prélèvement. la date, le numéro de la station est noté à chaque prélèvement.

3.3.3 Identification des invertébrés :

L'identification des échantillons a été menée au sein du laboratoire du Danube Research Institute, MTA Centre for Ecological Research

Au laboratoire, nous avons procéder comme suit :

Vider l'échantillon sur un tamis a petite mailles.

Verser le contenu du tamis petit à petit dans une boîte de pétri, sous la loupe binoculaire et à l'aide d'une pince on faire le tri et le dénombrement de chaque espèce.

Conserver les espèces identiques dans des tubes à essai avec de l'éthanol pour les fixer ; il est important de regrouper les individus semblables et de commencer l'identification par les gros individus, donc les plus matures. On identifiera en premier lieu les spécimens à l'aide de la clé générale illustrée. Dans certains cas, on obtiendra ainsi une identification finale. Dans d'autres cas, identification mènera à une seconde clé.

Une fois terminée, chaque identification devra à l'aide des illustrations selon les caractéristiques propres au spécimen (MOISAN, 2010)

Le but de l'identification est de déterminer la quantité de classes systémiques présentes dans l'échantillon diversité, et la présence des groupes taxonomique les plus sensibles (PAUW & VANHOOREN, 1983).

La détermination des spécimens récoltés est réalisée en faisant appel à des ouvrages, collections et clés de détermination des macroinvertébrés.

3.4. Le niveau piézométrique :

Le niveau piézométrique ou plus exactement la profondeur de la surface de la nappe au-dessous du sol est toujours mesurée de la surface du sol jusqu'à la surface de l'eau, à l'aide d'un mètre laser. La profondeur de la nappe a été mesurée à chaque prélèvement.

3.5. Traitement des données :

3.5.1. Indices de diversité de Shannon-Weaver H' :

De tous les indices, la formule de Shannon-Weaver est l'indice le plus utilisé, il exprime le mieux la diversité des peuplements. Il présente l'avantage de n'être subordonné à aucune hypothèse préalable sur la distribution des espèces et des individus (BLONDEL, 1979 ; LEGENDRE, 1979 ; BARBAULT, 1981).

L'indice de Shannon-Weaver H' (SHANNON & WEAVER, 1963) convient bien à l'étude comparative des peuplements. Il est indépendant de la taille de l'échantillon et prend compte à la fois de la richesse spécifique et de l'abondance relative de chaque espèce, permettant ainsi de caractériser l'équilibre du peuplement d'un écosystème.

Il a pour expression :

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

Où :

S : Richesse spécifique

n_i : Nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon

N : Nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon

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

H' est d'autant plus petit (proche de 0) que le nombre d'espèces est faible ou quelques espèces dominant ; il est d'autant plus grand que le nombre d'espèces est élevé et réparti équitablement. Autrement dit, la diversité est minimale quand H' tend vers zéro (0), et est maximale quand H' tend vers .

3.5.2 Richesse taxonomique :

Cet indice correspond au nombre de taxons présents dans chaque prélèvement (RAMADE, 2003).

3.5.3 Abondance relative des espèces :

L'abondance est un paramètre important pour la description d'un peuplement ; il représente le nombre d'individus du taxon (i) présent sur le nombre total (RAMADE, 2003).

L'abondance est variable aussi bien dans l'espace que dans le temps.

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

P_i : abondance proportionnelle ou pourcentage d'importance de l'espèce.

n_i : nombre d'individus de l'espèce i

N : nombre total d'individus

3.5.4 Analyse de variance :

Les résultats ont été traités par l'analyse de la variance à un critère (ANOVA 1) (Logiciel XLSTAT 2018). C'est un test statistique qui permet de comparer les moyennes de plusieurs populations supposées normales et de même variance à partir d'échantillons aléatoires simples et indépendants les uns des autres. En pratique, le but de l'analyse de variance est de tester l'influence d'un ou de plusieurs facteurs ou effets sur une variable traduisant l'influence de ce (ou ces) facteur (s). Tester l'influence d'un facteur sur la variable étudiée revient à tester l'existence ou l'absence de différences entre les diverses modalités de ce facteur. Dans notre cas l'Anova1 a été utilisé pour tester les différences de richesse taxonomique et d'abondance qui pouvaient exister entre les différents puits prospectés et entre les différentes périodes hydrologiques (hautes eaux et étiage).

3.5.5 Analyse factorielle des correspondances (AFC) :

L'AFC est une méthode d'ordination couramment utilisée dans les études biologiques. Son utilisation est adaptée aux tableaux d'observations / variables qui présentent un grand nombre de zéro. Son but est de donner la meilleure représentation simultanée des groupements de

variables, permettant d'obtenir une correspondance entre groupes d'espèces et groupes de stations.

L'AFC permet d'ordonner les valeurs d'un tableau suivant un certain nombre d'axes correspondant à des facteurs de distribution (THIOULOUSE & CHASSEL, 1997). Elle consiste à rechercher la meilleure représentation simultanée de deux ensembles constituant les lignes et les colonnes d'un tableau de contingence, ces deux ensembles jouant un rôle symétrique.

L'AFC réalisée à partir des abondances des espèces aide à déterminer les espèces caractéristiques de chaque groupe.

Les logiciels utilisés sont : R 3.5.2 pour l'AFC et l'ACP

Chapitre 4 :

Résultats et

Discussion

4. Résultats et Discussion

4.1 Résultats faunistiques :

L'analyse faunistique des 16 puits et 4 sources a conduit à la détermination de 4649 individus appartenant à 25 familles différentes (taxa).

L'inventaire de la faune échantillonnée est représenté au sein du tableau au niveau de la page suivante (Tableau.3)

Taxons							
Embranchement	Sous-embranchement	Classe	Sous-classe	Ordre	Famille	Genre	Espece
Platelmintes		Turbellaria		Tricladida	Dugesidae	Dugesia	<i>Dugesia sp</i>
Annelida		Clitellata	Oligochaeta	Lumbriculida	Lumbriculidae	/	/
				Haplotaxida	Tubificidae	/	/
					Naidiae	/	/
Mollusca		Gastropoda		Stylommatophora	Helicidae	Eobania	
				Basommatophora	Planorbidae	Ancylus	
					Physidae	Physella	<i>Physella gyrina</i>
				Neotaenioglossa	Hydrobidae	Pseudamincola	<i>Pseudamincola sp</i>
Arthropoda	Chelicerata	Arachnida	Acaria	Trombidiformes	Hydrachnidae	Hydrachna	<i>Hydrachna juncta</i>
	Crustacea	Malacostraca	Eumalacostraca	Amphipoda	Gammaridae	Echinogammarus	<i>Echinogammarus sp</i>
				Pseudoniphargidae	Pseudoniphargus	<i>Pseudoniphargus sp</i>	
		Isopoda	Cirolanidae	Typhlocirolana	<i>Typhlocirolana sp</i>		
		Maxillopoda	Copepoda	Cyclopoida	Cyclopidae	Thermocyclops	/
		Ostracoda	Podocopa	Podocopida	Cyprididae	Eucypris	<i>Eucypris virens</i>
	Cypridopsis					<i>Cypridopsis vidua</i>	
	Hexapoda	Insecta	Pterygota	Ephemeroptera	Baetidae	Baetis	/
					Caenidae	Caenis	/
				Coléoptera	Chrysomelidae	Phyllotreta	<i>Phyllotreta Procera</i>
					Chrysomelidae	Aphtona	/
				Trichoptera	/	/	/
				Diptera	Dolichopodidae	/	/
Chaboridae					Chaoborus	/	
Chironomidae					/	/	
Hemiptera	Aphelocheiridae	Aphelocheirus	/				
Zygoptera	Coenagrionidae	/	/				

Tableau.3 Inventaire de la faune échantillonnée au sein de toutes les stations

4.1.1 Les indices de diversité :

Ce sont des expressions mathématiques qui renseignent le mieux sur la structure du peuplement, ils permettent d'avoir rapidement une évaluation de la diversité du peuplement.

La mesure de la richesse taxonomique, la diversité et l'équitabilité sont utiles pour la caractérisation d'un peuplement, la comparaison globale des peuplements différents ou de l'état d'un même peuplement étudié à des moments différents (BARBAULT, 1995).

Ces indices ont pour intérêt de rendre compte l'abondance relative de chaque espèce, de comparer entre eux des peuplements et comment ceux-ci évoluent dans l'espace et dans le temps (DAJOZ, 1985).

a. Abondance (A)

L'abondance est un paramètre important pour la description d'un peuplement. Il représente le nombre d'individus du taxon (i) présent par unité de surface ou de volume (RAMADE, 2003).

Il est variable aussi bien dans l'espace que dans le temps.

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

P_i : abondance proportionnelle ou pourcentage d'importance de l'espèce.

n_i : nombre d'individus de l'espèce i

N : nombre total d'individus

b. Richesse spécifique (S)

La Richesse spécifique S est représentée par le nombre total ou la moyenne d'espèces recensées par unité de surface.

S = nombre d'espèces de la zone d'étude

Cet indice S peut être utilisé pour analyser la structure taxonomique du peuplement (ex nombre d'espèces de polychètes/mollusques, etc....).

Il permet également de distinguer :

- des variations spatiales : des secteurs faunistiquement riches et des secteurs plus pauvres.
- des variations temporelles : des minima et maxima en fonction des saisons et des stations.

Station	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	S1	S2	S3	S4
N (Individus)	109	83	154	163	134	50	65	202	179	203	188	328	451	188	127	234	455	448	440	448

Figure.8 : Abondance au niveau de chaque station

4.1.2 Analyse globale de la faune aquatique :

L'étude de la faune stygobie nous permet d'apprécier la composition, la structure ainsi que la distribution dans l'espace des invertébrées en place (CERRGHINO, 1992).

La présente étude faunistique a permis de recenser au cours de nos prélèvements un total de (4649) individus répartis en (4) groupes taxonomiques et (25) familles (Tableau.4).

Groupe	Nombre de familles
Platelmintes	1
Annelida Oligochaeta	3
Mollusca Gastropoda	4
Arachnida Hydrachnidae	1
Crustacea	6
Insecta	10

Tableau.4 : Liste des taxons présents dans le site d'étude

a. Richesse taxonomique

L'analyse de la (Figure.9) relative à la distribution spatiale de la richesse taxonomique, montre une variation de la riche taxonomique d'une station à l'autre.

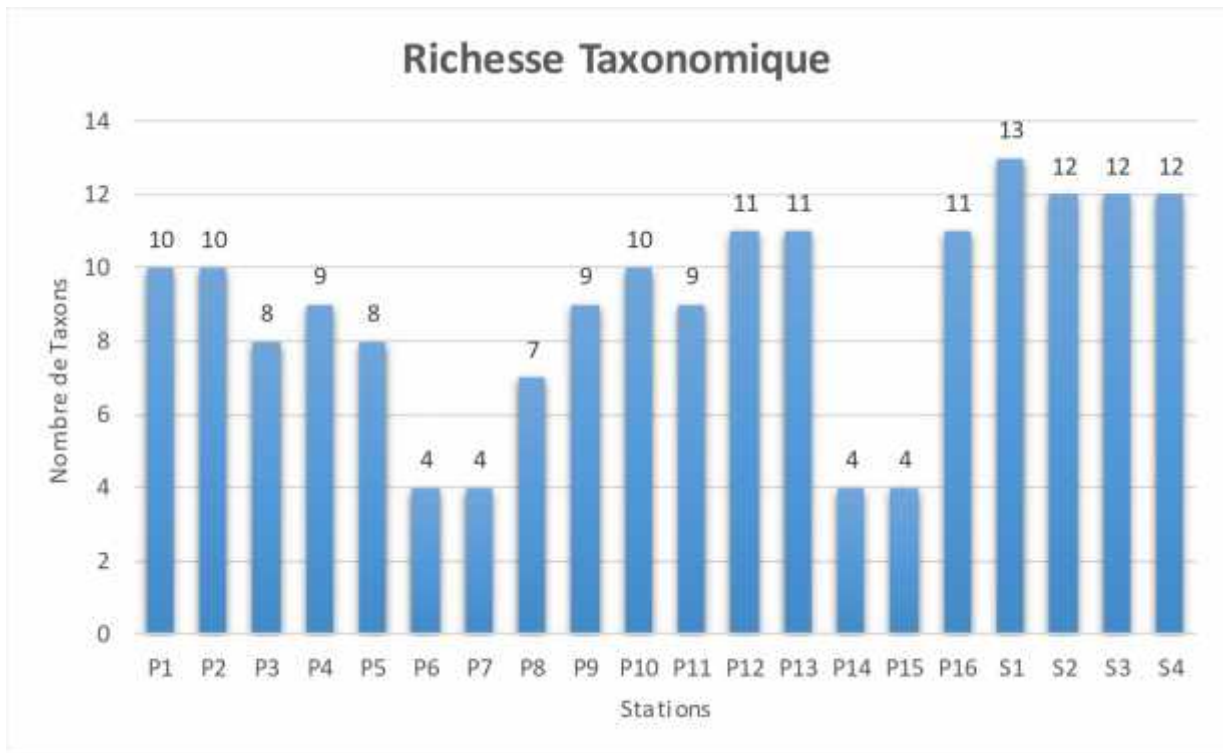


Figure.9 : Variation de la richesse taxonomique de la faune récoltée au niveau des différentes stations

Sur un total de 25 taxons, le nombre de taxons variant entre un minimum de 04 taxons collectés dans les puits (P6, P7, P14, P15) et un maximum de 13 taxons collectés dans la source S1 ; 7 points de prélèvement ont fourni plus de 10 taxons (P12, P13, P16, S1, S2, S3 et S4) et les 13 autres ont fourni seulement 4 à 10 taxons (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P14 et P15).

b. Abondance relative :

L'analyse de l'ensemble des peuplements récoltés durant la période d'étude, montre qu'au total 4 groupes zoologiques étaient représentés dans nos échantillons ; Il s'agit des arthropodes les plus abondants (68 %), des mollusques (16 %), des annélides (12 %) et du ver plat Plathelminthe (3 %). (Figure.10).

Richness of Phylums

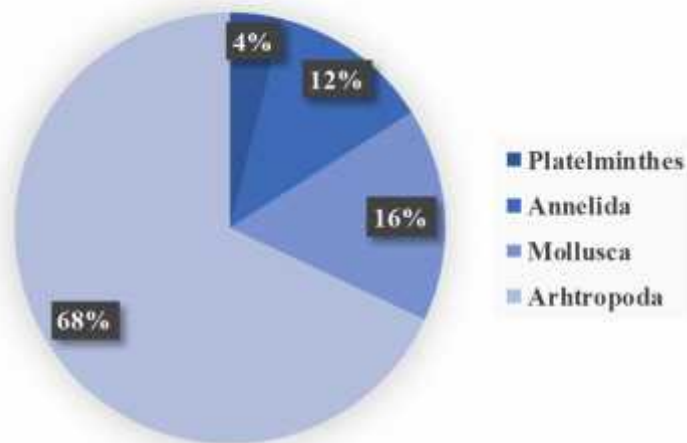


Figure.10 : Abondance relative des groupes faunistiques dans les stations étudiées

Si nous classons ces groupes par classes, nous pouvons trouver 10 classes qui sont représentées. Ils comprennent les Insectes les plus abondants (40%), les Gastropodes (16%), les Turbellaria et Clitella chacun (12%), les Ostracodes (8%) et les Maxillopodes et Malacostraca et Arachnides chacun (4%) (Figure.11).

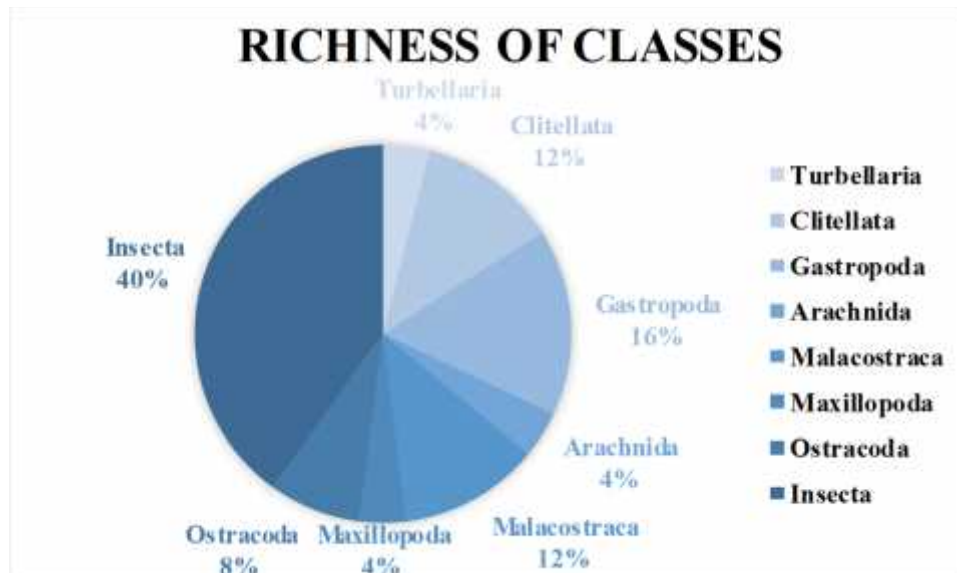


Figure.11 : Abondance relative des familles faunistiques dans les stations étudiées

c. Abondance totale

Le nombre d'individus présente des fluctuations qui varient significativement (Figure.12).

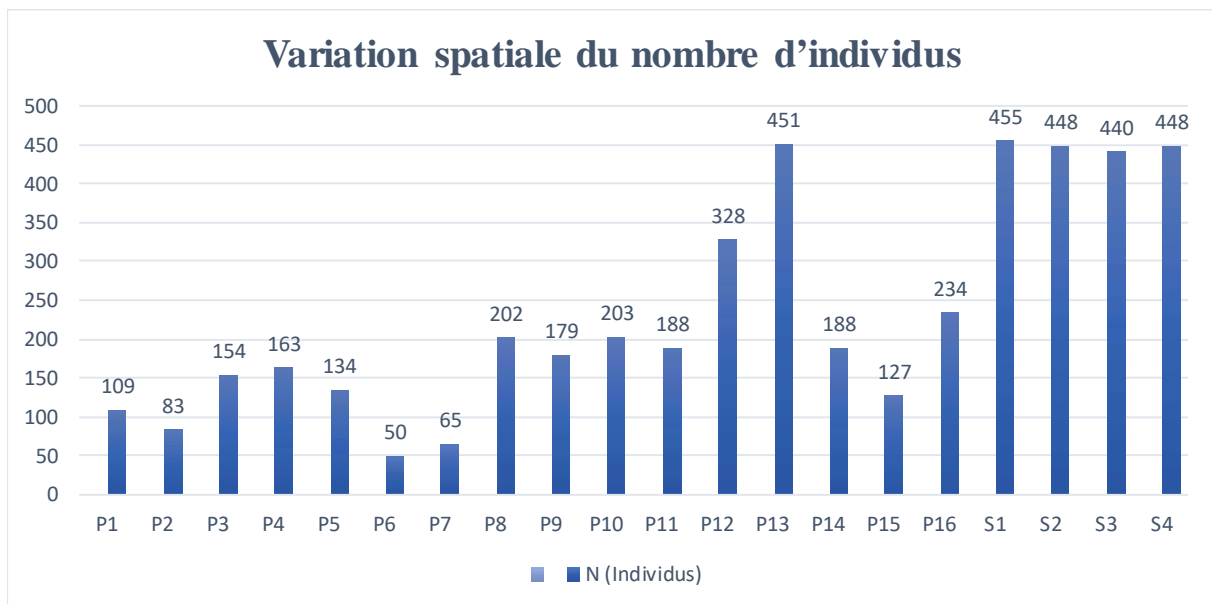


Figure.12 : Variation spatiale du nombre d'individus de la faune récoltée dans les différentes stations

Un pic est observé, dans la Source S1 avec 455 individus, correspondant ainsi à un nombre maximal. Les stations avec le plus grand nombre d'individus sont les sources qui sont relativement protégées ou complètement ouvertes. Elles présentent des conditions favorables pour le développement des peuplements d'invertébrés. Alors que l'abondance totale la plus faible a été observée respectivement dans les puits P6, P7, P2 à cause de leur forte pollution.

d. Indice de Shannon-Weaver

L'indice de Shannon-Weaver est le plus couramment utilisé et est recommandé par différents auteurs (GRAY et AL, 1992). Il est donné par la formule suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

Où :

S : Richesse spécifique

n_i : Nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon

N : Nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon

L'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces. Ainsi, une communauté dominée par une seule espèce aura un coefficient moindre qu'une communauté dont toutes les espèces sont codominantes.

La valeur de l'indice varie de 0 (une seule espèce, ou bien une espèce dominante très largement toutes les autres) à $\log S$ (lorsque toutes les espèces ont même abondance).

e. Indice d'Équitabilité

L'équitabilité, ou le rapport de la diversité observée à une distribution de fréquence des espèces complètement égale (échelle de 0-1), peut être quantifiée séparément à l'aide de l'indice Shannon-Wiener comme étant :

$$E = \frac{H'}{H'_m}$$
$$H'_m = \log_2 S$$

Où H' est la diversité spécifique observée et H'_m est le logarithme du nombre total d'espèces (S) dans l'échantillon.

f. Abondance et fréquence :

L'analyse de la variation spatiale du nombre d'individus fauniques récoltés aux différentes stations (Figure.13) qui est présentée ci-dessous peut nous indiquer que "*Thermocyclops*" est le taxon dominant dans ces habitats avec 1004 individus. Cependant, les amphipodes ou "*Pseudoniphargus*" stygobiques de la faune sauvage indicateurs de pollution dans 15 de 16 puits par 587 individus mais ils étaient absents de toutes les sources.

La variation spatiale du nombre d'individus fauniques récoltés dans les différentes stations, exprimée par le pourcentage d'abondance ($A_c \%$), est également illustrée par la (Figure.14).

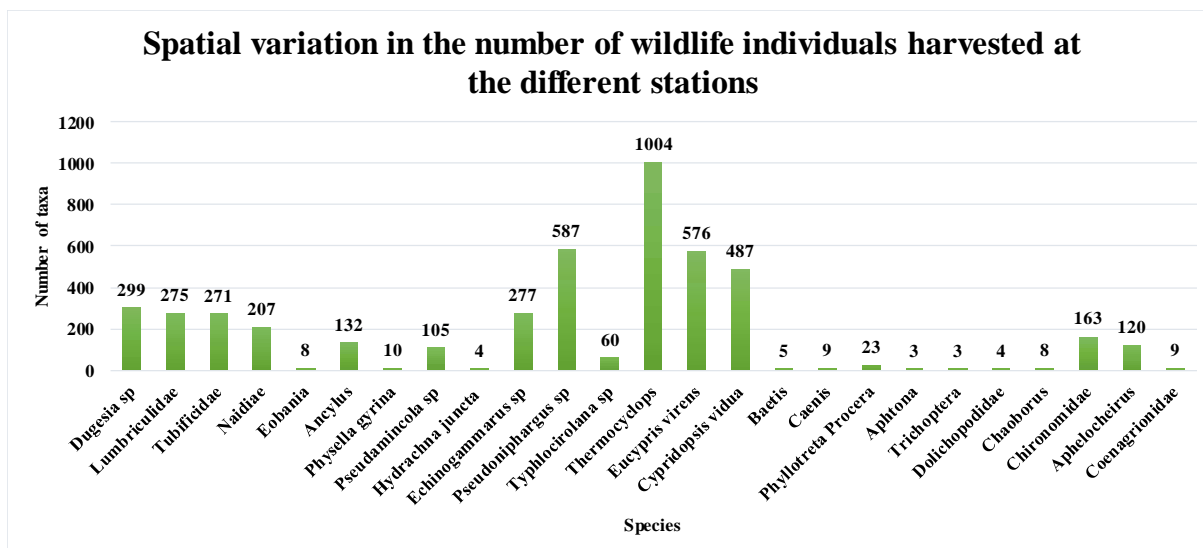


Figure.13 Variation spatiale du nombre d'individus fauniques récoltés aux différentes stations.

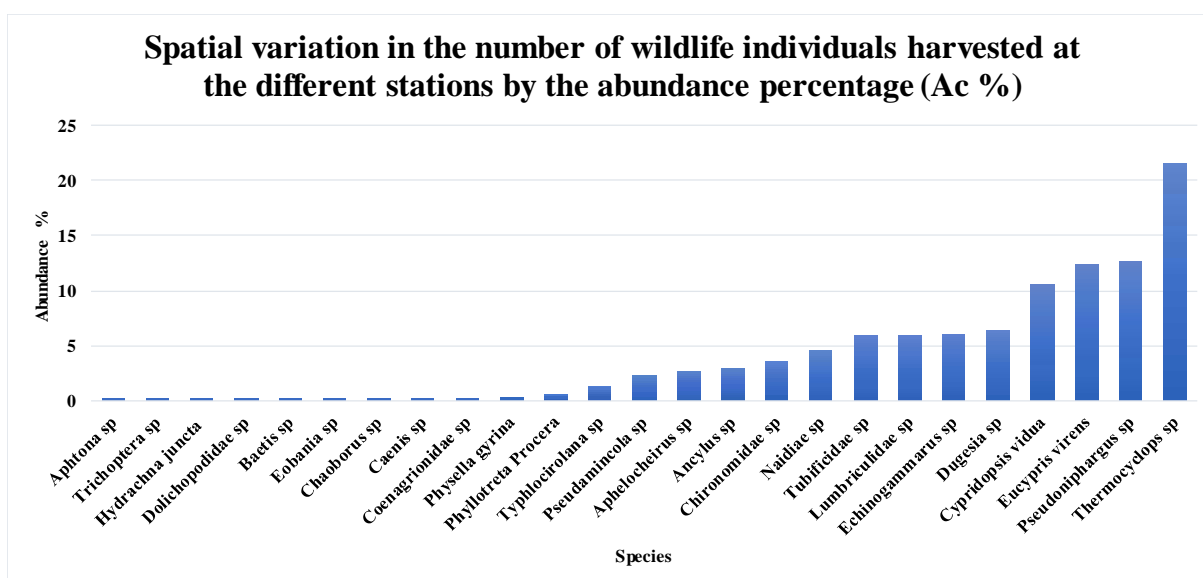


Figure.14 Variation spatiale du nombre d'individus fauniques récoltés aux différentes stations.

L'analyse de la (Figure.15), qui met en relation la fréquence en pourcentage des espèces récoltées aux différentes stations, montre une grande variation de la fréquence entre les espèces, elle peut aussi nous aider à classer les espèces entre accidentelles, accessoires, régulières et constantes ; ces résultats sont présentés aux (Tableau.5) et (Figure.16)

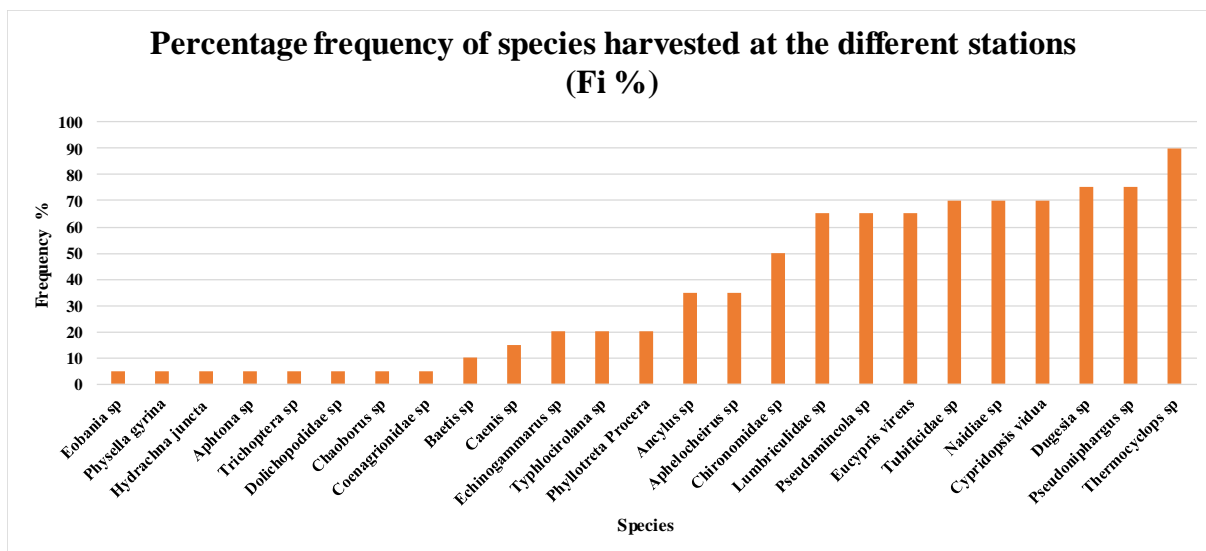


Figure.15 : Fréquence en pourcentage des espèces récoltées aux différentes stations.

N°	Species	Ac(%)	Fi(%)	Fi Class
1	Dugesia sp	6,43	75	Constant
2	Lumbriculidae sp	5,92	65	Regular
3	Tubificidae sp	5,83	70	Regular
4	Naidiae sp	4,45	70	Regular
5	Eobania sp	0,17	5	Accidental
6	Ancylus sp	2,84	35	Accessory
7	Physella gyrina	0,22	5	Accidental
8	Pseudamincola sp	2,26	65	Regular
9	Hydrachna juncta	0,09	5	Accidental
10	Echinogammarus sp	5,96	20	Accidental
11	Pseudoniphargus sp	12,63	75	Constant
12	Typhlocirolana sp	1,29	20	Accidental
13	Thermocyclops sp	21,6	90	Constant
14	Eucypris virens	12,39	65	Regular
15	Cypridopsis vidua	10,48	70	Regular
16	Baetis sp	0,11	10	Accidental
17	Caenis sp	0,19	15	Accidental
18	Phyllotreta Procera	0,49	20	Accidental
19	Aphtona sp	0,06	5	Accidental
20	Trichoptera sp	0,06	5	Accidental
21	Dolichopodidae sp	0,09	5	Accidental
22	Chaoborus sp	0,17	5	Accidental
23	Chironomidae sp	3,51	50	Regular
24	Aphelocheirus sp	2,58	35	Accessory
25	Coenagrionidae sp	0,19	5	Accidental

Tableau.5 Pourcentage d'abondance (Ac%) et fréquence (Fi%) des espèces et classification

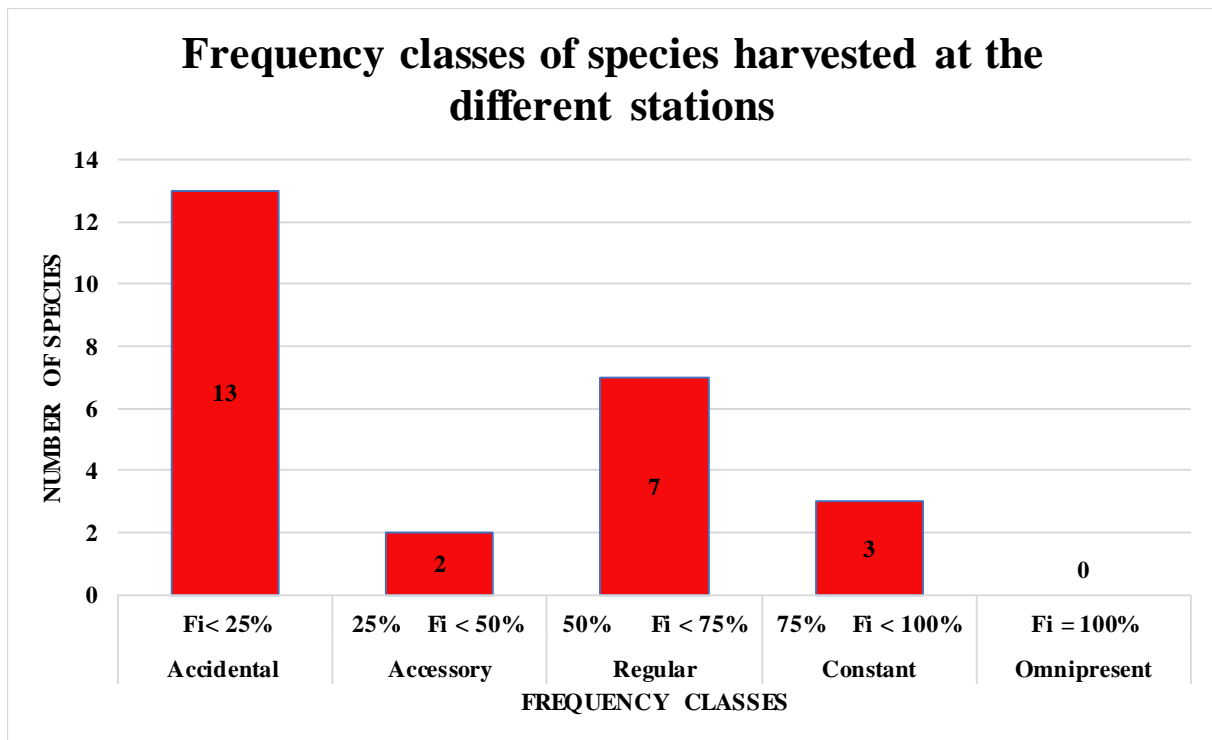


Figure.16. Classes de fréquence des espèces récoltées aux différentes stations.

Il y avait un total de 25 taxons, le nombre de taxons constants était de 3 représentés par *Pseudoniphargus sp*, *Thermocyclops sp*, et *Dugesia sp* ; il y avait aussi 7 taxons réguliers, 2 taxons accessoires et 13 taxons accidentels.

4.1.3 Ecologie des principaux groupes et classes identifiées :

a. Les Mollusques Gastéropodes :

Bien que les Gastéropodes constituent une classe très bien représentée dans les eaux souterraines. Les études antérieures ont essentiellement porté sur l'écologie de certains Hydrobidae (BOULAL, 1988), sur leur systématique et leur distribution géographique dans le Maroc (GHAMIZI, 1998 ; GHAMIZI et AL, 1999).

Les gastropodes sont généralement herbivores détritivores ou bien racleurs de substrat. (TACHET.H, 2009) ; d'après la littérature, la teneur en calcium, la nature du substrat la nature de végétation, contribuent considérablement dans la répartition et prolifération des mollusques dans les eaux continentales (BENMOUSSA.A et AL, 2013).

Dans notre cas elle représente 5,26% de la richesse totale et on retrouve 4 familles et qui sont :

-) Planorbidae avec 2,83 % de la richesse totale
-) Hydrobidae avec 2,25 % de la richesse totale représentés par *Pseudamincola sp*
-) Physidae avec 0,21 % de la richesse totale représentés par *Physella gyrina*
-) Helicidae avec 0,17 % de la richesse totale

b. Les Amphipodes

La plupart des amphipodes sont détritivores, errant à la recherche de leur nourriture tandis que certaines espèces sont plutôt « deposit feeder ». Les Niphargidae sont typiquement des stygobies présents dans les grottes ou dans le domaine phréatique (TACHET.H, 2000)

Dans notre cas elle représente 18,58% de la richesse totale et on retrouve 2 familles chacune représentée par une seule et unique espèce et qui sont :

-) Pseudoniphargidae avec 12,62 % de la richesse totale représentés par *Pseudoniphargus sp*
-) Gammaridae avec 5,95 % de la richesse totale représentés par *Echinogammarus sp*

c. Les Coléoptères

Les Coléoptères sont les seuls insectes holométaboles à se présenter à la fois sous la forme imaginale et sous la forme larvaire dans les milieux aquatiques. Ils colonisent divers habitats : sources, ruisseaux de surface, torrents, rivières à eau modérément courantes et rivières à eau quasi-stagnante et riche en végétation (TACHET et AL, 1980).

Les Coléoptères constituent un groupe très diversifié et écologiquement très hétérogène pouvant s'adapter à tous types de biotopes (BERTRANDE H, 1972).

Dans notre cas on retrouve 1 seule famille qui est Chrysomelidae avec 0,5 % de la richesse totale représentés par Phyllotreta et Aphytona.

d. Les Éphéméroptères

Les Éphéméroptères sont des insectes hémimétaboles qui présentent un stade ailé unique dans la classe des insectes, qui précède le stade imaginal.

Les larves d'éphéméroptères sont très abondantes dans les eaux courantes ; elles occupent surtout les principaux biotopes des torrents, ruisseaux et rivières (THOMAS A.G.B, 1981).

Dans notre cas elle représente 0,30 % de la richesse totale et on retrouve 2 familles chacune représentée par une seule et unique espèce et qui sont :

-)] Baetidae avec 0,10 % de la richesse totale représentés par Baetis
-)] Caenidae avec 0,19 % de la richesse totale représentés par Caenis

e. Les Diptères

Se caractérisent par leur grande diversité tant sur le plan écologique que biogéographique. Ils sont répartis de l'équateur aux régions polaires et bénéficient d'une grande capacité de coloniser les biotopes les plus variés : source, rivières, lacs, marais, littoral marin, etc. ils sont parmi les invertébrés aquatiques les mieux représentés aussi bien en nombre d'espèces que d'individus. (TACHET H et AL,1980). En effet, selon (MOUBAYED Z ,1986) les éléments de ce groupe d'insecte possèdent non seulement une large distribution altitudinale, mais aussi une grande capacité à coloniser divers biotopes pollués ou non pollués.

Dans notre cas elle représente 0,30 % de la richesse totale et on retrouve 2 familles chacune représentée par une seule et unique espèce et qui sont :

-)] Dolichopodidae avec 0,08 % de la richesse totale
-)] Chaboridae avec 0,17 % de la richesse totale
-)] Chironomidae avec 3,5 % de la richesse totale

4.1.4. Inventaire statistique des principaux groupes et classes identifiés :

L'inventaire statistique est représenté par le tableau suivant :

Taxons								Nombre d'individus (Ni)	Pourcentage (%)
Platelmintes		Turbellaria		Tricladida	Dugesidae	Dugesia	<i>Dugesia sp</i>	299	6,43149
Annelida		Clitellata	Oligochaeta	Lumbriculida	Lumbriculidae	/	/	275	5,91525
				Haplotaxida	Tubificidae	/	/	271	5,82921
					Naidiae	/	/	207	4,45257
Mollusca		Gastropoda		Stylommatophora	Helicidae	Eobania		8	0,17208
				Basommatophora	Planorbidae	Ancylus		132	2,83932
					Physidae	Physella	<i>Physella gyrina</i>	10	0,2151
				Neotaenioglossa	Hydrobidae	Pseudamincola	<i>Pseudamincola sp</i>	105	2,25855
Arthropoda	Chelicerata	Arachnida	Acaria	Trombidiformes	Hydrachnidae	Hydrachna	<i>Hydrachna juncta</i>	4	0,08604
	Crustacea	Malacostraca	Eumalacostraca	Amphipoda	Gammaridae	Echinogammarus	<i>Echinogammarus sp</i>	277	5,95827
					Pseudoniphargidae	Pseudoniphargus	<i>Pseudoniphargus sp</i>	587	12,62637
				Isopoda	Cirolanidae	Typhlocirolana	<i>Typhlocirolana sp</i>	60	1,2906
		Maxillopoda	Copepoda	Cyclopoida	Cyclopidae	Thermocyclops	/	1004	21,59604
		Ostracoda	Podocopa	Podocopida	Cyprididae	Eucypris	<i>Eucypris virens</i>	576	12,38976
						Cypridopsis	<i>Cypridopsis vidua</i>	487	10,47537
	Hexapoda	Insecta	Pterygota	Ephemeroptera	Baetidae	Baetis	/	5	0,10755
					Caenidae	Caenis	/	9	0,19359
				Coléoptera	Chrysomelidae	Phyllotreta	<i>Phyllotreta Procera</i>	23	0,49473
					Chrysomelidae	Aphtona	/	3	0,06453
				Trichoptera	/	/	/	3	0,06453
				Diptera	Dolichopodidae	/	/	4	0,08604
					Chaboridae	Chaoborus	/	8	0,17208
					Chironomidae	/	/	163	3,50613
	Hemiptera	Aphelocheiridae	Aphelocheirus	/	120	2,5812			
Zygotera	Coenagrionidae	/	/	9	0,19359				
Total								4649	100

Tableau.6 Inventaire statistique des principaux groupes et classes identifiés

4.1.5 Groupes Stygobies :

Le cas échéant de notre étude 3 taxons ont été identifiés comme une espèce potentiellement stygobique, et qui sont :

-) Le Cyclopidae *Thermocyclops* avec 21,59%
-) Les Gammaridae *Echinogammarus Echinogammarus sp* avec 5,95%
-) Les Pseudoniphargidae *Pseudoniphargus Pseudoniphargus sp* avec 12,62%

L'espèce confirmée comme étant stygobie est le *Pseudoniphargus*.

4.2. Résultats des analyses physico-chimiques :

L'ensemble des résultats d'analyses physico-chimiques sont représentés au sein du tableau au niveau de la page suivante :

Paramètre	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	S1	S2	S3	S4
p.H	7,1	7,3	7,4	7,3	7,2	7,1	7,2	7	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7	7,1	7,1	7,3	7,1	7,1	7,2
T (°C)	19	19,2	20,3	19,1	20,3	21,7	19,5	16,6	15,6	16	16,8	17	17,1	17	16,5	18,1	20,1	15,3	15,4	16,8
CE (µS/cm)	2201	2206	1933	1889	1899	1344	1578	2126	1546	1868	670	2343	2383	2223	1758	1864	1315	574	600	830
TAC	237	236	237	235	234	229	220	216	231	219	254	218	259	233	251	233	45	26	47	39
O ₂ (mg/l)	6,8	7,4	8,3	7,4	7,8	8,2	7,3	7,8	7,9	8,1	7,1	8,7	6,8	7,1	8,2	7,6	8,7	8,2	8	8,3
Cl (mg/l)	552	549	503	478	459	401	503	486	462	483	477	444	402	484	486	477	309	359	375	347
Ca (mg/l)	388	384	381	403	369	401	367	400	369	412	434	409	471	363	358	393	451	410	420	427
Mg (mg/l)	119	120	123	125	121	122	127	116	116	128	120	119	124	127	129	122	124	115	126	121
NO ₂ (mg/l)	0,1	0,09	0,01	0	0	0,01	0,01	0,03	0,04	0,01	0,11	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,04	0,08	0,04
NO ₃ (mg/l)	44	23	10	15	13	3,5	12,8	34	34	32	32	43	34	41	27	27	11,2	36	41	29
NH ₄ (mg/l)	0,08	0,1	0,02	0,03	0,01	0,01	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03	0,05	0,07	0,05
SO ₄ (mg/l)	321	298	229	300	251	213	301	230	310	281	220	208	217	217	207	253	337	310	311	319
PO ₄ (mg/l)	0,18	0,19	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,08	0,02	0,03	0,03	0,02	0,04	0,01	0,03	0,05	0,03

Tableau.7 : Résultats d'analyses physico-chimiques au sein des différentes stations

4.2.1. Les paramètres physiques :

4.2.1.1 La Température (T °C) :

La température de l'eau joue un rôle important pour ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques. La température des eaux de surfaces varie selon plusieurs facteurs, saisonniers et autres. La température de l'eau est liée à la température ambiante (RODIER, 1996).

Une température élevée favorise la croissance des micro-organismes, peut accentuer le goût, l'odeur et la couleur et aggraver les problèmes de corrosion (OMS, 1994).

La température est une mesure momentanée, qui dépend de la saison, l'heure et le lieu de prélèvement.

La température de l'eau affecte la distribution de la macro et micro invertébrés aquatiques (HAYFORD et HERRMANN, 1998 ; LAMBERTI et RESH, 1983). De plus, elle est utilisée pour le diagnostic hydrogéologique (THIERRIN et AL, 2001).

C'est un élément essentiel dans le fonctionnement des systèmes aquifères. Elle varie en fonction de la température de l'air, des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau de l'eau par rapport à la surface du sol (ROSEN, 1998).

Pour nos stations ; les résultats obtenus montrent que les valeurs de températures moyennes ne présentent pas beaucoup de variations. Le minimum a été enregistré au niveau de la source S2 avec une température égale à 15,3 °C. Et un maximum de 21,7 °C au niveau du puits P6.

A noter que la moyenne de température des stations a été mesurée à 17,8 °C

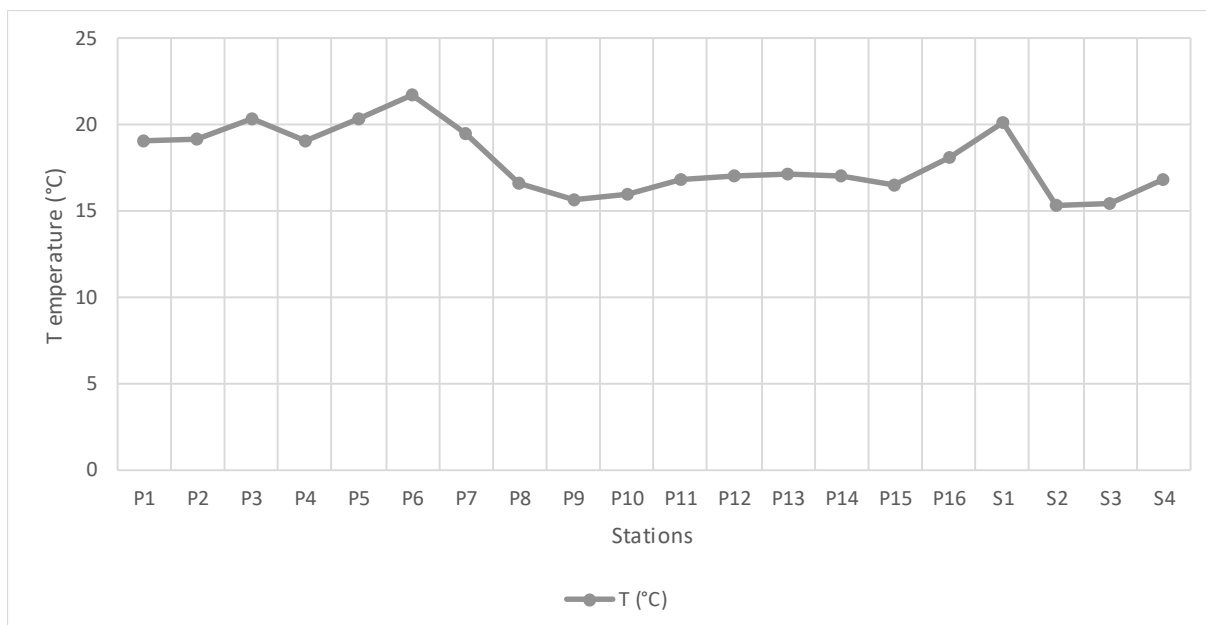


Figure.17 : Températures moyennes de l’eau et variation entre les stations du site d’étude.

4.2.1.2. Conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique (CE) est une expression numérique de la capacité d’une solution à conduire le courant électrique. Elle dépend de la nature des ions dissous et leurs concentrations.

Selon (REJSEK, 2002), la température et la viscosité influent également sur la conductivité car la mobilité des ions augmente avec l’augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité. La conductivité des eaux s’exprime en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S} / \text{cm}$) (KHERCHICHE ET BOUZIDI, 2013).

Conductivité	Minéralisation de l'eau
<100	Très faible
Entre 100 et 200	Faible
Entre 200 et 333	Moyenne
Entre 333 et 666	Moyenne accentuée
Entre 666 et 1000	Importante
>1000	Elevée

Tableau.8 : Relations existantes entre la minéralisation et la conductivité mesurée (REJSEK, 2002).

La conductivité électrique des eaux exprime la minéralisation globale, elle traduit la charge ionique de cette eau. Elle est proportionnelle à la concentration des sels ionisables qui dépend elle-même. 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.

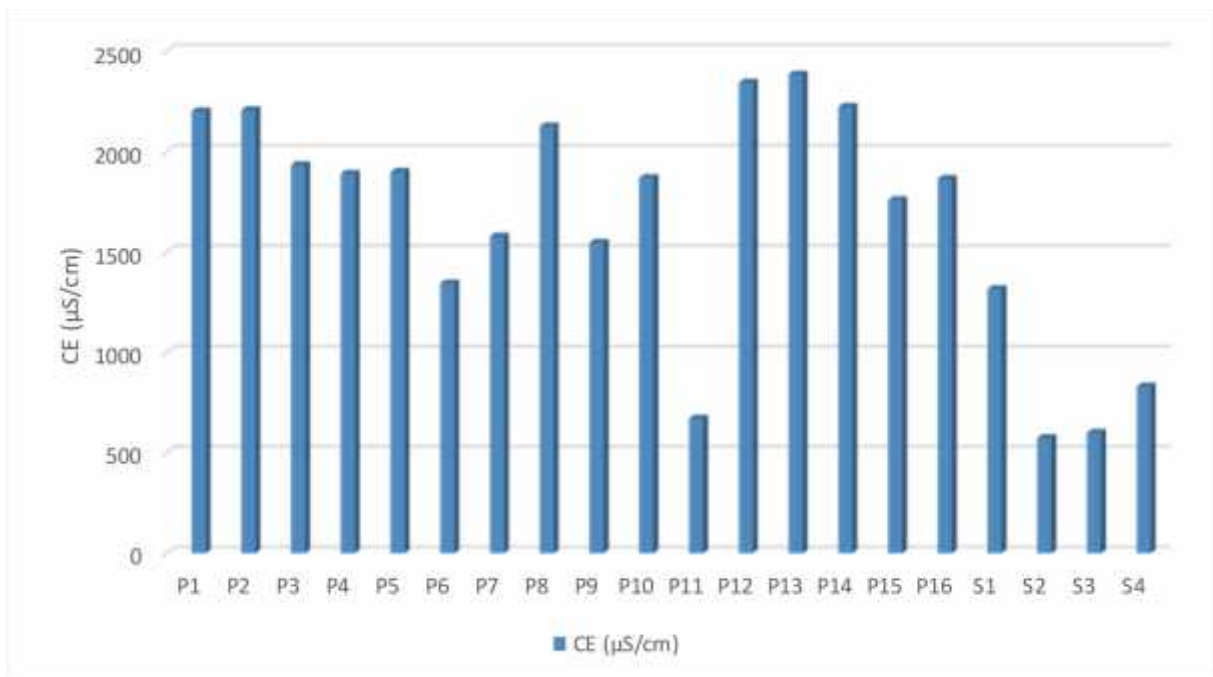


Figure.18 : Valeurs moyennes de la conductivité de l'eau des puits étudiés

Selon la (Figure.18), les valeurs moyennes de la conductivité enregistrées dans la plupart des puits sont supérieures à $1000 \mu S / c$ traduisant des eaux fortement minéralisées ce qui serait liée à la nature calcaire des terrains traversés (RODIER, 1996).

Les valeurs varient d'une station à une autre ce qui montre une hétérogénéité de la distribution des teneurs en sels dans la nappe. Les puits P13 et P12 enregistrent les valeurs moyennes les plus élevées ; elles sont supérieures à $1900 \mu S / c$, traduisant des eaux excessivement minéralisées par l'infiltration des eaux usées dans la nappe phréatique.

Au contraire les stations P11 et S2, S3, S4 enregistrent les valeurs moyennes les plus faibles, comprises entre $666 \mu S / c$ et $1000 \mu S / c$ mais cela reste relativement élevé témoignant d'une forte ionisation.

4.2.1.3 Potentiel Hydrogène (pH):

Le pH est une mesure du caractère acide (prédominance d'ion H^+) ou basique (la prédominance d'ion OH^-) d'une solution aqueuse. L'eau douce n'est pas tamponnée : de fortes fluctuations de pH l'affectent. Leurs origines sont variées : phénomènes biologiques, substrat minéral (roches plus ou moins acides), pollution. (FRONTIER et AL, 2008)

Le pH indique le caractère acide ou basique de l'eau. Il dépend du gaz carbonique et le taux de la matière organique. Ainsi une chute de pH marque l'augmentation de la teneur en CO_2 et l'accroissement de la teneur en matières organiques.

Dans les eaux souterraines, il est déterminé, en partie, par la nature géologique du bassin de drainage et est également influencé par les précipitations acides, l'activité biologique et certains rejets industriels. D'une manière générale, le pH ne constituerait jamais un facteur limitant en hydrobiologie (DELAMARE DE BOUTTEVILLE, 1960) sauf dans des situations exceptionnelles.

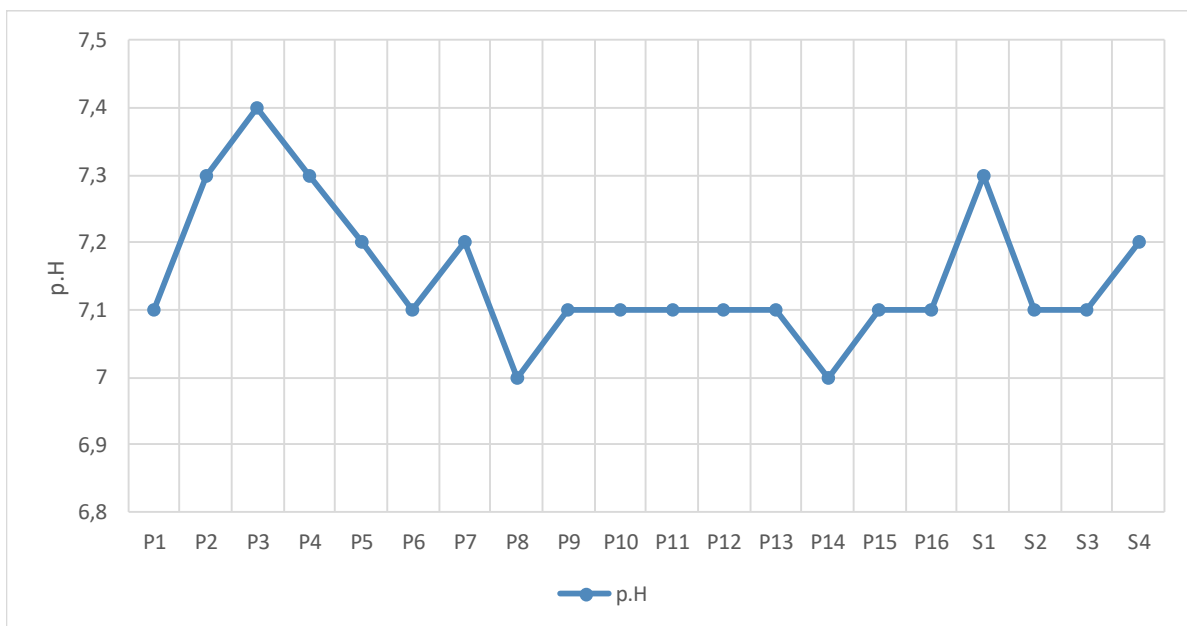


Figure.19 Variations du pH dans l'eau du site d'étude

La Valeur moyenne du pH est en moyenne de 7,15 avec un maximum de 7.4 enregistré au puits P3 et un minimum de 7,0 enregistré aux puits P8 et P14.

Pour la majorité des puits étudiés et pendant les trois périodes de prélèvement le pH est légèrement neutre à alcalin Ces valeurs sont légèrement inférieures à la norme algérienne (Annexe.3)

4.2.2. Les paramètres chimiques :

4.2.2.1. L'oxygène dissous:

L'oxygène est un élément important, pour toute forme de vie, sa solubilité varie en fonction de la température, de la pression et de la salinité (RODIER, 1996). Des teneurs faibles en oxygène présentent des effets néfastes sur les organismes exigeants en oxygène. Par contre les sur-saturations en oxygène n'ont aucun effet direct sur les organismes à respiration aérobie (HERBAC et AL, 2001).

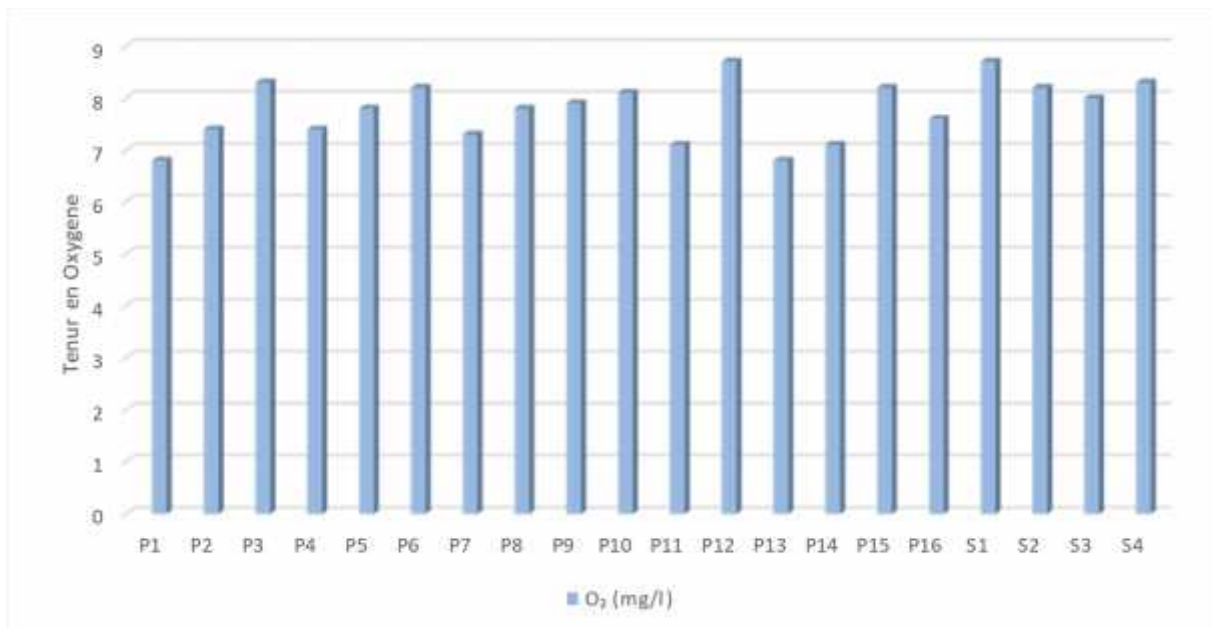


Figure.20 : Valeurs moyennes de la teneur en oxygène des puits étudiés

L'ensemble des puits étudiés sont sous saturés en oxygène ; caractère normal pour les eaux souterraines (RODIER, 1996).

4.2.2.2. Chlorures Cl^- :

La teneur en chlorure d'une eau dépend de l'origine de l'eau et de la nature du terrain qu'elle traverse. Les chlorures participent à la conductibilité électrique des cours d'eau. Le niveau guide de la concentration en chlorures des eaux destinées à la consommation humaine $250 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (KHERCHICHE et BOUZIDI, 2013).

L'origine de Chlorures peut être 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 N sont rejetés dans les urines par jour et par personne) ou encore industrielle (potasse, industrie pétrolière et agro-alimentaire) (GAUJOUS, 1995).

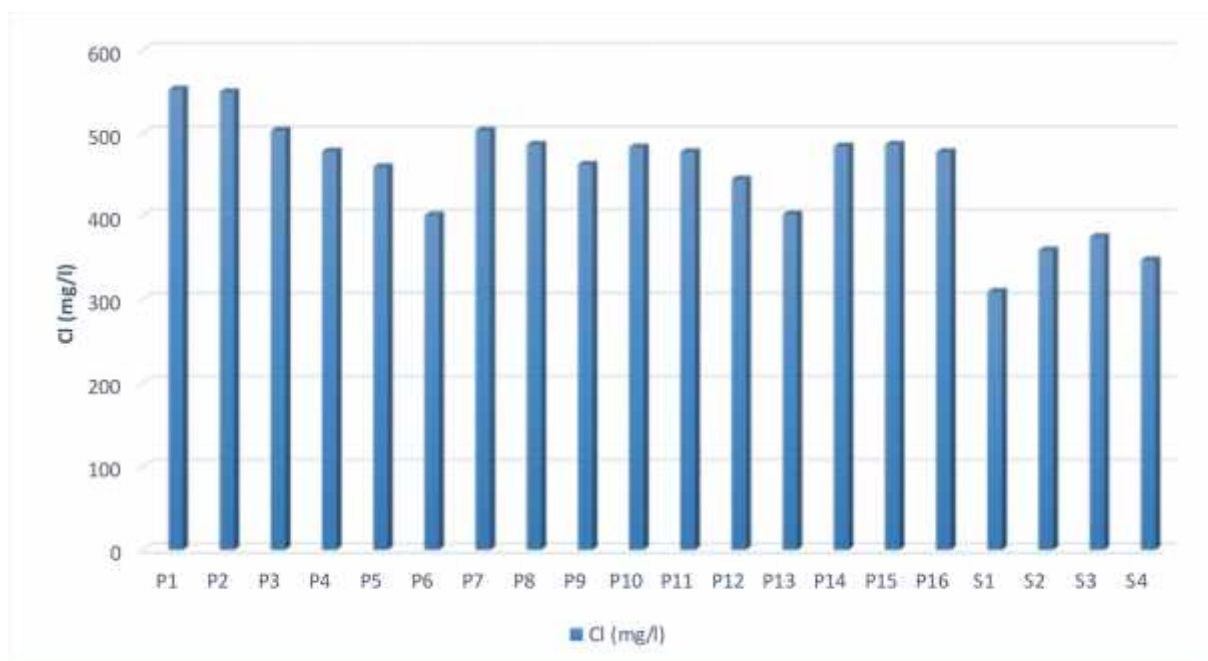


Figure.21 Variations des Chlorures des puits étudiés

Les teneurs enregistrées pendant l'analyse oscillent entre 309 m /L pour la source S1 et 552 m /L pour le puit P1.

Les teneurs enregistrées, pendant toute la période d'observation, montrent que toutes les stations ont des valeurs qui dépassent la norme de potabilité de l'OMS fixée à 250 m /L

4.2.2.3. Calcium C^{2+} :

L'eau est composée de nombreux éléments minéraux et organiques. Sa richesse en minéraux varie selon la composition du sol qu'elle traverse. Les terrains calcaires donneront une eau riche en calcium.

Le calcium est un composant majeur de la dureté de l'eau. Il existe à l'état d'hydrogencarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfate, chlorure...etc. (KHERCHICHE et BOUZIDI, 2013).

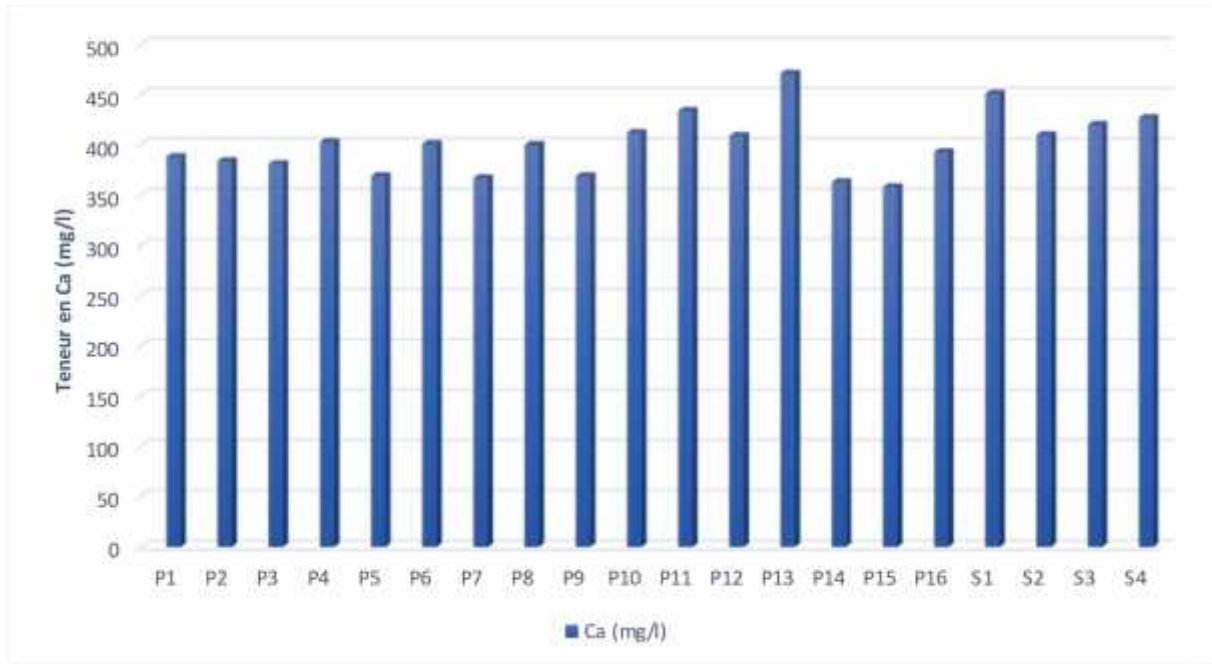


Figure.22 Variations des teneurs en calcium des puits étudiés

Les valeurs de calcium varient d'une station à une autre. Elles varient entre 358 m /L pour le puit P15 (valeur la plus basse) et 471 m /L pour le puit P13.

Toutes les stations ont une concentration qui dépasse largement la norme OMS (100 m /L).

4.2.2.4. Les orthophosphates ($P \frac{4-}{4}$) :

Le phosphore rentre dans la constitution de molécules riches en énergie (ATP, ADP, AMP) ou en informations (acides nucléiques) ; il intervient également dans la composition des squelettes. Le cycle qui est relativement simple, est largement dominé par des réactions dénature géochimique plutôt que biologique (LEVEQUE, 2001). L'origine des phosphates danses eaux est le plus souvent liée aux rejets urbains et à la dissolution des engrais chimiques.

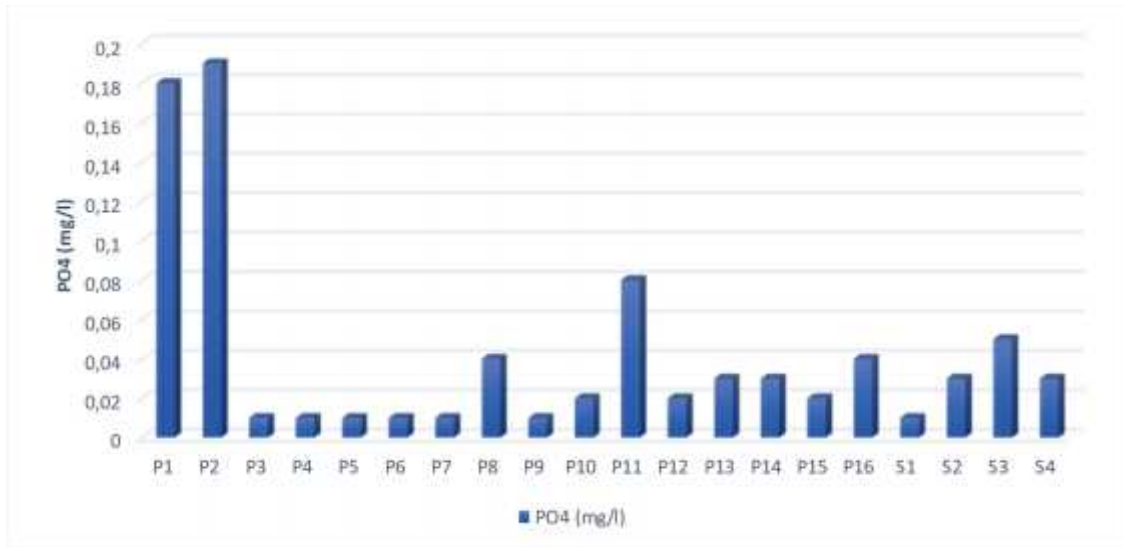


Figure.23 Variations des teneurs en orthophosphate des puits étudiés

Les teneurs en phosphates ne présentent pas des variations importantes dans notre site d'étude.

Les valeurs maximales sont enregistrées au niveau du puit P2 (0.19 m/L) et au niveau du puits P1 (0.18 m/L). Les valeurs minimales mesurées oscillent tous entre 0.01 m/L et 0.08 m/L

Toutes nos stations sont conformes à la norme algérienne des teneurs de phosphates dans les eaux souterraines (5 m/L) (Annexe.3)

La présence des phosphates dans les eaux naturelles à des concentrations supérieures à 0.2 m/L est l'indice d'une pollution par des eaux vannes contenant des phosphates organiques et des détergents synthétiques, ou bien par des eaux de ruissellement (MERZOUG, 2009).

Teneurs en Phosphates (PO_4^{3-}) par mg/l	Qualité des eaux
< 0.2	Excellente
$0.2 < PO_4^{3-} < 0.5$	Bonne
$0.5 < PO_4^{3-} < 1$	Passable
$1 < PO_4^{3-} < 2$	Médiocre
> 2	Pollution Excessive

Tableau.9 Grille de la qualité des eaux suivant la concentration en Phosphates ($P \frac{3-}{4}$) (ABH-CSM, 2005).

4.2.2.5. Les sulfates (S_4^{2-})

Les sulfates sont des composés naturels des eaux. Ils sont liés aux cations majeurs tels que le calcium, le potassium et le sodium. Ils proviennent de certains minéraux, en particulier du gypse ou apparaissent à partir de l'oxydation des minéraux sulfureux (MERABET, 2010). Les eaux de surface contiennent des teneurs très variables de sulfates (DERWICHET et AL, 2010).

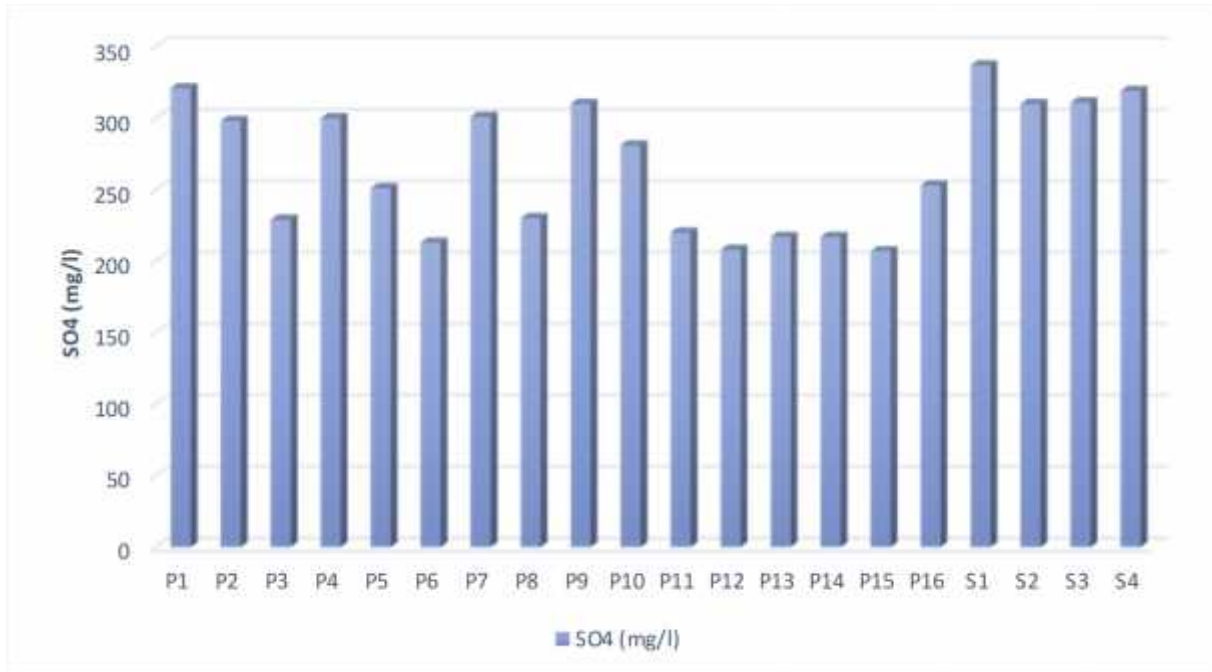


Figure.24 : Variations des teneurs en sulfates dans l'eau du site étudié

Les valeurs de ce paramètre dans les eaux étudiées sont très variables et oscillent entre 217 m/L au niveau du puits P13 et P14 et 337 m/L au niveau de la source S1.

Toutes les stations échantillonnées sont dans la norme OMS qui est de 250 m/L ou bien légèrement au-dessus ; la norme algérienne elle est de 400 m/L pour les teneurs en sulfates dans les eaux souterraines ce qui nous donne que toutes les stations sont dans les normes selon ce point de vue. (Annexe.3)

Les teneurs élevées sont généralement liées aux lessivage des terres agricoles qui contiennent une grande quantité des engrais ou à cause de l'infiltration d'eaux usées issue des rejets urbains

4.2.2.6. Nitrates (NO_3^-) :

Les ions nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote. C'est une forme très soluble, sa présence dans les eaux de surfaces est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques (KHERCHICHE et BOUZIDI, 2013).

La présence excessive des nitrates peut aussi provoquer un problème de santé publique tel que la méthémoglobinémie (HARRAT et ACHOUR, 2010).

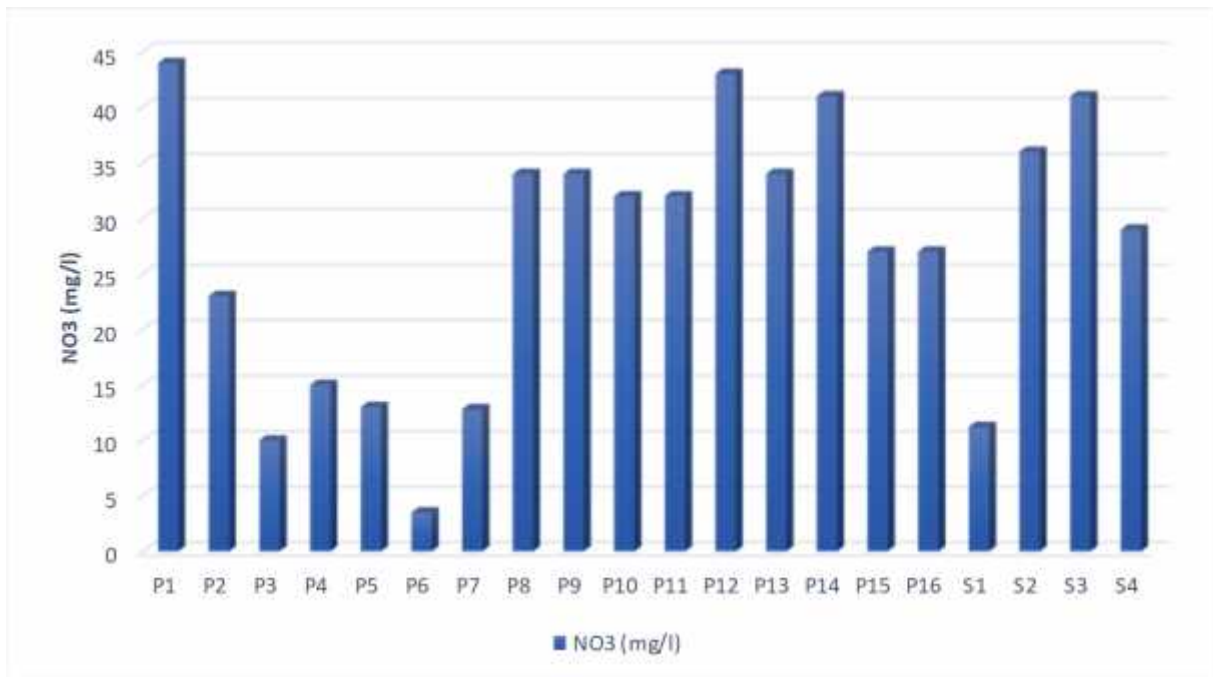


Figure.25 Variations des teneurs en nitrates dans l'eau du site étudié

La concentration minimale en nitrates est de $3,5 \text{ mg/L}$, enregistrée dans le puit P6, la maximale quant à elle est de 44 mg/L dans le puits P1 ; cette concentration est due, soit aux engrais, soit à la matière organique enfouie dans le sol.

4.3 Résultats des analyses statistiques :

4.3.1 Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) :

L'application de l'Analyse Factorielle des Correspondances aux résultats des prélèvements faunistiques fait ressortir les résultats illustrés par les figures qui vont suivre ; cette AFC présente un taux de contribution aux résultats de l'ordre de 26,11 % pour l'axe 1 (Dimension 1) et de 16,31 % pour l'axe 2 (Dimension 2)

Les principales données apportées par cette analyse sont :

-) Distribution spatiale des espèces selon des groupes (Factor Map) Figure.26
-) Hiérarchisation de la distribution et liaison des espèces (Hierarchical Clustering) Figure.27
-) Hiérarchisation de la distribution et liaison des espèces selon une vision spatiale (Hierarchical clustering on the factor map) Figure.28

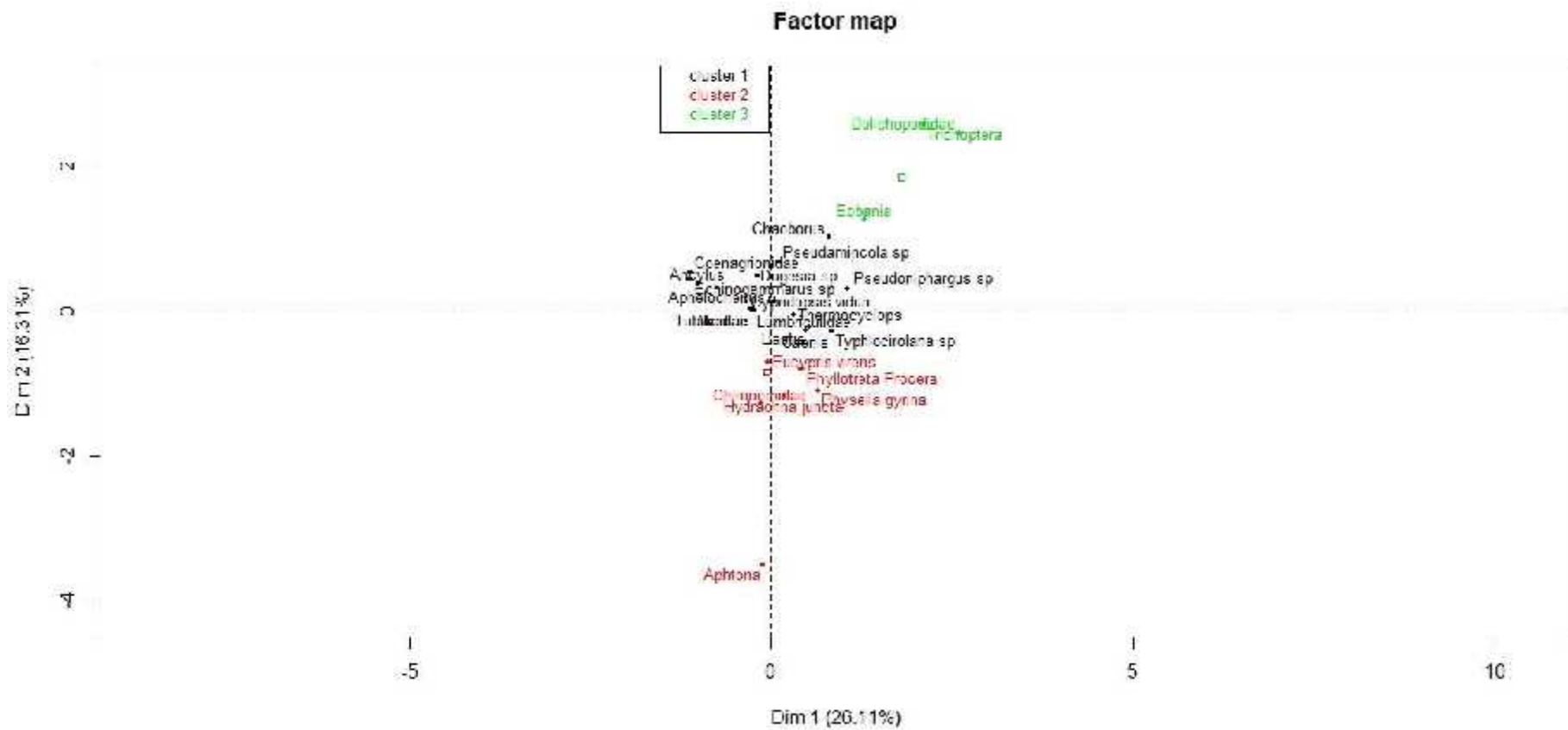


Figure.26 Distribution spatiale des espèces selon des groupes (Factor Map)

L'analyse des figures 26, 27 et 28 fait ressortir les éléments suivants :

-) La distribution spatiale montre la présence de 3 clusters ou groupes distincts liés entre eux
-) Le 1^{er} groupe étant le plus important et centre au milieu est composé de 10 espèces en majorité constantes
-) Le 2^{ème} groupe comporte 6 espèces à incidence moyenne aux prélèvements
-) Le 3^{ème} groupe comporte 9 espèces pour la plupart accidentelles

4.3.2 Analyse en Composantes Principales (ACP) :

L'application de l'Analyse en Composantes Principales aux résultats des analyses physicochimiques fait ressortir les résultats illustrés par les figures qui vont suivre ; cette ACP présente un taux de contribution aux résultats de l'ordre de 95,52 % pour l'axe 1 (Dimension 1) et de 3,87 % pour l'axe 2 (Dimension 2)

Les principales données apportées par cette analyse sont :

-) Distribution spatiale des paramètres physicochimiques selon des groupes (Factor Map) Figure.29
-) Hiérarchisation de la distribution et liaison des paramètres physicochimiques selon une vision spatiale (Hierarchical clustering on the factor map) Figure.30
-) Variation des paramètres physicochimiques des stations (PCA Variation) Figure.31

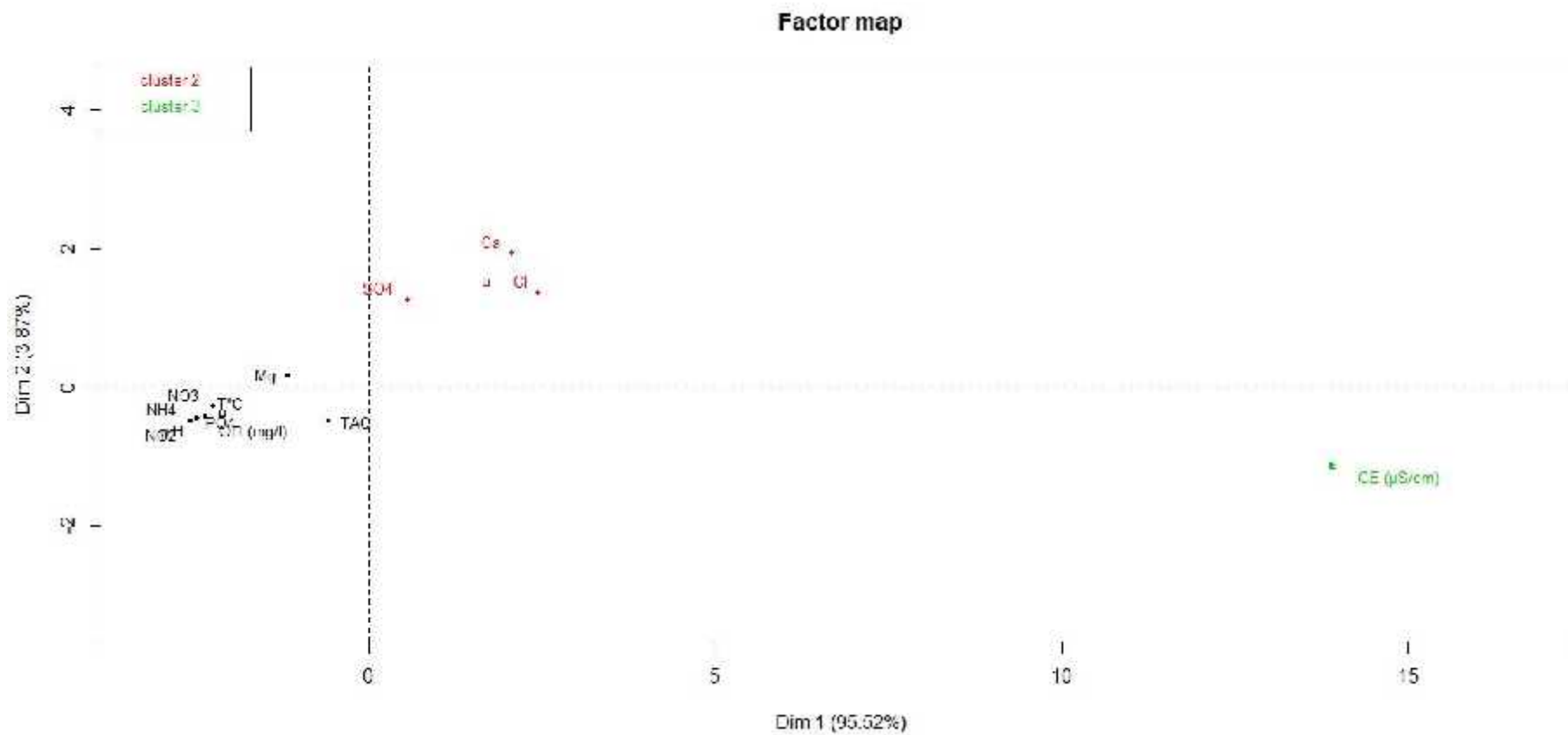


Figure.29 Distribution spatiale des paramètres physicochimiques selon des groupes (Factor Map)

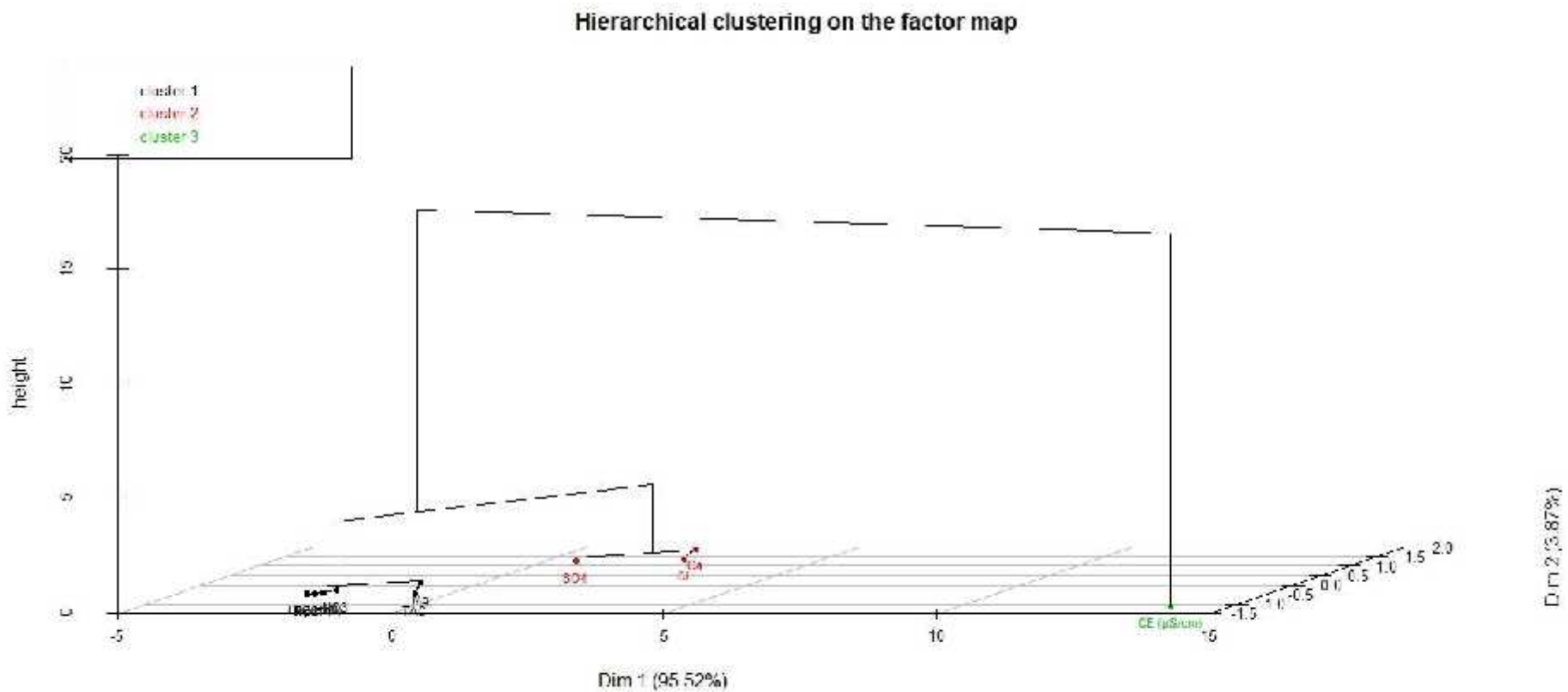


Figure.30 Hiérarchisation de la distribution et liaison des paramètres physicochimiques selon une vision spatiale (Hierarchical clustering on the factor map)

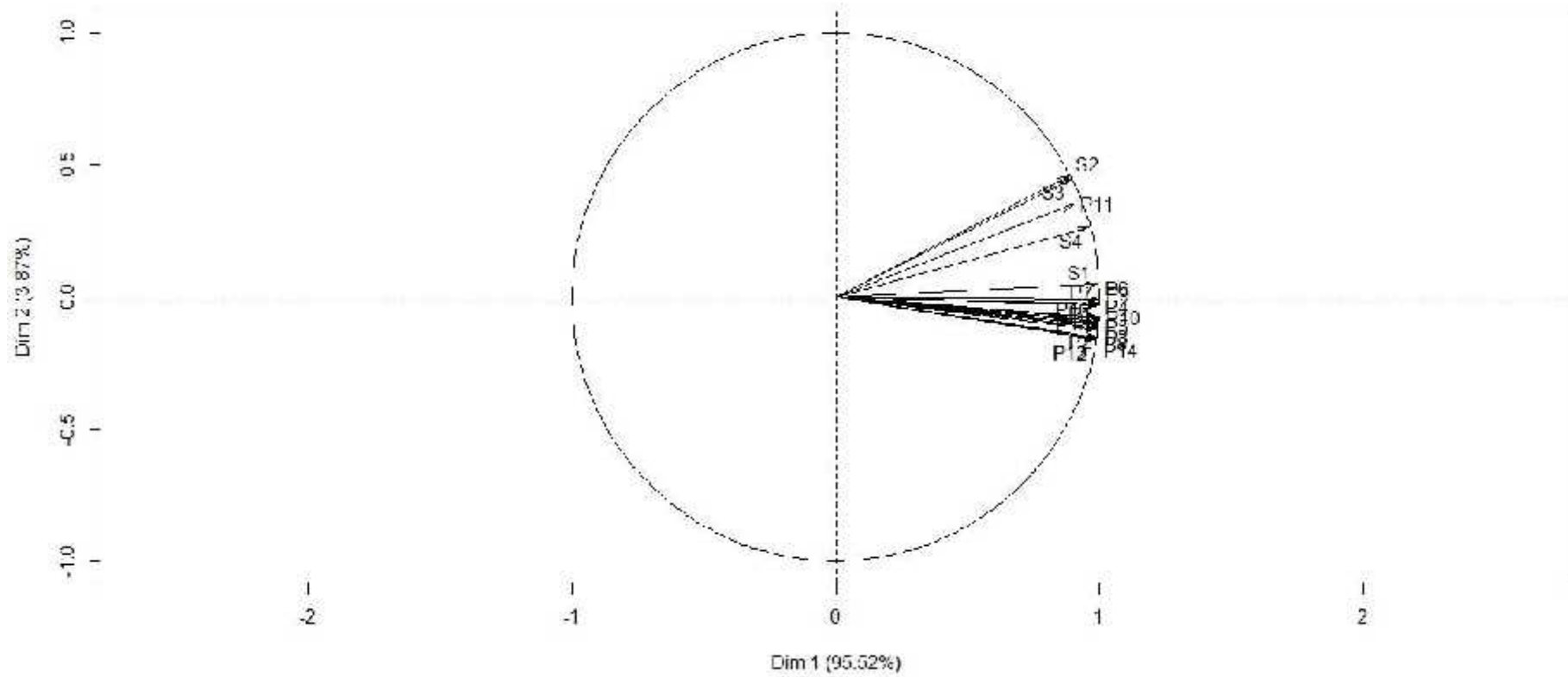


Figure.31 Variation des paramètres physicochimiques des stations (PCA Variation)

L'analyse des figures 29 et 30 fait ressortir les éléments suivants :

-) La distribution spatiale montre la présence de 3 clusters ou groupes distincts liés entre eux
-) Le 1^{er} groupe étant le plus important constitue de 8 paramètres et montre une grande corrélation entre différents paramètres
-) Le 2^{ème} groupe comporte 3 paramètres
-) Le 3^{ème} groupe comporte 1 seul paramètre qui est la CE

L'analyse de la figure 31 montre qu'il existe 2 qualités différentes et distinctes des eaux d'un point de vue physicochimique ; celle des sources et celle des puits, nous aborderont cela en détail dans les paragraphes suivants

L'application de l'ACP ainsi que l'étude de la corrélation via un autre logiciel (Statistica) a la matrice d'analyse physicochimique donne accès à plus de données comme suit cette ACP présente un taux de contribution aux résultats de l'ordre de 29,2 % pour l'axe 1 (Dimension 1) et de 25,6 % pour l'axe 2 (Dimension 2) :

-) Pourcentage des variances expliquées (Percentage of explained variances) Figure.32
-) Variation des moyennes des paramètres physicochimiques (Variables Factor Map) Figure.33 et Figure.34
-) Indices des composantes principales (PCA Individuals) Figure.35
-) Corrélation des variances Figure.36 et Matrice de corrélation Figure.37 et Tableau.10

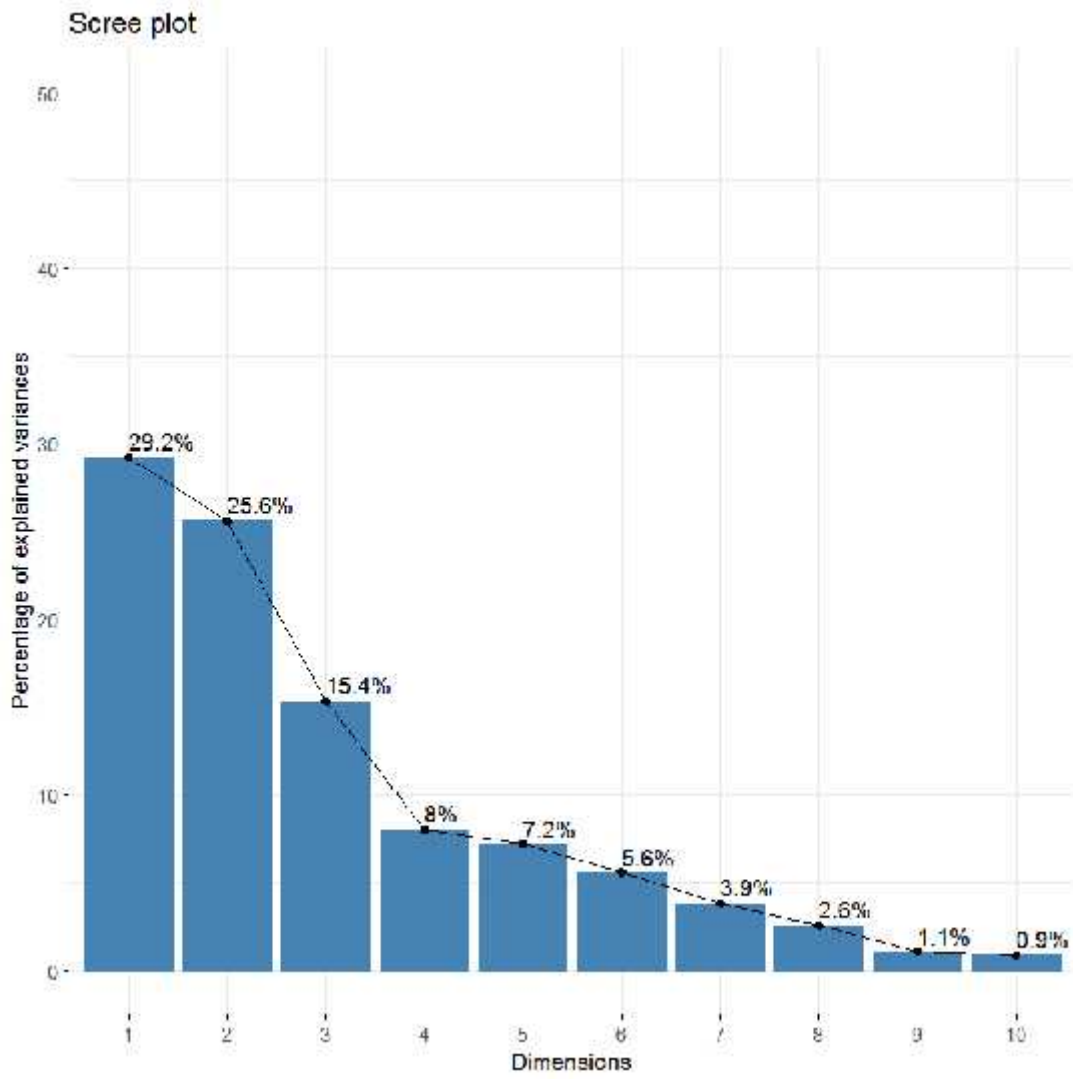


Figure.32 Pourcentage des variances expliquées (Percentage of explained variances)

L'analyse du Pourcentage des variances expliquées (Fig.32) nous montre qu'il existe 2 dimensions significatives avec respectivement 29,2 % pour la Dimension 1 et 25,6 % pour la Dimension 2

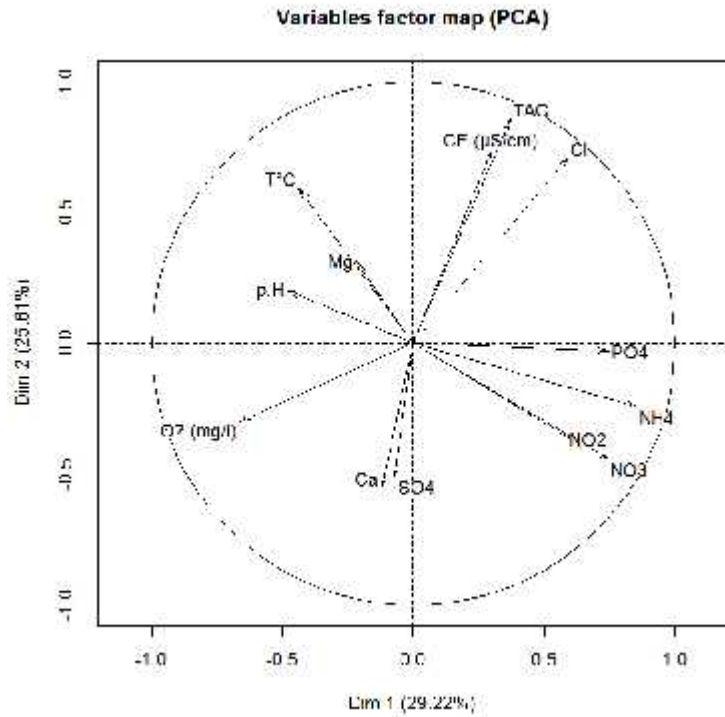


Figure.33 Variation des moyennes des paramètres physicochimiques (Variables Factor Map)

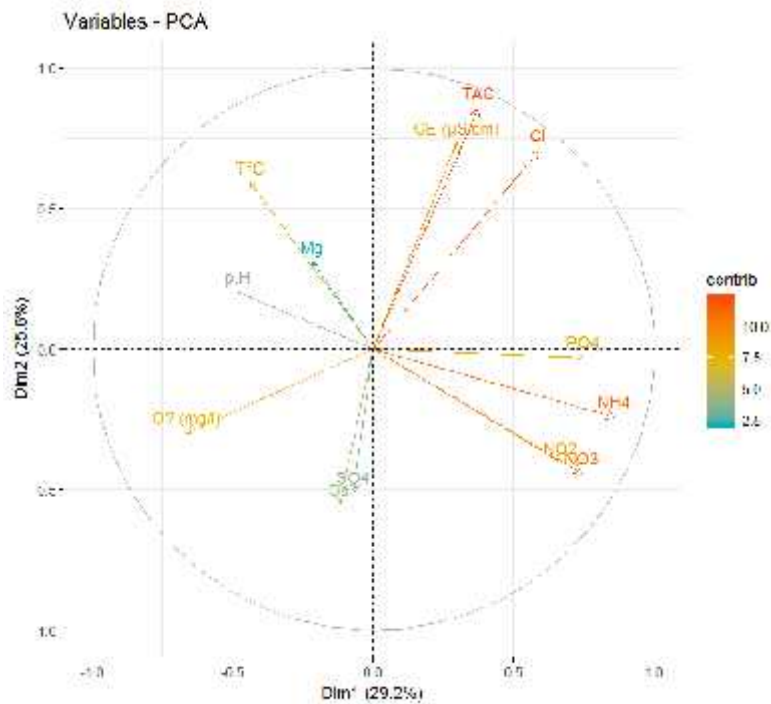


Figure.34 Variation des moyennes des paramètres physicochimiques (Variables Factor Map)

L'analyse de la Variation des moyennes des paramètres physicochimiques (Fig.33) et (Fig.34) démontre qu'il existe une contribution importante de la TAC, NH₄, NO₃, Cl à l'explication des résultats, elle demeure moins importante pour la T, CE, O₂ et faible pour le pH, SO₄, Ca et Mg

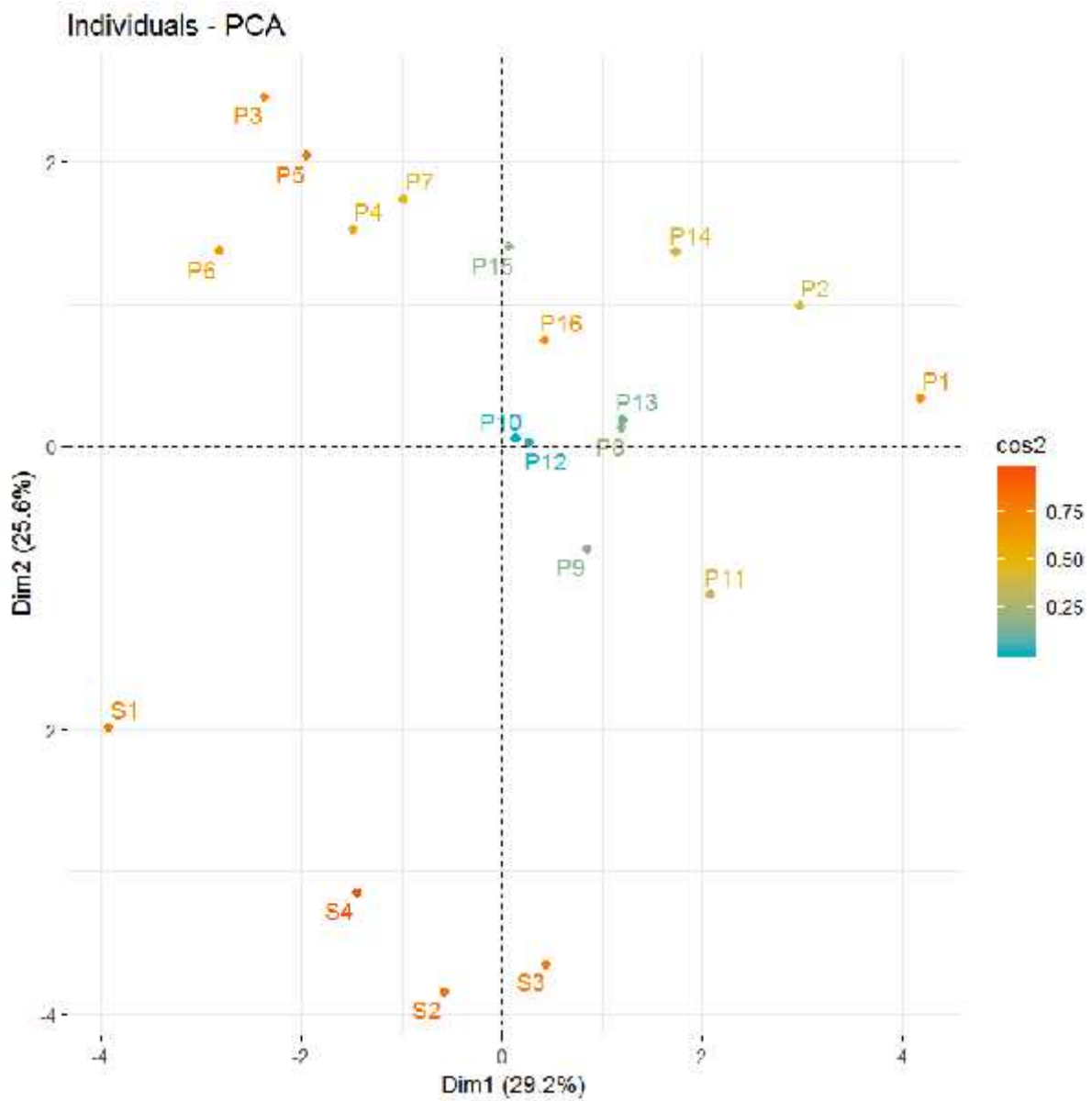


Figure.35 Indices des composantes principales (PCA Individuals)

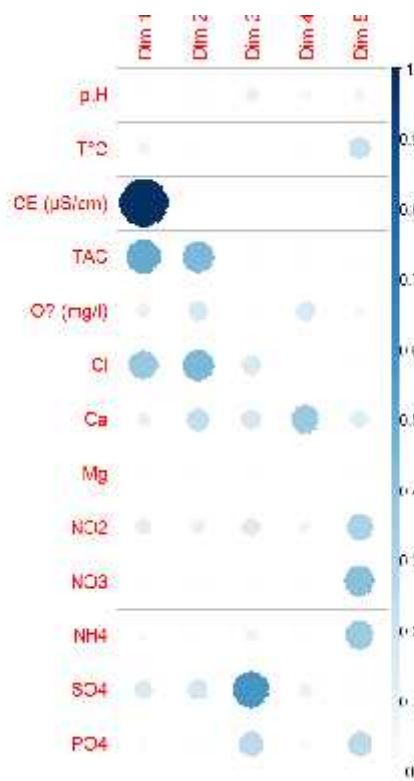


Figure.36 Corrélation des variances

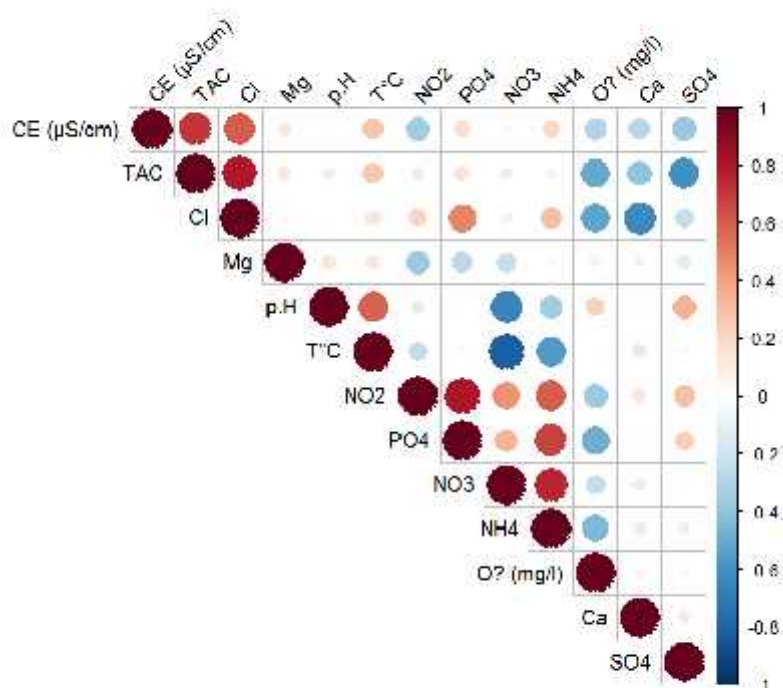


Figure.36 Matrice de corrélation

	p.H	T°	CE	TAC	O2	Cl	Ca	Mg	NO2	NO3	NH4	SO4	PO4
p.H	1,00	0,58	0,00	-0,10	0,22	0,00	0,02	0,13	-0,12	-0,66	-0,34	0,34	0,01
T°		1,00	0,27	0,26	-0,01	0,15	-0,14	0,13	-0,25	-0,81	-0,56	-0,04	0,04
CE			1,00	0,70	-0,30	0,60	-0,28	0,11	-0,34	0,05	0,20	-0,38	0,17
TAC				1,00	-0,51	0,79	-0,40	0,13	-0,11	-0,09	0,08	-0,61	0,14
O2					1,00	-0,53	0,05	-0,06	-0,37	-0,24	-0,45	0,06	-0,49
Cl						1,00	-0,63	0,05	0,21	0,08	0,29	-0,24	0,48
Ca							1,00	-0,07	0,13	0,11	0,11	0,11	-0,04
Mg								1,00	-0,37	-0,23	-0,04	-0,13	-0,27
NO2									1,00	0,44	0,59	0,29	0,80
NO3										1,00	0,75	-0,01	0,33
NH4											1,00	0,10	0,67
SO4												1,00	0,24
PO4													1,00

Tableau.10 Matrice de corrélation - Test de corrélation de Pearson (Seuil de signification p inférieur à 0.05)

Conclusion

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 certaines lignées sont anciennes de plusieurs millions d'années.

La plupart des puits étudiés sont situés loin de la ville, dans des champs ou des pâturages. Par ailleurs, les principales causes de pollution de l'eau de ces puits sont très probablement liées aux rejets d'eaux usées brutes s'écoulant dans de petits canaux souvent utilisés pour l'irrigation, ou plus simplement à l'évacuation de l'eau hors des habitations ; dans tous les cas, ces eaux usées peuvent s'infiltrer dans la nappe phréatique qui est peu profonde en général ; ainsi l'infiltration des eaux usées, entraîne des niveaux bas en oxygène. Enfin, l'absence de protection dans un plus grand nombre de puits contribue à l'enrichissement de l'eau organique en raison de l'écoulement éolien des feuilles et autres débris végétaux qui seront des décomposeurs sur place. Compte tenu de la faune, la richesse taxonomique observée dans les puits de la zone d'étude est modérément supérieure à celle des autres régions étudiées en Algérie.

Au total 25 taxons et 4649 individus ont été récoltés au cours de cette étude. Cette richesse est supérieure à celle enregistrée dans les 16 puits de la zone d'Oum-El-Bouaghi au nord-est de l'Algérie (MERZOUG ET AL, 2010), Ce nombre élevé de taxons est probablement le résultat d'une augmentation des espèces récoltées dans les efforts d'échantillonnage qui sont principalement d'origine superficielle.

Il s'agissait principalement de la faune de surface, constituée principalement par le groupe d'insectes représentés par les Diptères, les Culicidés, les Chironomidés et, dans une moindre mesure, les Ephemeroptera Baetidae. Outre les insectes, les crustacés, comme les Amphipodes Echinogammarus, Cyclopoidae Copepods et Ostracodes, sont apparus. La présence de ces espèces dépend de la morphométrie du puits, de son développement et de sa protection en surface. En effet, 70 % des puits étudiés étaient sans protection avec une profondeur d'eau moyenne. De plus, tous les groupes d'invertébrés étaient représentés dans les puits ; et la faune de surface est dominée numériquement et taxonomiquement par les insectes avec un taux respectif de 45 pour cent et 16 pour cent pour les gastropodes ont une large distribution dans les puits, et une grande capacité à coloniser les habitats pollués et non pollués, et dans le cas du manque de protection de la majorité des puits qui provoque une colonisation aérienne, ils constituent le plus grand groupe.

Ce sont des invertébrés connus pour leur tolérance à la pollution et qui préfèrent généralement les températures élevées (HAOUCHINE, 2011).

La stygofaune de l'eau étudiée était représentée par '*Pseudoniphargus sp*', '*Echinogammarus sp*', '*Thermocyclops sp*' et '*Eucypris virens*'. Ces apparitions de crustacés ont été observées dans les eaux souterraines de toutes les régions étudiées (RACOVITZA, 1912 ; NOURRISSON, 1956), et 37 espèces ont été trouvées en Algérie, et seules des *Pseudoniphargus* stygobies ont été capturées dans presque des puits mais ce nombre reste largement inférieur aux études précédentes menées dans la région de Oum El Bouaghi (MERZOUG & AL, 2010).

La rareté des stygobies fauniques dans les puits du secteur d'étude pourrait indiquer une détérioration de la qualité de l'eau de puits en raison de leur rôle comme bio-indication des espèces (BELAIDI & AL, 2004).

Dans notre cas, la faible richesse de la stygofaune serait liée à la contamination de l'eau dans de nombreux puits étudiés, par infiltration d'engrais agricoles en particulier et pollution.

Les causes de pollution de l'eau des stations infestées, sont dues principalement aux eaux usées brutes circulant dans les petits canaux, utilisés soit pour évacuer l'eau usée ou pour l'irrigation, ces eaux peuvent s'infiltrer jusqu'à la nappe phréatique qui n'est pas très profonde en général ;

Enfin l'absence de protection d'un plus grand nombre de puits prospectés contribue 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. La seconde cause de pollution proviendrait probablement du fumier et parfois des écoulements de purin des bergeries et des étables. Les fumiers sont lessivés par l'eau qui entraîne vers la nappe bactéries et autres substances solubles.

La distribution spatiale de la richesse taxonomique, a montré une variation de la richesse taxonomique d'un puits à l'autre.

De plus, des espèces résistantes à la pollution d'origine aérienne sont présentes dans la majorité des puits prospectés, comme c'est le cas des larves des insectes Chironomidae et Culicidae. (LAKHDARI, 2014).

Les études les plus récentes ont montré que la diversité et parfois même la présence de la faune aquatique souterraine varient en fonction de la qualité des eaux (LAFONT & AL. 1992 ; AÏT BOUGHROUS, 2007).

Cette première approche, en contribuant à améliorer la connaissance de la faune aquatique souterraine en Algérie, a contribué à l'étude des eaux souterraines dans la région d'étude. L'analyse de la faune réalisée dans le cadre de ce travail, représentait une faune aquatique relativement riche sur le plan qualitatif et quantitatif. Elle est composée de 25 taxons (4649 individus).

Les résultats ont également montré l'importance hydraulique des échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines, en particulier les puits. Cette importance réside entre autres dans l'enrichissement du milieu souterrain en matière organique représentant la stygofaune. Ce travail a été une étape supplémentaire dans l'amélioration de la connaissance de la faune du stygobique algérien. Elle pourrait contribuer aux déterminations spécifiques effectuées, en délimitant l'aire de répartition de chaque espèce, en particulier les amphipodes tels que les Pseudonifargidae.

Généralement, l'analyse des données physico-chimiques et du peuplement a permis de déduire que dans les puits protégés et situés loin des sources de pollution, les eaux sont de bonne qualité physico-chimique, elles hébergent une faune riche et diversifiée. Alors que la faune vivant dans les eaux polluées, est généralement, de type épigé (larves d'insectes).

Il ressort que la richesse reflète la qualité des eaux souterraines. Elle peut être un outil simple pour évaluer la qualité de l'eau souterraine.

Une surveillance de la qualité de l'eau de la nappe paraît évidemment souhaitable, mais une analyse plus complète des mécanismes de contamination de la nappe phréatique ne pourrait être envisagée qu'en multipliant le nombre des stations et la fréquence des prélèvements, ainsi que le nombre de paramètres mesurés.

Ce travail constitue donc une étape supplémentaire à la connaissance de la faune stygobique de l'Algérie. Elle contribuera une fois la détermination spécifique réalisée, à délimiter l'aire de distribution de chaque espèce

Les résultats acquis dans ce travail soulignent la nécessité d'augmenter les relèves et l'étendue spatiale, vu l'hétérogénéité aussi bien spatiale que temporelle de la composition faunistique.

Pour mieux appréhender l'étude qualitative des eaux de la nappe de la région du Nord Constantinois et de dégager son influence sur la stygofaune, un effort d'échantillonnage plus important doit être entrepris avec une caractérisation physico-chimique complète et une analyse des indicateurs de pollution comme la *D* 5 et les éléments nutritifs. Cet ensemble

fournira une étape importante pour établir le rôle de ces variables dans la détermination de la diversité et la structure de la faune souterraine et l'absence des espèces hypogées.

Références

Bibliographiques

-A-

AFNOR 1983. Association française de normalisation: Eaux, méthodes d'essai, 2ème

AÏT BOUGHROUS .A (2007) la Biodiversité, écologie et qualité des eaux souterraines de deux régions arides du Maroc : le Tafilalet et la région de Marrakech . Thèse de doctorat université Cadi Ayyad –Marrakech-

AÏT BOUGHROUS A. BOULANOUARE M. , YACOUBI M et COINEAU N. , 2007.

AMORAS C. et PETTS G.E., 1993. Hydrosystèmes fluviaux. Éditions Masson, Paris.

AMRANE Abd El Ali, Farah Wail Djamil, Adnane Abd El Moumen, juin 2009. Vers un quartier durable chapitre 05, p01.

ANRH. 2015. Inventaire des points d'eau de la région de Constantine, rapport. Constantine : Direction régionale Est de l'ANRH.

-B-

BAGNOULS F & GAUSSEN H., 1953. Saison sèche et indice xérothermique. Document pour les cartes de production végétale. Série généralité cartographie de l'unité écologique. Edit. Edward. Privat, Toulouse : 47p

BAGNOULS, F., GAUSSEN H. (1957). Les climats biologiques et leur classification. Annales de Géographie. 66° année° 335 :193-220 p.

BARBAULT R., 1995.Écologie des peuplements. Structure et dynamique de la biodiversité. 2ème édition- Masson, Paris – Milan – Barcelone. P. 15-19.

BARBOUR M.T., GERRITSEN J., SNYDER B.D., STRIBLING G.B. (1999). Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers : periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, second edition. EPA 841- B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C. BATOUCHE, S. et LABIOD, H., (1991)- les sols des Hautes plaines Sétifiennes. Inventaires, analyse et synthèse des études pédologiques réalisées dans cette région de 1965 à 1985. Essai de gématisation. Mém. Ing. D'Etat. Univ. Sétif. 130p.

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

BEKKOUSSA B., MEDDI M et JOURDE H., 2008. Forçage climatique et anthropique sur la ressource en eau souterraine d'une région semi-aride : cas de la plaine de Ghriss (Nord-Ouest algérien) . Sécheresse 2008 ; 19 (3) : 173-84

BELAIDI N,TALEB A et GAGNEUR J .2004.composition and dynamiques of hyporhéique and surface fauna in a semi-aride stream in relation to the management of a pollué. These .Doc. univ .Tlemcen (Algeria):83p.

BELAIDI N., TALEB A. et GAGNEUR J., 2004. Composition and dynamics of hyporheic and surface fauna in a semi-arid stream in relation to the management of a polluted reservoir. Ann. Limnol. Int. J. Lim, 40 (3): 237-248.

BELAIDI N., TALEB A., MAHI A. et MESSANA G., 2011. Composition and distribution of stygobionts in the Tafna alluvial aquifer (north-western Algeria). Subterranean Biology, 8: 21-32.

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. Doc. Univ. Tlemcen (Algérie): 83p.

BEN MOUSSA A, Chahlaoui A, Rour E., Chahboune M. (2013). (Diversité taxonomique et structure de la macrofaune benthique des eaux superficielles de l'oued khoumane. Moulay idriss Zerhoun, Maroc (Taxonomic diversity and structure of benthic macrofauna of surface water of Khoumane River. Moulay idriss Zerhoun, Morocco) ISSN .2028-2508.191p.

BEN MOUSSA A., CHAHLAOUI A., ROUR E., CHAHBOUNE M. (2013). Taxonomic diversity and structure of benthic macrofauna of surface water of Khoumane River. Moulay idriss Zerhoun, Morocco, Université Moulay Ismail,.184,185p. biospéléologie, Moulis.

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.

BENFETTA H., REMINI B., LARID M., BOUKARY I., 2008. Etude des fluctuations des eaux souterraines de la plaine de la Ghriss Mascara –Algérie. BALWOIS-Ohrid, Republic of Macedonia -27, 31.

BENHADJI N. ,2013.Contribution à l'étude de la faune hyporhéique des zones de sources dans les Monts de Tlemcen. Thèse. Magistère. Univ. Tlemcen (Algérie).

BENZATAT I (2013) étude hydro chimique des eaux souterraines d'un bassin versant en zone semi-aride. cas du bassin versant de Gareat el Tarf (Nord –Est d'Algérie) mémoire de master en écologie et environnement université de Khenchela 2013

BERTRAND H., (1972). Larves et nymphes des Coléoptères aquatiques du globe biodiversité. 2ème éd. Ed. Masson, Paris Milan Barcelone. 15p. Bioécologie et Malacologie Appliquée. Thèse Doctorat d'État, Université Cadi Ayyad,

BLONDEL J., 1979. Biogéographie et écologie. Masson ed., Paris : 173 p

BOSCA .c, 2002. Ground water law and administration of sustainable developement , Mediterranean.

BOTOSANEANU L et HOLSINGER J. ,1991. Some aspects concerning colonization of the subterranean realm - especially of subterranean waters : a response to rouch & danielopol, 1987. Stygologia, 6(1):129–142, 1991.

BOTOSANEANU L.,1986. Stygofauna mundi. A Faunistic, Distributional and Ecological Synthesis of the World Fauna inhabiting subterranean Waters (including the Marine Interstitial). E.J. Brill Publ., Leiden.

Botosaneanu L (1986) Stygofauna Mundi.A Faunistic, Distributional and Ecological Synthesis of the World Fauna inhabiting Subterranean Waters (including the Marine Interstitial). E.J. Brill Publ., Leiden.

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

BOU et ROUCH., 1967. Un nouveau champ de recherches sur la faune aquatique souterraine. Comptes Rendus de l'Academie des Sciences de Paris, 265:369–370, 1967.

BOULAL M., BOULANOUAR M., BOUTIN CL ., YACOUBI KHEBIZA M., 2009. Biodiversity in the stygobiotic cirrolanids (Crustacea, Isopoda) from the Mediterranean Basin : II – Systematics, ecology and historical biogeography of *Typhlocirolana tiznitensis* n. sp., the first representative of the genus, South of the Moroccan High Atlas. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, 145 : 11-28.

BOULANOUAR M., 1982. Premières recherches sur la faune des p u i t s à Marrakech Méthodes de capture de la faune stygobie par piégeages. Mém. C E . A . Fac. Se.Marrakech : 1-49.

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* (Crustacés Isopodes Asellidae) des Jbilet. Thèse de doctorat d'État, Université Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, 210p

BOULANOUAR, M., 1983, Methodes 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 BOULANOUAR.M, 1983 . Méthodes de capture de la faune stygobies. Expérimentation de différents types de pièges appâtés dans les puits de Marrakech (Maroc occidental). Bull .Fac .Sci.Marrackech, section Sci . de la vie ,2 :5-21.

BOUTIN C. et BOULANOUAR M., 1983. Méthodes de capture de la faune stygobie : Expérimentation de différents types de pièges appâtés dans les puits de Marrakech. Bull. Fac. (2). Sc. Marrakech: 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. MESSOULI M et COINEAU N., 1992. Phylogénie et biogéographie évolutive d'un groupe de Metacrangonyctidae, Crustacés Amphipodes stygobies du Maroc. II - Cladistique et paléobiogéographie. Stygologia, 7(3):159-177.

BOUTIN C., 1994. Phylogeny and biogeography of metacrangonyctid Amphipods in North Africa. Hydrobiologia, 887: 49-64.

BOUTIN C., 1994a. Phylogeny and biogeography of metacrangonyctid Amphipods in North Africa. Hydrobiologia, 887: 49-64.

BOUTIN C., 1996. Book review: "H.P. Wagner, 1994. A monographic review of the Thermosbaenacea (Crustacea: Peracarida). A study on their morphology, taxonomy, phylogeny and biogeography". Zool. Verhandelingen, Leiden, 338pp. 500 Fig." Crustaceana, 69(6): 801-804.

BOUTIN. C ; BOULAL. M ; BOULANOUAR. M ; COINEAU. N ; GHLALA. A ; MERZOUG. D., MESSOULI. M ; YACOUBI-KHEBIZA. M., 2011. Importance, dans les

zones arides et semiarides, de la biodiversité des faunes aquatiques souterraines. Actes du Séminaire International sur la Biodiversité Faunistique en Zones Arides et Semi-arides.

BRAGA J. M., 1948. Sur les Aselles de l'Afrique du Nord. Anais. Fac. Cienc. Porto, 33: 7-93.

BRUNKE M. et GONSER T., 1997. Hyporheic invertebrates- the clinal nature of interstitial communities structured by hydrological exchange and environmental gradients. J. North American Benthological society, 18: 344-362.

BRUNKEM., et GONSER T., 1997. The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. Freshwater Biology, 37: 1-33.

BRUNO M.C. LOFTUS W.F et PERRY S.A.,2001. Preliminary data on microcrustacean communities from ground waters in the southern Everglades. Eve L.Kuniansky 89-97.

-C-

CASTANY G., 1998. Hydrogéologie, principes et méthodes. Dunod, Paris: 236p.

CASTANY G., 1998. Hydrogéologie, principes et méthodes. Dunod, Paris, 236p.

CERRIGHINO R. (1992). Influence des variations artificielles du débit sur la faune.

Chebika R (2003). Contribution to the study of the fauna of some wells of the medium Tafna (region of Maghnia). Mém. Ing. Fac. Sc. Tlemcen (Algérie): 65p.

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.

CLAUDE RICHARD., 1996. les eaux, les hommes et les animaux .édition scientifiques et médicales Elsevier, Paris .page :41, 42,46.

CREUZÉ DES CHÂTELLIERS M. et DOLE-OLIVIER., 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.

CREUZE DES CHATELLIERS. M. ET DOLE-OLIVIER. M.J., 1991. Limites d'utilisation du sondage de type Bou-Rouch pour la capture de la faune interstitiel.(I) traçage chimique au chlorure de sodium –C.R.A CAD .SCI. Paris, 312,3 :671-676.

CULVER C CHRISTMAN B et SKET B.,2004 . Sampling adequacy in an extreme environment : species richness patterns in Slovenian caves. *Biodiversity and Conservation*, 13:1209–1229, 2004.

CULVER D .,2003. Christman, M.C., Elliott, W.R., Hobbs III, H.H. et Reddell, J.R. The North American obligate cave fauna: regional patterns. *Biodiversity and Conservation* 12: 441-468.

CULVER D.C et SKET,B 2000. Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells. *Journal of Cave and Karst Studies* 62: 11-17.

CULVER D.C., MASTER L HOBBS H. ,2000. Obligate cave fauna of the 48 contiguous United States. *Conservation Biology*, 14(2): 386–401, 2000.

CVETKOV L., 1968. Un filet phréatobiologique. *Bull. Inst. Zool. Mus. Sofia*. XXVII: 215-219.

-D-

DAJOZ R. (1985). *Precis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliquée*.5eme editions. Gauthier Villard. Paris : 505p.

DAJOZ R. (2000). *Précis D'Ecologie: Cours Et Exercices Résolus*.7 ième édition. Dunod, Paris.613p..

DALI Naouel -2009- ressources et gestion intégrée du bassin de Gareat el Tarf mémoire de magister en hydrogéologie universite badji moukhtar –annaba 2009

DANIELOPOL D. L., GIBERT J., GRIEBLER C., GUNATILAKA A., HAHN H. J., MESSANA G., NOTENBOOM J. et SKET B., 2004, Incorporating ecological perspectives in European groundwater management policy. *Environmental Conservation* 31, 3 : 185-189.

DANIELOPOL D. L., POSPISIL P et ROUCH R., 2000.. Biodiversity in groundwater : a large-scale view. *Trends in Ecology and Evolutions*, 15(6):223–224, 2000.

DANIELOPOL D.L., GREIBLER C., GUNATILAKA A. et NOTENBOOM J., 2003. Present state and future prospects for groundwater ecosystems. *Environmental Conservation* 3D: 104-130.

DANIELOPOL D.L., GRIEBLER C., GUNATILAKA A. et NOTEMBOOM J., 2003.

DECU ,V et RACOVITZA,G. 1994. Roumanie. In : Juberthie C. and V. Decu (Eds.), Encyclopaedia Biospeologica I, Société de Biospéologie, Moulis, Bucarest, 779-802.

Delamare D C (1960) Biology of littoral and continental groundwater. Hermann Ed. Paris, 740p.

DELAMARE DEBOUTEVILLE C., 1960. Biologie des eaux souterraines littorales et continentales. Hermann Ed. Paris: 740p

DERWICH E., BENAABIDATE L., ZIAN A., SADKI O., BELGHITY D. (2010). Caractérisation physicochimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec oued Fes. Larhyss journal 08 : 101-112

DJELLOULI R.L ., HAMEL A ., LATRECHET N et MESR. ,2007. Analyse et évaluation des ressources hydriques dans la wilaya de Mascara. Description des nappes P36-38.

DOLE OLIVER M.J. , et CHESSEL D., 1987. Stabilité physique et biologique des milieux

DOLLFUS A., 1982. Isopodes recueillis par M-Armand Viré dans les grottes du Jura. Bull. Mus. Hist. Nat. Paris, 2: 137-138.

DREUX P. (1974). Précis d'écologie. Ed. Presses Univ. France, Coll.«le biologiste»

DTOCH F. , 2001b. Mapping subterranean biodiversity: structure of the database, mapping software (CKMAP), and a report of status for Italy. In: Mapping Subterranean Biodiversity / Cartographie de la biodiversité souterraine, Culver D. C., Deharveng L, Gibert J. et Sasowsky I. D. (Eds.), Proceedings of the International Workshop held, 18-20 March 2001, Laboratoire Souterrain du CNRS, Moulis, Ariège, France, Karst Waters Institute, Special Publication 6, Charles Town, West Virginia, 29-35.édition,Paris.

-E-

EDWARDS F.W., 1923. On some algerian species of Simulium. Archs Inst. Pasteur Alger, 1

EL ADNANI M., AÏT BOUGHROUS A., NEJMEDDINE A. et YACOUBI-KHEBIZA M., 2005. Impact d'une activité minière sur la biodiversité et la qualité des eaux souterraines près de Marrakech (Maroc). Comm. Conférence Internationale "Biodiversité : Sciences et Gouvernance",

EL ADNANI M., AÏT BOUGHROUS A., YACOUBI-KHEBIZA M., EL GHARMALI A., ESBIA M.L., LOUKILI-IDRISSI. et NEJMEDDINE A., 2007. Impact of the mining wastes

on the physicochemical characteristics of water and the structure of the zoocenoses of the wells in the area of Marrakech, Morocco. *Environmental Technology*, 28, 1: 71-82.

EL GHARMALI A., 2005. Impact des résidus miniers et des eaux résiduaires sur la contamination métallique des écosystèmes aquatiques et terrestres de la région de Marrakech, Maroc. Thèse d'État, Université Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, 212p.

EMBERGER L., 1955. Une classification biogéographique des climats. *Rev. Trv. Lab. Bot. Montpellier*, 7, 3-43.

EMBERGER L., 1955. Une classification biogéographique des climats. *Rev. Trv. Lab. Bot. Montpellier*, 7, 3-43.

-F-

FAO, (2003). L'irrigation avec les eaux usées traitées. Manuel d'utilisation. Bureau Régional pour le Proche Orient et l'Afrique du Nord. Caire Egypte : 68 p.

FERREIRA D., 2005. Biodiversité aquatique souterraine de la France: base de données, patrons de distribution et implications en termes de conservation. Thèse. Doc. Univ. Claude Bernard. Lyon I: 230p

FRIEDRICH G., CHAPMAN D., BEIM, A. (1992). The use of biological material, p. 171-238, dans Chapman, D. (éd.), *Water quality assessment : a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*, Chapman & Hall, Melbourne.

FRONTIER, S et al. (2004). *Écosystèmes-structure, fonctionnement, évolution-*. 3e édition. Dunod. France. P 83

FRONTIER, S ET AL. (2008). *Écosystèmes-structure, fonctionnement, évolution-*. 4e édition. Dunod. France

-G-

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.

GAUTHIER H (1928) *Research on the fauna of the continental waters of Algeria and Tunisia*. Impr. Minerva. Alger, 419p, Pl. I-III. Carte 6 H.

GHAMIZI M., 1998. *Les Mollusques des eaux continentales du Maroc : Systématique*,

GHAMIZI M., BODON M., BOULAL M. et GIUSTI F., 1999. *Atebbania bernasconii*, a new genus and species from subterranean waters of the Tiznit plain, Southern Morocco (Gastropoda : Hydrobiidea). The Malacological Soc. of London, J.Moll. Stud., 65: 89-98.

GIBERT J., CULVER D.C., DANIELOPOL D.L. GRIEBLER C., GUNATILAKA A., NOTEMBOOM J. et SKET B., 2004. Groundwater ecosystems: human impact and future management. Aquatic ecosystems: Trends and global prospect. N.V.C. polumin. Cambridge University Press, Cambridge.

GIBERT J., DANIELOPOL D.L. et STANFORD J.A., 1994. Groundwater Ecology. Academic Press, San Diego.

GINET. R. ET DECOU. V., 1977. Initiation à la biologie et à l'écologie souterraine. Delarge,

GOUAIDIA. L. (2008). Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-est algérien. Thèse de doctorat en sciences. Université Badji Mokhtar Annaba. 199 p. HARRAT H. et ACHOUR S. (2010). Pollution physico-chimique des eaux de barrage de la région d'El Tarf, Impact sur la chloration. Larhyss Journal. N° 08 : 47-54.

Gurney R. (1908) A new species of *Cirolana* from a fresh-water spring in the Algerian Sahara. Gustav Fischer Verlag.

-H-

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, 2013. Contribution à la connaissance de la stygofaune d'Algérie. Etude de la faune des puits de la nappe alluviale de la basse Tafna .Thèse. Magistère. Univ. Tlemcen (Algérie)

HAMZAOUI D., 2009- Impact des changements climatiques sur la répartition de la faune Benthique de l'oued Saoura (wilaya de Bechar). Mémoire de Magister, U.S.T.H.B., 80p.

HAOUCHINE S (2011). Research on the faunistics and ecology of macroinvertebrates of Kabylie rivers (Doctoral dissertation, Mouloud Mammeri University).

HENRY J. P. et MAGNIEZ G., 1972. Un Aselle interstitiel de Tunisie: *Proasellus bagradicus*. Annales de Spéléologie 17: 183-193.

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.

-I-

IDBENNACER B., 1990. Recherches écologiques, biogéographiques et démographiques sur la faune aquatique souterraine de la région de Guelmim (Sud-ouest de l'Anti-Atlas marocain).

Issartel J, Renault D, Voituren Y (2007) Metabolic responses to cold in subterranean crustaceans. *Journal of Experimental Biology*, 208:2923–2929, 2007b.

ISSARTEL J., RENAULT D et VOITURNON Y., 2007b. Metabolic responses to cold in subterranean crustaceans. *Journal of Experimental Biology*, 208:2923–2929, 2007b.

-J-

JANSSENS DE BSTHOVEN L., GERHARDT A. et SOARES A.M.V.M., 2005. Chironomidae larvae as bioindicators of an acid mine drainage in Portugal. *Hydrobiol.*, 532: 181-191.

JUBERTHIE C. et DECOU V., 1994. *Encyclopaedia Biospeologica*. Société de Biospéléologie, Moulis-Bucarest, 1: 834p.

JUBERTHIE C. et DECU V. (Eds.) 2001. *Encyclopaedia Biospeologica*. Société de Biospéléologie, Moulis – Bucarest, n° 3, p. 1374-2294.

JUBERTHIE C. et GINET R., 1994. France. In : Juberthie C. et V. Decu (Eds.), *Encyclopaedia Biospeologica I*, Société de Biospéologie, Moulis-Bucarest, n° 1, p. 665-692.

JUBERTHIE C., 2000. The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world. (Eds). *Subterranean Ecosystems*, Elsevier: 17–39.

JUBERTHIE. C. ET DECU.V., 1994b. Structure et diversité du monde souterrain : particularités des habitats et adaptations des espèces. Dans JuberthieC et DecuV, éditeurs, *Encyclopaedia Biospeologica*, volume 1. Société de Biospéologie.p. l'exutoire principal. *Annales de spéléologie*, 23, 1: 5-168.

-K-

KHERCHICHE, A ET BOUZIDI, A. (2013). Impact de pollution agricole et urbaine sur la qualité des eaux de hammam Debagh- Guelma, mémoire de Master : environnement,

-L-

L'VORICH M.I., 1974. World water resources and their future. Myst'P.H. Moscow: 125 p.

LAFONT M., DURBEC A. et ILLE C., 1992. Oligochaete worms as biological descriptors of the interactions between surface and groundwater: a first synthesis. *Regulated Rivers*, 7: 65-73. LEGENDRE L. & LEGENDRE P., 1979. *Ecologie numérique. Le traitement multiple des données écologiques*. 2ème Edition Masson, Paris : 206 p.

LAFONT M., DURBEC A. ET ILLE C., 1992. Oligochaete worms as biological descriptors of the interactions between surface and groundwater: a first synthesis. *Regulated Rivers*, 7: 65-73.

LAKHDARI FT (2014) Contribution to the knowledge of the stygofauna of Algeria: Study of the quality of the water and the aquatic fauna of the wells of the region of Mascara (North-West Algeria). Thesis of Magisterium in Ecology - Univ. Tlemcen (Algeria). 107pp.

LESTAGE J.A., 1925. Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères recueillis en Algérie par M.H Guathier et liste des espèces connues actuellement de l'Afrique du Nord. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique Nord*, 16 : 8-18.

LOUNACI A., 2005. Recherche sur la faunistique, l'écologie et la biogeography des macroinvertébrés des cours d'eau de kabylie (Tizi-Ouzou, Algérie). Thèse de doctorat d'état en biologie. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (Algérie). 208p.

-M-

MAHI, 2007. Contribution à l'étude de la faune stygobie de la région de Tlemcen (Nord-ouest Algérien) .Thèse .Magistère . Univ. Tlemcen (Algérie) :127p.

MAHI., 2007. Contribution à l'étude de la faune stygobie de la région de Tlemcen (Nord-Ouest Algérien). Thèse. Magistère. Univ. Tlemcen (Algérie): 127p.

MALARD F, FERREIRA D, DOLÉDEC S, WARD JV (2003) Influence of groundwater upwelling on the distribution of the hyporheos in a headwater river flood plain. *Archiv. Für Hydrobiologie*, 157 (1): 89- 116.

MALARD F. HERVANT., 1999. Oxygen supply and the adaptations of animals in groundwater. *Freshwater Biology*, 41:1-30.

- 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.
- 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.
- MALARD F., GIBERT, J et LAURENT, R. 1997a. L'aquifère de la source du Lez : un réservoir d'eau...et de biodiversité. *Karstologia* 30: 49-54.
- MALARD. F ET HERVANT. F., 1999. Oxygen supply and the adaptations of animals in groundwater. *Freshwater Biology*, 41:1-30.
- MARMONIER. P , VERVIER. P, GIBERT. J ET M-J. DOLE-OLIVIER., 1993. Biodiversity in groundwater. *Trends in Ecology and Evolution*, 8(11):392-395, 1993.
- Marrakech (Maroc): 207p.
- MATOCEC D ET BAKRAN P ,.2002. An overview of the cave and interstitial biota of Croatia. *Natura Croatica* 11: 1-112.
- MERABET S. (2010). Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribuées du barrage réservoir de béni-haroun. Mémoire de magister. Université Mentouri de
- MERZOUG D., KHIARI A., AÏT BOUGHROUS A. et BOUTIN C., 2010. Faune aquatique et qualité de l'eau dans les puits et sources de la région d'Oum-el-Bouaghi (Nord-est algérien). *Hydroécologie appliquée*, 17: 1-22 .
- MESSOULI M (1984) Research stygobian fauna from the sources of the Marrakech region. *Memory of DEA, University of Marrakech*, 1-35.
- MESSOULI M (1988) The underground Amphipod Crustaceans of the Metacrangonyx Group: Distribution, systematic and phylogeny. Ph.D. thesis, Cadi Ayyad University, Fac. Sci. Semlalia Marrakech, 220p.
- MESTROVM., 1962. Un nouveau milieu aquatique souterrain : le milieu hypothelminorhéique. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 254, 14: 2677-2679.
- MOISAN. J., 2010. Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec. Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds. Direction du suivi de

l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'environnement et des parcs.

Monod T (1924) On some new freshwater Asellidae from West North Africa. Bull. Soc. Hist. nat. Afrique du Nord, 15, 327-336.

MONOD TH., 1924. Sur quelques Asellides nouveaux des eaux douces de l'Afrique du Nord. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique Nord 15: 327-336.

MOUBAYED Z (1986). Recherches sur la faunistique, l'écologie et la zoogéographie de trois réseaux hydrographique, du Liban, l'Assi, le litani et le beyrouth. thèse de doctorat en science, univ. paul sabatier. toulouse. 496p.

-N-

NICHOLAS.B G. 1960. Checklist of macroscopic troglobitic organisms of the United States. American Midland Naturalist, 64: 123-160.

Nourrisson M (1956) Comparative and Critical Morphological Study of Typhlocirolana (Crustaceans isopods Cirolanides) from Morocco and Algeria. Bull. Soc. Sci. Nat. Phys. Maroc, 36: 103-124.

NOURRISSON M., 1956. Etude morphologique comparative et critique des Typhlocirolana (Crustacés isopodes Cirolanides) du Maroc et de l'Algérie. Bull. Soc. Sci. Nat. Phys. Maroc, 36 : 103-124.

-O-

ONS (Office National Des Statistiques)

ORGHIDAN T., 1955. Un non doumeniu de viata acvatica subterrana : "Biotopul hiporheic". Bull. Sec. Biologie si sti. Agronon., si sect. Géol. Géologia. Acad., 7, 3: 657-676.

OUIS S, 2012. Impact des fluctuations climatiques sur et la qualité des eaux souterraines d'une région semi-aride cas la plaine de Ghriss (Nord-Ouest Algérienne). Contexte hydrochimique 128.

-P-

PAUW. ET VANHOOREN. (1983). Cité par Touzin D. (2008). Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec. 41p.

PECK, S. B. 1998. A summary of diversity and distribution of the obligate cave- inhabiting faunas of the United States and Canada. *Journal of Cave and Karst Studies* 60(1): 18-26.

PESCE G. L. et TETE P., 1978. Microparasellides d'Algérie (Crustacea: Isopoda). *Rev. Zool. Afr.*, 92 (4): 992-1001.

PESCE G. L., TETE P. et DE SIMONE M., 1981. Ricerche faunistiche in acque sotterranee freatiche del Maghreb (Tunisia, Algeria, Morocco) et dell'Egitto. *Natur. Soc. Ital. Sc. Nat. Museo civ. Stor. Nat. E Acquario civ. Milano*, 72, (1-2): 63-98.

PESCE GL (1981). The groundwater fauna of Italy: a synthesis. *Stygologia* 1(2): 129-159.

PLAFKIN J.L., BARBOUR M.T., PORTER K.D., GROSS S.K., HUGHES R.M. (1989). Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers : benthic macroinvertebrates and fish, first edition. Office of water, US Environmental PA, Washington DC.

-R-

RACOVITZA E. G., 1912. Cirolanides (première série). *Biospeologica* 27. *Archives de zoologie expérimentale et générale*, 10: 203-329.

Racovitza EG (1912) Cirolanides (first series). *Experimental Zoology Archives and General*, 5th Series, 10, 203-329.

RAMADE F. 2003. *Element d'écologie: Ecologie fondamentale*. 3ème edition. Dunod. Paris: 190 p.

RAMADE F.(1984).élément d'écologie fondamentale.3eme editions.Dunod. Paris:190 p.

RAMADE. F. (2002), élément d'écologie, 3emeé édition, Masson, Paris, 432p.

RAMADE. F. (2003), *Dictionnaire encyclopédique de l'Ecologie et des Sciences de L'Environnement*, 2ème édition, Dunod, Paris, 1075 p.

régions arides du Maroc: le Tafilalet et la région de Marrakech. Thèse. Doc. Fac. Sc. Univ.

RODIER. J., 1984. *L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer*.

RODIER. J., 1996. *L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer*. 8èédition, Dunod, 1330p.

RODIER. J., 2009. *L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer*. 9èédition, Dunod, 1526p.

ROUCH R. et DANIELOPOL D.L., 1987. L'origine de la faune aquatique souterraine, entre le paradigme du refuge et le modèle de la colonisation active. *Stygologia*, n° 3: 345-372.

ROUCH R., 1970. Le système karstique du Baget I. le phénomène d'hémorragie au niveau 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.

ROUCH R., et DANIELOPOL 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.

-S-

SEURAT (L.G.). 1934. Etudes zoologiques sur le Sahara Central. Mission du Hoggar III (Fév-Mai 1928). Mem. SA, Hadjadj et Moghrar (Wilaya de Naâma). Mémoire de Magister, USTHB, 117p

STOCH. 1995. The ecological and historical determinants of crustacean diversity in groundwaters, or : why are there so many species , *Mémoires de Biospécologie*, 23:139–160, 1995.

SULLIVAN, P.J., 1982- Dilution of municipal Landfill Leachate. Franklin County. Indiana. *J. of Environ. Health*. V, (44): 253-257.

-T-

TACHET M., BOURNAUD M. et RICHOUX P., 1980. Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces (systématique élémentaire et aperçu écologique). Univ. Lyon 1. 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 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.

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.

The first *Microcharon* (Crustacées Isopodes ,*Microparasellidae*) from the Moroccan North

THIOULOUSE J., CHESSEL D., DOLEDEC S. & OLIVIER J.M., 1997. ADE.4: A multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and computing*, 7: 75 – 83.

THOMAS A.G.B ;(1881).Travaux sur la taxonomie, la biologie et l'écologie d'insectes torrenticoles du Sud-Ouest de la France (Ephéméroptères et Diptères : Dixidae. 17p.

-V-

VAILLANT F., 1955. Recherches sur la faune madicole de France, de Corse et d'Afrique du Nord. Thèse Doctorat, Université de Paris (Zool), 11 : 258p.

-W-

WARD J.V., 1998. Riverine landscapes: biodiversity patterns, disturbance regimes and aquatic conservation. *Biological conservation*, 83 (3): 269-278.

-Y-

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^{ème} cycle, Université Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia Marrakech. 246p

YASRI N., 2009. Diversité, écologie et biogéographie des macroinvertébrés de quelques affluents du Mazafran. Mémoire de Magister, USTHB, 96p.

-Z-

ZERGUINE K., SAMRAOUI B. & ROSSARO B., 2009. A survey of chironomids from seasonal ponds of Numidie, Northeastern Algeria. *bioll. Zool. Agr. Bachic. Ser. II*, 41 (3): 167 – 174.

ZOUGGAGHE F. et al. QUALITE BIOLOGIQUE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA SOUMMAM *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, N°17, Mars 2014, Pp. 21-33

Annexe 1 : Mode opératoire des analyses.

1. Dosage des chlorures (Méthode de Mohr)

• Principe

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

• Réactifs

Acide nitrique pur.

Carbonate de calcium pur.

Solution de chromate de potassium à 10 %.

Solution de nitrate d'argent 0,1 N.

• Mode opératoire

- Introduire 100 ml d'eau à analyser, préalablement filtrée, dans une fiole conique de 250ml. Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de chaux .

- Ajouter 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 %.

- Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes.

Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent 0,1 N utilisés.

• Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 100 ml :

$V \times 10 \times 3,55$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de Cl^- par litre d'eau.

$V \times 10 \times 5,85$ donne la teneur en chlorures exprimée en milligrammes de NaCl par litre.

2. Dosage du calcium (Méthode titrimétrique à l'EDTA)

• Principe

Toutefois, comme le dosage se fait à un pH élevé, le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'intervient pas. Par ailleurs, l'indicateur choisi, Murexide, ne se combine qu'avec le calcium pour former un complexe rouge.

• Réactifs

Solution d'EDTA 0,02 N.

Dissoudre 3,721 g de sel disodique de l'acide éthylène-diamine tétracétique (cristallisé 2H₂O) dans un litre d'eau déionisée. 1 mL d'EDTA 0,02 N correspond à 0,4008 mg de calcium, soit 1 mg de carbonate de calcium. À conserver dans des flacons en polyéthylène.

Solution d'hydroxyde de sodium 2 N.

Indicateur : Murexide.

• Mode opératoire

Dans une fiole conique de 250 ml, introduire successivement : eau à analyser 50 ml et indicateur 0,2 g environ. Titrer avec l'EDTA jusqu'au virage violet. Soit V le nombre de millilitres versés. Effectuer le dosage une deuxième fois. Prendre la moyenne des deux résultats. Soit V le volume ainsi déterminé.

• Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 50 ml, la teneur en calcium est égale à

$$\text{Ca (mg/L)} = (V \times f \times 0,4008 \times 1\ 000) / 50$$

La teneur en carbonate de calcium est égale à

$$\text{CaCO}_3 \text{ (mg/L)} = (V \times f \times 1000) / 50$$

3. Dosage de Sulfate (Méthode néphélométrique)

- **Principe**

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 ou de polyvinyl-pyrrolidone.

Les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre.

- **Réactifs**

Solution d'acide chlorhydrique au 1/10.

Solution de Tween 20 à 25 %.

Solution de chlorure de baryum stabilisée :

Chlorure de baryum ($\text{BaCl}_2, 2 \text{H}_2\text{O}$) 10 g

Solution de Tween 20 [polyoxyéthylène (20) sorbitan monolaurate ou 5 ml de solution de polyvinyl-pyrrolidone 20 ml

Eau déionisée q.s.p.100 ml.

- **Mode opératoire**

Introduire 50ml de prise d'essai, ajouter 1ml d'acide chlorhydrique et 5ml de solution de chlorure de baryum, Agiter 2 ou 3 fois énergiquement. Après 15 minutes de repos, agiter à nouveau et faire la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 650 nm. Construire la courbe d'étalonnage.

4. Dureté totale par titrimétrie à l'EDTA

- **Principe**

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylènediamine tétracétique à pH 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

- **Réactifs**

Solution de noir ériochrome T à 0,5 % : 0,5 g sel de sodium de l'acide [(hydroxy-1-naphtylazo-2) nitro-6-naphtol-2-sulfonique-4)]

triéthanolamine q.s.p. 100 ml.

Solution tampon pH 10 :

67,5 g chlorure d'ammonium (NH₄Cl)

570 ml d'ammoniaque (d= 0,925)

5 g sel disodique de magnésium de l'EDTA (C₁₀H₁₂N₂O₈Na₂Mg)

1 L eau déionisée q.s.p.

Conserver la solution en flacon de polyéthylène.

Vérifier le pH qui doit être égal à 10 sur une dilution au 1/10 de la solution avec de l'eau déionisée.

- **Solution d'EDTA :**

- 3,725 g sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique.

- eau déionisée q.s.p 1l.

Conserver la solution en flacon de polyéthylène et vérifier son titre périodiquement à l'aide de la solution étalon de calcium. Prélever 20 mL de solution étalon de calcium, les diluer à 50 mL puis procéder au dosage comme décrit dans le mode opératoire. La concentration de la solution d'EDTA en mol. / l est donnée par l'expression :

$$C = 0.01 \times \frac{V1}{V2}$$

V1= Volume en mL de la solution étalon.

V2= Volume en mL de la solution d'EDTA

- Solution étalon de calcium à 0,4008 g/L :
- 1,001 g carbonate de calcium déshydraté.
- acide chlorhydrique dilué au 1/4 q.s.p.dissoudre.
- quelques gouttes rouge de méthyle .
- ammoniacque diluée au 1/10 q.s.p.virage de l'indicateur.
- eau déionisée q.s.p.l.

Mettre le carbonate de calcium dans un bécher, ajouter 100 ml d'eau puis de l'acide chlorhydrique en quantité juste suffisante pour dissoudre le carbonate de calcium. Ajouter 200 mL d'eau et porter la solution à l'ébullition quelques minutes pour éliminer le CO₂. Après refroidissement, ajouter quelques gouttes de solution de rouge de méthyle puis de la solution d'ammoniacque jusqu'au virage de l'indicateur à l'orange
Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 1 litre, compléter le volume avec de l'eau deionisée.

1 mL de la solution contient 0.4008 mg de calcium

- **Mode opératoire**

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml, ajouter 4 ml de solution tampon et trois gouttes de solution de noir ériochrome T. La solution se colore en rouge foncé ou violet, le pH doit être de 10. En maintenant une agitation, verser la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu. Vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA.

- **Expression des résultats**

La concentration totale en calcium et magnésium, exprimée en milliéquiva-lents par litre, est donnée par l'expression :

$$1\ 000 \times \frac{C \times V_1}{V_2}$$

C= Concentration en milliéquivalents par litre de la solution d'EDTA.

V1= Volume en mL de la solution d'EDTA.

V2= Volume d'échantillon.

5. Dosage de Phosphore :(Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire)

• Principe

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique.

Certaines formes organiques pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des orthophosphates, le développement de la coloration est accélérée par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium.

• Réactifs

Solution d'acide sulfurique ($d = 1,84$) à 15 % environ en volume.

Solution de molybdate d'ammonium à 40 g/L.

Molybdate d'ammonium tétrahydraté 20 g

Eau déionisée q.s.p 500 ml

Filtrer si nécessaire, à conserver en flacon de polyéthylène à 4 °C.

Solution d'acide ascorbique à 20 g/L :

Acide ascorbique 2 g

Eau déionisée q.s.p 100 ml

À préparer chaque jour.

Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium à 2,8 g/l :

Tartrate double d'antimoine et de potassium 0,28 g

Eau déionisée q.s.p 100 ml

• Réactif combiné

- Solution d'acide sulfurique 50 ml

- Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium 5 ml

- Solution de molybdate d'ammonium 15 ml

- Eau déionisée q.s.p 100 ml

- Conserver le réactif au réfrigérateur à 4 °C.

Introduire dans chaque fiole 1 ml de solution d'acide ascorbique, agiter, puis ajouter 4 ml de réactif, mélanger soigneusement, compléter éventuellement le volume à 25 ml. Attendre 30 minutes la stabilisation de la coloration et effectuer les mesures au spectromètre à la longueur d'onde de 700 ou 800 nm en cuve de 1 cm. Construire la courbe d'étalonnage.

- **Mode opératoire**

Introduire 20 ml d'eau dans une fiole jaugée de 25 ml, ajouter 1 ml de solution d'acide ascorbique agiter, puis ajouter 4 ml de réactif, mélanger soigneusement, Attendre 30 minutes la stabilisation de la coloration et effectuer les mesures au spectromètre à la longueur d'onde de 700 ou 800 nm en cuve de 1 cm. Construire la courbe d'étalonnage.

- **Expression des résultats**

La courbe donne la teneur en phosphore, exprimée en milligrammes pour la prise d'essai.

6. L'Ammonium

- **Principe**

Le réactif de Nesler (iodo-mercurate de potassium alcalin) en présence d'ions ammonium est décomposé avec formation d'iodure de dimercuriammonium qui permet le dosage colorimétrique des ions NH_4^+ .

- **Mode opératoire**

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée. Ajouter 2ml de Réactif de Nessler et mélanger. Préparer un témoin à partir d'eau distillée. Laisser repos 10min. Effectuer la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 425nm et tenir compte la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

7. Dosage des Nitrates NO_3^-

- **Principe :**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitro salicylate de sodium. Coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrophotométrique.

- **Réactif :**

Solution de salicylate de sodium à 1% à renouveler toutes les 24 heures.

Acide sulfurique concentré ($d=1,84$)

Solution d'hydroxyde de sodium :

Hydroxyde de sodium.....200g.

Sel di sodique de l'acide éthylène diamine tétracétique.....50g.

Eau permutéeq. s.p 1L.

Solution d'azoture de sodium :

Azoture de sodium (tartrate double de potassium et de sodium)50mg.

Eau permutéeq.s.p 100ml.





- **Mode opératoire :**

Introduire 10 ml d'eau dans une capsule de 60 ml (pour des teneurs en azote nitrique Supérieures à 10 mg/L, opérer une dilution). Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium. Poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage. Préparer de la même façon un témoin avec 10 ml d'eau déionisée. Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm .

Annexe 2 : Matériel utilisé au laboratoire.

Matériel Utilisé	Objectif	Photo
Spectrophotomètre	Mesurer l'absorbance d'une solution homogène à la longueur d'onde donnée ou sur une région spectrale donnée.	
Balance de précision	Balance d'analyse pour toute utilisation basique courante en laboratoire.	
Micropipette	Transférer une solution d'un contenant dans un autre.	

<p>Agitateur magnétique</p>	<p>Un instrument utilisé au laboratoire pour agiter les solutions.</p>	
<p>La verrerie</p>	<p>En particulier dans la chimie et la biologie des laboratoires, verrerie de laboratoire se réfère à une variété d'équipements, traditionnellement en verre, utilisés pour des expériences scientifiques.</p>	
<p>Etuve</p>	<p>Sécher les échantillons (dosage de nitrate).</p>	

<p>La hotte</p>	<p>Système de sécurité.</p>	
<p>Thermomètre</p>	<p>Prise de la température d'eau.</p>	
<p>Multi paramètre portable</p>	<p>Appareil qui permet de mesurer <i>in situ</i> différents paramètres physique (salinité, conductivité, ...).</p>	
<p>Appareil photo numérique</p>	<p>Prise des photos.</p>	

<p>pH-mètre numérique</p>	<p>L'acidité de l'eau</p>	
<p>La loupe binoculaire</p>	<p>Grossissement des spécimens</p>	
<p>Les pinces</p>	<p>Collecte des spécimens</p>	

**Annexe 3 : Journal Officiel du 19 Juin 2011 ; Relatif aux
objectifs de qualité d'eaux superficielles destinées à
l'alimentation en eau potable des populations.**

- ouvrages de dérivation des écoulements de surface ;
- retenues d'eaux superficielles.

Art. 5. — Les prélèvements d'échantillons aux fins de contrôle de conformité sont effectués selon les périodicités minimales suivantes :

- pour les eaux souterraines : deux (2) prélèvements échantillons par an pour chaque point de prélèvement, à raison d'au moins un (1) échantillon par semestre.

- pour les eaux superficielles : quatre (4) échantillons par an pour chaque point de prélèvement, à raison d'au moins un (1) échantillon par trimestre.

Ces périodicités peuvent être augmentées pour tout ou partie des paramètres faisant l'objet d'analyses et, ce, en fonction de la qualité des ressources en eau.

Art. 6. — La liste des points de prélèvement et les modalités de prélèvement d'échantillons sont fixées par arrêté du ministre chargé des ressources en eau.

Art. 7. — Lorsqu' il est constaté un dépassement des valeurs maximales pour tout ou partie des paramètres, l'administration chargée des ressources en eau avise les organismes exploitants concernés aux fins de prendre les mesures adéquates permettant d'assurer la continuité de l'alimentation en eau des populations sans risque pour la santé.

Les modalités d'application du présent article sont fixées par arrêté du ministre chargé des ressources en eau.

Art. 8. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 10 Rajab 1432 correspondant au 12 juin 2011.

Ahmed OUYAHIA.

ANNEXE

Objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau potable des populations

Groupes de paramètres	Paramètres	Unité	Valeur maximale	
			Eaux superficielles	Eaux souterraines
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l Echelle Pt	200	20
	Odeur (taux dilution à 25°)	—	20	3
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Chlorures	mg/l Ci	600	500
	Concentration en ions hydrogène (pH)	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité	µS/cm à 20°C	2800	2800
	Demande biochimique en oxygène (DBO 5)	mg/l O2	7	< 3
	Demande chimique en oxygène (DCO)	mg/l O2	30	—
	Matières en suspension	mg/l	25	25
	Sulfates	mg/l SO4	400	400
	Taux de saturation en oxygène dissous	% O2	30	> 70
	Température	°C	25	25
	Ammonium	mg/l	4	0,5

ANNEXE (suite)

Groupes de paramètres	Paramètres	Unité	Valeur maximale	
			Eaux superficielles	Eaux souterraines
Paramètres chimiques	Baryum	mg/l	1	0,7
	Bore	mg/l	1	1
	Fer dissous	mg/l	1	0,3
	Fluor	mg/l	2	1,5
	Manganèse	mg/l	1	0,05
	Nitrates	mg/l NO3	50	50
	Phosphore	mg/l	10	5
	Arsenic	µg/l	100	10
	Cadmium	µg/l	5	5
	Chrome	µg/l	100	50
	Cuivre	Mg/l	2	0,05
	Cyanures	µg/l	100	50
	Mercuré	µg/l	10	6
	Plomb	µg/l	50	10
	Sélénium	µg/l	50	10
	Zinc	mg/l	5	5
	Hydrocarbures polycycliques aromatiques	µg/l	1	0,2
	Hydrocarbures dissous	µg/l	1000	10
	Phénols	µg/l	2	0,5
	Agents de surface	mg/l	0,5	0,2
Azote Kjeldhal	mg/l	3	1	
Pesticides	µg/l	1	0,5	
Paramètres microbiologiques	Escherichia coli	n/100ml	20.000	20
	Entérocoques	n/100ml	10.000	20
	Salmonelles	—	Absence dans 1000 ml	Absence dans 5000 ml

Résumé

Les recherches écologiques sur la faune aquatique souterraine et plus particulièrement sur celle des nappes phréatiques accessibles au niveau des puits, représente un des aspects de la phréatobiologie appliquée qui a connu depuis la mise au point des méthodes appropriées un développement important.

Au nord est algérien, la faune des eaux souterraines a jamais fait l'objet d'une étude scientifique au niveau de la région du Nord Constantinois.

Le travail proposé s'inscrit dans un contexte global de la faune stygobie d'Algérie et des enjeux de la connaissance de la biodiversité des écosystèmes souterrains.

L'objectif visé est donc de compléter les résultats déjà obtenus dans le nord-ouest d'Algérie, en élargissement le secteur d'étude vers la wilaya de Constantine et ses communes limitrophes pour mieux cerner la région et le secteur d'étude qui est le Nord Constantinois.

Ceci implique la nécessité urgente de la connaissance de la composante taxonomique de ces espèces indicatrices de la qualité de l'eau, de mettre la lumière sur leurs particularités bioécologiques, d'observer leurs modes de vie, et d'étudier l'écologie de chaque espèce suivant son importance numérique et cela via un échantillonnage par la méthode dite du filet phréatobiologique et de la nasse appâtée suivie d'une identification en laboratoire sous loupe binoculaire pour les taxons récoltés.

La période de l'étude s'est étalée de Mars 2015 à Mars 2017 .

Mots clés : Macroinvertébrés, Biodiversité, Qualité physico-chimique, Puits, Phréatobiologie.

Summary

Ecological research on underground aquatic fauna, and more particularly on groundwater accessible at well level, represents one of the aspects of applied phreatobiology that has undergone significant development since the development of appropriate methods.

In the north-east of Algeria, groundwater fauna has never been the subject of a scientific study in the North Constantine region.

The proposed work is part of a global context of the stygoby fauna of Algeria and the challenges of understanding the biodiversity of underground ecosystems.

The objective is therefore to complete the results already obtained in north-west Algeria, by extending the study area to the wilaya of Constantine and its neighbouring municipalities to better define the region and the study area which is North Constantine.

This implies the urgent need to know the taxonomic component of these water quality indicator species, to shed light on their bio-ecological characteristics, to observe their lifestyles, and to study the ecology of each species according to its numerical importance through sampling using the so-called phreatobiological net and baited net method followed by laboratory identification under binocular cutting for the taxa collected.

The study period was from March 2015 to March 2017.

Keywords: Macroinvertebrates, Biodiversity, Physico-chemical quality, Wells, Phreatobiology.