

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 8 Mai 1945 GUELMA

**FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
ET DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS**

DÉPARTEMENT D'ÉCOLOGIE & GENIE DE L'ENVIRONNEMENT



THÈSE :

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de
Doctorat en Sciences Biologiques

**Contribution à l'étude de la qualité biologique et physico-chimique de
l'eau des écosystèmes aquatiques et des puits de la région d'Oum El-
Bouaghi (Hautes plaines de l'Est algérien).**

Présenté par :
Allaoua Noua

Devant le jury

Président:	R.NEDJEH	M.C.A	Université de Guelma
Directeur de thèse:	M. HOUHAMDI	Prof	Université de Guelma
Examineur:	M.A.OUAKID	Prof	Université d'Annaba
Examinatrice:	W. HABBACHI	M.C.A	Université d'Annaba
Examineur:	A.CHAGRA	M.C.A	Université d'Annaba

Année Universitaire 2015/2016

Remerciements

Après avoir rendu grâce à DIEU,

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

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

Je voudrais également exprimer mes vifs remerciements aux membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de participer au jury, en l'occurrence :

Monsieur NEDJAH RIAD maitre de conférences « A » à l'Université de Guelma qui a bien voulu présider le jury. Merci à Monsieur OUAKID MOHAMED ALI professeur à l'université Badji Mokhtar Annaba d'avoir accepté d'examiner ce travail et de participer à mon jury de thèse. Merci aussi à Monsieur CHAGRA ALI maitre de conférences à l'université Badji Mokhtar d'Annaba pour avoir accepté d'évaluer ce modeste travail. Un immense merci à Madame HABBACHI Wafa maitre de conférences à l'université Badji Mokhtar d'Annaba pour avoir accepté d'évaluer ce modeste travail.

J'exprime toute ma reconnaissance à Messieurs : Le Professeur Mr MERZOUG Djemoui Professeur à l'Université d' Oum EL Bouagui, pour ses encouragements et son soutien tout au long de cette thèse, et surtout pour sa disponibilité qu'elle a fait preuve à mon égard et l'attention qu'elle m'a consacrée malgré ses nombreuses obligations. Merci infiniment !

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

Je remercie tout particulièrement Hinda Hafid et Boulahbel Souad pour leurs disponibilités, leur bonne humeur et leurs conseils.

Un grand merci pour Professeur Zébazé Togouet d'Université de Yaoundé, Laboratoire de Biologie Générale, Faculté des Sciences Yaoundé, Cameroun pour ces corrections et ces conseils sans oublier M^{elle} Reggam Asma d'Université de Guelma pour son aide.

Toute ma gratitude va également aux personnes du laboratoire de département de biologie de l'Université d'Oum El Bouaghi, en particulier Soumia, Yasmina Karim, Jalila, Johra et Soumia, ainsi qu'à tous mes collègues pour leur soutien et pour tous les bons moments passés ensemble.

LISTE DE TABLEAUX

N°	Titre de tableau	page
Tableau1	Répartition des volumes des eaux souterraines du Nord du pays (KHALDOUN, L, 2015)	8
Tableau2	Bilan approximatif du nombre d'espèces stygobies connues des sept continents. Les données proviennent de différentes sources (Sket 1999a et 1999b, Stoch 2001b, Culver <i>et al.</i> 2000, Juberthie et Decu 1994 et 2001).	17-18
Tableau3	Caractéristiques morphologiques des stations étudiés dans les deux sous bassins versant d'Oued Marzoug et d'Ank Djamel, D : diamètre en m; P : profondeur en m ; N.P : Profondeur de la nappe (= niveau piézométrique) en m.	31
Tableau4	Caractéristiques morphologiques des stations étudiés dans le sous bassin versant de Garaât Tarf, D : diamètre en m; P : profondeur en m ; N.P : Profondeur de la nappe (= niveau piézométrique) en m.	33
Tableau5	Nombre des familles par groupe Zoologique	43
Tableau 6	Liste des principaux taxons présents dans les prélèvements faunistiques effectués dans dix puits et trois sources étudiés dans les deux sous bassins versant d' Annk Djamel et Oued Merzoug.	49-50
Tableau 7	Liste des principaux taxons présents dans les prélèvements faunistiques effectués dans douze puits étudiés dans le sous bassins versant de Garaât Tarf	59
Tableau 8	Liste des taxons stygobies récoltés dans les eaux souterraines étudiées	80
Tableau 9	Variation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug.	86
Tableau 10	Variation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de sous bassin versant de Garaât Tarf.	98
Tableau 11	Matrice de corrélation entre les variables physico-chimiques des puits et des sources de deux sous bassin versant d' Ank Djamel et Oued Merzoug.	110
Tableau 12	Contribution des principaux caractères physico-chimiques de l'eau des stations de deux sous bassin versant d'Ank Djamel et Oued Merzoug à la formation des deux premiers axes de l'ACP. O ₂ : oxygène dissous ; CE : conductivité électrique ; NO ₃ ⁻ : nitrates ; NO ₂ ⁻ : nitrites ; NH ₄ ⁺ : ammonium ; PO ₄ ³⁻ :Orthophosphates ; SO ₄ ²⁻ : sulfates ; CaCO ₃ Bicarbonates; Ca ₂₊ : calcium ; Mg ²⁺ : magnésium et Cl ⁻ : chlorures	112
Tableau 13	Matrice de corrélation entre les variables physico-chimiques des puits de sous bassin de Garaât Tarf	115
Tableau14	Contribution des principaux caractères physico-chimiques de l'eau des stations de la région d'Oum EL Bouaghi à la formation des deux premiers axes de l'ACP. O ₂ : oxygène dissous ; CE : conductivité électrique ; NO ₃ ⁻ : nitrates ; NO ₂ ⁻ : nitrites ; NH ₄ ⁺ : ammonium ; PO ₄ ³⁻ :Orthophosphates ; SO ₄ ²⁻ : sulfates ; TAC : titre alcalimétrique complet ; Ca ₂₊ : calcium ; Mg ²⁺ : magnésium et Cl ⁻ : chlorures	116

Liste des Figures

N°	Titre de figure	Page
Figure 1	Découpage de l'Algérie en cinq régions hydrographiques	7
Figure 2	Classification écologique des invertébrés souterrains aquatiques (d'après Marmonier <i>et al.</i> 1993)	10
Figure 3	Exemples d'invertébrés souterrains aquatiques. Crustacés Amphipodes: <i>Niphargus virei</i> (taille moyenne 20 mm), photo M.J. Dole-Olivier. Crustacés Copépodes : <i>Graeteriella unisetigera</i> (taille moyenne 0.5 mm), photo T. Datry. Crustacés Ostracodes : <i>Pseudocandona zschokkei</i> (taille moyenne 1 mm), photo P. Marmonier. Crustacés Isopodes : <i>Proasellus cavaticus</i> (taille moyenne 7-8 mm), photo J.P. Henry. Crustacés Syncarides : Parabathynellidae (taille moyenne 1.5 mm), photo T. Lefébure. Vers Oligochètes (taille moyenne 5 mm), photo M. Creuzé des Châtelliers. génétique (Marmonier <i>et al.</i> 1993, Lefébure <i>et al.</i> 2006),	11
Figure 4	Situation géographique de la zone d'étude.	20
Figure 5	Carte géologique de la région d'étude.	22
Figure 6	Schéma du filet phréatobiologique	30
Figure 7	Schéma de la nasse utilisée au cours de ce travail. En haut, vue latérale sur font du puits et en bas vue arrière de l'entonnoir d'entrée.	32
Figure 8	Les trois sous bassins versant de a région d'étude.	34
Figure 9	Situation géographique des stations étudiées dans les deux sous bassins versant Oued Merzoug et Ank Djamel	36
Figure10	Situation géographique des stations étudiées dans e sous bassin versant Garaât Tarf.	37
Figure 11	Familles des Crustacés identifiées au cours de l'étude dans la région d'étude	45
Figure 12	Ordres des Insectes identifiés au cours de l'étude dans la région d'étude	45
Figure 13	Familles des Insectes identifiées au cours de l'étude dans la région d'étude	46
Figure 14	Familles des Mollusques identifiées au cours de l'étude dans la région d'étude	47
Figure 15	: Familles des Annélides identifiées au cours de l'étude dans la région d'étude	47
Figure 16	Structure de la composition faunistique du puits P1	51
Figure 17	Structure de la composition faunistique du puits P2	51
Figure 18	Structure de la composition faunistique du puits P3	52
Figure 19	Structure de la composition faunistique du puits P4	52
Figure 20	Structure de la composition faunistique du puits P5	53
Figure 21	Structure de la composition faunistique du puits P6	54
Figure 22	Structure de la composition faunistique du puits P7	54
Figure 23	Structure de la composition faunistique du puits P8	55
Figure 24	Structure de la composition faunistique du puits P9	55
Figure 25	Structure de la composition faunistique du puits P10	56
Figure 26	Structure de la composition faunistique de la source S1	57
Figure 27	Structure de la composition faunistique de la source S2	57

Figure 28	Structure de la composition faunistique de la source S3	58
Figure 29	Structure de la composition faunistique du puits P11	61
Figure 30	Structure de la composition faunistique Du puits P12	62
Figure 31	Structure de la composition faunistique du puits P13	62
Figure32	Structure de la composition faunistique du puits P14	63
Figure 33	Structure de la composition faunistique du puits P15	64
Figure 34	Structure de la composition faunistique du puits P16	64
Figure 35	Structure de la composition faunistique du puits P17	65
Figure 36	Structure de la composition faunistique du puits P18	66
Figure 37	Structure de la composition faunistique du puits P19	66
Figure 38	Structure de la composition faunistique du puits P20	67
Figure 39	Structure de la composition faunistique du puits P21	67
Figure 40	Structure de la composition faunistique du puits P22	68
Figure41	Nombre total des individus récoltés dans les eaux souterraines étudiées	69
Figure 42	Nombre total des taxons récoltés dans les eaux souterraines étudiées	70
Figure 43	Variation de l'indice de diversité de Shannon dans les eaux souterraines étudiées	71
Figure 44	A : Projections des taxons récoltés au cours de l'étude sur les deux plans premiers axes de l'ACP (axe 1 horizontal et axe 2 vertical). B : Projections des stations (10 puits et trois sources), décrites par leur faune, sur le plan des deux premiers axes factoriels de l'ACP (axe horizontal et axe 2 vertical)	73
Figure 45	A Projections des taxons récoltés au cours de l'étude sur le plan des deux premiers axes de (axe 1 horizontal et axe 2 vertical). B : Projection des puits (11 à 22), décrites par leur faune, sur le plan des deux premiers axes factoriels de l'ACP.	76
Figure 46	Valeurs moyennes (et écarts-types) des températures de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug	87
Figure 47	Valeurs moyennes (et écarts-types) de potentiel Hydrogène de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Ank Djamel et Oued Merzoug.	88
Figure 48	Valeur Valeurs moyennes (et écarts-types) de la conductivité électrique de l'eau des stations étudiés dans les deux sous bassin versant Ank Djamel et Oued Merzoug	89
Figure 49	Valeurs moyennes (et écarts-types) de l'oxygène de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug	90
Figure 50	Valeurs moyennes (et écarts-types) du calcium de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug.	91
Figure 51	Valeurs moyennes (et écarts-types) des magnésiums de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug	92
Figure 52	Valeurs moyennes (et écarts-types) des sulfates de l'eau des stations	93

	étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug	
Figure 53	Valeurs moyennes (et écarts-types) des bicarbonates de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug.	94
Figure 54	Valeurs moyennes (et écarts-types) des chlorures des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug	95
Figure 55	Valeurs moyennes (et écarts-types) des nitrates de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug	96
Figure 56	Valeurs moyennes (et écarts-types) des nitrites de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug.	97
Figure 57	Valeurs moyennes (et écarts-types) d'ammonium de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug.	97
Figure 58	Valeurs moyennes (et écarts-types) des orthophosphates de l'eau des stations dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug.	99
Figure 59	Valeurs moyennes (et écarts-types) des températures de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf	99
Figure 60	Valeurs moyennes (et écarts-types) de potentiel Hydrogène de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf	100
Figure 61	Valeurs moyennes (et écarts-types) de la conductivité électrique de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf	101
Figure 62	Valeurs moyennes (et écarts-types) de l'oxygène de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf	101
Figure 63	Valeurs moyennes (et écarts-types) du calcium de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf	102
Figure 64	Valeurs moyennes (et écarts-types) des magnésiums de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf	102
Figure 65	Valeurs moyennes (et écarts-types) des sulfates de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf	103
Figure 66	Valeurs moyennes (et écarts-types) des bicarbonates de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf	104
Figure 67	Valeurs moyennes (et écarts-types) des chlorures de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf	104
Figure 68	Valeurs moyennes (et écarts-types) des nitrates de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf	105
Figure 69	Valeurs moyennes (et écarts-types) des nitrites de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf	106
Figure 70	Valeurs moyennes (et écarts-types) d'ammonium de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf	106
Figure 71	Valeurs moyennes (et écarts-types) des orthophosphates de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf	107

Figure 72	Bactériologie de l'eau de quelques puits exprimée par le nombre d'UFC) 100 mL. C.T.: Coliformes "totaux"; C.F. Coliformes fécaux; S.T.: Streptocoques totaux.	109
Figure 73	A : Projection des 10 puits et 3 sources de deux sous bassin versant Ank Djamel et Oued Merzoug, tels qu'ils se répartissent en 4 groupes, à la suite de l'ACP; B : Projection des paramètres physico-chimiques analysés dans l'eau des 13 stations étudiées, sur le plan des deux premiers axes factoriels de l'ACP d'une matrice stations/ paramètres physico-chimiques. T° : Température, CE : Conductivité Électrique ; O₂ : Oxygène dissous, NO³⁻ : Nitrates ; NO²⁻ : Nitrites ; NH⁴⁺ : Ammonium ; PO₄³⁻ : Orthophosphates ; SO₄²⁻ : Sulfates ; Ca²⁺ : Calcium ; Cl⁻ : Chlorure	114
Figure 74	A : Projection des 12 puits tels qu'ils se répartissent en 3 groupes, à la suite de l'ACP puits / Caractéristiques physico-chimiques de l'eau 5 et d'une classification hiérarchique des stations ; B : Projection des paramètres physico-chimiques analysés dans l'eau des 14 stations étudiées, sur le plan des deux premiers axes factoriels de l'ACP d'une matrice stations/ paramètres physico-chimiques T° : Température, CE : Conductivité Électrique ; O₂ : Oxygène dissous, NO₃⁻ : Nitrates ; NO₂⁻ : Nitrites ; NH₄⁺ : Ammonium ; PO₄³⁻ : Orthophosphates ; k⁺ : Potassium ; Na⁺ : Sodium ; SO₄²⁻ : Sulfates ; Ca₂₊ : Calcium ; Cl⁻ : Chlorure	118

TABLE DES MATIERES

Dédicace
Remerciements
Liste des tableaux
Liste des figures

Introduction générale.....1

CHAPITRE I: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Les eaux souterraines.....5
I.1. Classification du monde aquatique souterrain5
I.1.1 Terrains perméables en petit5
I.1.2. Terrains perméables en grand6
I.2. Les eaux souterraines en Algérie6
I.2.1. Les eaux souterraines du Nord du pays7
I.2.2. Les eaux souterraines du Sud du pays8
II. Ecologie des eaux souterraines8
II.1. Biodiversité des eaux souterraines9
II.1. Les communautés aquatiques souterraines9
II.1.1. Distribution géographique.....12
II.1.1.1. Un niveau élevé d'endémisme13
II.1.1.2. Existence de gradients dans la répartition spatiale de la diversité
stylobie14
II.1.1.3. Une organisation spatiale : les régions biogéographique14
II.1.1.4 Identification des aires de forte diversité15
II.2. Caractéristiques et rôle de la faune aquatique souterraine15
III. Etat des connaissances sur la diversité biologique des eaux souterraines16
III.1. L'inventaire des espèces dans le monde16
III.2. La diversité de la stygofaune en Algérie18

CHAPITRE II: MILIEU D'ETUDE

I. Situation géographique20
II. Données climatiques régionales21
III. Géologie.....21
III.1. Aperçu structural21
III.1.1. La nappe néritique constantinoise22
III.1.2. L'ensemble allochtone Sud -Sétifien.....23
III.1.3. Les formations parautochtones et autochtones Nord.....23
III.2. Aperçu tectonique.....23
III.3. Stratigraphie.....23
III.3.1. Quaternaire24
III.3.1.1. Alluvions actuelles et récentes24
III.3.1.2. Sols de sebkhas24
III.3.1.3. Sols salés anciens24
III.3.1.4. Quaternaire ancien (terre arable, formations de pentes, alluvions anciennes)24
III.3.1.5. Villafranchien probable : croûtes calcaires massives25
III.3.1.6. Moï-pliocène continental : calcaire lacustre, argile
et conglomérat25

III.3.1.7. Miocène: grés, marnes et calcaires gréseux	25
III.3.1.8. Turonien inférieur (marno-calcaires).....	25
III.3.1.9. Campanien (marnes et calcaires)	26
III.3.1.10. Cénomaniens (marnes).....	26
III.3.1.11. Aptien et Maestrichtien supérieur (calcaires).....	26
III.3.1.12. Barrémien (calcaires et dolomies)	26
III.3.1.13. Trias (argiles et marnes bariolées, gypses broyés et glaçon calcaro-dolomitiques).....	26
IV. Ressources en eaux	26
IV.1. Les eaux superficielles.....	26
IV.2. Les eaux souterraines.....	27
IV.3. Hydrologie	28
IV.4. Hydrogéologie	28
IV.4.1. Nappe profonde.....	28
IV.4.2. Nappe superficielle	28

CHAPITRE III: MATERIELS ET METHODES

I. Localisation et description des stations	30
II. Échantillonnage du peuplement faunistique	35
II.1. Au niveau des puits	35
II.1.1. Filet phréatobiologie	35
II.1.2. Pièges appâtés	36
II.1.3. Filtration de l'eau pompée	37
II.2. Au niveau des sources.....	37
II.3. Traitement des échantillons.....	38
III. Analyses physico-chimiques de l'eau.....	38
IV. Analyses bactériologiques de l'eau.....	39
IV.1. Coliformes	39
IV.2. Streptocoques fécaux	39
V. Traitement des données	40
V.1. Indices de diversité	40
V.2. Diversité brute ou richesse taxonomique	40
V.3. Abondance relative des espèces	40
V.4. Traitement statistiques des données	41
V.4.1. Analyses en composantes principales	41

CHAPITRE IV: RESULTATS FAUNISTIQUES

Introduction	42
I. Composition de la faune dans différents sous bassins versant	43
I.1. Richesse taxonomique et l'abondance des eaux souterraines étudiées	44
I.1.1. Crustacés	44
I.1.2. Insectes	45
I.1.3. Mollusques.....	47
I.1.4. Annélides	47
I.1.5. Arachnides	48
I.1.6. Plathelminthes.....	48
I.2. Variation des abondances taxonomique des organismes des eaux souterraines étudiées	48

I.2.1.Sous bassins d'Annk Djamel et Oued Merzoug	48
I.2.1.1. Faune des puits	50
I.2.1.2. Faune des sources	56
I.2.2.Sous bassin de Garaât Tarf	59
I.2.2.1. Faune des puits	61
II. Diversité de la faune dans différents sous bassins versant.....	68
II.1. Abondance de la faune	68
II.2.Richesse taxonomique.....	69
II.3.Indice de Shannon	70
III. Résultats des analyses en composante principale de la faune souterraine	71
III.1.Sous bassins d'Annk Djamel et Oued Merzoug.....	71
III.2.Sous bassin de Garaât Tarf.....	74
IV. Composition et distribution de la faune stygobie.....	77
V. Discussion.....	81.

CHAPITRE V:QUALITES DES EAUX SOUTERRAINES

Introduction	85
I. Qualité des eaux souterraines.....	85
I.1. Qualité physicochimiques des eaux souterraines	85
I.1.1.Sous bassin versant d'Ank Djamel et Oued Merzoug.....	85
I.1.1.1.Qualité physique	86
I.1.1.2.Qualité chimique.....	89
I.1.2.Sous bassin de Garaât Tarf	98
I.1.2.1. Qualité physique	98
I.1.2.2. Qualité chimique.....	100
I.2.Qualité bactériologique des eaux souterraines	107
II. Résultats des analyses en composante des eaux souterraines	110
II.1 Sous bassin versant d'Ank Djamel et Oued Merzoug	110
II.1.1. Signification des axes.....	111
II.2. Sous bassin de Garaât Tarf.....	115
II.1.1 .Signification des axes.....	115
III. Discussion.....	119.
Conclusion générale et perspective	123
Références bibliographiques	125
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Annexes	

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une ressource naturelle indispensable à la vie dans tous les écosystèmes (BOSCA, 2002), Elle est rare dans certains endroits, comme les zones arides et semi-aride ou tout simplement d'une qualité médiocre dans d'autre endroits. Par leur circulation souterraine, les eaux phréatiques se chargent, au contact des différents terrains traversés, d'un nombre d'éléments chimiques solubles, Ces éléments d'origine géologique ou anthropique ; elles sont capables de changer la qualité des eaux de la nappe et donc, les caractéristiques de l'écosystème. (AÏT BOUGHROUS, 2007).

De par leur importance, 97 % des eaux continentales `a l'état liquide (CASTANY, 1998), les eaux souterraines constituent un véritable océane continental (DANIELOPOL *et al.*, 2000). Ce milieu cryptique est peuplé par une faune riche et diversifiée (BOTOSANEANU, 1986; JUBERTHIE et DECU 1994, 1998,2001 ; TUEKAM KAYO *et al* ; 2012 et 2013.Cette faune très spécialisée, présente des adaptations morphologiques, physiologiques ou comportementales remarquables (COINEAU ET BOUTIN ,2004).

La mise en place de la faune souterraine souvent ancienne n'a pu se faire qu'à partir d'espèces extérieures venues trouver refuge dans le milieu souterrain au cours d'épisodes peu favorables du fait de modifications géographiques ou climatologiques notables. Les glaciations, les phases pluviales et les variations du niveau de la mer pendant l'époque quaternaire sont ainsi parmi les principales raisons de cette colonisation.

Plusieurs facteurs caractérisent les eaux souterraines et leurs habitats (GINET et DECOU 1977; GIBERT *et al.*, 1994); la production primaire est alors fortement limitée par l'absence de photosynthèse. Les eaux souterraines se caractérisent donc d'abord par leur pauvreté en ressources nutritives et par l'absence de production d'oxygène (MALARD et HERVANT 1999).

D'autre part, leur grand volume et le renouvellement des eaux souterraines confèrent à ces écosystèmes souterrains une grande dynamique dans la stabilité vis-à-vis des systèmes de surface.

L'Algérie et principalement les hautes plaines de l'Est se trouvent dans l'une des régions du monde les plus défavorisées en matière de disponibilité hydrique, les

précipitations réduites (moins de 500 mm mais le plus souvent moins de 300 mm par ans) et une forte évapotranspiration engendre cette rareté en eaux de surface.

A l'exception des points particuliers où existent des « Chotts » ou des « Sebkhah » qui peuvent évidemment abriter une faune aquatique très originale, les hydrobiologistes ne s'intéressent guère à ces régions sèches, alors qu'elles renferment presque toujours des écosystèmes aquatiques souvent peu connus constitués par leurs eaux souterraines, en particulier celles des nappes phréatiques qui sont accessibles au niveau des puits et parfois des sources. Il y a là une réserve de biodiversité trop rarement étudiée et qui mériterait certainement d'être plus prise en compte par la communauté scientifique locale et mondiale, (BOUTIN *et al.*, 2011).

Les recherches écologiques concernant la faune aquatique souterraine et plus particulièrement celle des nappes phréatiques accessibles au niveau des puits et des sources, représentent un des aspects de la phréatobiologie appliquée qui a connue depuis quelques dizaines d'années un développement important dans le monde entier. Ces recherches sur l'écologie des milieux aquatiques hypogés ont fait l'objet de plusieurs synthèses parmi lesquelles il faut citer celles de DELAMARE DEBOUTTEVILLE (1960), COINEAU (1971), BOTOSANEANU (1971, 1986), GIBERT (1986), COINEAU et BOUTIN (1992), GIBERT *et al.*, (1994), JUBERTHIE et DECU (1994, 1998, 2001), WILKENS G. *et al.* (2000), GUNN (2004), CULVER et WHITE (2005).

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

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

(2011). En Tunisie l'étude de la faune aquatique souterraine n'a jamais fait l'objet d'une étude scientifique, contrairement à la faune du Maroc.

En Algérie on ne dispose à ce jour que de très peu de données sur la stygobiologie car seules des investigations ponctuelles et souvent anciennes ont été réalisées par des chercheurs en général européen, de passage en Algérie : RACOVITZA (1912), GAUTHIER (1928), MONOD (1930), NOURRISSON (1956), DELAMARE DEBOUTTEVILLE(1960), puis par PESCE et TETE (1978), PESCE *et al.* (1981) et DUMONT (1981). Des travaux récents ont été entrepris en Algérie par l'équipe de l'Université de Tlemcen (BELAIDI, 2004; BELAIDI *et al.*, 2011) et l'on doit enfin signaler une synthèse sur les faunes souterraines d'Algérie, publiée par DECU *et al.*,(2001), sans oublier les recherches effectuées tout récemment dans l'Est de l'Algérie par MERZOUG *et al.*,(2010) dans la région d'Oum-El Bouaghi et KHALDOUN *et al.* , (2013) dans la région de Khenchela(Sud Est Algérien).

Toutefois l'état des connaissances actuelles sur la diversité des espèces stygobies reste incomplet et limite nos capacités à tester des hypothèses biogéographiques, macroécologiques et macroévolutives. D'autre part la connaissance de la biodiversité des espèces stygobies dans chaque région reste à la base de toutes ces recherches, quelles qu'en soient la finalité.

Ce travail vient, compléter les résultats déjà obtenus par MERZOUG *et al.*, (2010) dans la plaine de Tamlouka (Wilaya de Guelma Nord Est de l'Algérie) qui révèlent d'une part l'état actuel de la qualité de l'eau qui est fréquemment consommée par les populations, et de connaître également la faune stygobie de la région afin de rechercher ensuite une possible corrélation entre la composition des zoocénoses et les caractéristiques de l'eau de ces puits et sources. En élargissant le secteur d'étude à d'autres régions de la wilaya d'Oum El Bouaghi, des plusieurs stations (puits et sources) ont donc été prospectées à l'occasion de plusieurs sorties (en 2013, 2014), en visant dans un premier temps, à dresser une liste aussi complète que possible de la faune stygobie de la région , évaluer la qualité physico-chimique et bactériologiques de l'eau de ces stations et de rechercher ensuite une possible corrélation entre la composition de la zoocénoses et les caractéristiques de l'eau de ces puits comme celle qui a déjà été mise en évidence dans d'autres pays africains comme le Maroc ou le Cameroun. La présente thèse est organisée comme suit :

- le premier chapitre de ce travail une très brève synthèse bibliographique sur le milieu souterrain, les eaux et la faune aquatique souterraine en général ainsi que quelques données concernant l'Algérie en particulier ;

-ensuite un aperçu géographique, géologique, climatologique et hydrogéologique de la zone étudiée a été détaillé dans le deuxième chapitre ;

- les différentes méthodes d'échantillonnage et d'analyses réalisées, soit sur le terrain soit au laboratoire dans le deuxième chapitre seront présentées dans le troisième chapitre
- les résultats et discussion seront présentés en deux chapitres: les résultats faunistique global seront exposés et discutés dans le chapitre quatre et les résultats physico-chimiques et bactériologiques seront abordés dans le cinquième chapitre et on terminera cette thèse par une conclusion et des perspectives.

I. Les eaux souterraines

A l'exception des glaces non directement utilisables, les eaux souterraines constituent le plus grand réservoir d'eau douce mondial renfermant près de 97 % des eaux douces continentales directement mobilisables (GIBERT *et al.* 2002). Composante essentielle du cycle de l'eau (CASTANY 1998) et constituant la dimension verticale des hydrosystèmes fluviaux (AMOROS et PETTS 1993), les eaux souterraines assurent de nombreuses et importantes fonctions hydrologiques (ex. régulation des régimes hydrologiques des cours d'eau) et écologiques (ex. échanges de matière, d'énergie et d'organismes) dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques (GIBERT *et al.*, 1994). Des propriétés de qualité et de protection souvent supérieures à celles des eaux superficielles qui sont généralement plus polluées, les eaux souterraines présentent une importante valeur socioéconomique en tant que ressource naturelle inestimable pour les besoins agricoles et industriels (DANIELOPOL *et al.* 2002, GIBERT *et al.* 2004).

Cependant si la valeur socio-économique des eaux souterraines n'est plus à démontrer, sa valeur biologique est trop souvent ignorée du grand public.

I.1. Classification du monde aquatique souterrain

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

I.1.1. Terrains perméables en petit

Les terrains perméables en petit sont poreux, représentés essentiellement par les sables et les graviers dont les espaces inter granulaires 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 spammons. Il convient d'ajouter à ces différents milieux, le milieu hypothelminorhéique (MESTROV, 1962).

➤ **Nappe phréatique**

DAUBRÉE (1987) 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.

➤ **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 lien avec les eaux souterraines qui coule plus lentement. On peut dire plus simplement qu'il s'agit du sous-écoulement des cours d'eau.

➤ **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.

I.1.2. 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.

I.2. Eaux souterraines en Algérie

En Algérie les nappes phréatiques jouent comme ailleurs un rôle fondamental qui conditionne toute forme de vie et tout développement socioéconomique, agricole et industriel. Les nappes phréatiques sont alimentées par les précipitations grâce à la perméabilité des sols. Si l'on excepte une mince bande côtière à climat méditerranéen où les précipitations peuvent atteindre localement deux mètres près de Collo, l'Algérie est un pays

semi-aride à aride (200 à 400mm) dans lequel les ressources en eau sont généralement faibles et surtout extrêmes irrégulières et localisées.

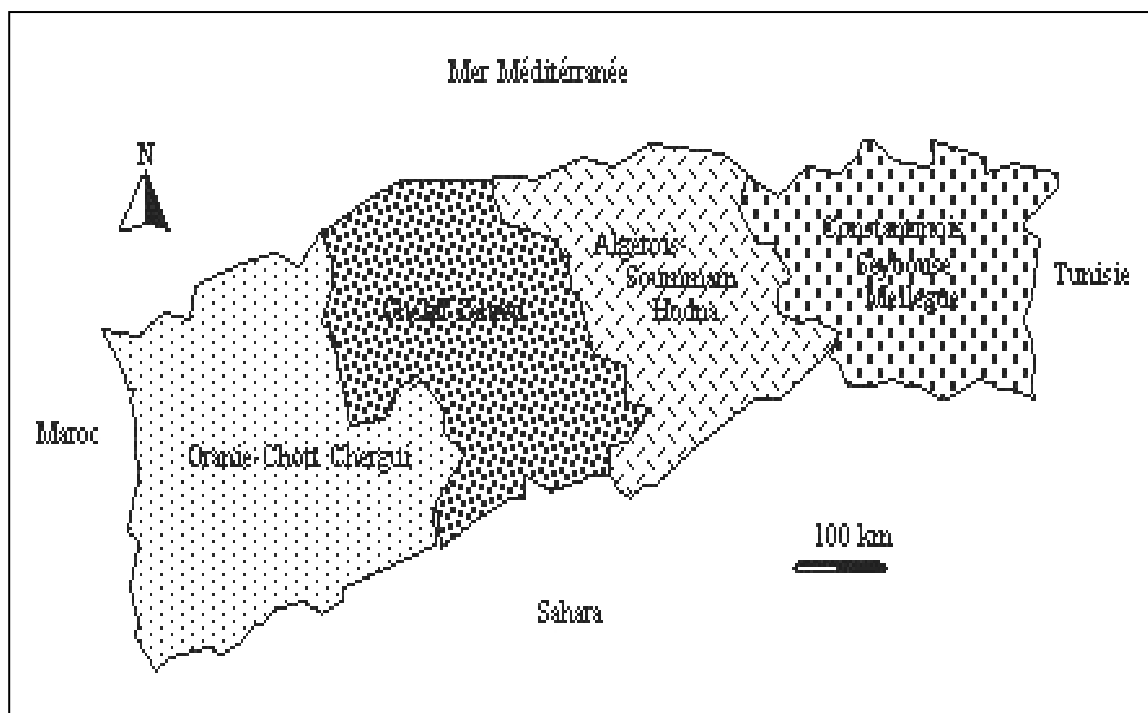


Figure 1 : Découpage de l'Algérie en cinq régions hydrographiques

I.2.1. Eaux souterraines du Nord du pays

Dans le nord du pays, les eaux souterraines sont estimées à 1.9 milliard de m³. Ces ressources qui sont relativement plus faciles à mobiliser sont aujourd'hui exploitées à plus de 90%, beaucoup de nappes sont dans un état de surexploitation critique (Mitidja et autres périmètres urbains, industriels d'irrigation et de tourisme (KHALDOUN L. 2015).

Actuellement, on estime à plus de 12000 forages, 9000 sources et 100000 puits qui sollicitent les nappes pour les besoins de l'agriculture et l'alimentation en eau potable, et industrielle (AEPI), les pompages agricoles restent faibles par rapport à ceux réalisés pour l'industrie. La répartition par région hydrographique des eaux souterraines du nord sont assez irrégulières (tableau 1).

Tableau 1 : Répartition des volumes des eaux souterraines du Nord du pays
(KHALDOUN. L, 2015)

Bassin hydrographique	Oranie Chott Chergui	Chéllif Zahrez	Algérois Soumam Hodna	Constantinois Seybous Mellègue	Total
Ressources potentiel hm ³ /an	375	231	745	289	1379
Total (%)	19.7	12.2	39.2	28.9	100

A l'inverse des ressources en eaux souterraines située dans le sud, les réservoirs du nord du pays sont renouvelables, ils concernent au total 126 nappes principales.

I.2.2. Eaux souterraines du sud du pays

Dans le sud du pays, quelques nappes phréatiques, souvent saumâtres, existent dans les lits d'Oueds tels que les Oueds Ghir, M'ZAB, Saoura, etc. mais l'essentiel du potentiel en eau se trouve dans les nappes du Sahara septentrional. Le renouvellement de ces nappes fossiles ou semi-fossiles n'est assuré qu'à hauteur de 80 millions de m³ environ comme l'albien, et sont très peu utilisées.

II. Ecologie des eaux souterraines

L'obscurité permanente est l'une des caractéristiques fondamentales de l'environnement souterrain, elle détermine le quasi- totalité des paramètres biotiques de cet écosystème. 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. Les flores fongique et bactérienne qui composent le biofilm souterrain représentent une source alternative de nutriment pour les macro-organismes hypogés (MALARD et HERVANT, 1999).

Le renouvellement de l'oxygène dissous dans les eaux souterraines est effectué 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.

II.1. Biodiversité 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 composé d'organismes dont la plupart n'ont pas d'équivalent dans les écosystèmes aquatiques de surface et dont certaines lignées sont anciennes de plusieurs millions d'années (ROUCH et DANIELOPOL 1987, DANIELOPOL *et al.* 2000). Autant dire qu'il s'agit de réels témoins vivants de l'histoire biologique de la planète qui constituent un patrimoine biologique inestimable (ROUCH et DANIELOPOL 1987, MALARD *et al.* 1997).

Le terme de biodiversité ou diversité biologique se décline à tous les niveaux d'organisation des systèmes biologiques, depuis les gènes jusqu'aux écosystèmes. Bien que la diversité biologique des eaux souterraines puisse être appréhendée à différents niveaux hiérarchiques interdépendants qui sont, la diversité génétique, la diversité des espèces, la diversité fonctionnelle et la diversité des écosystèmes (MARMONIER *et al.* 1993), seule la diversité des espèces sera prise en compte pour matérialiser la biodiversité.

II.1.1. Les communautés aquatiques souterraines

De par son étendue, le domaine aquatique souterrain constitue le plus vaste des habitats aquatiques de la planète. Il se fragmente naturellement en une variété de biotopes, distribués essentiellement dans des aquifères karstiques et poreux, mais également fissurés (GIBERT *et al.* 1994, JUBERTHIE 2001). Les données actuelles montrent que tous les types

de biotopes aquatiques souterrains sont colonisés, depuis les zones équatoriales jusqu'aux zones subarctiques, des îles volcaniques aux continents, et des zones littorales aux zones de haute montagne, et ce tant dans les eaux souterraines douces que saumâtres ou marines (BOTOSANEANU 1986, JUBERTHIE et DECU 1994, 1998 et 2001).

Les communautés d'organismes vivant dans les eaux souterraines continentales sont hétérogènes composées en proportion variable, d'organismes provenant des eaux de surface (les épigés) et d'organismes provenant des eaux souterraines (fig.2) (les hypogés, ce terme désignant globalement tout animal vivant sous terre : GINET et DECU 1977). Depuis le début de la biospéléologie (VIRE 1904), plusieurs classifications des organismes souterrains ont été proposées. La classification la plus utilisée aujourd'hui et retenue dans ce travail est celle proposée par THIENEMANN (1925) qui a ensuite été complétée par différents auteurs (WILLIAMS et HYNES 1974, GIBERT *et al.* 1994)

-Les **stygoxènes** correspondent aux espèces typiquement épigées qui n'ont aucune affinité avec le domaine aquatique souterrain mais qui peuvent y être rencontrés accidentellement. Les **stygophiles** correspondent aux espèces épigées qui ont une certaine affinité avec le domaine aquatique souterrain en pouvant y exploiter les ressources et réaliser partiellement ou totalement leur cycle vital. Enfin, les **stygobies** correspondent aux espèces morphologiquement, physiologiquement et/ou éthologiquement adaptées aux eaux souterraines et qui y réalisent la totalité de leur cycle biologique exclusivement dans ce milieu.

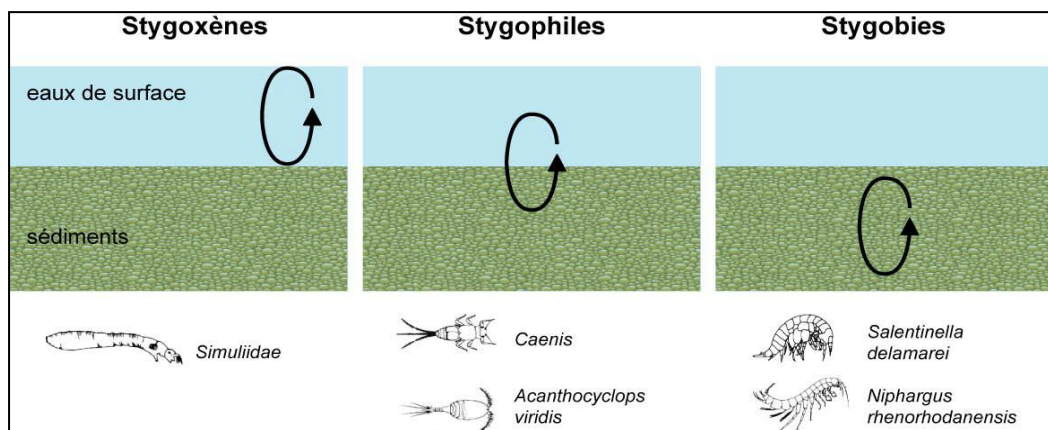


Figure 2:Classification écologique des invertébrés souterrains aquatiques (d'après MARMONIER *et al.* 1993).

Les communautés d'invertébrés présentes dans les couches profondes des aquifères ou les aquifères alimentés essentiellement par infiltration naturelle des eaux de pluie sont principalement composées d'organismes souterrains. Ces derniers appartiennent en majorité au groupe des Crustacés et plus particulièrement aux Malacostracés et Copépodes qui représentent respectivement près de 61 et 23 % des espèces stygobies mondiales de Crustacés (FERREIRA 2005, HOBBS 2000).

En comparaison aux espèces épigées, les organismes souterrains présentent un certain nombre de traits biologiques reflétant leur adaptation à une faible disponibilité des ressources trophiques et une relative stabilité des conditions environnementales. Ces différents traits correspondent à un allongement des cycles de vie, un métabolisme et un taux de reproduction ralentis, une résistance accrue au jeûne et des capacités élevées de détection des sources de nourriture (GIBERT *et al.* 1994, HERVANT *et al.* 1997, HERVANT et RENAULT 2002, GIBERT et DEHARVENG 2002). Ces adaptations nécessitant un investissement important dans l'acquisition et la conservation d'énergie impliquent que ces organismes sont de relativement faibles compétiteurs et présentent une sensibilité importante aux perturbations environnementales (BRUNKE et GONSER 1999, ISSARTEL *et al.* 2005).

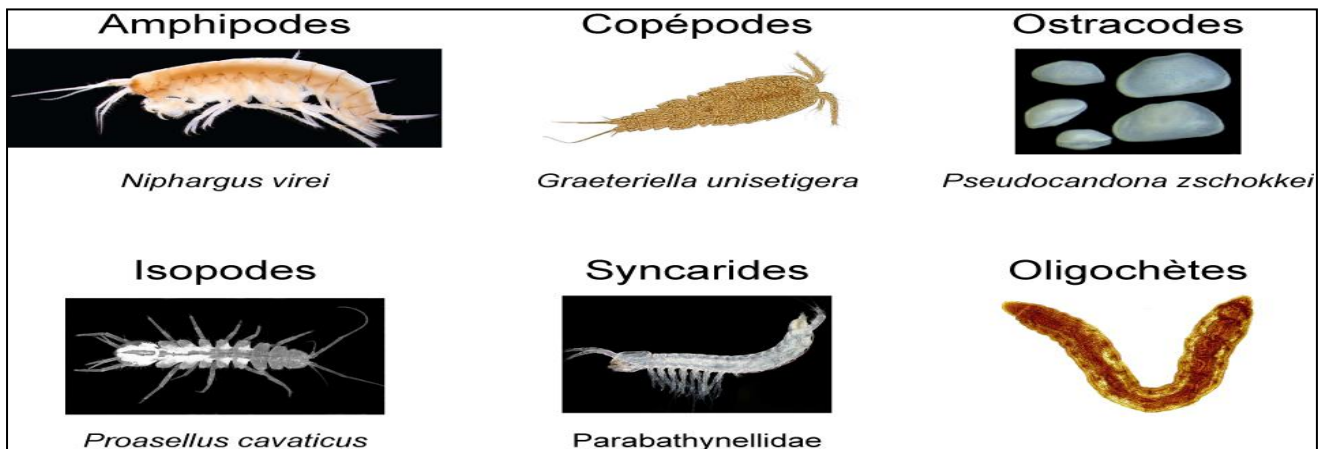


Figure 3: Exemples d'invertébrés souterrains aquatiques. Crustacés Amphipodes: *Niphargusvirei*(taille moyenne 20 mm), photo M.J. Dole-Olivier. Crustacés Copépodes : *Graeteriellaunisetigera*(taille moyenne 0.5 mm), photo T. Datry. Crustacés Ostracodes : *Pseudocandonazschokkei*(taille moyenne 1 mm), photo P. Marmonier. Crustacés Isopodes : *Proaselluscavaticus*(taille moyenne 7-8 mm), photo J.P. Henry. Crustacés Syncarides : Parabathynellidae (taille moyenne 1.5 mm), photo T. Lefébure. Vers Oligochètes (taille moyenne 5 mm), photo M. Creuzé des Châtelliers, génétique (Marmonier *et al.* 1993, Lefébure *et al.* 2006).

II.1.2. Distribution géographique de la stygofaune

L'origine de la stygofaune et des processus qui ont conduit à sa répartition actuelle constituent deux interrogations récurrentes qui intéressent de nombreux écologues des eaux souterraines (ROUCH et DANIELOPOL 1987, BOTOSANEANU et HOLSINGER 1991). Basées sur une approche biogéographique historique, de nombreuses discussions ont ainsi conduit à un certain nombre de modèles conceptuels cherchant à expliquer la distribution géographique actuelle des espèces (STOCK 1980, ROUCH et DANIELOPOL 1987, BOUTIN et COINEAU 1990, NOTENBOOM 1991, BOTOSANEANU et HOLSINGER 1991, STOCH 1995).

L'analyse de la bibliographie consacrée aux travaux d'ordre biogéographique à grande échelle (régionale à mondiale selon les aires de distribution des taxons) montre cependant que les connaissances biogéographiques acquises portent essentiellement, à différents niveaux systématiques, sur les principaux groupes de Crustacés incluant les Amphipodes (STOCK 1980, HOLSINGER 1993 et 1994), les Isopodes (HENRY 1983, HENRY et MAGNIEZ 1992, MAGNIEZ 1981, 1996 et 1997, COINEAU 1994, BOUTIN *et al.* 2002), les Copépodes (GALASSI 2001), les Ostracodes (DANIELOPOL *et al.* 1994), les Décapodes (HOBBS 1994), et les Syncarides (GUIL et CAMACHO 2001, CAMACHO 2003). En revanche, les travaux consacrés aux patrons de distribution spatiaux portant sur l'ensemble des groupes taxonomiques ont fait l'objet de peu de considération et ont majoritairement été réalisés à l'échelle nationale seulement. De plus, ils correspondent à des inventaires biogéographiques descriptifs, classés par unités systématiques et ne constituent pas une analyse de la distribution spatiale de la biodiversité (France : GINET et JUBERTHIE 1987 ; Région des karsts Dinariques : SKET 1994, 2004a et 2004b ; Croatie : MATTOCEC *et al.* 2002 ; Etats-Unis : HOBBS 2004 ; Australie : HUMPHREYS 2004). Des exceptions notables sont les travaux de CULVER *et al.* (1999, 2000 et 2003) consacrés à la répartition régionale ou nationale de l'ensemble de la faune souterraine aquatique et terrestre des Etats-Unis.

En définitive, rares sont les travaux qui se sont attachés à essayer de mettre en évidence des tendances à large échelle dans la distribution spatiale de la diversité biologique des eaux souterraines. Or dans le contexte de la crise de la biodiversité, l'analyse de la

distribution spatiale de la biodiversité globale à large échelle joue aujourd'hui un rôle fondamental, non seulement pour la compréhension des processus qui en sont à l'origine (HEYWOOD et WATSON 1995, MCDOWALL 2004, RICKLEFS 2004), mais également pour le développement de stratégies de conservation (LOURIE et VINCENT 2004, RODRIGUES *et al.* 2004, RICHARDSON 2005, WHITTAKER *et al.* 2005). L'identification d'un réseau global d'aires protégées efficace doit en effet fondamentalement s'appuyer sur une bonne connaissance de la distribution spatiale de la biodiversité (RODRIGUES *et al.* 2004). Les approches centrées sur des efforts localisés sont effectivement actuellement délaissées au profit d'approches plus globales s'appuyant sur les principes scientifiques et les outils méthodologiques de la planification systématique de la conservation (MARGULES et PRESSEY 2000, GROVES *et al.* 2002). Dans une telle planification, les réserves ne sont plus considérées comme des unités indépendantes mais comme des unités d'un réseau fonctionnel global dont le rôle est non seulement de maintenir la diversité biologique mais également de garantir sa conservation à long terme en préservant les processus écologiques et évolutifs qui en sont à l'origine (MARGULES *et al.* 2002, GASTON *et al.* 2002).

II.1.2.1. Un niveau élevé d'endémisme

Quelque soit la variabilité de l'état actuel des connaissances faunistiques, la caractéristique la plus proéminente et communément admise est le niveau élevé d'endémisme globalement observé dans les communautés aquatiques souterraines qui est considéré de loin comme le plus important parmi les communautés biologiques (GIBERT et DEHARVENG 2002). Ainsi SKET (1999) n'estime que 78 % des 396 taxons répertoriés dans la région des karsts Dinariques être endémiques de cette zone. De même, MATOCEC *et al.* (2002) indiquent que 70 % des 170 espèces stygobies recensées en Croatie sont endémiques de ce pays et qu'elles présentent des aires de distribution réduites. Les données disponibles, permettant de caractériser le niveau d'endémisme des espèces stygobies, sont donc exclusivement d'ordre qualitatif puisque généralement basées sur les listes d'occurrences d'espèces pour des régions (SKET 1994, 1999, 2004) ou des grottes (CHRISTMAN *et al.* 2005). L'accès à des données distributionnelles géoréférencées permettrait certainement de mesurer le degré d'endémisme des espèces en quantifiant la taille des aires de distribution géographique des espèces stygobies (GASTON 1991 et 1997).

II.1.2.2 Existence de gradients dans la répartition spatiale de la diversité stygobie

L'un des patterns spatiaux les plus anciens et les plus fondamentaux ayant fait l'objet d'un nombre considérable de travaux est le gradient latitudinal décroissant de la richesse en espèces des tropiques aux pôles. Ce dernier a été mis en évidence pour un grand nombre de groupes d'organismes terrestres, marins et d'eau douce. Cette tendance semble être inversée pour la stygofaune pour laquelle les données accumulées jusqu'à présent soutiennent l'hypothèse d'une richesse en espèces stygobies plus importante dans les zones tempérées que dans les zones tropicales (DEHARVENG et BEDOS 2000, DEHARVENG 2004). Cependant, le manque de données taxonomiques, faunistiques et écologiques dans ces régions, encore largement sous-explorées, limite sévèrement la validité de comparaisons inter-régions (JUBERTHIE et DECU 2001). L'existence d'un gradient décroissant sud-nord de richesse spécifique a en revanche été signalée par GIBERT et CULVER (2004) à l'échelle de l'Europe. Cependant, l'hypothèse d'un tel gradient latitudinal reste encore à tester rigoureusement.

II.1.2.3 Une organisation spatiale : les régions biogéographiques

DEHARVENG (2004) note, que la stygofaune des zones tropicales diffère de celle des zones tempérées par l'apport en espèces de groupes taxonomiques différents, plus que par leur richesse en espèces. Ce constat est globalement souligné par d'autres auteurs pour d'autres zones géographiques (JUBERTHIE et DECU 1994, 2001) mais également pour différents types de biotopes (ex. aquifères karstiques/ poreux) à une échelle plus locale (GIBERT et CULVER 2004). Tout comme de nombreuses tentatives ont été réalisées pour diviser la surface de la Terre en plusieurs régions biogéographiques, un premier essai de la division des eaux souterraines globales en plusieurs zones-provinces-districts biogéographiques a été proposé par BOTOSANEANU (1986) sur la base des connaissances de la distribution spatiale des espèces aquatiques souterraines recensées à cette époque. Neuf grandes zones biogéographiques (approximativement le pourtour méditerranéen, l'Europe centrale et de l'Ouest, la zone Paléarctique, l'Afrique, l'Asie, l'Indonésie et l'Océanie, les Caraïbes, l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud) ont ainsi été identifiées qui correspondent globalement aux 6 grandes régions terrestres connues. Dans ces 9 zones stygogéographiques (BOTOSANEANU 1986) ,82 provinces et 28 districts ont été distingués. Cependant comme le souligne BOTOSANEANU(1986), cet exercice

typologique ne constitue qu'un outil qui doit encore être éprouvé. Cette approche biogéographique descriptive présente en outre un intérêt limité puisqu'en s'intéressant d'abord aux régions plutôt qu'aux faunes, elle ne débouche sur aucune généralisation liée aux processus de différenciation et de mise en place des biotas (BLONDEL 1995).

II.1.2.4. Identification des aires de forte diversité

Enfin, l'identification des aires de forte diversité taxonomique est un exercice typologique qui a reçu une grande attention de la part de la communauté scientifique (MYERS 1988, 1990 et 2003, MYERS *et al.* 2000, GRIFFIN 1999, ROBERTS *et al.* 2002). Concernant la stygofaune, CULVER et SKET (2000) ont par exemple identifié à l'échelle de la planète 20 systèmes karstiques de forte diversité. Mais au-delà de leur diversité exceptionnelle en espèces, ces sites correspondent, comme le soulignent CULVER et SKET (2000), à des sites pour lesquels des listes d'espèces étaient disponibles, suggérant que d'autres sites certainement aussi riches en espèces auraient pu être également considérés comme des "hot spots" de biodiversité souterraine : *We are aware of the fact that a number of caves may be missing from our list because we lack a faunallist.* Bien que s'inscrivant dans le cadre des interrogations actuelles sur les patrons de distribution spatiaux de la biodiversité globale (HAWKSWORTH et KALIN-ARROYO 1995, GASTON 1996 et 2000), les données acquises jusqu'à présent ne fournissent finalement que des éléments d'information d'ordre qualitatif concernant l'existence de grandes tendances dans la distribution spatiale de la diversité biologique des eaux souterraines. Les données acquises sont encore effectivement beaucoup trop fragmentaires pour asseoir la réalité des patrons de distribution spatiaux de la biodiversité des eaux souterraines.

II.2. Caractéristiques et rôle de la faune aquatique souterraine

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

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

II.3 .Etat des connaissances sur la diversité biologique des eaux souterraines

II.3.1.L'inventaire des espèces dans le monde

Le nombre réel d'espèces hypogées terrestres et aquatiques pourrait se situer entre 50000 et 100000 espèces à l'échelle de la planète selon l'estimation de CULVER ET HOLSINGER (1992) dont environ 1/3 serait stygobie. Les connaissances faunistiques dans près de 160 pays distribués sur les 5 continents tableaux. 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 .

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**).

Tableau 2: Bilan approximatif du nombre d'espèces stygobies connues des sept continents. Les données proviennent de différentes sources (Sket 1999a et 1999b, Stoch 2001b, Culver *et al.* 2000, Juberthie et Decu 1994 et 2001).

Continents	Nombre d'espèce stygobies
Europe	2000+
Région des Karts Dinariques	396
Italie	265
France	218
Roumanie	193
Asie	561
Japon	210
Inde, Indonésie, Cambodge, Laos, Thaïlande, Vietnam	160
Proche et Moyen-Orient	129
Turquie	48
Afrique	335
Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie, Lybie, Egypte)	137
Afrique du sud (Afrique du Sud, Namibie, Bostwana, Zambie, Zimbabwe)	43
Madagascar	25
Amérique du Nord	500+
Etas –Unis	300+
Amérique centrale	200+

Amérique du sud	100+
Océanie	226
Australasie (Australie, Nouvelle Zélande, Tasmanie)	170
Mélanésie, Micronésie, Polynésie	56
Antarctique	0

II.3.2. 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 date 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 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) .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, 2007) et à l'Est Algérien ; la région d'Oum El Bouaghi (MERZOUG *et al.* 2010) et la région de Khenchela (KHALDOUN *et al.*, 2013).

MILIEU D'ETUDE

I. Situation géographique

La zone étudiée fait partie des hautes plaines constantinoises de l'Est de l'Algérie (Fig4), Ses coordonnées géographiques sont comprises entre: 35°52'31'' latitude Nord et 07°06'48'' longitude Est. Elle se présente comme un grand ensemble tendu d'Est en Ouest entre deux alignements montagneux du tell au nord et les monts des Aurès au sud.

Elle s'étend d'Est en Ouest sur une longueur de l'ordre de 160 Km et du Nord au sud sur une largeur de l'ordre de 60 Km en totalisant une superficie d'environ 7638,13 Km².

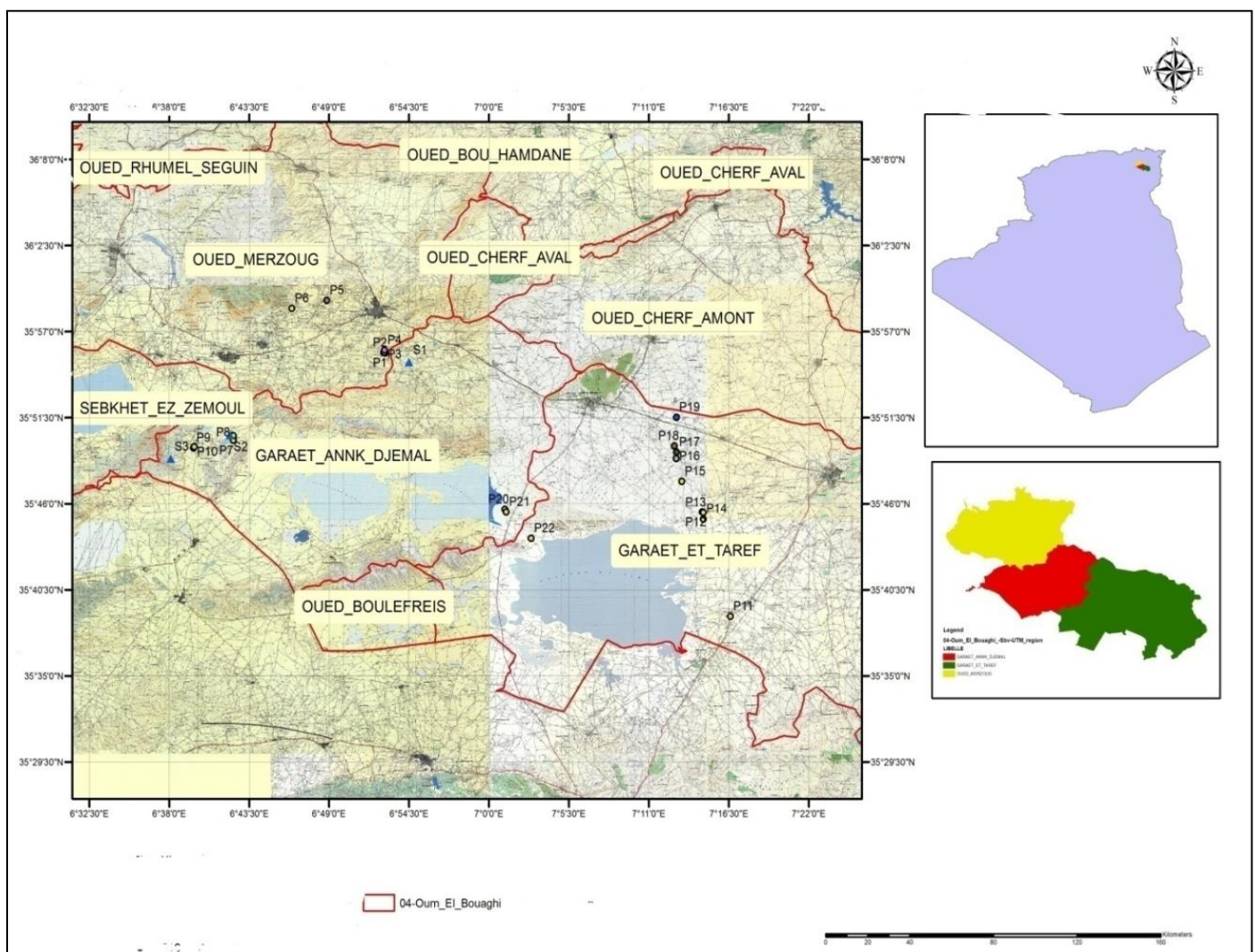


Figure 4 : Situation géographique de la zone d'étude.

II. Données climatiques régionales

Les facteurs climatiques sont intéressants à étudier, dans la mesure où ils déterminent les fluctuations du niveau piézométrique et les variations des concentrations des éléments chimiques dissous dans les eaux de la nappe phréatique. Appartenant à la zone méditerranéenne, située entre les climats tempérés et tropicaux, le climat de la région d'Oum El Bouaghi est caractérisé par une faible pluviosité répartie avec une grande irrégularité dans le temps. Cependant au cours d'une année les précipitations sont également réparties sur l'automne, l'hiver et le printemps, l'été accusant une grande sécheresse.

La pluviométrie annuelle de la zone d'étude est la suivante :

- Régions montagneuses : plus de 500 mm au Nord et de 400 à 500mm dans les bas-piémonts
- Plaines et glacis : de 200 à 400 mm
- Au sud de plaines et glacis (région de chotts et sebkha) moins de 200 mm.

La température moyenne annuelle dans la zone d'étude oscille au voisinage de 15,2°C, tandis qu'elle est au-dessous de cette valeur dans les montagnes. L'humidité dans la zone est plus élevée en hiver (67 à 71 %) qu'en été (33 à 40 %), elle est accentuée par les précipitations et les vents de direction Nord-Ouest et Nord-est.

La méthode d'Emberger modifiée par POUGET (1980) montre un climat aride moyen à hiver frais pour la région d'Ain Babouche, un climat aride supérieur à hiver frais pour les plaines d'Oum El Bouaghi et Ain Kercha et semi-aride à hiver frais pour les monts et la région d'Ain Beida.

III. Géologie

III.1. Aperçu structural

L'examen des cartes géologiques au 1/50000 met en présence trois grands types structuraux qui sont énumérées de haut en bas et du Nord au Sud :

- la nappe néritique constantinoise,
- l'ensemble allochtone Sud Sétifien,
- les formations paraautochtones et autochtones Nord aurésiennes.

III.1.1. La nappe néritique Constantinoise

Elle se développe largement (figure sur les feuilles de Ain M'lila et de Ain Fakroun), et apparaît bien plus loin vers le Nord, le Nord-Ouest et à l'Est. C'est un vaste ensemble chevauchant dont la série est entièrement carbonatée; elle débute au jurassique et atteint le cénomano-turonien sous des faciès très homogènes. Le chevauchement de cette épaisse série ployée, en plus très lourde et fortement fracturée est très spectaculaire au Rokbat El Djemel (feuille de Tadjenanet) et au Djebel Djeffa (feuille Ain Regada). Entre ces deux secteurs forts éloignés cet accident est présent au pied de Djebel Gueriouun (feuille Ain Fakroun), sur la feuille d'Ain Yagout seul l'aptien en série inverse chevauche le miocène de la lame Sud-Sétifienne qui fait une apparition dans la partie Ouest de la zone (Fig. 5).

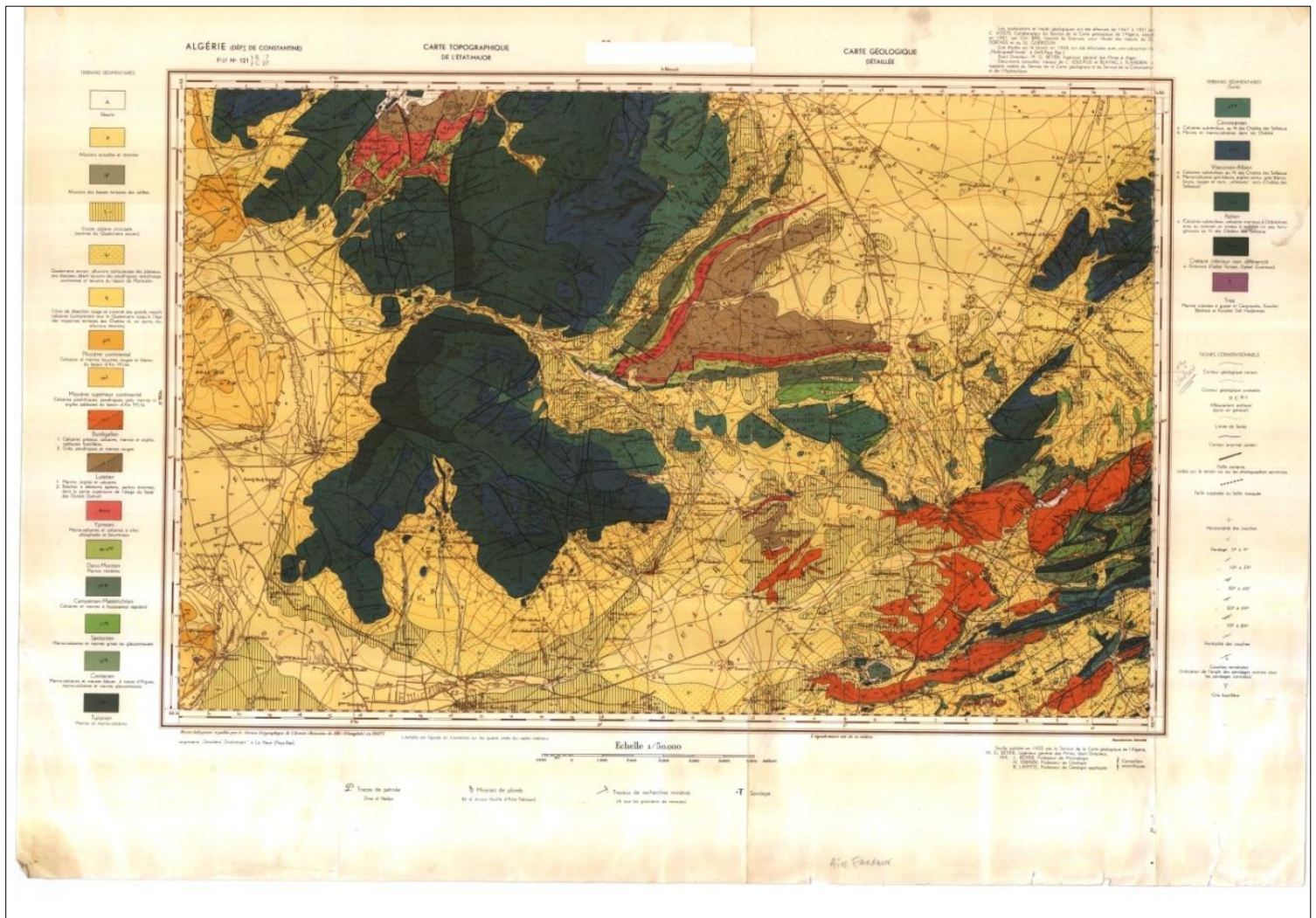


Figure 5 : Carte géologique de la région d'étude

III.1.2. L'ensemble allochtone Sud -Sétifien

Occupe une bonne partie à l'Ouest de la zone notamment dans les feuilles d'Ain Yagout et Bourhzel. Au Djebel Amsid (Nord-Ouest de souk Naâmane), il est écaillé et il flotte sur une lame de trias. Le contact frontal de cette unité n'est pas visible. A quelques dizaines de mètres près, sous le quaternaire le contact serait visible.

III.1.3. Les formations parantochtones et autochtones Nord

Sont des formations fortement tectonisées; au sud de la ligne Djebel Yeddou-Nord Gareat Guellif, la série aurésienne est simplement plissée à grand rayon de courbure, mais qu'elle est plus affectée par de nombreuses cassures analogues à la série la plus au sud composée de djebel Bou Arif, djebel Fedjoudj, djebel Tarf.

Au Nord de cette série l'ensemble djebel Marhsel, djebel Ank Djemal, djebel Ahmer Khaddou, la structure est plus complexe.

III.2. Aperçu tectonique

La région d'étude se situe le long de la bordure septentrionale du géosynclinal de l'atlas saharien, ainsi qu'en témoignent les mouvements relativement plus faibles qui l'ont affectés par rapport aux formations parantochtones et autochtones aurésiennes qui sont fortement tectonisées. Ainsi l'épaisseur des sédiments dans l'Aurès est trois fois plus que dans la zone médiane et septentrionale de la zone.

Les trois phases tectoniques caractéristiques de l'orogénèse alpin, qui ont affecté l'Algérie orientale sont :

- La phase atlasique qui est la véritable phase de tectogenèse,
- La phase d'âge aquitanien,
- La phase alpine plus intense au Nord de la zone d'étude.

III.3. Stratigraphie

L'examen des cartes géologiques au 1/50000 et de la carte lithologie au 1/20000 montrent que l'aspect stratigraphique de la région d'étude se présente sous une forme simple. Les formations simplifiées de la stratigraphie sont:

III.3.1. Quaternaire

III.3.1.1. Alluvions actuelles et récentes

Les alluvions actuelles ou récentes ont une extension limitée à la vallée de l'oued Nini et surtout celle de l'oued Meskiana. Ce sont des limons et graviers. Les débouchés des principaux oueds, tel que oued Boulfréïs et Garaât Et Tarf, forment des véritables daltes de limons gris et des graviers.

III.3.1.2. Sols de sebkhas

Il s'agit de vastes étendues de vases salées ou de sols salés hydromorphes nus de la Garaât El Tarf, Garaât Ghellif, Garaât Ank Djemal, Garaât El Marhsel, Sebkhas Zemoul, du chott Tinnsilt. Quelques sols de sebkha sont observés au milieu de la vallée de l'oued Meskiana. Ces sols régulièrement inondés ne portent aucune végétation, sauf à leur bordure qu'il y eut commencement de colonisation par les végétaux halophiles.

III.3.1.3. Sols salés anciens

Ils forment de vastes étendues plates à végétation caractéristique de salsolacées séparés par des sols nus. Ils correspondent aux sols anciens hydromorphes salés asséchés au fil de temps. Leur mise en culture est délicate, et n'a été que peu entreprise. L'irrigation les rends cultivables localement. Les sols salés anciens sont rencontrés surtout au voisinage des chotts et sebkhas.

III.3.1.4. Quaternaire ancien (terre arable, formations de pentes, alluvions anciennes)

Il correspond aux vastes zones plates cultivables et à faible pentes, recouvertes de limons sombres, sur lesquelles sont installés des sols brus ou marrons. Leur âge est difficile à préciser, il s'agit probablement de Soltanien. Ces alluvions anciennes occupent les vastes plaines de Meskiana, Dalaâ, F'Kirina et oued Nini; leur extension est aussi remarquable à la périphérie des Garaâts.

Ces alluvions anciennes sont souvent rattachées à des glacis polygéniques à faible pentes. C'est la forme de relief la plus caractéristique des hautes plaines constantinoises. Ces glacis très faiblement pentus près des plaines et dont la pente augmente progressivement vers les montagnes. Les montagnes sont recouverts d'un matériel classique faiblement calibré (limons et graviers fins) et très fragmenté vers le bas, devenant plus grossiers au voisinage des piémonts.

En profondeur la croûte calcaire feuilletée est souvent rencontrée, leur âge est attribué au Tensiftien, le raccordement entre les alluvions ancienne des plaines et celles des glacis polygéniques se fait par un nappage d'éléments fins et grossiers, véhiculés par des écoulements en nappe au moment des chutes de pluie de printemps, d'Août et Septembre.

III.3.1.5. Villafranchien probable : croûtes calcaires massives

Les croutes calcaires massives occupent des vastes espaces dans les zones basses. Ces formations, perchées par rapport aux surfaces précédentes, sont très faciles à repérer. En général les croûtes calcaires dans la région d'Oum El Bouaghi sont fragmentées par l'érosion, sous la forme feuilletée, leur localisation est assez étroite avec le substratum calcaire ou cacaro-marneuse

Généralement la croûte calcaire massive se superpose sur une formation calcaire plus tendre (friable) appelée encroûtement calcaire.

III.3.1.6. Moi-pliocène continental : calcaire lacustre, argile et conglomérat

Les formations moi-pliocène se sont surtout développées dans la partie Ouest du périmètre, au sud de djebel Guelaât Ouled Sellam, à l'Ouest de djebel Tarf, au Sud de djebel Oum Kechrid et djebel Guellif, et à l'Est de djebel Guern Ahmer ; il s'agit de conglomérats souvent mal cimentés, d'argiles jaunâtres et grisâtres et d calcaire lacustre blanc ou rose qui remanie essentiellement des niveau calcaireux et gréseux, et repose parfois directement sur le trias.

III.3.1.7. Miocène: grés, marnes et calcaires gréseux

Trois affleurements de cette formation existent au nord de Meskiana (communes de Rahia et Bheir Chergui). Ce sont des calcaires gréseux reposent probablement sur les marnes.

III.3.1.8. Turonien inférieur (marno-calcaires)

Le Turonien marno-calcaire affleure autour du djebel Metloug, El Koudiat Gourine et sur les surfaces de Koudiat Djabria et argoub Bou Cheb. Les marnes beiges ou noires qui se trouvent sur une épaisseur de 70 à 150 m, sont alternées par les calcaires en banc décimétriques de 10 à 12 m d'épaisseur. Souvent les marnes du campanien contiennent des débris calcaires de couleur ocre.

III.3.1.9. Campanien (marnes et calcaires)

Le campanien (marnes et calcaires) affleure sur le versant sud de djebel Bou Tekhma, il est composé d'intercalations marnes et calcaires; les marnes noires à ocre forment une couche d'épaisseur de 70 à 100 m qui contiennent de rares intercalations de calcaires ocres.

III.3.1.10. Cénomanién (marnes)

C'est une série épaisse de 300 à 450 m de marnes grises ou parfois beiges (exceptionnellement), cette formation lithologique est riche en fossiles. A la base du cénomanién, c'est le vraconien (marnes argileuses, noires à rares intercalations de calcaires marneux).

III.3.1.11. Aptien et Maestrichtien supérieur (calcaires)

L'aptien calcaire situé entre l'albien marno-gréseux et la vire marneuse de l'aptien inférieur affleure pratiquement dans toute la zone. L'aptien calcaire est formé des couches qui constituées essentiellement de la masse calcaire avec des épaisseurs variées de 150 à 400 m.

III.3.1.12. Barrémien (calcaires et dolomies)

C'est une formation complexe organisée en grosses barres calcaro-dolomitiques séparées par des zones plus tendres où apparaissent assez mal des intercalations argileuses ou argilo-silteuses les barres présentent des faciès variés de dolomies, de calcaires dolomitiques, et de graveleux oolitiques.

III.3.1.13. Trias (argiles et marnes bariolées, gypses broyés et glaçon calcaro-dolomitiques)

Le trias affleure largement, il présente l'aspect classique dans le constantinois, de masse confuses d'argiles varicolorées, de gypses broyés à lambeaux calcaro-dolomitiques.

IV. Ressources en eaux**IV.1. Les eaux superficielles**

En raison de l'irrégularité du climat due essentiellement au caractère aléatoire des précipitations et l'importance de l'évapotranspiration qui s'avère relativement très élevés, les apports et écoulements qui en découlent sont peu ou pas connus et surtout aléatoires, et sont en outre drainés par un réseau hydrographique peu développé surtout dans la partie Sud

où l'écoulement est pratiquement endoréique car il est dominé par les zones des sebkhas et Garaâts.

Les principaux oueds qui coulent dans la wilaya sont :

- L'oued Meskiana
- L'oued Ain Babouche
- L'oued El Mebdoua
- L'oued Tallizerdane
- L'oued Ain Kercha
- L'oued El Kelab
- L'oued Ouessah

IV.2. Les eaux souterraines

La structure fortement tectonisée a favorisé d'une manière permanente le recyclage des potentialités hydrogéologiques dans la wilaya d'Oum El Bouaghi, néanmoins certains contrastes vont à l'encontre de la qualité des eaux souterraines, voir même de leur dynamique d'Est en Ouest, il peut être décrit ce que suit :

- a- Le bassin d'effondrement, qui s'étend de l'Ouest Djeheiche à la plaine d'Ain Kercha et de Temlouka, possède une nappe phréatique des plus importantes, il est favorisé par une structure propice au captage des eaux infiltrées à travers les deux horts à savoir: fortas et Guerioum, ces derniers jouant un rôle très important au plan hydrogéologique, grâce à leur structure calcaire fissurée, qui alimente les nappes souterraines mitoyennes.
- b- Au sud, à l'Ouest et au Nord d'Ain M'Lila c'est le début de la dalle métrique Constantinoise, elle débute dans la zone d'Ouled Sellam et grâce à sa morphologie concave, elle constitue un piège à ceux qui vient à renforcer les potentialités hydrogéologiques de la zone suscitée.
- c- Plus au Sud dans la région du Chott Tinnsilt et Sebkhet El Zemoul, sur le plan tectonique, il existe un chevauchement qui a permis la formation de poches hydrogéologiques très riches en eau sauf que celles-ci possèdent une certaine teneur en sel dans la laine de Souk Naâmane et Bir Chouhada, car la remontée des sels est très importante.
- d- La région, coincée entre la Chebkat Sellaoua et le Sidi Reghis au centre Nord de la wilaya se trouve au niveau d'un col, elle est relativement bien arrosée ce qui permet une forte infiltration des eaux en profondeur (Ain Babouche). La région centre de la wilaya (zone de garaâts) est très riche en eaux dont le plus importante est celle d'El Tarf, cet

immense bassin reçoit les eaux des Aurès orientaux. La structure de la zone monoclinale, perchée au Sud et bien étendue vers le Nord, a permis un certain artésianisme.

- e- Enfin à l'Est, la seule région favorable au captage des eaux est la plaine centrale de F'Kirina, qui profite des eaux des flancs occidentale de la structure monoclinale des monts de Meskiana, d'ailleurs une grande partie des nappes dans la vallée est alimenté à partir de cette structure tectonisée. En dépit de ces potentialités hydrogéologiques et de la structure favorable à l'emmagasinage des eaux, l'affleurement d'un faciès triassique salé dans beaucoup d'endroits contraste avec la circulation des eaux au niveau de la structure ce qui augmente la teneur en sel dans l'eau.

IV.3. Hydrologie

Du point de vue hydrologique, la zone d'étude est composée de deux grands bassins versants. Il y est bassin versant Nord drainé vers la partie Nord à partir des oueds suivants :

- Oued Settera
- Oued Suinia
- Oued El Melah et oued El Klab (affluent de l'oued Boumerzoug).

Et le bassin versant sud drainé vers les étendus d'eau salée (sebkhet, Ezzemoul, Gaârat Ank Djamel et Gaarat El Tarf). Par plusieurs oueds endoréiques. Il a été calculé que le ruissellement moyen varie entre 5 et 15 % du volume global, des précipitations; à l'occasion d'une averse, ce pourcentage peut atteindre 25 %. 60% de l'apport global calculé ($132,10^6 \text{ m}^3$) est évacué vers le Nord (Constantine-Guelma), la fraction restante drainée vers le sud est récoltée par la sebkha et le chott.

IV.4. Hydrogéologie

IV.4.1 Nappe profonde.

La nappe profonde se trouve entre 40 et 140 m de profondeur dans les formations du Mio-pliocène, entre 70 et 300 m dans les formations de l'aptien supérieur et entre 30 et 130 m dans les formations pliocène-quatenaire. Dans la zone d'étude on distingue uniquement la nappe ascendante.

IV.4.1 Nappe superficielle

L'aquifère dans le bassin de la zone d'étude est constitué par des formations détritiques quaternaires. La nappe se trouve à une profondeur supérieure à 20 m dans la

partie Nord des plaines de la zone et se rapproche de la surface (à moins de 2 m) dans la partie sud.

MATERIELS ET METHODES

I. Localisation et description des stations

A Oum El Bouaghi, plusieurs points d'eau ont été prospectés situés dans trois sous bassins versant (Garaât Tarf, Oued Merzoug et Annk Djamel) (Figure 6). Le choix des stations s'est porté essentiellement sur les puits anciens dont l'eau sert traditionnellement à divers usages agricoles et domestiques, y compris parfois d'eau de boisson, pour la population.

Dans le sous bassin versant de Garaât Tarf, nous n'avons conservé que les résultats de 12 puits (notés P11 à P22 Figure 7). Alors que 10 puits (notés P1 à P10) et trois sources (notées S1 à S3 Figure 8) situés dans les deux autres sous bassin versant (Oued Merzoug et Annk Djamel). Les principaux paramètres de ces stations sont donnés sur les tableaux 3 et 4.

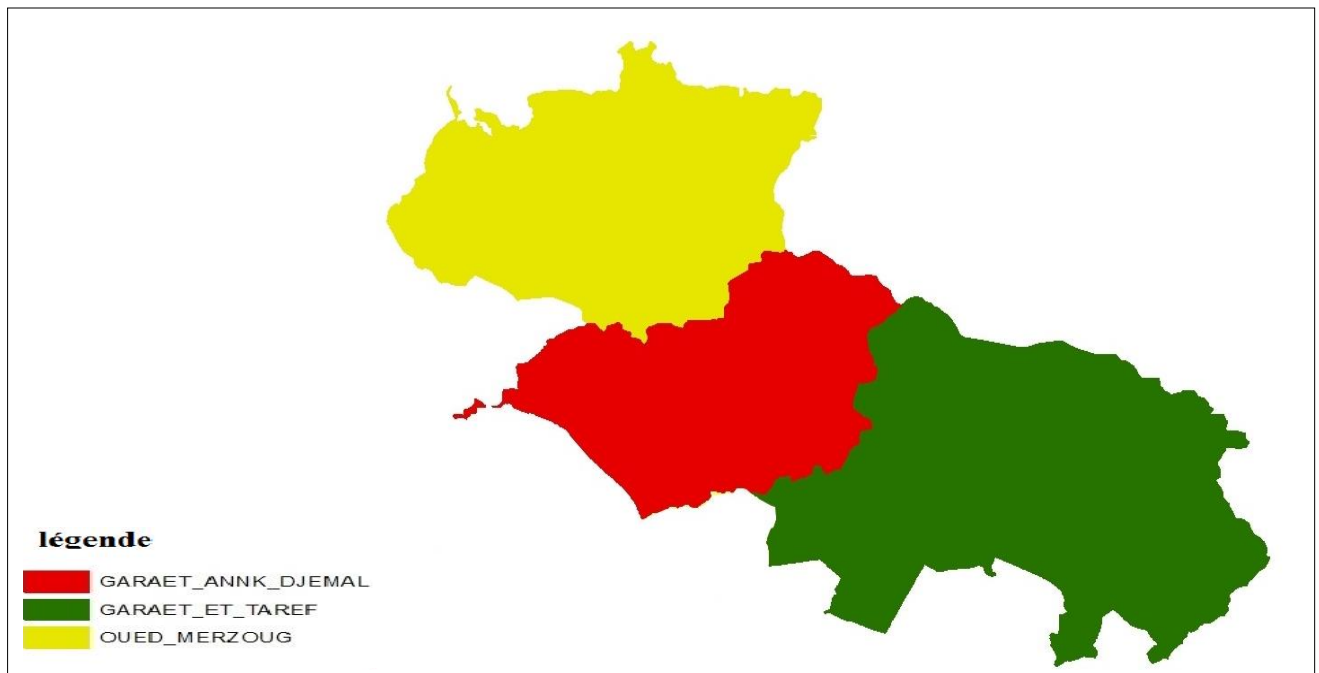


Figure 6: Les trois sous bassins versant de a région d'étude.

Tableau 3 : Caractéristiques morphologiques des stations étudiés dans les deux sous bassins versant d'Oued Marzoug et Annk Djamel, **D** : diamètre en m; **P** : profondeur en m ; **N.P** : Profondeur de la nappe (= niveau piézométrique) en m.

Puits	Cordonnées	D	P	NP	Protection	Utilisation	Environnement
P1	35° 55,38,79N 6° .52, 45,97E	3.50m	4.60m	3.40m	Non protégé	Alimentation poulailler	Creusé près d'oued
P2	35°5548,01'N 6 °52, 48,78'E	3.85m	3.30m	1.50m	Non Protégé	Alimentation de bétails	Creusé de route wilaya.
P3	35°55,37 ,78'N 6° 52m 91 ^E	2.20m	6.70m	6.10m	Protégé	Alimentation de bétails	Creusé près de l'oued et la route wilaya.
P4	6° 52.47,63'N 35° 55.40,02E	3.88m	6.20m	4.50m	Non protégé	Alimentation poulailler	Creusé près de l'oued et la route wilaya.
P5	35°58, 58,55'N 6° 4850,52'E	carré0.75/0.75m	2.10m	L'eau jaillit à l'extérieur	protégé	Alimentation de bétails et boisson	Creusé dans loncerte des pierres romaines
P6	35°58,29,19N 6° 46, 26,29E	3.60m et 1.30m	6.40m	3.40m	protégé	Alimentation de bétails	Près d'un écule et une route.
P7	35°50'2,96 "N 6°42'24,64"E 828m	4	7	5	Protégé	Irrigation	Implanté dans un champ de blé
P8	35°50'2,79"N 6°42'25,38"E 829m	4	9	2	Non protégé	Irrigation	Implanté dans un champ de blé
P9	35°49'33,80" N 6°39'40,23"E 835m	4	21.3	7	Non protégé	Irrigation	Implanté dans un champ de blé
P10	35°49'37,33" N 6°39'43,48"E 843m	3	28	3	protégé	Usage domestique	Implanté dans un champ de blé
S1	35°58 ,58,55'N 6° 48. 50,52E					consommation humaine	Raccordé avec une conduite vers une borne fontaine (abreuvoir).
S2	35°50'23,37" N 6°42'11,09"E 837m					consommation humaine	Au pied d'une montagne
S3	35°48'52,73" N 6°38'6,32"E 914m					consommation humaine	Au pied d'une montagne

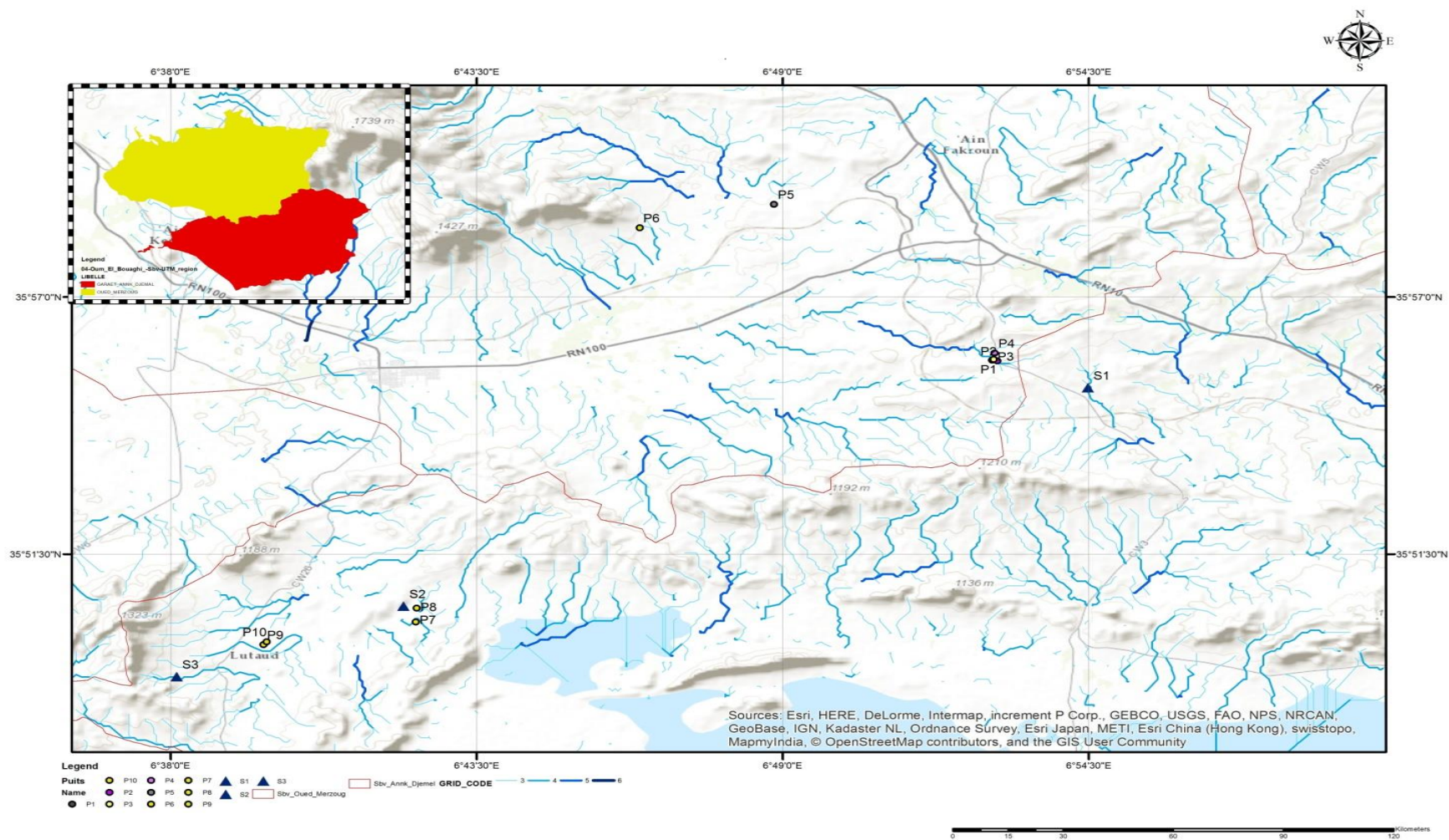


Figure 7 : Situation géographique des stations étudiées dans les deux sous bassin versant, Oued Merzoug et Ank Djamel

Tableau 4 : Caractéristiques morphologiques des stations étudiés dans le sous bassin versant de Garaât Tarf, **D** : diamètre en m; **P** : profondeur en m ; **N.P** : Profondeur de la nappe (= niveau piézométrique) en m.

Puits	Cordonnées	D	P	NP	Protection	Utilisation	Environnement
P11	35°38.793'N 007°16.614'E	2,4	4.5	3	Non protégé	Abandonné	Creusé dans un champ de céréales
P12	35°45.472'N 007 14.667'E	2,2	17.5	15	Protégé	Boisson pour les bétails et irrigation	Ferme
P13	35°45.4264'N 007°14.750 E	2,4	18.5	16,5	Protéger	Boisson et irrigation	Ferme
P14	35°45.014'E 007°13.863'N	1,8	18	16	Bien protégé	Utilisation domestique et irrigation	Ferme
P15	35°47.425' N 007°13.268'E	1,2	5	4	Non protégé	Non utilisé	Creusé dans une zone de pâturage
P16	35°48'52.471 N 007°12'53.413 E	1,4	3.2	2,8	Non protégé	Non utilisé	Creusé près d'un oued
P17	35°49.284'N 007°12.897 ^E	2,0	14	12	Biens protégé	Utilisation domestique et irrigation	Ferme
P18	35°49'40.879 N 007°12'44.927 E	2,5	16	13	Non protégé	Irrigation	Creusé dans un champ de céréales
P19	35°51.505'N 007°12.897'E	1,3	4.5	0,8	Protégé	Non utilisé	Creusé au voisinage des maisons logées
P20	35°45'.635' N 007°01'.100 'E	2,0	10	8	Non protégé	Irrigation	Creusé dans un champ de céréales
P21	35°45'.463'N 007°01.191'E	0,4	2.5	2	Non protégé	Abandonné	Creusé dans une zone de pâturage
P22	35°43.785'N 007°02.903' E	1,5	3	0,5	Non protégé	Abandonné	Creusé dans une de pâturage

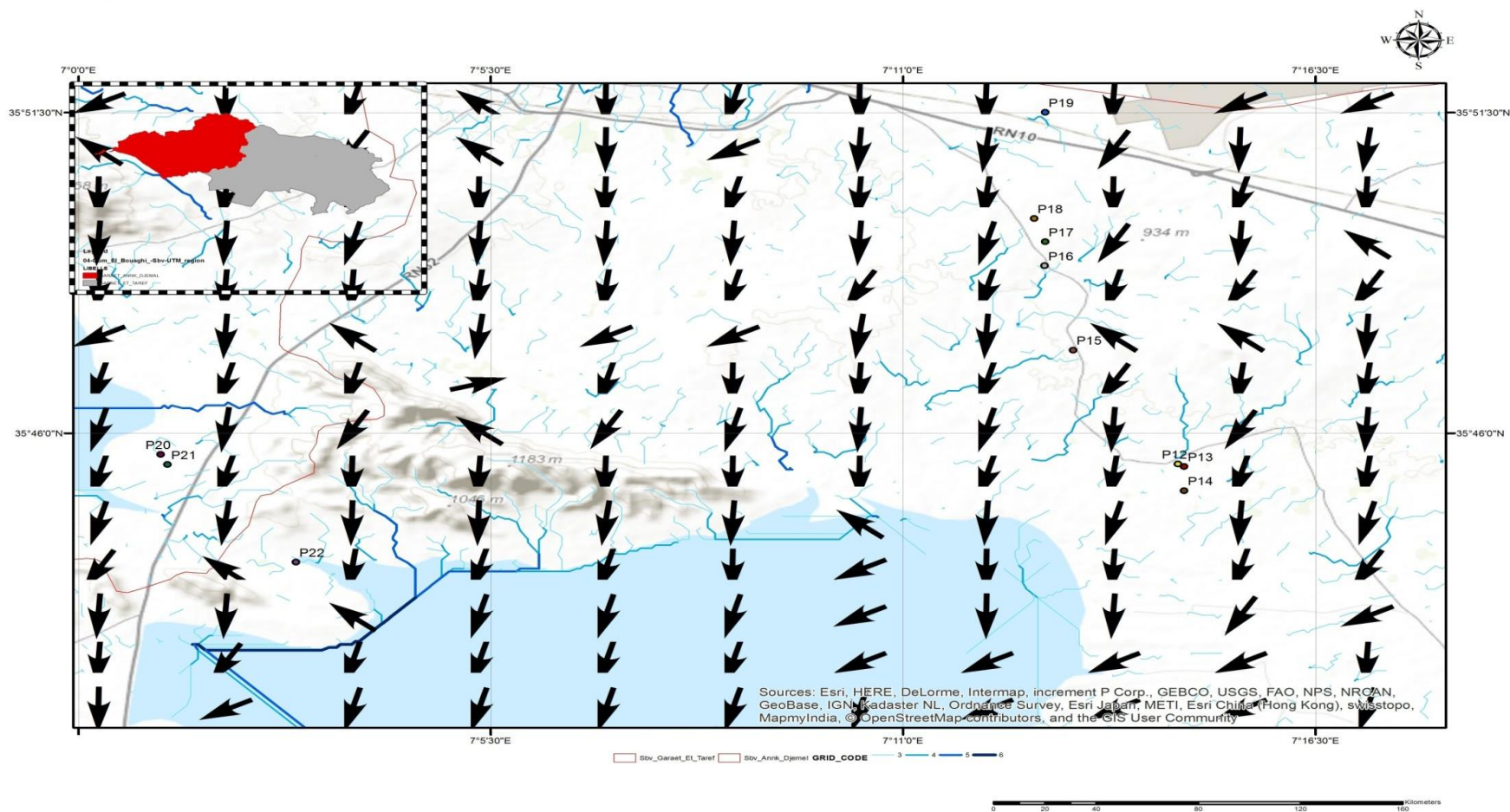


Figure 8: Situation géographique des stations étudiées dans e sous bassin versant Garaât Tarf.

II. Échantillonnage du peuplement faunistique

Les analyses chimiques sont reconnues insuffisantes pour l'évaluation de la qualité des eaux en général. Elles ne fournissent qu'une évaluation instantanée des conditions du milieu. En effet, la pollution peut être causée par plusieurs substances différentes qui ne sont pas totalement analysées ou qui ne sont que de passage dans le milieu étudié. De plus les analyses chimiques des eaux permettent seulement l'identification des contaminants potentiels mais ne peuvent pas confirmer leur effet toxique sur les individus et les populations (SOLDNER et *al.*, 2004). Cependant, les peuplements faunistiques permettent la détermination de l'état de l'écosystème après sa perturbation et mettent en évidence l'effet toxique qui n'est pas facilement détecté par les analyses chimiques (STEWART et *al.*, 2000). La pollution des eaux des écosystèmes aquatiques n'a de significations réelles que si elle a des conséquences sur les peuplements faunistiques (DRAKE et *al.*, 1999).

Les méthodes d'évaluation biologique sont donc utilisées afin de compléter les analyses physicochimiques des eaux. Ces méthodes sont basées soit sur des biotests qui permettent d'évaluer expérimentalement des seuils de toxicité (BOUALLAM et NEJMEDDINE, 2001; BOUTIN et *al.*, 1995), soit sur des suivis de la faune dans son biotope afin de déterminer in situ l'impact des substances toxiques sur les organismes vivants (MALMQUVIST et HOFFSTEN, 1999; JANSSENS et *al.*, 2005). La faune des puits a été prélevée, parallèlement à l'échantillonnage des eaux.

II.1. Au niveau des puits

Les eaux souterraines que nous avons prospectées sont essentiellement des eaux phréatiques interstitielles, accessibles au niveau des sources et des puits. Chaque écosystème est échantillonné par la technique la mieux adaptée.

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

II.1.1. Filet phréatobiologique

Le filet phréatobiologique que nous avons utilisé a été conçu à partir du modèle mis au point d'abord par CVETKOV (1968) puis modifié. Il s'agit d'un cône en toile et nylon fin monté sur un cercle métallique lesté, de 40 cm de diamètre (Fig 5). 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 et 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).

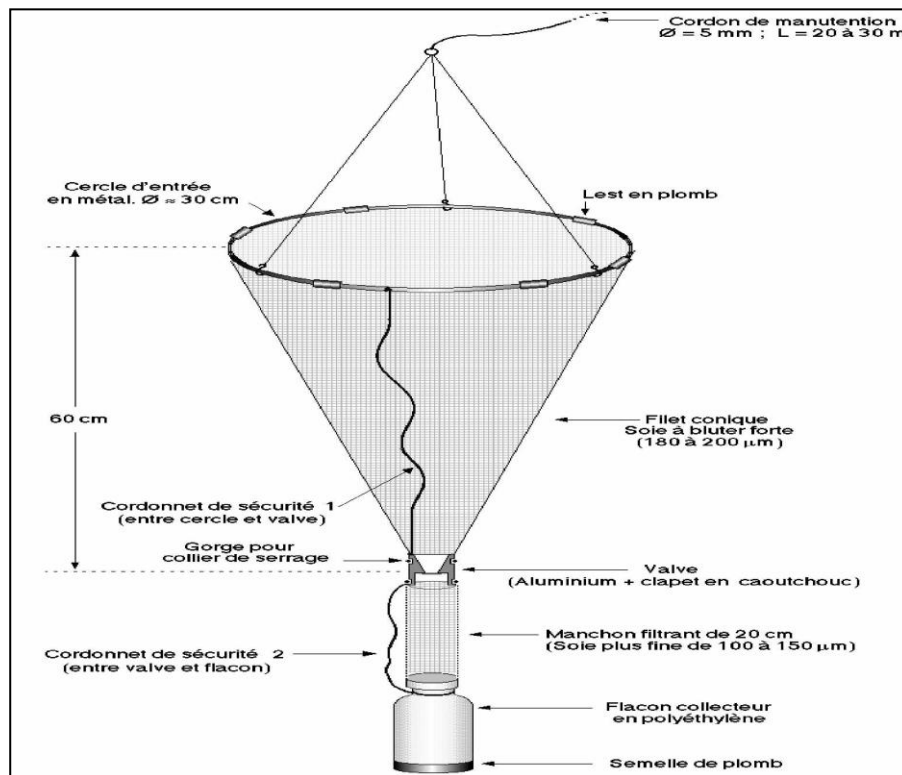


Figure 9 : Schéma du filet phréatobiologique.

I.1.2. 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. Elle est constituée par une bouteille en plastique de 1,5 litre (bouteille à eau minérale), dont le fond a été découpé et remplacé par un entonnoir constituant un goulet qui permet à la faune de pénétrer dans le piège. Le bouchon de la bouteille principale est remplacé par un morceau de soie à bluter qui permet à l'air de sortir de la nasse lors de l'immersion (Figure 6). Le remplissage de la bouteille et sa descente sont facilités par des lests de Plomb. Le piège est appâté par un morceau de viande rouge (BOUTIN ET BOULANOUAR, 1983).

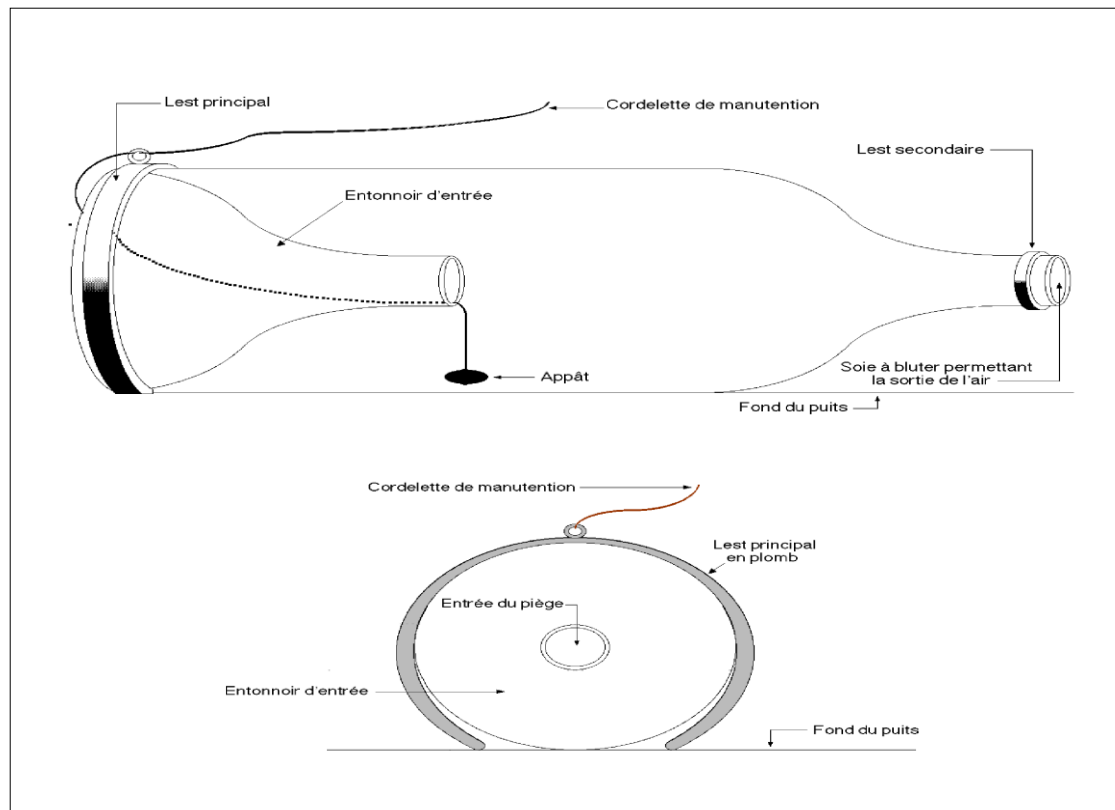


Figure 10: Schéma de la nasse utilisée au cours de ce travail. En haut, vue latérale sur le fond du puits et en bas vue arrière de l'entonnoir d'entrée.

II.1.3. Filtration de l'eau pompée

C'est une méthode efficace mais elle ne peut être utilisée que dans les puits équipés de motopompes. Elle consiste à placer un filet en soie à bluter à la sortie de la canalisation conduisant l'eau pompée. La durée de la filtration est au minimum de 30 min et peut atteindre trois heures dans certains puits (BOUTIN et BOULANOUAR, 1984).

Cette méthode permet parfois la récolte des espèces planctoniques rares, car elle permet de filtrer un volume d'eau important en peu de temps. L'inconvénient est que la faune aspirée par la pompe est parfois endommagée ou broyée (BOULANOUAR, 1986).

II.2. Au niveau des sources

La faune des sources a été récoltée par filtration directe après une agitation manuelle des sédiments à l'amont du filet, cette technique permet la capture des Amphipodes en très bonne état.

II.3. Traitement des échantillons

Les échantillons sont placés dans des bocaux et sont conservés dans du formaldéhyde à 5%. Ensuite, ils sont transportés au laboratoire, où ils sont triés sous une loupe binoculaire. Tous les spécimens ont été triés et dénombrés puis conservés dans de l'alcool à 70% avant d'être identifiés. Les déterminations ont été réalisées en utilisant la clef de détermination des macro-invertébrés aquatiques (TACHET *et al.*, 2000). Les individus sont identifiés jusqu'au niveau de la famille ou à l'ordre en fonction du groupe considéré.

III. Analyses physico-chimiques de l'eau

Des prélèvements mensuels de l'eau ont été effectués dans les puits et les sources pour les caractérisées. Plusieurs facteurs ont été étudiés: quelques uns ont été mesurés sur place alors que d'autres ont été analysés au Laboratoire «Ressources naturelles et Aménagement des milieux sensibles», Université Larbi Ben M'hidi, d'Oum-El-Bouaghi, Algérie.

La température, le pH, la conductivité électrique, et l'oxygène dissous ont été mesurés sur le terrain à l'aide d'un multi paramètre de mesure portable (Tableau 4). L'eau prélevée dans des bouteilles en polyéthylène préalablement rincés avec l'eau échantillonnée est stockée, 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 elle été filtré à travers des filtres à 0,45 µm de porosité pour la détermination des paramètres physico-chimiques selon les méthodes conformément aux normes AFNOR(1983) et aux méthodes préconisées par RODIER (2009) le tableau 4. . La dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) est obtenue par la méthode complexométrique par titrage l'EDTA en présence d'un indicateur coloré (noir ériochrome T à 0,5 %) et dans un milieu tamponné pH = 10. Le calcium est dosé par complexométrie par titrage à l'EDTA en présence d'un indicateur colorée (Murexide) et une solution d'hydroxyde de sodium 2 N. La différence entre la dureté totale et la dureté calcique donne directement la dureté magnésienne de l'eau analysée (Rodier, 2009). Le dosage des bicarbonates est réalisé par titrimétrie, on a fait agir une solution de concentration connue d'acide sulfurique H₂SO₄ sur un volume précis d'échantillons (100 ml) en présence de l'orange de méthyle comme indicateur ; la réaction qui se produit est due à la neutralisation des ions de bicarbonate par les ions H⁺ de l'acide sulfurique. Les chlorures sont déterminés par volumétrie selon la méthode de Mohr, en faisant précipiter le chlorure d'argent par réaction des ions chlorures avec les

nitrate d'argent et en présence d'une solution de chromate de potassium K_2CrO_4 à 10 % comme un indicateur. Les sulfates SO_4^{2-} sont déterminées par néphélométrie, en utilisant un spectrophotomètre UV-visible (WTW) réglé à une longueur d'onde de 420 nm et étalonné avant toute détermination de la concentration des sulfates qui est reliée à la turbidité de la suspension ($BaSO_4$). Les nitrates, nitrites, ammonium et orthophosphate sont déterminés par la colorimétrie.

Pour chaque analyse, un blanc a été considéré et les dosages ont été effectués en trois répliques pour chaque prélèvement et chaque paramètre. La valeur moyenne des trois répétitions a été retenue.

IV. Analyses bactériologiques de l'eau

L'eau des puits a été prélevée dans des flacons stériles, puis conservée et transportée dans une glacière au laboratoire. Les analyses ont été faites pendant les quatre heures qui suivent. Les analyses ont été effectuées au Laboratoire de Microbiologie du Département de Biologie de la Faculté des Sciences exactes et science de la vie et de la nature ; université d'Oum El Bouaghi.

IV.1. Coliformes

Les coliformes totaux sont dénombrés après une incubation de 24 h à 48 h à 37 °C, les tubes contenant le milieu bouillon lactosé au pourpre de bromocrésol (BCPL), munis d'une cloche de Durham (Test présomptif).

Les tubes positifs (fermentation du lactose et production de gaz) sont repiqués pour un test confirmatif sur milieu Schubert muni d'une cloche de Durham puis incubé pendant 24 h à 48 h à 44 °C. Après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs, il se forme un anneau rouge en surface, témoin de la production de l'indole et donc présence de coliformes fécaux.

IV.2. Streptocoques fécaux

La recherche des streptocoques est effectuée sur le milieu Rothe à 37 °C pendant 24 h (Test présomptif). A partir des tubes de Rothe positifs, on effectue une subculture sur milieu Litsky pendant 24 h à 37 °C (Test confirmatif).

Les résultats sont exprimés en nombre de germes par 100 ml suivant la table de Mac-Grady.

V. Traitement des données

V.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 ET 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 :

$$H' = - \sum (n_i / N) \log_2(n_i / N)$$

n_i = nombre d'individus de l'espèce de rang i

N = nombre total d'individus

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 dominent ; 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 ∞ .

V.2. Richesse taxonomique

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

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

$$P_i = n_i / N$$

n_i = nombre d'individus de l'espèce i

N = nombre total d'individus

V.4. Traitements statistiques des données

Deux analyses statistiques ont été réalisées au moyen du logiciel XSTATE (2009), II, aussi bien pour la classification des stations en fonction de leur faune que lors de la classification des stations en fonction de leurs caractéristiques abiotiques. Le premier est une analyse en composante principale (ACP) et le second est une classification hiérarchique.

V.4.1. Analyses en composantes principales

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

RESULTATS FAUNISTIQUES

Introduction

Partout dans le monde, les nappes phréatiques représentent une part importante des ressources en eau douce utilisables par l'Homme. Elles constituent donc pour les populations une richesse naturelle vitale, mais limitée et surtout vulnérable. Cet écosystème abrite une faune aquatique extrêmement diversifiée, et qui renferme de nombreuses espèces endémiques. En effet tous les grands phylums du règne animal, depuis les protozoaires jusqu'aux vertébrés, en passant par les divers groupes de vers, de mollusques et surtout d'Arthropodes, ont des représentants inféodés aux eaux souterraines : c'est la faune stygobie. Cette faune peut être échantillonnée par différentes techniques adaptées, au niveau des puits, des sources, et des alluvions des cours d'eau, ainsi que dans les grottes dans les régions calcaires notamment.

La communauté stygobie renferme des espèces plus au moins sensibles aux pollutions. Il en résulte que dans une même région géographique, la richesse spécifique de la faune aquatique présente dans les puits, les sources, les alluvions des cours d'eau, plus généralement dans les nappes phréatiques, varie avec la qualité de l'eau. L'observation de ces variations locales de la richesse spécifique des eaux souterraines, de même que la présence d'espèces sensibles, indicatrices de la qualité de l'eau, constitue donc un outil utilisable pour l'évaluation de la qualité globale de l'eau et assurer le suivi de cette qualité (BOULANOUAR, 1995). Cet outil est généralement beaucoup moins onéreux que les méthodes classiques d'analyses et physicochimiques bactériologiques.

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

En Algérie, la qualité biologiques des eaux de souterraines a fait l'objet de quelque travaux récente, on peut citer ceux de CHEBIKA, 2003 ; BELAIDI, 2004, BENOUDA, 2005; MAHI, 2007 ; HAICHA, 2008 ; MERZOUG et *al.*, 2010 ; BELAIDI et *al.*, 2011 ; KHALDOUN et *al.*, 2013.

Le présent travail a pour but de compléter ces travaux ; il nous permet de dresser l'inventaire du peuplement aquatique souterrain de la région d'Oum El Bouaghi, située à l'Est de l'Algérie, région méconnue sur le plan biologique et d'évaluer la biodiversité aquatique de la région

I. Composition de la faune dans différents sous bassins versant

Les différents taxons récoltés au cours de ce travail sont reportés dans le tableau (5). L'analyse de cette faune récoltée dans les puits étudiés a mis en évidence la présence de 21573 individus appartenant à quatre embranchements : Plathelminthes, Annélides, Mollusques et Arthropodes (37 familles).

Tableau 5 : Nombre des familles par groupe Zoologique

Embranchement	Sous - embranchement	Classe	Famille	Taille relative
Plathelminthes		Tubellaria	Dugestidae	0.48 %
Annélides		Clitellata	Naididae Lumbiculidae Lumbriculidae Hirudinae	2.43 %
Mollusques		Gasteropoda	Planorbidae Hydrobiidae Viviparidae Bithyniidae	9.62 %
		Bivalvia	Sphaeriidae	
Arthropodes	Crustacea	Malacostraca	Gammaridae Niphargidae	62.29 %
		Maxillopoda	Cyclopoidae Diaptomidae	
		Ostracoda	Candonidae Cyprididae	
		Branchiopoda	Chirocéphalidae Daphniidae	
	Arachnida		Limnocharidae	

			Arrenuridae	1.05 %
Arthropodes	Hexapoda	Insecta	Chironomidae Dixidae Culcidae Hydrobiidae Hydrophilidae Haliplidae Dytiscidae Helophoridae Corixidae Veliidae Mesoveliidae Notonectidae Nepidae Baetidae Nemouridae Libellule	24.14 %
		Collembola	Collemboles	

Les Crustacés dominent avec une abondance de 62.29 % du nombre total d'individus. Les insectes (24.14%), les mollusques (9.62%), les annélides (2.43%), les arachnides (1.05 %) et les Plathelminthes (0,48%).

I.1.Richesse taxonomique et l'abondance des eaux souterraines étudiées

I.1. 1. Crustacées

Les copépodes constituent le groupe le mieux représenté parmi les crustacés récoltés 7498 individus soit 55.88% répartie deux familles ; les Diaptomidae et les Cyclopoidea formant ainsi le groupe dominant des eaux souterraines étudiées, suivi par les Ostracodes 22.90 %, (3078 individus), les Daphniidae représentent 13.26 % (1782 individus), les Gammaridae (*Echinogammarus*) avec 6.38 % (857 individus). Les Branchiopodes et les Niphargidae prennent les dernières places dans la classe de crustacés sur le plan d'abondance

numérique. Ils constituent respectivement 1.06 % (142 individus) et 0.6% (80 individus) de ce peuplement (fig.11)

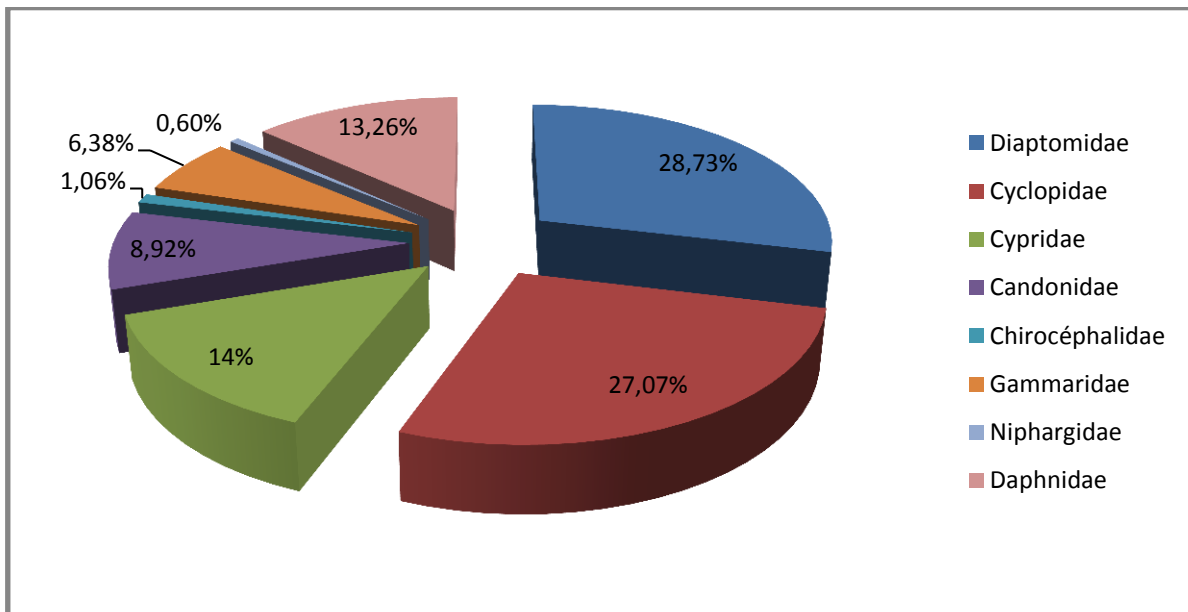


Figure11 : Familles des Crustacés identifiées au cours de l'étude dans la région d'étude

I.1.2. Insectes

Avec une abondance relativement importante 24.14 % (5206 individus), constituent le groupe le plus abondant Dix Sept (17) taxons ont été identifiés (fig.12), dominés par les diptères qui forment le groupe écologique le plus importance sur le plan numérique (76.74 %) (3995 individus).

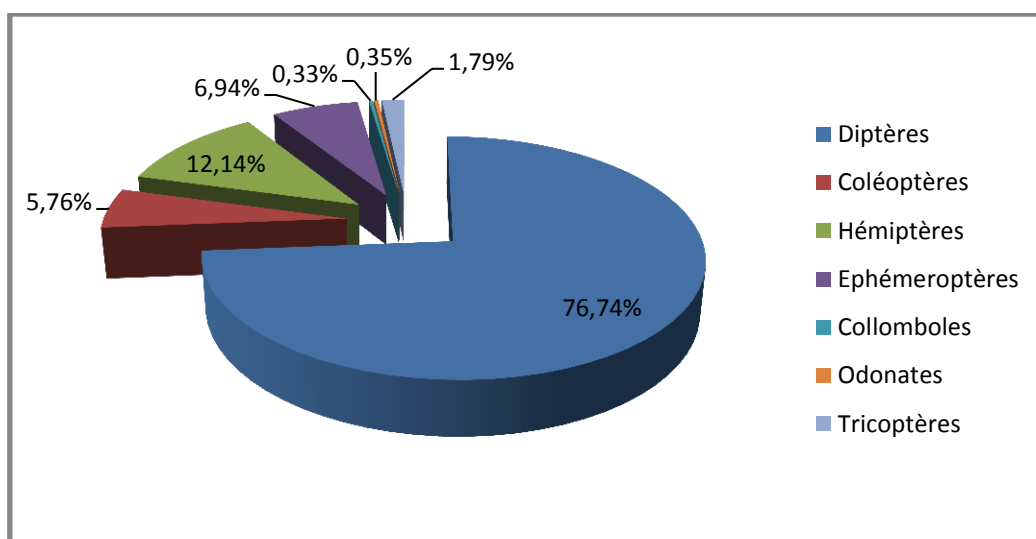


Figure 12: Ordres des Insectes identifiés au cours de l'étude dans la région d'étude

Ces diptères (fig.13) sont représentés principalement par les Chironomidae qui dominent par leur abondance (2636 individus) suivi par les Culicidae et les Dixidae. Les Hémiptères représentent 12.14 % (1264 individus) des insectes et comportent 5 taxons. Il s'agit des Notonectidae qui constituent le groupe dominant avec 32.91 %, (208 individus) suivi par les Veliidae 24.20 % (153 individus), les Mesoveliidae 18.51% (153 individus et les Corixidae 14.78% (94 individus). Quant au Nepidae, ils sont moins représentés 9.50%. (60 individus). Les Coléoptères malgré leur faible abondance 5.76 % (300 individus), elles comportent 5 taxons. Il s'agit des Hydrophilidae (46 individus) suivi par, les Hydrobiidae (33 individus) les Haliplidae (30 individus), Helophoridae (22 individus) et les Dytiscidae (19 individus). Les Éphéméroptères malgré leur abondance (361 individus) mais cette ordre comporte un seul taxon : les Baetidae Pour les Trichoptères, on a recensé (93 individus) appartient à la famille Nemouridae, les Collemboles (17 individus) et les odonates (18 individus) sont numériquement mal représentés.

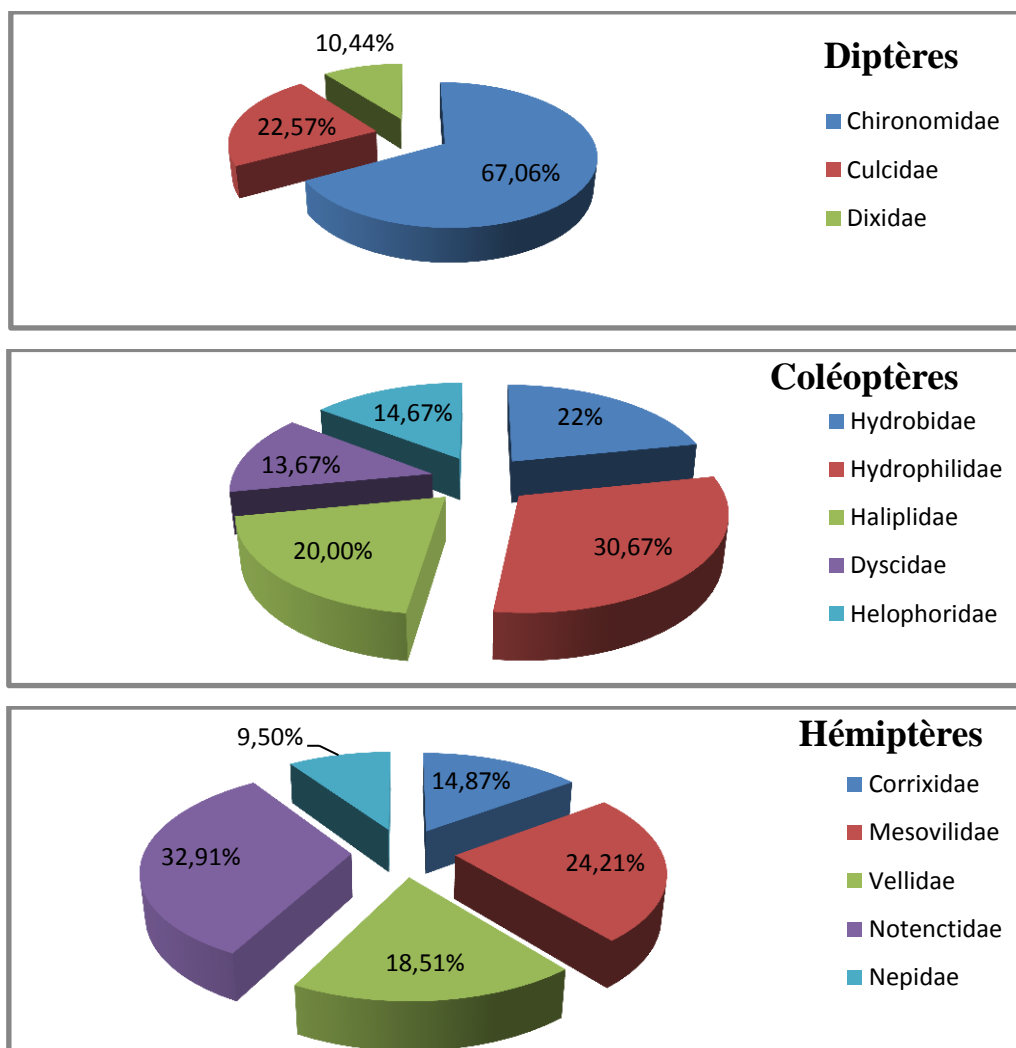


Figure13 : Familles des Insectes identifiées au cours de l'étude dans la région d'étude

I.1.3. Mollusques

Représentent, 10 % de la biocénose totale et comportent deux classes (fig.14): les Gastéropodes et les bivalves. Les Gastéropodes qui dominent avec 97.78 % (2031 individus) dont les Hydrobiidae dominent le groupe avec (63.98% 1329 individus) suivi par les Viviparidae 15.74 %, (327 individus), les Bithynidae 9.53 % (198 individus), les Planorbidae 8.52 % (177 individus). Les bivalves sont représentés par un seul taxon Sphaeriidae et en moindre importance 2.21% (46 individus).

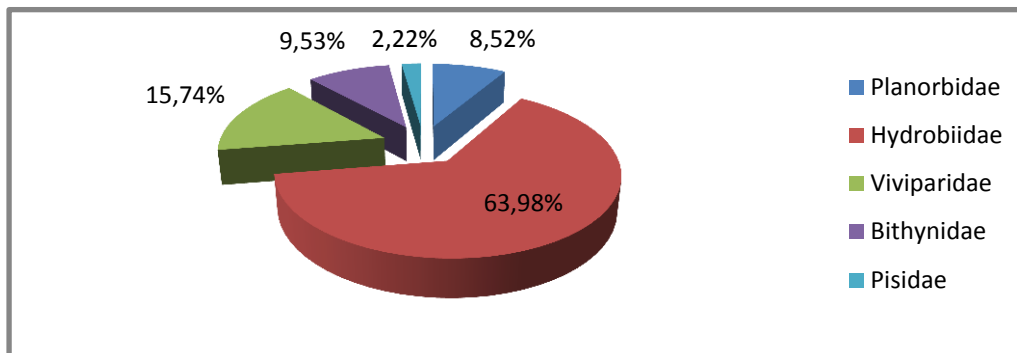


Figure 14 : Familles des Mollusques identifiées au cours de l'étude dans la région d'étude

I.1.4. Annélides

Comportent 4 taxons (Tab.15) mais avec une abondance très faible (2% soit 525 individus) par rapport à la faune globale. Numériquement les deux familles Lumbriculidae et Lumbricidae sont les plus abondantes (38.85% et 38.66 %). Les Naididies et les Hirudines occupent la place troisième et quatrième place sur le plan de l'abondance. Ils constituent respectivement 18.66% (98 individus) et 3.80% (20 individus).

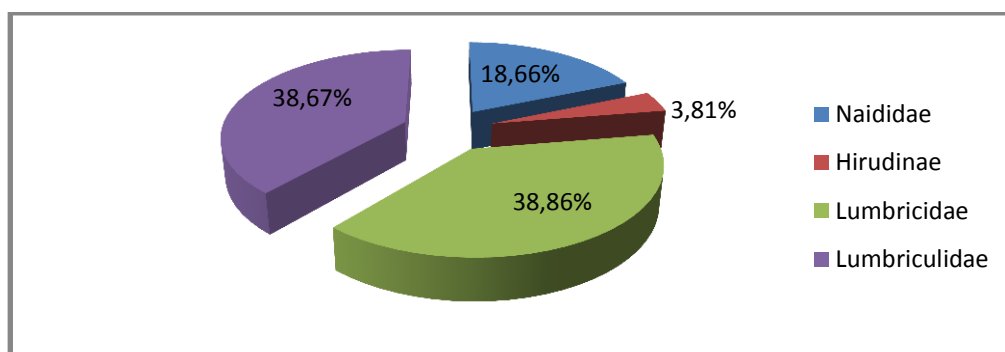


Figure 15: Familles des Annélides identifiées au cours de l'étude dans la région d'étude

I.1.5. Arachnides

Les Arachnides sont représentés par deux familles : les Limnocharidae et les Arrenuridae avec une abondance très faible 1.03% de la faune globale soit 224 individus.

I.1.6. Plathelminthes

Les Plathelminthes sont les moins représentés (Tab.5) ; un seul taxon à été trouvé, c'est les Planaires. Cette pauvreté taxonomique des Plathelminthes est très certainement, plus qu'une réalité, une apparence due à leur petite taille et aux techniques d'échantillonnage que nous avons utilisées qui sont plus efficaces pour les autres organismes de taille supérieure.

I.2. Variation des abondances taxonomiques des organismes des eaux souterraines étudiées

I.2.1. Sous bassins versant d'Annk Djamel et Oued Merzoug

La faune récoltée dans l'ensemble des stations (tab.6) est constituée d'espèces d'origine souterraine et d'autres d'origine épigée. Elle est relativement diversifiée puisqu'elle comporte au total 32 taxons. Les groupes taxonomiques les plus représentés sont les Crustacés avec six familles (Gammaridae, Cyclopoidae, Diaptomidae, Daphniidae, Cyprididae et Candonidae), les Mollusques avec cinq familles (Planorbidae, Hydrobidae, Viviparidae Bithynidae et Sphaeridae) et les larves d'insectes. Plusieurs taxons n'ont pu être déterminés avec précision, car ils sont principalement des larves d'insectes immatures pour lesquelles les milieux interstitiels et souterrains constituent un milieu refuge.

Certains taxons sont des espèces stygobies ; il s'agit essentiellement de Crustacés Amphipodes : *Echinogammarus sp*, d'Ostracode : *Pseudocondonus sp*, les Gastéropodes : *Islamia sp* et les Planaires : *Dugestia sp*. Les autres espèces sont soit des formes aquatiques stygophiles comme les Copépodes (Diaptomidae et Cyclopoidae), les Ostracodes (Cyprididae) ou encore des formes stygoxènes représentées essentiellement par des larves d'Insectes et des imagos immatures dont la présence est accidentelle dans les eaux souterraines.

Tableau 6 : Liste des principaux taxons présents dans les prélèvements faunistiques effectués dans dix puits et trois sources étudiés dans les deux sous bassins versant d' Annk Djamel et Oued Merzoug.

Taxon	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	S1	S2	S3
PLATHELMINTHES													
Planaire Dugestidae				25							79		
ANNELIDES													
Lumbiculidae							50						
Lumbriculidae				34	12								
Huridinae				15									
GASTEROPODES													
Planorbidae				42	15		30						15
Hydrobiidae	10		135	135	207	135		410	311				
Viviparidae													80
Bithynidae							17	160					
BIVALVES													
Sphaeridae		4					02						22
CRUSTACES													
Amphipodes													
Gammaridae					452	120	285						
Copépodes													
Cyclopoidae	250	40	270	300	80	200	97	433	65	42	199	132	100
Diaptomidae	233	35	280	347	71	244	263	205	114	347	211	400	50
Ostracodes													
Condonidae	30		72	72	45	160	358	103	36	42	151		
Cyprididae	45		60	22	30	151	370	187	175	177	100	377	69
CLADOCERES													
Daphniidae	500			240	100	120					700		
ARACHNIDES													
Limnocharidae	17	20	30	50		15							

INSECTES													
Collembole	17												
Diptères													
Chironomidae					197	12	870		229	428	25	50	
Dixidae							411						
Culcidae	55	4		12	47	6	302		170	103		109	
Coléoptères													
Hydrobiidae				3	7						4	11	
Hydrophilidae				2	9						10	11	
Haliplidae				9							5		
Dytiscidae				3							7		
Helophoridae				2							4	8	3
Hémiptères													
Corixidae				4					39		15		
Veliidae				16					21		14		
Mesoviliidae					17	20							
Notonectidae			3	4	4						15	37	
Nepidae											34	22	
Ephéméroptères													
Baetidae	88			35							116	46	
Trichoptères													
Nemouridae	2			84									
Odonates													
Libellules												18	

I.2.1.1 Faune des puits

➤ Puits P1 (fig.)

Ce puits compte un effectif de 1220 individus avec une richesse taxonomique de 10 taxons (fig.16). Les groupes les mieux représentés sont les Daphniidae et les Copépodes avec respectivement 40.99 % et 38.77% du peuplement, auxquels s'ajoutent les Insectes (13.28%) avec quatre taxons : les Baetidae (88 individus), les Culicidae (55 individus), les Collembolés (17 individus) et les Nemouridae (2 individus). Enfin et en moindre d'importance, viennent les

Ostracodes (Cyprididae et Candonidae) et les Hydrobidae qui totalisent chacun 6.14 % et 0.82% respectivement.

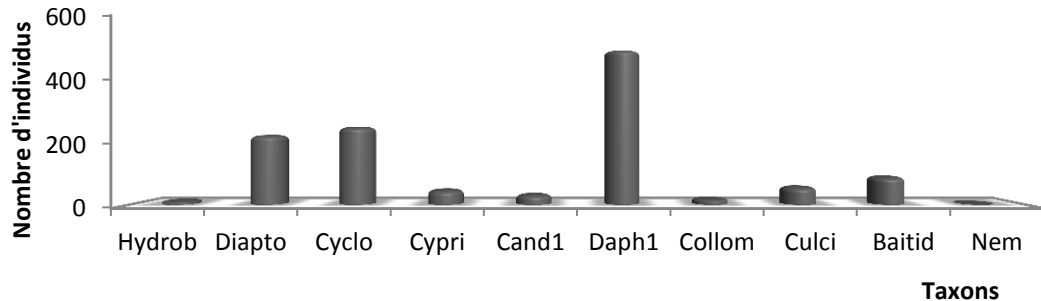


Figure 16 : Structure de la composition faunistique du puits P1

➤ **Puits P 2(fig.)**

La faune récoltée dans ce puits est représentée par 04 taxons et 96 individus. Les Copépodes dominent avec une abondance relative de (78.12%) de la population suivie par les Limnocharidae avec une fréquence de 17.70 %. Les Culicidés représentent une abondance très faible (4 individus) soit une fréquence 4.16 % (fig.17).

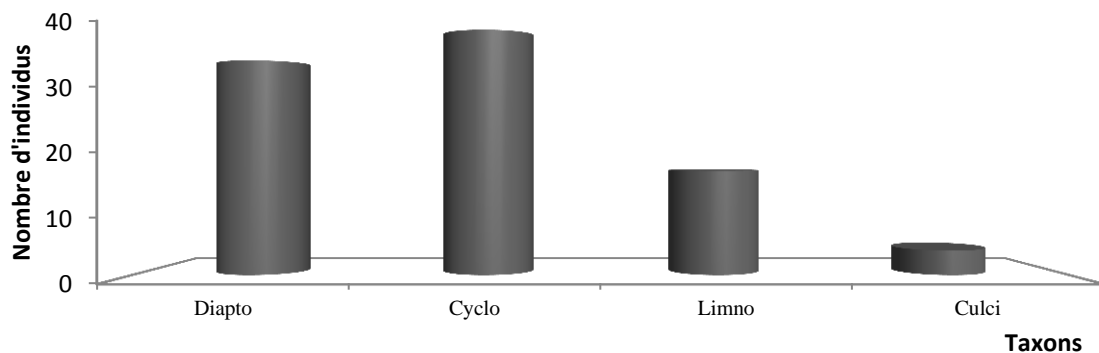


Figure 17 : Structure de la composition faunistique du puits P 2.

➤ **Puits 3 (Fig. 18)**

Avec 844 individus représentés par 8 taxons, ce puits est dominé par les Copépodes qui comptent 65.15 % du peuplement total. Les ostracodes (Cyprididae et Candonidae) et les Hydrobidae représentent chacune 16 % de la biocénose de ce puits, suivi par les Arachnides 2.63 %. Quant aux autres groupes, ils sont très faiblement représentés, il s'agit des Mollusque

(Bivalves) avec une seule famille les Sphaeriidae (0,47 %) et des Hémiptères (Notonectidae 0,35%).

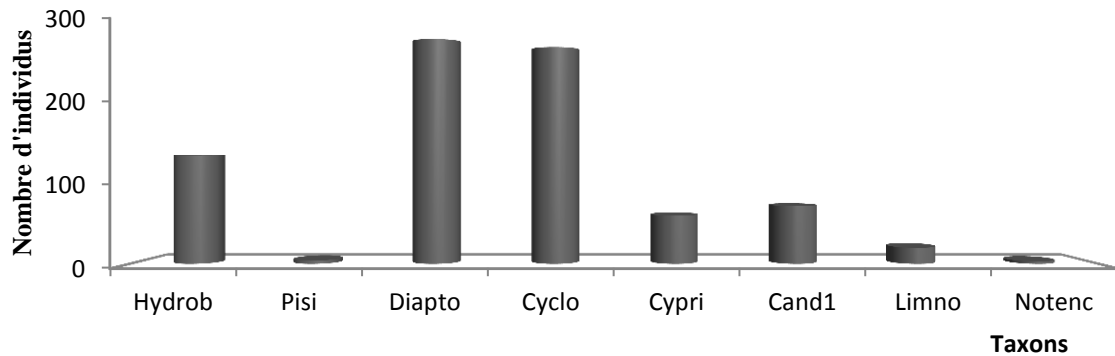


Figure 18 : Structure de la composition faunistique du puits P3

➤ Puits P4 (Fig. 19)

Avec un effectif de 1443 individus, ce puits a fourni la diversité la plus élevée (22 taxons) appartenant à 6 groupes zoologiques. Les Crustacés (70.10 % de la faune totale récoltée de ce puits) constituent non seulement le groupe le mieux représenté, mais ils sont récoltés régulièrement. Ils sont suivis dans un ordre décroissant d'abondance par les Gastéropodes 18.64 % avec trois taxons de famille Hydrobiidae (207 individus), Planorbidae (42 individus) et Viviparidae (20 individus), le groupes d'insectes avec 10 taxons marque numériquement une faible abondance comparée à sa richesse. Les autres groupes sont très mal représentés: ce sont les Annélides (3.39 %) les Arachnides (2,07 %), les Planaire (1,3%) et les Achètes (1.03 %).

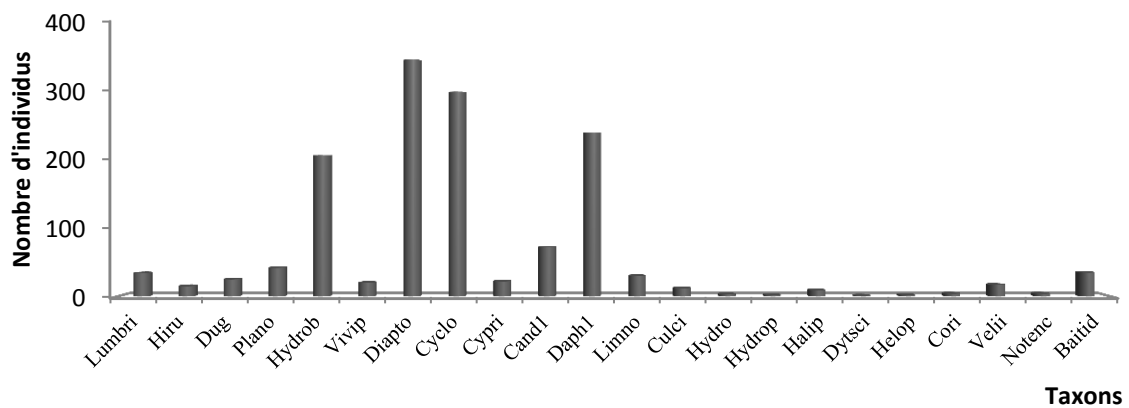


Figure 19 : Structure de la composition faunistique du puits P 4.

➤ **Puits P 5 (Fig. 20)**

Le peuplement marque une grande diversité comme le puits précédent ; 17 taxons, et un effectif de 1598 individus. Les groupes les mieux représentés sont les Gammaridae, les Viviparidae, les Chironomidae, les Hydrobiidea et les Daphniidae avec respectivement 452 individus, 307 individus, 197 individus, 135 individus, et 100 individus auxquels s'ajoutent les copépodes (9.44 %) et les autres d'insectes (5.25 %). En moindre d'importance, viennent les Ostracodes (4.69 %) les Arachnides (3,12 %), les Planorbidae (0,93 %) et les Lumbiculidae (0.75 %) de la population.

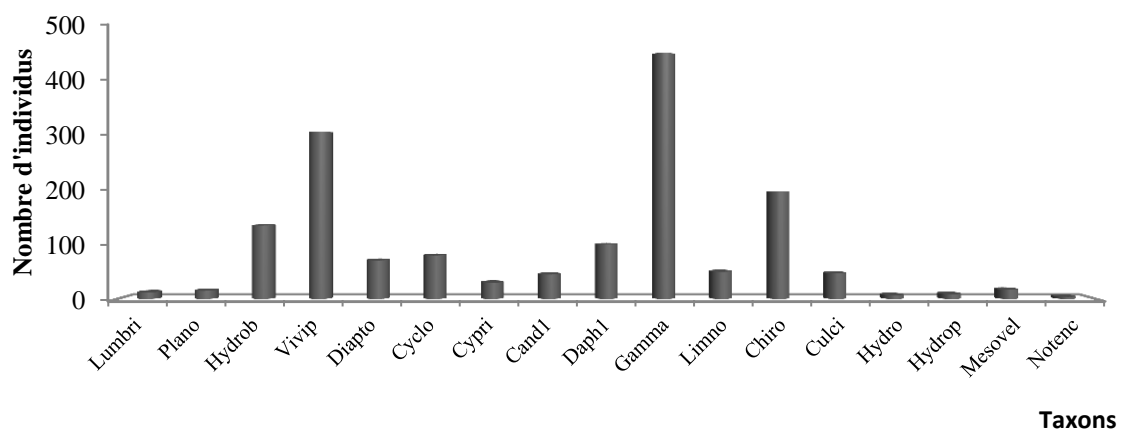


Figure 20 : Structure de la composition faunistique du puits P 5.

➤ **Puits P6 (Fig. 21)**

Ce puits compte un effectif total de 1035 individus, et une richesse taxonomique de 10 taxons. Le groupe numériquement dominant est celui des Crustacés, il représente 6 taxons, il s'agit des Daiptomidae, des Cyclopoidae, des Daphniidae, les Gammaridae, les Cyprididae et les Candonidae avec une fréquence relative de (96.16%) de la faune récoltée. Les autres groupes sont rares, il s'agit des Sphaeridae (0.19 %), les Hémiptères (1.93%) et les Diptères (1.73%).

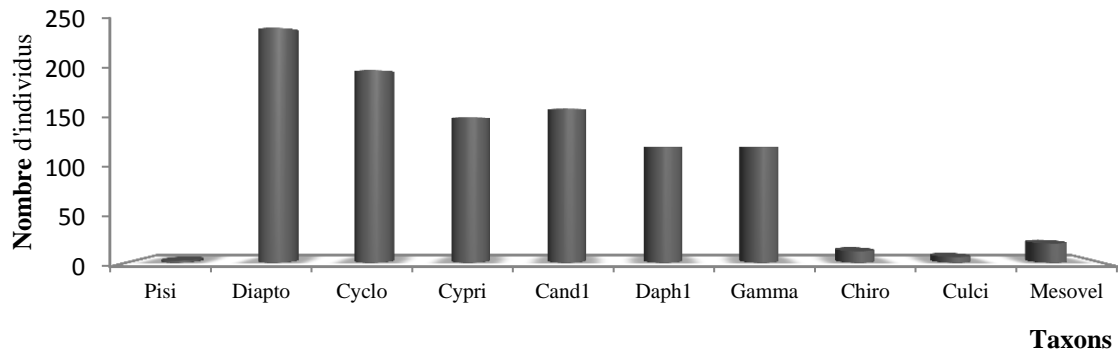


Figure 21: Structure de la composition faunistique du puits P6.

➤ Puits P7 (Fig. 22)

Ce puits se distingue largement des autres par le plus grand nombre d'individus enregistré (3580 individus), constituant 15 taxons, dont la dominance des diptères avec trois taxons de Chironomidae (870 individus) suivi par les Dixidae 402 individus et les Culcidae 302 individus. Les Ostracodes marquent la deuxième classe par 720 individus suivis par les Hydrobiidae (410 individus) et les Gammare (258 individus). Le reste de la biocénose sont enregistrés de quantité moindre.

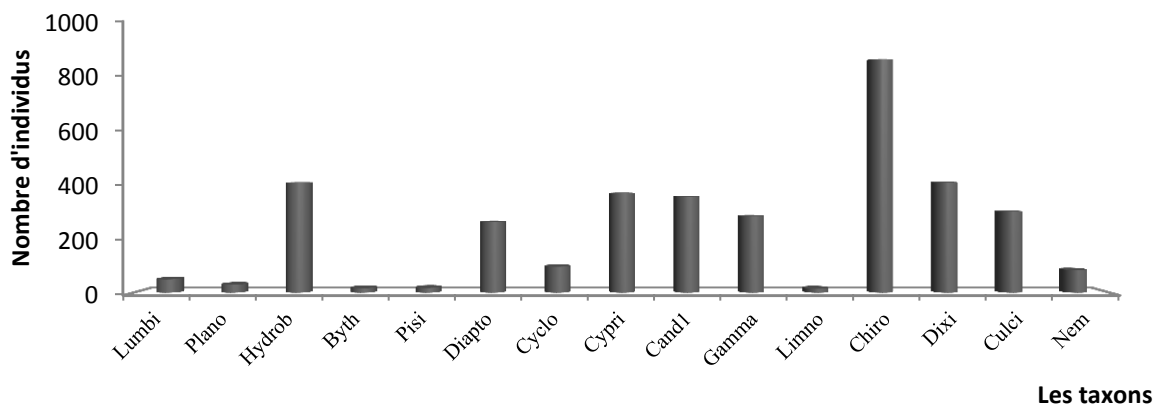


Figure 22 : Structure de la composition faunistique du puits P7.

➤ Puits P8 (Fig. 23)

Avec deux groupes zoologiques d'abondance relative égale, nous avons récolté 1399 individus représentés principalement par les Copépodes avec deux taxons (Diaptomidae,

Cyclopoidae), les Ostracodes avec deux taxons aussi, il s'agit des Cyprididae et Candonidae et finalement deux taxons appartiennent au Gastéropodes (Hydrobidae et Bithynidae).

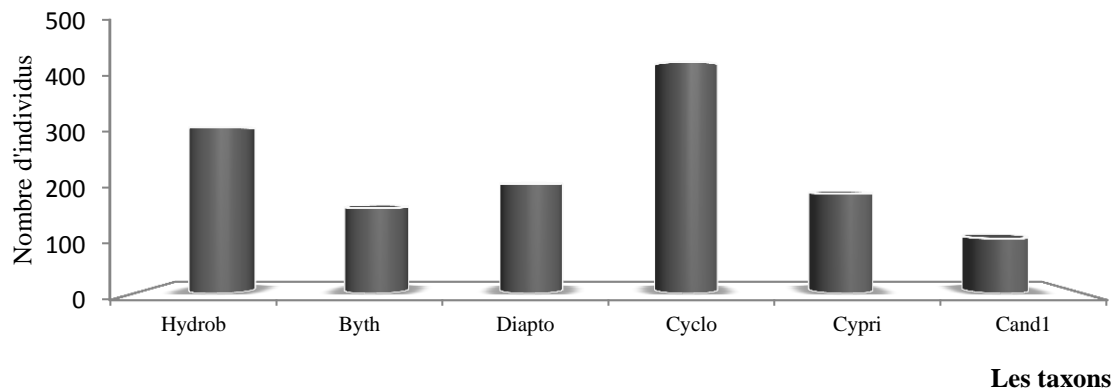


Figure 23 : Structure de la composition faunistique du puits P8.

➤ **Puits P 9 (Fig.24)**

Ce puits compte un effectif de 848 individus avec une richesse taxonomique de 8 taxons. Les groupes les mieux représentés sont les Chironomidae, les Cyprididae et les Culicidae avec respectivement 27,0 %, 20.63 % et 20.01 % du peuplement, auxquels s'ajoutent les Diaptomidae (13.44 %) et les Cyclopoidae (7.6 %). Enfin et en moindre d'importance, viennent les Candonidae, les Corixidae, et les Veliidae. Ce qui totalisent chacun 11.20%.

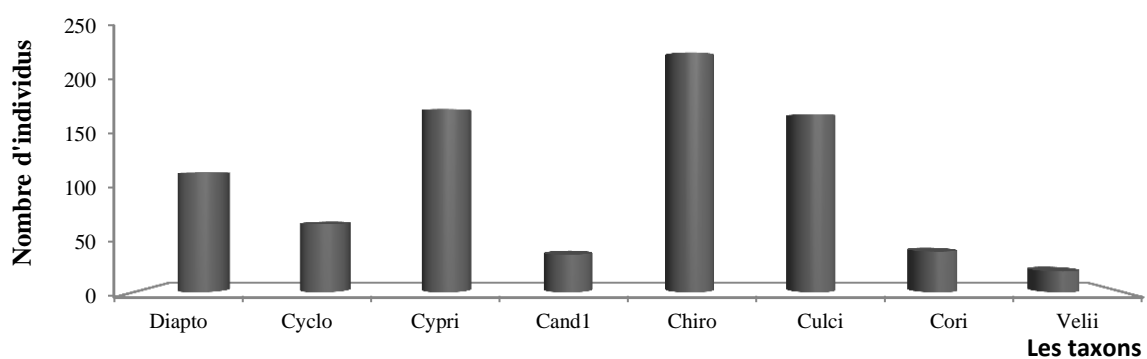


Figure 24 : Structure de la composition faunistique du puits P9.

➤ **Puits P10 (Fig.25)**

Composé de 6 taxons (1139 individus), le peuplement de ce puits est dominé par les Diptères ;Chironomidae (37.57% du total des récoltes au sein de ce puits) avec une fréquence de 44.44 %, suivi par trois taxons les Diaptomidae avec une fréquence de (30.46 %), les Cyprididae (15.53 %) les Culcidae (14.92 %). Le reste du peuplement présente des abondances très faibles. Il s'agit des Cyclopoidae et les Candonidae, chacune présente 3.68 % de la biocénose récolté.

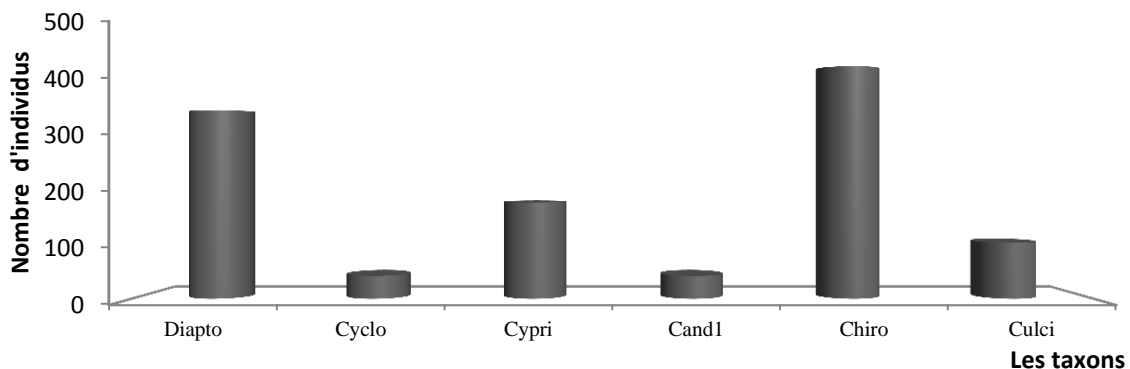


Figure 25 : Structure de la composition faunistique du puits P10.

I.2.1.2. Faune des sources

➤ **La source S1 (Fig. 26)**

Avec 16 taxons, la biocénose aquatique de cette source a délivrée 1689 individus appartenant à trois groupes zoologiques, dont les Crustacés dominant avec une fréquence de (80.58 %) du peuplement. Cette classe est représentée surtout par les Daphniidae avec une fréquence de (51,14%) à côté de ce taxon, on a enregistré la présence des Diaptomidea, les Cyclopoidae, les Cyprididae et les Candonidae. Le groupe d'insecte est le plus diversifier avec onze familles. Parmi les Insectes ce son les Ephéméroptères avec une seule famille (Baetidae) sont le mieux représentés (116 individus) alors que les autres familles sont rares. Les planaires avec une seule famille (Dugetidae) comptent seulement 79 individus avec une fréquence de 4.67 %.

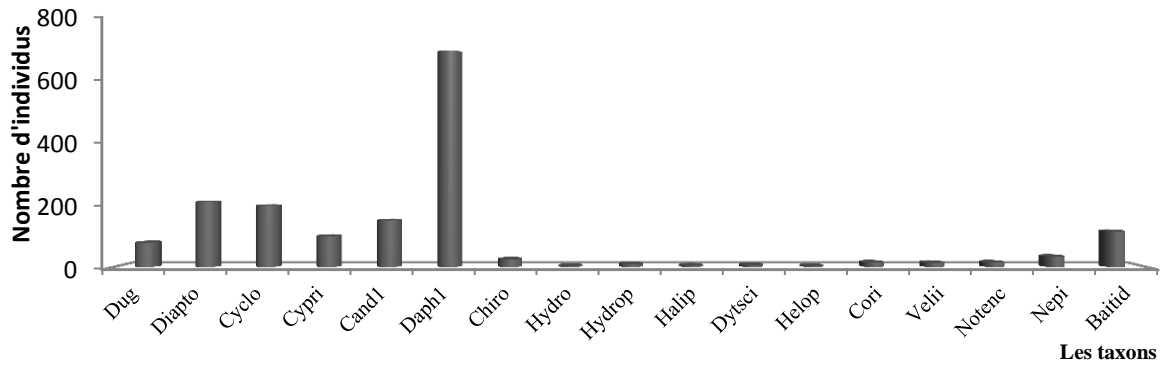


Figure 26 : Structure de la composition faunistique de la source S1

➤ La source S2 (Fig. 27)

Cette source compte un effectif total de 1227 individus, et une richesse taxonomique de 13 taxons. Deux groupes zoologiques sont présents : le groupe d'insectes est plus diversifié avec 10 taxons en revanche numériquement, il est le moins dominant soit 25.92 % de la biocénose récoltée. Les Crustacés sont les plus dominants avec un effectif de 909 individus soit 74.08 %.

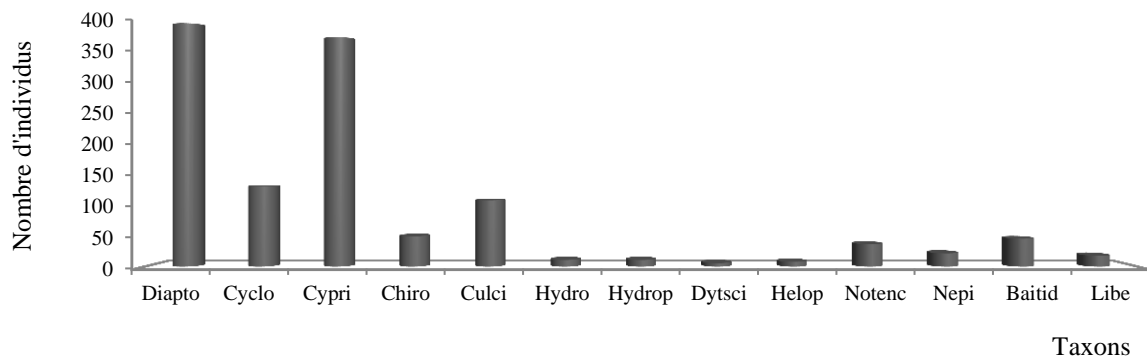


Figure 27 : Structure de la composition faunistique de la source S2.

➤ La source S3 (Fig. 28)

Ce puits se distingue largement des autres sources, par le nombre faible d'individus enregistré (399 individus), constituant par 7 taxons. Les Crustacés (54.89% de la faune totale récoltée de cette source) constituent le groupe le mieux représenté. Ils sont suivis dans un ordre décroissant d'abondance par les Hydrobiidae (20.05%), les Sphaeridae (5.51%), les Helophoridae (0.75 %).

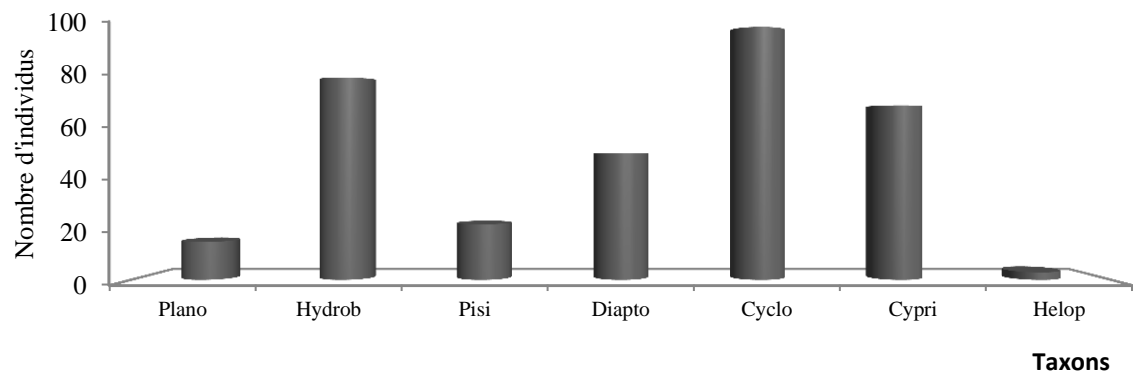


Figure 28 : Structure de la composition faunistique de la source S3

I.2.2. Sous bassin versant de Garaât Tarf

Les eaux souterraines du bassin versant de Garaât Tarf caractérisent par une diversité biologique de 25 taxons aquatiques (Tab.7). Certains taxons sont des espèces stygobies ; il s'agit : *Pseudoniphargus sp* et *Niphargus sp* et *Islamia sp*. Les autres espèces sont soit des formes aquatiques stygophiles comme les Annélides : Naididae, Lumbiculidae, Lumbriculidae, Copépodes : Diaptomidae, Cyclopoidae, les Branchiopodes et Les Gastéropodes aquatiques souterrains sont aussi présents avec quatre familles Planorbidae, Hydrobidae, Viviparidae et Bithynidae. Les formes stygoxènes représentées essentiellement par des larves des imagos immatures dont la présence est accidentelle dans les eaux souterraines.

Tableau 7 : Liste des principaux taxons présents dans les prélèvements faunistiques effectués dans douze puits étudiés dans le sous bassins versant de Garaât Tarf

Taxon	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22
ANNELIDES												
Naididae	12	13		17	24			20				12
Lumbiculidae		10		23				25	17		20	24
Lumbriculidae	20	16		20	15			24			19	15
GASTEROPODES												
Planorbidae					20	25	30					
Hydrobidae												
Viviparidae						20	21					
Bithynidae						21						
CRUSTACES												
Amphipodes												
Niphargidae		30	25						25			
Copépodes												
Cyclopoidae		12		150		200	80	200		200	280	200
Diaptomidae		100		70		200	100	120		160	200	120

Branchiopodes												
Chirocéphalidae						12				120	10	
ARACHNIDES												
Limnocharidae											30	
Arrenuridae									12	20	30	
INSECTES												
Diptères												
Chironomidae		80	3	66	320		5	82	5	4	200	60
Culcidae		80										
Coléoptères												
Hydrobiidae						8						
Hydrophilidae							14					
Haliplidae									16			
Dytiscidae										5		
Helophoridae											5	
Hémiptères												
Corixidae			15				20			1		
Veliidae			17				35			50		
Mesoviliidae		55								25		
Notenectidae		25		18		18	50	14				20
Nepidae				4								
Ephéméroptères												
Baetidae						20	10			46		

I.2.2.1. Faune des puits

➤ Puits P11 (fig.29)

Le puits P1 a permis de récolter uniquement un seul embranchement avec 3 taxons représentant un effectif très faible (46 individus) ce qui représente respectivement 0.96 % de la faune totale. On a enregistré 20 individus des Lumbiculidae, suivis par les lumbriculidae 16 individus et les Naididae 12 individus.

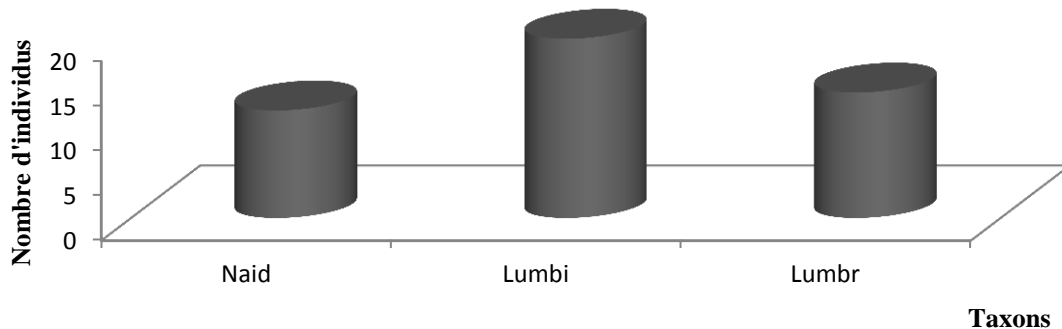


Figure 29 : Structure de la composition faunistique du puits P11

➤ Puits P12 (fig.30)

Ce puits compte 526 individus regroupés dans 10 taxons appartenant à trois groupes zoologiques (Annélides, Crustacés et Insectes). Le groupe des Crustacés domine par les deux taxons Cyclopoidae (120 individus) et les Diaptomidae (100 individus) suivi par les Daphnidae, les Cycrididae (40 individus), les Candonidae (37 individus) et enfin la taxon stygobie les Niphargide avec (30 individus). Le groupe d'Insectes est représenté essentiellement par les Chironomidae et les Culcidae (80 individus) pour chaque taxon et les Mesoviliidae et les Notonectidae prennent la deuxième et la troisième place avec (55 individus) et (25 individus). Les Annélides sont les moins représentées (39 individus) répartis sur 3 familles (les Lumbiculidae, les Lumbriculidae et les Naididae).

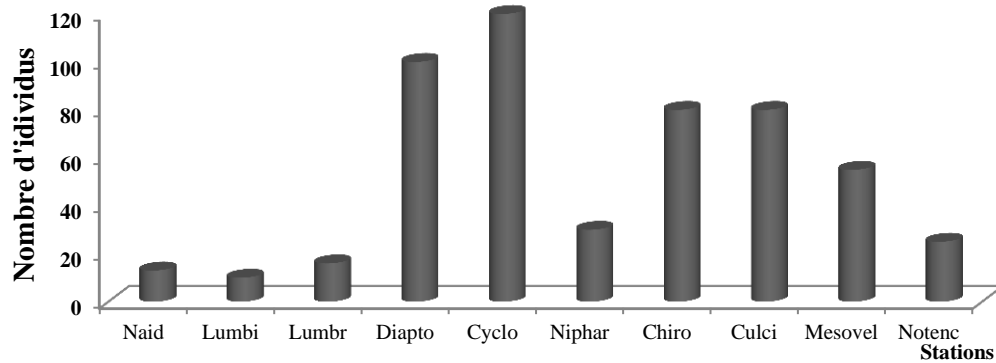


Figure 30 : Structure de la composition faunistique du puits P12.

➤ **Puits P13 (fig.31)**

Ce puits compte seulement 60 individus et 4 taxons. Cette faune est représentée essentiellement par les Niphargidae (25 individus) suivis par deux taxons des Hémiptères : les Vellidae (17 individus), les Corixidae (15 individus) alors que l'abondance des Chironomidae sont très faible (3 individus).

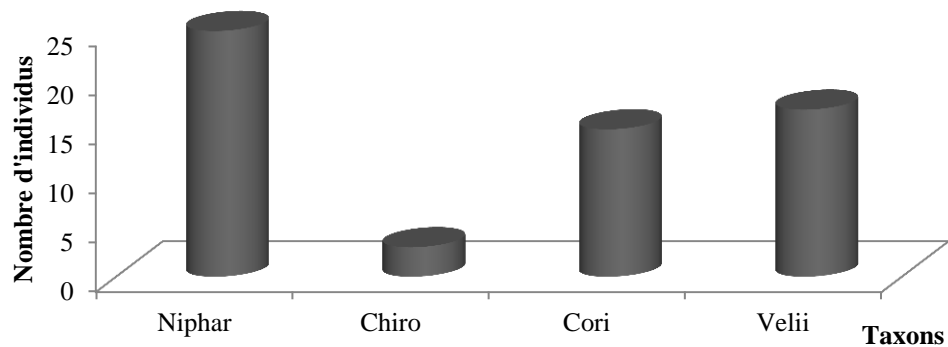


Figure 31 : Structure de la composition faunistique du puits P13.

➤ **Puits P14 (fig.32)**

Ce puits compte un effectif total de 368 individus et une richesse taxonomique de 8 taxons. Le groupe numériquement dominant est celui des Cyclopoidae, il représente 150 individus suivi par les Diaptomidae 70 individus. Le groupe d’Insectes est présenté par 3 taxons : les Chironomidae le taxon dominant numériquement (66 individus) suivi par deux taxons qui sont rares, il s’agit les Notonectidae (18 individus) et les Nepidae (4 individus). D’autre part, l’ensemble des Annélides (3 taxons) ne compte que 13,37% du peuplement avec une relative dominance égale pour les trois taxons (les Lumbiculidae, les Lumbriculidae et les Naididae).

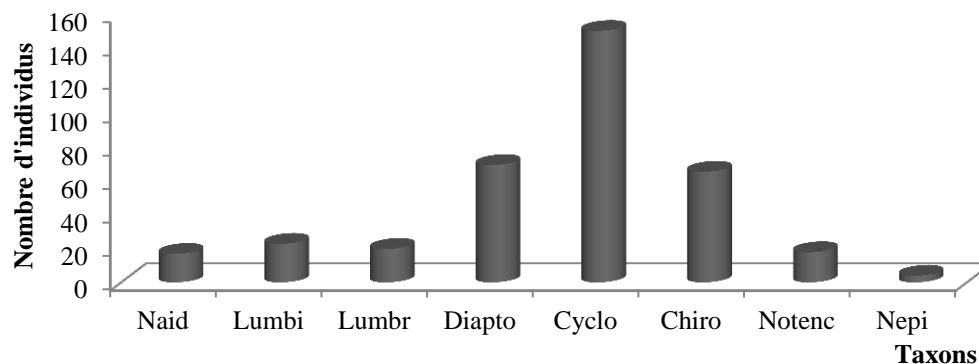


Figure 32 : Structure de la composition faunistique du puits P14.

➤ **Puits P15 (fig.33)**

Avec 401 individus représentés par 5 taxons, ce puits est dominé par les Chinoromidae qui comptent (79.80 %) du peuplement total. Les autres groupes sont assez faiblement représentés, ce sont les Annélides (19.85 %) par trois taxons (les Lumbiculidae, les Lumbriculidae et les Naididae). Les Gastéropodes sont présentés par un seul taxon les Planorbidae, avec 20 individus.

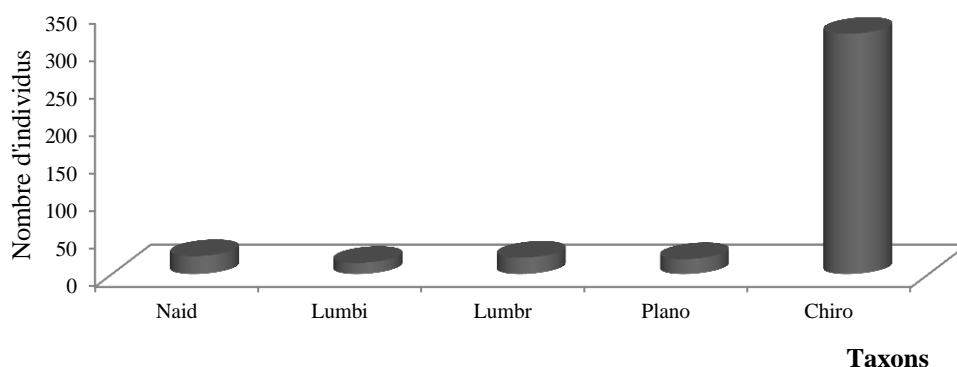


Figure 33 : Structure de la composition faunistique du puits P15.

➤ **Puits P16 (fig.34)**

Ce puits compte 524 individus regroupés dans 9 taxons, appartenant aux trois groupes zoologiques. Les Crustacés dominant le peuplement (76.34 %) sont représentés par les Diaptomidae, les Cyclopoidae et les Chirocéhalidae. Les Gastéropodes sont récoltés par trois taxons dans ce puits : Planorbidae (25 individus), Hydrobidae (20 individus) et les Bithynidae (21 individus). Les Insectes numériquement sont faiblement représentés par rapport aux puits précédents) avec une fréquence de (38.03 %), les taxons attribués à ce groupe sont : Baitidae (20 individus), Notentidae (18 individus), Chironomidae (12 individus) et Hydrobidae (8 individus).

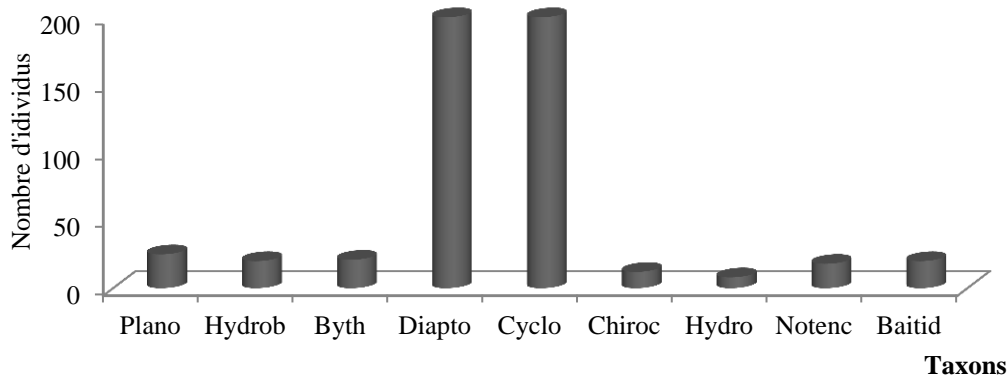


Figure 34 : Structure de la composition faunistique du puits P16.

➤ **Puits P 17 (fig.35)**

Nous avons récolté dans le puits P17 les mêmes groupes zoologiques que le puits P6 mais avec 9 taxons et 395 individus. Les Crustacés uniquement par deux taxons les Diaptomidae et les Cyclopoidae occupent presque la moitié d'effectif total soit (49.31 %) suivi par le groupe d'insectes répartis sur 6 taxons (Chironomidae, Hydrophilidae, Veliidae, Corrixiidae, Notenectidae (la plus fréquente dans ce groupe 50 individus), Baetidae. Le dernier groupe de Gastéropodes représentés par deux taxons Planorbidae (30 individus) et Hydrobidae (21 individus).

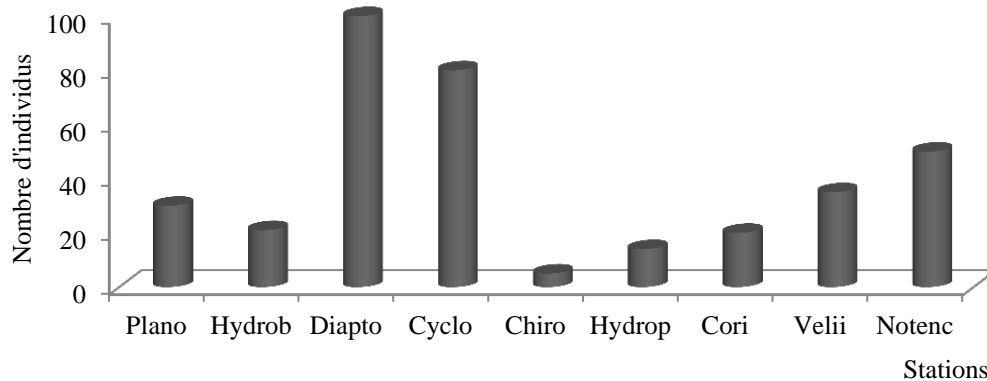


Figure 35 : Structure de la composition faunistique du puits P17.

➤ **Puits P18 (fig.36)**

La faune de ce puits est composée comme les puits précédent P5 et P4, trois groupes zoologiques dominant. Les Crustacés dominant avec une abondance relative de (73.12%) réparties sur cinq taxons ; il s'agit de Diaptomidae ,Cyclopoidae, Candonidae, Daphnidae et les Cyprididae. Les larves d'insectes sont présentées avec deux taxons avec une abondance relative de (15.25 %) : Chironomidae (80 individus) et 18 individus pour les Notenectidae. Le dernier groupe zoologique c'est les Annélides avec les mêmes taxons déjà cité au dessus avec une abondance moindre (11.23 %).

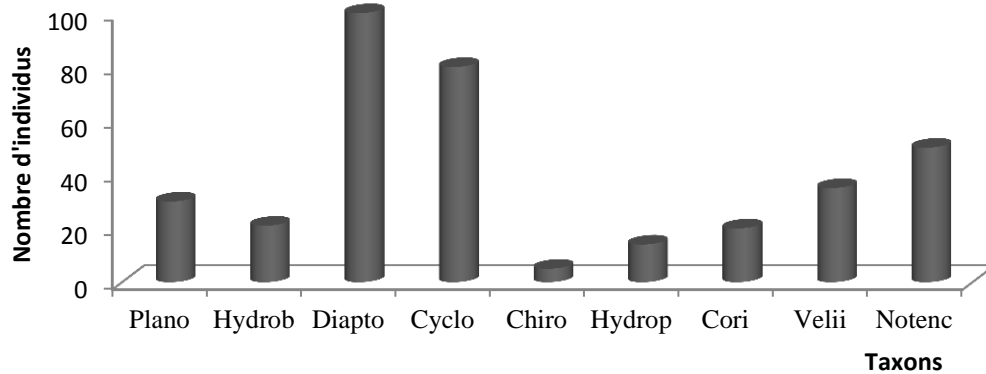


Figure 36 : Structure de la composition faunistique du puits P18.

➤ Puits P19 (fig.37)

Le puits P9 (fig) a permis de récolter uniquement 102 individus 7 taxons avec la présence d'un nouveau taxon des Arachnides (Arrenuridae) mais numériquement est faible soit 11.76 % de la faune récolté dans ce puits. Les Annélides sont les plus représenté avec deux taxons (Lumbiculidae et les Lumbriculidae) avec une abondance relative de 43.13% suivi par les Amphipodes (Niphargidae 25 individus). Les insectes sont représentés par les Haliplidae (16 individus) et les Chironomidae (4 individus).

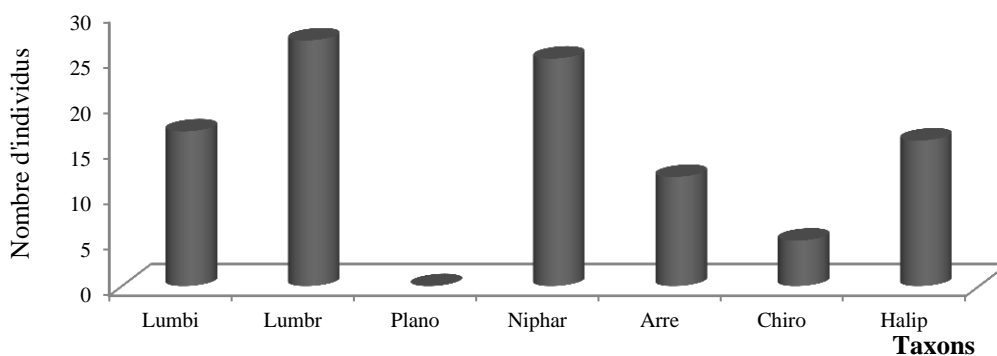


Figure 37 : Structure de la composition faunistique du puits P19.

➤ Puits P20 (fig.38)

Ce puits se distingue par l'absence totale des Annélides avec la dominance de trois classes appartiennent à un seul embranchement des Arthropodes : 9 taxons et 630 individus. La dominance complète était pour les crustacés : il s'agit des Daiptomidae, des Cyclopoidae et les

Chirocéhalidae avec une abondance relative de (76.06. %). Les insectes prennent la deuxième place avec 5 taxons (Chironomidae, Dytiscidae, Veliidae, Mesoviliidae et Baetidae) et la dominance de deux familles Veliidae (50 individus) et Baetidae (45 individus). Les Arrenuridae ont été collectés en faible abondance (20 individus).

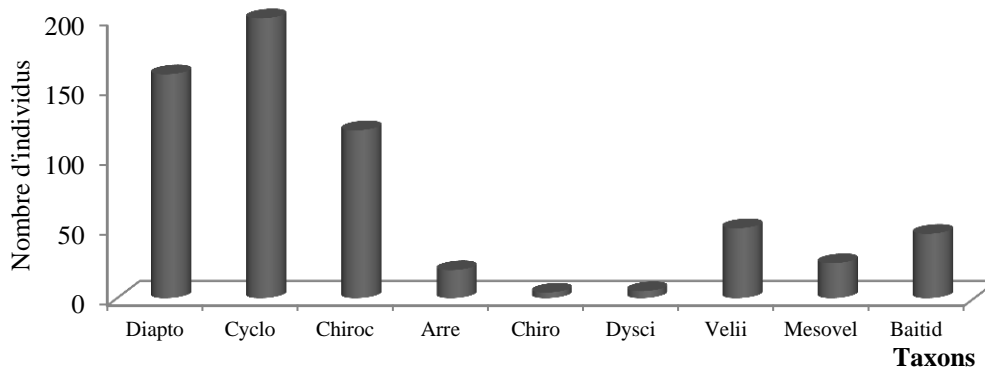


Figure 38 : Structure de la composition faunistique du puits P20.

➤ **Puits P21 (fig.39)**

La faune de ce puits est composée de 8 taxons et de 789 individus, trois taxons des crustacés ; il s'agit des Daiptomidae, des Cyclopoidae et les Chirocéhalidae avec une abondance relative qui dépasse (62. %) d'effectif récoltés. Le taxon représenté dans la classe d'Insecte est celui des Diptères Chironomidae (200 individus). Les Arachnides sont présent aussi avec deux taxons Les Limnocharidae et les Arrenuridae avec (30 individus) pour chacun. Les Annélides ont été collectés en faible abondance (2.5 %) pour les Lumbiculidae et (2.4 %) pour Lumbriculidae.

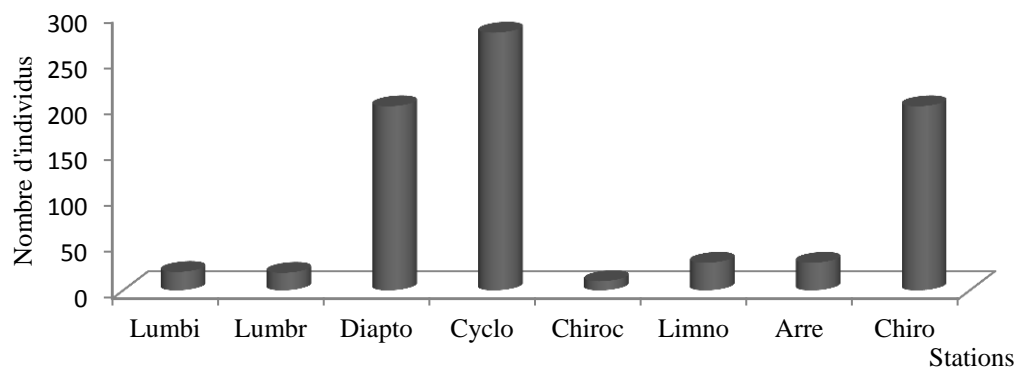


Figure 39 : Structure de la composition faunistique du puits P21.

➤ Puits P 22 (fig.40)

Dans ce puits nous avons récolté 456 individus appartenant à 8 taxons. La faune de ce puits est dominée par les Crustacés en totalisent 87,15 % avec deux taxons dominant les Daiptomidae, des Cyclopoidae alors que les Chirocéhalidae ne comptent que 60 individus). Les Annélides avec une fréquence de 11.05 % par trois taxons (les Lumbiculidae, les Lumbriculidae et les Naididae) prennent la deuxième place dans ce puits. Les Insectes sont faiblement abondants répartis sur trois taxons : les Chironomidae, les Notonectidae, et les Helophoridae.

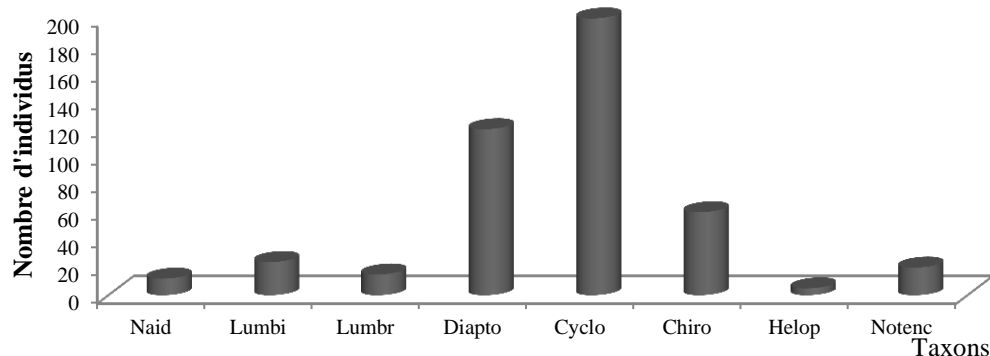


Figure 40 : Structure de la composition faunistique du puits P22.

II. Diversité de la faune dans différents sous bassins versant

L'hétérogénéité spatiale du peuplement des points d'eau se vérifie dans la répartition de la richesse taxonomique (**S**) de l'abondance totale et de la diversité (**H'**) qui présentent des différences importantes entre les stations étudiées.

II.1. Abondance de la faune

La totalité des macroinvertébrés capturés, triés et identifiés et considérés dans nos analyses est de 22052 individus. Un pic a été enregistré dans le puits P7 (3580 individus) (Fig. 41), cette abondance importante est due de fait que ce site est affecté par une légère pollution ce qui permet à la prolifération des Diptères Chironomides (870 individus). Ce pic est suivi par deux abondances importantes, il s'agit de la source S2 (2127 individus) dont les *Echinogammarus* a un effet important dans ce puits et les *Daphnies* filtreur de l'eau dans la source S1 (1697 individus). Les valeurs minimales sont enregistrées dans les puits P11 (46 individus), (60 individus) dans le puits P 13 et 96 individus dans le puits P2, Ces variations

spatiales pourraient être attribuées aux diverses influences que subit les milieux et aux aussi à la nature des différents habitats et peut être liée à l'état de protection de la station et l'endémisme des espèces (MATOCEC *et al.* 2002).

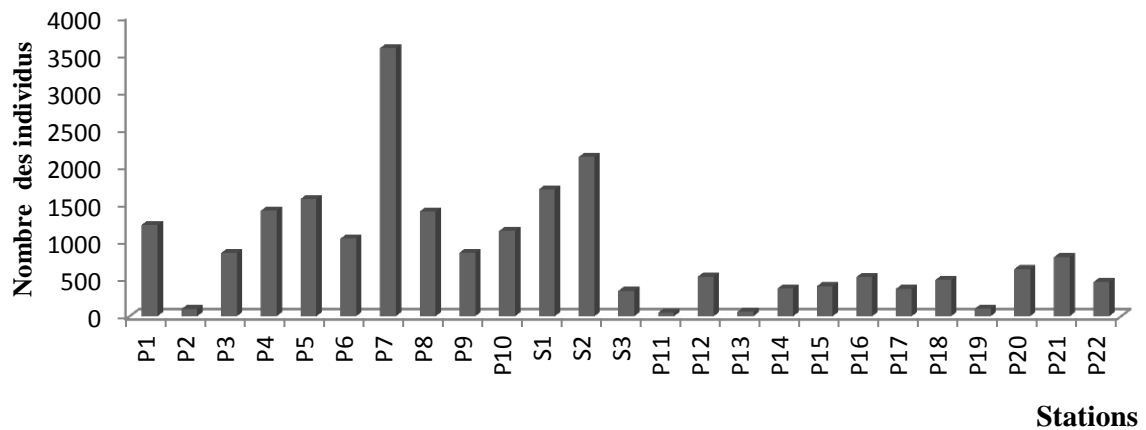


Figure 41 : Nombre total des individus récoltés dans les eaux souterraines étudiées

II.2. Richesse taxonomique

L'analyse de la figure relative à la distribution spatiale de la richesse taxonomique, montre une variation de la richesse taxonomique d'une station à l'autre (fig.42). En effet, sur un total de 37 taxons, le nombre de taxon fluctue entre un minimum de 03 taxons récoltés dans le puits P11 et un maximum de 21 taxons récoltés dans le puits P4 et une moyenne de 9.4 dans 25 stations prospectés.

Les études récentes (BOUZIDI et GIUDICELLI, 1994 ; GAGNEUR et ALIANE, 1991 ; BOUMAIZA, 1994 ; LOUNACI *et al.*, 2000 ; BERRAHOU *et al.*, 2001) ont mis en évidence la faible diversification des peuplements dans les écosystèmes continentaux d'Afrique du Nord. En effet, la plupart des familles et des genres sont pauvres en espèces.

Cette richesse taxonomique de la faune des puits et des sources apparaît comparable à celle qui a été observée dans la plaine de Tamlouka (wilaya de Guelma) par MERZOUG et ces collaborateurs (2010) qui dénombrait 9.33 espèce dans 22 puits prospectés, à celle des puits et des sources étudiés par KHALDOUN. (2013) dans la région de kenchela (Sud Est d'Algérie) où cette auteur a récolté 8.5 et supérieure également à celle des puits prospectés par PESCE et ces collaborateurs (1981) en Algérie (3.6 espèce en moyenne de 50 puits) en Egypte (4.4 espèces dans 11 puits). Les récoltes faites dans les trois sous bassins versant sont inférieure à celles de Marrakech où BOUTIN et BOULANOUAR (1984) et BOULANOUAR (1996) ont dénombré 11.2 espèces en moyenne dans 11 puits.

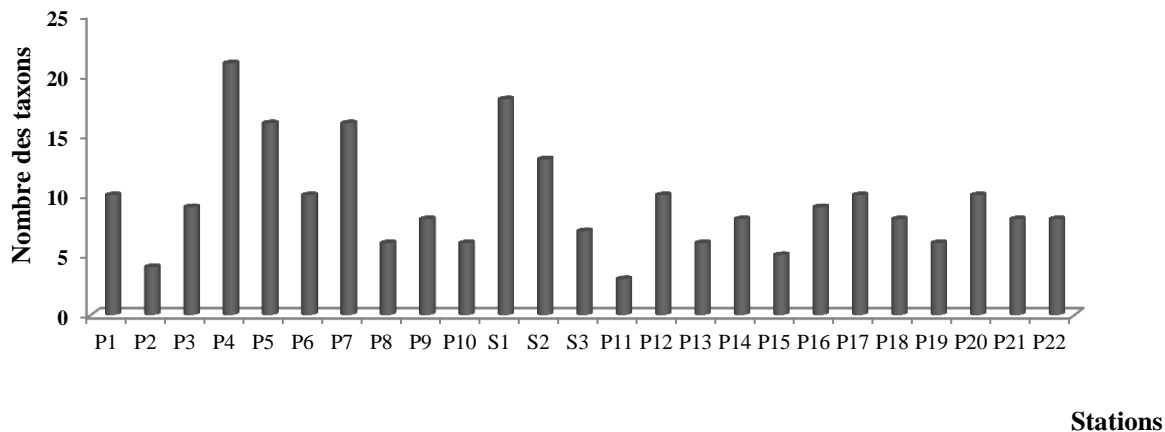


Figure 42 : Nombre total des taxons récoltés dans les eaux souterraines étudiées

II.3. Indice de Shannon

D'après BOURNAUD et KECH (1980), l'indice de SHANNON et WEAVER (1949) présente l'intérêt écologique de fournir une indication globale de l'importance relative des différents taxons. Nous avons calculé pour chaque station l'indice de diversité H' qui intègre la richesse taxonomique et l'abondance relative des différents taxons.

D'une manière générale H' augmente d'une part, avec le nombre d'espèces et d'autre part avec la régularité de leur distribution d'abondance, autrement dit, un indice faible est une conséquence d'un faible nombre de taxons et/ ou de la dominance de quelques espèces.

L'analyse des fluctuations de diversité (Fig. 43) entre les différentes stations mesurées par l'indice de Shannon montre une variation entre 1.09 et 3.22, la plus grande valeur a été marquée dans le puits P7 dans le sous bassin d'Annk Djamel. Ce qui montre que les groupements décrits au sein de cette station sont plus diversifiés en espèces, tandis que la valeur la plus faible a été enregistrée dans le puits P15.

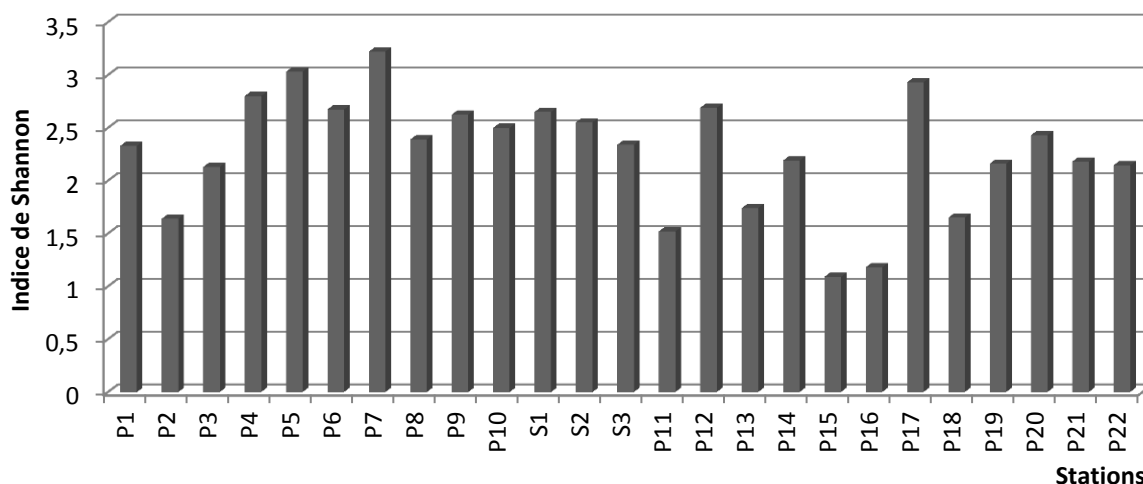


Figure 43 : Variation de l'indice de diversité de Shannon dans les eaux souterraines étudiées

III-Résultats des analyses en composantes principales de la faune souterraine

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

III.1. Sous bassins d'Annk Djamel et Oued Merzoug

L'examen des résultats numériques de l'analyse en composantes principales permet de connaître les contributions à la variance totale de chacun des principaux axes factoriels qui sont données ci-dessous pour les 2 premiers axes.

	F1	F2
Taux d'inertie	26.215	18.975
Taux cumulés	26.215	45.191

L'axe F1, qui cumule 26.215 % d'inertie regroupe des taxons épigés de différentes larves d'Insectes, des Copépodes et les Daphnies contribuent positivement à cette axe et s'opposent aux autres taxons épigés et stygoxies tels que les Chironomidés, les Culcidés et les Gammaridés. L'axe F2 fait apparaître assez nettement un regroupement vers les coordonnées

positives de la grande majorité des taxons, qui semble s'opposer à quelques autres dont les Collemboles et les Acariens qui ont au contraire des coordonnées négatives sur cet axe, la contribution de ce dernier taxon reste faible en raison de sa rareté. Toutefois l'ensemble des variables faunistiques est relativement peu structuré. Mais l'ACP permet de reconnaître 3 groupes de stations bien individualisés (Fig. 44) :

- ✓ **Groupe I** : Ce groupe qui réunit deux sources (S1 et S2) et deux puits (P4 et P5) comportent 2 sous-groupes.) Le premier (sg1-1) est composé de deux sources ; il est situé près de l'intersection des deux premiers axes, avec des coordonnées positives (figure 25). Les eaux de ces stations hébergent un peuplement très diversifié. Les sources se distinguent des autres stations par une proportion plus élevée de taxons épigés qui peut être due aux caractéristiques de ces écosystèmes largement ouverts et sans protection, par comparaison avec les puits. Ils sont donc plus favorables à l'installation des espèces épigées et sensiblement autant d'espèces épigées que stygobies. Le deuxième sous-groupe (sg 1-2), est constitué par les puits P4 et P5, qui se projette également près de l'origine des deux premiers axes, Ce sont les puits situés loin de toute source de pollution, leurs eaux hébergent une faune très diversifiée et ils présentent presque la même composition faunistique, aussi bien en taxons stygobies qu'épigés. Les eaux de puits P4 s'enrichissent en matière organique par l'infiltration des eaux de l'oued ce qui permet l'installation d'une faune assez diversifiée (21 taxons). Les espèces les plus caractéristiques de ces stations sont les Diaptomodae, les Cyclopoidae, les Daphniidae, les Dugestidae et d'autres larves d'insectes ;
- ✓ **Groupe II** : Il contient le seul puits P7. Ce puits a livré une faune qui est à la fois diversifiée (comportant en moyenne 15 taxons) et la plus abondante (3580 individus en moyenne). Ce puits est tiré par l'abondance en espèces épigées telle que les Diptères Chironomidae (plus de 850 individus), les Culicidae et les Hydrobidae ;
- ✓ **Groupe III** : Composé de 7 puits, il s'agit de puits P1, P2, P3, P8, P6, P8, P9 et la source S3. La diversité biologique dans les eaux des stations est relativement faible, elle est située entre 4 taxons dans P2 et 10 taxons dans le puits P1 et P6. Le peuplement est formé essentiellement des formes épigées.

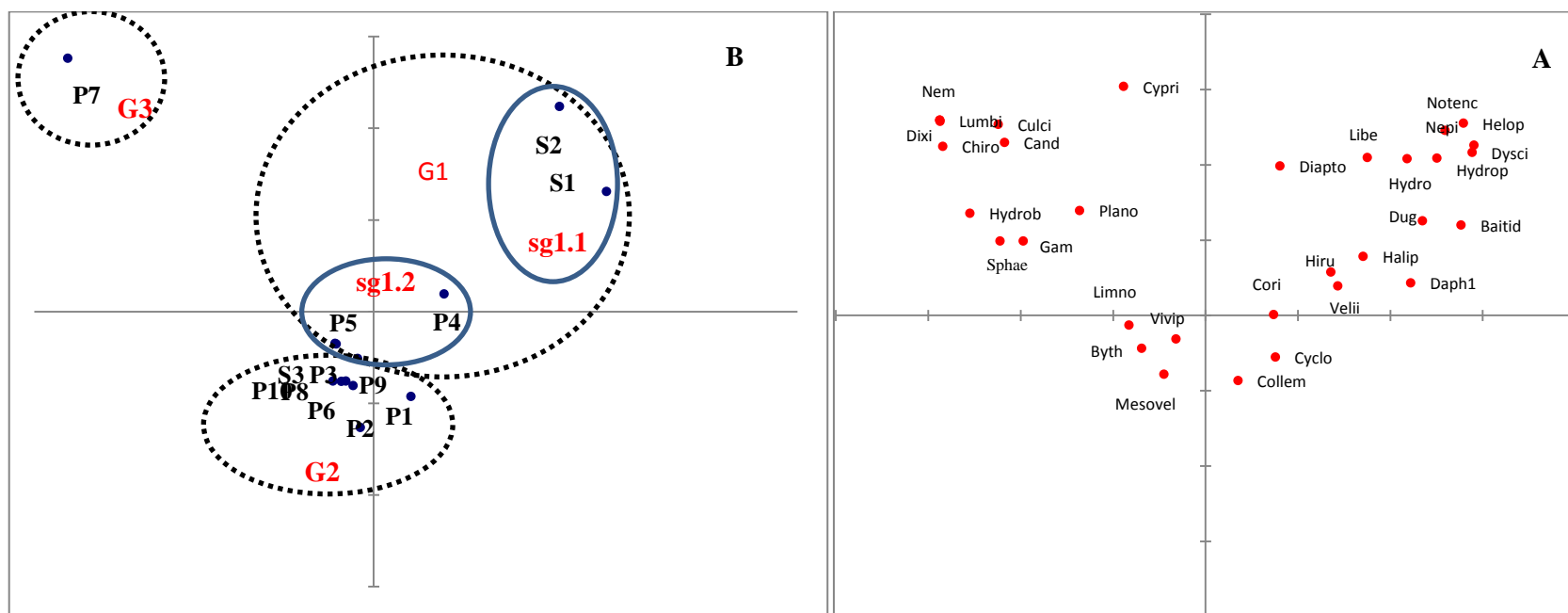


Figure 44 : A : Projections des taxons récoltés au cours de l'étude sur les deux plans premiers axes de l'ACP (axe 1 horizontal et axe 2 vertical). B : Projections des stations (10 puits et trois sources), décrites par leur faune, sur le plan des deux premiers axes factoriels de l'ACP (axe horizontal et axe 2 vertical. Dug : Dugestidae, Lumbi : Lumbiculidae, Plano : Planorbidae, Gam : Gammaridae, Cyc : Cyclopoidae, Diap : Diaptomidae, Cand : Candonidae Chiro : Chirocéphalidae, Daph : Daphniidae, Limn : Limnocharidae, Arre : Arrenuridae, Chir : Chironomidae, Dix : Dixidae, Coll : Collembolés, Cul : Culcidae, Hydrob : Hydrobiidae Hydro : Hydrophilidae, Hal: Haliplidae, Dyti: Dytiscidae, Helo : Helophoridae, Corri : Corrixiidae Veli: Veliidae, Mesov: Mesoveliidae, Noton: Notonectidae, Nep: Nepidae, Baeti : Baetidae Nem : Nemouridae, Libe : Libellule, Cypr : Cypridae, Hydr : Hydrobiidae Spha : Sphaeriidae, Vivi : Viviparidae, Hiru : Hirudinae

III.2. Sous bassin de Garaât Tarf

Une Analyse en Composantes Principales a été effectuée sur une matrice de données comportant 25 colonnes représentant les principaux taxons récoltés (stygobies et épigés) et 12 lignes représentant les 12 puits étudiés.

Les deux premiers axes cumulent près de 43.50 % de la variance totale (25.83 % pour l'axe F1 et 17.67% l'axe F2). La projection des taxons sur le plan factoriel des deux premiers axes de l'ACP (Fig. 45) ne montre pas de structure très claire et aisément interprétable. On observe au contraire une dispersion importante des taxons qui se trouvent répartis dans les 4 quadrants en plusieurs petits groupes. On peut toute fois observer que le premier axe factoriel montre, du côté de ses coordonnées positives, les taxons les plus communs et qui sont connus pour bien résister à la pollution de l'eau (tels que les Naididae, les Lumbiculidae Lumbriculidae et les Chironomidae...), qui s'opposent aux taxons stygophiles (comme les Copépodes et les Gastéropodes) ou les taxons stygoxènes (comme des larves d'Insecte) tous du côté opposé avec des coordonnées négatives . .

Toutefois l'ensemble des variables faunistiques est relativement peu structuré .Mais l'ACP permet de reconnaître 3 groupes de stations bien individualisés (Fig.45) :

- ✓ **Groupe 1** : Ce groupe réunit la majorité des puits P11, P12, P13, P14, P15, P18, P19 et P22 qui se projettent également pas loin de l'origine des deux premiers axes, mais du côté positif du l'axe I. Dans ces stations la richesse spécifique globale n'est en moyenne que de 6.37 avec une abondance moyenne très faible de 305.87 individus. Mais ce qui est remarquable que ces stations hébergent nettement plus de taxons épigés que d'espèces stygobies. la faune stygobie est représentée par une seule famille Niphargidae avec 3 espèces (*Pseudoniphargus n.sp*, *Pseudoniphargus africanus*, et *Niphargus sp*) ;
- ✓ **Groupe II** : il rassemble les deux puits P20 et P21. Le puits P20 a livré 8 taxons alors que le puits P21 a livré 10 taxons. Ces deux stations se caractérisent par l'abondance en espèces épigées telle que les Copépodes Cyclopoidae et l'absence totale en espèces stygobies ;
- ✓ **Groupe III** : il regroupe aussi deux puits **P16** et **P17**. Ces deux stations se caractérisent par l'abondance en espèces épigées telle que les Copépodes, Cyclopoïdes et les Branchiopodes et aussi des larves d'insectes. Les Gastéropodes sont également présents dans l'eau de ces stations. Les espèces stygobies (Gastéropodes Bithynidae et

Hydrobidae) sont présentes aussi dans les eaux de ces puits mais avec des abondances plus faibles.

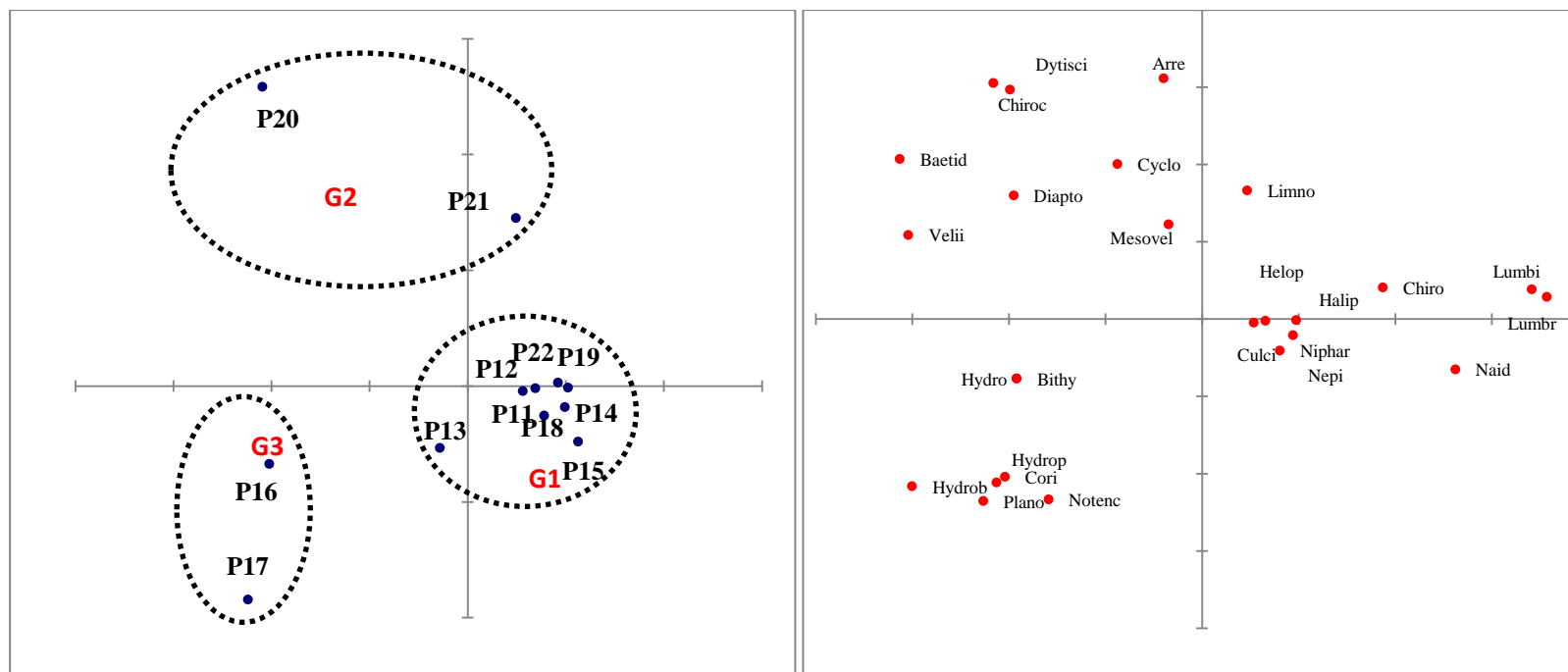


Figure 45: Projections des taxons récoltés au cours de l'étude dans le sous bassin Garaât Tarf sur le plan des deux premiers axes de (axe 1 horizontal et axe 2 vertical). **B** : Projection des puits (11 à 22), décrites par leur faune, sur le plan des deux premiers axes factoriels de l'ACP. Naid : Naididae, Lumbi : Lumbriculidae, Lumbri : Lumbriculidae, Plano : Planorbidae, Diap : Diaptomidae, Chiro : Chirocéphalidae, Limn : Limnocharidae, Arre : Arrenuridae, Chir : Chironomidae, Culci : Culcidae, Hydrob : Hydrobiidae, Hydro : Hydrophilidae, Hal : Haliplidae, Dyti : Dytiscidae, Helo : Helophoridae, Veli : Veliidae, Mesov : Mesoveliidae, Noton : Notonectidae, Nep : Nepidae, Baeti : Baetidae, Nem : Nemouridae, Niph : Niphargidae, Hydr : Hydrobiidae, Bithy : Bithyniidae, Corri : Corriidae

IV. Composition et distribution de la faune stygobie

Les espèces animales souterraines présentent des particularités morphologiques et physiologiques assimilées à des adaptations. Ce sont les espèces stygobies caractérisées par leur dépigmentations (couleur blanche ou transparentes), leur formes allongées, filiformes, avec de longs appendices, leur taille souvent supérieure aux espèces voisines des eaux de surface, l'absence d'yeux souvent compensée par des longues antennes et des récepteurs chimiques. Les espèces hypogées présentent un métabolisme réduit, un développement ralenti et une grande longévité. Le nombre d'œufs est généralement réduit et leur taille est plus grosse. En dehors des organismes vivants unicellulaires, microscopiques (Bactéries Protozoaires), le règne animal est essentiellement représenté dans les eaux souterraines par la classe des vers, celle des Mollusques et celle des Crustacés, la plus abondante et le milieu étudiée.

Le peuplement récolté (Tab.8) dans toutes les stations et durant toute la période d'échantillonnage a fourni huit taxons stygobies appartiennent à quatre groupes Zoologique. Les Crustacées constituent le groupe faunistique le plus diversifié et numériquement le plus abondante. il s'agit des Amphipodes : *Pseudoniphargus sp*, *Pseudoniphargus africanus*, *Niphargus sp* et *Echinogammarus sp*, suivi par les Ostracodes représentée par une seule espèce *Pseudocandonus sp*. Le groupe de Mollusques est présenté par une seule famille, c'est les Hydrobiidae il s'agit les *Pseudomnicola sp* et *Islamia sp*. le groupe, des Plathelminthes est représenté par un seul taxon *Dugestia sp*. et le dernier groupe c'est les Insecte présenté par les Coléoptères ; (Dytixidae : *Siettitia avenionensis*)

➤ **Pseudoniphargus et Niphargus**

Deux genres appartiennent à la famille des Niphargidae, se sont typiquement des stygobies présents dans les grottes ou dans le domaine phréatique. Certains peuvent cependant se rencontre en milieu superficiel à la suite des crues du réseau karstique.

Certaines vivent dans le karst des régions calcaires, d'autres en milieu phréatique ou hyporhéique et se sont des espèces polluées résistantes. BOUTIN et al., 2013 ont signalé que le genre *Niphargus*, est plus connu en Europe où on connaît plus de 250 espèces décrites, est absent en Afrique où l'on rencontre en revanche de nombreuses espèces de *Pseudoniphargus* dans tout le Nord du Maghreb mais principalement au Maroc où plusieurs campagnes de prospection ont été organisées, permettant à EL ALAMI EL FILALI (2010) de signaler la

présence de quelque 20 espèces différentes et en Algérie par MERZOUG et al., (2010) dans presque la même région d'étude.

Dans nos prélèvements nous avons récolté deux genres il s'agit des *Pseudoniphargus* dans le puits P12 et le puits P13, c'est deux puits sont très proches, cela signifie l'effet des paramètres abiotiques, tels que la granulométrie des sédiments, la qualité de l'eau ainsi que sa température, conditionnent la présence des espèces dans les diverses stations.

Le deuxième genre récolté dans cette étude les *Niphargus*, c'est une nouvelle espèce peu être en l'Algérie car plusieurs auteurs ont signalé inexistences des *Niphargus* en Algérie. Ce genre a été signalé dans le puits P19 malgré ce puits est pollué par les nitrates.

➤ *Echinogammarus* sp

Les Gammaridae occupent tous les types d'habitats : des lotiques aux lentiques et des eaux saumâtres aux douces acides ou calcaires mais les espèces d'*Echinogammarus* sont plus nombreuses à la limite eau douce et saumâtres. Dans le milieu prospecté les *Echinogammarus* sont présentés dans les deux puits proche P5 et P6 et dans le puits P7.

➤ Les Ostracodes

Les ostracodes sont de petits crustacés dont le corps est enfermé entre deux valves calcaires. Ils colonisent tous les milieux aquatiques terrestres, mais il existe des crustacés stygobies (vivant strictement en milieu souterrain, aveugles et dépigmentés).

Les Ostracodes, stygophiles ou stygobies sont également très peu étudiés, les spécialistes étant rares. En Maroc BOULAL ET IDBENNACER ont décrit un nouveau genre d'Ostracode du Nord de la zone Saharienne (*Marococandona*) ainsi que deux espèces (MARMONIER et al., 2005). Les Ostracodes stygobies sont présentés par un seul taxon *Pseudocandona* sp localisé dans le bassin versant Nord de la région exactement dans les puits P1, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 et P10. La présence de taxon dans ce Bassin Nord et inexistante dans le Bassin Sud confirme que ces phréatobies stricts ont en général une distribution réduite à une aire de petite taille, parfois même limitée à un unique bassin versant (MARMONIER et al., 2005).

➤ Les Mollusques

Les Mollusques sont les moins diversifiés en milieu souterrains, représentent le second groupe en terme de biodiversité après les Crustacés. Plusieurs auteurs ont signalé que la famille de Hydrobiidae renferme quelques genres en eaux douces dont la majorité correspond à

des formes phréatobies ou endobenthique de très petite taille. (TACHET .H.2006) Deux espèces non déterminées ont été récoltées : *Pseudomnicola sp* et *Islamia sp*. La première n'a été trouvée que sur un seul puits P16, situé dans le bassin versant sud (Garaât Tarf)

La seconde est relativement bien représentée dans les puits P1, P3, P4, P5, P6,P7, P8 et la source S3 dans le bassin versant Nord de la zone d'étude (Annk Djamel et Oued Merzoug)

➤ *Dugestia sp*

Les vraies Planaires, ou Triclaides, sont également fréquentes dans les eaux souterraines (GOURBAULT, 1977), elles peuvent être totalement blanches (dépigmentées) et anophtalmes.

Les Planaires ont été signalé dans les puits des 3 pays du Maghreb où elles n'avaient guère été étudiées jusqu'à maintenant ; elles ont été signalées tout récemment dans des puits d'Algérie (MERZOUG *et al.*, 2010) et un travail les concernant est en cours depuis peu en Tunisie. Les planaires sont récolté dans le puits P 4 et la source S1.

Tableau 8 : Liste des taxons stygobies récoltés dans les eaux souterraines étudiées

Famille	Espèce	P1	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P12	P13	P16	P19	P20	S1
Gammaridae	<i>Echinogammarus sp</i>				*	*	*									
Niphargidae	<i>Pseudoniphargus sp</i>										*					
Niphargidae	<i>Pseudoniphargus Africans'</i>											*				
Niphargidae	<i>Niphargus sp</i>													*		
Candonidae	<i>Pseudocandonus sp</i>	*		*	*	*	*	*	*	*						
Hydrobidae	<i>Pseudomnicola sp</i>												*			
Hydrobidae	<i>Islamia sp</i>	*		*	*	*	*	*								*
Dugestidae	<i>Dugestia sp</i>			*												*
Dytixidae	<i>Siettitia avenionensis)</i>				*										*	*

O

V. Discussion

La faune des puits et des sources de sous bassins versant d'Ank Djamel et Oued Merzoug révèle une richesse taxonomique de 37 taxons avec 16400 individus, correspondant en moyenne à 9,9 taxons. Cette richesse semble être supérieure à celle obtenue par DALMAS (1973) dans le Sud de la France où il a récolté 4,7 espèces en moyenne, à celle des puits prospectés par PESCE et al. (1981) en Algérie (3,6 espèces en moyenne dans 50 puits), en Egypte (4,4 espèces en moyenne dans 11 puits) et au Maroc (3,4 espèces en moyenne dans 51 puits). Cependant, elle est équivalente à celle obtenue par PESCE (1980) en Italie (9,8 espèces en moyenne dans 22 puits). Elle reste toutefois, inférieure à celle recensée par BOUTIN et BOULANOUAR (1984), BOULANOUAR (1986) et BOUTIN et DIAS (1987) à Marrakech (12 espèces en moyenne dans 11 puits), BOULAI (1988) dans la région de Tiznit au Nord de l'Anti-Atlas (14 taxons en moyenne dans 10 puits) et BOUTIN et IBDENNACER (1989) au Sud de l'Anti-Atlas (10,8 espèces en moyenne dans 7 puits)

Globalement, les premières prospections faites dans les puits et les sources de la plaine de Tamlouka par MERZOUG et al 2010 ont révélé la présence d'une faune équivalente qui a été enregistrée par notre étude. De plus, l'ensemble des puits et des sources prospectés révèle une hétérogénéité qui a été déjà signalée par BOTOSANEANU (1986), DOLE et al. (1992), GIBERT et DEHARVENG (2002). En effet, les puits constituent un écotone où cohabitent deux groupes d'espèces, épigées et endogées ou stygobie (DALMAS, 1972 ; VANDEL, 1964) où la faune stygobionte diffère dans la composition de la faune épigée (BRUNO, 2001).

Parmi les espèces récoltées, certaines sont d'origine superficielle. Il s'agit d'une faune majoritairement stygoxène et stygophile, constituée essentiellement par le groupe d'insectes, représenté par les Diptères, les Hétéroptères, les Coléoptères et dans une moindre mesure les Trichoptères., Odonates et les Collembolés. A côté des insectes, viennent s'ajouter des Crustacés tels que les Amphipodes, les Copépodes les Ostracodes et les cladocères Enfin, les Mollusques, les plathelminthes et les Arachnides. La distribution de cette faune dépend pour une grande partie de la morphométrie des stations, de son aménagement, de sa protection en surface et de facteurs aléatoires de dispersion: arrivée d'insectes aériens venus pondus dans le puits, action de vents, etc. (BOUTIN et DIAS, 1987).

D'autres, au contraire sont d'origine interstitielle habitant la nappe phréatique (stygofaune). Ce sont des espèces, vivant exclusivement dans les eaux souterraines (THIENNEMANN, 1926 ; PLESA, 1985 ; MARMONIER et al., 1993 ; GIBERT et al., 1994) et

sont selon BOULANOUAR (1986) et BOUTIN et DIAS (1987), les plus intéressantes puisqu'elles peuvent nous renseigner sur l'état de la nappe phréatique.

La communauté stygobie récoltée dans cette étude appartient à cinq groupes zoologiques ; Crustacée, Planaire, Ostracode, Gastéropodes (Hydrobiidae) et Insecte (Coléoptère). En effet, bien que la plupart des groupes d'invertébrés soient présents dans les eaux souterraines, la faune stygobie est significativement dominée par le groupe des Crustacés qui contribuent à plus de 60 % de la diversité en espèces (FERREIRA, 2005). Les 8 taxons identifiés dans cette région d'étude sont par ordre décroissant d'abondance total : *Echinogainmarus sp* (Amphipode Gammaridae), *Pseudocandonus sp*, (Ostracode Candonidae), et *Islamia sp* (Gastéropodes Hydrobiidae) , *Pseudomnicola sp*, (Gastéropodes Hydrobiidae), *Pseudoniphargus africanus* , *Pseudoniphargus sp* et *Niphargus sp* (Amphipodes Niphargidae) , *Dugestia sp* (Plathelminthe , Dugestidae) . Cette diversité est très faible comparée à celle recensée par BOULANOUAR (1986) qui a trouvé 18 espèces stygobies dans la région de Marrakech, par BOULAI (1988) et BOUTIN et IDBENNACER (1989) qui ont récolté 11 espèces chacun dans le Sud de l'Anti-Atlas marocain, et par MALARD et GILBERT, 1997 qui ont obtenues 32 espèces stygobies dans le bassin de Letz en France. Notons qu'actuellement 381 espèces stygobies sont recensées dans toute la France correspondant à près de 5700 enregistrements, un nombre qui reste encore largement sous-estimé en raison de l'hétérogénéité spatiale de l'effort d'échantillonnage et de l'hétérogénéité de la qualité des données taxonomiques, alors que la stygofaune africaine est estimée à 180 espèces dont 137 sont localisées en Afrique du Nord (Algérie, Maroc, Egypte, Tunisie, Lybie) (FERREIRA, 2005). Cette grande différence dans la richesse spécifique est liée surtout au nombre de prélèvements effectués. La stygofaune des stations étudiées est représentée par le groupe des Crustacés. Ces derniers sont en général des bons colonisateurs des eaux souterraines (STOCH, 1995 ; SKET, 1999 et 1999; GIBERT et DEHARVENG, 2002). FERREIRA (2005) suggère qu'ils sont plus nombreux dans le milieu souterrain que dans les eaux de surface. Ce groupe constitue 21,62 % de la faune totale des puits étudiés. Ce sont *Echinogainmarus sp* (Amphipode Gammaridae), *Pseudocandonus sp* (Ostracode Candonidae). Seulement, si y ces crustacés présentent des adaptations morpho-anatomiques au milieu souterrain comme l'anophtalmie et la dépigmentation, d'autres groupes n'en présentent aucune comme les Oligochètes et les Nématodes, par conséquent la détermination spécifique des représentant de ces derniers pourrait mettre en évidence leur appartenance à la stygofaune.

La faune stygobie récoltée inclurait une espèce endémique en cours de détermination. Il s'agit La faune stygobie récoltée inclurait une espèce endémique en cours de détermination (CRISTOPHE PISCART) ; il s'agit du genre *Niphargus* et il est plus connus en Europe où on connaît plus de 250 espèces décrites, est absent en Afrique où l'on rencontre en revanche de nombreuses espèces de *Pseudoniphargus*.

Mais le nombre de la stygofaune est certainement sous évalué dans la mesure où certaines espèces pourraient échapper aux récoltées effectuées dans les puits. C'est le cas des Isopodes stygobies qui ont été prélevés que dans les eaux souterraines de Tamlouka dans la région Est de l'Algérie (MERZOUG et al., 2010) et qui n'a pas été récolté dans nos puits. Toutefois, l'absence de ce dernier taxon pourrait être liée au fort endémisme qui caractérise ces espèces (HOLSINGER, 1994). Ceci serait confirmé par la prospection d'autres milieux souterrains surtout karstiques tels que les grottes, les rivières souterraines et les zones saturées du massif karstique (forrages). D'autre part, parmi les autres groupes récoltés dans les puits, certains taxons seraient des stygobiontes. Ceci ne pourrait être confirmé qu'avec des spécialistes qui malheureusement ne sont pas toujours accessibles.

L'hétérogénéité faunistique globale des puits et des sources est constatée à une échelle spatiale d'une station à l'autre d'une part et entre les trois sous bassin versant d'autre part. Ainsi, la richesse taxonomique varie de 3 taxons dans le puits Pu1, le puits situé dans le sous bassin Garaât Tarf à 21 taxons dans les puits Pu4 situé dans le sous bassin versant d'Oued Mersoug et cette richesse semble liée à la proximité de puits ce l'oued qui enrichie la nappe phréatique en éléments nutritifs.

Parmi les 37 taxons récoltés dans cette d'étude, on trouve 7 taxons (Dugestidae, Huridinae, Sphaeridae, Candonidae, Cyprididae, *Echinogammarus*, et les Collembolés) qui sont inféodés aux deux sous bassin versant d'Ank Djamel et Oued Merzoug alors que seulement trois taxons (Naididae, Bythinidae et Niphargidae) sont inféodés au sous bassin d'Ank Djamel. De même, la diversité mesurée par l'indice de Shannon montre une différence significative allant de 0,1045 à 2,3181.

Cette variation serait liée à plusieurs facteurs dont l'influence du cours d'eau qui conditionne pour une grande part la stabilité ou non de l'habitat phréatique par les échanges hydrauliques (BRUNO et al, 2001). Selon SBORDONI et al. (2000), les différences entre des populations sont liées plus à la liaison hydrologique qu'à la distance géographique. En fait, cette différence qui peut apparaître entre deux puits voisins peut fournir de bonnes indications sur

cette origine. C'est le cas des puits P12 et puits P 13 qui n'hébergent pas les mêmes espèces. Ainsi, 10 taxons sont récoltés dans l'un de ces deux puits, c'est le cas par exemple des Oligochètes, et Diptères. Nous supposons que l'existence d'une source qui n'alimente que le puits P12 pourrait être à l'origine de cette différence. Les mêmes observations sont faites par BOUTIN et BOULANOUAR (1984) dans la ville de Marrakech.

Cette faune diffère à une échelle plus locale d'un biotope à l'autre (GIBERT et CULVER, 2004). En effet, elle semble liée à la proximité de l'oued qui enrichie la nappe phréatique en éléments nutritifs, c'est le cas surtout des puits P1, P3, P4, P5 et P17. De plus, cette faune varie avec la teneur en oxygène. En effet, STRAYER et al. (1997) supposent que la quantité d'oxygène prend une priorité, et que la densité de cette faune peut être liée à la disponibilité de la matière organique lorsque le facteur oxygène n'est pas limité.

Plusieurs études ont souligné l'importance de la granulométrie dans la répartition des invertébrés benthiques mais aussi, celle des crustacés stygobies (YACOUBI-KHEBIZA, 1990 et 1996; De BOVEEE, 1995). Le mode d'installation d'un puits, son diamètre et sa forme peuvent modifier la texture du substrat au voisinage direct du puits, affectant ainsi l'échantillonnage (TILLMAN et al. 1996). De même, HAKENKAMP et PALMER (1992) ont montré que les organismes colonisant les puits anciens diffèrent significativement, en termes de composition et d'abondance, de ceux collectés d'un puits récemment installé. Cela, se voit dans nos puits, présentant chacun un âge différent de l'autre, et qui ont pu révéler cette différence faunistique. Enfin, le pompage régulier de l'eau des puits pour des besoins surtout agricoles engendre selon DOLE et CHESSEL (1986) une modification artificielle du niveau piézométrique, ce qui provoque la disparition ou la migration de la faune des puits suite à une destruction des interstices (REYGROBELLET et DOLE, 1982).

D'autres facteurs environnementaux peuvent avoir une influence sur la présence de ces espèces en affectant leur fécondité, tels que la salinité de l'eau (LARDIES et WEHRTMANN, 2001; VERNBERG, 1962). C'est le cas du puits P22 caractérisé par la conductivité la plus élevée (7160 μ S/cm) n'est colonisé par aucune forme phréatobie.

QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES

Introduction

Au cours de circulation les eaux souterraines, se chargent, au contact des différents terrains traversés, d'un certain nombre d'éléments d'origine géologique ou provenant des activités anthropique. Elles sont capables de changer la qualité des eaux de la nappe et par la suite les caractéristiques de l'écosystème. Selon la définition de la Directive Cadre Européenne DCE (ROCHE *et al.*, 2005), l'état écologique se réfère « à la structure et au fonctionnement des écosystèmes aquatiques ; l'évaluation en repose donc principalement sur la bio-indication : les peuplements aquatiques, invertébrés et poissons, en sont les juges de paix. Le « bon état » se comprend dès lors comme « bon fonctionnement ». Les seuils concernant les divers paramètres physicochimiques généraux qui contribueront à caractériser chaque masse d'eau doivent donc pouvoir être reliés à l'altération des peuplements.

Pour les polluants toxiques, des normes sont définies sur la base de tests éco toxicologiques. L'évaluation des altérations physiques (ou hydro morphologiques) est requise pour identifier les situations de référence, mais n'intervient pas pour définir le bon état. Par ailleurs la présence d'une pollution locale au voisinage d'un point d'eau (puits ou source) peut être l'origine de la contamination de la nappe, par infiltration ou par déversement direct. Cette contamination est beaucoup plus accentuée lorsque le puits n'est pas protégé (absence de margelle). Ainsi, l'apport à la nappe d'éléments exogènes, matières organiques, ions azotés, métaux lourds et autres constitue un danger pour la faune aquatique souterraine.

I. Qualité des eaux souterraines

I.1. Qualité physico-chimique des eaux souterraines

En effet les variations saisonnières des paramètres mesurés sur l'eau des puits sont très faibles tout au long de l'année de sorte qu'il est pertinent de caractériser chacune des stations par la moyenne des valeurs mesurées au cours de l'étude, et ce pour chacun des paramètres considérés.

I.1.1. Sous bassin versant d' Annk Djamel et Oued Merzoug

Les résultats d'analyse physico-chimique des eaux souterraines de deux sous bassins d' Annk Djamel et Oued Merzoug , pendant la période d'observation, ont été consignés dans le tableau 9.

Tableau 9 : Variation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de deux sous bassins versant Annk Djamel et Oued Merzoug.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
T	15,000	17,500	16,385	0,794
pH	6,680	8,040	7,391	0,363
CE (mg/l)	254,000	5530,000	2649,154	1786,489
O2 (mg/l)	6,330	9,530	7,545	0,983
Ca (mg/l)	109,000	750,000	365,929	175,053
Mg (mg/l)	74,000	220,000	134,462	43,952
CaCO3 (mg/l)	200,000	910,000	500,391	192,676
HCO3 (mg/l)	42,000	833,000	472,385	235,507
Cl (mg/l)	63,900	1200,000	485,465	375,614
SO4 (mg/l)	121,000	756,000	394,846	252,227
NH4 (mg/l)	0,008	0,635	0,134	0,215
NO3(mg/l)	0,260	18,760	6,796	5,775
NO2 (mg/l)	0,006	0,568	0,280	0,209
PO4 (mg/l)	0,000	0,290	0,113	0.112

I.1.1.1 Qualité physique

➤ La température (T)

La température est un facteur physique fondamental dans les milieux aquatiques superficiels et terrestres. Elle conditionne grandement la répartition des organismes végétaux et animaux et influence l'activité physique des êtres vivants. Elle contrôle aussi l'évolution et la transformation dans le milieu aquatique, de nombreux facteurs chimiques dont l'oxygène dissous, facteur indispensable aux organismes aquatiques. Dans les eaux souterraines, les variations thermiques sont très atténuées, le sol ne transmettant pas les variations saisonnières de température aux quelles, il est soumis à la surface. D'après **MORETTE (1964)**, à partir de 12 à 15 m de profondeur la température de celui-ci est indépendante de sa couche superficielle et à fortiori de la température extérieure. Ainsi à -7,50 m l'amplitude thermique annuelle n'excède pas 2°C. D'autres auteurs (**PICARD, 1962; DOLE, 1983**) estiment qu'à partir de -50 cm dans les substrats, les écarts journaliers ne se font plus ressentir, alors que les variations saisonnières peuvent encore s'observer.

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

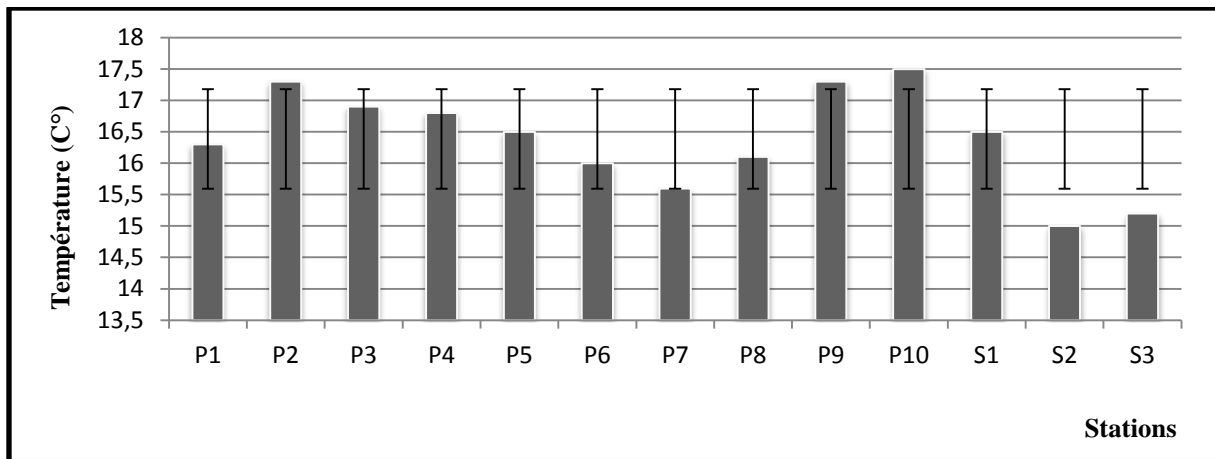


Figure 46 : Valeurs moyennes (et écarts-types) des températures de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug.

Les relevés thermique effectués au niveau des puits et des sources ont montré une légère variation thermique entre les stations : une valeur maximale moyenne de 17.5 C° dans le puits P10 et d'une valeur minimale moyenne de 15.00 dans la source S2 avec un faible écart-type (0.794) traduisant une faible variation d'une station à l'autre (Fig.47). Cette faible variation thermique a été déjà observée et soulignée ailleurs, dans l'eau des puits, des sources ou des grottes, et cela aussi bien en Europe (VANDEL, 1964, GINET et DECOU, 1977), au Maroc (BOULANOUAR, 1995 ; BOULAL, 1988 ; IDEBENACER, 1990) qu'en Algérie (MERZOUG *et al.* 2010 ; KHALDOUN *et al.* ,2013).

➤ Le potentiel hydrogène (PH)

Le pH de l'eau renseigne sur son acidité et son alcalinité. Selon (CHAPMAN *et al.*, 1996), le pH des eaux naturelles est généralement compris entre 6,6 à 7,8 et selon (NISBET *et al.* ;1970) il varie de 7,2 à 7,6. Habituellement, les valeurs du pH se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles (RODIER *et al.* , 1984). La nature des terrains traversés par les eaux est la cause naturelle, provoquant des variations importantes du pH. D'une manière générale, le pH ne constituerait jamais un facteur limitant en hydrobiologie (DELAMARE de BOUTTEVILLE, 1960) sauf dans des situations exceptionnelles, bien entendu.

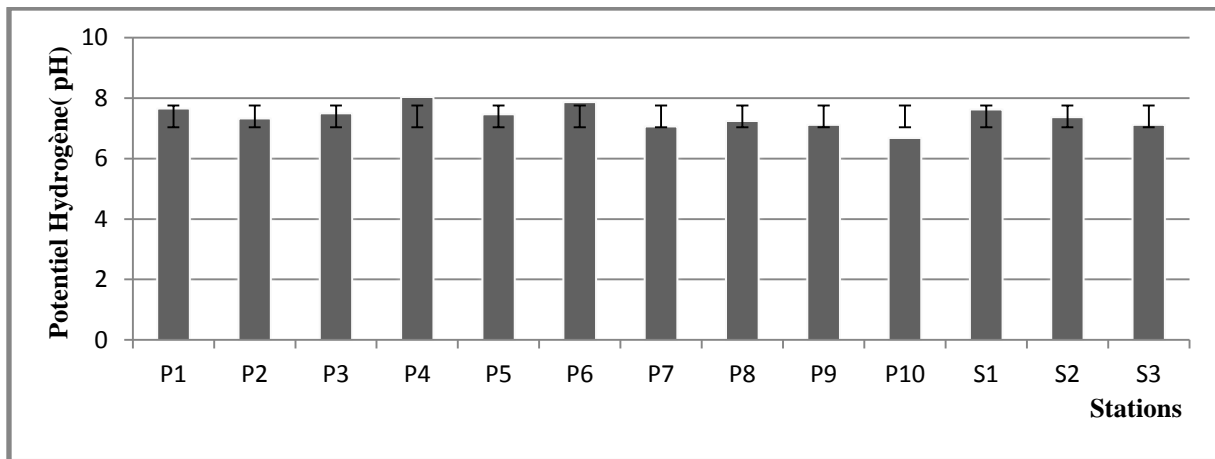


Figure 47: Valeurs moyennes (et écarts-types) de potentiel Hydrogène de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug.

Les variations du pH dans les eaux souterraines suivent celles des eaux de surface, L'analyse de ces eaux a dévoilé que le pH est proche de la neutralité avec une légère alcalinité, au niveau de l'ensemble des points d'eau avec une faible variation d'une station à l'autre ('écart-type 0.363) (fig.47). Le caractère basique de l'eau est influencé principalement par les carbonates mis en solution.

➤ La conductivité électrique(CE)

La conductivité électrique représente la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle est proportionnelle à la minéralisation de l'eau, ainsi plus l'eau est riche en sels minéraux ionisés, plus la conductivité est élevée (DERWICH et *al.*, 2010). Elle est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente REJSEK F (2002). Elle sert aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (RODIER et *al.*, 1984).

L'étude des caractéristiques statistiques descriptives de la conductivité électrique indique une valeur moyenne de 2649.15mg et des valeurs extrêmes de 254 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 5530 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Du fait des basses et des hautes la dispersion relative concentrations atteint (67.43 %). La figure (48) fait ressortir deux parties : la première comporte sept stations (cinq puits et deux sources), variant entre 254 mg/l et 1819 mg/l. Six autres stations ont des concentrations très variées avec des valeurs supérieures à 2000 mg/l.

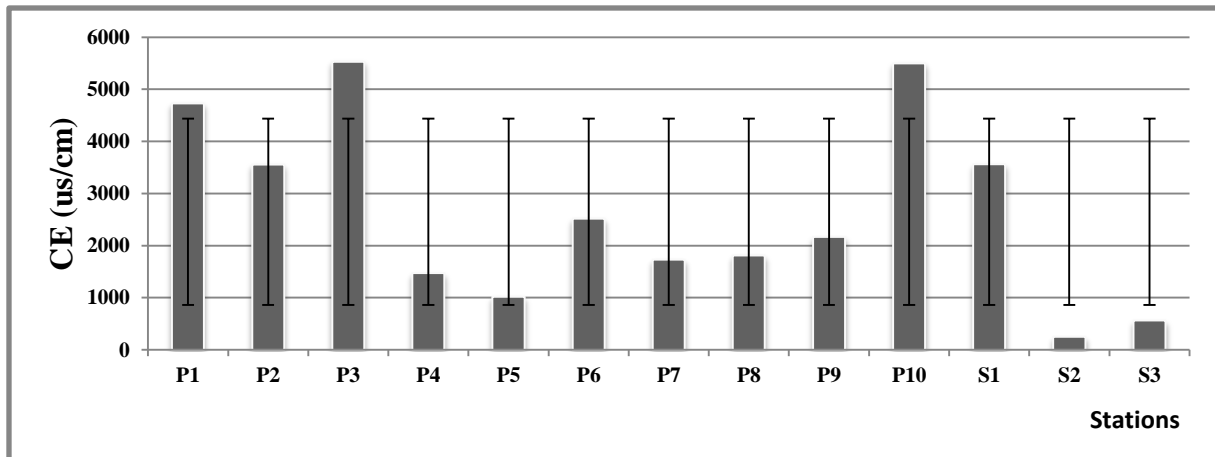


Figure 48: Valeurs moyennes (et écarts-types) de la conductivité électrique de l'eau des stations étudiés dans les deux sous bassin versant Ank Djamel et Oued Merzoug.

Ces fortes concentrations sont probablement dues aux terrains évaporitiques du Trias environnant. Parmi les six stations à plus hautes minéralisation, deux sont situés aux alentours de garaât Mershel (puits P9 et puits P10) et trois autres puits (P1, P2, P3) vers les zones d'accumulations des eaux souterraines (l'aval) (fig.48). Toute fois, les valeurs de conductivité de la plus part de ces eaux restent supérieures aux limites des normes de potabilité fixées par l'OMS ($\sigma < 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$).

I.1.1.2. Qualité chimique

➤ L'oxygène dissous (O_2)

Dans les eaux souterraines, les teneurs en oxygène dissous sont relativement faibles par rapport à celles des eaux de surface, à cause de l'absence des végétaux photosynthétiques, du faible contact eau-atmosphère, et de l'absence de la turbulence de l'eau. L'oxygène dissous est très important par le fait qu'il conditionne l'état de plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique (HCEFLCD, 2007).

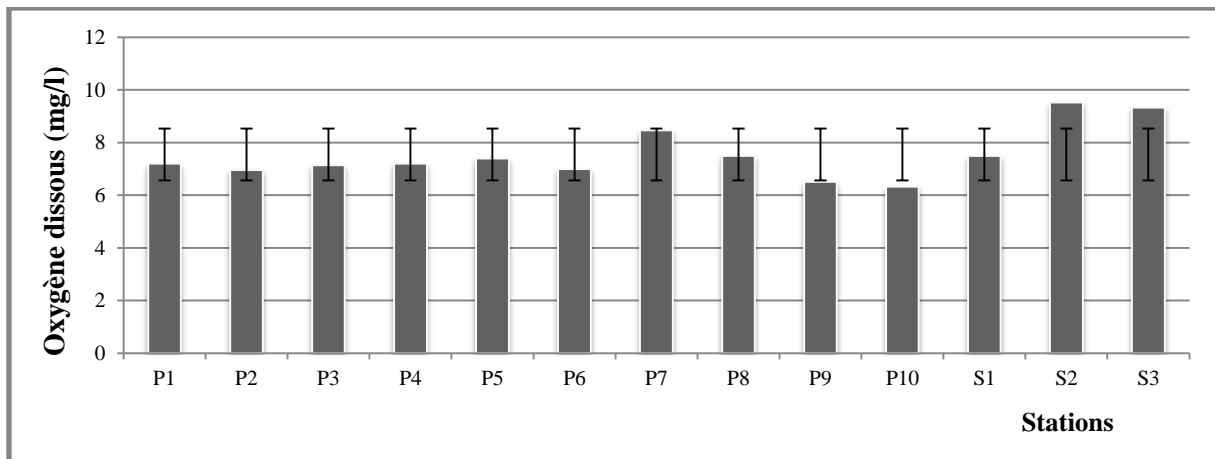


Figure 49: Valeurs moyennes (et écarts-types) de l'oxygène de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassins versant Annk Djamel et Oued Merzoug.

Pour l'ensemble des prélèvements dont les résultats sont enregistrés dans le tableau (9) et illustrés par la figure 49, l'oxygène dissous présente des variations importantes d'un point à un autre, elle varie entre 6.33 mg enregistrée dans le puits P10, comme valeur minimale et 9.53 mg/ enregistrée dans la source S2, comme valeur maximale. Durant la période d'étude les sources en générale sont les plus oxygénées, et les faibles valeurs remarquées dans le puits P 10. L'anoxie de ce puits est due probablement à une contamination organique. En effet, ce puits est creusé dans une zone de pâturage où il y'a des rejets des bétails.

➤ Le calcium (Ca^{2+})

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux) (RODIER et al., 2009). Le calcium joue un rôle essentiel dans la constitution des squelettes et des coquilles, et dans les phénomènes de perméabilité cellulaire, il est concentré par les organismes à partir de l'eau ou des aliments. Il ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage. Par contre, les eaux très douces peuvent entraîner des problèmes de corrosion des canalisations (GAUJOU, 1995).

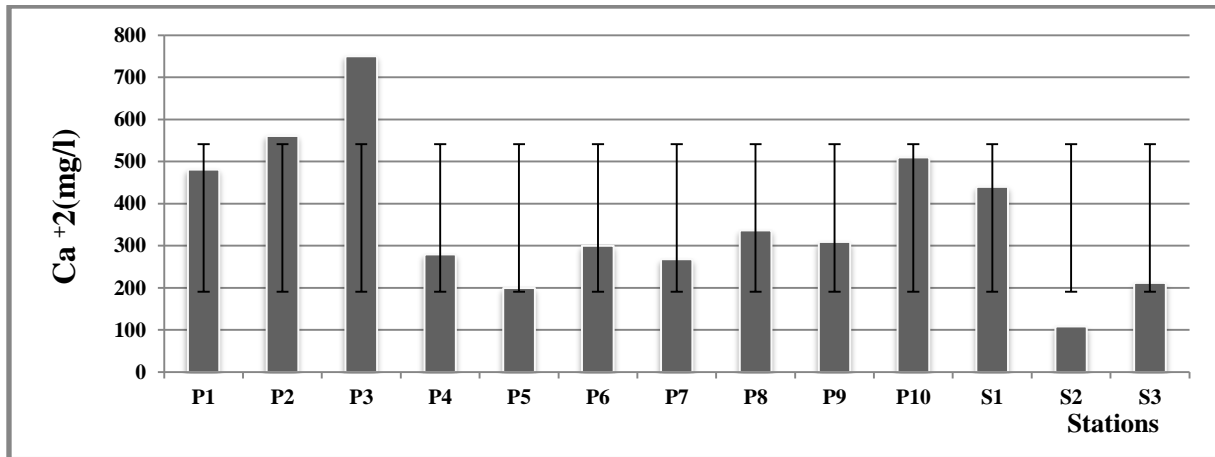


Figure 50. Valeurs moyennes (et écarts-types) du calcium de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug.

Mise à part la source S2 (fig.50), le calcium est le cation le plus abondant dans les eaux souterraines analysées. Il présente une moyenne de 365.93 mg/l et les valeurs extrêmes de 109 à 750 mg/l avec un écart-type de 175.05 mg/l, qui est relativement important et traduit une grande variation des teneurs, car l'ion Ca^{2+} provient de deux origines naturelles différentes qui sont : la dissolution des formations carbonatées et la dissolution des formations gypseuses qui couvrent la région NAZALI et *al.*, 2005.

➤ Le magnésium (Mg^{2+})

L'ion Mg^{2+} provient, comme les ions calcium, de la dissolution des formations carbonatées riche en Magnésium (dolomite) (GOUAIDIA, 2008).

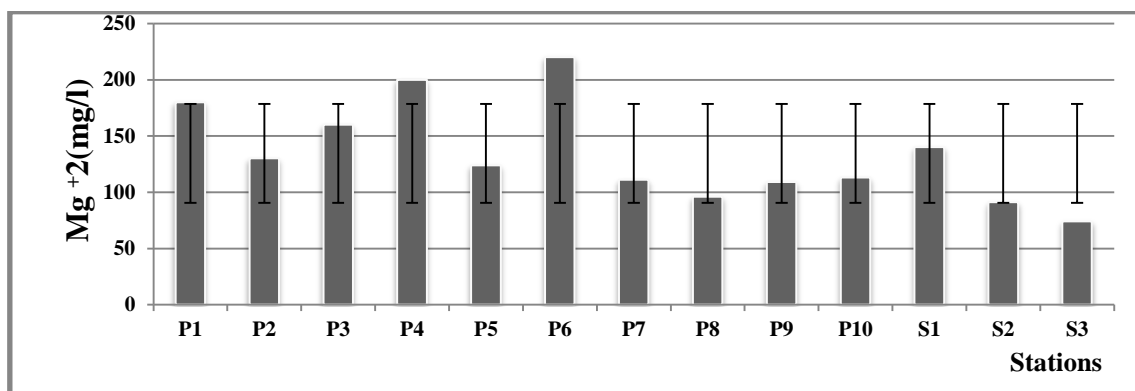


Figure 51: Valeurs moyennes (et écarts-types) des magnésiums de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug.

Dans les stations prospectées, une moyenne de 134.462 mg/l a été enregistrée avec des extrêmes de 74 mg/l dans la source S3 et 220 mg/l dans le puits P6. La figure (51) des concentrations en magnésium montre des valeurs dans la majorité très élevées. Ces fortes teneurs sont en relation avec la nature dolomitique du substrat traversé par l'eau. Rappelons que l'origine de magnésium est presque le même que le calcium à ce propos (RODEIR 2009) signale les teneurs dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrés (calcaires, dolomitiques ...) En effet, le poids du magnésium, exprimé en mg.L⁻¹, représente selon les stations, entre 1/2 et 1/3 du poids du calcium. Ce qui correspond pour le magnésium à des concentrations en milliéquivalents par litre qui atteignent. 42 à 89% de la concentration du calcium.

➤ Les sulfates (SO₄²⁻)

Dans les conditions naturelles, les sulfates, forme de soufre dissous la plus répandue dans les eaux naturelles, ont essentiellement deux origines : géochimique et atmosphérique (DELISTE et al., 1977). Du fait de la solubilité élevée des sulfates, l'eau souterraine en conditions normales peut en contenir jusqu'à 1,5 g/L (MATTHESS et al., 1994). L'oxydation des sulfures ainsi que la dégradation de la biomasse dans le sol constituent d'autres sources possibles. De nombreuses activités humaines et naturelles peuvent générer des apports de sulfates dans l'eau souterraine: application d'engrais sulfatés, précipitations chargées en dioxyde de soufre, etc.

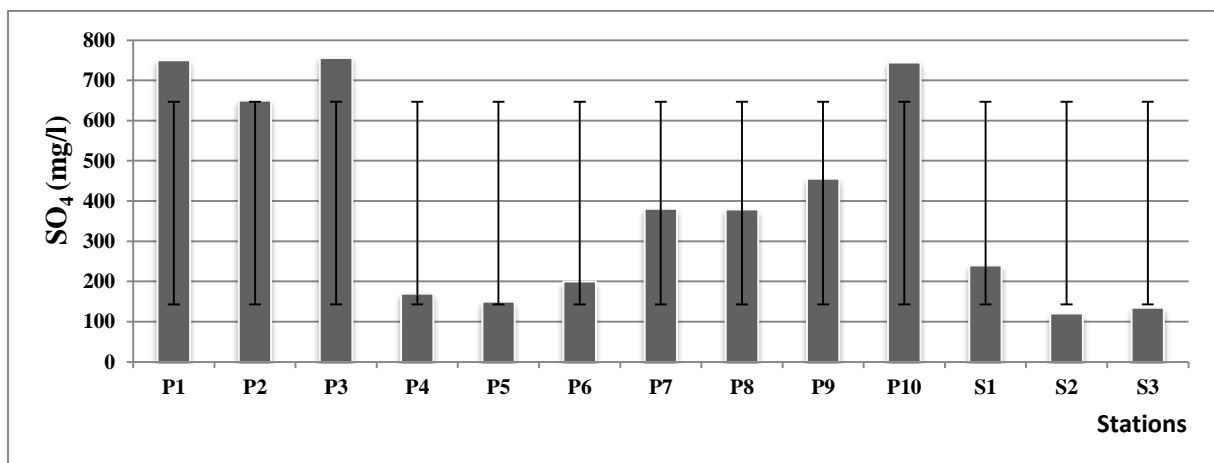


Figure 52: Valeurs moyennes (et écarts-types) des sulfates de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassins versant Annk Djamel et Oued Merzoug.

Dans les stations prospectées nous avons enregistré une valeur moyenne de 394.85 mg/l avec des extrêmes entre 121 mg/l dans la source S2 et 756.00 mg/l dans le puits P3, la dispersion est relativement forte avec un coefficient de variation 63.88 %.

Les puits P10, puits P9 et puits P8 situés à la périphérie des Garaât Marshel affichent des valeurs extrêmes 754 mg/l, 465 mg/l et 379 mg/l respectivement (fig.52), elles constituent les émergences les plus influencées par des terrains évaporitiques de trias. Trois autres puits P1, P2 et P3 localisées vers les limites d'oued de Tellizerdane présentent des valeurs entre 765 mg/l et 650 mg/l, ces fortes concentrations peuvent être liées aux écoulements de l'oued ainsi une contamination anthropique probable.

➤ Les bicarbonates (HCO_3^-)

Les molécules et anions contenant du carbone (CO_2 , HCO_3^- , et CO_3^{2-}) qui se trouvent dans les eaux souterraines proviennent, d'une part du gaz carbonique que l'eau capte ou dissout à partir des différents milieux (air, sol) combustion de matière organiques- ou eaux souterraines et d'autre part des carbonates que l'eau met en solution.

La solubilité des carbonates est principalement influencée par la CO_2 , la température, la force ionique, la pression totale et le pH (HOEFS 1969). Pour les eaux souterraines à pH normal (6-9) le HCO_3^- est l'espèce carbonatée dominante (FREEZE 1979).

La teneur en bicarbonates des eaux souterraines non soumises aux influences anthropiques, varie entre 50 et 400 mg/l (MATTHESS et al., 1994). Les valeurs médianes des teneurs en bicarbonates se situent autour de 302 mg/L dans le domaine habituel des eaux souterraines non polluées (MATTHESS et al., 1994).

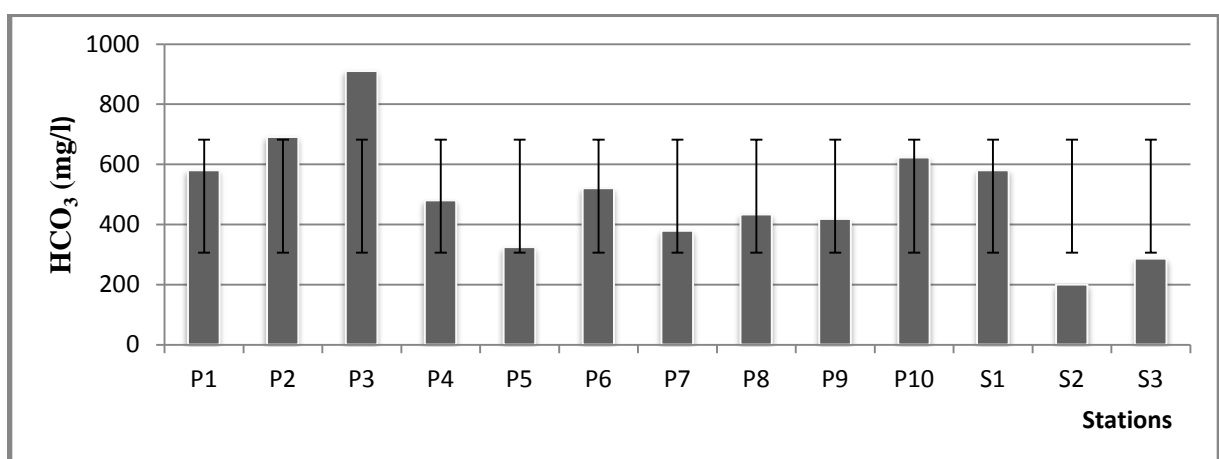


Figure 53 : Valeurs moyennes (et écarts-types) des bicarbonates de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug.

Dans les eaux prospectées, une valeur moyenne de 494.14mg/l avec des extrêmes entre 200 mg/l et 910 mg/l a été enregistrée. La dispersion est relativement moyenne avec un coefficient de variation de 50% (fig.53). Les valeurs élevées sont dues vraisemblablement à la circulation de ces eaux dans le réservoir aquifère de nature calcaro-dolomitique. La forte corrélation négative entre les bicarbonates et le magnésium indiquant leur origine carbonatée calcaire et en moindre quantité dolomitique ($r=0.47$).

➤ Les chlorures (Cl^-)

Les chlorures peuvent avoir une triple origine dans les milieux aquatiques : naturelle, lorsqu'ils proviennent des intrusions marines ou dans les terrains salés (EL ACHHEB *et al.*, 2001 ; TRABELSI *et al.*, 2005), humaine (10 à 15 g de NaCl sont rejetés dans les urines par jour et par personne) ou encore industrielle (potasse, industrie pétrolière et agro-alimentaire) (GAUJOUS, 1995). En France, des études récentes (BARBIER, 2005) ont montré que les eaux des sources présentent souvent des concentrations en chlorures négativement corrélées avec l'altitude. Cela a été expliqué par le ratio évapo-transpiration/ pluies, plus faible en altitude, ou d'une variation de la composition des pluies et par une solubilisation croissante, tout au long du cours d'eau, des roches solubles.

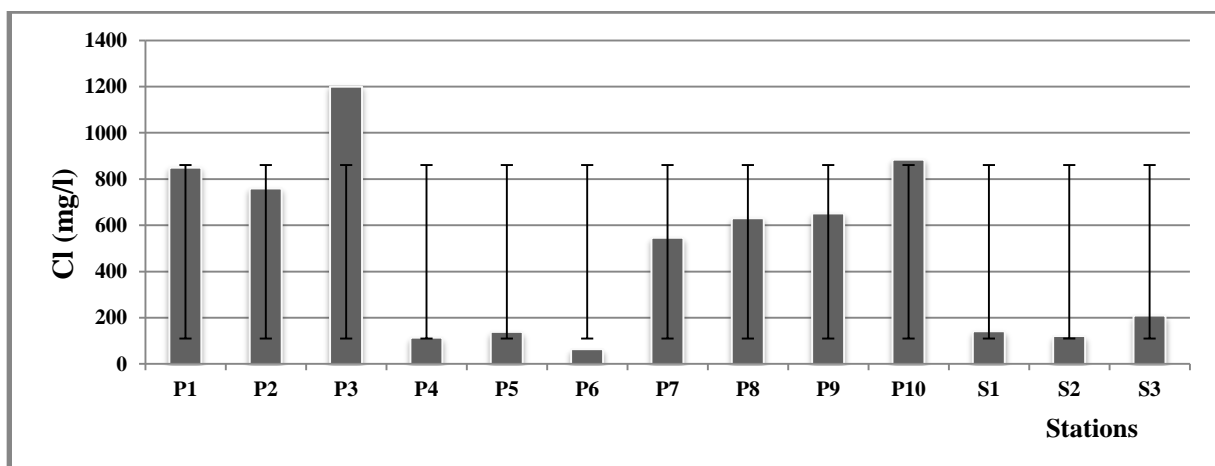


Figure 54 : Valeurs moyennes (et écarts-types) des chlorures des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug.

Dans les eaux des treize stations étudiées, une moyenne de 485.47 mg/l et des extrêmes de 63.9 mg/l dans le puits P6 et 1200 mg/l dans le puits P3 ont été observés, avec un coefficient de variation très important 74 %.

D'une manière générale la figure 54 fait ressortir : un pôle de six stations (puits P4, P5, P6 S1, S2 et S3) avec des concentrations inférieures à la norme de potabilité de l'OMS fixée à 250 mg/l et un deuxième pôle de sept puits, il s'agit surtout des puits qui se localisent surtout aux alentours de Garaât El Mershel (puits P7 et P8) sans oublier le pic enregistré dans le puits P3 influencé par les apports d'Oued Tallizerdane.

Comme MARGAT(1962) l'a souligné, la chlorosité des eaux de la région pourrait bien être liée à la nature des terrains salifères traversés. Mais l'évaporation, l'aridité du climat et l'activité humaine accentuent le degré de la salinité des eaux de la nappe phréatique.

➤ Les nitrates (NO_3^-)

Présents à l'état naturel et soluble dans le sol, les nitrates pénètrent dans le sol et les eaux souterraines et se déversent dans les cours d'eau. Mais ils sont aussi apportés de manière synthétique par les engrais (CHAPMAN et *al.*, 1994). Ils sont l'une des causes de la dégradation de l'eau.

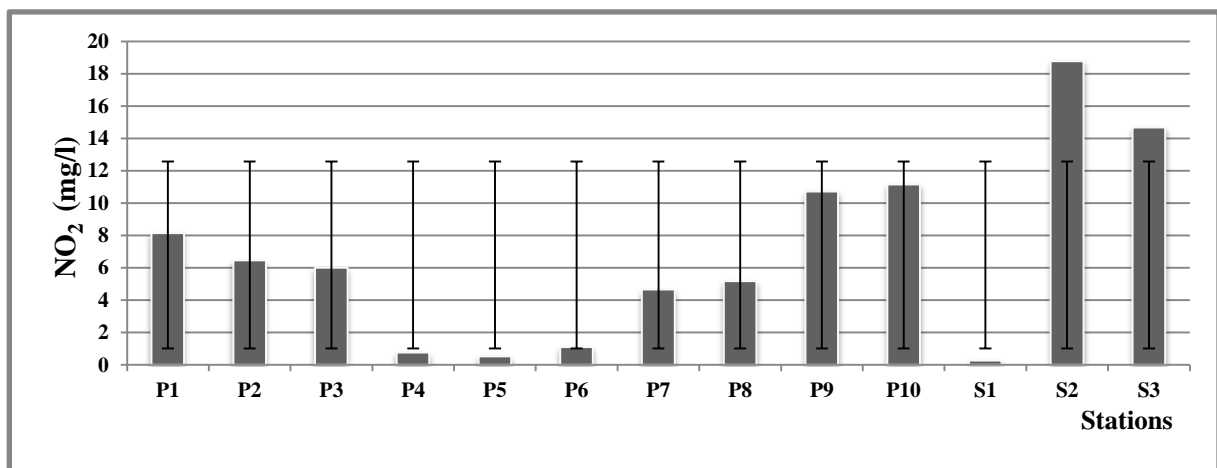


Figure 55 : Valeurs moyennes (et écarts-types) des nitrates de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug.

Les résultats enregistrés et illustrés sur la figure montrent que toutes les valeurs sont très faibles par rapport à la norme (50 mg.L^{-1}), cela justifier l'absence totale de toute contamination probable (fig.55).

➤ Les nitrites (NO_2^-)

Les nitrites constituent le plus souvent un stade intermédiaire, peu stable, entre les ions ammonium (NH_4^+) et les nitrates (NO_3^-). On ne les rencontre que lorsqu'il existe un déséquilibre au niveau de l'oxygénation et l'activité de la flore bactérienne de l'écosystème. En dehors de tout apport externe (industriel, chimie, ...), les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit, dans les situations exceptionnelles, d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante (RODIER, 1984).

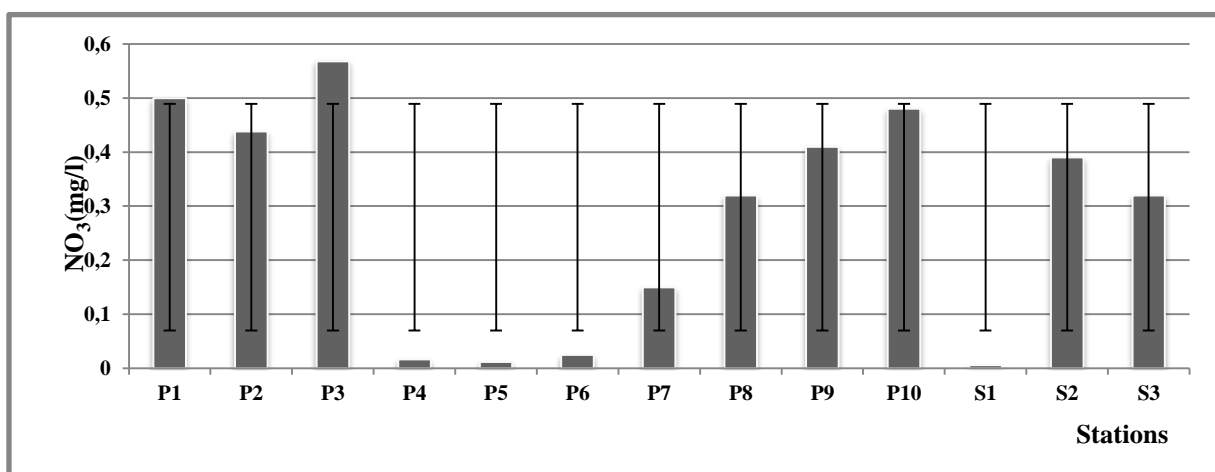


Figure 56: Valeurs moyennes (et écarts-types) des nitrites de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassins versant Annk Djamel et Oued Merzoug.

Selon les normes européennes (U.E, 1998), une eau destinée à la consommation humaine ne doit pas renfermer des nitrites à des teneurs supérieures à $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$. Les résultats du dosage des nitrites dans les eaux des différents puits ont révélé la présence de teneurs normales par rapport aux normes en ces éléments et varient comme indiqué dans la figure(56) comprise entre $0,012$ et $0,56 \text{ mg.L}^{-1}$.

➤ L'ammonium (NH_4^+)

La présence des ions ammonium dans les eaux, est souvent le signe d'une dégradation incomplète de la matière organique en relation avec le manque d'oxygène disponible. Il est l'indice d'une contamination par des rejets d'origine humaine ou industrielle (RODIER, 1984).

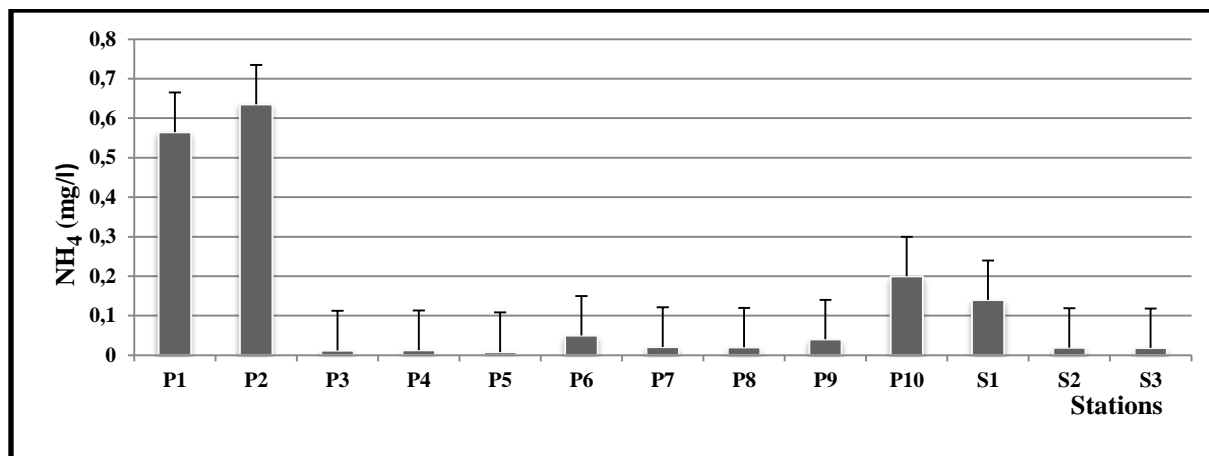


Figure 57 : Valeurs moyennes (et écarts-types) d'ammonium de l'eau des stations étudiées dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug.

L'ammonium est présent dans les puits prospectés avec des teneurs qui varient de 0.008 mg/l(P5) à 0.635 mg/l (P2) (fig 57) .les fortes concentrations sont observées probablement dans les puits les moins oxygénés. Nos résultats concordent avec les travaux de MERZOUG et al 2010 et KHALDOUN ,2013) dans les hautes plaines de l'Est Algérien.

➤ Orthophosphates (PO₄³⁻)

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

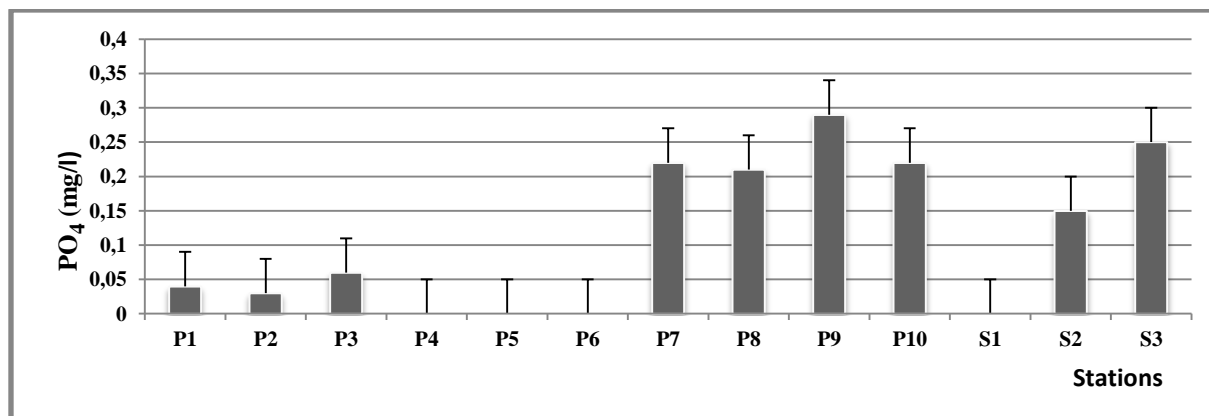


Figure 58: Valeurs moyennes (et écarts-types) des orthophosphates de l'eau des stations dans les deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug.

Les teneurs en orthophosphates sont très faibles, voire nulles dans d'autres stations (figure 58) prospectées. Elle comprise entre 0 et 0,29 mg/l. Elles restent toutefois nettement inférieures à la limite admissible des orthophosphates soit 2,4 mg/l. Par conséquent, ce paramètre ne constitue pas un risque de pollution majeur pour les eaux les eaux souterraines étudiée.

1.1.2. Sous bassin versant de Garaât Tarf

Les résultats d'analyse physico-chimique des eaux souterraines de deux sous Garaât Tarf Djamel pendant la période d'observation, ont été consignés dans le tableau 10.

Tableau 10: Analyses physicochimiques des eaux des puits de sous bassin de Garaât Tarf

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
T	16,000	18,700	17,442	0,983
PH	6,870	7,800	7,333	0,335
CE	621,000	7160,000	2590,083	1651,270
O2	3,990	7,680	5,935	1,255
Ca	127,920	1239,000	427,413	271,874
Mg	32,080	481,000	170,499	120,519
HCO3	215,000	1502,000	693,000	315,800
Cl	333,700	2482,000	839,417	596,676
SO4	74,000	715,000	297,833	174,305
NH4	0,020	1,400	0,304	0,409
NO3	0,010	68,220	8,809	19,173
NO2	0,014	0,150	0,042	0,038
PO4	0,080	0,240	0,148	0,061

1.1.2.1 Qualité physiques

➤ Température (T)

Les relevés thermiques mesurés au niveau des puits étudiés ont montrés une légère variation thermique stationnelle : 16°C dans les puits P13 et P11 et 18.7°C en P21 Cette relative constante thermique a été déjà observée et soulignée ailleurs, dans l'eau des puits, des sources ou des grottes, et cela aussi bien en Europe (VANDEL, 1964, GINET et DECOU, 1977), au Maroc (BOULANOUAR, 1995 ; BOULAL, 1988 ; IDEBENACER, 1990) qu'en Algérie (MERZOUG *et al.* 2010 ;KHALDOUN et al ,2013).

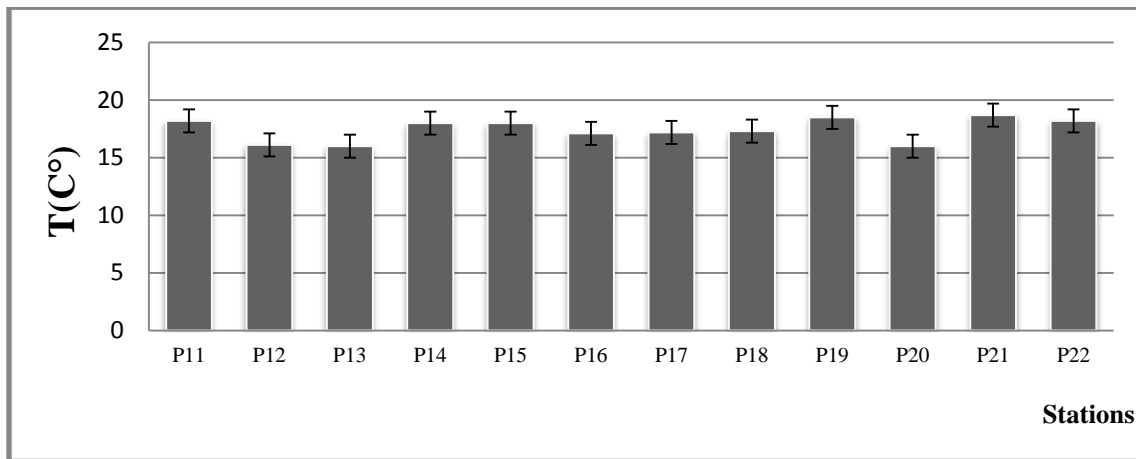


Figure 59 : Valeurs moyennes (et écart-types) de la température de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de Garaât Tarf.

➤ pH

Dans toutes les stations le pH reste très proche de la neutralité : les valeurs sont comprises entre 6.87 dans le puits P22 et 7.8 dans le puits P18 (fig 60). Les valeurs du pH décrites selon les critères de qualité pour l'eau brute d'approvisionnement se situent entre 6,5 et 8,5 et entre 6,5 et 9 pour la protection de la vie aquatique ce qui montre que les valeurs minimales du pH enregistrées dans cette étude sont toujours comprises dans la gamme des pH acceptables. D'une manière générale, le pH ne constituerait jamais un facteur limitant en hydrobiologie sauf dans des situations exceptionnelles.

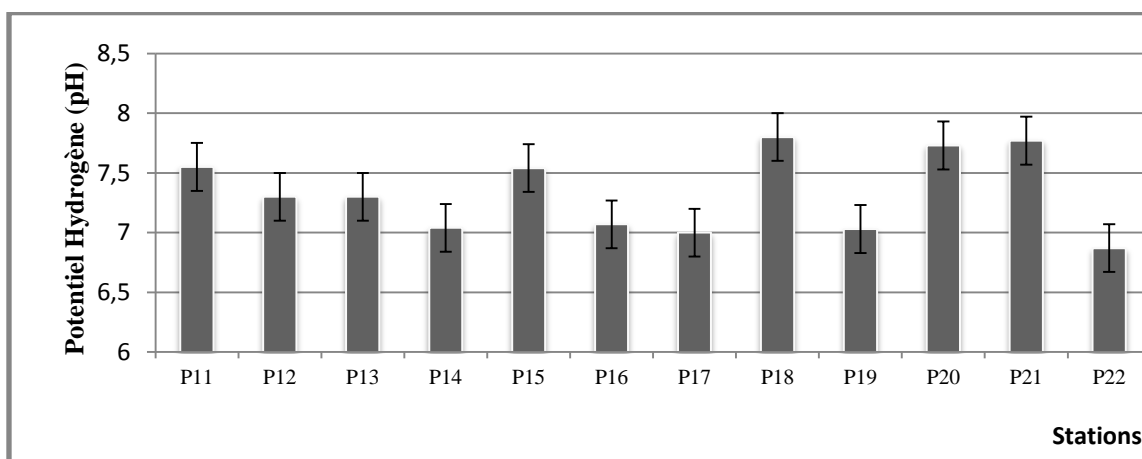


Figure 60 : Valeurs moyennes (et écart-types) du potentiel Hydrogène de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de Garaât Tarf.

➤ Conductivité électrique

Toutes les eaux sont fortement minéralisées, dépassant largement la valeur guide fixée par les normes européennes ($100\mu\text{S}/\text{cm}$). Elles présentent des variations notables, elles sont, généralement, comprises entre $621\mu\text{S}/\text{cm}$ dans le puits P21 et $7160\mu\text{S}/\text{cm}$ dans le puits P22. Le degré de minéralisation est rendu surtout à la nature géologique de la région, Les valeurs les plus élevées ont été observées autour du puits 22, qui est situé à proximité du Garaât Tarf (fig.61).

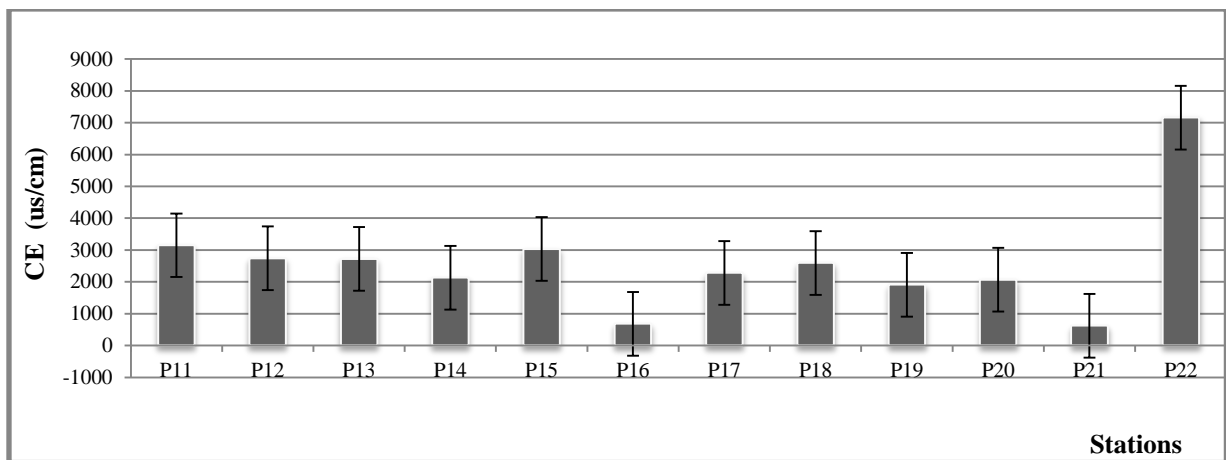


Figure 61: Valeurs moyennes (et écart-types) de la conductivité électrique de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de Garaât Tarf.

I.1.2.2. Qualité chimiques

➤ Oxygène dissous

La concentration en oxygène des eaux des puits étudiés est légèrement faible ; elle dépasse rarement 7 mg L^{-1} (fig 62). C'est notamment le cas des puits P14, P15, P19, P11 et P21, étant des puits protégés et situés dans des zones qui ne reçoivent aucune source de pollution anthropique. Dans le puits P21, les teneurs en oxygène dissous est relativement les plus faibles, elle est de l'ordre de $3,99\text{ mg L}^{-1}$. L'anoxie de ce puits est due, entre autres, à une contamination organique rendue essentiellement les teneurs élevées en ammonium.

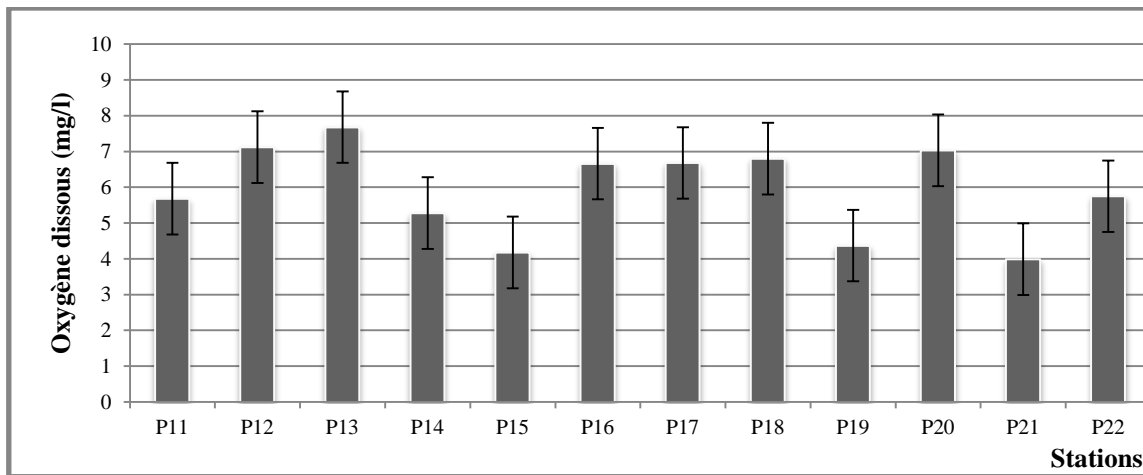


Figure 62 : Valeurs moyennes (et écart-types) de l'oxygène dissous de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de Garaât Tarf.

➤ Dureté totale

La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. On distingue: une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca et Mg et une dureté non carbonatée produite par les autres sels (BELGITI et *al.*,2014). Elle résulte principalement du contact des eaux souterraines avec les formations rocheuses : Le calcium dérive de l'attaque du CO₂ dissout par les roches calcaires (dolomies) ou de la dissolution sous forme de sulfate dans le gypse. La dureté d'une eau naturelle dépend de la structure géologique des sols traversés. Dans les échantillons analysés, ce paramètre présente une grande variation d'un puits à l'autre qui serait liée à la nature lithologique de la formation géologique de la nappe phréatique et en particulier à sa composition en magnésium et en calcium.

➤ Calcium (Ca⁺)

Dans l'ensemble les teneurs en calcium sont très variables d'un puits à l'autre, elle varie entre 127.92 et 1293 mg/l. Nous constatons une forte teneur en calcium autour du puits P22 (1293 mg/l) (fig .63), Cette forte teneur en calcium autour du puits P22 est liée à la présence des croûtes de calcaires et des calcaires tuffacés dans cette zone d'étude.

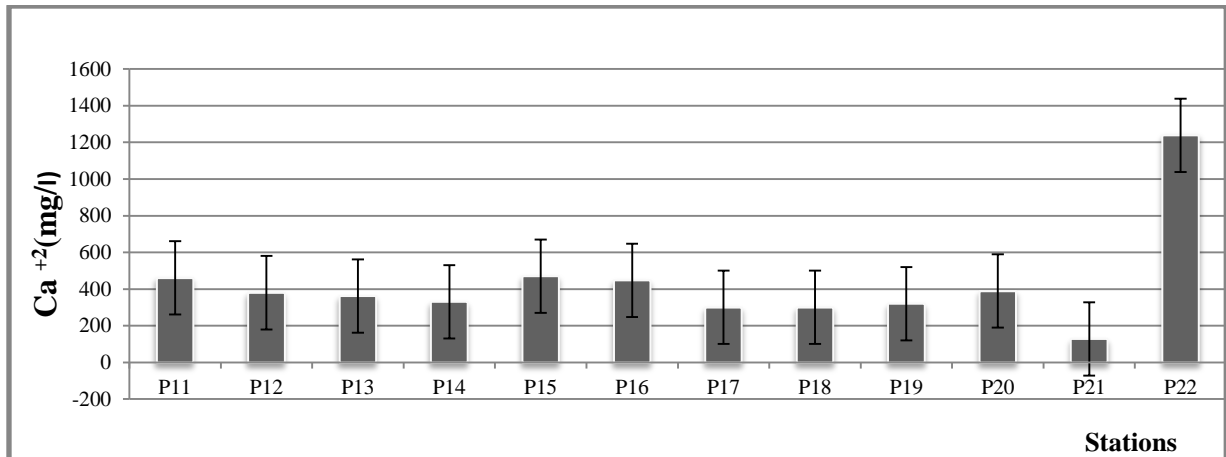


Figure 63 : Valeurs moyennes (et écart-types) du calcium de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf.

➤ Magnésium (Mg^{+})

Les teneurs moyennes en Mg^{+2} sont très élevées dans la majorité des eaux des puits. Elles sont comprises entre 89.17 mg/l dans le puits P21 et 315.07 mg/l dans le puits P22. Rappelons que l'origine de magnésium est presque le même que le calcium à ce propos (RODEIR 2009) signale les teneurs dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrés (calcaires, dolomitiques).

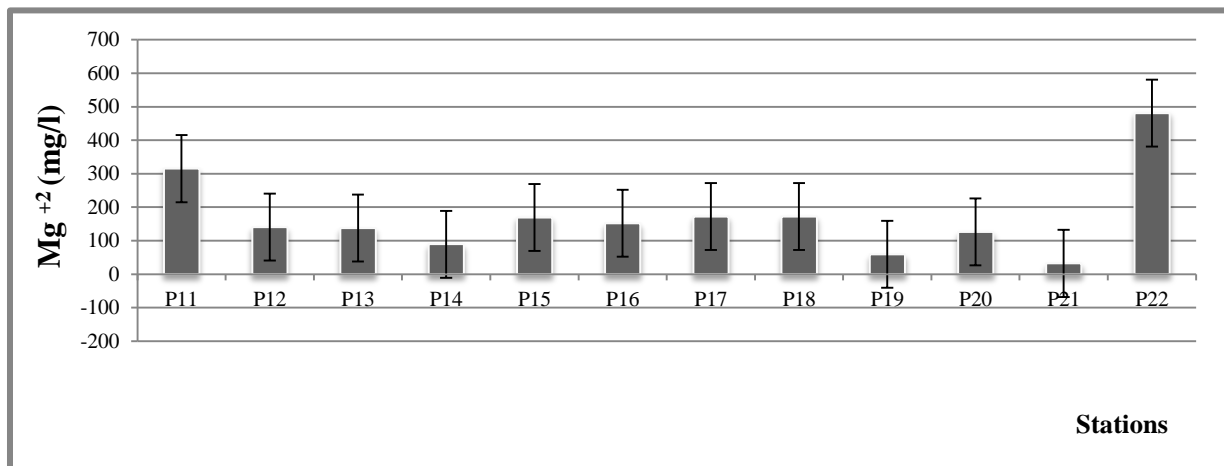


Figure 64 : Valeurs moyennes (et écart-types) du magnésium de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf.

➤ Sulfates (SO_4^{-2})

La présence des sulfates dans l'eau peut être liée à la dissolution de gypse, au lessivage des terrains pyrifères ; ou l'oxydation des sulfures (BAKALOWICZ ,1974).

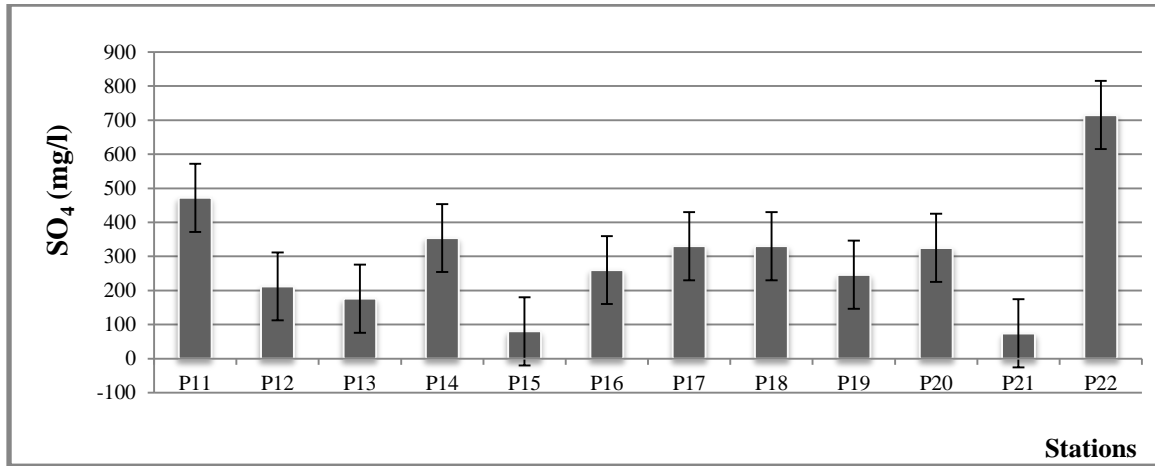


Figure 65: Valeurs moyennes (et écart-types) de sulfates de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de Garaât Tarf.

Les sulfates sont également présents en quantité relativement élevées, largement en dessus de la concentration maximale acceptable. La plus faible valeur s'observe au niveau du puits P21 (32.08 mg/l) et la valeur la plus élevée dans l'eau de puits P22 (700 mg/l) (fig.65). Ces fortes valeurs reflètent l'aspect naturel des ces apports par lessivage du terrain traversé (NASSALI, H.2005).

➤ Chlorures (Cl^-)

L'analyse des résultats enregistrées en Cl (fig 66), montre les plus fortes teneurs en chlorures sont toujours situées dans la partie Ouest de la zone d'étude, et dans la partie Nord Ouest. Les concentrations en chlorure sont comprises entre 333.7 mg/l (P 8) et 2482 mg/l, (P 12). Le climat du secteur étudié est semi aride, donc nous lions ces teneurs importantes qui dépassent 2482 mg/l, au lessivage superficiel, et à la contamination des eaux de la nappe par les eaux du Sebkha, (Garaât Et Tarf).

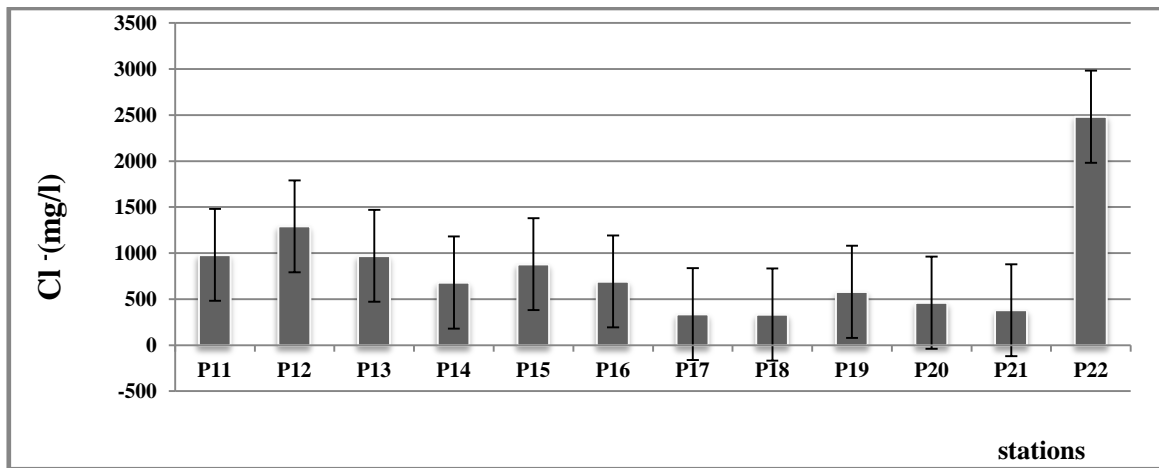


Figure 66: Valeurs moyennes (et écart-types) de chlorures de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf.

➤ **Bicarbonates (HCO_3^-)**

Les concentrations en bicarbonates sont très variables, comprises entre 215 mg/l dans le puits P11 et 1502 mg/l dans le puits P 12 (fig 67). L'importance des interactions eau/roche dans les eaux souterraines conditionne les concentrations en bicarbonates. Les puits qui présentent les fortes concentrations en bicarbonates présentent également les plus fortes concentrations en calcium et en magnésium.

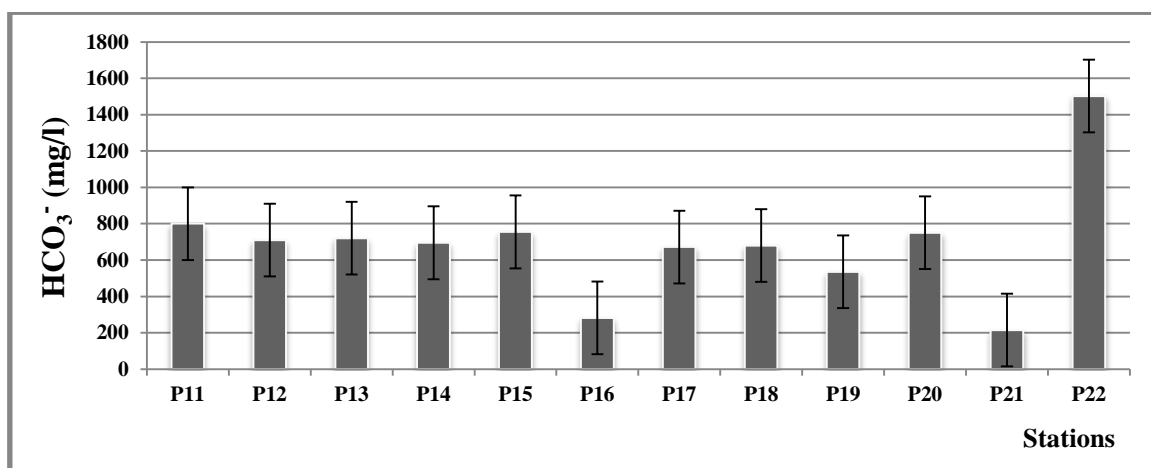


Figure 67 : Valeurs moyennes (et écart-types) de bicarbonates de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf.

➤ Paramètre de pollution

Le développement agricole entraîne souvent une pollution rapide des eaux souterraines par les formes chimiques de l'Azote, surtout celle des nitrates, en raison de leur grande solubilité aux échanges ioniques. Les autres formes chimiques de l'Azote (nitrites et ammonium) apparaissent seulement dans des conditions réductrices. L'azote est présent au niveau de la zone d'étude sous trois formes chimiques (nitrates, nitrites et ammonium).

➤ Les nitrates (NO_3^-)

Représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques.

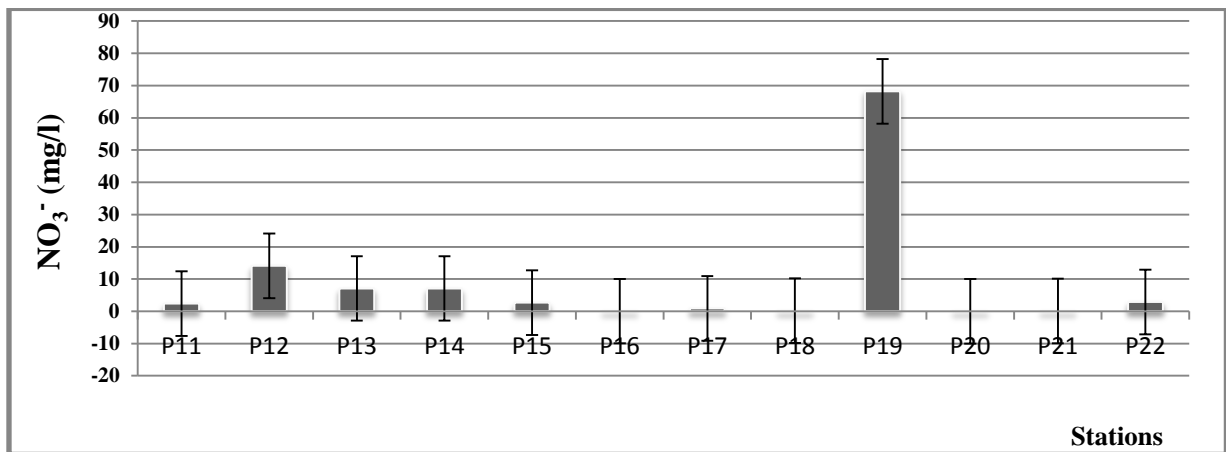


Figure 68 : Valeurs moyennes (et écart-types) de nitrates l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf.

Les valeurs dosées oscillent entre 0.01 et 68.28 mg/l. Les teneurs qui dépassent 50 mg/l (seuil admissible selon les normes OMS) sont observées dans le puits P19 (fig 68), creusé au voisinage des maisons logées. Toutefois, les eaux des autres puits de la nappe, ne sont pas affectées par cette pollution, et, les teneurs en nitrates sont pour la majorité des points analysés, inférieures à la norme.

➤ **Les nitrites (NO_2^-)**

Les teneurs en nitrites suivent les mêmes variations que les nitrates et presque toutes les concentrations sont au dessous de la norme sauf dans le puits P19 (0.15mg/l) (fig69).

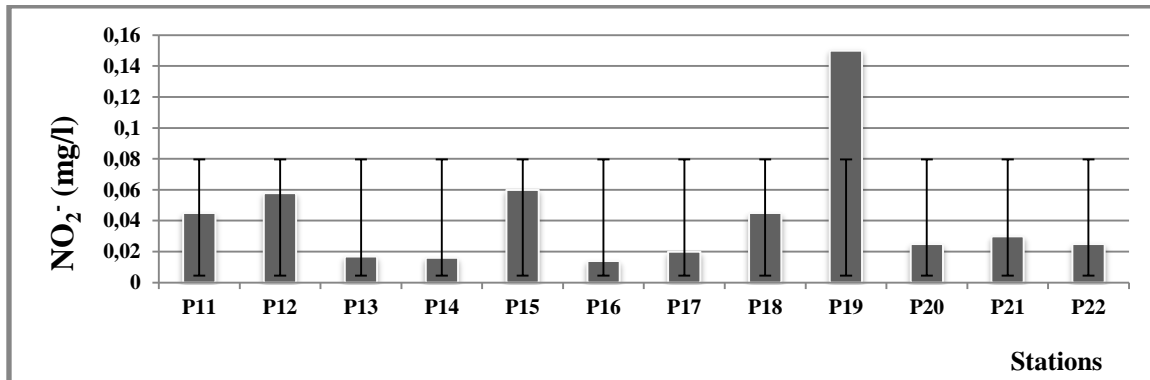


Figure 69: Valeurs moyennes (et écart-types) de nitrites de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf.

➤ **L'ammonium (NH_4^+)**

Sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains, soit par réduction des formes azotées en conditions réduites. Les valeurs les plus élevées qui dépassent les normes de 0.5 mg/l sont surtout observées au niveau de puits numérotés P11, P15 et P 21.

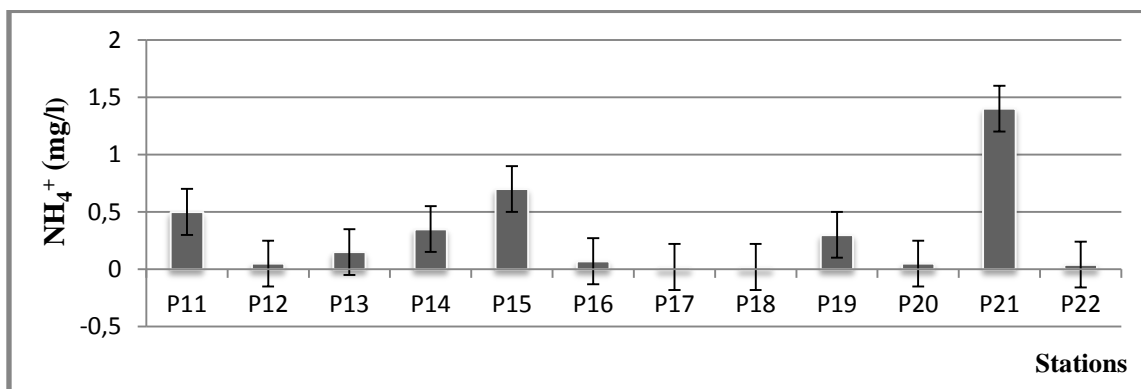


Figure 70 : Valeurs moyennes (et écart-types) de l'ammonium de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf.

D'une façon générale les valeurs varient de 0.018 à 1.5 mg/l .les régions à forte teneur en NH_4^+ correspondent grossièrement à celles où nous avons mesuré des teneurs en nitrates et nitrites, toutefois il convient de dire que certains puits sont peu protégés et sont réalisés près des fosses septiques, soit non couverts. Outre les fortes concentrations sont observées probablement dans les puits les moins oxygénés. Nos résultats concordent avec les travaux de MERZOUG et al 2010 et KHALDOUN ,2013) dans les hautes plaines de l'Est Algériens.

➤ Orthophosphates (PO_4^-)

Tous les puits prospectés présentent des teneurs très faibles en orthophosphate (fig 71), comprises entre 0.08 mg/l (P16 et P17,) et 0.24 mg/l (P14 et P15), cela justifie l'absence totale de toute contamination probable.

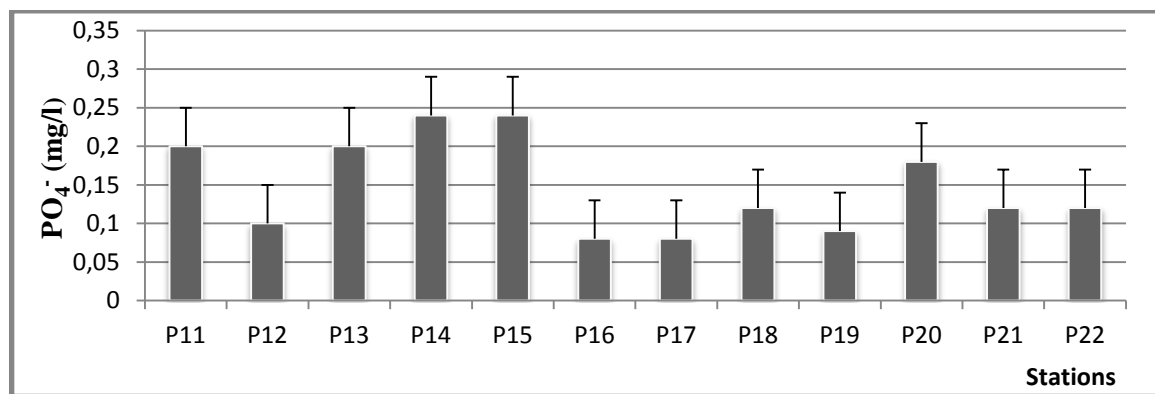


Figure 71: Valeurs moyennes (et écart-types) d'orthophosphate de l'eau des puits étudiés dans le sous bassin de GaraâtTarf.

I.2. Qualité bactériologique des eaux souterraines

Les coliformes fécaux et les streptocoques constituent des indicateurs de pollution d'origine fécale. Leur présence peut signaler des rejets ponctuels d'eaux usées non traitées ou, dans les zones agricoles, des apports d'origine diffuse liés à l'épandage ou au mauvais stockage des fumiers et des lisiers. Ils sont utilisés pour définir des critères de qualité d'ordre sanitaire (ALLEN et GELDREICH, 1975 ; LECLERC *et al.* 1981).

Les coliformes et les streptocoques fécaux forment le groupe de bactérie le plus fréquemment utilisé pour l'examen bactériologique de l'eau (POOLE et HOBERTSON, 1979). Ils sont recherchés dans l'eau comme témoins de contamination fécale (GAUJOUS, 1995).

Les résultats des analyses bactériologiques faites sur l'eau de quelques puits sont présentés sur la figure 72. Les valeurs moyennes des concentrations en coliformes et en streptocoques montrent que les eaux de ces puits sont significativement contaminées par des germes pathogènes. Les puits creusés dans la zone d'épandage des fumiers et celui qui sont creusés dans les champs des blés présentent les eaux les plus contaminées. Le nombre moyen de colonies de coliformes totaux varie de 300 UFC/ 100 ml en puits P7 à 1400 UFC/ 100 ml en puits P1, pour les coliformes fécaux varient de 107 en puits P7 à 1000 UFC/100 ml en puits P3. Enfin la concentration des Streptocoques vont de 12 en puits P8 à 324 UFC/ 100 ml en puits P3.

L'examen bactériologique des eaux, montre l'existence de concentrations très élevées de CT, CF et SF dans les puits P9, P1 et P3 et à un moindre degré dans les puits P7, P2 et P8, ce qui indique une contamination de ces puits à partir des fumiers qui se trouvent dans ces douars, ou encore à partir des infiltrations au niveau de la décharge publique. Cette contamination semble liée quelques fois à la présence d'accumulations de fumier et parfois de purin, provenant des bergeries et des étables. Ces fumiers sont périodiquement lessivés par l'eau des pluies qui entraîne aussi vers la nappe bactéries et substances solubles. Enfin l'absence de protection du plus grand nombre des puits contribue aussi à l'enrichissement de l'eau en matières organiques en raison des apports éoliens de feuilles et autres débris végétaux qui vont se décomposer sur place, et de poussières diverses.

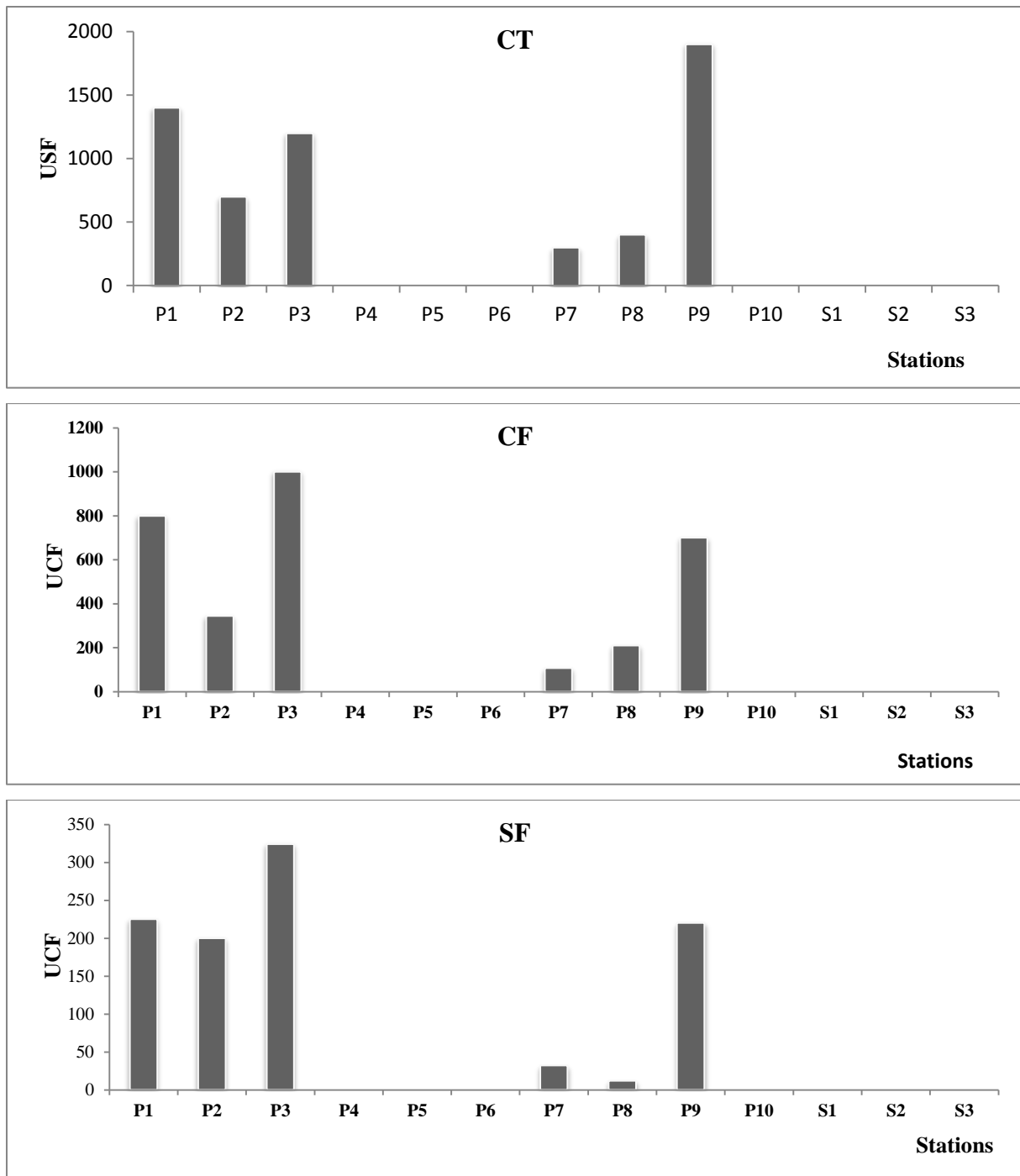


Figure 72 : Bactériologie de l'eau de quelques puits exprimée par le nombre d'UFC) 100 mL. C.T.: Coliformes "totaux"; C.F. Coliformes fécaux; S.T.: Streptocoques totaux.

II. Résultats des analyses en composantes principales de la qualité physico- chimique des eaux souterraines

L'ensemble des données collectées sur les eaux souterraines de la région a fait l'objet d'une analyse statistique. L'approche de la statistique multivariée a été réalisée à partir d'une Analyse en Composantes Principales (ACP). L'analyse statistique a été réalisée sur 13 stations (dix puits et trois sources) et 13 variables (la température, la conductivité électrique (C.E), le pH, l'oxygène dissous, chlorures calcium, magnésium, sulfates, bicarbonates, nitrates, nitrites ammonium et orthophosphates) à l'aide du logiciel XLSTAT 2009. Cette analyse permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leur relation réciproque (BIEMI, 1992). Elle permet de mettre en évidence les ressemblances entre deux ou plusieurs variables chimiques au cours de leur évolution.

II.1. Sous bassin d'Annk Djamel et Oued Merzoug

La liaison existant entre toutes les variables prises deux à deux et les coefficients de corrélation entre ces différentes variables ont été donnés par la matrice de corrélation (Tab.10).

Tableau 11: Matrice de corrélation entre les variables physico-chimiques des eaux des puits et des sources de deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug.

Variables	T	pH	CE	O2	Ca ⁺	Mg ⁺	HCO ₃	Cl	SO ₄	NH ₄	NO ₃	NO ₂	PO ₄
T		1											
pH	-0,08	1											
CE	0,65	-0,10	1										
O2	-0,91	-0,07	-0,66	1									
Ca ⁺	0,65	-0,03	0,92	-0,58	1								
Mg ⁺	0,27	0,79	0,35	-0,48	0,29	1							
HCO ₃	0,07	-0,72	0,29	0,05	0,27	-0,58	1						
Cl	0,52	-0,41	0,76	-0,44	0,81	-0,06	0,64	1					
SO ₄	0,61	-0,32	0,87	-0,57	0,85	0,10	0,56	0,95	1				
NH ₄	0,36	0,01	0,50	-0,32	0,47	0,18	0,21	0,40	0,60	1			
NO ₃	-0,32	-0,55	-0,15	0,48	-0,19	-0,62	0,72	0,16	0,09	0,03	1		
NO ₂	0,22	0,49	0,49	-0,08	0,52	-0,31	0,85	0,81	0,75	0,40	0,67	1	
PO ₄	-0,16	-0,81	-0,20	0,24	-0,24	-0,74	0,63	0,24	0,07	0,28	0,61	0,42	1

Le Tableau 11 montre que la conductivité électrique (C.E) est fortement corrélée avec les éléments suivant: calcium(**0,92**), les chlorures (**0,76**) et les sulfates (**0,87**). La conductivité est un indicateur du niveau de minéralisation de l'eau. Les bicarbonates présentent corrélation négative avec le magnésium (**-0,5**), et cela signifie que l'origine des carbonates c'est beaucoup plus le calcaire et en quantité moindre dolomitique. On observe aussi une corrélation négative entre le taux d'oxygène dissous et la température de l'eau (**-0,91**) car plus celle-ci s'élève plus le taux d'oxygène dissous diminue. On pourra remarquer (Tableau) que le pH de l'eau, qui varie très peu dans l'ensemble des stations comme on l'a indiqué, ne montre pratiquement pas de corrélations avec l'ensemble des autres descripteurs qui eux varient plus significativement. Les corrélations entre les différentes variables mettent en évidence la similarité des phénomènes à l'origine de la mise en circulation de ces ions dans les eaux souterraines de la zone d'étude.

II.1.1. Signification des axes

L'analyse des résultats de l'ACP a permis également de calculer les valeurs propres et les variances exprimées pour chaque facteur et leur cumul. L'analyse sur le plan factoriel F1-F2 a mis en évidence les tendances générales. En effet, le facteur F1, a une variance exprimée de 43,63%, le plus important. Ensuite, vient le facteur F2 avec 33,94% de la variance exprimée. Le cumul de la variance exprimée est de 77,56% pour les deux facteurs.

Ces axes factoriels retenus pour cette analyse statistique sont supposés représentatifs de la variance de l'ensemble des données (tab.11). L'axe F1 horizontal montre une opposition entre les eaux fortement minéralisées avec la présence des polluants organiques constituant la partie positive de l'axe et les eaux faiblement minéralisées avec un pH alcalin et riche en oxygène dissous occupant la partie négative de l'axe.

Selon l'axe F2, on remarque une compétition entre les eaux calciques sulfatées riche en magnésium et les eaux chlorurées ou bicarbonates. Cette compétition témoignant que ces points d'eaux appartiennent à deux sous bassins versants.

Tableau 12: Contribution des principaux caractères physico-chimiques de l'eau des stations de deux sous bassin versant Ank Djamel et Oued Merzoug à la formation des deux premiers axes de l'ACP. O₂ : oxygène dissous ; CE : conductivité électrique ; NO³⁻ : nitrates ; NO²⁻ : nitrites ; NH₄⁴⁺ : ammonium ; PO₄³⁻: Orthophosphates ; SO₄²⁻ : sulfates ; TAC : titrealcalimétrique complet ; Ca²⁺ : calcium ; Mg²⁺ : magnésium et Cl⁻ : chlorures

Paramètres	F1	F2
T	0,666	0,452
PH	-0,407	0,754
CE	0,863	0,365
O2	-0,583	-0,599
Ca	0,848	0,367
Mg	0,001	0,886
HCO3	0,639	-0,697
Cl	0,942	-0,091
SO4	0,979	0,077
NH4	0,567	0,224
NO3	0,168	-0,852
NO2	0,796	-0,465
PO4	0,149	-0,856

La représentation graphique dans l'espace factoriel des unités statistiques (Fig.73) montre la répartition des points d'eau en fonction des différents facteurs F1-F2. L'analyse de ce graphe a montré trois principaux regroupements des points d'eau :

- ✓ **Groupe 1**, contient les eaux les plus minéralisées de la zone d'étude, il regroupe les puits P1, P2 et P3. Ces eaux sont fortement minéralisées mais se différencient des autres par la présence de paramètres physico-chimiques à teneurs plus élevées, cela met en évidence le phénomène de dissolution de la roche par les mécanismes d'hydrolyse. Ces puits sans couvercle, donc non protégés des apports éoliens divers. Il présente une eau de qualité médiocre à mauvaise. Elle est en effet, comme indiqué plus haut, plus riche en ions indicateurs de pollution minérale, Ces eaux sont riches en calcium, avec des teneurs de 750 mg/L à P3, 561.12 mg/L à P2, 480.96 mg/L à P1 et 510 mg/l à P10. Les sulfates sont aussi présents avec des teneurs qui dépassent dans l'ensemble des puits 650 mg/l. Les ions ammonium sont détectables dans ce puits en dépit du fait que l'eau est encore oxygénée (avec 6.33 mg.L⁻¹ d'oxygène dissous). L'eau de ce puits présente donc un risque potentiel sérieux pour la santé des populations locales qui la consomment ;

- ✓ **Groupe 2** : Il renferme quatre puits (P7, P8, P9 et P10), les stations situées en aval de sous bassin versant d'Annk Djemel caractérisées par une minéralisation relativement élevée. Leur minéralisation globale exprimée par la conductivité électrique varie entre 5500 uS.cm-1 dans P10 et 1733 uS.cm-1 dans P7. L'interaction eau-roche provoque une dissolution entraînant un enrichissement en chlorures et bicarbonates de ces eaux. Les teneurs en ions azotés sont généralement faibles: la valeur la plus élevée dans ce groupe de stations est enregistrée dans les eaux du puits P10 (11,14 mg.L-1 de nitrates). On peut estimer que l'eau de ces stations est de qualité moyenne et variable :

- ✓ **Groupe 3** : réunit les trois puits P 4, P5, P6 et la source S1 les eaux sont plutôt de bonne qualité physico-chimique avec une minéralisation relativement moyenne comparée autre station d'étude et riche en magnésium. Les eaux de ces puits sont normalement oxygénées, avec des teneurs qui dépassent généralement 7 mg.L⁻¹ pendant toute la période de l'étude. Les teneurs en nitrates sont parmi les plus faibles et les teneurs en nitrites sont les plus faibles de celles observées dans la région, idem pour les orthophosphates et l'ammonium. On peut donc considérer que l'eau de ces puits est de qualité relativement bonne :

- ✓ **Groupe 4** : regroupe les deux sources (S2 et S3), projetés loin de l'origine des deux premiers axes. L'eau de ces stations, mieux filtrée sans doute, présente des concentrations très faibles en ions indicateurs de pollution (organique et minérale). De plus elles sont globalement peu minéralisées avec les conductivités les plus faibles ; ces deux sources sont, dans l'ensemble les plus oxygénées et dont l'eau est la plus pure.

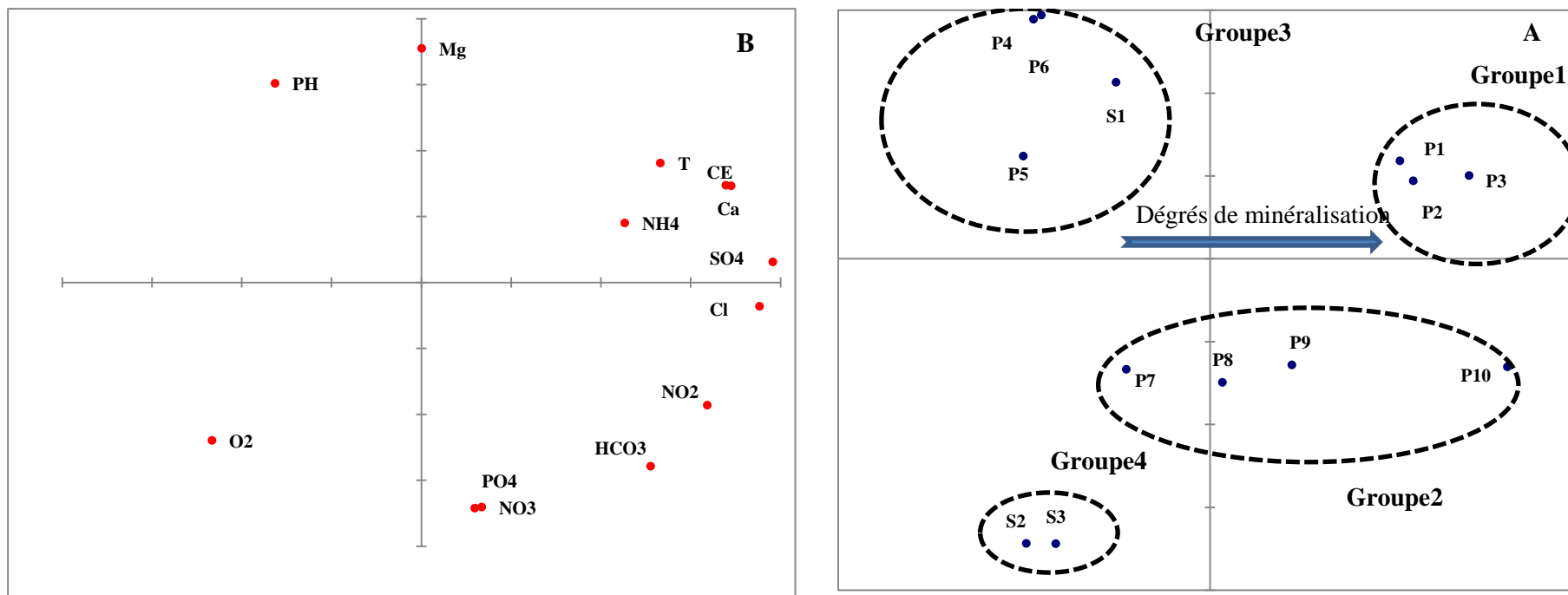


Figure 73: **A** : Projection des 10 puits et 3 sources de deux sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug, tels qu'ils se répartissent en 4 groupes, à la suite de l'ACP; **B** : Projection des paramètres physico-chimiques analysés dans l'eau des 13 stations étudiées, sur le plan des deux premiers axes factoriels de l'ACP d'une matrice stations/ paramètres physico-chimiques. T° : Température, CE : Conductivité Électrique ; O₂ : Oxygène dissous, NO³⁻ : Nitrates ; NO²⁻ : Nitrites ; NH⁴⁺ : Ammonium ; PO₄³⁻ : Orthophosphates ; SO₄²⁻ : Sulfates ; Ca²⁺ : Calcium ; Cl⁻ : Chlorure.

II.2.Sous bassin versant de Garaât Tarf

L'étude des corrélations linéaires bi variée entre les paramètres étudiés nous renseigne sur la force des associations éventuelles entre eux. La matrice de corrélation de 14 paramètres mesurés durant deux années d'étude 2013-2014 indiqué sur le tableau 13 permet de voir que pratiquement toutes les variables sont corrélées entre elles. Il existe une forte corrélation entre la conductivité électrique d'une part le calcium ($R= 0,90$), les bicarbonates ($R=0,97$) et le chlorure ($R=0,87$), les sulfates ($R= 0,75$) d'autres parts. D'autres une corrélation positive est significative entre le calcium et les bicarbonates ($R=0,86$) d'une part et le sulfates d'autre part ($R=0,77$) indiquent le double d'origine du calcium (soit des calcaires soit du gypse). Une corrélation significative et négative a été signalé entre l'oxygène dissous et l'ammonium ($R= -0,76$), alors qu'aucune corrélation n'est observé entre les éléments azotés (les ions nitrates et les ions ammonium). On pourra remarquer que le pH de l'eau, qui varie très peu dans l'ensemble des stations comme on l'a indiqué, ne montre pratiquement pas de corrélations avec l'ensemble des autres descripteurs qui eux varient plus significativement.

Tableau 13 : Matrice de corrélation entre les variables physico-chimiques des eaux puits de sous bassin versant Garaât Tarf

Variable	T	pH	CE	O2	Ca ⁺	Mg ⁺	DT	HCO ₃	Cl	SO ₄	NH ₄	NO ₃	NO ₂	PO ₄
T	1													
pH	-0,10	1												
CE	0,09	-0,33	1											
O2	-0,88	0,04	0,07	1										
Ca ⁺	0,12	-0,46	0,90	0,04	1									
Mg ⁺	0,12	-0,28	0,88	0,15	0,895	1								
DT	0,13	0,41	0,91	0,08	0,990	0,95	1							
HCO ₃	-0,01	0,31	0,97	0,16	0,862	0,84	0,87	1						
Cl	0,06	-0,45	0,87	0,05	0,914	0,80	0,90	0,80	1					
SO ₄	0,14	0,41	0,75	0,20	0,775	0,84	0,81	0,77	0,63	1				
NH ₄	0,60	0,43	-0,35	-0,76	-0,34	-0,33	-0,35	-0,42	-0,23	-0,48	1			
NO ₃	0,25	-0,39	-0,09	-0,31	-0,11	-0,29	-0,17	0,12	-0,05	-0,11	-0,04	1		
NO ₂	0,33	-0,06	-0,05	-0,45	-0,13	-0,23	0,167	-0,10	-0,08	-0,18	0,08	0,90	1	
PO ₄	0,01	0,276	0,115	0,16	-0,01	0,012	-0,00	0,206	0,024	0,087	0,245	0,26	0,21	1

II.2.1. Signification des axes

L'examen des résultats numériques de l'analyse en composantes principales de la matrice de données permet de connaître les contributions des différentes composantes aux principaux axes. Ces résultats sont présentés sur le Tableau 14. Ainsi, les deux premiers axes 1 et 2 expriment respectivement 47.21 et 20.11 % de la variance totale, soit ensemble 67.33%.

Du point de vue qualité de l'eau, l'axe 1 oppose du côté positif, les facteurs, CE (conductivité), CaCO_3 , Mg^{2+} et SO_4^{2-} , Cl et calcium ayant les plus fortes contributions à la formation de cet axe, aux facteurs nitrates, ammonium qui contribuent à la formation du même axe mais du côté négatif. Cet axe est un axe de qualité, il oppose les facteurs indicateurs de la minéralisation de l'eau à ceux indicateurs de la pollution organique.

L'axe II détermine d'une manière positive par les eaux qui sont plus oxygénées et négativement par les eaux affectée par certain degré de pollution et des apports extérieurs de matières organiques (ammonium). L'application d'une classification hiérarchique aux résultats de l'analyse en composantes principales a permis de classer les stations étudiées dans le sous bassin versant de Garaât Tarf, en 3 groupes, selon la qualité physico-chimique de leurs eaux (figure 74).

Tableau 14: Contribution des principaux caractères physico-chimiques de l'eau des stations de sous bassin de Garaât Tarf à la formation des deux premiers axes de l'ACP. O_2 : oxygène dissous ; CE : conductivité électrique ; NO_3^- : nitrates ; NO_2^- : nitrites ; NH_4^+ : ammonium ; PO_4^{3-} : Orthophosphates ; SO_4^{2-} : sulfates ; TAC : titre alcalimétrique complet ; Ca^{2+} : calcium ; Mg^{2+} : magnésium et Cl^- : chlorures.

Variables	F1	F2
T	0,015	-0,874
pH	-0,470	0,188
CE	0,942	-0,141
O_2	0,219	0,899
Ca	0,959	-0,145
Mg	0,939	-0,024
CaCO_3	0,975	-0,110
HCO_3	0,929	-0,035
Cl	0,889	-0,164
SO_4	0,862	-0,019
NH_4	-0,480	-0,526
NO_3	-0,175	-0,615
NO_2	-0,205	-0,687
PO_4	0,008	0,022

- ✓ **Groupe G1** : il isole le puits P22 qui est près de sebkha Tarf, les eaux de ce puits sont caractérisées par une forte minéralisation et une conductivité assez élevées, de l'ordre 7.160 ms/cm, c'est les chlorures qui contribuent le plus à cette forte minéralisation avec une concentration qui dépasse 2482 mg/l.
- ✓ **Groupe G2**: regroupe la majorité des puits P11, P12, P13, P14, P16, P17, P18 et P20. Les eaux de ces puits présentent une minéralisation importante et une dureté très importante aussi. Elles sont normalement bien oxygénées avec des teneurs qui dépassent généralement 5.68 mg/l pendant toute la période d'étude par rapport aux autres puits. Les eaux sont en effet, comme indiqué plus haut faibles en ions indicateurs de pollution organiques. On peut donc considérer que l'eau de ces puits est de qualité relativement moyenne, avec toujours une minéralisation très importante.
- ✓ **Groupe G3** : formé des puits, **P15, P21, P19**, l'eau de ce puits est légèrement alcalin pauvre en oxygène qui ne dépasse guère 4.5 mg/l et riche en azotes ammoniacale dont les teneurs dépassent souvent les normes fixées par l'OMS. L'installation de ces puits surtout P15 et P11 dans une zone de pâturage provoque une contamination de ces eaux par l'ammoniac. Les nitrates sont aussi détectables dans le puits P19 qui atteignent 68.22 mg/l vu ce puits est contaminé par les eaux usées des maisons logées.

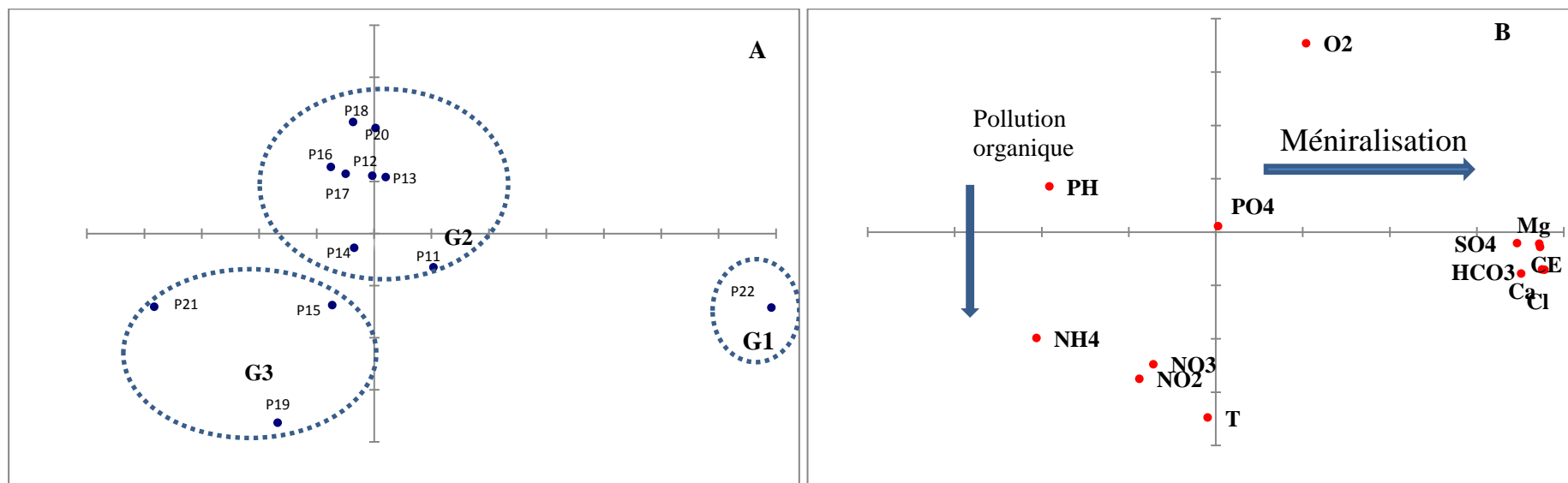


Figure 74: **A** : Projection des 12 puits tels qu'ils se répartissent en 3 groupes, à la suite de l'ACP puits / Caractéristiques physico-chimiques de l'eau 5 et d'une classification hiérarchique des stations ; **B** : Projection des paramètres physico-chimiques analysés dans l'eau des 14 stations étudiées, sur le plan des deux premiers axes factoriels de l'ACP d'une matrice stations/ paramètres physico-chimiques

T° : Température, CE : Conductivité Électrique ; O₂ : Oxygène dissous, NO₃⁻ : Nitrates ; NO₂⁻ : Nitrites ; NH₄⁺ : Ammonium ; PO₄³⁺ : Orthophosphates ; k⁺ : Potassium ; Na⁺ : Sodium ; SO₄²⁻ : Sulfates ; Ca²⁺ : Calcium ; Cl⁻ : Chlorure.

III. Discussion

Les eaux souterraines représentent la majorité des stocks d'eau douce liquide continentale (près de 40%) et assurent de nombreuses fonctions tant économiques qu'écologiques (CASTANY, 1998, ACADEMIE DES SCIENCES, 1991, GUILLEMIN, 1994). En effet, elles couvrent plus de la moitié des besoins en eau potable, et leurs utilisations devraient encore s'intensifier dans les années à venir pour répondre à une demande croissante des populations (COLLIN 1994, BOSCA, 2002). Dans les régions des hautes plaines de l'Est Algérien, les eaux souterraines, qui jouent un rôle important dans la stabilité des populations humaines, sont sous la dépendance d'un ensemble de facteurs naturels et anthropiques. Elles sont menacées par l'aridité du climat et la surexploitation ainsi que par diverses pollutions locales (YACOUBI SOUSSANE, 1999).

Les résultats physico-chimiques seront analysés et discutés en référence aux normes de la qualité des eaux proposées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 1984 ; OMS, 1993 ; OMS, 1996).

Les pH relevés dans les sous bassins versant d'Ank Djamel et Oued Merzoug varient entre 6,68 dans le puits P10 et 8,04 dans le puits P4. Alors que les valeurs oscillent, dans les deux sous bassin versant d'Ank Djamel et Garaât Tarf entre 6.87 (dans le puits P 22) et 7,8 (dans le puits P18). Ces valeurs ne sont donc pas différentes et traduisent des eaux proches de la neutralité mais légèrement alcalines dans les deux régions. Cette relative constance du pH de l'eau dans les diverses stations pourrait résulter d'un équilibre entre les fortes teneurs en dioxyde de carbone et les bicarbonates de calcium ou de magnésium dissous, stabilisées par l'effet tampon de la forte minéralisation.

L'eau de sous bassin versant d'Ank Djamel et Oued Merzoug est relativement bien oxygénée avec des concentrations en oxygène dissous variantes entre 6.33 mg.L⁻¹ dans le puits P10 et 9.53 mg.L⁻¹ dans la source S2, alors que dans tous les autres puits de sous bassin versant Garaât Tarf varie de 3.99 dans le puits P21 et à 7,68 dans le puits P13 mg.L⁻¹. Dans cette région les valeurs moyennes sont presque proches de celles de la première région sauf dans le puits P21 et le puits P19 où la concentration en oxygène chute à 3.99 mg.L⁻¹ et 4.37 mg.L⁻¹. Cette faible concentration est liée à la présence des sources de pollution déjà signalé.

À l'image des eaux souterraines des régions calcaires à climat semi - aride, la conductivité est relativement élevée. Elle est de 621 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans le puits P21 situé au Sud Est à l'amont de sous bassin versant d'AnnkDjamel, tandis que dans le sous bassin de GaraâtTarf, la minéralisation est forte à très forte avec une conductivité atteignant jusqu'à 7160 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans le puits P22 situé autour de GaraâtTarf. Dans le Nord Ouest de sous bassin versant d'Ank Djamel et Oued Merzoug la conductivité semble plus faible, puisqu'elle varie entre 254 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans la source S2 située à l'amont dans la partie Nord Ouest de sous bassin d'Ank Djamel et 5530 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans le puits P3. La conductivité dépend de tout un ensemble de facteurs dont la nature des terrains traversés par l'eau, le climat général qui détermine l'évaporation et les apports météoriques, le niveau piézométrique, et l'impact des pollutions (ANONYME, 2000. Les valeurs faibles de la conductivité s'observent dans les régions éloignées des affleurements des évaporites du Trias. Par contre, lorsqu'elles dépassent 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la conductivité devient liée plus aux ions évaporitiques (Cl^- et SO_4^{2-}) et la nature géologique de la région sans oublié à dire que ce paramètre augmente généralement autour de zones d'accumulation d'eau.

Dans la région d'étude les teneurs en CaCO_3 sont celles d'une eau très dure ; elles varient entre 160 mg.L^{-1} dans le puits P11 et 1720 mg.L^{-1} dans le puits P 22 dans le Sud Est à l'amont de sous bassin versant d'Annk Djamel et dans le sous bassin de GaraâtTarf (annexe1). Toutefois dans les puits du Nord Ouest de sous bassin versant d'Ank Djamel et Oued Merzoug varie entre 200 et 910 mg.L^{-1} . Les concentrations calciques étant souvent très dominantes par rapport aux concentrations magnésiennes en raison de la nature des terrains (gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ou du CaCO_3 calcaires) elles impriment à la dureté totale son caractère général.

Analyse chimique a révélé que les fortes concentrations des Sulfates sont enregistrées dans le Nord Ouest de sous bassin versant d'Ank Djamel et Oued Merzoug .Elles sont de l'ordre de 121 mg.L^{-1} dans la source S2, de 756 mg.L^{-1} dans le puits P3. Cependant, dans un cas comme dans l'autre on n'est pas en présence d'eaux séléniteuses et ces teneurs qui sont normales là où existent des roches contenant du gypse, sont sans effet important aussi bien chez l'Homme.

Dans les deux sous bassins versants Oued Merzoug et Ank Djamel les teneurs en chlorures sont très élevées et varient entre 121 mg.L^{-1} dans la source S2 et 1 200 mg.L^{-1} dans le puits P3 ce qui est généralement le cas des zones semi-aride (MARGAT, 1962. Les valeurs

les plus élevées ont été signalées dans les eaux des puits de sous bassin de GaraâtTarf où la chlorosité augmente régulièrement pour atteindre des valeurs très élevées dans les alentours de GaraâtTarf dans le puits P22 (7160 $\mu\text{s}/\text{cm}$). Les valeurs moyennes en chlorures évoluent de la même manière que la conductivité pour l'ensemble des points de mesure. Les chlorures pourraient provenir de la percolation à travers les terrains salés (BREMOND *et al*, 1979) et à l'écoulement des eaux d'irrigation (KHOLTEI, 2003). Les chlorures s'avèrent les plus contributifs à cette forte minéralisation enregistrée.

Les résultats des analyses des quatre sels nutritifs ont permis de déceler leurs variations d'une station. Concernant les orthophosphates qui constituent la forme du phosphore assimilable par les algues, lorsque les concentrations dans les eaux naturelles sont supérieures à 0,2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, ils traduisent très généralement une pollution par les eaux domestiques contenant des phosphates organiques et des détergents synthétiques, et (ou) par des eaux de ruissellement. Les concentrations en phosphates dans la majorité des stations n'atteignent cette valeur, exception faite par quelques stations qui dépassent légèrement cette norme (puits P14 et P15) dans le sous bassin GaraâtTarf et puits P9 et source S3.

Les valeurs moyennes des concentrations des nitrates dans l'eau de sous bassin versant Annk Djamel et Oued Merzoug sont très faibles par rapport à la norme (50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), cela justifie l'absence totale de toute contamination probable en revanche au sous bassin versant de GaraâtTarf, nous avons enregistré une concentration qui dépasse 50 mg/l (seuil admissible selon les normes OMS) dans le puits P19, creusé au voisinage des maisons logées.

L'ammonium est toujours le témoin d'une pollution organique. Il est détectable lorsque les teneurs en oxygène sont insuffisantes pour assurer l'oxydation maximum des molécules organiques. Le phénomène s'observe généralement dans les stations de GaraâtTarf dans les puits P11 0.5 mg/l et 1.4 mg/l dans le puits P21. A Oued Merzoug et Annk Djamel les valeurs mesurées se situent entre 0,008 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ dans P5 et 0.65 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ dans P2. L'ion ammonium a essentiellement pour origine les déversements domestiques, il constitue donc un excellent indicateur de ce type de pollution.

Les six puits connaissent une présence bactériologique traduite par des coliformes totaux qui restent cependant supérieur aux normes internationales. La contamination fécale a été mise en évidence dans le puits P1, P3 et P9 et en quantité moindre dans les puits P2, P7 et P8 cette contamination est liée surtout à la présence de streptocoques fécaux. Cette contamination devrait être d'origine animale, vu que la flore fécale humaine contient plus de coliformes fécaux que de streptocoques (GELDREICH et KENNER, 1987).

la nature de la roche sous-jacente et le niveau des eaux dans les puits influencent significativement leur degré de contamination (HASSOUNE *et al.*, 2010). En effet le sol constitue un filtre contre les infiltrations microbiennes vers les eaux souterraines grâce à son pouvoir adsorbant sur les bactéries et contribue donc à la diminution du nombre de ces dernières dans les eaux profondes (LYAKHLOUFI *et al.*, 1999). Cependant la faible profondeur de la nappe phréatique (DEGBEY *et al.*, 2008 ; DEGBEY *et al.*, 2010) sont autant d'éléments qui sont sources de contamination de l'eau de puits. C'est le cas des puits P1, P2, P3 dont la profondeur ne dépasse pas 7 m pour les puits.

La recherche d'*Escherichia coli* a aboutit à des résultats négatifs dans l'ensemble des eaux des puits analysés, traduisant l'absence de contamination récentes.

L'ensemble de ces données montre que les eaux souterraines de la région d'étude sont généralement très minéralisées, dures et légèrement alcalines. Ainsi, les teneurs élevées en nitrates et ammonium dans les stations situées près d'agglomérations urbaines ou près des étables traduisent un apport de matières organiques assez élevé. La comparaison des eaux des trois sous bassins versant (Oued Merzoug, Ank Djamel et Ank Djamel) montre que :

- Les eaux de sous bassin de Garaât Tarf ont une minéralisation élevée. Cette minéralisation est due essentiellement à:

- L'influence du Garaât Tarf sur les eaux souterraines.
- Le lessivage des formations géologiques (argiles, roche carbonatée et les évaporites).

En revanche les faibles valeurs de la minéralisation se localisent dans les deux autres sous bassin versant.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Les eaux souterraines jouent un rôle major dans l'alimentation en eau potable de la population rurale Algérienne. Elles participent aussi au développement des activités agricoles. Dans la région d'étude, les eaux souterraines sont exploitées au niveau des sources et des puits. Elles sont drainées par différentes techniques traditionnelles et modernes, utilisées pour extraire les eaux des nappes pour l'irrigation des champs. Alors que les puits traditionnels, menus de motopompe ou non, sont fréquemment utilisés pour l'alimentation en eau potable. Les sources constituent depuis longtemps des endroits sacrés, source d'eaux pérenne et symbole de vie. Elles sont généralement exploitées soit par extraction directe et sur place pour l'alimentation des populations et des cheptels ou indirecte par drainage des eaux vers les champs plus ou moins lointains à des fins agricoles. Il apparaît clairement que les eaux souterraines jouent un rôle fondamental dans la stabilité des populations rurales.

L'objectif principal qui vise notre travail est la détermination de la composition faunistiques et la connaissance de la biodiversité d'eaux souterraines de la région d'étude. Nous nous sommes fixés également pour objectif la caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de trois sous bassin versants de la région d'Oum El Bouaghi située dans les hautes plaines de l'Est Algérien et l'établissement de typologies physico-chimiques et faunistique propres à notre site d'étude et la recherche des liens possibles entre les deux compartiments physicochimiques et faunistique.

Nos résultats s'appuient sur des données collectées durant vingt-quatre mois s'étalant de décembre 2012 en décembre 2014, au niveau de 25 stations (22 puits et trois sources) réparties sur trois sous bassin versant déjà mentionnés au dessus. L'échantillonnage a été effectué suivant un pas généralement mensuel.

Dans l'ensemble de la zone d'étude, l'eau des puits comme celle des sources est caractérisée par une importante minéralisation (avec une conductivité électrique très élevée) et un caractère légèrement alcalin marqué (avec un pH très généralement supérieur à 7) aussi bien dans les puits que dans les sources et dans les trois sous bassins. On peut considérer que ces deux particularités sont en rapport avec la nature du substratum géologique où dominant les roches calcaires et les affleurements des évaporites du Trias.; ce substratum est presque le même dans les trois sous bassins hydrographiques et sous le climat semi –

aride la température de l'eau de la nappe étant généralement comprise entre 15 et 18°C, l'érosion et la dissolution des roches par les eaux d'infiltration est très active. Très forte minéralisation et une légère alcalinité des eaux souterraines s'observent surtout dans les régions des hautes plaines de l'Est Algériens. Plusieurs auteurs comme (OGA et al. 2009 ; HASSOUNE et al. 2010) signale qu'une conductivité électrique supérieure à 500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ peuvent être considérées comme anormales en Europe, il en va autrement en Afrique ; d'ailleurs GAGNEUR & YADI (2000), ont observé des valeurs de conductivité électrique supérieures à 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ dans les sources d'Algérie, de même que BOULANOUAR (1986, 1995) au Maroc, près de Marrakech et BOULAL (2002) dans le Sud-ouest du Maroc. Enfin ZEBAZE TOGOUET et al. (2009) ont également signalé déjà des valeurs de conductivité électrique bien supérieures à 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ dans certains puits et sources du Cameroun. Les fortes valeurs observées dans l'ensemble de la zone d'étude n'ont donc rien d'exceptionnel.

Toutefois si les valeurs moyennes de la température et du pH ne diffèrent pas significativement dans l'ensemble des puits des deux bassins hydrographiques, la conductivité électrique, bien que partout élevée, est cependant bien plus forte dans les puits du sous bassin du Garaât Tarf que dans ceux du bassin d'Oued Merzoug et Annk Djamel. De même, la moyenne des mesures de conductivité dans l'eau des sources est de l'ordre de 1460.6 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ dans le sous bassin d'Annk Djamel et Oued Merzoug alors qu'elle est d'environ 3005.7 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ dans les puits de même sous bassin. Sachant que les substratums géologiques et pédologiques des nappes aquifères sont les mêmes, ainsi que les conditions climatiques dans les trois bassins, il faut bien prendre en considération l'importance de zones d'accumulation (Garaât Tarf) exemple pour expliquer telles différences.

Les quatre nutritiles étudiés (orthophosphates, nitrites, nitrates et ammonium), en effet même si la concentration des ions nitrates dans l'eau est partout assez faible, comparée à ce qu'on observe souvent en Europe ou au Maghreb dans les régions anthropisées, on doit noter que sur l'ensemble des puits du sous bassin de Garaât Tarf la valeur moyenne des concentrations observées est proche de 4.42 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, cette même concentration moyenne atteint 0,91 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ dans les puits et 0.59 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ dans les sources de deux sous bassin d'Oued Merzoug et Annk Djamel. La teneur des eaux en nitrates est donc 5 fois plus faible dans le bassin dans les deux derniers sous bassin que dans le sous bassin de Garaât Tarf, et cela aussi bien dans les puits que dans les sources.

La concentration moyenne des nitrites est de 0,28 mg.L⁻¹ dans l'eau des puits d'Oued Merzoug et Annk Djamel et seulement de 0,044 dans l'eau de ceux du bassin de Garaât Tarf. On retrouve donc, si l'on compare l'eau souterraine des trois bassins, des différences de concentration en nitrites importantes, et qui vont dans le même sens que les nitrates.

De même, en moyenne, la concentration des ions ammonium est de 0,304 mg.L⁻¹ dans les puits du Garaât Tarf et de 0,134 mg/L dans les puits et les sources d'Oued Merzoug et Annk Djamel. Enfin en moyenne la teneur en ions orthophosphates est de 0,148 mg.L⁻¹ et de 0,113 mg.L⁻¹ dans les stations de trois sous bassins.

L'examen bactériologique a mis en évidence une contamination des six puits par les indicateurs de pollution fécale telle que les Coliformes totaux, les Streptocoques fécaux. Cette contamination serait liée non seulement aux rejets domestiques mais aussi à l'agriculture. Une généralisation de cette approche permettrait de mettre en évidence une corrélation entre la faune et la qualité bactériologique de l'eau

Les stations dont l'eau est généralement de bonne qualité se trouve localisées loin des sources de pollutions et que la qualité de l'eau se dégrade tout en rapprochant des zones d'habitations. Les causes de pollution de l'eau des stations infectées par une légère pollution sont dues principalement aux eaux usées brutes circulant dans les petits canaux ou « seguias » utilisées soit pour évacuer l'eau usée ou pour l'irrigation, qui s'infiltré jusqu'à la nappe phréatique. 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 faune récoltée dans les 25 stations étudiées est d'abord caractérisée par la dominance des espèces aquatiques épigées, c'est à dire d'origine extérieure, comparée au très petit nombre des espèces stygobies, espèces souterraines dont le cycle vital s'accomplit toujours et en totalité dans l'eau de la nappe phréatique. Ce résultat qui n'a rien de surprenant illustre bien le fait que, comme VANDEL (1964) et DALMAS (1972, 1973) l'avaient déjà montré, les puits et les sources constituent des écotones où cohabitent deux communautés : les espèces épigées et les espèces endogées. Puits et sources sont bien alimentés par l'eau de la nappe phréatique mais ils sont beaucoup moins protégés des apports extérieurs que la nappe elle-même, d'où cette faune épigée ou parfois stygophile. Cette caractéristique des sources et

des puits, d'abord observée en Europe, a été partout vérifiée dans différentes régions du monde en particulier au Maroc à l'occasion des recherches menées par BOULANOUAR (1986, 1995), BOULAL (2002) et AÏT BOUGHROUS et al. (2007), ainsi qu'en Algérie par GAGNEUR & YADI (2000) et par MERZOUG et al 2010 et également au Cameroun lors des premières études réalisées par ZEBAZE TOGOUET et al. (2009).

Nous avons obtenu une faune riche, plus diversifiée, dans les sources, que dans les puits. Le nombre de taxons récoltés variant de 7 à 18 par source, alors qu'il était de 18 à 56 dans 6 sources en Algérie étudiées par GAGNEUR & YADI (2000), en notant toutefois qu'en Algérie ces auteurs avaient réuni les résultats de nombreuses récoltes effectuées sur une période nettement plus longue (6 à 7 années) et que beaucoup de leurs déterminations avaient été faites au niveau de l'espèce, car les travaux étaient orientés vers une étude faunistique, et particulièrement vers une étude de l'entomofaune. Le nombre moyen de taxons au cours de la présente étude (9.4) est toutefois légèrement supérieur à est légèrement supérieure à celle observée dans les 12 puits creusés au niveau de la nappe alluviale de l'oued Tafna BELAIDI et al (2011) et dans les 16 puits de la région d'Oum-El-Bouaghi, dans le Nord-Est Algérien MERZOUG *et al* (2010) Mais elle reste plus faible à celle obtenue dans les 11 puits de Marrakech (Maroc) (BOULANOUAR, 1986 ; BOUTIN et DIAS, 1987).

De même, le nombre de taxons aquatiques récoltés dans l'eau des stations de deux sous bassins Annk Djamel et Oued Merzoug (4 à 21, avec un nombre moyen de 11.07) est supérieur à celui des taxons des puits du bassin Garaât Tarf (de 3 à 10 taxons, avec une moyenne de 7.58 par station). Ces résultats suggèrent donc que la diversité taxonomique globale des zoocénoses des puits et sources pourrait être plus élevées dans les stations situées dans des régions où la nappe fournit une eau de meilleure qualité. La biodiversité, évaluée de la manière la plus simple, en termes de richesse taxonomique, semble bien varier comme la qualité de l'eau de la nappe et en particulier diminuer avec l'altération de cette qualité due aux pollutions.

On remarquera que les organismes les plus répandus (dans les diverses stations) et surtout les plus abondants (en nombre d'individus récoltés) sont, les Crustacés Copépodes, Daphnies, Gastéropodes Planorbidae tout particulièrement dans les puits du bassin d'Annk Djamel et Oued Merzoug (Tableau 6), les larves de Diptères Chironomides et Culicides, puis à un moindre degré les Oligochètes Naïdidae. Toutes ces espèces sont connues pour être

particulièrement résistantes à la pollution ; de plus les larves de Diptères proviennent des pontes d'Insectes adultes extérieurs à l'écosystème aquatique lui-même et renseignent plus sur le microclimat local et surtout sur l'efficacité de la protection des points d'eau, que sur les caractéristiques physicochimiques de l'eau.

Dans 15 des 25 stations étudiées la faune récoltée contient des représentants de la communauté stygobie. Il s'agit des Amphipodes avec trois genre *Echinogammarus*, *Niphargus* et *Pseudoniphargus* suivi par les Ostracodes représentée par un seul genre *Pseudocandonus* sp. Le groupe de Gastéropode est présenté par deux espèces : *Pseudomnicola* sp : *Islamia* sp. Les Plathelminthes représenté par un seul taxon *Dugestia* sp et le dernier taxon c'est le groupe de Coléoptère par l'espèce *Siettitia avenionensis*.

En ce qui concerne une possible corrélation entre la qualité de l'eau des stations et l'installation de la faune cela nous a apparut difficile en raison de deux critères ; les eaux de la région étudiée sont très fortement minéralisées en raison des valeurs élevées de la dureté totale, en revanche elles paraissent exemptes de pollution importante d'origine organique, humaine ou animale et les taxons de la faune stygobie récoltées sont des polluants résistant et nous n'a permet pas de confirmé ou affirmé cette corrélation possible.

Si certains auteurs on pu écrire quelquefois que « les variations spatiales de la physico-chimie des eaux souterraines » ne semblent pas être « le facteur primordial contrôlant la répartition de la faune » des eaux souterraines (PARAN et al. 2005), il est indispensable pour que cette conclusion ait un sens de préciser à quelle échelle sont envisagées la diversité et la répartition des organismes stygobies. En effet on s'accorde généralement pour reconnaître que - à une très grande échelle (celle d'un ensemble de pays, voire de tout un continent ou même de la planète entière), c'est toute l'histoire géologique et paléographique de la terre, pendant des dizaines et parfois des centaines de millions d'années, avec ses conséquences climatiques et géographiques, ainsi que des phénomènes de grande ampleur tels que la dérive des continents, qui permet seule d'expliquer les différences importantes entre les flores et les faunes, y compris celle des faunes souterraines sur les divers continents.

- à une échelle moyenne (celle d'un pays, ou d'une région géographique d'un pays) ce sont la nature et les caractéristiques des différents terrains qui forment les aquifères dans lesquels s'écoulent les eaux souterraines qui sont déterminantes. Les roches étant plus ou moins poreuses ou fracturées, donc plus ou moins perméables, la pente des terrains est plus ou moins

forte et en conséquence l'eau y circule plus ou moins facilement, et cette eau sera en conséquence plus ou moins oxygénée. Enfin la perméabilité et surtout la granulométrie des sédiments meubles facilitent plus ou moins non seulement le déplacement de l'eau mais aussi celui des organismes stygobies qui vivent dans les interstices et peuvent s'y maintenir.- à une échelle plus petite (celle du Km ou au maximum de quelques dizaines de Km), lorsqu'une même nappe s'étend dans une plaine, ou dans les alluvions d'une vallée ou d'un bassin hydrographique, alors les différences faunistiques qui s'observent (présence de telles ou telles espèces stygobies dans certaines stations alors qu'elles sont absentes dans certaines autres) peuvent le plus souvent s'expliquer par des variations locales de la qualité physico-chimique de l'eau, et être en rapport le plus souvent avec les sources de pollution nappe, donc avec l'impact des différentes activités anthropiques en surface.

Aussi, si plusieurs auteurs, comme DUMAS et al. (2001) ou HAHN (2002), et même GIBERT & CULVER(2009) qui présentaient PASCALIS, un vaste programme de recherches sur les faunes aquatiques souterraines d'Europe, on pu considérer que les variables les plus déterminantes de la répartition des faunes aquatiques souterraines rencontrées sont de nature géomorphologiques et hydrogéologiques, il n'en reste pas moins, comme l'ont d'ailleurs souligné DOLE-OLIVIER et al. (2009), que ces résultats, notamment ceux du Programme PASCALIS, s'expliquent par le fait que les prospections visant à connaître la diversité des faunes souterraines ont suivi des protocoles qui prévoient d'éviter les sites les plus pauvres, dans les régions marquées par de fortes influences anthropogéniques, comme cela était précisé explicitement dans le Protocole d'échantillonnage de PASCALIS (MALARD et al. 2002).

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 souterraines 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 DBO5 , la granulométrie des sédiments .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

L'exemple étudié montre donc comment des disciplines aussi différentes que la systématique zoologique, l'écologie des milieux aquatiques et la géologie historique, se

complètent et doivent être considérées ensemble pour expliquer, dans ses grandes lignes au moins, la diversité et la distribution des espèces animales actuelles.

- ACADEMIE DES SCIENCES. (1991)** : Pollution des nappes d'eau souterraines en France. Évaluation des connaissances et des impacts, perspectives et recommandations. Rapport n°29 l'Académie des Sciences
- AFNOR, 1983.** Association française de normalisation: Eaux, méthodes d'essai, 2ème édition, Paris., *si sect. Géol. Géologia. Acad.*, 7, 3: 657-676.
- AÏT BOUGHROUS A., YACOUBI-KHEBIZA M., BOULANOUAR M., BOUTIN C, et MESSANA G. (2007)** : Qualité des eaux souterraines dans deux régions arides du Maroc : impact des pollutions sur la biodiversité et implications paléogéographiques. *Environ. Technol.*, 28, 1299-1315.
- AÏT BOUGHROUS A. (2007)** : Biodiversité, écologie et qualité des eaux souterraines de deux régions arides du Maroc: le Tafilalet et la région de Marrakech. Thèse. Doc. Fac. Sc. Univ. Marrakech (Maroc): 207p.
- ALLEN M.J. et GELDREICH E.E., (1975)** :Bacteriological criteria for groundwater quality. *Groundwater*, 13: 45-51.
- ANONYME, 2000.** Direction Régionale d'Hydraulique à Errachidia : Ziz, Gheris et Guir. Rapport annuel, 182p. Aselloidea). Mémoires de Biospéléologie 23: 173-179.
- BAKALOWICZ, M. BAKALOWICZ, ETA. AMINOT, (1974)**: Géochimie des eaux aquifères karstiques. III. Premiers résultats obtenus sur le système karstique du Baget durant le cycle hydrologique 1973. *Ann. Spéléol.*, 29, 4: 484 -493.
- BARBAULT R. (1995)** : Ecologie des peuplements. Structure et dynamique de la biodiversité. 2ème édition- Masson, Paris – Milan – Barcelone. P. 15-19.
- BARBIER A.M. (2006)** : Elaboration de méthodologies innovantes de traitements des données satellitales dans un cadre agroenvironnemental. Rapport de Stage Master 2 Professionnel en Géomatique (SIGMA), INP ENSAT Université de Toulouse, France. 44p.
- BEDEL L. (1895)**: Catalogue raisonné des Coléoptères du Nord de l'Afrique (Maroc, Algérie, Tunisie et Tripolitane) avec notes sur la faune des îles Canaries et de Madère. Première partie. Soc. Ent. Fr. (ed.) Paris : 402.
- BELAIDI N. (2004)**:Rôle du milieu hyporéique dans le fonctionnement de l'écosystème oued, Dynamique de la faune hyporéique à l'aval d'un barrage pollué, Thèse,Doc,Univ,Tlemcen (Algérie) :83p
- 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.
- BELGHITI M L., CHAHLAOUI A., BENGOUMI D., EL MOUSTAINE R.(2013)** : Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plioquaternaire dans la région de meknès (maroc) *Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, Juin 2013, pp. 21-36.*

- 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.
- BERRAHOU A., CELLOT B & RICHOUX P. (2001)** : Distribution longitudinale des macroinvertébrés benthiques de la Moulouya et de ses principaux affluents (Maroc). *Annales de Limnologie*, **37** (3): 223-235.
- BIEMI J. (1992 :)** Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants Subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus des sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'Etat es Sciences Naturelle, Université Nationale de Côte d'Ivoire, p. 480.
- BLONDEL J. (1995)** : Biogéographie. Approche écologique et évolutive. Editions Masson, Paris.
- BOSCA C., 2002.** Groundwater law and administration of sustainable development, Mediterranean. *Magazine Science, training & Technology*, 13-17
- BOTOSANEANU L. (Ed.). (1986)** : Stygofauna Mundi. Leiden (The Netherlands) : E.J. Brilland Dr. W. Backhuys, 740 p.
- BOTOSANEANU L. et HOLSINGER J.R. (1991)**: Some aspects concerning colonization of the subterranean realm – especially of subterranean waters: a response to Rouch & Danielopol, 1987. *Stygologia*, n° 6, p. 11-39.
- BOUALLAM S. ET NEJMEDDINE A. (2001)** : Effet des métaux lourds - Cu, Hg, Cd - sur les larves de trois espèces de moustiques (Diptera, Culicidae) *Annales de Limnologie*, **37**, 49- 57.
- BOULAL M. (1988)** Recherches écologiques sur la faune de quelques puits de la région de Tiznit (Anti-Atlas occidental, Maroc). Thèse de 3ème Cycle, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, 228p.
- BOULAL M. (2002)** : Recherches phréatobiologiques dans le Souss et les régions voisines du Maroc occidental : Qualité de l'eau, Biodiversité, Écologie et Biogéographie Historique des espèces stygobies. Thèse de doctorat d'État, Université Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, 443p.
- BOULANOUAR M. (1986)** : Études écologiques comparées de quelques puits de la région de Marrakech. Impact des pollutions sur la zoocénose des puits. Thèse de 3ème cycle, Université Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, 207p.
- BOULANOUAR M., HENRY J.-P. et BOUTIN C., (1989)** : Première Aselle anophtalme du Maroc : *Proasellus gineti* n.sp. (Crustacea, Isopoda, Asellota). *Stygologia*, **6**, 2 : 119-125.
- 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.
- BOUMAÏZA M. (1994)** : Recherche sur les eaux courantes de Tunisie: faunistique, écologie et biogéographie. Thèse de Doctorat es Sciences, Université de Tunis II, 330 pp

- BOURNAUD M., CELLOT B., RICHOUX P. & BERRAHOU A. (1996)** : Macroinvertebrate community structure and environmental characteristics ti species or family. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 15 (2) 232-253
- BOUSFIELD E.L. (1958)**: Freshwater amphipod crustaceans of glaciated North America. *Canad. Field Naturalist.* 72 (2) : 55-113.
- BOUTIN C. ET BOULANOUAR M. (1983)** : Méthode de capture de la faune stygobie : Expérimentation de différents types de pièges appâtés dans les puits de Marrakech. *Bulletin Faculté des Sciences Marrakech* (Section Sciences de Vie), 2 :5-21.
- BOUTIN C. et BOULANOUAR M.(1984)** : Premières données sur la faune des puits des environs de Marrakech (Maroc occidental). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22: 1762- 1765.
- BOUTIN C et DIAS N. (1987)** : Impact de l'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech sur la nappe phréatique. *Bull. Fac. Sci. Marrakech, Sér. Biol.*, 3: 5-27.
- BOUTIN C. & MESSOULI M. (1988a)**. Longipodacranconyx maroccanus n. gen., n. sp., nouveau représentant du groupe Metracranconyx (Crustacea, Amphipoda) dans les eaux souterraines du Maroc. *Crustaceana. Suppl.* 13 : 156-271.
- BOUTIN C. & IDBENNACER B. (1989)** : Faune stygobie du Sud de l'Anti-Atlas marocain : premiers résultats. *Rev. Sc. De l'eau* 2 : 891-904.
- BOUTIN C., BOULANOUAR M., COINEAU C. ET MESSOULI M. (2002)**: Biodiversity in the stygobiotic cirrolanids (Crustacea: Isopoda) from the Mediterranean Basin. I. A new species of Typhlocirolana in Morocco, taxonomic, ecological and biogeographic data. *Journal of Natural History*, 36(7): 797-817.
- 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. (1993)**: Biogéographie historique des Crustacés Malacostracés stygobies du Maroc. Thèse de Doctorat, Univ. Cl. Bernard Lyon I, France, 263 p.
- BOUTIN C., BOULANOUAR M. ET YACOUBI-KHEBIZA M. (1995)** : Un test biologique simple pour apprécier la toxicité de l'eau et des sédiments d'un puits. Toxicité comparée, in vitro, de quelques métaux lourds et de l'ammonium, vis-à-vis de trois genres de crustacés de la zoocénose des puits. *Hydroécologie Appliquée*, 7, 91-109
- BOUTIN C., BOULAL M., BOULANOUAR M., COINEAU N., GHLALA A., MERZOUG D., MESSOULI M., YACOUBI-KHEBIZA M. (2011)** : Importance, dans les zones arides et semi-arides, de la biodiversité des faunes aquatiques souterraines. Actes du Séminaire International sur la Biodiversité Faunistique en Zones Arides et Semi-arides:18p.
- BOUZIDI A. & GIUDICELLI J. (1994)** : Ecologie et distribution des macroinvertébrés des eaux courantes du Haut-Atlas marocain. *Rev. Fac. Sci. Mar.*, 8 : 23-43

- BREMOND R & PERRODON C. (1979)** : Paramètres de la qualité des eaux. Min. Environ. Dir. de la prévention des pollutions, Services de l'Eau. Paris, 260 pp.
- BRUNKE M., GONSER T. (1999)**: Hyporheic invertebrates - the clinical nature of interstitial communities structured by hydrological exchange and environmental gradients. *Journal of the North American Benthological Society* 18, 344-362. Brunke
- BRUNO, M. C., REID, J. W. ET PERRY, S. A. (2002)**: New records of harpacticoid copepods from Everglades National Park (Florida, U.S.A.): description of *Nitokra evergladensis*, new species (Ameiridae), supplementray description of *Attheyella americana*, and redescription of *Bryocamptus newyorkensis* (Canthocamptidae). *Journal of Crustacean Biology*, 22(4): 834-854
- CAMACHO A. I. (2003a)**: Four new species of groundwater crustaceans (Syncarida, Bathynellacea, Parabathynellidae) endemic to the Iberian Peninsula. *Journal of Natural*
- CASTANY G., (1998)** : Hydrogéologie, principes et méthodes. *Dunod*, Paris, 236p.
- CHAPMAN D. et KIMSTACH V., (1996)**: Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, *Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London*: 59-126.
- 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.
- CHRISTMAN M. C., CULVER D. C., MADDEN M. K. ET WHITE, D. (2005)**: Patterns of endemism on the eastern North American cave fauna. *Journal of Biogeography* 32: 1441-1452.
- CHRISTMAN, M. C., et CULVER, D. C. (2001)**: The relationship between cave biodiversity and available habitat. *Journal of Biogeography* 28: 367-380
- COINEAU N. (1971)** : Les Isopodes interstitiels, documents sur leur écologie et leur biologie. *Mem. Mus. Nat. Hist. Nat. Paris. LXIV (A)*, 170 pp.
- COINEAU N. & BOUTIN C. (1992)**: Biological processes in space and time: colonization, evolution and speciation in interstitial stygobionts. In *The Natural History of Biospeleology*, 423-451, A.I. Camacho ed. *Monografias 7, Mus. Nat. Cie. Nat. C.S.I.C, Madrid*, 680 p.
- COINEAU, N. (1994)**: Evolutionary biogeography of the Microparasellid Isopod *Microcharon* (Crustacea) in the Mediterranean Basin. *Hydrobiologia* 287: 77-93.
- COLLIN J.J. (1987)** : Pollution des eaux souterraines. *BRGM- SGN, département EAU, 46 pages*.
- CREUZE DES CHATELLIERS M. (1991)** : Dynamique de répartition des biocénoses interstitielles du Rhône en relation avec des caractéristiques géomorphologiques (secteurs de Brégnier-Cordon, Miribel-Jonage et Donzère-Mondragon). Thèse, Université Lyon 1, 161 p.
- CREUZÉ DES CHÂTELLIERS M. et POINSART D., (1991)** : Caractéristiques des aquifères alluviaux et densité faunistique du sous écoulement du Rhône. *Hydrogéologie*, 3: 201-215

CULVER D.C. (1982): Cave life: Evolution and Ecology. Harvard Univ. Press, Cambridge Massachusetts, 189 pp.

CULVER D. C., ET HOLSINGER J. R. (1992) :How many species of troglobites are there?. NSS Bulletin, 54: 79-80

C
ULVER D. C., HOBBS III H. H., CHRISTMAN M.C. ET MASTER L.L. (1999): Distribution map of caves and cave animals in the United States. Journal of Cave and Karst Studies 61: 139- 140

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

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., CHRISTMAN M.C., ELLIOTT W.R., HOBBS III, H.H. et REDDELL, J.R. (2003): The North American obligate cave fauna: regional patterns. Biodiversity and Conservation 12: 441-468.

CULVER D.C. & WHITE W.B. (EDS.) (2005): Encyclopedia of caves. Elsevier, Academic Press, Amsterdam, New York, 654 pp.

CVETKOV L. (1968) :Un filet phréatobiologique. *Bulletin de l'Institut Zoologique*. Mus. Sofia, XXII, 215-219

DAJOZ R. (1985): Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliquée. 5ème édition. Gauthier Villard. Paris : 505p 83

DALMAS A. (1972) : Contribution à l'étude des caractères physico-chimiques et de la faune de quelques puits artificiels de la Provence. Thèse de spécialité. Univ. De Provence: 159p.

DANIELOPOL D. L., MARMONIER P., BOULTON A.J. ET BONADUCE G. (1994): World subterranean otacod biogeography : dispersal or vicariance. *Hydrobiologia* 287: 119-129.

DANIELOPOL, D. L., POSPISIL, P., DREHER, J., MOSSLACHER, F., TORREITER, P., GEIGER-KAISER, M., et al. (2000) :A groundwater ecosystem in the Danube wetlands at Wien (Austria).In H. Wilkens, D. Culver, & W. F. Humphreys (Eds.), *Subterranean ecosystems* (pp. 481–511). Amsterdam:Elsevier.

DAUBRÉE A., 1987. Les eaux souterraines à l'époque actuelle. Dunod, Paris, 455.

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

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

- DEGBEY C., MAKOUTODE M., OUENDO E M., FAYOMI B et DE BROUWER C., (2008)** : La qualité de l'eau de puits dans la commune d'Abomey-Calavi au Bénin. *Environnement Risques Santé*, 7: 279-283.
- DEGBEY C, MAKOUTODE M, OUENDO E M, et DE BROUWER C. (2010)** : Pollution physico-chimique et microbiologique de l'eau des puits dans la Commune d'Abomey-Calavi au Bénin. *Int. Sci. J Biol Chem*; 4: 2257-2271.
- DEHARVENG L., ET BEDOS A. (2000)**: The cave fauna of Southeast Asia, origin, evolution and ecology. In: *Subterranean Ecosystems*, Wilkens H., Culver D. C. et Humphreys W. F. (Eds.), *Ecosystems of the World 30*, Elsevier, Amsterdam, pp. 603-632.
- DEHARVENG L. (2004)**: Diversity patterns in the Tropics. In: *Encyclopedia of Caves*, Culver D. C. et White W. B. (Eds.), Elsevier Academic Press, 166-170.
- DELAMARE DEBOUTEVILLE C. (1960)** : Biologie des eaux souterraines littorales et continentales. Hermann, Paris, 740 pp.
- DELISTE C.E. ET SCHMIDT J.W. (1977)**: The effects of sulphur on water and aquatic life in Canada. Dans: *Sulphur and its inorganic derivatives in the Canadian environment*, NRCC No. 15015, comité associé sur les critères scientifique concernant l'état de l'environnement, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa.
- DERWICH E., BENAABIDATE L., ZIAN A., SADKI O. ET BELGHITY D. (2010)**. Caractérisation Physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du Haut Sebou en aval de sa confluence avec Oued Fes. *Larhyss Journal* 8: 101-112
- DOLE M.J., (1983)** : Le domaine aquatique souterrain de la plaine alluviale du Rhône à l'est de Lyon. *Ecologie des niveaux supérieurs de la nappe*. Thèse, Université Lyon 1, 168p.
- DOLE-OLIVIER M.J. & CHESSEL D. (1986)** : Stabilité physique et biologique des milieux interstitiels. Cas de deux stations du Haut Rhône. *Ann. Limnol.* 22: 69-81.
- DOLE OLIVER M.J., et CHESSEL D. (1987)** : Stabilité physique et biologique des milieux interstitiels. Cas de deux stations du haut Rhone. *Annals.Limnol.* 22 1 69-81
- DOLE-OLIVIER M.-J), MALARD F., MARTIN D., LEFÉBURE T. & GIBERT J. 2009** : Relationships between environmental variables and groundwater biodiversity at the regional scale. *Freshwater Biology*. Special Issue: *Assessing and conserving Groundwater Biodiversity*, 54 (4) : 797-813.
- DRAKE P., BALDO F., CUESTA J.A., GARIA-GONZALEZ D., SILVA-GARCIA A., ARIAS A.M., RODRIGUEZ A., SOBRINO I. ET FERNANDEZ-DELGADO C. (1999)**: Initial effects on the toxic waste spill (Aznalcóllar mine accident) on the aquatic macrofauna of the Guadalquivir Estuary. *The Science of the Environment*, 242 :271-280.
- DUMONT H.J. (1981)**: *Cteniobathynella essameuri* n. sp., the first representative of the Bathynellacea (Crustacea) in the central Sahara. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 14 (1) : 59-62.

- EDWARDS F.W. (1923)** : On some algerian species of Simulium. Archs Inst. Pasteur Alger, 1 (4): 647-653
- EL ACHHEB A., MANIA J. et MUDRY J. (2001)** : Processus de salinisation des eaux souterraines dans le bassin Sahel–Doukkala (Maroc occidental), in : *Proc. 1st Int. Conf. on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers: Monitoring, Modeling, and Management*, Essaouira, Maroc.
- EL ALAMI EL FILALI A. (2010).**- Biodiversité aquatique souterraine du Maroc : Base de données, répartition et implications en termes de conservation. Thèse doctorat, Écologie des eaux souterraines, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sc. Semlalia, Marrakech, 123 p.
- endemism. *Biodiversity and Conservation* 8(4): 497-511.
- FAKHER EL ABIARI A. (1999)** : Rôle des facteurs abiotiques dans la répartition de la faune aquatique souterraine du Maroc : Cas des Crustacés Péricarides stygobies. Thèse de doctorat National, Fac. Sc. Semlalia, Marrakech, 208 pp.
- FREEZE R. A. AND CHERRY J. A. (1979)**: *Groundwater*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- FRONTIER S., DAVAUT D., GENTILHOMME V. et LAGADEUC Y. (2001)** : Statistique pour les sciences de la vie et de l'environnement, cours et exercices corrigés. Dunod, Paris, 377p.
- GAGNEUR J. (1983)**: Surveillance biologique de la qualité des eaux. Exemple d'application au bassin de la Tafna (Algérie).communication à la journée de l'eau.25 -27Mai 1983 Tlemcen (Algérie) :21p.
- GAGNEUR.J ET THOMAS. AGB. (1988)**: Contribution à la connaissance des Ephéméroptères d'Algérie. I. Répartition et écologie (1 ère partie) (Insecta, Ephemeroptera). Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse, 124 : 213-223.
- GAGNEUR J. & ALIANE N. (1991)** : Contribution à la connaissance des Plécoptères d'Algérie in 'Overview and strategies of Ephemeroptera and Plecoptera' Gainesville. Albatercedor J. & Sanchez-Ortega A. (eds). Sandhill Crane Press., Inc.: 311- 324.
- GAGNEUR J. et CHAOUI-BOUDGHANE C. (1991)** : le rôle du milieu hyporhéique pendant l'assèchement des oueds de l'ouest Algérien. *Stygologia*, 6: 77-89.
- GAGNEUR J. & YADI B. 2000.** - Intérêt faunistique du peuplement des sources en Algérie et plus généralement en Afrique du Nord. *Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse*, 136 : 33-42.
- GALASSI D. M. P. (2001)**: Groundwater Copepods: diversity patterns over ecological and evolutionary scales. *Hydrobiologia* 453/454: 227-253.
- GASTON K. J. (2000)**: Global patterns in biodiversity. *Nature* 405: 220-227.
- GASTON K. J., PRESSEY R.L. ET MARGULES C.R. (2002)**: Persistence and vulnerability: retaining biodiversity in the landscape and in protected areas. *Journal of BioSciences Suppl*

- GASTON, K. J. (1991):** How large is a species' geographic range? *Oikos* 61(3): 434-438.
- GASTON, K. J. (ED.). (1996):** Biodiversity: Biology of Numbers and Difference. Blackwell
- GASTON, K. J. 1997.** What is rarity? In: *The Biology of Rarity. Causes and Consequences of Rare-Common Differences*, Kunin W. E. et Gaston, K.J. (Eds.), Chapman & Hall, London: 30-47.
- GAUJOUS D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques. *Aide- mémoire. Edt. Technique et documentation: 220p*
- GAUTHIER H., 1928.** Recherches sur la faune des eaux continentales de l'Algérie et de la Tunisie. Impr. Minerva. Alger: 419 pp. + 3 Pl. et 6 Cartes H. T.
- GELDREICH E.E., et KENNER B.A., (1987):** Bacterial population and indicator concepts in feces swage, storm water and solid wastes. In: *Indicators of virus in water and food*. Ed. Berg: 51-97.
- GIBERT J. (1986) :** Ecologie d'un système karstique jurassien: hydrogéologie, dérive animale, transits de matières, dynamique de la population de *Niphargus* (Crustacé Amphipode). *Mémoires de biospéologie, Moulis* 13: 379.
- GIBERT J., DANIELOPOL D. L. et STANFORD J. A., (1994):** *Ground Water Ecology. Academic Press. San Diego: 571p.*
- GIBERT J., STANFORD J.A., DOLE-OLIVIER & WARD J.V.(1994):** Basic attributes of groundwater ecosystems and prospects for research.-In : Gibert, J., Danielopol D.L. & Stanford J.A. (eds.): *Groundwater Ecology.-Academic Press, San Diego, pp.7-40*
- GIBERT, J., ET DEHARVENG, L. (2002) :** Subterranean ecosystems : a truncated functional biodiversity. *BioScience* 52(6): 473-481. *Proceedings on Symposium on World Subterranean Biodiversity, J. Gibert, Univ. Lyon 1 Ed., Lyon, France.*
- GIBERT J., CULVER D. C., DANIELOPOL D. L., GRIEBLER C., GUNATILAKA A., NOTENBOOM, J. ET SKET B. (2004):** Groundwater ecosystems: human impacts and future management. *Aquatic Ecosystems: Trends and Global Prospects*. N. V. C. Polunin. Cambridge, Cambridge University Press.
- GIBERT J., ET CULVER D. C. (2004) :** Diversity patterns in Europe. . In: *Encyclopedia of Caves*, Culver D. C. et White W. B. (Eds.), Elsevier Academic Press, 196-201.
- GIBERT J & CULVER D.. 2009.** - Assessing and conserving groundwater biodiversity : an introduction. *Freshwater Biology, Special Issue : Assessing and conserving Groundwater Biodiversity*, 54 (4) : 639-648.
- GINET R. et DECU V. (1977) :** *Initiation à la biologie et à l'écologie souterraines*. Editions Universitaires, Jean-Pierre Delarge, Paris, 345 p.
- GINET R., ET JUBERTHIE C. (1987) :** Le peuplement animal des karsts de France. I. La faune aquatique. *Karstologia* 10(2): 43-51.

- GOURBAULT N. (1972)** : Recherches sur les Triclades Paludicoles hypogés. Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle 73: 1-249.
- GRALL J. et HILY C. (2003)** : Traitement de données stationnelles (Faune). Robert. FT 10(1). Doc. 85
- GRIFFIN, P. C. (1999)**: Endangered species diversity "hot spots" in Russia and centers of *Groundwater*, 13: 45-51.
- GROVES C. R., JENSEN D. B., VALUTIS L. L., REDFORD K. H., SHAFFER M. L., SCOTT M., BAUMGARTNER J. V., HIGGINS J. V., BECK M. W. ET ANDERSON M. G. (2002)**: Planning for biodiversity conservation: putting conservation science into practice. *Bioscience* 52(6): 499-512.
- GUIL N., ET CAMACHO A. I. (2001)**: Historical biogeography of *Iberobathynella* (Crustacea, Syncarida, Bathynellacea), an aquatic subterranean genus of Parabathynellids, endemic to the Iberian Peninsula. *Global Ecology & Biogeography* 10(5): 487-501.
- GUILLEMIN C. ET ROUX J-C. (1994)** : Mystères et réalité des eaux souterraines. Comptes-Rendus de l'Académie, série générale, 11, pp87-114.
- GUNN J. (ED.). (2004)** Encyclopedia of Caves and Karst Science. Fitzroy Dearborn, Taylor and Francis Group, London, 902 pp.
- GUZIK, M.T., AUSTIN, A.D., COOPER, J.B., HARVEY, M.S., HUMPHREYS, W.F., BRADFORD, T., EBERHARD, M., KING, R.A., LEYS, R., MUIRHEAD, K.A. & TOMLINSON M. (2011)**: Is the Australian subterranean fauna uniquely diverse? *Invertebrate Systematics*, 24 (5), 407- 418
- HAKENKAMP, C. C., PALMER, M. A., & JAMES, B. R. (1994)**. Metazoans from a sandy aquifer: Dynamics across a physically and chemically heterogeneous groundwater system. *Hydrobiologia*, 287, 195–206.
- HADJ S. (2007)** : Contribution à l'étude hydrogéologique d'une aquifère zone côtière. Thèse Doctorat, Université, Badji Mokhtar Annaba, Fac, Sci, p: 154.
- HALLAM F. (2011)** : Biodiversité et qualité des eaux souterraines des Jbilet (Région de Marrakech) : rôle des interactions entre les Crustacés Péracarides stygobies et la Flore bactérienne d'intérêt sanitaire. Thèse doctorat, Hydrobiologie et Microbiologie, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sc. Semlalia, Marrakech. 143 p
- 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
- HAHN H.J. 2002.** : Distribution of the aquatic meiofauna of the Marbling Brook catchment (Western Australia) with reference to landuse and hydrogeological features. *Archiv für Hydrobiologie, Suppl.*, 139: 237-263.

- HASSOUNE M. EL ; KETTANI S. EL ; KOULALI Y ; & BOUZIDI A. (2010) :** Contamination bactériologique des eaux souterraines par les eaux usées de la ville de Settat, Maroc. *Rev. Microbiol. Indust. Sanitaire et Environnementale*, 4 (1) : 1-21.
- HAWKSWORTH, D. L. ET KALIN-ARROYO, M. T. (1995) :** Magnitude and distribution of biodiversity. In: *Global Biodiversity Assessment*, V. H. Heywood et R. T. Watson (Eds.), University Press, Cambridge, 193-274.
- HCEFLCD, 2007.** Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, CRdar CHAFAAI, Cercle d'ELBROUGE, Province de Settat, p : 201.
- HENRY J.-P. (1983) :** Biogéographie des Asellides souterrains de la péninsule ibérique et du midi de la France. *Mémoires de Biospéléologie* 10: 193-198.
- HENRY J.-P., ET MAGNIEZ G. (1992) :** Evénements quaternaires en Europe et répartition des Asellotes stygobies. *Mémoires de Biospéléologie* 19: 121-126.
- HERVANT F., MATHIEU J., BARRE H., SIMON K., ET PINON C. (1997):** Comparative study on the behavioral, ventilatory and respiratory responses of hypogean and epigeal crustaceans to long-term starvation and subsequent feeding. *Comparative Biochemistry and Physiology* 118, 1277-1283.
- HERVANT F., RENAULT D. (2002):** Long-term fasting and realimentation in hypogean and epigeal isopods: a proposed adaptive strategy for groundwater organisms. *Journal of Experimental Biology* 205, 2079-2087.
- HEYWOOD V. H., et WATSON R T. (Eds.) (1995):** *Global biodiversity assessment*. University Press, Cambridge. History, 37: 2885-2907.
- HOBBS III, H. H. (1994):** Biogeography of subterranean decapods in North and Central America and the Caribbean region (Caridea, Astacidea, Brachyura). *Hydrobiologia*, 287(1): 95- 104.
- HOBBS III, H. H. (2000):** Crustacea. In: Wilkens H. Culver D. C. and Humphreys W. F. (Eds.)
- HOBBS III H. H. (2004a):** Crustacea. In: *Encyclopedia of Caves and Karst Science*, Gunn J.
- HOLSINGER J.R. (1972):** The freshwater amphipod crustaceans (Gammaridae) of North America. *Biota of freshwater ecosystems, Identification. Manual U. S. Environmental Agency* 5 : 1-89.
- HOLSINGER J.R. (1986):** Zoogeographic patterns of North American subterranean amphipod crustaceans. In: R.H. Gore and K.L. Heck (Eds.), *Crustacean Biogeography*. Crustacean 3 : 85-106
- HOLSINGER J. R. (1993) :** Biodiversity of subterranean amphipod crustaceans: global patterns and zoogeographic implications. *Journal of Natural History* 27: 821-835.
- HOLSINGER J.R. (1994):** Pattern and process in the biogeography of subterranean amphipod crustaceans. In D.C. Culver and J.R. Holsinger (Eds.), *Biogeography of Subterranean Crustaceans : the effects of different scales*. *Hydrobiologia* 287 (1) : 131-145.

- HOLSINGER J.R. (2000):** Ecological derivation, colonization, and speciation. In : H. Wilkens, D.C. Culver, & W.F. Humphreys, (Eds.), *Ecosystems of the World 30 : Subterranean Ecosystems*. Elsevier. Amsterdam, New York, 399-415.
- HUMPHREYS W. F. (2004):** Diversity patterns in Australia. In: *Encyclopedia of Caves*, Culver D. C. et White W. B. (Eds.), Elsevier Academic Press, 183-195.
- HUMPHREYS, W.F. (2008):** Rising from download under: developments in subterranean biodiversity in Australia from a groundwater fauna perspective. *Invert. Systematics*, **22** (2), 85-101.
- 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). Thèse de 3ème Cycle, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, 275p.
- ISSARTEL J., HERVANT F., VOITURON Y., RENAULT D., VERNON P. (2005):** Behavioural, ventilatory and respiratory responses of epigean and hypogean crustaceans to different temperatures. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A, Molecular & Integrative Physiology* 141, 1-7.
- JANSSENS DE BSTHOVEN L., GERHARDT A. ET SOARES A.M.V.M. (2005):** Chironomidae larvae as bioindicators of an acid mine drainage in Portugal. *Hydrobiology*, 532, 181-191.
- 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., ET DECU V. (EDS.) (1994)** *Encyclopaedia Biospeologica*. Société de Biospéologie, Moulis – Bucarest, n° 1, p. 1-834
- JUBERTHIE C., ET DECU V. (EDS.) (1998) :** *Encyclopaedia Biospeologica*. Société de Biospéologie, Moulis – Bucarest, n° 2, p. 835-1373.
- 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. (EDS.) (2001) :** *Encyclopaedia Biospeologica*. Société de Biospéologie, Moulis – Bucarest, n° 3, p. 1374-2294.
- KARAMAN G. et PESCE G. (1980):** Research in Africa by the Zoological Institute of l'Aquila, Italy. V- On three subterranean Amphipods from North-Africa (Amphipoda Gammaridae). *Bull. Zool. Mus. Amsterdam*, 7, 20: 197-207.
- KHALDOUN L, MERZOUG D et BOUTIN C ., (2013) :** faune aquatique et qualité de l'eau des puits et sources de la région de kenchela (Aurès, Algérie nord-orientale) *Bull. Soc. zool. Fr.*, 2013, 138(1-4) : 273-292.
- KHALDOUN L.2015:**Recherches phréatobiologiques dans la région de Khenchela (Sud Est Algérien) :Qualité de l'eau des puits , Biodiversité ,écologie et biogéographie des espèces stygobies. Thèse doctorat pp101.

- KHOLTEI, S., A. BOUZIDI, M. BONIN, M. FEKHAOUI, R. ANANE, K. SBAL, E. CREPPY, (2003) :** Contamination des eaux souterraines de la plaine de Berrechid dans la région de la Chaouia au Maroc par les métaux lourds dans les eaux usées : effets de la pluviométrie. *Vecteur Environ*, 36: 68-80.
- KOENEMANN S. & HOLSINGER J.R. (2001):**Systematics of the North American subterranean amphipod genus *Bactrurus* (Crangonyctidae). *Beaufortia* (Bull. Zool. Mus. Univ. Amsterdam) 51 (1) : 1-56.
- LECLERC H., GAVIN F. et OGER C., (1981) :** Les indicateurs bactériens dans le contrôle bactériologique de l'eau, exigences et limites. *J. F. d'Hydrobiologie*, 12, 2, 35: 213-228.
- LEGENDRE L. & LEGENDRE P., 1979.**Ecologie numérique. Le traitement multiple des données écologiques. 2èmeEdition Masson, Paris : 206 p.
- 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 biogéographie 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.
- LOUNACI A., BROSSE S., AIT MOULOUD S., LOUNACI-DAOUDI D. & MEBARKI M. (2000a) :** Current knowledge of benthic invertebrate diversity in an Algerian stream : a species check-list of the Sebaou River bassin (Tizi-Ouzou). *Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse*, 136 : 43-55.
- LOURIE S. A., ET VINCENT A.C.J. (2004):** Using biogeography to help set priorities in marine conservation. *Conservation Biology* 18(4): 1004-1020.
- LYAKHLOUFI S., OUAZZANI N., ER ROUAANE S., HASSANI L., et EL HEBIL A., (1999) :** Impact de l'utilisation des eaux usées urbaines brutes sur la qualité de l'eau d'une nappe alluviale près de Marrakech (Maroc). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 135: 59-70.
- MAGNIEZ G. (1996):** Histoire des Stenasellidae Ibéro-aquitains (Crustacea, Isopoda, Asellota, Aselloidea). *Mémoires de Biospéléologie* 23: 173-179.
- MAGNIEZ G. (1997) :** Facteurs intrinsèques et extrinsèques de la distribution actuelle des Crustacés Isopodes des eaux souterraines d'Europe. *Proceedings of the 12th International Congress of Speleology, Switzerland* 3: 341-344.
- MAGNIEZ G. (1979):** *Metastenasellus powelli* sp.n. A new stenasellid Isopod Crustacean from littoral groundwaters of Southern Nigeria. *Crustaceana* 37 (3): 265-276
- MAGNIEZ G. (1981):** Biogeographical and paleobiogeographical problems in Stenasellids (Crustacea Isopoda Asellota of underground waters). *International Journal of Speleology* 11: 71-81.

- MAGUIRE B. JR. (1964):** Crustacea : a primitive Mediterranean group also occurs in North America. *Science* 146: 931-932.
- MAHI A. (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., GIBERT J. et LAURENT R., 1997a.** L'aquifère de la source du lez : un réservoir d'eau et de la biodiversité. *Karstologia*, 30: 49-54.
- MALARD F. & HERVANT F (1999):** Oxygen supply and the adaptations of animals in ground water. *Freshwater Biology* 41:1-30.
- MALARD F., DOLE-OLIVIER M.-J., MATHIEU J. & STOCH F.. 2002.** - *Sampling Manual for the Assessment of Regional Groundwater Biodiversity*, 71 pp, 41 figs, 13 tables, 6 Appendixes & 23 photos. Available at: <http://www.pascalis-project.com> (last accessed on 05 February 2009
- MALMQVIST B. ET HOFFSTEN P.O. (1999):** Influence of drainage from old mine deposits on benthic macroinvertebrate communities in central Swedish streams. *Water research*,33, 2415-2423.
- MARGAT J. (1994) :** Les ressources en eau. *Manuels & Méthodes*, Editions du BRGM n°28, 148 pp.
- MARGULES C. R., ET PRESSEY R. L. (2000) :** Systematic conservation planning. *Nature* 405: 243-253.
- MARGULES C. R., PRESSEY R. L. ET WILLIAMS, P. H. (2002):** Representing biodiversity: data and procedures for identifying priority areas for conservation. *Journal of Biosciences Suppl.* 27(4): 309-326.
- MARMONIER P., VERVIER P., GIBERT J. et DOLE-OLIVER M.J. (1993):** Biodiversity in ground waters. *Trends in Ecology and Evolution*, 8: 392-395.
- MATOČEC S. G., BAKRAN-PETRICIOLI T., BEDEK J., BUKOVEC D., BUZJAK S., FRANIČEVIĆ M., JALŽIĆ B., KEROVEC M., KLETEČKI E., KRALJ J., KRUŽIĆ P., KUČINIĆ M ; KUHTA M., MATOČEC N., OZIMEC R., TONCI R., ŠTAMOL V., TERNJEJ I. ET TVRTKOVIČ, N. 2002.** An overview of the cave and interstitial biota of Croatia. *Natura Croatica* 11: 1-112.
- MATTHESS G. 1994)** Geol. Mijnbouw, 53, 194. -In Forstner UETWittmann GTW Metal pollution in *the Aquatic Environment*, (1994) 355-359.
- MCDOWALL R. M. (2004):** What biogeography is: a place for process? *Journal of Biogeography* 31: 345-351.
- MERZOUG D., KHIARI A., AÏT BOUGHROUS A. & BOUTIN, C. (2010) :** Faune aquatique et qualité de l'eau des puits et sources de la région d'Oum-El-Bouaghi (Nord-Est Algérien). *Hydroécol. Appl.*, 17, 77-97.

- MESSOULI M. (1984)** : Recherche de la faune aquatique endogée des sources du Haouz. Mém. de C.E.A. Fac. Sci. Marrakech, 46p.
Milano. 72 (1-2) : 63-69.
- MESSOULI M. (1988)** : Les Crustacés Amphipodes souterrains du Groupe Metacrangonyx : Répartition, systématique et phylogénie. Thèse 3ème cycle, Université Cadi Ayyad, Fac.
- MONOD TH. (1924)** : Sur un type nouveau de Malacostracé, *Thermosbaena mirabilis* nov. gen., n. sp. *Bull. Soc. zool. France*, **49**, 58-68.
- MONOD, TH. (1927)**.- *Thermosbaena mirabilis* Monod. Remarques sur sa morphologie et sa position systématique. *Faune Col. Françaises*, **1**, 29-51
- MONOD, TH. (1930)** : Contribution à l'étude des « Cirolanidae ». *Ann. Sc. nat. zool.*, **10** (13), 129-183.
- MORETTE.A. (1964)** : Précis d'hydrobiologie. *Masson, Paris, 532p.*
Museo. civ. Stor. Nat. e Acquario civ. Milano, 72, 1-2: 63-98.
- MYERS N., MITTERMEIER R.A., MITTERMEIER C. G., DA FONSECA, G. A. B. ET KENT, J. 2000.** Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- MYERS N. (1988.)**: Threatened Biotas: Hot Spots in Tropical Forests. *The Environmentalist* 8(3):187-208.
- MYERS N.(1990)**:The Biodiversity Challenge: Expanded Hot-Spots Analysis. *The Environmentalist* 10(4): 243-256.
- MYERS N. (2003)**: Biodiversity hotspots revisited. *Bioscience* 53(10): 916-917.
- NASSALI, H., BEN BOUIH H , SRHIRI A., DHAHBI M. (2005)** : Influence des rejets des eaux usées sur la composition des eaux de surface et des sédiments superficiels du lac Merja Fourate au Maroc. *Afrique Science*, 01(1): 145–165
- NICHOLAS B.G. (1960):.** Checklist of macroscopic troglobitic organisms of the United States. *American Midland Naturalist*, 64: 123-160.
- NISBET M. et VERNEAUX J., (1970)** : Composition chimique des eaux courantes. Discussion et propositions de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Annl. Limnol.* 6 (2) : 161 – 190.
- NOTENBOOM, J. (1991)**: Marine regressions and the evolution of groundwater dwelling amphipods (Crustacea). *Journal of Biogeography* 18: 437-454.
- NOURRISSON, M. (1956)** : Étude morphologique comparative et critique des Typhlocirolana (Crustacés Isopodes Cirolanides) du Maroc et de l'Algérie. *Bull. Soc. Sc. Nat. Phys. Maroc*, 36, 103-124.

- OGA M.S. , LASM T., KOFFI YAO T., SORO N., SALEY BACHIR M., DONGO K. & GNAMBA (F.). 2009**_Caractérisation chimique des eaux des aquifères de fracture : Cas de la région de Tiassale en Côte d'Ivoire.*Eur. J. Scient. Res.*, 31 (1) : 72-87.
- OMS. (1984)**: World Health Organization Guidelines for Drinking Water Quality. Geneva, Switzerland V: I.
- OMS. (1993)**: World Health Organization, Guidelines for Drinking Water Quality. Geneva, Switzerland.
- OMS. (1996)**: World Health Organization, Health criteria and other supporting information. (2nd edition), Guidelines for drinking water quality. Geneva, Switzerland, V: II.
- 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.
- PARAN F., MALARD (F.), MATHIEU J., LAFONT M., GALASSI (D.M.P.) & MARMONIER P. 2005.** : Distribution of groundwater invertebrates along an environmental gradient in a shallow water-table aquifer. Pp 99-105 in J. Gibert (ed.) : *Proceedings of an International Symposium on World Subterranean Biodiversity*, University of Lyon, Villeurbanne, France, 8-10 December 2004
- PASCALIS. (2006)**: Protocols for the ASsessment and Conservation of Aquatic Life In the Subsurface
- 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. (1985)**: The groundwater fauna of Italy: a synthesis. *Stygologia* 1(2): 129-159.
- PESCE GL., TETE P. & DE SIMONE M.(1981)** : Ricerche in Africa dell' Istitut di Zoologia de l'Aquila. VI. Ricerche, Magreb (Tunisia, Algeria, Morroco) e, dell Egitto. *Natura. Soc. Ital. Sci. Nat., Museo. Civ. Stor. Nat. E Acquar. Civ. Milano.* 72 (1-2) : 63-69
- PESCE, G.L. ET TETE, P., 1978.** Un nouveau Microparasellide des eaux souterraines phréatiques de l'Italie: *Microcharon arganoin.sp.* (Crustacea: Isopoda).- *Int. J. Speleol.* 9: 115-123.
- PICARD J.Y. (1962)** : Contribution à la connaissance de la faune psammique de Lorraine. *V et Milieu*, n° 13, p. 471-505.
- PLESA C. (1985)** : Microglossaire de stygologie. *Theoretical and Applied Karstology*, n°2: 25-45.
- POOLE N.J. et HOBSON P.N., (1979)**: Water pollution and its prevention. *Microbial. Ecology*.
- RACOVITZA E.G. (1912)** : Cirolanides (1^{ère} série). *Arch. Zool. Exp. et Gen.* 10 (5) : 203-205.
- RAMADE F. 2003.** Elément d'écologie: Ecologie fondamentale. 3ème edition. Dunod. Paris: 190p.
- RÉFEA. (2003)** : Réseau francophone sur l'eau et l'assainissement. www.oie.fr/ReFEZ/

- REJSEK F. (2002).** Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques. Série Sciences et technique de l'environnement. 360 p.
- REYGROBELLET (J.L.), DOLE (M.J.). (1982) :** Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. XVIII : le milieu interstitiel de la "Ldne du Grand Gravier". Premiers résultats hydrologiques et faunistiques.
- RICHARDSON D. M. 2005.** Diversity, distributions and conservation biogeography. *Diversity and Distributions* 11: 1-2.
- RICKLEFS R. E. (2004):** A comprehensive framework for global patterns in biodiversity. *Ecology Letters*, 7:1-15
- ROBERTS C. M., MCCLEAN C.J., VERON J.E., HAWKINS J.P., ALLEN G.R., MCALLISTER D.E., MITTERMEIER C.G., SCHUELER F.W., SPALDING M., WELLS F., VYNNE C. ET WERNER T.B. (2002):** Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs. *Science* 295: 1280-1284.
- RODIER J. 1984 :** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer. 7^{ème} édition, Dunod, pp: 1365.
- RODIER, J., LEGUBE B., MERLET N. 2009 :** L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod, 9e éd., p: 1600.
- RODRIGUES A. S. L., ANDELAMNA S. J., BAKARR M. I., BOITANI L., BROOKS T. M., COWLING R. M., FISHPOOL L. D. C., DA FONSECA G. A. B., GASTON K. J., HOFFMANN M., LONG J. S., MARQUET P. A., PILGRIM J. D., PRESSEY R. L., SCHIPPER J., SECHREST W., STUART S. N., UNDERHILL L. G., WALLER R. W., WATTS M. E. J. ET YAN X. (2004):** Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. *Nature* 428: 640-643.
- ROUCH R. (1970) :** Le système karstique du Baget. I. Le phénomène d'hémorragie au niveau de l'exutoire principal. *Annales de Spéléologie*, n° 25, p. 667-709.
- 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.
- 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
- SKET B. (1994):** Distribution patterns of some subterranean Crustacea in the territory of the former Yugoslavia. *Hydrobiologia* 287: 65-75.
- SKET B. (1999a) :** High biodiversity in hypogean waters and its endangerment – The situation. in Slovenia, the Dinaric karsts, and Europe. *Crustaceana* 72(8): 767-780.
- SKET B. (1999b):** The nature of biodiversity in hypogean waters and how it is endangered. *Biodiversity and Conservation*, n° 8, p. 1319-1338.
- SKET B. (2004a) :** Biodiversity in hypogean waters. In: *Encyclopedia of Caves and Karst Science*, Gunn J. (Ed.), Taylor & Francis Book, 141-142.

- SKET B. (2004b):** Dinaric karst, diversity in. In: Encyclopedia of Caves, Culver D. C. et White W. B. (Eds.), Elsevier Academic Press, 158-165.
- SOBERON, J. M., LLORENTE, J. B. ET ONATE, L. 2000.** The use of specimen-label databases for conservation purposes: an example using Mexican Papilionid and Pierid butterflies. *Biodiversity and Conservation* 9: 1441-1466.
- SOLDNER M., STEPHEN I., RAMOS L., ANGUS R., CLAIRE WELLS N., GROSSO A. ET CRANE M. (2004).** Relationship between macroinvertebrate fauna and environmental variables in small streams of the Dominican Republic. *Water Research*. 38, 863-874.
- STEWART P.M., BUTCHER J.T., SWINFORD T.O. (2000).** Landuse, habitat, and water quality effects on macroinvertebrate communities in three watersheds of Lake Michigan associated marsh system. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 3, 179-189.
- STOCH F. (1995):** The ecological and historical determinants of Crustacean diversity in groundwater's, or: why are there so many species? *Mémoires de Biospéologie*, n° 22, p.
- STOCH F. (2001):** Mapping subterranean biodiversity: structure of the database, mapping software (CKMAP), and a report of status for Italy. Proceedings of an international workshop held, March 18 through 20, 2001, Laboratoire Souterrain du CNRS, Moulis, Ariège, France, p. 29-35
- STOCH 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 SasowskI. 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.
- STOCK J. H. (1980) :**Regression model evolution as exemplified by the genus *Pseudoniphargus*
- STRAYER D.L. (1994)** Limits to biological distributions in groundwater. In: *Groundwater Ecology*. Gibert J., Danielopol D.L., Stanford J.A. (eds) San Diego, CA: Academic Press, pp. 287-310..
- TACHET M., BOURNAUD M., RICHOUX P et USSEGLIO-POLATERA PH. (2000) :** Invertébrés des eaux douces : Systématique, Ecologie, Biologie. Ed CNRS-Paris : 588p.
- TALEB A. (2004) :** Etude du fonctionnement de l'écosystème oued. Rôle du milieu hyporhéique dans l'évolution de la qualité des eaux en aval du barrage de Hammam Boughrara sur la Tafna. Thèse. Doc. Univ. Tlemcen. : 104 p.
- TALEB A., BELAIDI N. et GAGNEUR J. (2004):** Water quality before and after dam building on a heavily polluted river in semi-arid Algeria. *River Research and Applications*, 20: 1-14.
- TALEB A., BELAIDI N J., SANCHEZ PEREZ M., VERVIER P., SAUVAGE S., et GAGNEUR J. (2008) :** The role of the hyporheic zone in the nitrogen dynamics within a semi-arid gravel bed stream located downstream of a heavily polluted reservoir (Tafna wadi, Algeria). *River Research and Applications* 24: 183-196.

- THIENEMANN A. (1926)** : Die Binnengewässer Mitteleuropa. In : *Die BinnengeWässer. Einzeldarstellung aus der Limnologie und ihren Nachbargebieten*, n° 1, 255 p.
- TRABELSI R., ZAÏRI M., SMIDA H. et BEN DHIA H., (2005)** : Salinisation des nappes côtières: cas de la nappe nord du Sahel de Sfax, Tunisie. *C. R. Geosciences* 337: 515– 524. Université Lyon 1, 161 p.
- 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.
- VANDEL A. (1964)** : Biospéologie : la biologie des animaux cavernicoles. *Gauthier-villars*, Paris, 612p.
- VIRE, A. (1904B)** : La faune souterraine du puits de Padirac. *Comptes Rendus de l’Académie des Sciences* 138: 826-829.
- XLSTAT, 2009** : Logiciel d'analyse de données et de statistiques pour Microsoft Excel.
- WHITTAKER R. J., ARAUJO M. B., JEPSON, P., LADLE R. J., WATSON J. E. M., ET WILLIS K.J. (2005)**: Conservation biogeography: assessment and prospect. *Diversity and Distributions* 11: 3-23.
- WILKENS H., CULVER D.C. & HUMPHREYS W.F. (EDS.) (2000)**: *Ecosystems of the World* 30 : Subterranean ecosystems. Elsevier, New York, 791 pp
- Williams D.D & Hynes H.B.N. (1974)**: The occurrence of benthos deep in the substratum of a stream. *Freshwat. Biol.*, 4: 233-256.
- YACOUBI-KHEBIZA M. (1996)**: Biocénoses aquatiques interstitielles des vallées du Haut-Atlas de Marrakech: Microdistribution, Dynamique de répartition, Écologie et Biogéographie. Thèse Doctorat d’État ès Sciences, Université Cadi Ayyad, Fac. Sci., Marrakech, 374p.
- 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 3ème cycle, Université Cadi Ayad, Fac. Sci. Semlalia Marrakech. 246p.
- YACOUBI SOUSSANE M. (1999)** : Rapport sur les ressources en eau au Maroc : bilan, perspectives et plan d'action. Rapport annuel Institut Méditerranéen de L'eau
- YASRI N. (2009)**: Diversité, écologie et biogeography des macroinvertébrés de quelques affluents du Mazafran. Mémoire de Magister, USTHB, 96p.
- ZEBAZE-TOGOUET S.H., BOUTIN C., NJINE T., KEMKA K., NOLA M. & FOTO MENBOHAN S. (2009)** : First data on the groundwater quality and aquatic fauna of some wells and springs from Yaoundé (Cameroun). *Eur. Journ. Water Quality*, **40**, 51-74.
- ZERGUINE K., SAMRAOUI B. & ROSSARO B. (2009)**: A survery of chironomids from seasonal pounds of Numidie, Northeas tern Algeria. *bioll. Zool. Agr. Bachic. Ser. II*, 41 (3): 167 – 174.

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

RÉSUMÉ

La biodiversité et la qualité des eaux souterraines ont été étudiées comparativement dans les hautes plaines de l'Est Algérien. Des analyses physico-chimiques et biologiques ont été réalisées sur l'eau d'une vingt cinq de stations comprenant des puits, des sources dans trois sous bassin versant dans la région d'Oum El Bouaghi, il s'agit (Garaât Tarf, Ank Djamel et Oued Merzoug).

Du point de vue biologique, les eaux de la nappe de la région d'étude présentent une richesse faunistique relativement élevée dans les puits bien protégés et situés loin des sources de pollution. Le peuplement est alors dominé par les Amphipodes, les oligochètes et les Gastéropodes souterrains. En revanche dans les puits proches des sources de pollution et peu protégés le peuplement est dominé par des espèces d'origine épigée, principalement des larves d'Insectes. L'analyse simultanée de la qualité de l'eau et de la biodiversité montre que cette dernière diminue dans le cas d'une pollution locale des puits ou de la nappe phréatique; c'est la stygocénose, ensemble des espèces souterraines, qui se réduit en premier et disparaît complètement en cas de pollution importante. L'examen de la faune de ces puits permet donc de se faire une première idée de la qualité globale de l'eau et de déceler les pollutions importantes éventuelles.

Sur le plan physico-chimique, les eaux des puits de la région de sous bassin versant de Garaât Tarf sont relativement minérales par rapport au sous bassin versant (Ank Djamel et Oued Merzoug). Cette minéralisation est due à la nature géologique des terrains traversés.

Les eaux souterraines se trouvent sur une influence de la lithologie de la région, dont, il résulte une composition ionique bien particulière. Cette influence définit par une minéralisation, varie entre 7160 $\mu\text{s/cm}$ et 254 $\mu\text{s/cm}$. Les Chlorures s'avèrent le plus contributifs à cette minéralisation. De part la grande solubilité du carbonate et du calcium par rapport au magnésium. Les quatre nutrites étudiés (orthophosphates, nitrites, nitrates et ammonium) montrent que certaines stations révèlent une pollution légère, d'autre en revanche montrent une pollution sérieuse le cas de puits P19.

Mots clés : Oum El Bouaghi, biodiversité, faune, stygobie, qualité des eaux souterraines.

ABSTRACT

Biodiversity and groundwater quality were studied comparatively in the high plains of eastern Algeria. Physico-chemical and biological analyzes were carried out on water from a twenty five stations including wells, springs into three sub watershed in the area of Umm El Bouaghi, it is (Garaat Tarf, Ank Djamel and Oued Merzoug).

From the biological point of view, the waters of the sheet of the study area have relatively high faunal wealth in the well-protected and well located far from sources of pollution. The settlement was then dominated by amphipods, oligochaetes and underground gastropods. However in nearby wells from pollution sources and poorly protected settlement is dominated by native species of aboveground, mainly larvae of insects. The simultaneous analysis of the water quality and biodiversity shows that it decreases in the case of a local contamination of the well or the water table; it is the stygocénose, all underground species, which first reduces and disappears completely in the event of significant pollution. The review of the fauna of these wells allows to get a first idea of the overall water quality and detect any significant pollution

On the physico-chemical level, water wells of the Garaat Tarf sub watershed region are relatively mineral relative to the sub watershed (Ank Djamel and Oued Merzoug). This mineralization is due to the geological nature of the terrain traversed. Groundwater can be found on the influence of the lithology of the region, it follows a very specific ionic composition. This influences defined by mineralization varies between $7160\mu\text{s} / \text{cm}$ and $254 \mu\text{s} / \text{cm}$. Chlorides prove most contributing to this mineralization. Due to the high solubility of the carbonate and calcium to magnesium. All four nutrients (orthophosphates, nitrites, nitrates and ammonium) show that some stations show a slight pollution, on the other hand show in a serious pollution if P19 Wells.

Key words: Oum El Bouaghi, biodiversity, wildlife, stygobie, groundwater quality.

ملخص

الغاية من الأ طروحة هي دراسة بالمقارنة بين التنوع البيولوجي و جودة المياه الجوفية في السهول العليا القسنطينية. لاجل هذا قمنا بالتحاليل البيولوجية و الفيزيوكيميائية على خمس وعشرون محطة تحتوي على اثنان و عشرون بئرا و ثلاثة منابع موزعة على ثلاث مناطق تحت حوض قرعة الطارف , عنق الجمل و وادي مرزوق في منطقة ام البواقي.

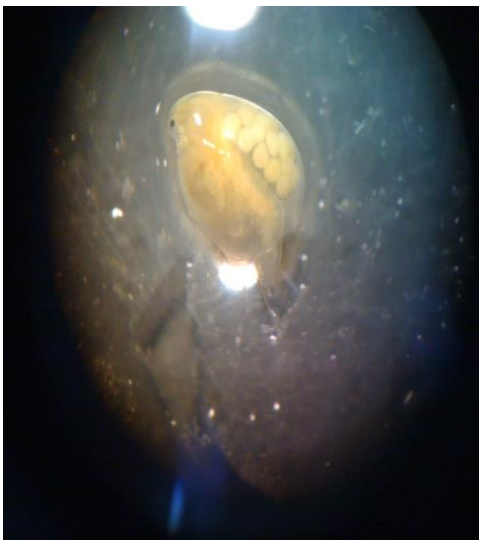
من الناحية البيولوجية فإن مياه المحتوى الجوفي لمنطقة الدراسة تبدي ثراء حيوانيا مرتفع نسبيا في الآبار المحمية جيدا والمتواجدة بعيدا عن مصادر التلوث، وبالتالي فإن اعتماد هذه المناطق تهيمن عليه مزدوجات الأرجل، الديدان الحلقية ومعوينات الأرجل التي تعيش تحت سطح الأرض. وفي المقابل نجد أن الاعتماد في الآبار القريبة من مصادر التلوث وقليلة الحماية، تهيمن عليه أنواع مصدرها فوق سطح الأرض تتمثل أساسا في يرقات الحشرات.

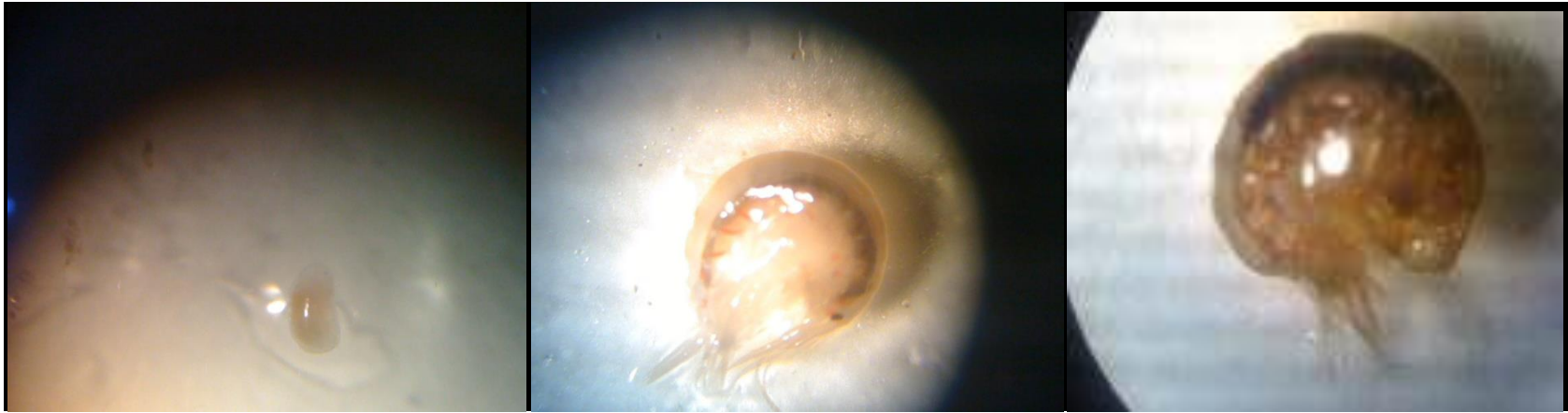
التحليل المتزامن لنوعية الماء والتنوع الحيوي يبين أن هذا الأخير يتناقص في حالة تلوث موضعي للآبار أو للمحتوى الجوفي المائي، وهي حالة مجتمعات الأحياء المائية الجوفية والتي تتناقص في بداية الأمر ثم تختفي كليا في وجود تلوث معتبر. اختبار المجموع الحيواني لهذه الآبار سمح بإعطاء فكرة أولية عن النوعية العامة للماء والكشف عن تلوثات معتبرة محتملة.

من الناحية الفيزيوكيميائية فإن مياه الآبار الموجودة في منطقة تحت حوض قرعة الطارف هي مياه معدنية نسبيا مقارنة بمياه منطقة تحت حوض عنق جمال وواد مرزوق. هذا التمدن أو الخاصية المعدنية ناتجة عن الطبيعة الجيولوجية للأراضي التي تعبرها هذه المياه. المياه الجوفية خاضعة لتأثير الخصائص الصخرية للمنطقة، أين ينتج عنها تركيبة أيونية متميزة. هذا التأثير يظهر بشكل تمدن يختلف بين $254 \mu\text{s/cm}$ و $7160 \mu\text{s/cm}$. الكلوريدات تظهر الأكبر مساهمة في هذا التمدن. وبالنظر إلى خاصية الذوبانية العالية للكربونات والكالسيوم بالنسبة للمغنيزيوم، فإن المغذيات الأربعة المدروسة (الأورثوفوسفات، النتريت، النترات والأمونيوم) تبين أن بعض المحطات بها تلوث طفيف. بينما البعض الآخر بها تلوث معتبر كحالة البئر P19.

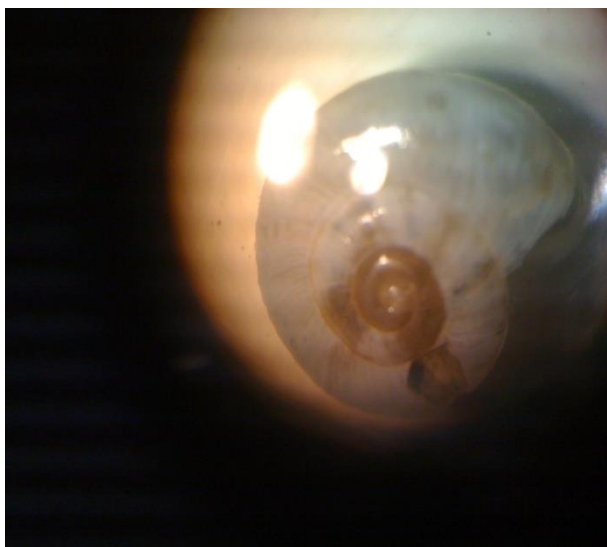
الكلمات المفتاحية: التنوع الحيوي، المجموع الحيواني، أحياء مائية جوفية، نوعية المياه الجوفية، أم البواقي.

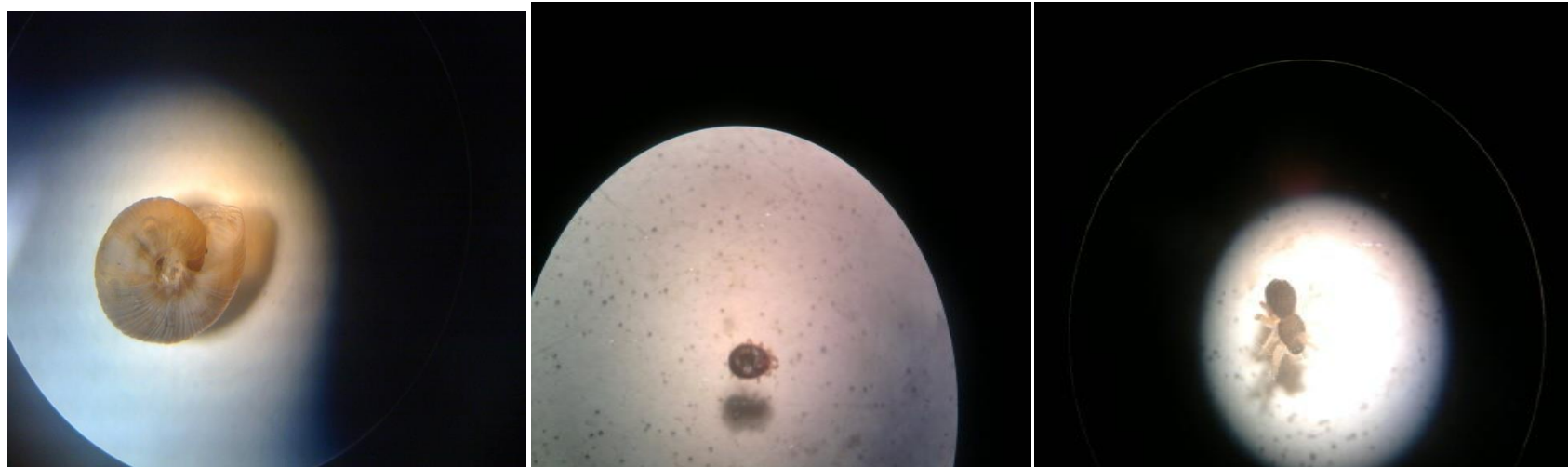
Annexe 1: Photos des quelques espèces récoltées













Annexe2 : Photos des puits et des sources étudiés





S1



S2



S3



P7



P8



P8



P9

