

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques de l'Environnement
Filière : Sciences Biologiques
Option : Sciences Naturelles de l'Environnement



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Contribution à l'étude des paramètres
physico-chimique et bactériologique des
eaux des 04 sources karstiques de la
région Nord-est de Bejaia-Algérie**

Présenté par :

BENKHETTAL Mahrez **CHERFI Amina**

Soutenu le : **17 Juin 2017**

Devant le jury composé de :

	Grade	
Mr: SIDI H.	MCA	Président
Mr. KHEMOUDJ K.	MCB	Examineur
Mr BENHAMICHE N.	MCA	Encadreur
Mr : KHEMTECHE S.	Chef de laboratoire	Invité
Mr : SAOU H.	MCB	Invité

Année universitaire : 2016 / 2017

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Monsieur BENHAMICHE N, pour nous avoir accordé sa confiance en acceptant d'encadrer ce travail, pour son soutien, pour sa constante disponibilité, pour tous les conseils qu'il nous a promulgués et pour l'aide précieuse qu'il nous a fournie.

Nous vifs remerciements et nos respects les plus distingués vont à Monsieur SIDI H., pour avoir accepté de juger ce travail et de nous faire l'honneur de présider notre jury de mémoire.

Nous adressons nos sincères remerciements et nos profondes reconnaissances à monsieur KHEMOUDJ K., a bien voulu examiner ce travail et faire partie du jury de ce mémoire.

Nous remercions Mr KHEMTACHE S., le chef du laboratoire de l'ADE et toute l'équipe de laboratoire de l'Algérienne des Eaux unité de Bejaia de nous avoir donné la chance d'être avec eux dans une ambiance de travail et pour leur collaboration afin de réaliser la partie la plus importante de ce travail. Nous sommes conscients de la reconnaissance que nous devons à Mr SAOU H. qui a toujours répondu favorablement à toutes sollicitations, et pour son suivi durant la réalisation de ce travail.

Nous n'oublierons pas de présenter nos chaleureux remerciements à toute l'équipe du laboratoire d'écologie (bloc 12) pour leur encouragement.

Enfin, nos remerciements sont adressés à toutes les personnes que nous avons rencontrées à l'occasion de ce travail et qui ont beaucoup apporté au niveau scientifique. A travers ces lignes nous souhaiterons leur exprimer toute notre reconnaissance et nos remerciements pour nous avoir encouragées et aidées pendant ce travail de master.

Dédicaces

A mes très chers parents toujours présents pour me donner un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail tout mon amour et toute ma reconnaissance.

A mes chères sœurs et mes chers frères

A toute ma famille

A mes meilleurs amis

A tous ceux que je porte dans mon cœur

Je dédie ce mémoire

A tous les collègues SNE

Mahrez

Dédicaces

Je dédie ce travail de mémoire :

A mes parents pour leur amour et leur dévouement.

A mon fiancé, pour son encouragement.

A mes sœurs, pour leur aide.

A ma belle famille pour son soutien.

A ma chère grand mère, mes chère cousines Fatima et chahrazed pour leur aide et leur soutien.

A mon binôme pour m'avoir partagé ce mémoire.

A tout mes amis pour leur solidarité.

Amina

Sommaire

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
I. Introduction	1
Chapitre I : Etat de l'art sur les eaux et les aquifères karstiques	3
I.1. Généralités sur l'eau	3
I.1.1. Définition et intérêt de l'eau	3
I.1.2. Les différents types d'eau	3
I.1.3. Origine de l'eau	4
I.1.4. Cycle de l'eau	4
I.2. Généralités sur les aquifères karstiques	4
I.2.1. Le karst	4
I.2.1.1. Les conditions de la karstification	5
I.2.1.2. potentiel de karstification	5
I.2.1.3. Développement d'un réseau karstique	6
I.2.1.4. Structure du paysage karstique	6
I.2.1.5. les Zones principales du karst	7
I.2.1.6. Fonctionnement du système Karstique	8
I.2.1.7. Schéma fonctionnel et structural du système karstique	9
I.2.1.8. Classification des aquifères karstiques	10
I.2.1.9. Les type de karsts	11
I.2.2. Les sources karstiques	11
I.2.2.1. Exploitation des sources karstiques	12
I.2.2.2. Les pollutions des sources karstiques	13
I.2.2.3. Caractéristiques physico-chimique des eaux karstiques	13
I.2.2.3.1. les paramètres physiques	13
I.2.2.3.2. Les éléments traces métalliques	14
I.2.2.3.3. les paramètres électrochimiques	15
I.2.2.4. Indices de saturation	17
I.2.2.5. Bactériologie des eaux de sources naturelles	17
I.2.2.5.1. Les coliformes totaux (bactéries coliformes)	17
I.2.2.5.3. Les microorganismes revivifiables (germes totaux)	18
I.2.2.5.2. Les streptocoques fécaux ou entérocoques	18
I.2.2.6. La protection des ressources en eaux souterraines en Algérie	18

Chapitre II : Matériel et méthodes	20
II.1. Introduction	20
II.1.1. Situation géographique	21
II.1.1.2. Description de la région d'étude	21
II.1.2.3. Délimitation du Bassin versant d'oued Agrioun	21
II.2. Cadre Géologie	22
II.3. Climatologie	23
II.3.1. Température	23
II.3.2. Les précipitations	23
II.3.3. Synthèse des données climatiques	24
II.3.3.1. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен	24
II.3.3.2. Climagramme d'Emberger	25
II.4. Caractéristiques socio-économiques	25
II.4.1. Population	25
II.4.2. Agriculture	26
5. Présentation du lieu de stage algérienne des eaux unité de Bejaia	26
II.5.1. introduction	26
II.5.2. Historique	26
II.5.3. Les objectifs de l'ADE	27
II.6. Positionnement et localisation des sources	27
II.7. Choix des stations de prélèvement	28
II.8. Prélèvement et échantillonnage	28
II.9. Méthodes d'analyses	29
II.9.1. Les analyses physico-chimiques	29
II.9.1.1. Les paramètres physiques	29
II.9.1.2. Les paramètres chimiques	30
II.9.2. méthode hydro chimique	33
II.9.3. Analyse bactériologiques	34
Chapitre III : Résultats et discussion	37
III.1. Coordonnées géographique des sites de prélèvement	37
III.2. Localisation et caractéristiques des sources étudiées	37
III.3. Résultats des analyses physico-chimiques	38
III.4. Discussion des analyses physico-chimiques	40
III.4.1. Température	40
III.4.2. Le Potentiel d'hydrogène	41
III.4.3. Salinité	41

III.4.4. Conductivité électrique	42
III.4.5.Total des solides dessous (TDS)	43
III.4.6.La turbidité	44
III.4.7.Cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , k^+)	45
III.4.7.1.Calcium (Ca^{2+})	45
III.4.7.2.Magnésium (Mg^{2+})	45
III.4.7.3.Sodium (Na^+)	46
III.4.7.4.Potassium (K^+)	46
III.4.7.5.L'ammonium NH_4^+	47
III.4.8.Anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^{2-})	48
III.4.8.1.Chlorures (Cl^-)	48
III.4.8.2. Sulfates (SO_4^{2-})	48
III.4.8.3.Les bicarbonates (HCO_3^-)	49
III.4.8.4.Nitrate (NO_3^{2-})	49
III.4.8.5.Les nitrites (NO_2^-)	50
III.5. Discussion des éléments traces métalliques	50
III.6. Résultats des analyses bactériologiques	51
III.7.Discussion des analyses bactériologiques	51
III.8. Résultats d'analyses selon logiciel Diagramme (Simler, 2011)	52
III.8.1.Résultats des indices de saturation	52
III.8.2.Discussion des indices de saturation	53
III.8.3.Résultats des rapports caractéristiques	54
III.8.4.Discussion des rapports caractéristiques	54
III.8.5.La dureté	55
III.9. Analyse calco-carbonique	56
III.10. Détermination des faciès chimiques	57
Conclusion	60
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des abréviations

ADEUB - Algérienne des Eaux unité de Bejaia.

ASWB - annuaire statistique de la wilaya de Bejaia.

BEA - Bile esculine azoture.

µs/cm - micro-Siemens par centimètre.

Ca²⁺ - ions du Calcium.

Cd - cadmium.

Cl⁻ - ions du Chlorure.

CE - conductivité électrique.

Cu - cuivre.

ETM - éléments traces métalliques.

EDTA - acide éthylène diamine tétra acétique.

Fe²⁺ - ions du Fer.

FEPS - Fondation de l'Eau Potable Sure.

GPS - Global positioning System.

HCO₃⁻ - ions du Bicarbonates.

JORA - Journal Officiel de la République Algérienne.

K⁺ - ions du Potassium.

mg/l - milligramme par litre.

Mg²⁺ - ions du Magnésium.

Na⁺ - ions du Sodium.

NO₃⁻ - ions du Nitrates.

NH₄⁺ - ions du l'ammonium.

OFEFP - Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage.

OMS - organisation mondiale de la santé.

P – précipitation.

Pb – plomb.

PH - potentiel hydrogène.

PCO₂ - pression partielle en CO₂.

SAA - spectrométrie d'absorption atomique.

SAD - systèmes annexes au drainage.

SO₄⁻ - ions du Sulfates.

TGEA - Tryptone Glucose Extract Agar.

TH - titre hydrotimétrique.

TAC - titre alcalimétrique complet.

TDS - total des solides dissous.

T[°]_{Max} - température maximale.

T[°]_{Min} - température minimale.

T[°]_{Moy} - température moyenne.

Trb – turbidité.

Zn – Zinc.

Liste des tableaux

Tableau I - Solubilité de la calcite en fonction de la pression partielle en CO ₂ (Bakalowicz, 1986).	6
Tableau II - Températures moyennes mensuelles en degrés Celsius corrigées de la région d'étude pour la période (1978-2016).	23
Tableau III - La répartition des précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la station de Bejaia et notre région d'étude (1978-2016).	23
Tableau IV - Répartition de la population du bassin versant de l'Oued Agrioun par commune (ASWB. ,2012).	25
Tableau V - Occupation des sols (HA) par communes (ASWB.2012).	26
Tableau VI - Dates et heures de prélèvement de la 1 ^{ère} et 2 ^{ème} campagne.	28
Tableau VII - caractéristiques des stations de prélèvement.	37
Tableau VIII - Résultats des analyses physique et des ETM de la 1 ^{ère} campagne.	38
Tableau IX - Résultats des analyses électrochimiques de la 1 ^{ère} campagne.	39
Tableau X - Résultats des analyses physique et des ETM de la 2 ^{ème} campagne.	39
Tableau XI - Résultats des analyses électrochimiques de la 2 ^{ème} campagne.	40
Tableau XII - Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique (Rodier J., 1984).	43
Tableau XIII - Résultats des analyses bactériologiques de la 1 ^{ère} campagne.	51
Tableau XIV - Résultats des analyses bactériologiques de la 2 ^{ème} campagne	51
Tableau XV - Résultats des indices saturation de la 1 ^{ère} campagne.	52
Tableau XVI - Résultats du pH à saturation de la 1 ^{ère} campagne.	52
Tableau XVII - Résultats des indices saturation de la 2 ^{ème} campagne.	53
Tableau XVIII - Résultats du pH à saturation de la 2 ^{ème} campagne.	53
Tableau XIX - Résultats des rapports caractéristiques de la 1 ^{ère} campagne.	54
Tableau XX - Résultats des rapports caractéristiques de la 2 ^{ème} campagne.	54
Tableau XXI - Résultats de la pression partielle du CO ₂ (atm) et de la dureté en °F de la 1 ^{ère} campagne.	55
Tableau XXII - Résultats de la pression partielle du CO ₂ (atm) et de la dureté en °F de la 2 ^{ème} campagne.	55
Tableau XXIII - Qualité de l'eau en fonction de la dureté (Bremond R. et Vuichard R., 1973).	56
Tableau XXIV - Significations hydrogéologique de la pCO ₂ et du taux de saturation de l'eau (Bakalowicz, 2004)	56

Liste des figures

Figure 01 - Les cycles local et global de l'eau (Kravcik, 2007).	4
Figure 02 - paysage karstique (Mangin, 1975).	7
Figure 03 - Coupe synthétique d'un aquifère karstique (Mangin, 1975).	8
Figure 04 - Diagramme illustrant les composantes des systèmes karstiques (Monbaron, 2010).	9
Figure 05 - Les écoulements en milieux karstique (Charmoille, 2005)	9
Figure 06 - Schéma conceptuel de l'aquifère karstique (Mangin, 1975).	10
Figure 07 - Les types de systèmes karstiques - système unaire et binaire (Marsaud, 1997).	11
Figure 08 - Les sources rencontrées dans le karst (Monbaron, 2010).	12
Figure 09 - localisation de bassin versant de l'oued Agrioun	20
Figure 10 - Carte représente la situation géologique d'Oued Agrioun	22
Figure 11 - diagramme Ombrothermique Bagnouls et Gaussens de notre zone d'étude (Oued Agrioun) (1978-2016)	24
Figure 12 - Situation bioclimatique de la région d'étude sur climagramme d'Emberger.	25
Figure 13 - organigramme du siège de l'ADE unité de Bejaia	27
Figure 14 - GPS de marque Eltrex (GARMIN).	28
Figure 15 - multi paramètres de terrain (EXTECH Instrument EC 510).	29
Figure 16 - turbidimètre HACH 2100(laboratoire de l'ADE)	30
Figure 17 - Le spectromètre d'absorption atomique en flamme AA6501F / SHIMADZU - (Laboratoire Génie des procédés, Université de Bejaia)	33
Figure 18 - Interface de commande du logiciel DIAGRAMME	34
Figure 19 -Appareille filtration utilisé pour les analyses bactériologiques (ADEUB, 2016).	35
Figure 20 - présentation schématique de test de l'oxydase (ADEUB, 2016).	36
Figure 21 - Localisation géographique des sites de prélèvement.	38
Figure 22 - variation de la température de l'eau des sources étudiées.	41
Figure 23 - Variation de pH de l'eau des sources étudiées	41
Figure 24 - Variation de la salinité de l'eau des sources étudiées.	42
Figure 25 - Evolution de la conductivité de l'eau des sources étudiées.	43
Figure 26 - Variation de TDS de l'eau des sources étudiées.	44
Figure 27 - Variation de la turbidité de l'eau des sources étudiées.	44
Figure 28 - représentation graphique du Ca ²⁺ .	45

Figure 29 - représentation graphique du Mg^{2+} .	46
Figure 30 - représentation graphique du Na^+ .	46
Figure 31 - représentation graphique du K^+ .	47
Figure 32 - représentation graphique du NH_4^+ .	47
Figure 33 - représentation graphique du Cl^- .	48
Figure 34 - représentation graphique SO_4^{2-} .	48
Figure 35 - représentation graphique du HCO_3^- .	49
Figure 36 - représentation graphique du NO_3^- .	49
Figure 37 - représentation graphique du NO_2^- .	50
Figure 38 - Représentation des eaux des systèmes karstiques des sources étudiée sur le diagramme de Piper pour la 1 ^{er} campagne (mars) et la 2 ^{ème} campagne (mai) 2017	57
Figure 39 - Diagramme de Schoëller-Berkaloff des eaux des sources étudiées de la 1 ^{er} campagne (mars) et la 2 ^{ème} campagne (mai) 2017.	57
Figure 40 - Diagramme de Wilcox des eaux des sources étudiée de la 1 ^{er} campagne (mars) et la 2 ^{ème} campagne (mai) 2017.	58

Introduction

I. Introduction

Les eaux souterraines représentent une part importante du cycle de l'eau et participent de ce fait aux équilibres naturels. Elles constituent également une formidable ressource renouvelable, exploitée pour l'approvisionnement en eau potable, l'usage industriel et agricole (OFEFP, 2004). En outre, les eaux souterraines karstiques constituent la ressource principale pour l'alimentation en eau potable de la population mondiale (Goldscheider, 2002).

Dans certains pays européens, les eaux karstiques couvrent 50% des besoins en alimentation en eau potable (Goldscheider, 2002, in Bensaoula, 2007), alors que dans certaines régions elles sont les seules eaux de bonne qualité. Les roches carbonatées, avec une grande partie karstifiée, couvrent environ 7 à 12% de la surface des continents. Environ 25% de la population est alimentée en totalité ou en partie par les eaux souterraines karstiques (Ford et Williams, 1989, in Bensaoula, 2007).

En Algérie, cette ressource est largement suffisante en termes de quantité et de qualité; sa préservation est donc primordiale. Ce sont des formations qui s'étalent sur toute l'échelle géologique des temps les plus anciens, du carbonifère (dans la région de Bechar), du Trias (nombreux affleurements de gypse et de sel à travers l'Algérie), Jurassique et Crétacé (massifs côtiers oranais, nappes telliennes, domaine tlemcénien, néritique constantinois, Atlas saharien), Miocène post-nappe (Dj. Murdjadjo, vallée du Chellif). Les Monts de Bejaia au Nord-est algérien avec une superficie de 42000 km² jusqu'à la frontière Algéro-tunisienne jusqu'à 200 km au sud. Les formations carbonatées, généralement karstifiées affleurent sur une superficie de 7 200 km², soit un peu plus de 17% de la superficie totale (Bouroubi, 2009). Selon Bensaoula *et al.* 2007, le karst n'a pas encore divulgué tous ces secrets. Les quelques travaux réalisés concernent l'Ouest du pays, particulièrement les monts de Tlemcen et Mascara. Depuis les karsts bien arrosés des hautes montagnes de l'Atlas jusqu'aux affleurements peu karstifiés du désert du Sahara (Collignon 1991).

Dans la région de Bejaia les formations calcaires sont très abondantes. Selon la carte géologique de la wilaya, sur le côté Ouest du littoral, les régions de Toudja jusqu'à Beni k'sila, sont caractérisées par le crétaé inférieur marin. Dans la région Est de la wilaya, Tala Hamza, Barbacha, Kendira et leurs alentours sont dominés par le crétaé inférieur marin. Les autres localités, du même secteur, présentent une variété géologique. Le crétaé inférieur marin, le crétaé supérieur, le jurassique inférieur marin et peu de trias marin et lagunaire caractérisent les régions d'Aokas jusqu'à tamridjet et de Melbou et à l'extrême de Draa El Gaid. Les localités des rives de la Soummam : Sidi Aich, Ouzellaguen, Ighram et Timezrit jusqu'à Boujllil sont dominés par le crétaé inférieur marin avec la présence du jurassique inférieur marin et de trias marin et

lagunaire à Chelata et Amalou ainsi que du crétacé supérieur marin à Beni Djelil. Les eaux karstiques contribuent pour une large part au développement socio-économique de la population (Bensaoula, 2007). Ces ressources en eau potable, constituant un enjeu très important, sont très sensibles à la pollution.

Notre travail intitulé « contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux des 04 sources karstiques de la région nord-est de Bejaia » a pour but de caractériser les eaux de quelques sources karstiques de bassin versant de l'oued agrioun – Taskriout (Kefrida - source bleue), Souk El Tenine (Tarachoucht) et Tamridjet (Bzida).

Pour les besoins de cette étude nous avons, grâce à plusieurs campagnes de prélèvements, une en hautes eaux (Janvier – Février) et l'autre en basse eaux (Avril – Mai), collecté des échantillons d'eaux des sources. Ces échantillon ont fait l'objet de mesure, in situ pour les paramètres physiques (pH, Salinité, Conductivité électrique et température), d'analyses physicochimiques est au laboratoire afin de déterminer leur composition en éléments majeurs et éléments traces métalliques (ETM) et d'analyses bactériologiques pour vérifier leur potabilité. Les résultats obtenus permettront, d'une part, de caractériser ces eaux et d'autre part, révéler leurs particularités et leurs importances pour la région qui commencent à connaître un développement socio-économique et touristique.

Le présent travail comporte, en plus d'une introduction, trois chapitres :

- ✓ Le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique sur les systèmes karstiques. Il permettra de mieux comprendre le fonctionnement, la particularité et la vulnérabilité de ces systèmes.
- ✓ Le deuxième chapitre intitulé matériel et méthodes comporte un descriptif du site d'étude et une présentation des méthodes d'analyses utilisées pour l'obtention des résultats physico-chimiques et bactériologiques ;
- ✓ Le troisième et dernier chapitre contient les résultats et discussions ;
- ✓ Enfin le mémoire se termine par une conclusion et des recommandations.

CHAPITE I

*Etat de l'art sur les
eaux et les aquifères
Karstiques*

I.1. Généralités sur l'eau

I.1.1. Définition et intérêt de l'eau

L'eau est une matière très importante pour la survie des êtres vivants. C'est un composé incolore, inodore, insipide et liquide à température ordinaire (Hamoudi., 1999). L'eau est un corps composé résultant de la combinaison de deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène de formule H₂O. Elle bout à la température de 100°C. 1 cm³ à 4°C pèse sensiblement 1g (Haddad *et al.*, 2006).

Le corps humain contient principalement de l'eau puisqu'un adulte sain de 70 Kg présente une proportion de 45 litres. La teneur moyenne en eau décroît au cours de la vie de 97% chez le fœtus de 2 mois, elle tombe à 65% chez l'adulte et à 55% chez le vieillard. Le bilan hydrique quotidien comporte la comparaison entre la perte cutanée, pulmonaire, fécale et les entrées alimentaires. L'eau représente également le constituant le plus abondant dans la plupart de nos aliments à l'état naturel. D'autre part c'est un élément essentiel dans la vie humaine (Guiraud *et al.*, 1980).

I.1.2. Les différents types d'eau

a. Les eaux de pluie

Les eaux de pluie peuvent être considérées comme les eaux naturelles les plus pures. Elles renferment des particules, des poussières et des gaz dissous. Les eaux de pluie peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques.

b. L'eau de mer

Elle constitue la majeure partie des réserves d'eau du globe. Cependant à cause de sa forte salinité, on l'utilise rarement pour produire de l'eau potable. La mer aussi n'échappe pas à la pollution.

c. Les eaux de surface

Les eaux continentales de surface, des lacs et des cours d'eau sont alimentées par des eaux de pluie, de ruissellement et par les eaux souterraines resurgissant. Trop souvent, elles reçoivent des eaux usées ou fortement polluées.

d. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont souvent plus stable et de meilleure qualité que les eaux de surface. Certaines de ces eaux sont très riches en sels minéraux et renferment fréquemment du fer. Les eaux souterraines modèlent les terrains calcaires d'une façon bien particulière: les eaux de pluies, dont sont issues les eaux souterraines, sont naturellement acides et dissolvent le calcaire en circulant dans les fractures de la roche, créant tout un réseau de cavernes. Ces terrains calcaires sont appelés des terrains karstiques (du mot *karst*, terrains calcaires de Yougoslavie).

I.1.3. Origine de l'eau

L'eau utilisée pour les besoins humains a pour origine première l'eau de pluie. Cependant, la pluie qui tombe sur le sol se partage en diverses fractions suivant des proportions variables :

- ✓ une partie retourne dans l'atmosphère sous forme de vapeur par évaporation du sol ou transpiration des végétaux ;
- ✓ une autre partie ruisselle à la surface du sol et contribue à l'alimentation des ruisseaux et des rivières ;
- ✓ le reste, la plus faible fraction, pénètre dans le sol par infiltration et contribue à l'alimentation des nappes profondes des sources, et dans certaines conditions des rivières.

I.1.4. Cycle de l'eau

Le cycle global de l'eau, aussi appelé grand cycle de l'eau, consiste à des échanges d'eau perpétuels entre l'atmosphère, l'hydrosphère (la totalité des eaux de la planète : océans et mers, lacs et cours d'eau, eaux souterraines, glaces, vapeur d'eau) et la biosphère ;

Le cycle local de l'eau est une version à plus petite échelle du cycle global de l'eau. Cette fois-ci, les mécanismes d'évaporation et de précipitation dépendent directement des conditions environnementales de la région ou du bassin où ils se situent ;

Pour assurer la stabilité du cycle de l'eau et des microclimats, il faut maintenir la stabilité des précipitations et des processus d'infiltration et d'évaporation, notamment en milieu urbain et périurbain (Kravcik, 2007).

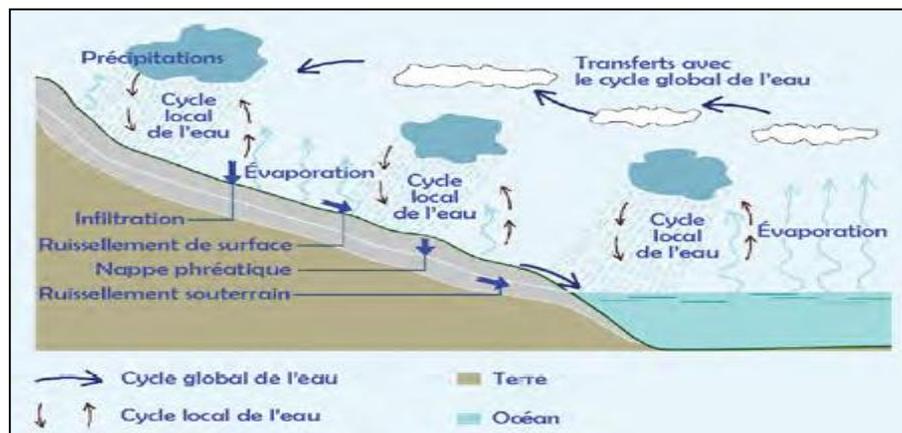


Figure 01 - Les cycles local et global de l'eau (Kravcik, 2007).

I.2. Généralités sur les aquifères karstiques

I.2.1. Le karst

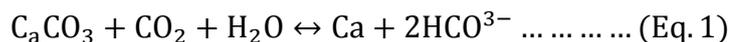
Le karst est un paysage résultant de processus particuliers d'érosion (la karstification). Ces processus sont commandés par la dissolution des roches carbonatées (calcaires et dolomies) constituant le sous-sol des régions concernées (Bakalowicz, 1999). C'est l'eau de pluie infiltrée dans ces roches qui assure cette dissolution. L'eau acquiert l'acidité nécessaire à la mise en

solution de la roche en se chargeant de gaz carbonique (CO₂) produit dans les sols par les végétaux et les colonies bactériennes. Le paysage de surface, constitué en général de dépressions fermées (appelées dolines, pour les petites, et poljés, pour les plaines d'inondation), est associé à un paysage souterrain, dont les grottes et les gouffres parcourables par l'homme font partie. Le karst est par conséquent un paysage original, créé par les écoulements d'eau souterraine. Le karst est donc également un aquifère : l'aquifère karstique.

I.2.1.1. Les conditions de la karstification

L'évolution des massifs calcaires forme les aquifères karstiques. C'est un processus particulier appelé : « la karstification ». Ce processus a pour effet de transformer une formation carbonatée à un aquifère karstique (Tassy, 2012). Il s'agit d'une érosion physico-chimique des formations carbonatées qui élargit les vides originels et établit progressivement une structure de drainage organisée ; Le karst est un système en constante interaction avec son environnement. Il résulte de multiples échanges d'énergies entre divers éléments internes (la texture de la roche, sa composition minéralogique), et externes la nature du fluide, le climat, la végétation et le temps de karstification (Delbart, 2013).

Les études effectuées sur la genèse du système karstique ont rapidement montré l'importance primordiale du gaz carbonique dans le processus de karstification (Bakalowicz, 1979). En effet, c'est le CO₂ dissous ou acide carbonique qui est à l'origine de la dissolution de la roche calcaire faisant intervenir pCO₂, CO₂ dissous, Ca²⁺, HCO₃⁻ et Mg²⁺ (Tab. I). D'après Charmoille, 2005, la réaction chimique de la karstification est la suivante :



I.2.1.2. potentiel de karstification

En reprenant les termes de Quinif, 1998 nous pouvons les citer comme suit (Guy.2008):

✓ **Une lithologie**

C'est-à-dire une roche soluble pour qu'un « transfert de matière d'une phase solide à une phase liquide » puisse se former, ainsi qu'une cohérence mécanique afin que les formes souterraines se conservent ;

✓ **Une énergie mécanique**

L'eau, pour circuler, utilise des voies constituées par une série de discontinuités. Les fractures en détente (diaclasses, failles et joints de stratification) induites par la tectonique permettent la pénétration de l'eau grâce à des vides interconnectés ;

✓ **Une énergie hydrodynamique**

Laquelle correspond, d'une part, à la quantité d'eau disponible pour la karstification, car, sans eau, la karstification ne peut s'opérer. D'autre part, elle correspond à l'énergie induite par le

gradient hydraulique, soit « la différence d'altitude entre la zone d'alimentation et la zone de sortie ». Ainsi, pour pouvoir fonctionner, la karstification exige une force à la fois motrice (pesanteur et dénivelée) et hydrologique (débit de l'écoulement). Le point bas vers lequel convergent les eaux est appelé niveau de base. S'il correspond au niveau de la plaine ou d'une large vallée de faible pente, on le dit « régional ». Si la source pérenne la plus basse domine légèrement le niveau régional, c'est un niveau « local » ou « karstique ».

Ces trois conditions représentent le « potentiel de karstification »

Tableau I - Solubilité de la calcite en fonction de la pression partielle en CO₂ (Bakalowicz, 1986).

pCO ₂ (atm) avec la calcite (mg/l)	Concentration en CaCO ₃ d'une eau à l'équilibre
0	0
0.03 10 ⁻² (atmosphère)	5
0.1 10 ⁻² (sol de montagne)	115
1 10 ⁻² (sol, climat tempéré)	215
3 10 ⁻² (sol, climat méditerranéen)	315
10 10 ⁻² (production de CO ₂ profond)	650

I.2.1.3. Développement d'un réseau karstique

Le développement du réseau karstique dépend de plusieurs facteurs (Dorfliger, 2010) :

- Le potentiel de karstification (quantité d'eau et de CO₂ disponible, gradient hydraulique, nature de la surface...).
- La structure interne du massif (géologie, fracturation...).
- Le temps de séjour de l'eau dans le massif.

La karstification sera ainsi plus ou moins importante suivant les caractéristiques du massif et les conditions extérieures. Si aucun de ces facteurs ne change, l'organisation du réseau karstique dans un massif se poursuivra jusqu'à atteindre un équilibre (De La Bernardie, 2013). Si les conditions évoquées sont présentes, la formation d'un réseau karstique peut être très rapide à l'échelle des temps géologiques, soit 10 000 à 20 000 ans (Bakalowicz, 1979).

I.2.1.4. Structure du paysage karstique

Les aquifères karstiques résultent du processus de la karstification ; ils possèdent une morphologie spécifique que ce soit au niveau de la surface avec la présence de dolines, de vallées sèches, de lapiez, de gouffre ou au niveau interne du massif carbonaté avec des réseaux de conduits (cavités, grottes, siphons, ...) (Mangin, 1975).

Ils possèdent les caractéristiques suivantes :

- ✓ Alimentation diffuse à l'échelle du bassin d'alimentation et alimentation ponctuelle au niveau de pertes de cours d'eau ;
- ✓ Existence de vitesses d'écoulement souterrain très importantes (quelques centaines de m/h) ;
- ✓ Crues importantes et soudaines, de forte intensité, suivie d'une décrue rapide et d'un long tarissement ;
- ✓ Stockage temporaire au niveau d'un épikarst, zone sous-cutanée dans la partie supérieure d'un massif carbonaté, constituant un aquifère temporaire perché, discontinu, se vidangeant rapidement ;
- ✓ L'aquifère karstique présente une organisation des écoulements souterrains qui détermine celle des vides qu'ils créent. Dans cette organisation (fig. 2), les deux fonctions classiques (stockage et drainage) sont séparées (Bakalowicz, 1999).

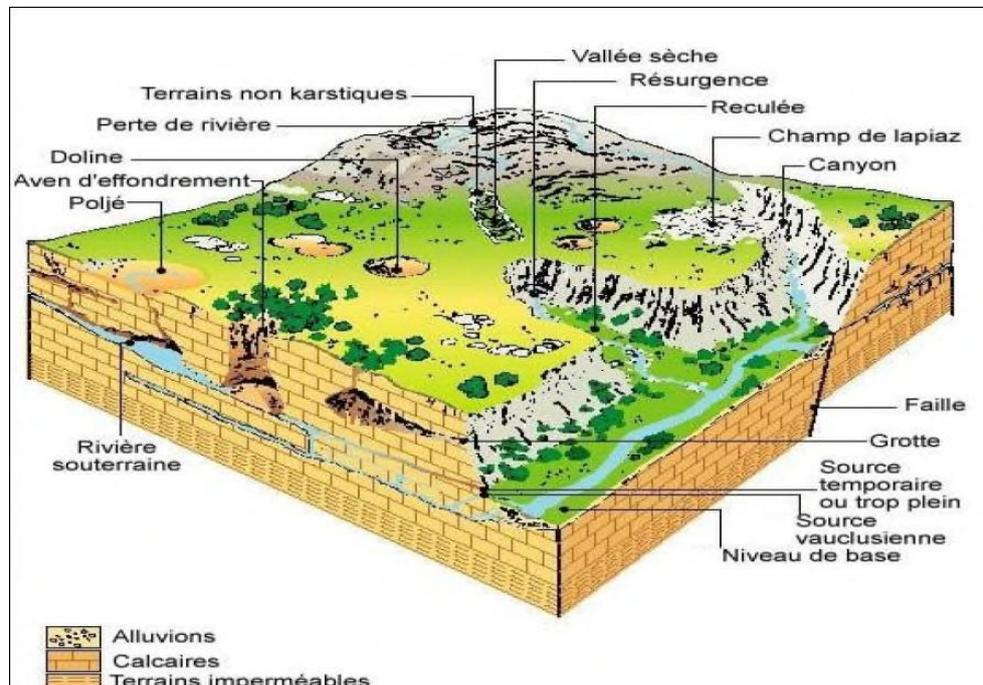


Figure 02 - paysage karstique (Mangin, 1975)

I.2.1.5.les Zones principales du karst

i) L'épikarst

L'épikarst, lorsqu'il est présent, il est la partie la plus superficielle du karst, et paradoxalement la moins bien identifiée, généralement défini comme une zone à forte porosité : 5 à 10%, et pouvant mesurer jusqu'à plusieurs mètres d'épaisseur. Le transfert de l'eau y est essentiellement Vertical. Il alimente la zone non-saturée puis la zone saturée. L'épikarst correspond à une zone d'échanges privilégiés entre la surface, le sol et le karst lui-même. C'est là que pourra être produit le CO₂ permettant l'acidification de l'eau qui s'infiltré dans le karst (Siou, 2011).

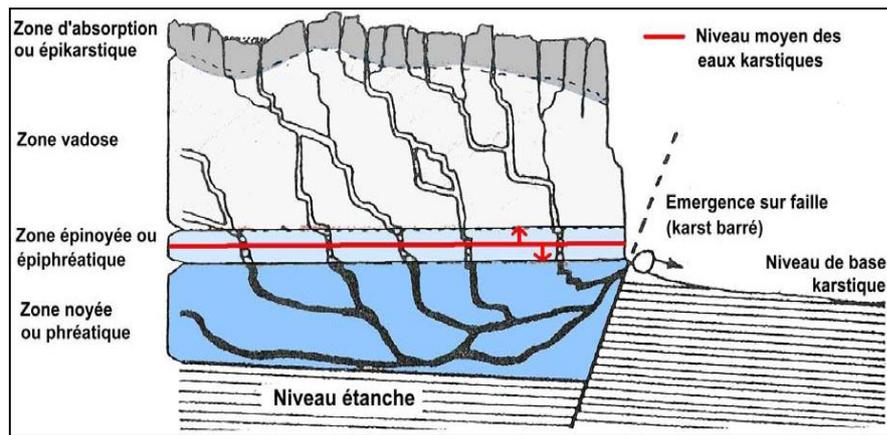


Figure 03 - Coupe synthétique d'un aquifère karstique (Mangin, 1975).

ii) La zone non-saturée (zone d'infiltration)

La porosité est généralement moins importante que dans l'épikarst : 1 à 2% environ. Dans le cas général, cette zone est une zone de transition entre la surface (ou l'épikarst s'il existe) et la zone noyée. Cette zone est le siège à la fois, d'écoulements monophasiques et d'écoulements diphasiques. Les premiers sont des écoulements de type ruissellement opérant dans les fissures et les conduits. L'écoulement diphasique (écoulement d'un mélange d'eau et d'air) quant à lui s'opère dans les microfissures. À ce niveau, une évacuation de l'eau sous forme gazeuse est possible. De plus, ceci implique de fortes variations de la perméabilité, en fonction de la variation de la proportion air-eau dans ces fissures (Siou, 2011).

iii) La zone saturée (zone noyée)

C'est généralement, la zone pour laquelle l'organisation des écoulements et des vides est la plus forte, avec une porosité pouvant aller jusqu'à 15%. La circulation de cette eau se fait généralement de façon subhorizontale permettant ainsi le drainage de l'eau vers l'exutoire d'une source ou un groupe de sources karstiques (Siou, 2011).

I.2.1.6. Fonctionnement du système Karstique

Le système karstique est défini par (Mangin;1974) comme « l'ensemble au niveau duquel les écoulements de type karstique s'organisent pour constituer une unité de drainage ». Le système karstique correspond donc au bassin hydrogéologique d'alimentation d'une source karstique ou d'un groupe de sources karstiques liées les unes aux autres.

Dans l'approche fonctionnelle, le fonctionnement des aquifères karstiques est étudié globalement, c'est à dire à l'échelle du bassin hydrogéologique en analysant les eaux à l'exutoire du système. Cela peut être d'un point de vue hydro chimique en étudiant les ions de l'eau et les isotopes (Bakalowicz, 1979 ; Plagnes, 1997), d'un point de vue hydrodynamique en étudiant les variations de débits par rapport aux entrées de pluie efficace (Mangin, 1975 ; Marsaud, 1996 ; Labat, 2000).

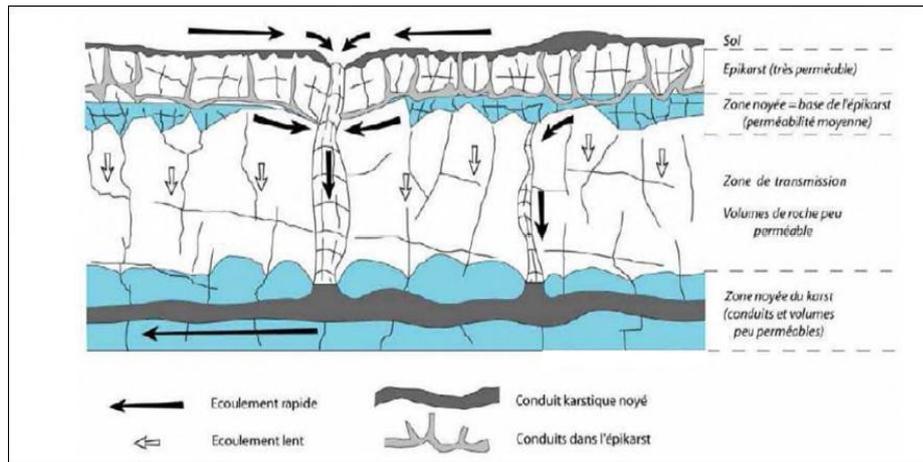


Figure 04 - Diagramme illustrant les composantes des systèmes karstiques (Monbaron, 2010)

La zone d'alimentation est la partie la plus proche de la surface. Cette partie est caractérisée par un fort degré de fracturation et d'altération. Les eaux d'infiltration peuvent être momentanément retenues en formant un petit réservoir temporaire perché : l'épikarst. Cette zone saturée temporaire et discontinue, constitue l'aquifère épi karstique.

I.2.1.7. Schéma fonctionnel et structural du système karstique

Mangin (1975) a élaboré un schéma fonctionnel et structural du système karstique. Ce système est divisé en deux zones principales : la zone d'infiltration (zone non saturée) et la zone noyée (zone saturée). Par la suite, en se basant sur le transfert de masses à partir des équilibres Calco-carboniques et sur les différents types de karsts étudiés (Bakalowicz, 1979, 2004) (fig. 7).

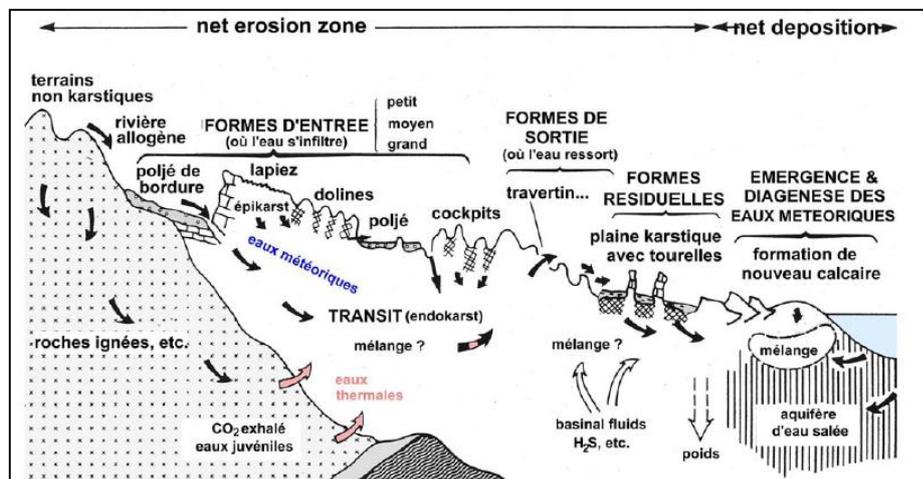


Figure 05 - Les écoulements en milieux karstique (Charmoille, 2005)

Deux types de structure sont ainsi distingués par Mangin (1975) : un axe de drainage ou drain et les systèmes annexes au drainage (SAD). L'axe de drainage est constitué d'un ensemble de conduits. Il constitue l'architecture autour de laquelle s'organise la zone noyée. En crues, les écoulements généralement turbulents y sont très rapides. En étiage, cet axe assure le drainage des SAD alors qu'il assure leur alimentation lors des périodes de hautes eaux. Ces SAD sont définis comme étant des vides de taille importante anastomosés se développant de part et d'autre de

l'axe de drainage. Leur situation spatiale correspondrait aux lieux où l'infiltration est concentrée avec fort pouvoir de dissolution et ils seraient préférentiellement situés au voisinage des intersections du réseau de fractures. Ils seraient connectés à l'axe de drainage par des conduits ou fissures de plus petites tailles.

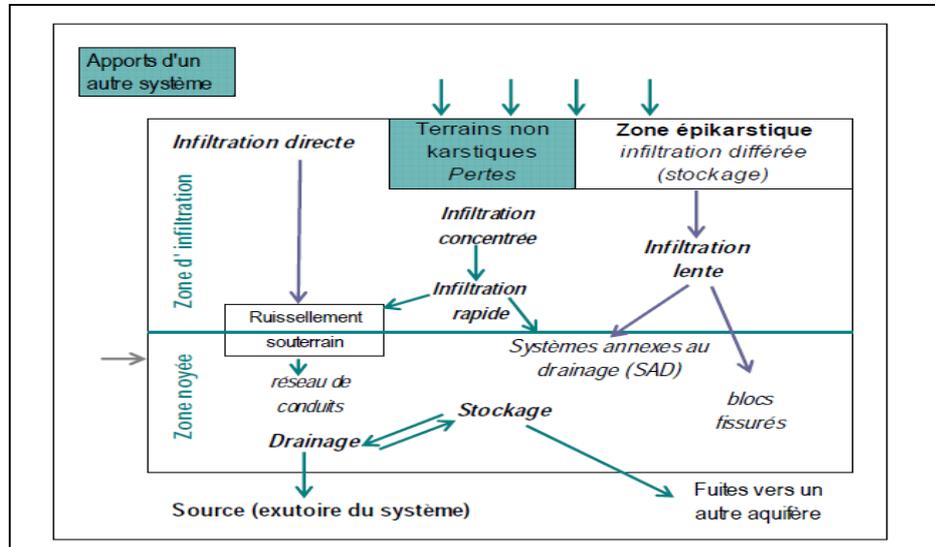


Figure 06 - Schéma conceptuel de l'aquifère karstique (Mangin, 1975)

I.2.1.8. Classification des aquifères karstiques

Pour mieux caractériser les aquifères karstiques, Marsaud (1996) en a donné une classification, en fonction de leur degré d'évolution, de l'organisation des vides, et des écoulements à l'intérieur de ceux-ci. Cette classification est la suivante :

- ✓ **Systèmes non-fonctionnels à faible ou fort potentiel et structure peu karstique ;** Systèmes pour lesquels, ni les vides, ni les écoulements ne sont organisés ;
- ✓ **Systèmes fonctionnels à fort potentiel et structure karstique.** Systèmes pour lesquels les vides et les écoulements sont organisés ;
- ✓ **Systèmes non-fonctionnels à faible potentiel et structure karstique.** Systèmes pour lesquels les vides sont organisés, mais les écoulements ne rendent pas compte de cette organisation.

I.2.1.9. Les type de karsts

Au regard de l'impluvium on distingue :

- ✓ le karst unaire : l'impluvium est constitué de terrain karstique,
- ✓ le karst binaire : l'impluvium est constitué de terrains karstiques et de terrains non karstiques moins perméables voire imperméables.

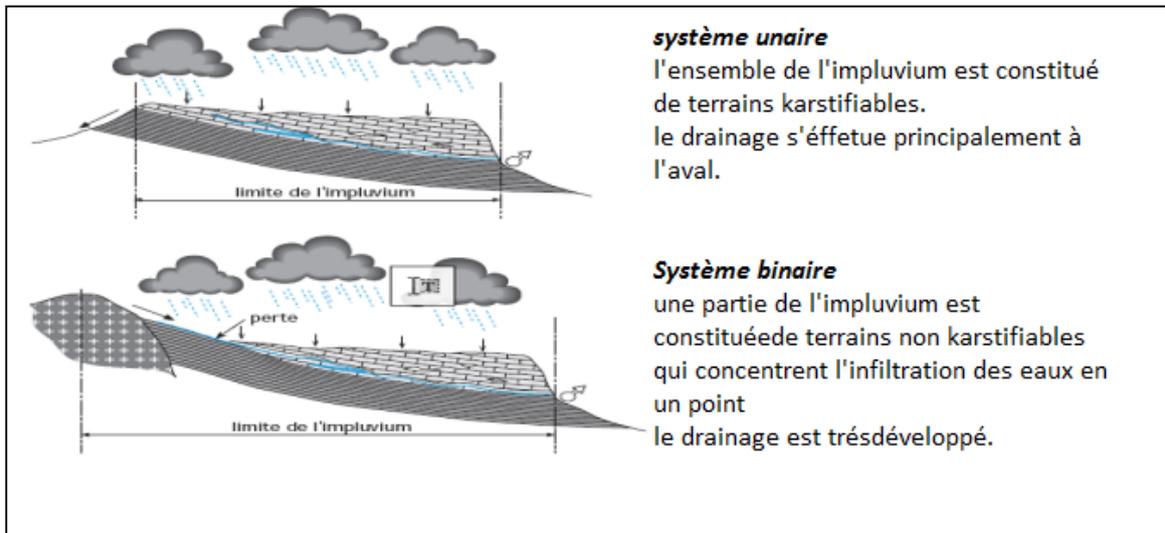


Figure 07 : Les types de systèmes karstiques : système unaire et binaire (Marsaud, 1997).

I.2.2. Les sources karstiques

Dans les zones calcaires peu de rivières se trouvent à la surface car elles s'infiltrent dans le karst par les dolines, de petites fissures. L'eau, qu'elle provienne du ruissellement des eaux de pluie infiltrées sur l'ensemble du territoire ou d'une rivière de surface, va émerger à l'extérieur par des exurgences ou des résurgences.

a) Exsurgence

Source, parfois à fort débit, correspondant à l'émergence d'une rivière souterraine dont l'origine n'est pas dans la perte d'une rivière aérienne, mais uniquement dans l'infiltration.

b) Résurgence

Source, parfois à fort débit, correspondant à la réapparition d'une rivière aérienne ayant effectué un parcours souterrain. Trois types de sources sont rencontrés dans le karst: drainage libre ; karst barré ; karst confiné.

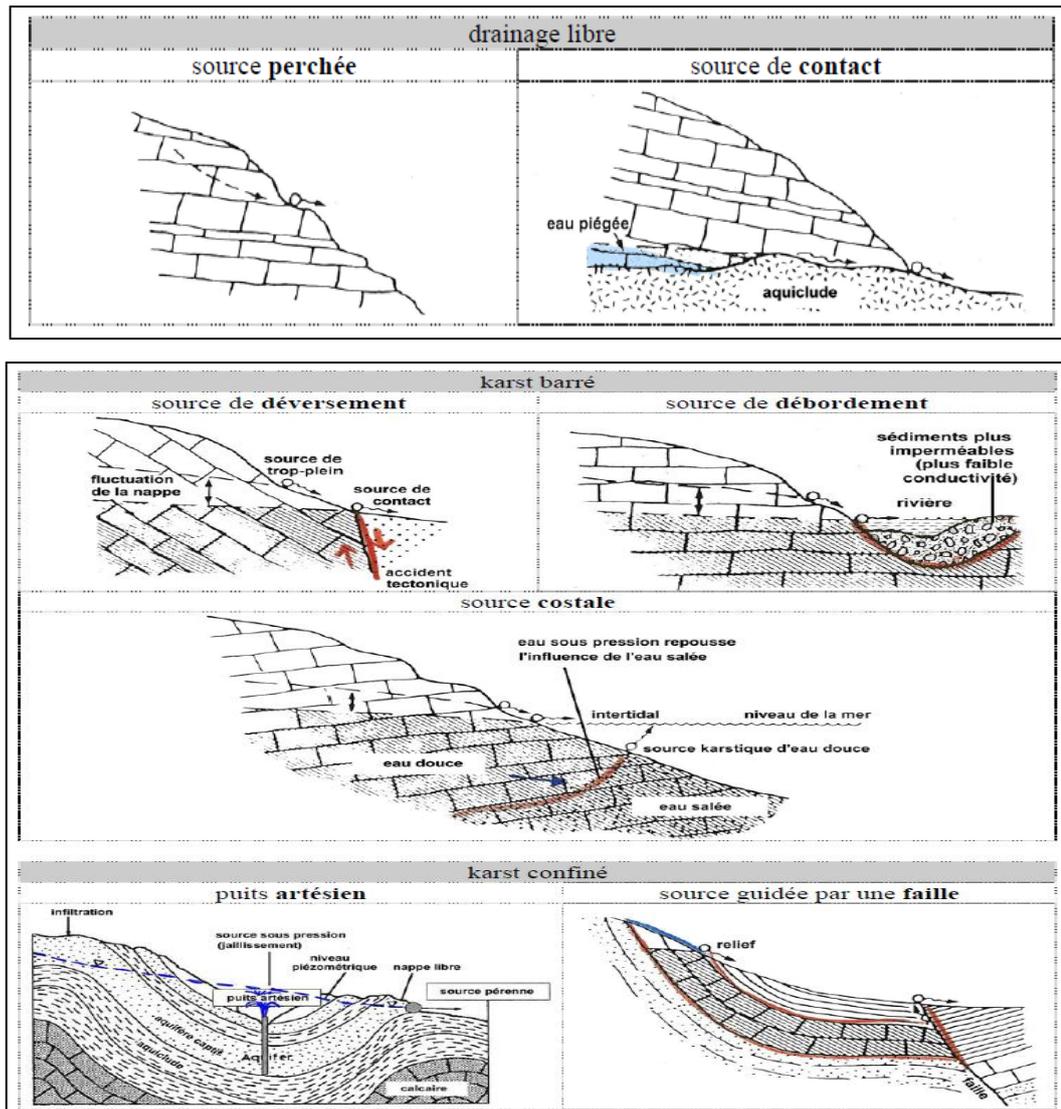


Figure 08 - Les sources rencontrées dans le karst (Monbaron, 2010).

Les sorties d'eau du karst sont toujours des sites extraordinaires, parce que les massifs et les plateaux qui les dominent sont dépourvus d'eau. A la suite, l'appellation "source" est en général soigneusement évitée sous le prétexte que les sources ne peuvent qu'être alimentées par des eaux pures, filtrées naturellement. Martel ne voyait dans la plupart des sources karstiques que la résurgence d'eaux de surface engouffrées dans des pertes (Bakalowicz, 1999). Il les distinguait des exurgences, sources, ne recevant aucune eau en provenance de pertes de rivière.

I.2.2.1. Exploitation des sources karstiques

Les sources karstiques ont toujours été un point privilégié d'exploitation des eaux souterraines pour des raisons d'accessibilité et de quantités disponibles. Il existe plusieurs stratégies techniques dont le choix est opéré sur la base de la connaissance hydrogéologique du milieu, de la demande des usagers et des coûts (Malard et Jeannin, 2013) :

- ✓ **Les captages:** Dans la plupart des cas, les eaux sont captées à la source, c'est-à-dire à l'exutoire visible du système ;

- ✓ **Les forages:** Cette alternative est souvent privilégiée quand les sources ne peuvent être captées, soit parce qu'elles sont trop éloignées ou inaccessibles, soit en raison d'une qualité des eaux ou de débits insuffisants. Cette alternative peut s'avérer économiquement et écologiquement rentable à long terme, moyennant de caractériser correctement le système karstique exploité. Elle permet en particulier une meilleure gestion et prévision de la ressource que le captage à la source. Elle comporte toujours une part de risque liée à la probabilité de recouper ou non un conduit karstique actif.

I.2.2.2. Les pollutions des sources karstiques

Une eau est dite polluée lorsque sa qualité est dégradée. Plusieurs types de pollution existent provenant d'origines diverses (domestiques, agricoles, industrielles ou même naturelle).

a) La pollution chimique

Il s'agit de différentes substances dissoutes dans l'eau (notamment les nitrates, phosphates ou micropolluants), provenant des activités humaines. Les micropolluants sont des polluants susceptibles d'être toxiques à très faible concentration. Ils sont essentiellement issus de l'utilisation de substances produites par l'industrie chimique.

b) La pollution microbiologique

Elle est liée aux micro-organismes, bactéries, virus et champignons pouvant se trouver dans l'eau. Ce type de pollution est fréquent et provient généralement d'une pollution par des matières fécales animales ou humaines (Muet, 2011).

c) La pollution physique

Ce type de pollution peut modifier la transparence de l'eau (turbidité, en raison de matière en suspension) ou sa température.

I.2.2.3. Caractéristiques physico-chimique des eaux karstiques

I.2.2.3.1. les paramètres physiques

i) La température

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques. Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes (Makhoukh et *al.*, 2011).

ii) Le pH (Potentiel d'hydrogène)

Le pH mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs simples dont l'origine de l'eau. Le pH doit

être mesuré sur le terrain. C'est un élément important pour la détermination de la qualité de l'eau (Mihoubi, 2008).

iii) La conductivité électrique

La conductivité est la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. Cette capacité dépend de plusieurs facteurs tels que la nature des ions présents et leurs concentrations totales. Elle donne une idée sur la salinité, permet une bonne appréciation des matières en solution (surtout minérales) dans une eau naturelle et permet de déceler les variations de la composition chimique de l'eau. Une conductivité élevée traduit soit un pH anormal, soit, le plus souvent, une salinité élevée d'origine naturelle ou anthropique (rejet salins) (Azzaoui, 1999).

iv) La salinité

La minéralisation est la teneur en sels dissous dans l'eau. Elle représente l'ensemble des sels déterminés et est exprimée en mg/l. Elle est en relation directe avec la conductivité (Mihoubi, 2008).

v) Total des solides dissous (TDS)

Le TDS signifie le total des solides dissous. Exprimée en mg/l, il représente la concentration totale des substances dissoute dans l'eau. Il est composé de sel inorganique tel que (calcium, magnésium, potassium et sodium) et des carbonates (nitrates, bicarbonates, chlorure et sulfate) et ainsi que quelque matières organiques (FEPS, 2014).

vi) La turbidité

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. Elle traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques,...). Une turbidité forte peut permettre à des microorganismes de se fixer sur des particules en suspension. La détermination de la turbidité est très utile dans le contrôle d'un traitement, éviter les dépôts et aussi pour l'amélioration de l'aspect esthétique de l'eau de consommation (Rejsek, 2002).

I.2.2.3.2. Les éléments traces métalliques

Les éléments à l'état de traces sont essentiellement les métaux. On distingue trois groupes :

- Les alcalins et les alcalino-terreux: Rb, Sr, Cs, Ba ;
- Les métaux de transition: SC, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Mo, As, Sb ;
- Les métaux lourds: Zn, Cd, Pb, Ti, U.

Parmi ces métaux, le plus couramment utilisé pour l'étude des eaux souterraines est le Strontium (Sr). En milieu karstique, les teneurs en Sr sont de quelques dizaines à plusieurs centaines de µg/l. Le Sr peut remplacer le Ca²⁺ dans la structure cristalline des minéraux carbonatés car ces

deux éléments possèdent des rayons ioniques très voisins. Cet élément est donc utilisé comme traceur des circulations souterraines (Bouroubi, 2009).

I.2.2.3.3.les paramètres électrochimiques

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par huit ions appelés couramment ions majeurs (Bouroubi, 2009).

i) Calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+})

Principaux ions alcalino-terreux, La dureté d'une eau représente la concentration en ions calcium et magnésium. Cette dureté est aussi qualifiée par le titre hydrotimétrique (TH) qui indique donc la teneur globale en sel de calcium et de magnésium qui en sont responsables. Dans la plupart des eaux naturelles, le calcium contribue au TH dans la proportion de 70 à 90 %. On distingue :

- le TH total ou dureté total : Totalité des sels de calcium et magnésium, c'est cette valeur qui est utilisée lorsque l'on parle couramment du TH ou de la dureté de l'eau.
- le TH calcique : Totalité des sels de calcium.
- le TH magnésien : Totalité des sels de magnésium.

ii) Les hydrogénocarbonates (HCO_3^-) et les carbonates (CO_3^{2-})

✓ Le Titre alcalimétrique(TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC)

Sont les deux valeurs qui permettent de connaître les concentrations en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes (bases fortes) contenues dans l'eau. La présence de CO_2 et des ions carbonatés dépend fortement du pH de l'eau. Le TAC correspond à la totalité des bicarbonates et des carbonates.

- ✓ **Les carbonates (CO_3^{2-})** : Ne sont présents en concentration mesurable que dans les eaux dont le pH est supérieur à 8.
- ✓ **Les bicarbonates (HCO_3^-)** : Ces ions constituent la forme la plus abondante sous laquelle on trouve le carbone minéral dans les eaux naturelles.

iii) sodium (Na^+) et potassium (K^+)

Ces ions positifs se trouvent en concentrations très variables dans les eaux naturelles. Le sodium peut être apporté en quantités importantes dans les rejets industriels ou domestiques (sel de cuisine ...), et provient des formations géologiques contenant du chlorure de sodium et de la décomposition des sels minéraux. La teneur de potassium dans les eaux naturelles est de l'ordre de 10 à 15 mg/l à telles valeurs. Le potassium ne présente pas d'inconvénients pour la santé des individus.

iv) Les Chlorures (Cl^-)

Des ions chlorures d'origine géologique sont présents dans toutes les eaux naturelles: les eaux souterraines normales contiennent entre 5 et 30 mg/l de Cl^- . Les chlorures comme le chlorure de calcium, de sodium assurent avec les carbonates l'équilibre minéralogique des rivières. Une

perturbation grave de cet équilibre entraîne des problèmes de croissance et de développement des végétaux aquatiques. Les chlorures peuvent exister en concentrations élevées d'origine humaine (urine) ou industrielle (industries extractives, industries métallurgiques,...). Une eau est considérée comme polluée au-dessus de 200 mg/l.

La présence excessive de Cl^- dans l'eau favorise la corrosion des métaux, la rend impropre à l'irrigation, à la vie végétale et animale.

v) Les sulfates (SO_4^{2-})

Les sulfates naturels de l'eau proviennent de la dissolution du gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou du lessivage des terrains contenant des pyrites dont les sulfures entraînés s'oxydent en sulfates à l'air. Les concentrations inférieures à 200 mg/l ne posent pas de problèmes. Des concentrations supérieures provoquent la précipitation du sulfate de calcium dans les eaux calcaires. Des concentrations supérieures à 100 mg/l favorisent la corrosion des métaux.

La concentration admissible en sulfates pour l'homme est de 250 mg/l. Au-delà de celle-ci, ils ont un effet laxatif excessif. Ces ions proviennent essentiellement des engrais agricoles et de la minéralisation de l'azote organique abandonné par les êtres vivants.

vi) L'ammonium (NH_4^+)

Les eaux souterraines peuvent contenir de faibles quantités d'ions ammonium, généralement inférieures à 1 mg/l. Dans des eaux d'égout, ces ions sont libérés par la dégradation des protéines et de l'urée. La présence de concentrations élevées dans un cours d'eau indique une zone de pollution organique ou d'eutrophisation. En générale l'ammoniaque se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation ; la mise en évidence, dans l'eau, de teneurs importantes en azote ammoniacal implique généralement une contamination récente par les matières organiques en décomposition.

vii) Les nitrites (NO_2^-)

Peuvent être présents dans les nappes aquifères suite à la dénitrification anaérobie. Dans les rivières, ils proviennent de l'oxydation de l'ammonium par des bactéries et leur concentration reste très faible. Les poissons seraient incapables d'éliminer les nitrites : ceux-ci sont mortels pour la truite à des doses inférieures au microgramme par litre (Rejsek, 2002).

viii) Les nitrates (NO_3^-)

Selon Rejsek (2002), la teneur naturelle des eaux souterraines en nitrates est faible ; elle dépend des types de sols, de la végétation qui les recouvre ainsi que de taux d'oxygénation dans la zone noyée. L'apport atmosphérique est faible lui aussi. Par conséquent, l'origine de ce traceur dans les eaux karstiques est essentiellement externe. Il est utilisé comme indice de pollution. Les apports anthropiques principaux sont liés essentiellement aux activités :

- ✓ agricoles : fertilisation des sols par des engrais azotés, fumiers, élevage;

- ✓ humaine : eaux usées.

Compte tenu de leur origine externe, ces éléments peuvent informer d'une part sur le fonctionnement des aquifères karstiques et particulièrement sur les modalités d'infiltration dans le système (lente ou rapide). D'autre part, les nitrates constituent un excellent traceur de la qualité des eaux (Bouroubi, 2009).

I.2.2.4.Indices de saturation

L'indice de saturation (IS) tend à donner une valeur chiffrée de l'état d'agressivité ou d'incrustation d'une eau. Il peut être défini sur le diagramme de PHREEQC par la différence entre le pH mesuré et le pH de saturation pour une même minéralisation (Miserez, 1973).

Selon Chabour, 2006, si :

- $IS < 0$, la solution est sous-saturée par rapport au minéral (dissolution du minéral) ;
- $IS = 0$, la solution et la phase solide sont à l'équilibre (équilibre) ;
- $IS > 0$, la solution est sursaturée par rapport au minéral (précipitation).

I.2.2.5.Bactériologie des eaux de sources naturelles

Analyse bactériologique est importante car la qualité bactériologique d'une eau n'est pas un paramètre stable, mais au contraire sujet à fluctuation, par pollution accidentelle, nécessitant des contrôles permanents et représentant la cause la plus fréquente de non potabilité de l'eau. (Rodier *et al*, 2009).

I.2.2.5.1.Les coliformes totaux (bactéries coliformes)

Bacilles gram-négatifs, aérobies ou anaérobies facultatifs, non sporulés, oxydase-négatifs. La majorité des bactéries coliformes appartiennent au genre *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* et *Enterobacter*, bien que plusieurs autres genres et espèces appartiennent également au groupe :

- **Coliformes d'origine fécale (thermo-tolérants)**

Nous les rencontrons dans les matières fécales humaines ou animales. Leur température optimale de croissance est de 37 °C. Ils sont capables de se multiplier à des températures élevées, jusqu'à 44 °C : ce sont des coliformes thermo-tolérants (*Escherichia coli*). L'origine fécale de *E. coli* est incontestable et sa nature omniprésente peu probable, ce qui valide son rôle précis d'organisme indicateur de contamination tant dans les eaux naturelles que traitées.

- **Coliformes saprophytes**

Ils se retrouvent dans les eaux naturelles et des sols incultes. Leur température optimale de croissance est entre 30 °C et 34 °C. Ils sont incapables de se multiplier à haute température (supérieure à 44 °C). Ils ne font pas partie de la flore fécale des animaux à sang chaud. Les coliformes sont intéressants car ils vivent en abondance dans les matières fécales et de ce fait, constituent des indicateurs fécaux de la première importance. Par ailleurs, leur résistance aux

agents antiseptiques, et notamment au chlore et à ses dérivés, est voisine de la résistance des bactéries pathogènes ; ils constituent donc des indicateurs d'efficacité de traitement (Rodier, 2009).

I.2.2.5.2. Les streptocoques fécaux ou entérocoques

Anciennement les streptocoques fécaux (entérocoques, *S. lactiques*, *S. anaérobies*) sont généralement pris comme témoins de pollution fécale. Aujourd'hui on dit « recherche des entérocoques intestinaux » (Rodier *et al.* 2009). La présence des entérocoques ne peut pas être considérée comme indication de contamination fécale et nécessite une confirmation. L'apport des entérocoques par rapport aux coliformes consiste en leur plus grande résistance dans les eaux naturelles ; leur présence serait donc le signe d'une ancienne contamination fécale (Rejsek, 2002).

I.2.2.5.3. Les microorganismes revivifiables (germes totaux)

Les eaux, quelle que soit leur nature, contiennent une multitude de microorganismes de sources diverses (sol, végétation...). Ce dénombrement donne une information utile pour l'évaluation et la surveillance de la qualité de l'eau (Rejsek, 2002).

I.2.2.6. La protection des ressources en eaux souterraines en Algérie

L'Algérie a adopté plusieurs politiques concernant la protection des ressources en eau souterraine.

Généralement elles sont matérialisées par le code des eaux mais aussi par le code de la protection de l'environnement et le code de la santé publique.

Il en ressort quelques principaux textes législatifs concernant le secteur de l'eau en Algérie, prévoient la protection des ressources en eau :

✓ Loi n° 83-17 du 16 Juillet 1983 portant code des eaux

Elle a abordé la protection des eaux souterraines à travers les articles 109 jusqu'à l'article 124. La protection des ressources en eau est assurée par des périmètres de protections qualitatives et quantitatives. Elle a défini le périmètre de protection comme un contour délimitant un domaine géographique dans lequel sont interdites ou réglementées toutes les activités à l'intérieur des périmètres de protection qui peuvent polluer les ressources en eaux souterraines concernant notamment :

- L'exécution des puits et forages ;
- L'exploitation des carrières ;
- L'installation de canalisation, réservoirs et dépôts d'hydrocarbure ;
- L'installation de canalisations des eaux usées de toutes natures ;

- Soumis à autorisation, les travaux de remplacement de réaménagement des installations hydrauliques existantes, sans augmentation des volumes d'eau prélevés (J.O.R.A, 2011).

✓ **La loi n° 05-12 du 4 août 2005 relatifs à l'eau**

Elle a pour objet de fixer les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale (J.O.R.A, 2011).

Les articles 38 à 52 ont adopté la protection des ressources en eau souterraines karstiques soit qualitative ou quantitative. Il est établi autour des ouvrages et installations de mobilisation, de traitement et de stockage d'eau souterraine ou superficielle ainsi que de certaines parties vulnérables des nappes aquifères et des oueds, une zone de protection qualitative. La loi a déterminé les règlements et les interdictions de toutes activités à l'intérieur de cette zone, telles que :

Le déversement ou rejet d'eaux usées de toute nature dans les ouvrages de captages des eaux souterraines. Le dépôt ou enfouissement de matières insalubres susceptibles de polluer les eaux souterraines. L'introduction de toutes matières insalubres dans les ouvrages de captage des eaux souterraines. Le dépôt ou l'enfouissement de cadavres d'animaux dans les oueds, lacs, étangs et à proximité des ouvrages de captages des eaux souterraines (Derni, 2011). Aussi, tout établissement et toute unité industrielle dont les rejets sont reconnus polluants doit impérativement :

Prévoir des installations d'épuration appropriées. Mettre en conformité leurs installations ou les procédés de traitement de leurs eaux résiduaires par rapport aux normes de rejet telles que fixées par voie réglementaire (J.O.R.A, 2011).

CHAPITRE II

Matériel et méthodes

II.1. Introduction

Avant d’aborder des études hydro physique et hydro chimique, il est nécessaire de définir un territoire de travail approprié. Le bassin versant constitue pour cela le meilleur cadre. Cette partie est consacrée à la présentation de la zone d’étude qui contient l’ensemble des éléments suivants : la situation géographique, le réseau hydrographique et les caractéristiques socio-économiques.

II.1.1. Situation géographique

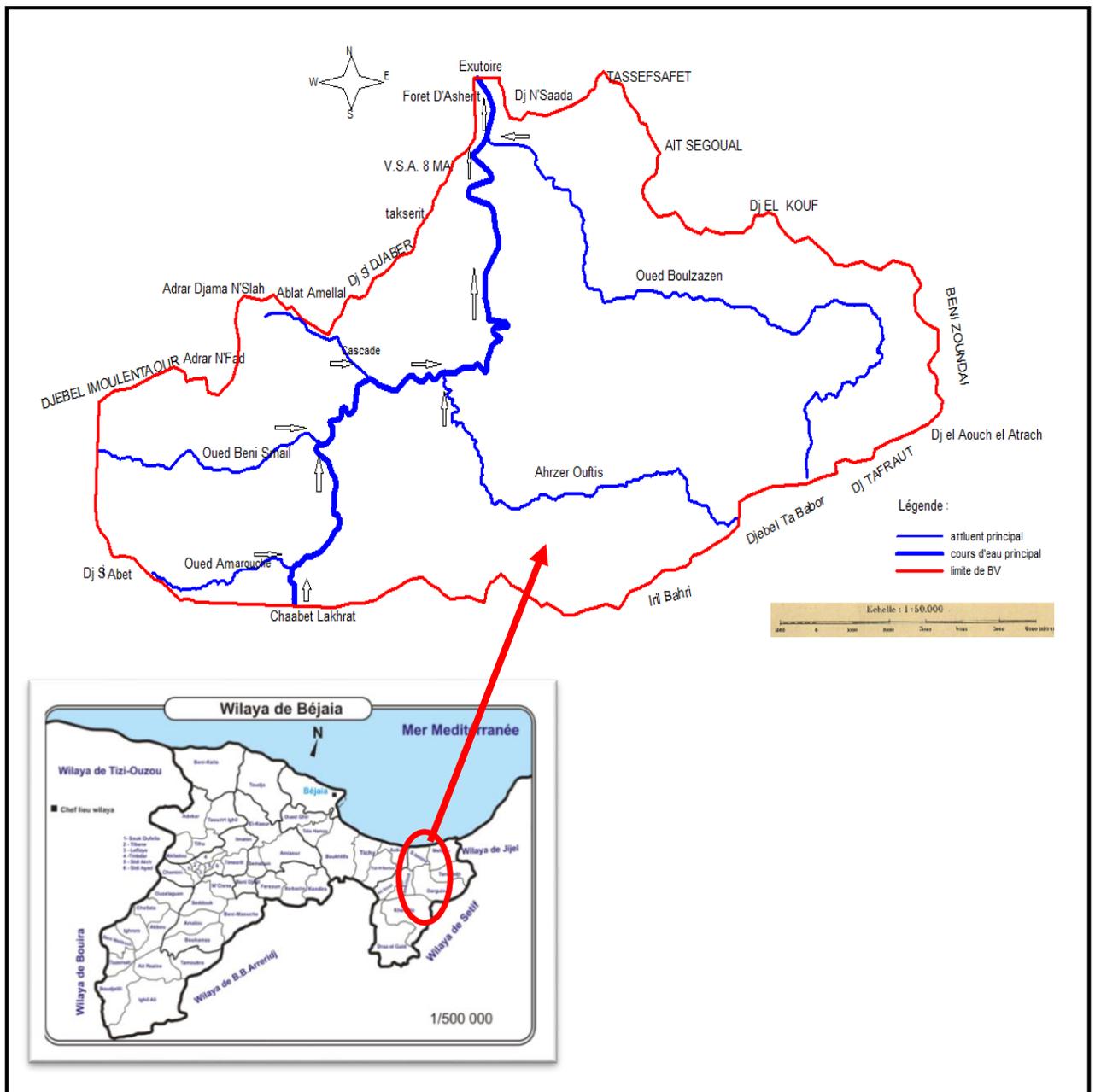


Figure 09 - localisation de bassin versant de l’oued Agrioun.

II.1.1.1. Description de la région d'étude

La zone d'étude comprend huit (08) communes (Kherrata, Draa El –Gaid, Darguina, Ait-Smail, Taskriout, Souk El-Tenine, Melbou, Tamridjet). Elles sont situées au Nord-est de la wilaya de Bejaia. Elle s'étend sur une superficie de 488.72 Km² regroupées en quatre axes qui sont :

- Axe Littoral - Souk El Tenine et Melbou ;
- Axe Est - Tamridjet et Darguina ;
- Axe Sud - Kherrata et Taskriout ;
- Axe Nord Sud - Ait-Smail, Draa El –Gaid.

II.1.1.2. Délimitation du Bassin versant d'oued Agrioun

Géographiquement, le bassin versant de l'oued Agrioun est situé à l'Est de l'Algérie à 300 km d'Alger, dans la wilaya de Bejaia à environ 60km au Sud-est du chef-lieu. L'oued Agrioun prend naissance dans le massif des Bâbords et le versant septentrional du djebel Megris. Il traverse vigoureusement les gorges de Kherrata et draine, plus en aval, la plaine alluviale de souk el Tenine avant de rejoindre la mer Méditerranée.

II.2. Cadre Géologie

La chaîne des Babors dessine une limite franche entre le bassin amont de l'Oued Agrioun à Kherrata et les bassins versants des affluents situés au Nord.

Le bassin amont de l'Oued Agrioun occupe des formations caractéristiques de la nappe de Djemila. Ces formations sont dominées par la présence de marnes noires, de calcaires et de calcaires marneux qui façonnent un relief mou. On y retrouve par ailleurs des formations d'âge Eocène formées de roches tendres (schistes et calschistes). Les versants sont couverts de terres arables, de formations de pentes et d'alluvions anciennes.

A l'extrémité méridionale du bassin, les massifs du Djebel Megris et du Djebel Chouf Karoun présentent des formations typiques de la nappe Numidienne formées d'alternance de grès et d'argiles à kaolinite.

Au niveau de Kherrata, les massifs des Babors, de Mellal et de Takoucht sont constituées de calcaires jurassiques qu'entaillent profondément les gorges du Chabet EL Akhra. Ces formations, où l'on retrouve des calcaires marneux-schisteux, des calcaires massifs et dolomies, occupent une grande étendue de la partie septentrionale du bassin de l'Oued Agrioun ; Le bassin Béni Smail est, quant à lui, majoritairement recouvert de marnes schisteuses et d'éboulis de pentes en contrebas des sommets calcaires dolomitiques ; Le bassin d'Ighzer Oufis est recouvert de

II.3. Climatologie

Pour les besoins de notre étude nécessitant des données récentes permettant d'expliquer l'interaction entre les variations climatiques et les caractéristiques de l'eau, nous avons utilisées les données provenant de la station météorologique située à l'aéroport de Bejaia. La période d'observation s'étale sur 39 ans (de 1978 à 2016) que nous avons corrigés en utilisant la méthode de Seltzer, 1946.

II.3.1. Température

D'après Seltzer (1946), l'abaissement des températures maximales est de **0,7°C** pour une élévation de **100m** d'altitude et celle de minimales est de l'ordre de **0,4°C** pour la même élévation d'altitude. Ce qui correspond à un abaissement de **0,55°C** par **100m** d'altitude pour les températures moyennes mensuelles.

L'altitude maximale de notre zone d'étude est de l'ordre de **462m** et l'altitude minimale est de **3m** au niveau de l'embouchure. Ce qui signifie que l'altitude moyenne de notre zone d'étude est d'environ **230m**.

Tableau II - Températures moyennes mensuelles en degrés Celsius corrigées de la région d'étude pour la période (1978-2016).

Mois T°C	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
T° _{Max}	15.66	16.32	17.92	19.72	22.25	25.7	28.85	29.54	27.51	24.78	20.15	16.98
T° _{Min}	7.11	7.19	8.6	10.51	13.51	17.18	19.96	20.78	18.72	15.53	11.39	8.31
T° _{Moy}	11.38	11.75	13.26	15.11	17.88	21.44	24.4	25.16	23.11	20.15	15.77	12.64

T°_{Max} : Température maximale.

T°_{Min} : Température minimale.

T°_{Moy} = (M+m)/2 : Température moyenne.

A partir du tableau II, nous constatons que le mois d'Août est le mois le plus chaud avec une température maximale de l'ordre de **29,54°C** et que le mois le plus froid est le mois de Janvier avec une température minimale de l'ordre de **7.11°C**.

II.3.2. Les précipitations

La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale, non seulement pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestres et aquatiques, mais aussi pour la répartition des êtres vivants (Ramdane, 1984).

Pour les précipitations, une élévation de **100m** d'altitude va engendrer un gradient pluviométrique de l'ordre de **40mm** (Seltzer, 1946)

Les précipitations moyennes annuelles de Bejaia ($P_{an}=784mm$).

Les précipitations moyennes annuelles corrigées du site de l'Oued Agrioun ($P'_{an}=784+95=879\text{mm}$).

Donc, le rapport $K= P'_{an} / P_{an}$ est égal à 1,12 ($K=1,12$)

Les précipitations mensuelles du site de l'Oued Agrioun sont le résultat du produit des données brutes de la station de Bejaia par le coefficient $K=1,12$.

Tableau III - La répartition des précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la station de Bejaia et notre région d'étude (1978-2016).

Mois	J	F	M	A	M	Ju	Jt	A	S	O	N	D	P (mm)
Bejaia	110.3	92.5	83.8	66.8	42.1	15.8	5.3	11	54.9	72.1	99.9	129.9	784
Oued Agrioun	123.5	103.6	93.9	74.9	47.2	17.7	5.9	12	61.5	80.8	111.9	145.5	879

D'après le tableau III, la pluviométrie minimale de la région d'étude est enregistrée durant le mois de juillet. Elle est de **5.9mm**. La pluviométrie maximale de la région d'étude est enregistrée durant le mois de décembre, elle est de **145.5mm**.

II.3.3.Synthèse des données climatiques

II.3.3.1.Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Le diagramme de Gaussen permet de distinguer les mois secs de l'année en utilisant la relation $P \leq 2T$. Le diagramme est conçu de telle sorte que la pluviométrie P exprimée en millimètre est égale au double de la température moyenne mensuelle ($P = 2T$) exprimée en degré Celsius (Dajoz, 1985).

- ✓ D'après Gaussen et Bagnouls, il y'a sécheresse lorsque la courbe des précipitations rencontre celle des températures et passe en dessous (Dajoz, 1985).

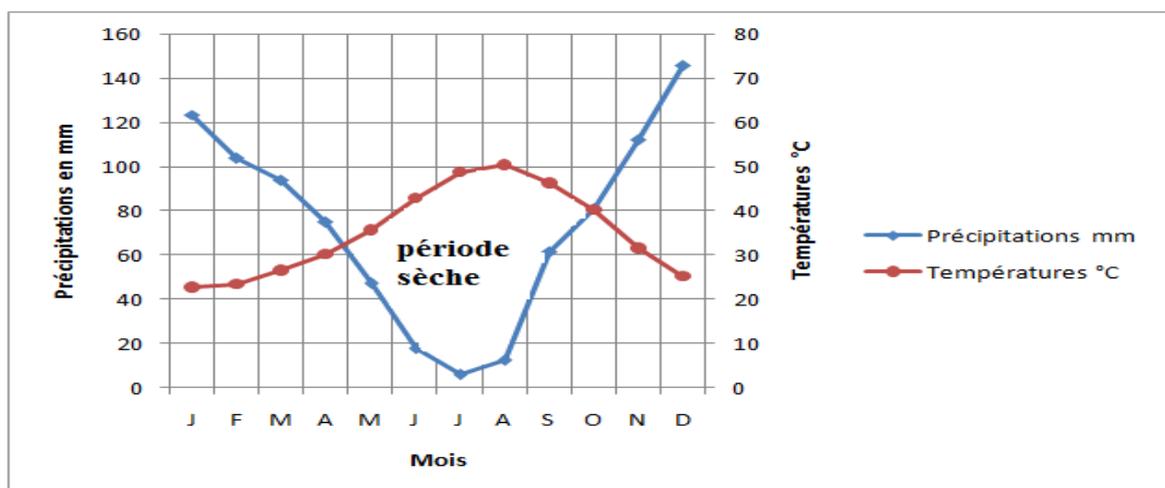


Figure 11 - diagramme Ombrothermique Bagnouls et Gaussen de notre zone d'étude (Oued Agrioun) (1978-2016).

Le diagramme ombrothermique de la région d'étude (Oued Agrioun) pour la période (1978-2016) montre l'existence d'une période humide et d'une période sèche. La période humide s'étale de début du mois du octobre jusqu'à la fin du mois de avril. Par contre la période sèche s'étend sur cinq mois. Elle va de la fin du mois d'avril jusqu'à début d'octobre (Fig. 10).

II.3.3.2. Climagramme d'Emberger

Le climagramme d'Emberger permet de classer une région donnée en étages bioclimatiques en tenant compte du quotient pluviométrique d'Emberger. Il est exprimé par la formule suivante :

$$Q_2 = 3,43P/(M - m)$$

P : Précipitation annuelle moyenne.

M : Maximum annuel moyen de la température.

m : Minimum annuel moyen de la température.

-Calcul de Q_2 pour notre région d'étude (Oued Agrioun) : $P=867\text{mm}$, $M=29,54^\circ\text{C}$, $m=7,11^\circ\text{C}$

$$Q_2 = 3.43 \times 879 / 29.54 - 7.11 \quad \rightarrow \quad Q_2 = 134.4$$

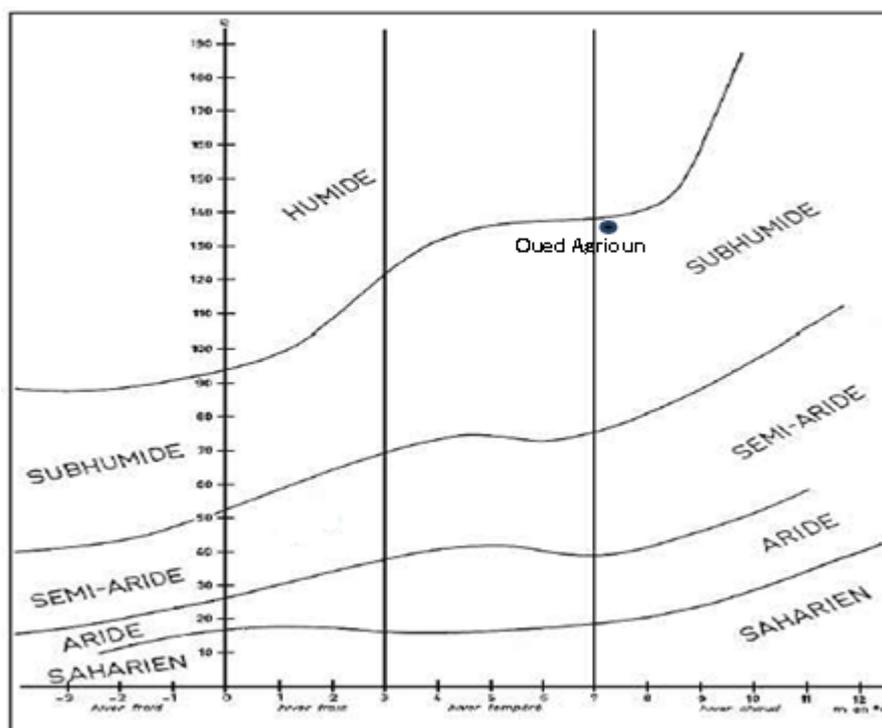


Figure 12- Situation bioclimatique de la région d'étude sur climagramme d'Emberger.

La zone d'étude est située dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver chaud.

II.4. Caractéristiques socio-économiques

II.4.1. Population

Le total de la population pour les huit (8) communes appartenant à la limite du bassin versant est égal à 144 607 habitants réparti sur une superficie de 488,72 km². Elle représente une densité d'environ 883 habitants/km². Cette répartition est représentée dans le tableau IV. (ASWB, 2012).

Tableau IV- Répartition de la population du bassin versant de l'Oued Agrioun par commune (ASWB, 2012).

Communes	Population 31 /12/2012	Superficies (Km ²)	Densité Habitants/km ²
Kherrata	36173	97.69	370
Draa El –Gaid	30135	123.34	244
Darguina	14587	82.53	177
Ait-Smail	12151	27.08	449
Taskriout	16647	31.06	536
Souk El-Tenine	14485	26.28	551
Melbou	11753	47.47	248
Tamridjet	8676	53.27	163

II.4.2.Agriculture

Tableau V - Occupation des sols (HA) par communes (ASWB, 2012).

Communes	Céréales	Légumes secs	Fourrages	Agrumes	oliviers	Figuiers	Cultures industrielles
Kherrata	600	55	45	110	2592	3000	420
Draael-Gaid	1900	160	115	308	4536	5440	1680
Darguina	0	150	1650	17795	2464	6060	120
Ait Smail	1000	150	3630	17105	2512	6050	120
Taskriout	600	75	600	17540	950	2530	120
Souk El-Tenine	550	0	41130	23828	2730	1400	90
Melbou	0	0	3400	18440	2590	550	250
Tamridjet	0	12	925	12113	1260	650	0

II.5. Présentation du lieu de stage algérienne des eaux unité de Bejaia

II.5.1.Introduction

Nous avons choisi l'algérienne des eaux pour effectuer notre stage. Elle a bien voulu mettre à notre disposition son laboratoire équipé afin de réaliser la partie pratique de ce mémoire qui a duré trois mois de travail y compris les déplacements sur terrain les prélèvements d'eau. Les éléments analysés sont T°, pH, CE, S, TDS, Tbd, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, SO₄²⁻, Cl⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻, NO₂⁻. Par contre pour le Na⁺ et le K⁺, ils ont été réalisés dans le laboratoire de l'ADE de Tizi Ouzou. Les ETM ont été analysés dans le laboratoire du Génie des procédés de l'université de Bejaia.

II.5.2.Historique

La gestion des ressources en eau était gérée par les services communaux de l'indépendance jusqu'à de l'EPDEMI (Entreprise Publique de Distribution d'Eaux Ménagère Industrielle Assainissement) le 12 juillet 1987 par le décret 82-200 du 19 mars 1983. Le 01 aout 2006 et conformément au décret exécutif n°01-101 du 21 avril 2001, l'EPDEMI devient l'algérienne des eaux, une entreprise publique à caractère industriel et commercial, jouissant d'une autonomie

financière et dotée d'une personnalité morale. L'ADE est placée sous la tutelle du ministère des ressources en eaux et de l'environnement (ADEUB, 2016).

II.5.3. Les objectifs de l'ADE

L'Etablissement est chargé dans le cadre de la politique nationale de développement d'assurer sur tout le territoire national, la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau potable à travers la prise en charge de la gestion des services des eaux des communes, des opérations de productions, d'acheminement, de traitement, de stockage, d'adduction, d'approvisionnement en eau potable ainsi que la maintenance et le développement des ouvrages et infrastructures y afférente. La mission principale de l'Algérienne des Eaux est la production et la distribution de l'eau potable (ADEUB, 2016).

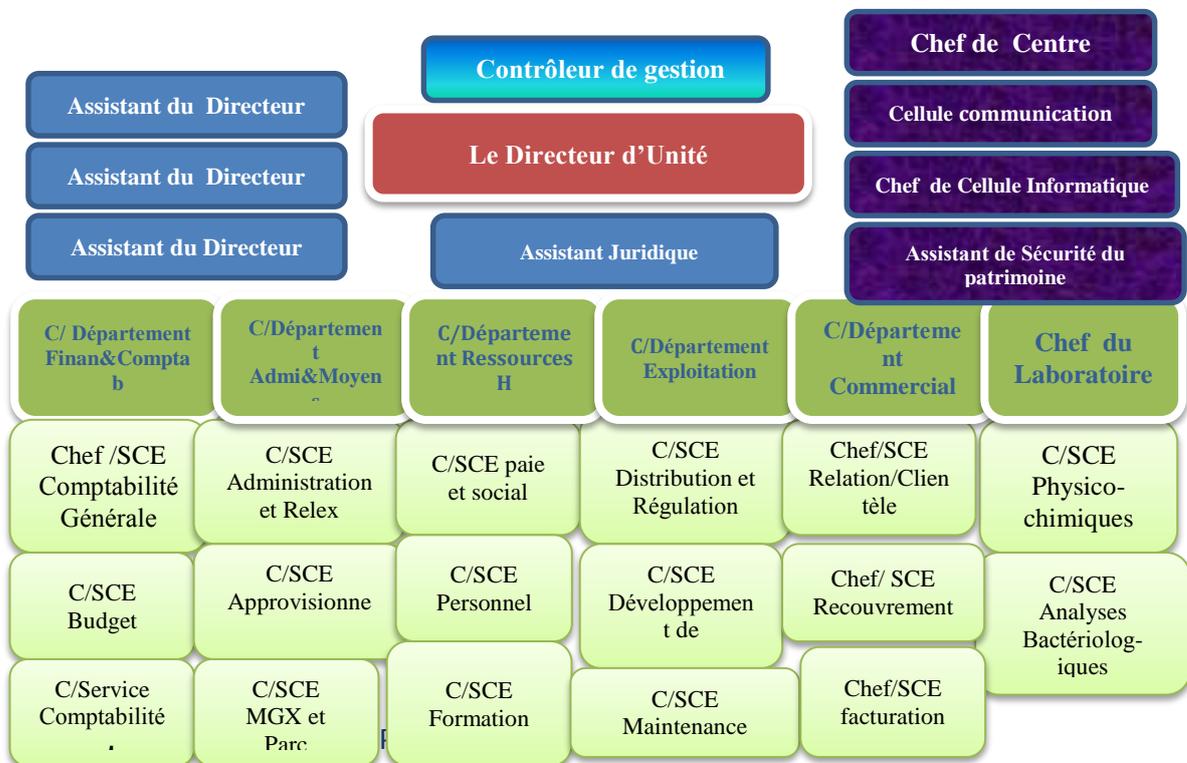


Figure 13 - organigramme du siège de l'ADE unité de Bejaia (ADEUB, 2016)

II.6. Positionnement et localisation des sources

Les coordonnées des points d'eau sont positionnées sur place à l'aide d'un GPS (Global positioning System) (fig. 13).

Le GPS est un système de positionnement par satellites qui utilise la triangulation pour se localiser. C'est le récepteur qui calcule la position à partir des données que fournissent les satellites (Dudok, 2007). Dans notre étude, nous avons utilisé un GPS de marque Eltrex (GARMIN), qui nous a permis d'avoir les coordonnées de localisation de nos sources.



Figure 14 - GPS de marque Eltrex (GARMIN).

II.7.Choix des stations de prélèvement

Dans le cadre de notre travail, les stations de prélèvements ont été choisies là où les variations sensibles de la qualité des eaux sont probables. Nous avons effectués deux campagnes de prélèvement au niveau de 4 sources. Ces stations sont représentées dans le tableau VI.

Tableau VI - Dates et heures de prélèvement de la 1^{ère} et 2^{ème} campagne.

Lieux de prélèvement	1 ^{ère} campagne 07-12-14/03/17	2 ^{ème} campagne 08-09/05/17
	Heure de prélèvement	Heure de prélèvement
Source KEFRIDA	9h44	8h53
Source BLEUE	11h07	10h14
Source TARACHOUCT	9h15	11h50
Source BIZIDA	11h00	9h43

II.8.Prélèvement et échantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.). Étant donné que, dans la plupart des cas, le responsable du prélèvement n'est pas l'analyste, il convient que le préleveur ait une connaissance précise des conditions du prélèvement et de son importance pour la qualité des résultats analytiques. (Rodier *et al.*, 2009).

Pour cela l'échantillonneur doit respecter certaines recommandations qui sont :

- ✓ Les mesures sur le terrain (température, pH, conductivité électrique,... etc.) ne doivent jamais être faites à partir d'un échantillon qui sera expédié au laboratoire. Il faut prendre ces mesures directement dans le cours d'eau ou à partir d'un échantillon que l'on jettera une fois l'opération terminée ;
- ✓ Les échantillons pour laboratoire doivent être prélevés de préférence dans des flacons en verre ou des flacons en polyéthylène pour les analyses physico-chimiques et dans des flacons en verre stérilisés pour les analyses bactériologiques ;

- ✓ Les bouteilles utilisées pour l'échantillonnage doivent être rincées au moins trois fois avec de l'eau à prélever pour les analyses physico-chimiques ;
- ✓ Les prélèvements se font à une profondeur de 5cm à 10cm de la surface de l'eau, en évitant la pénétration de l'air et de ne pas toucher le fond du cours d'eau avec les bouteilles, afin d'éviter de mettre en suspension des particules de sédiment qui risquent de contaminer l'échantillon ;
- ✓ Les bouteilles doivent être remplies à ras pour les analyses physico-chimiques et non pas pour les analyses bactériologiques et bouchées avec précaution ;
- ✓ Les bouteilles sont désignées par une étiquette ou est indiquée l'origine de l'échantillon ;
- ✓ Le transport des échantillons depuis le point de prélèvement jusqu'au laboratoire se fait dans une glacière à 4°C ;
- ✓ Les échantillons sont mis au réfrigérateur après leurs conservations.

II.9.Méthodes d'analyses

II.9.1.Les analyses physico-chimiques

II.9.1.1.Les paramètres physiques

Les paramètres physiques (température, pH, conductivité électrique, salinité et TDS) ont été mesurés sur le terrain à l'aide d'un multi paramètre de type EXTECH Instrument EC510, préalablement étalonné. Pour chaque paramètre, il consiste à tremper la sonde dans le récipient de l'échantillon, laissé stabiliser un moment, puis noter les résultats.



Figure 15 - multi paramètres de terrain (EXTECH Instrument EC 510).

La turbidité a été mesurée au laboratoire de l'ADE avec un turbidimètre de type HACH 2100N. Il consiste à remplir sa cuve avec l'échantillon soigneusement agité et faire la lecture en prenant la plus grande valeur.



Figure 16 - turbidimètre HACH 2100(laboratoire de l'ADE).

- **Principe de la méthode**

La détermination de la turbidité mesure une propriété optique de l'échantillon d'eau qui résulte de la dispersion et de l'absorption de la lumière par les particules de matières en suspension présentes dans l'échantillon. La quantité de la turbidité mesurée dépend des variables telles que la taille, la forme et les propriétés de réfraction des particules.

- **Matériels**

- Cuvette d'évaluation de la transparence constituée d'une cuvette de verre incolore de 50mm de diamètre ;
- turbidimètre HACH 2100.

II.9.1.2.Les paramètres chimiques

- ✓ **Détermination du calcium (Ca^{2+}) et du magnésium (Mg^{2+})**

- **Principe**

Titration molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA) à pH10. Le noir ériochrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur. Lors du titrage avec l'EDTA la solution vire au bleu (mode opératoire, voir l'annexe I).

Ca^{2+} - Titration des ions calcium avec une solution aqueuse de l'EDTA à un PH compris entre 12 et 13.L'indicateur utilisé est le murexide, qui forme un complexe rose avec le calcium. Lors de titrage, l'EDTA réagit avec les ions calcium, l'indicateur vire alors de la couleur rose à la couleur violet (mode opératoire, voir l'annexe I).

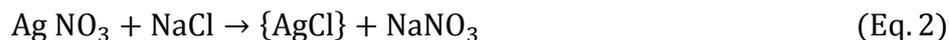
- **Matériels**

- Burette utilisé pour l'EDTA.
- Matériel courant de laboratoire - fiole, bécher.

✓ Détermination des chlorures (Cl⁻) (méthode de Mohr)

• Principe

Réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation. (Mode opératoire, voir l'annexe II).



• Matériels

-Burette

-Matériel courant de laboratoire - fioles, pipettes, bécher.

✓ Détermination des Sulfates (SO₄²⁻)

• Principe

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum En présence de Ba Cl₂ (mode opératoire, voir l'annexe III).



• Matériels

-Agitateur magnétique

-Matériel courant de laboratoire - fioles, pipettes, bécher.

-Spectrophotomètre UV Visible.

✓ Détermination de l'alcalinité (HCO₃⁻)

• Principe

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bicarbonates (HCO₃⁻), carbonates (CO₃²⁻) et hydroxydes (OH⁻). La détermination des volumes successifs d'acide chlorhydrique fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de pH = 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC) (mode opératoire voir l'annexe IV).

• Matériels

-Burette automatique

-Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, bécher.

-Agitateur magnétique

✓ Dosage des nitrites (NO_2^-)

• Principe

Les nitrites réagissent avec le Sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui, après copulation avec le N1 Naphtyléthylènediamine dichlorure donne naissance à une coloration rose mesurée à 543nm (mode opératoire voir l'annexe V).

• Matériels

- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles, pipettes).
- Spectrophotomètre UV-Visible

✓ Dosage des nitrates (NO_3^-) (Méthode au salicylate de sodium)

• Principe

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosionate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique (mode opératoire voir l'annexe VI)

• Matériels

- Etuve.
- Spectrophotomètre U.V visible.
- Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, bécher.

✓ Détermination de l'azote ammoniacal (NH_4^+)

• Principe

Mesure spectrométrique à environ 655nm du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium (mode opératoire voir l'annexe VII).

• Matériels

- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles, pipettes).
- Spectrophotomètre UV-Visible.

✓ Détermination du fer méthode à l'orthophénanthroline

Addition d'une solution de phénanthroline 1,1 à une prise d'essai et mesure photométrique du complexe rouge-orange à une longueur d'onde de 510nm.

Pour le dosage du fer total et du fer total dissous, du chlorhydrate d'hydroxylamine est ajouté pour réduire le Fe^{3+} en Fe^{2+} (mode opératoire voir l'annexe VIII).

• Matériels

- Etuve.
- Spectrophotomètre U.V visible.
- Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, bécher.

✓ Dosage des éléments traces métalliques par spectrométrie d'absorption atomique (SAA)

Les éléments traces métalliques ont été analysés avec le spectromètre d'absorption atomique en flamme (SAA) se trouvant au niveau du laboratoire de Génie des procédés (Université de Bejaia). Les paramètres analysés dépendent de la disponibilité des lampes. Ils sont au nombre de quatre : le plomb, le zinc, le cadmium et cuivre. Faute de disponibilité de matériel adéquat, le sodium et le potassium ont été analysés avec le SAA se trouvant au niveau de l'ADE à Tizi Ouzou.

• Principe de la méthode

Le principe de base de cette méthode repose sur la mesure d'absorption d'une radiation lumineuse par une substance ramenée à l'état d'atomes libres. Cette absorption est proportionnelle à la concentration en cation contenue dans l'échantillon d'eau.



Figure 17- Le spectromètre d'absorption atomique en flamme AA6501F / Shimadzu du Laboratoire de Génie des procédés, Université de Bejaia.

II.9.2. Méthode hydro chimique

Pour pouvoir analyser d'importantes données obtenues et en sortir le plus d'informations en peu de temps il a fallu utiliser des outils efficaces et rapides.

Le principal outil utilisé est le logiciel Diagrammes (voir interface de commande dans la figure 17) élaboré par Roland Simler en 2013, du laboratoire d'Hydrogéologie D'Avignon. C'est un logiciel d'hydrochimie en distribution libre facilitant l'exploitation d'analyse d'eau et consultable sur le site www.lha.univ-avignon.fr/LHA-Logiciels.htm. Ces fonctions sont variées et complètes, en voici quelques-unes :

- Les diagrammes de Piper ;

- Le diagramme de Schoeler ;
- Diagramme de Wilcox.

Toutes les fonctionnalités n’ont pas été utilisées. Mais ce logiciel s’avère être simple d’utilisation. De ce fait, le diagramme de Piper et de Scholler ont été établis grâce à ce logiciel. Phreeqc est utilisé pour déterminer les indices de saturation avec PH à saturation.

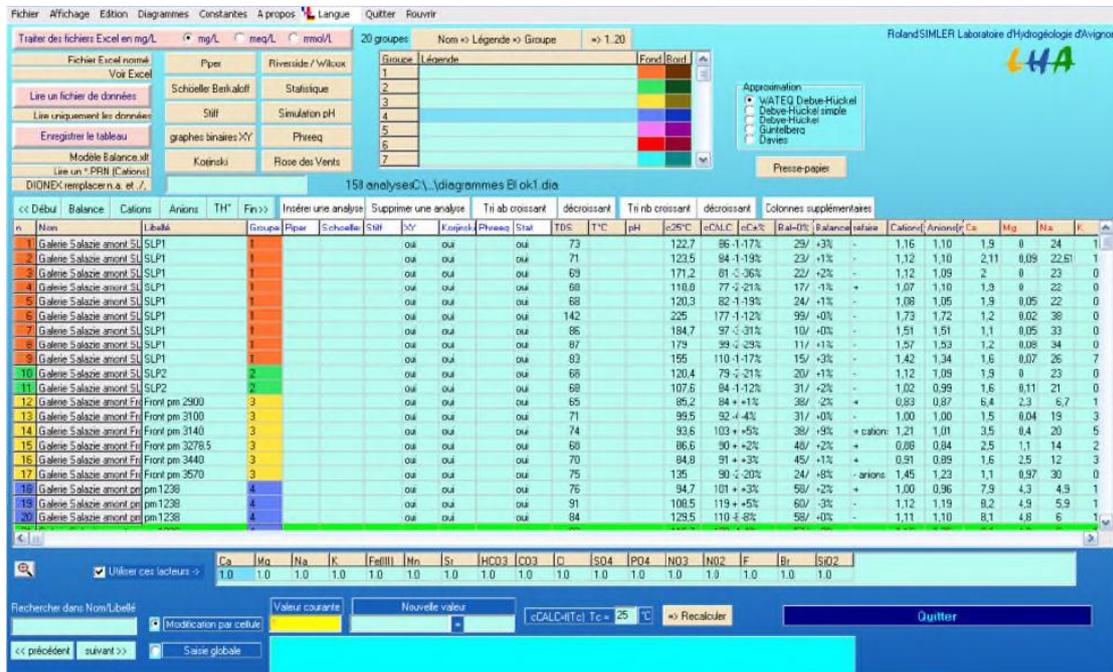


Figure 18- Interface de commande du logiciel Diagramme.

II.9.3. Analyse bactériologiques

L’objectif de l’analyse bactériologique d’une eau n’est pas d’effectuer un inventaire de toutes les espèces présentes, mais de rechercher soit celles qui sont susceptibles d’être pathogènes, soit celles qui sont indicatrices de contamination fécales. La méthode utilisée est celle de la membrane filtrante.

- **Principe de la méthode**

La méthode utilisée c’est le dénombrement par filtration sur membrane qui retient les microorganismes. Après avoir filtré sous vide 100 ml de l’échantillon sur une membrane millipore stérile, dont la porosité est de 0,45 µm. Cette dernière est déposée sur le milieu de culture spécifié pour chaque germe recherché, puis incubé dans la température optimale pour la multiplication des germes. Durant l’incubation, des colonies se forment à la surface de la membrane.

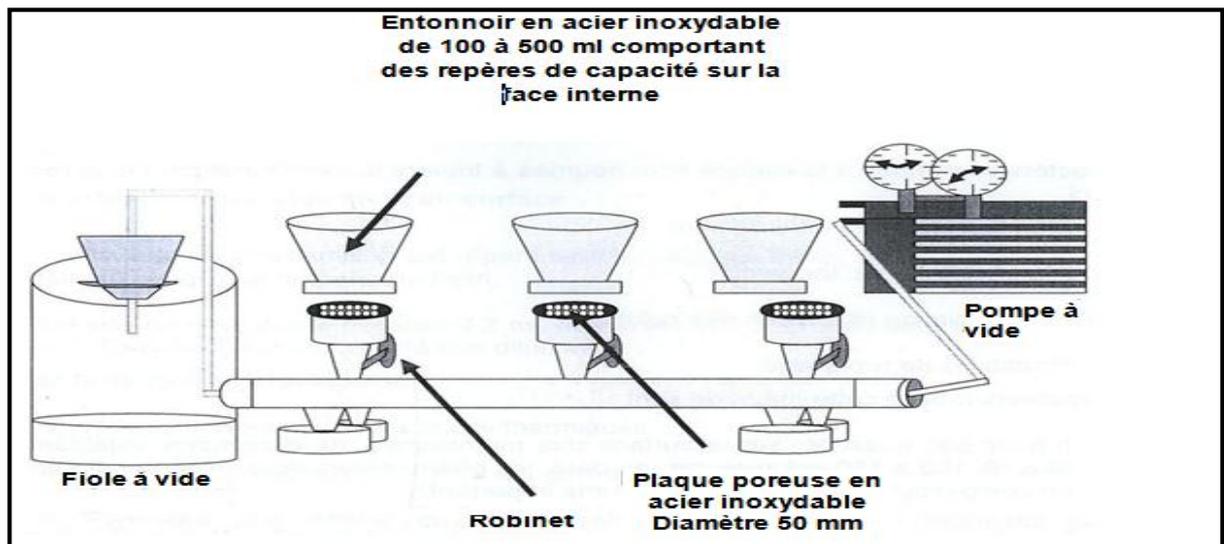


Figure 19-Appareille filtration utilisé pour les analyses bactériologiques (ADEUB, 2016).

➤ **Germes recherchés**

Nous avons effectué pendant notre travail la recherche des germes indicateurs de pollution qui sont :

- **Les microorganismes revivifiables (germes totaux)**

- **Mode opératoire**

- Prendre 2ml de l'échantillon avec une pipette pasteur ;
- Déposer 20 gouttes dans une boîte de pétrie ;
- Ensemencer en masse avec le TGEA (Tryptone Glucose Extract Agar) et mélanger en faisant des gestes en huit (faire deux boîtes pour chaque échantillon)
- Incuber une boîte à 22 °C pendant 72h et l'autre boîte à 37°C pendant 48h.

- **Recherche des coliformes totaux et des streptocoques totaux**

- **Mode opératoire**

- Stériliser les réservoirs de la rampe à filtration

- Déposer les filtres de 0.45 μm sur les filtres des réservoirs
- Verser 100 ml de chaque échantillon dans les réservoirs et allumer la pompe pour évacuer l'eau à l'extérieur des réservoirs
- Récupérer les filtres avec une pince stérilisée et les déposés dans les boites de pétrie de 5cm de diamètre contient les milieux de culture spécifique. Le Tergitol pour les coliformes totaux et le Slanetz pour les streptocoques fécaux.
- Incuber à 37°C pendant 48h.

➤ Test de confirmation

Dans le cas de formation de colonies jaunes-oranges qui indique la présence des coliformes totaux, il faut faire un repiquage dans le milieu de Schubert (5 tubes) et incuber à 44°C pendant 24h. Ajoutant 2 à 3 gouttes du réactif de Kowacs. La présence d'une coloration rouge à la surface du bouillon et un gaz dans la cloche indique la présence d'*Escherichia coli*.

• Test à l'oxydase

Pour les besoins de ce test, il faut effectuer tout d'abord un repiquage sur gélose TSA à la caséine de 5 à 10 colonies, à incuber à 37°C pendant 24 heures, formation des colonies blanchâtre, puis effectuer le test selon le schéma suivant :

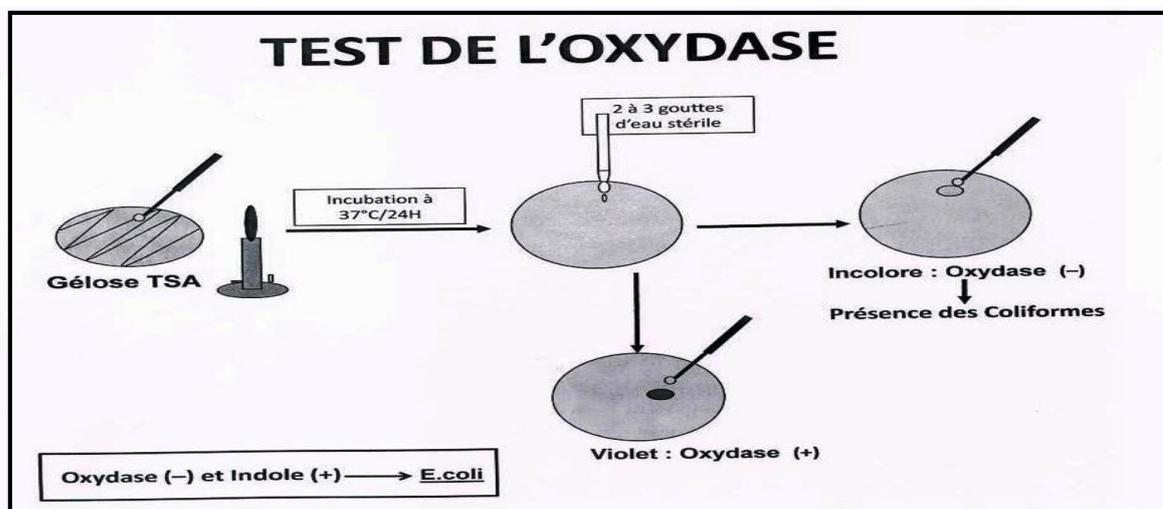


Figure 20 - présentation schématique de test de l'oxydase (ADEUB, 2016).

Après la période d'incubation spécifiée pour les Streptocoques totaux apparaissent sous forme de petites colonies lisses légèrement bombées à contours réguliers et pigmentées en rouge, marron ou rose. Transférer aseptiquement la membrane du milieu de Slanetz sur une plaque de gélose Bile esculine azoture (BEA) préchauffée préalablement à 44°C. Cette dernière sera incubée à son tour à 44°C pendant 2 heures.

Les colonies caractéristiques prennent alors une coloration noire indique la présence des Streptocoques après Compter le nombre de colonies.

CHAPITE III

Résultats et discussions

III.1.Coordonnéesgéographique des sites de prélèvement

Les caractéristiques des stations de prélèvement sont illustrées dans le tableau VII.

Tableau VII-Caractéristiques des stations de prélèvement.

Sources		Coordonnées Lambert		
Nom des sources	Désignation Des points	X*	Y*	Z**
Source kefrida	A1	E005°22'.6.14''	N36°38'.39.5''	312m
Source Bleue	A2	E005°16'.9.45''	N36°32'.4.55''	166m
Source tarachoucht	A3	E005°21'.8.32''	N36°37'.6.69''	+5m
Source Bzida	A4	E005°20'.8.45''	N36°35'.1.05''	230m

X et Y*- longitude et latitude en degrés-minutes-secondes, Z**- altitude en mètres*

III.2. Localisation et caractéristiques des sources étudiées

Les quatre sources étudiées sont situées dans le bassin versant de l’oued Agrioun. La source kefrida(A1) et la source bleue(A2) sont situées dans la commune Taskriout. La source Tarachoucht(A3) se situe dans la commune de souk el Ténine et enfin la source Bzida(A4) est située au niveau de la commune de Tamridjet (fig.20).



a)Source Bzida

b) Source Tarachoucht

c) Source Kefrida

d) Source bleue

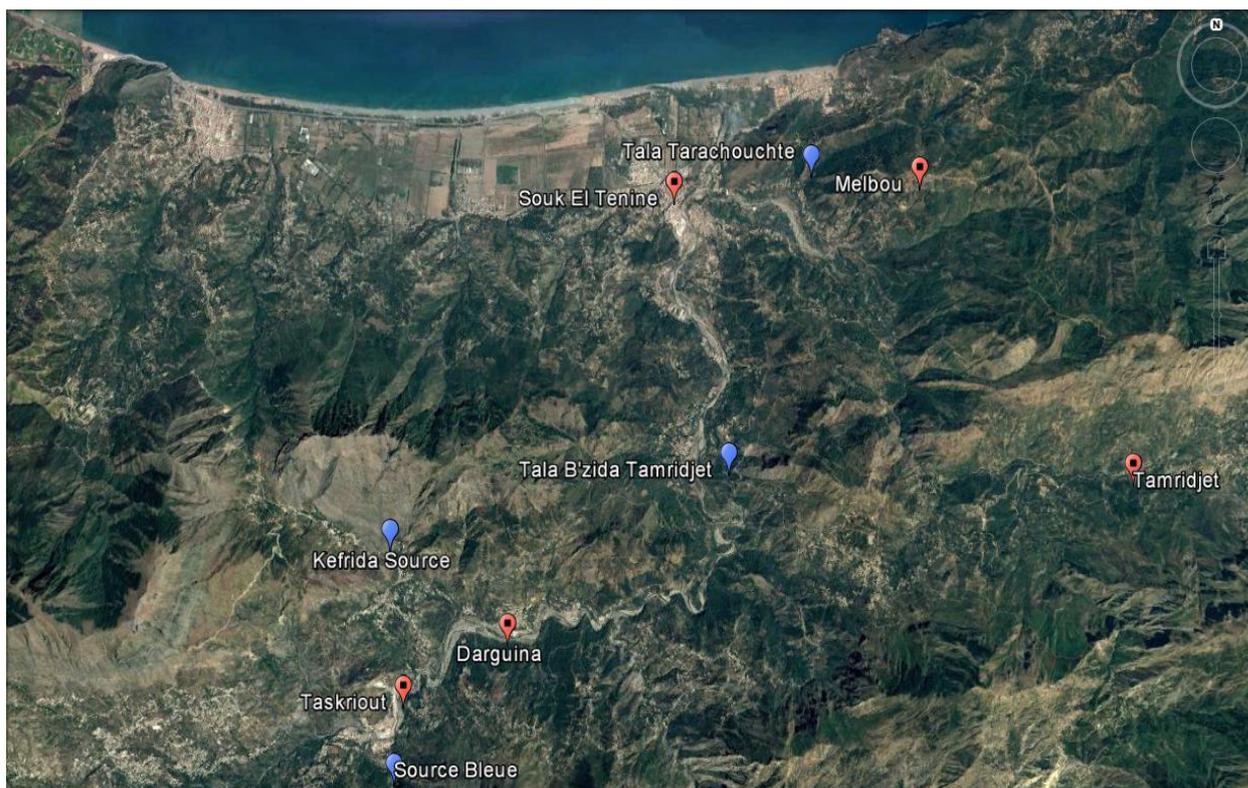


Figure 21-Localisation géographique des sites de prélèvement.

III.3. Résultats des analyses physico-chimiques

➤ 1^{ère} campagne

Tableau VIII- Résultats des analyses physiques et des ETM de la 1^{ère} campagne.

	Paramètres physiques							ETM				
	T	pH	CE	S	TDS	Trb	Pb	Zn	Cd	Fe	Cu	
Unité	C°	-	μS/cm	mg/l	mg/l	NTU	μg/l	mg/l	μg/l	mg/l	mg/l	
Normes	25	6,5-9	2800	50	1400	5	10	5	3	0,3	1	
A1	17,05	7,22	469	231	280	0,674	0	0	0	0,028	0	
A2	16,3	7,59	784	400	484	0,223	0	0	0	0,091	0	
Moy	16,7	7,4	626,5	315,5	382	0,448	0	0	0	0,059	0	
A3	16,7	6,64	746	361	422	0,461	0	0	0	0,309	0	
A4	17	6,39	460	226	273	0,481	0	0	0	0,188	0	
Moy	16,85	6,51	603	293,5	347,5	0,471	0	0	0	0,248	0	

Tableau IX- Résultats des analyses électrochimiques de la 1^{ère} campagne.

	Elements	Unité	Normes*	Sources			
				A1	A2	A3	A4
Anions	Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	mg /l	-	197,6	275,7	353,8	197,6
	Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg /l	400	27,62	69,14	86,37	59,77
	Chlorures (Cl ⁻)	mg /l	500	29,46	47,14	58,93	20,62
	Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg /l	50	0,48	0,53	0	0,18
Cations	Nitrites (NO ₂ ⁻)	mg /l	0,2	0,009	0,009	0,007	0,005
	Calcium (Ca ²⁺)	mg /l	200	48	80	124,8	86,4
	Magnesium (Mg ²⁺)	mg /l	150	16,5	30,008	19,36	37,17
	Sodium (Na ⁺)	mg /l	200	4	7	7	68
	Potassium (K ⁺)	mg /l	12	0,5	1	1	0,3
	Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg /l	0,5	0	0	0,006	0,013
	Titre alcalimétrique(TA)	mg /l	-	0	0	0	0
		Caco ₃					
	Titre alcalimétrique complet(TAC)	mg /l	500	162	226	290	162
		Caco ₃					
Titre hydrotimétrique(TH)	mg /l	500	188	324	392	240	
	Caco ₃						

**les normes utilisées sont les normes algériennes se trouvant sur un dépliant édité par l'ADE, 2017.*

➤ 2^{ème} campagne

Tableau X-Résultats des analyses physique et des ETM de la 2^{ème} campagne.

	Paramètres physiques						ETM				
	T	pH	CE	S	TDS	Trb	Pb	Zn	Cd	Fe	Cu
Unité	C°	-	µS/cm	mg/l	mg/l	NTU	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l
Normes	25	6,5-9	2800	50	1400	5	10	5	3	0,3	1
A1	18.6	7.2	374	224	228	0.249	0	0	0	0	0
A2	21.3	7.2	765	391	383	0.240	0	0	0	0	0
Moy	19.9	7.2	569	307.5	611	0.240	0	0	0	0	0
A3	17.8	7.6	770	226	462	0.169	0	0	0	0,136	0
A4	17	7.55	455	221	270	0.306	0	0	0	0,084	0
Moy	17.4	7.57	612.5	222	366	0.237	0	0	0	0,11	0

Tableau XI- Résultats des analyses électrochimiques de la 2^{ème} campagne.

	Elements	Unité	Normes*	Sources			
				A1	A2	A3	A4
Anions	Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	mg /l	-	244	326.96	207.4	351.36
	Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg /l	400	36.05	85.91	43.77	37.64
	Chlorures (Cl ⁻)	mg /l	500	29.46	58.93	26.99	43.18
	Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg /l	50	0.97	0.84	0.398	0.266
Cations	Nitrites (NO ₂ ⁻)	mg /l	0,2	0.01	0.006	0.007	0.007
	Calcium (Ca ²⁺)	mg /l	200	62.4	83.2	88	136
	Magnesium (Mg ²⁺)	mg /l	150	20.33	29.04	24	33.6
	Sodium (Na ⁺)	mg /l	200	23	29.5	6	8.7
	Potassium (K ⁺)	mg /l	12	2	1	1	1
	Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg /l	0,5	0	0	0	0
	Titre alcalimétrique(TA)	mg /l Caco ₃	-	0	0	0	0
	Titre alcalimétrique complet(TAC)	mg /l Caco ₃	500	200	268	170	288
	Titre hydrotimétrique(TH)	mg /l Caco ₃	500	240	328	320	480

**les normes utilisées sont les normes algériennes se trouvant sur un dépliant édité par l'ADE, 2017.*

III.4. Discussions des analyses physico-chimiques

III.4.1. Température

Le suivi de la température dans les quatre sources étudiées montre qu'il y a une augmentation durant la période d'étude entre les deux campagnes (Fig. 21). Lors de la 1^{ère} campagne (Mars), la température au niveau (A1) est 17.05°C et 16.3°C à (A2) et 16.7°C à (A3) et 17°C à (A4). Lors de la 2^{ème} campagne (mai), la température est de 18.6 °C à (A1) et de 21.3 °C à (A2) et de 17.8°C à (A3) et de 17.2°C à (A4).

L'augmentation des températures à la 2^{ème} campagne pourrait être expliquée par la variation saisonnière.

D'une façon générale pour un milieu aquatique la température des eaux superficielles sont influencée par celle de l'air, et ceci d'autant plus que la profondeur est faible. Elle dépend de l'altitude, de la saison, de l'heure et du débit (Rodier, 1996).

Les températures des eaux enregistrées durant la période de prélèvement ne dépassent pas la norme algérienne requise pour les eaux de consommation (25°C).

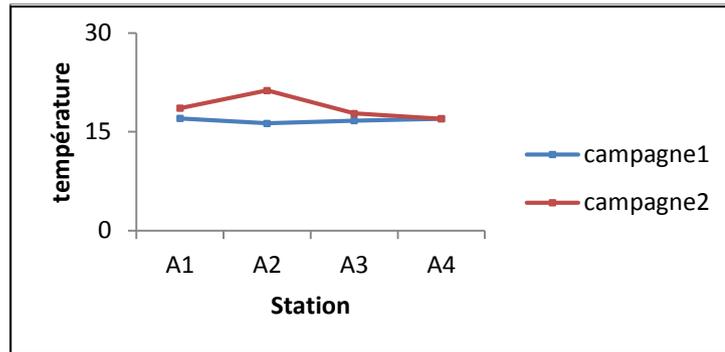


Figure 22-variation de la température de l'eau des sources étudiées.

III.4.2. Le Potentiel d'hydrogène

Les valeurs observées révèlent que le pH est autour de la neutralité dans toutes les sources lors des deux campagnes de prélèvement. Les variations du potentiel d'hydrogène sont illustrées dans la figure 22. Durant la 1^{ère} campagne, le pH est de 7.22, 7.59, 6.64 et 6.39 au niveau des sources A1, A2, A3 et A4 respectivement. Durant la 2^{ème} campagne le pH est de 7.2, 7.6, 7.6 et 7.55 A1, A2, A3, A4 respectivement.

Cette variation pourrait être expliquée par la nature géochimique des roches affleurant dans le bassin versant et l'activité anthropique. Le pH dépend en grande partie de l'effet tampon des terrains traversés qui sont en majorité des terrains calcaires et dépend également de la nature des rejets qui y sont déversés.

Les valeurs enregistrées sont conformes à la norme algérienne (6,5 - 9).

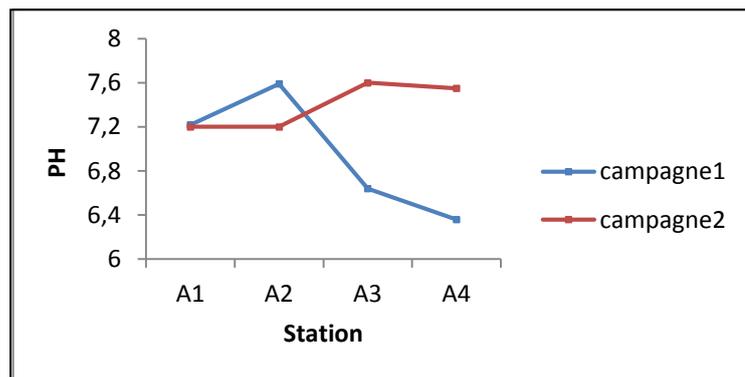


Figure 23-Variation du pH de l'eau des sources étudiées.

III.4.3. Salinité

La figure 23 représente les variations de la salinité des eaux des sources étudiées. La variation de la salinité entre les deux campagnes de prélèvement est très faible et presque constante.

Les valeurs de la salinité des eaux des quatre sources varient entre 221 et 400mg/l; la valeur maximale a été enregistrée dans la source A2 (400mg/l) et la valeur minimale enregistrée est de 221mg/l dans les sources A1 et A4.

Les valeurs de la salinité sont toutes supérieures à la norme fixée par l'OMS qui est de 50mg/l.

La variation de la salinité pourrait être due aux rejets des eaux usées domestiques et/ou industrielles (origine anthropique). Elle pourrait également provenir de la dissolution des terrains salifères (origine naturelle).

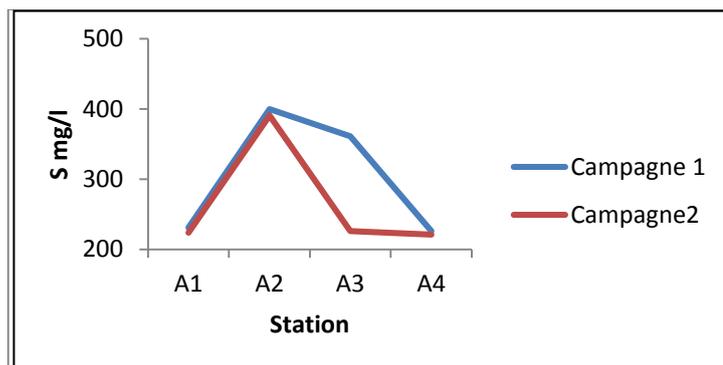


Figure 24-Variation de la salinité de l'eau des sources étudiées.

III.4.4. Conductivité électrique

Les résultats de la conductivité sont illustrés dans la figure 24 ; La conductivité électrique de la 1^{ère} campagne varie entre 469, 784, 746 et 460 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour A1, A2, A3 et A4 respectivement. Lors de la 2^{ème} campagne, elle varie entre 374, 765, 770 et 455 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour A1, A2, A3 et A4 respectivement.

La diminution de la conductivité est pour chaque source sauf la source A3. L'explication de cette diminution peut résider dans la dilution des eaux par l'apport des eaux pluviales. Cette variation de la conductivité indique qu'il y a une minéralisation importante, ceci pourrait être expliqué par la nature géochimique des roches traversées par les eaux dans cette région.

Les valeurs de la conductivité répondent à la norme exigée (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

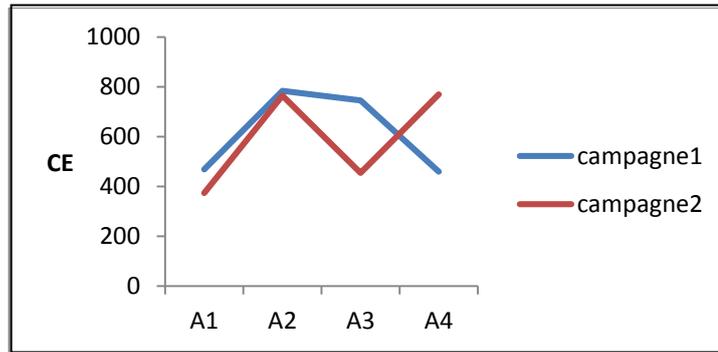


Figure 25 -Evolution de la conductivité de l’eau des sources étudiées.

Tableau XII -Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique (Rodier, 1984).

Conductivité électrique	Taux de minéralisation
CE < 100 µs /cm	Minéralisation très faible
100 < C.E < 200 µs /cm	Minéralisation faible
200 < C.E < 333 µs / cm	minéralisation moyenne
333 < C.E < 666 µs / cm	Minéralisation moyenne accentué
666 < C.E < 1000 µs/ cm	Minéralisation importante

Selon le tableau XII, les sources A1 et A4 ont un taux de minéralisation moyen accentué alors qu’en A2 et A3, la minéralisation est importante.

III.4.5.Total des solides dessous (TDS)

Lors des deux campagnes de prélèvement, la variation du TDS est très faible ; Les résultats de TDS sont illustrés dans la figure 25. Il évolue dans le même sens que la conductivité électrique. Les teneurs enregistrés pour le TDS lors de la 1^{ère} campagne varient entre 280 pour A1 et 484 pour A2 et 422 pour A3 et 273 pour A4. Lors de la 2^{ème} campagne, elles varient entre 228 en A1 et 383 en A2 et pour A3 et A4, les valeurs sont de 462 et 270 respectivement. Les valeurs du TDS sont conformes à la norme fixée par l’OMS qui est de 1400 mg/l. Le TDS pourrait provenir de la dissolution des roches carbonatées (origine naturelle), ou des eaux usées industrielles (origine anthropique).

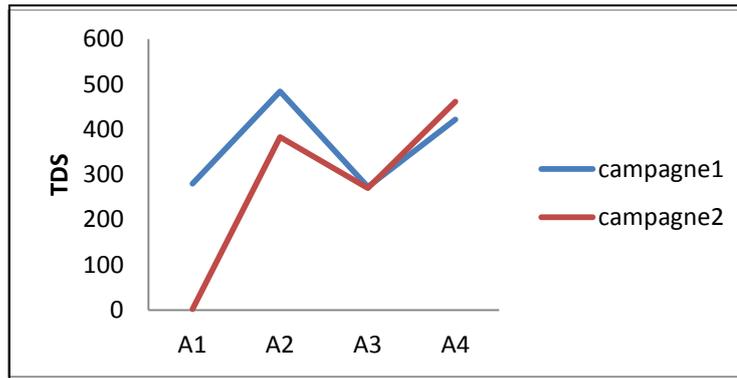


Figure 26-Variation de TDS de l'eau des sources étudiées.

III.4.6.La turbidité

La mesure de la turbidité dans les quatre sources étudiées lors des deux campagnes est illustrée dans la figure 26. Pendant la 1^{ère} campagne, les turbidités mesurées en A1 et A2 sont de 0.674 et 0.223 NTU alors qu'en A3 et A4, elles sont 0.461 et 0.481 NTU, respectivement. Quant à la 2^{ème} campagne, en A1 et A2, nous enregistrons des valeurs de 0.249 et 0.240 NTU. Les mesures en A3 et A4 sont de 0.169 et 0.306 NTU, respectivement.

Hormis pour la source, toutes les autres sources ont une turbidité qui diminue des mois de Mars à Mai. La diminution des valeurs pourraient être expliquées par l'absence de matières en suspension. Dans les eaux naturelles la turbidité est causée par la présence des matières en suspension fines (argile, limon, grains de silice et les micro-organismes) (Rejsek, 2002). La turbidité des eaux enregistrées durant la période de prélèvement ne dépassent pas la norme algérienne requise pour les eaux de consommation (5 NTU). Nous avons constaté que la turbidité des quatre sources était inférieure à 5 (NTU < 5), donc on peut classer cette eau comme une eau claire.

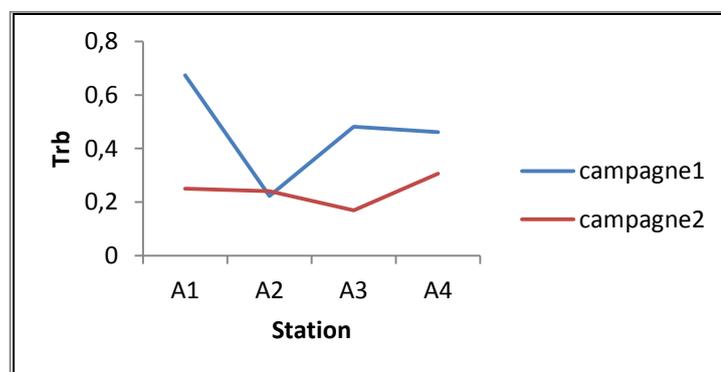


Figure 27 - Variation de la turbidité de l'eau des sources étudiées.

III.4.7.Cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , k^+)

III.4.7.1.Calcium (Ca^{2+})

Les résultats des analyses des sources étudiées montrent que les concentrations en Calcium varient entre 48 mg/l et 124.8mg/l pour la 1^{ère} campagne et entre 62.4 mg/l et 136 mg/l pour la 2^{ème} campagne (fig.27).

Les teneurs obtenues pourraient être expliquées par une présence importante de cet élément dans les roches calcaires qui couvrent en grande partie la région d'étude. Cet élément pourrait provenir essentiellement de la dissolution des roches carbonatées suite à la présence du gaz carbonique. Le calcium pourrait provenir également des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4 - 2\text{H}_2\text{O}$), qui sont facilement solubles selon l'équation suivante :



Les teneurs en calcium sont inférieures à la norme algérienne qui est de 200 mg/l.

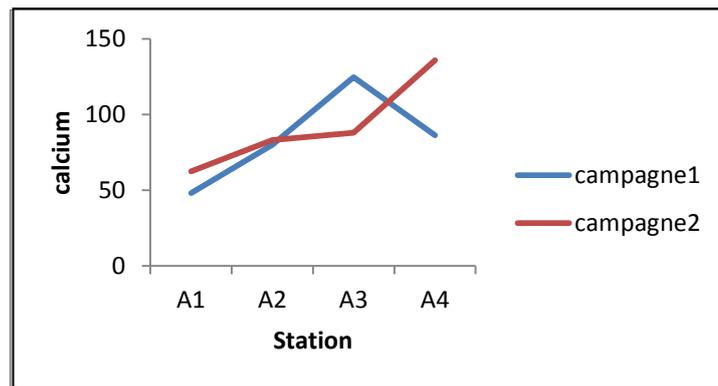


Figure28-représentation graphique du Ca^{2+} .

III.4.7.2.Magnésium (Mg^{2+})

Lors des deux campagnes de prélèvement, nous avons remarqué que la variation des teneurs en magnésium est très faible entre les stations (fig.28). Les teneurs en magnésium lors de la 1^{ère} campagne varient entre 16.5 et 30.0mg/l. Elles varient de 20.33à 33.6 mg/l lors de la 2^{ème} campagne. La moyenne est de 25,83 mg/l. Cette fluctuation pourrait être expliquée par la nature du sol et des roches traversés. Le magnésium est l'élément qui accompagne souvent le calcium, et provient de la dissolution des formations carbonatées (dolomite).

Les concentrations de toutes les stations sont conformes à la norme algérienne fixée à 150 mg/l.

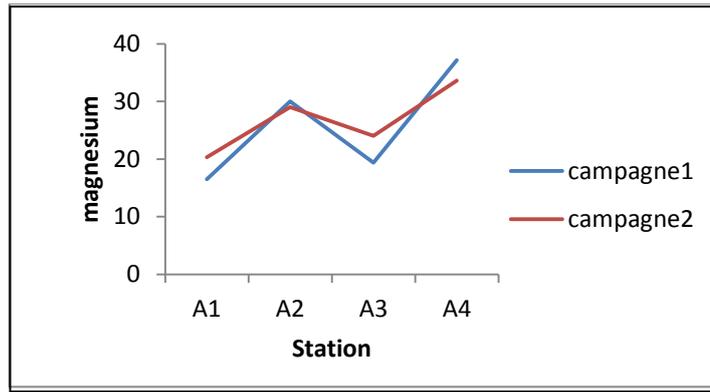


Figure 29- Représentation graphique du Mg^{2+} .

III.4.7.3. Sodium (Na^+)

Lors des deux campagnes de prélèvement, nous avons remarqué une très faible variation des teneurs en sodium entre les stations. Dans la figure 29, les résultats varient entre 4 et 68mg/l pour la 1^{ère} campagne et entre 6 et 9.5 mg/l pour la 2^{ème} campagne.

Ces faibles concentrations pourraient être expliquées par l'appauvrissement des sols et des terrains traversés par ces eaux. La dissolution des sels par lessivage des terrains salifères pourrait augmenter la teneur en sodium dans les cours d'eaux (origine naturelle).

Les teneurs en sodium dans les échantillons d'eaux sont nettement inférieures à la norme algérienne (200 mg/l).

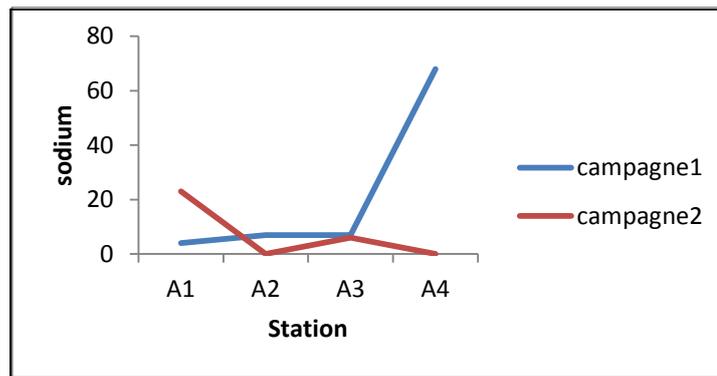


Figure 30- Représentation graphique du Na^+ .

III.4.7.4. Potassium (K^+)

Lors des deux campagnes de prélèvement, nous avons remarqué une faible variation des teneurs en potassium entre les stations. Les teneurs en potassium lors de la 1^{ère} campagne varient entre 0.3 et 0.5 mg/l (Tab.IX). Elles varient de 1 à 2 mg/l lors de la 2^{ème} campagne (Tab.XI). Le potassium pourrait résulter de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés

massivement par les agriculteurs. La présence de cet élément pourrait être également liée au déversement des eaux usées domestiques (origines anthropiques).

Les teneurs en potassium sont inférieures à la norme fixée par l'OMS qui est de 12 mg/l.

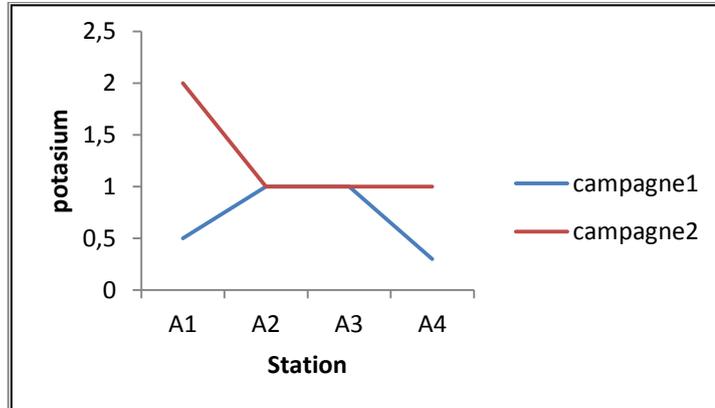


Figure31-représentation graphique du K^+ .

III.4.7.5.L'ammonium NH_4^+

Les résultats des analyses sont montrés des concentrations en ammonium variant entre 0.006 et 0.013mg/l pour la 1^{ère} campagne. Quant à la 2^{ème} campagne, toutes les valeurs sont nulles pour l'ensemble des stations.

Cette augmentation pourrait être expliquée par la présence d'une décomposition de matières azotées. Les ions ammonium des eaux superficielles résultent par la décomposition des déchets végétaux et animaux. Ils se transforment rapidement en nitrites et en nitrates par l'oxydation. Les eaux profondes peuvent également se charger en ammonium par réduction des nitrates sous l'action de bactéries (origine naturelle). Les concentrations obtenues sont conformes à la norme algérienne de potabilité fixée à 0.5 mg/l

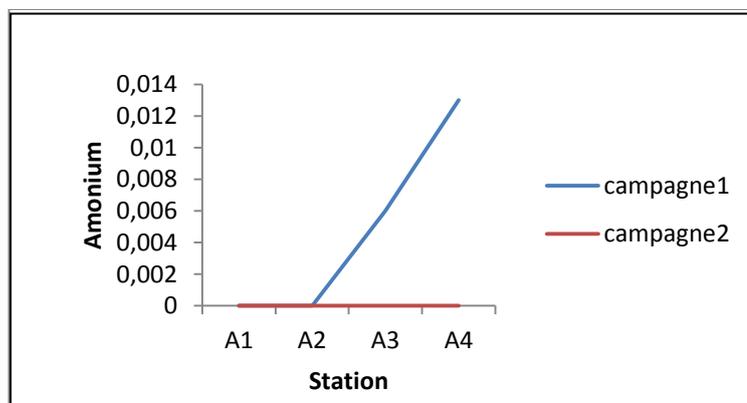


Figure32-représentation graphique du NH_4^+ .

III.4.8. Anions (Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃, NO₃)

III.4.8.1. Chlorures (Cl⁻)

Lors des deux campagnes de prélèvement, la variation des teneurs en chlorures entre les stations est faible (fig.32). Les résultats du tableau IX et XI montrent que la teneur en chlorures pour les deux campagnes est comprise entre 20.62 et 58.93mg/l. Les chlorures peuvent avoir une origine multiple. Ils peuvent provenir d'une action anthropique (déversement des eaux usées) et également de la dissolution des sels par lessivage des terrains salifères (origine naturelle). Les teneurs en chlorure enregistrées lors des deux campagnes de prélèvement sont conformes à la norme algérienne qui est de 500mg/l.

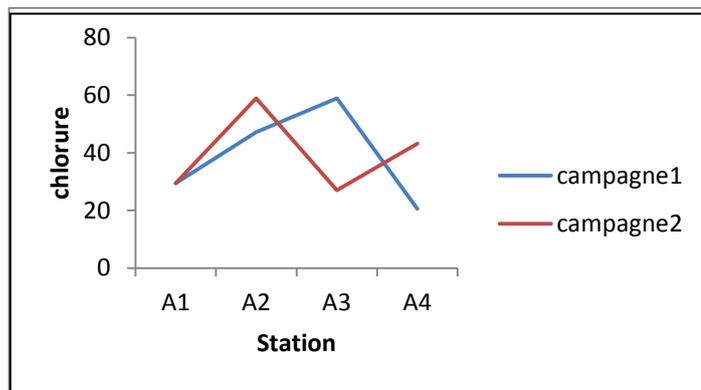


Figure33- représentation graphique du Cl⁻.

III.4.8.2. Sulfates SO₄²⁻

Les concentrations des sulfates varient entre 27, 62 et 86,37mg/l pour la 1^{ère} campagne et entre 36.05 et 85.91 mg/l pour la 2^{ème} campagne. Les résultats sont mentionnés dans la figure 33.

La présence des sulfates dans l'eau pourrait provenir de la solubilité des formations gypseuses dans le haut bassin versant ou du lessivage des dépôts de la nappe (origine naturelle). Ils ont aussi comme origine les rejets des eaux usées et industriels contenant de l'acide sulfurique (H₂SO₄) et l'utilisation des engrais chimiques (origine anthropique).

Les concentrations enregistrées sont toutes conformes à la norme algérienne qui est de 400mg/l.

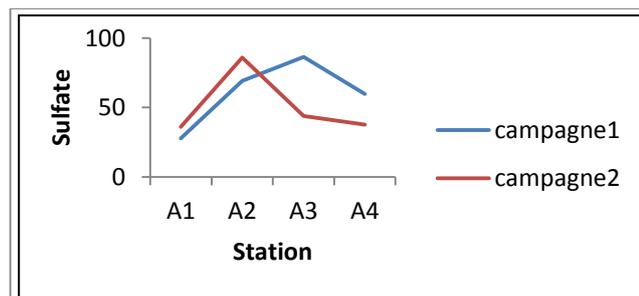


Figure34-représentation graphique SO₄²⁻.

III.4.8.3. Les bicarbonates (HCO₃⁻)

Les résultats des analyses varient entre 197,6 et 353,8mg/l pour la 1^{ère} campagne et entre 207.4 et 351.36mg /l pour la 2^{ème} campagne. La présence des bicarbonates dans l'eau est due essentiellement à la dissolution des formations carbonatées affleurant dans les monts du bassin, selon la réaction suivante :



Les teneurs en HCO₃⁻ ne sont pas très variables durant les deux campagnes. Cela pourrait être expliquée par le séjour identique de l'eau dans l'aquifère (Bouroubi 2009).

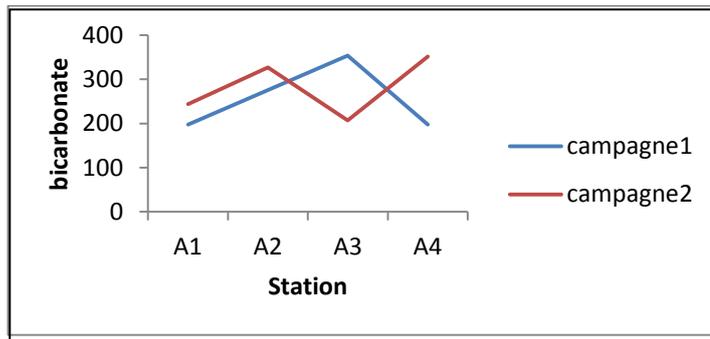


Figure35-représentation graphique du HCO₃⁻.

III.4.8.4. Nitrates (NO₃⁻²)

Lors des deux campagnes de prélèvement, nous avons remarqué une faible variation des teneurs en nitrates entre les stations. Lors de la 1^{ère} campagne, elle varie entre 0 et 0,53mg/let entre 0,266 et 0.97 mg/l pour la 2^{ème} campagne. Elles sont toutes des teneurs conformes à la norme fixée par l’OMS (50mg/l). Cela indique l’absence de toutes sources de pollution. Les nitrates constituent un excellent traceur de la qualité de L’eau.

Les nitrates pourraient provenir de la minéralisation de la matière organique (origine naturelle), des activités agricoles (engrais azotés) et des eaux usées domestiques (origine anthropique).

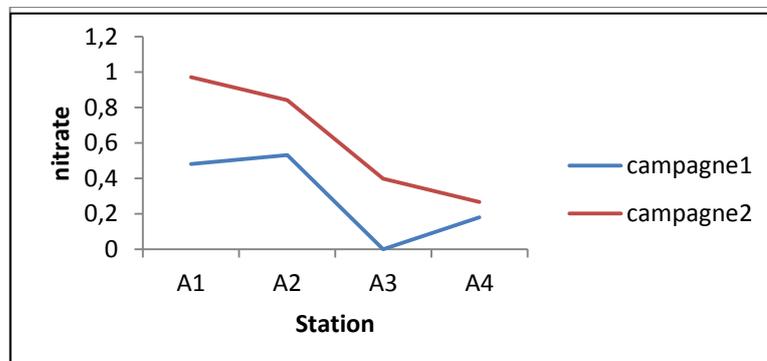


Figure36-représentation graphique du NO₃⁻².

III.4.8.5. Les nitrites NO_2^-

Lors des deux campagnes de prélèvement, la variation des teneurs en nitrites entre les stations est très faible. Les résultats des analyses montrent que les concentrations des nitrites lors de la 1^{ère} campagne varient de 0,005 à 0,009 mg/l (Tab. IX). Lors de la 2^{ème} campagne elles varient entre 0,006 et 0,01 mg/l (Tab. XI). La présence des nitrites d'origine naturelle est très rare. Ils sont répandus dans le sol, les eaux et les plantes mais en quantité relativement faible. Leur présence dans une eau naturelle pourrait être due à une oxydation incomplète de composés azotés (azote organique ou ammoniacal). Les nitrites pourraient provenir de la réduction des nitrates. Toutes les teneurs obtenues sont conformes à la norme algérienne de potabilité fixée à 0.2 mg/l.

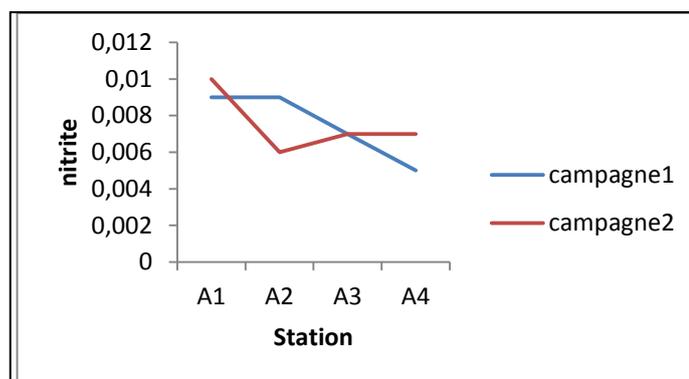


Figure 37-représentation graphique du NO_2^-

III.5. Discussion des éléments traces métalliques

Les concentrations en Cd, Pb, Cu et Zn sont nulles pour toutes les stations durant la 1^{ère} et la 2^{ème} campagne. Ces substances sont classées dangereuses prioritaires par la Directive Européenne 2000. L'absence de ces éléments dans les eaux des sources karstiques est due à la rareté des activités anthropiques polluantes dans ces zones, d'une part, et l'absence des principales sources d'émission du plomb, d'autre part. Cet élément aurait comme origine les industries du plomb (applications industrielles de zinc-imprimerie et teinture...etc.)(Boucheseicheet al.,2002).

➤ **Fer (Fe)**

Durant la 1^{ère} campagne la concentration en Fe est de 0.028,0.091, 0.309 et 0.188mg/l pour A1, A2, A3 et A4 respectivement. Lors de la 2^{ème} campagne la teneur en cet élément est nulle pour la source A1, A2 et de 0.136 et 0.084mg/l pour A3, A4. La présence du fer dans les eaux souterraines a plusieurs origines - le fer, sous forme de pyrites, FeS_2 , est couramment associé aux roches sédimentaires déposées en milieu réducteur (marnes, argiles) et aux roches métamorphiques. Il se trouve souvent à de fortes concentrations dans les eaux des cuirasses d'altérations de socles. Présent sous forme réduite Fe^{2+} , le fer est oxydé par l'oxygène de l'air et précipite sous forme ferrique lorsque l'eau est pompée. Les dalles de forages ou puits sont alors

colorées en brun/rouille et les populations se désintéressent parfois de la ressource car l'utilisation d'une eau chargée en fer pour la lessive colore le linge et, consommée directement ou sous forme d'infusion, peut avoir un goût prononcé (Boucheseiche *et al.* , 2002).

Les valeurs du Fe sont conformes à la norme fixée par l'OMS qui est de 0.3 mg/l.

III.6. Résultats des analyses bactériologiques

➤ 1^{ère} campagne

Tableau XIII- Résultats des analyses bactériologiques de la 1^{ère} campagne.

	Coliformes fécaux	E-coli	Streptocoques fécaux	Germe totaux à 37°C	Germe totaux à 22°C
Unité	UFC*/100ml	UFC/100ml	UFC/100ml	UFC /ml	UFC /ml
Norme	0	0	0	10	100
A1	5	absence	4	Ind	8
A2	0	absence	0	32	3
A3	0	absence	0	12	Ind
A4	0	absence	0	18	15

UFC - Unité Formation Colonial*

➤ 2^{ème} campagne

Tableau XIV - Résultats des analyses bactériologiques de la 2^{ème} campagne.

	Coliformes fécaux	E-coli	Streptocoques fécaux	Germe totaux à 37°C	Germe totaux à 22°C
Unité	UFC*/100ml	UFC/100ml	UFC/100ml	UFC /ml	UFC /ml
Norme	0	0	0	10	100
A1	0	absence	0	34	5
A2	0	absence	0	0	4
A3	0	absence	0	4	7
A4	0	absence	40	5	82

UFC - Unité Formation Colonial*

III.7. Discussion des analyses bactériologiques

➤ 1^{ère} campagne

L'analyse de l'eau prélevée en A1 révèle la présence des coliformes fécaux (5UFC /100ml), de streptocoques fécaux(4UFC /100ml)avec l'absence d'E-coli. La présence des coliformes fécaux et des streptocoques indique une contamination fécale ancienne. Cette contamination pourrait être expliquée par la présence des animaux autour de la source. Les germes totaux sont indénombrable à 37°C avec (8UFC /ml) à 22°C.Donc l'eau de cette source nécessite une chloration.

A2présente une bonne qualité bactériologique vu l'absence des germes indicateurs de la contamination fécale. La présence de quelques germes totaux à 37°C (32 UFC/ml) et 3UFC/ml à 22°C ne poserait aucun risque sur la santé humaine.

Les résultats pour A3 et A4 montrent que l'eau des deux sources a une bonne qualité bactériologique. Les coliformes fécaux et les Streptocoques fécaux sont absents dans les deux sources. Les germes totaux à 37°C en A3, A4 (12UFC/ml, 18UFC/ml) et à 22°C pour A3 et A4 (à 15 UFC/ml) sont indénombrables. L'eau des deux sources nécessite une chloration.

➤ 2^{ème} campagne

Les résultats de la 2^{ème} campagne montrent que l'eau des trois sources A1, A2 et A3 ont une bonne qualité bactériologique malgré la présence de quelques germes à 37 et 22°C. Il n'y a aucun risque sur les consommateurs.

L'eau en A4 montre l'absence des coliformes fécaux et présence des streptocoques fécaux 40UFC/100ml avec une absence d'E-coli. Ce résultat révèle une contamination fécale ancienne. Cette contamination pourrait être expliquée par la présence des déchets à côté de la source. Les germes totaux se présentent à 37°C 5UFC/100ml, et 82 UFC/100ml à 22°C. Donc l'eau de cette source nécessite une chloration.

III.8. Résultats des analyses hydrochimiques

Le logiciel Diagramme permet de faire, en plus de la modélisation géochimique permettant d'obtenir les indices de saturation, un certain nombre de diagrammes permettant de caractériser les eaux analysées.

III.8.1. Résultats des indices de saturation

➤ 1^{ère} campagne

Tableau XV- Résultats des indices saturation de la 1^{ère} campagne.

Indice saturation	Stations du prélèvement			
	A1	A2	A3	A4
IS Calcite	-0.36	0.30	-0.36	-1
IS Dolomite	-0.95	0.41	-1.29	-2.12
IS Gyps	-2.25	-1.74	-1.49	-1.79
IS Aragonite	-0.51	0.15	-0.51	-1.15
IS Anhydrite	-2.50	-1.98	-1.74	-2.03

Tableau XVI- Résultats du pH à saturation de la 1^{ère} campagne.

PH à saturation	Stations du prélèvement			
	A1	A2	A3	A4
Calcite	7.56	7.25	6.96	7.36
Aragonite	7.71	7.40	7.11	7.51
Dolomite	7.96	7.64	7.54	7.71

➤ 2^{ème} campagne

Tableau XVII- Résultats des indices saturation de la 2^{ème} campagne.

Indice saturation	Stations du		prélèvement		
	A1	A2	A3	A4	
IS Calcite	-0.18	0.06	0.27	0.59	
IS Dolomite	-0.58	-0.03	0.23	0.81	
IS Gyps	-2.08	-1.66	-1.87	-1.84	
IS Aragonite	-0.33	-0.09	0.12	0.44	
IS Anhydrite	-2.32	-1.89	-2.12	-2.08	

Tableau XVIII- Résultats du pH à saturation de la 2^{ème} campagne.

PH à saturation	Stations du		prélèvement		
	A1	A2	A3	A4	
Calcite	7.35	7.09	6.29	7.93	
Aragonite	7.50	7.24	7.44	7.08	
Dolomite	7.46	7.17	7.45	7.11	

III.8.2. Discussion des indices de saturation

Les indices de saturation donnent une idée sur l'état de la solution par rapport au minéral (Chabour ; 2006).

Si $-IS < 0$, la solution est sous-saturée par rapport au minéral (dissolution du minéral).

IS = 0, la solution et la phase solide sont à l'équilibre (équilibre).

IS > 0, la solution est sursaturée par rapport au minéral (précipitation).

➤ **Calcite**

Durant la 1^{ère} campagne IS_C est négatif pour A1, A3 et A4 donc la solution est sous-saturée en cet élément. IS_C est positif pour A2 donc la solution est sursaturée en cet élément. Lors de la 2^{ème} campagne IS_C est négatif pour A1 et positif pour A2, A3 et A4.

➤ **Dolomite**

IS_D est négatif pour A1, A3 et A4 donc la solution est sous-saturée en cet élément. IS_D est positif pour A2, la solution est sursaturée en cet élément durant la 1^{ère} campagne. IS_D est négatif pour A1 et A2 et positif pour A3 et A4 lors de la 2^{ème} campagne.

➤ **Gypse**

IS_G est négatif pour toutes les sources durant les deux campagnes. La solution est sous-saturée en cet élément.

➤ Aragonite

Lors de la 1^{ère} campagne A1, A3 et A4, IS_A est négatif mais positif pour A2. Pour la 2^{ème} campagne IS_A est négatif pour A1 et A2 mais positif pour A3 et A4.

➤ Anhydrite

Les IS_{An} sont négatifs pour toutes les stations durant les deux campagnes, donc la solution est sous-saturée en cet élément.

III.8.3. Résultats des rapports caractéristiques

➤ 1^{ère} campagne

Tableau XIX- Résultats des rapports caractéristiques de la 1^{ère} campagne.

Rapports Caractéristiques	Stations du prélèvement			
	A1	A2	A3	A4
Mg^{2+}/Ca^{2+}	0.567	0.0619	0.256	0.709
Ca^{2+}/Mg^{2+}	1.764	1.617	3.909	1.410
Na^+/K^+	13.610	11.900	11.900	385.5
Na^+/K^+	4.776	4.376	5.459	0.197

➤ 2^{ème} campagne

Tableau XX- Résultats des rapports caractéristiques de la 2^{ème} campagne.

Rapports Caractéristiques	Stations du prélèvement			
	A1	A2	A3	A4
Mg^{2+}/Ca^{2+}	0.537	0.576	0.450	0.407
Ca^{2+}/Mg^{2+}	1.861	1.737	2.224	2.455
Na^+/K^+	19.560	50.170	10.200	14.8
Na^+/K^+	0.831	1.295	2.917	3.218

III.8.4. Discussion des rapports caractéristiques

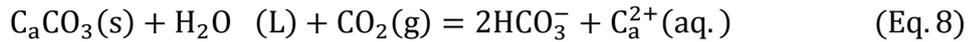
➤ Le rapport Mg^{2+}/Ca^{2+}

Le rapport Mg^{2+}/Ca^{2+} de toutes les sources durant les deux campagnes est inférieur à l'unité, avec des valeurs variables. Ce qui laisse supposer la dominance des ions Ca^{2+} sur les ions Mg^{2+} qui traduit, en général, l'abondance des faciès calcaires sur le faciès dolomitique dans la lithologie des aquifères.

➤ Le rapport Ca^{2+}/Mg^{2+}

Durant les deux campagnes toutes les valeurs de ce rapport sont supérieures à l'unité. Ceci confirme la dominance du Ca^{2+} . Ils peuvent provenir de la dissolution combinée de la calcite, la dolomite et le gypse selon les réactions suivante :





➤ **Le rapport Na⁺/K⁺**

Lors des deux campagnes le rapport Na⁺/K⁺ montre que les valeurs étudiées sont supérieures à l'unité. Ce qui signifie la dominance du Na⁺ dans ces eaux analysées. Dans les eaux naturelles la quantité de K⁺ est très faible.

➤ **Le rapport Cl⁻/Na⁺**

Durant la 1^{ère} campagne le rapport Cl⁻/Na⁺ est supérieur à l'unité pour les sources A1, A2 et A3. Cela signifie la dominance des chlorures. Il est inférieur à l'unité pour la source A4. Ce qui signifie la dominance de Na⁺. Par contre, la 2^{ème} campagne montre que les valeurs sont supérieures à l'unité pour les sources A2, A3 et A4 et inférieur à l'unité pour A1.

III.8.5.La dureté

➤ **1^{ère} campagne**

Tableau XXI- Résultats de la pression partielle du CO₂ (atm) et de la dureté en °F de la 1^{ère} campagne.

Paramètres Calculés	Stations du prélèvement			
	A1	A2	A3	A4
P CO ₂ (atm)	0.0106	0.00612	0.06969	0.06990
Dureté °F	19	32	39	37

➤ **2^{ème} campagne**

Tableau XXII-Résultats de la pression partielle du CO₂ (atm) et de la dureté en °F de la 2^{ème} campagne.

Paramètres Calculés	Stations du prélèvement			
	A1	A2	A3	A4
P CO ₂ (atm)	0.01387	0.01901	0.004621	0.00854
Dureté °F	24	33	32	48

Durant la 1^{ère} campagne la dureté de l'eau de la source A1, A2 est de 19°F, 32°F. La dureté des sources A3, A4 est de 39°F, 37°F.

Pendant la 2^{ème} campagne, A1, A2 a une dureté de 24°F, 33°F. La dureté de la source A3, A4 est de 32°F, 48°F.

Tableau XXIII -Qualité de l'eau en fonction de la dureté (Bremond et Vuichard, 1973)

TH °F	0-7	7-22	22-32	32-54	>54
Dureté de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

Durant les deux campagnes les eaux des sources A2, A3 et A4 sont dures. A1 est modérément douce durant la 1^{ère} campagne et assez douce durant la 2^{ème} campagne.

III.9. Analyse calco-carbonique

Tableau XXIV-Significations hydrogéologique de la pCO₂ et du taux de saturation de l'eau (Bakalowicz, 2004).

Indice saturation De la calcite	$0.03 \cdot 10^{-2} < pCO_2 < 0.1 \cdot 10^{-2}$	$0.1 \cdot 10^{-2} < pCO_2 < 2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2} < pCO_2 < 10 \cdot 10^{-2}$	$10 \cdot 10^{-2} < pCO_2$
IS calcite < 0 eau sous-saturée	Eau de surface en milieu non carbonaté. Eau karstique à écoulement rapide depuis une perte, dans un conduit bien ouvert.	Eau karstique Circulant rapidement	Eau karstique probablement enrichie en CO ₂ d'origine profonde au voisinage de la source	Eau karstique enrichie en CO ₂ d'origine Profonde au voisinage de la source
IS calcite > 0 Eau sursaturée par dégazage du CO₂	Eau de surface. eaux karstiques ayant circulées en écoulement libre dans un conduit très aéré pendant Assez longtemps	Eaux karstiques ayant circulées dans un milieu Aéré (zone d'infiltration, conduit ouvert)	Eau karstique s'écoulant en milieu aéré, enrichie en CO ₂ non pédologique (CO ₂ profond, CO ₂ provenant de fermentations de pollution)	

Selon les données du tableau XXIV, l'eau karstique en A1 circule rapidement. Les eaux karstiques en A2 ont circulé dans un milieu aéré (zone d'infiltration, conduit ouvert). Pour les sources A3 et A4 nous avons enregistré une différence entre la 1^{ère} et la 2^{ème} campagne.

Cette différence serait due à la pluviométrie car la journée où nous avons effectué la 2^{ème} campagne était pluvieuse.

III.10. Détermination des faciès chimiques

III.10.1. Diagramme de Piper

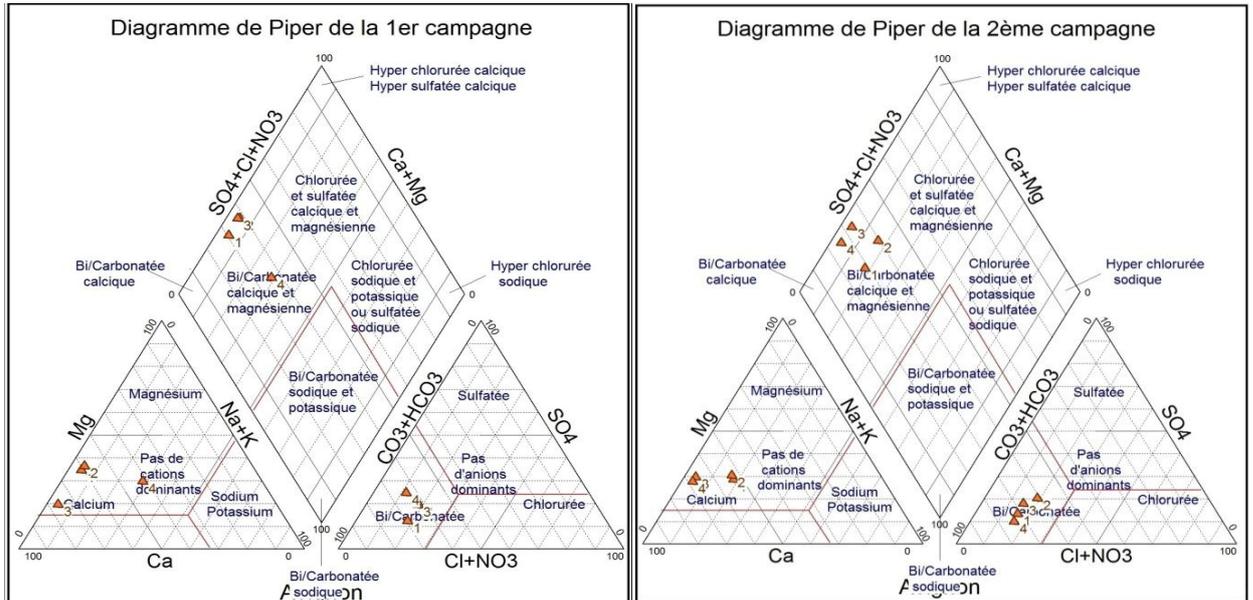


Figure 38- Représentation des eaux des systèmes karstiques des sources étudiée sur le diagramme de Piper pour la 1^{ère} campagne (mars) et la 2^{ème} campagne (mai) 2017.

Nous remarquons, à partir du diagramme de piper, durant les deux campagnes, que toutes les sources sont globalement d'un faciès chimique bicarbonatée calcique et magnésienne avec une dominance de calcium et bicarbonate.

III.10.2. Diagramme de Scholler Berkaloff

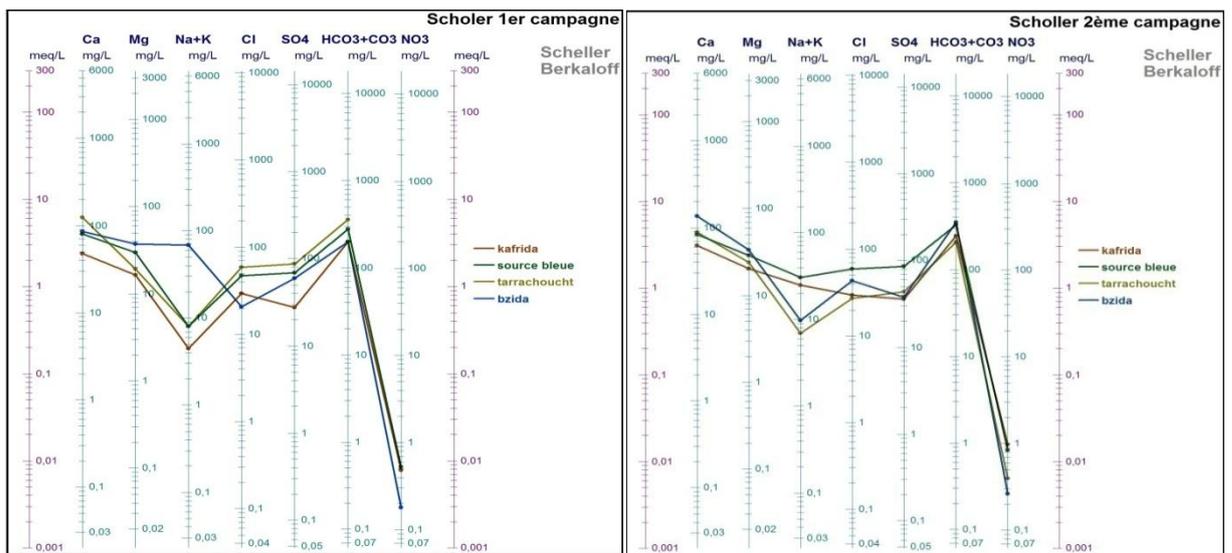


Figure 39- Diagramme de Schoëller-Berkaloff des eaux des sources étudiées de la 1^{ère} campagne (mars) et la 2^{ème} campagne (mai) 2017.

Le diagramme de la figure 38, confirme la domination du faciès bicarbonatée calcique et magnésienne avec une dominance de calcium et bicarbonate.

III.10.3. Diagramme de Wilcox

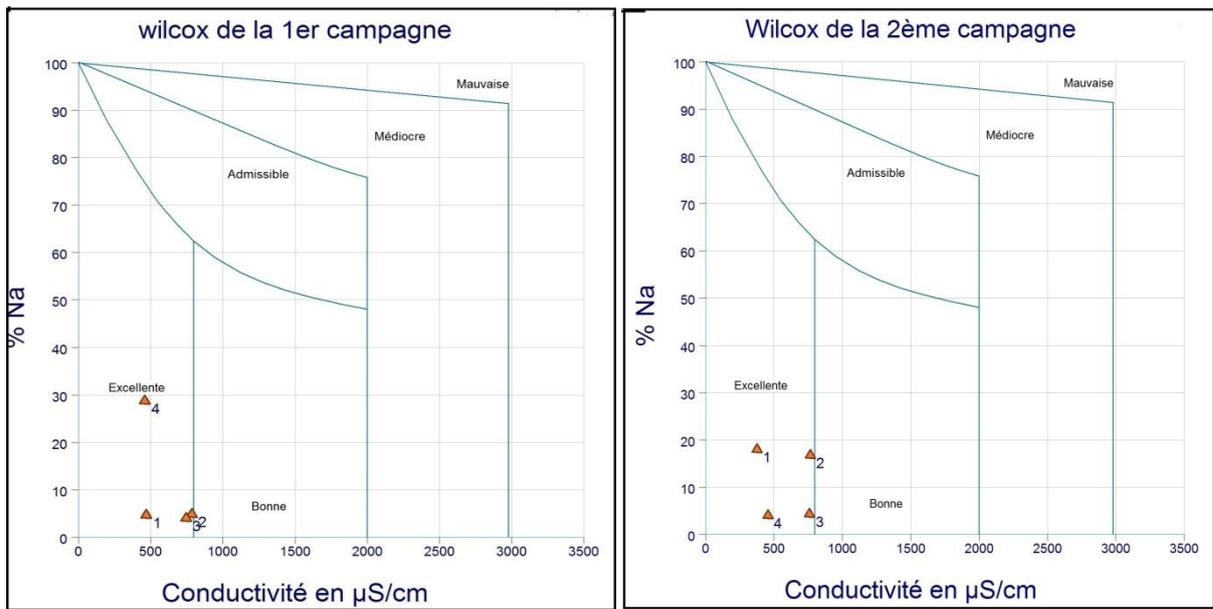


Figure 40- Diagramme de Wilcox des eaux des sources étudiée de la 1^{er} campagne (mars) et la 2^{ème} campagne (mai) 2017.

Le diagramme de wilcox montre que lors des deux campagnes, A1 et A4 ont une excellente qualité de l'eau, et A2, A3 ont entre une bonne et une excellente qualité de l'eau.

*Conclusion et
Recommandations*

➤ Conclusion

À partir de cette contribution, nous pouvons conclure que les eaux souterraines karstiques contribuent et participent pour une large part à l'alimentation en eau potable de la population dans le monde, en général et dans la région Bejaia en particulier. Ce travail a apporté de nouvelles données, de nouvelles interprétations sur l'hydrogéologie, la biologie et l'environnement.

L'Oued Agrioun, objet de cette étude, est situé dans la région Est de Bejaia où nous avons remarqué l'apparition de plusieurs sources à forts débits. Ce qui témoigne de la présence d'importantes sources en eau souterraine. Nous avons choisis d'en étudier quatre sources jugées importantes par rapport à l'utilisation de leurs eaux par la population (kefrida, source bleue, tarachoucht, bzida).

Afin de comprendre l'origine du chimisme des eaux, nous avons opté pour l'étude physico-chimique des eaux des quatre sources. Les résultats importants obtenus se résument à : Pour les cations le calcium varie entre 48 – 125 mg/l, le magnésium varie entre 16 – 37 mg/l, l'ammonium avec des valeurs très faibles varie entre 0 – 0.013 mg/l. Pour les anions, les bicarbonates ont des concentrations élevées variant entre 198 – 354 mg/l et les chlorures oscillent entre 20 – 59 mg/l. Les ETM (Cd, Pb, Cu et Zn) sont nulles pour toutes les stations durant la 1^{ère} et la 2^{ème} campagne. Mis à part les coliformes et les streptocoques fécaux provenant d'une ancienne contamination, l'analyse bactériologique révèle l'absence d'une contamination récente par *E. Coli*. Nous pouvons dire que l'eau est de bonne qualité pour l'ensemble des sources et est conforme avec les directives et les normes de qualité pour les eaux souterraines destinées à la production de l'eau potable.

Nous pouvons classer ses sources selon

- La dureté : durant les deux campagnes, l'eau des sources A2 (source bleue), A3 (tarachoucht) et A4 (bzida) sont dures. A1 (kefrida) est modérément douce durant la 1^{ère} campagne et assez douce durant la 2^{ème} campagne.
- la conductivité : les sources A1 (kefrida) et A4 (bzida) d'excellente qualité de l'eau et le taux de minéralisation moyen accentué. La minéralisation importante pour A2 (source bleue) et A3 (tarachoucht) sont classées entre bonne et excellente qualité de l'eau.

Selon les normes algériennes relatives à la microbiologie de l'eau potable, la consommation de l'eau de ses quatre sources ne représenterait pas un danger sanitaire. Notons que ces sources sont toujours utilisées par les habitants de ses régions sans aucune épidémie déclarée. Cependant, il faut rester très vigilant et un traitement par chloration est nécessaire voir obligatoire pour les sources.

➤ **Recommandations**

La protection des eaux souterraines karstiques d'un point de vue qualitatif de manière à garantir une offre suffisante en eaux de bonne qualité. Cette philosophie vise à préserver les eaux souterraines, dans un sens très large, c'est-à-dire en tenant compte de leur environnement géologique et hydrogéologique, de leur régime hydraulique et de leurs propriétés chimiques et biologiques

Les recommandations que nous proposons dans ce cadre se résument ainsi :

- ✓ Conservation des aquifères, des couches de couverture ainsi que du régime hydraulique des eaux souterraines karstiques ;
- ✓ Conservation de la qualité chimique naturelle des eaux souterraines karstiques ;
- ✓ Etablissement d'un périmètre de protection des captages d'eau (source, forage), dans les zones à vulnérabilité élevée ;
- ✓ Réalisation de stations d'épuration des eaux d'assainissements en amont du barrage afin d'éliminer la contamination des eaux de ce dernier ;
- ✓ Eviter toutes les sources de pollution susceptibles de perturber l'environnement et les eaux karstiques ces perturbations sont nombreuses : l'agriculture (pesticides, engrais, produits d'élevage, détergents), les routes (épandages, accidents avec fuite de produits toxiques), les décharges de déchets ménagers (absence de tri), les décharges industrielles (bassins de décantation chimique, déchets riches en métaux toxiques) et enfin les rejets liquides (eaux résiduaires urbaines et industrielles).

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- Anonyme, (2007).** Protection du couloir KHERRATA Souk EL Tenine contre les crues de l'Oued Agrioun, Mission C : Etude hydrologique. Bureau d'ingénieurs conseils, 55p.
- Azzaoui, S. (1999).** Les métaux lourds dans le bassin versant du Sebou ; Géochimie, sources de pollution et impact sur la qualité des eaux de surface. Thèse de Doctorat National, Université Ibn Tofail, Kénitra, Maroc : 138p.
- Bakalowicz, M. (1979).** Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie.) 257 p.
- Bakalowicz, M. (1986).** La karstification : processus, modèles et exemples. 9ième congr. Internat. Spéléologie, Barcelone, 3, pp. 59-63.
- Bakalowicz, M. (1995).** La zone d'infiltration des aquifères karstiques. Méthodes d'étude. Structure et fonctionnement. Hydrogéologie, 4: 3-21p.
- Bakalowicz, M. (1999).** Connaissance et gestion des ressources en eau souterraines dans les régions karstiques. Guide technique n°3, Lyon, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 44 p.
- Bakalowicz, M. (2004).** Analyses et interprétations des données hydrochimique.61p
- Bensaoula, F., Adjim, M., Bensalah, M. (2007).** L'importance des eaux karstiques dans l'approvisionnement en eau de la population de Tlemcen. LARHYSS Journal ISSN 1112-3680, (6).8p.
- Bensaoula, F. (2007).** Etude de la karstification à partir des données de forage : le cas des Monts de Tlemcen (Algérie). Karstologia n° 49, 2007. 15-24p.
- Boeglin, J.C. (2000).** Contrôle des eaux douces et de consommation humaine. Ed. Techniques de l'ingénieur.24 p
- Boucheseiche, C., Cremille E., Pelte T., & Pojer K. (2002).** Pollution toxique et écotoxicologique: notions de base. Guide technique, (7).
- Bouroubi, M. Y. (2009).** Etude hydrogéologique du synclinal de la taoura : fonctionnement et évaluation des ressources en eaux souterraines. Thèse de magister, université Mentouri Constantine ,182p.

- Bremond, R., Vuichard, R. (1973).** Paramètres de la qualité des eaux, OSPEPE, Paris
- Chabour, N. (2006).** Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie. Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire, Département des Sciences de la Terre Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Doctorat d'Etat en géologie université Mentouri Constantine, 177p.
- Charmoille, A. (2005).** Traçage hydrochimique des interactions hydrauliques et mécaniques entre les volumes perméables et peu perméables au sein des aquifères fractures carbonates ; Aquifère karstique de Fourbanne (Avant-pays jurassien, 25) Laboratoire naturel de Coaraze (Alpes Méridionales, 06). Doctorat la dissertation, Université de Franche-Comté, 320p.
- CNRS - Centre national de la recherche scientifique** «Cycle de l'eau et réservoirs – une répartition inégale», [Enligne].
- <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/cycle/repartiEau.html>.
- Collignon, B. (1991).** Les principaux karsts d'Algérie, Quelques éléments de synthèse, actes du 9ème Congrès National de la SSS., Akten des 9.national en kongresses der SHG. Construction hydro-technique et environnement, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar Batna. 127 p.
- Dajoz, R. (1985).** Précis d'écologie. 5^{ème} édition. DUNOD, université paris, p472.
- De La Bernardie, J. (2013).** Etude de la relation entre débits des sources karstiques et distributions des temps de séjour. Mémoire de stage de master 2, université Pierre et Marie Curie – Paris 6, 58p.
- Delbart, C. (2013).** Variabilité spatio-temporelle du fonctionnement d'un aquifère karstique du Dogger: suivis hydrodynamiques et géochimiques multifréquences; traitement du signal des réponses physiques et géochimiques (Doctoral dissertation, Université Paris Sud-Paris XI).
- DE RNI, S. (2011) :** Réflexion sur les critères de choix d'une méthodologie pour la cartographie de vulnérabilité a la pollution des eaux souterraines : cas du bassin versant de la Tafna. Mémoire de Magistère. Univ, Tlemcen 134 p, 35 fig.
- Dörfliger, N. (2010).** Influence du contexte méditerranéen sur la structure et le fonctionnement des aquifères karstiques De la gestion quantitative a la caractérisation de la

Références bibliographiques

- vulnérabilité par approche multi-paramètres. Synthèse des travaux de recherche en vue de l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches, université de Montpellier II, école doctorale : SIBAGHE ,212p.
- Dudok de Wit, T. (2007).** GPS et localisation par satellites. (Cour : licence de chimie physique). 53p.
- Ford, D., Williams, P. (2007):** Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley & Sons, Chichester, 562 p.
- FEPS (Fondation de l'Eau Potable Sure). (2014).** TDS et pH.6p.
- Goldscheider, N. (2002).** Hydrogeology and vulnerability of Karst systems: examples from the Northern Alps and the Swabian Alb .Doctoral dissertation, Karlsruhe, Univ., Diss.
- Guiraud, C. Raober, H. (1986).** Micribiologie des milieux aquatique . Ed. nouvelle édition.
- Guy, C. (2008).** Le karst de la région de Grandpré (Ardennes) Etude des phénomènes Karstiques développés au contact Jurassique-Crétacé. Rapport de stage Master. Université de Metz.52p.
- Haddad. (2006).** Analyse et controle de la qualité des eaux de consommation distribuer au niveau de béjaia . memoire de diplome d'étude universitaire appliquée en écologie,F,S,N,O . université de béjaia.
- Hamoudi. (1999).** analyse bacteriologique de l'eau de consommation et études des principales maladies la transmission hydrique dans la wilaya de béjaia. memoire de diplome d'étude universitaire appliquée en écologie . béjaia, F,S,N,O Université de Béjaia.
- Jeannin, P. (1996) :** Structure et comportement hydraulique des aquifères karstiques, Thèse Doctorat. Univ, NEUCHATEL, 237P.
- JORA, (Journal Officiel de la République Algérienne) 23eme année n° 01 du 03/01/1984,** Décret n° 84-05 du 02 Janvier 1984 relatif à la mise en œuvre de l'article 143 de la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux.
- JORA, (Journal Officiel de la République Algérienne) N° 60 du 04/09/2005,** loi n°05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau.
- Kherzi, S. (2011).** Etude hydrochimique des eaux de l'Oued Djemaa Wilaya de Bejaia. Mémoire magistère en hydraulique. Option hydraulique générale, université de Bejaia, 147p.
- Kravicik, M. (2007).** Water for the Recovery of the Climat - A New Water Paradigm.

- Klimchouk, A. (2004).** Toward defining, delimiting and classifying épikarst: it's origin, process and variants of geomorphic evolution, speleogenesis and evolution of Karst aquifers, vol.2,12p.
- Labat, D. (2000).** Non-linéarité et non stationnarité en hydrologie karstique. Thèse INP Toulouse, 220p.
- Malard, A., Jeannin, P. Y. (2013).** Swisskars: aquifères karstiques de suisse: une approche pour une meilleure gestion et exploitation des eaux souterraines karstiques. Aqua et gas.93 (7-8), 22-27.
- Mangin, A. (1975).** Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Thèse de Doctorat, Univ. Dijon, 298 p.
- Marsaud, B. (1996).** Structure et fonctionnement de la zone noyée des karsts à partir des résultats expérimentaux. Thèse de Doctorat, Univ. Orsay Paris Sud, Document BRGM n° 268, 305 p.
- Makhoukh, M., Sbaa, M., Berrahou, A.V., Clooster, M. (2011).** Contribution à l'Etude Physico-chimiques des Eaux Superficielles de l'Oued Moulouya (MAROC ORIENTAL). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 09, Décembre 2011 : pp. 149-169.
- Mihoubi, N. (2008).** Fonctionnement et gestion hydrogéologique et hydrologique des ressources en eau du bassin de Hammam Grouz. Thèse de magister, université Mentouri, Constantine, 244p.
- Miserez, J.J. (1973).** Géochimie des eaux du karst jurassien. Contribution physico-chimique à l'étude des altérations. Université de Neuchâtel. Pp 146-170. 300p.
- Monbaron, M. (2010).** Cours pédagogique de Géomorphologie générale : 97-112 PP.
- Muet, P., Edith, V. (2011).** Guide pratique: Stratégies de protection des ressources karstique utilisées pour l'eau potable, guide pratique. Agence de l'eau, Adour-Garonne, 84P.
- OFEFP, (2004).** Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, 24P.
- Plagnes, V. (1997).** Structure et fonctionnement des aquifères karstiques. Caractérisation par la géochimie des eaux. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, 376p.
- Quinif, Y. (1998).** Dissipation d'énergie et adaptabilité dans les systèmes karstiques. Karstologia, 31(1), 1-11.
- Ramdane, F. (1984).** Eléments d'écologie- écologie fondamentale. Edition Marc Graw-Hill, Paris. 397p.

Références bibliographiques

- Rejsek, F. (2002).** Analyse des eaux. Aspects réglementaires et techniques. Série sciences et techniques de l'environnement. ISBN 2-86617-42-8. Bordeaux. Serveur web : crdp.ac-bordeaux.fr.
- Rodier, J., Legube, B., Merlet, N. (2009).** L'Analyse de l'eau 9e édition. Entièrement mise à jour, Dunod, Paris.1579p.
- Seltzer, R. (1946).** Le climat de l'Algérie. Int. Ephys du globe, Uni. D'Algérie, p219.
- Simler, R. (2013).** Le logiciel Diagramme, version 5.5 du laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon.
- Siou, L. K. A. (2011).** Modélisation des crues de bassins karstiques par réseaux de neurones. Cas du bassin du Lez (France). Doctorale dissertation, Université Montpellier II Sciences et Techniques du Languedoc, 231p.
- Soulios, G. (1991).** contribution à l'étude des courbes de récession des sources karstique : Exemples du pays Hellénique, Journal of Hydrologie, vol.124, pp29-42,14p
- Tassy, A. (2012).** Karsts côtiers et canyons sous-marins de la marge provençale au Cénozoïque: Contrôle géodynamique, eustatique, hydrologique et structural (Doctoral dissertation, Aix-Marseille Université).
- Williams, P. (2008).** The role of the subcutaneous zone in Karst Hydrology, journal of Hydrology, vol.61, pp 45-67,23p.

Annexe I

➤ Détermination du calcium (Ca^{2+}) et du magnésium (Mg^{2+})

- Réactifs

Solution d'E.D.T.A N/50 ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) : (0,02N ou 0,01M)

- EDTA 3,725 g. après déshydratation à 80°C pendant 2 h.
- H₂O distillée q.s.p 1000 ml.

Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 2 N :

- NaOH (pastilles) 80 g.
- H₂O distillée q.s.p 1000 ml.

Solution d'hydroxyde d'ammonium (NH_4OH) pH = 10,1:

- Chlorure d'ammonium 67,5 g.
- NH_4OH (25%)..... 570 ml
- HCl concentré PH = 10,1
- H₂O distillée q.s.p 1000 ml.

: Noir eriochrome T.

Solution étalon de référence(CaCO_3)=0.01mol/l

- Sécher un échantillon de carbonate de calcium pur pendant 2heures à 150°C.

En introduire 1 g dans une fiole conique de 500ml et humidifier avec de l'eau. Ajouter goutte à goutte de l'acide chlorhydrique à 4mol/l jusqu'à ce que tout le carbinat soit dissous. Eviter un excès d'acide ;

- Ajouter 200ml d'eau et porter à ébullition quelques minutes afin d'éliminer le dioxyde de carbone. Refroidir et ajouter quelques gouttes de l'indicateur au rouge de méthyle. Ajouter une solution ammoniacale à 3mol/l jusqu'à ce que la solution devienne orange.
- Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 1000ml et compléter au volume avec de l'eau distillée.
- 1ml de la solution contient 0.4008mg (0.01 mmol/l) de calcium.

Mode opératoire :

(V₁) Ca^{2+} :

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 2 ml de NaOH à 2 N ;
- Ajouter du Murexide ;
- Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (violet).

(V₂) $\text{Ca}^{2+}\text{Mg}^{2+}$:

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 2 ml de NH_4OH (10,1) ;

- Ajouter noir eriochrome ;
- Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (bleu).

Expression des résultats : La détermination du mg/l de Calcium est donnée par la formule suivante:

D'où :

V₁ : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

C : Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).

M_{Ca²⁺} : Masse molaire du calcium en g.

P.E : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

F : Facteur

$$mg/lCa^{2+} = \frac{V_1 * 0.01 * F * 40.08}{50} * 1000$$

$$\text{Donc } mg/l Ca^{2+} = V_1 \times F \times 8.016$$

La détermination du mg/l de Magnésium est donnée par la formule suivante:

$$mg/lMg^{2+} = \frac{(V_2 - V_1) * C_{EDTA} * F * M_{Mg^{2+}}}{P.E} * 1000$$

D'où :

V₂: Volume total d'E.D.T.A

V₁ : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

C : Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).

M_{Mg²⁺} : Masse molaire du Magnésium en g.

P.E : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

F : Facteur

$$mg/lMg^{2+} = \frac{(V_2 - V_1) * 0.01 * F * 24.3}{50} * 1000$$

Donc

$$mg/l Mg^{2+} = (V_2 - V_1) \times F \times 4.86$$

Annexe II

➤ Détermination des chlorures (Cl⁻)

- Réactifs

Solution de nitrate d'argent à 0,01 N:

1,6987 d'AgNO₃ → 1000 ml d'eau distillée

Indicateur coloré K₂CrO₄ à 10 %:

10 g de K₂CrO₄ → Q.S.P 100 ml d'H₂O dist.

Solution de chlorures à 71 mg/l:

0.107g de NH₄Cl.....1000ml d'eau distillée.

Mode opératoire :

- Prendre 5 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 2 gouttes de K₂CrO₄ (coloration jaunâtre) ;
- Titrer avec Ag NO₃ à 0,01 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

Expression des résultats :

$$F.G: \frac{V_{AgNO_3} \times N_{AgNO_3} \times M_{Cl}}{PE} = \frac{V_{AgNO_3} \times 0,01 \times 35,5 \times F \times 1000}{5}$$

$$F.S : \text{mg/l Cl}^- = V_{AgNO_3} \times 71 \times F.$$

V_{AgNO₃} : Volume d'AgNO₃ nécessaire pour le dosage de l'échantillon.

N_{AgNO₃} : Normalité d'AgNO₃

M_{Cl} : masse des chlorures.

F : facteur de correction du titre d'Ag NO₃.

PE : prise d'essai.

Pour le F :

- Prendre 5 ml de la solution mère à 71 mg/l ;
- Ajouter 2 gouttes de l'indicateur coloré ;
- Dosier par AgNO₃ à 0,01 N jusqu'au virage.(couleur brun rougeâtre).

$$F = \frac{1}{V_{AgNO_3}}$$

Annexe III**➤ Détermination des Sulfates (SO₄²⁻)****- Réactifs**

Solution mère de sulfates à 1 g/l à partir de Na₂SO₄

Peser 1,479 g de Na₂SO₄ 1000 ml d'eau distillée.

Solution stabilisante :

Acide chlorhydrique(c) 60 ml.

Ethanol 200 ml.

Chlorure de sodium 150 g.

Glycérol 100 ml.

Eau distillée Q.S.P. 1000 ml.

Solution de chlorure de baryum :

Chlorure de baryum 150 g.

Acide chlorhydrique 5 ml.

Eau distillée Q.S.P. 1000 ml.

Mode opératoire :

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante.
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum.
- Agiter énergiquement pendant 1 mn.
- Passer au spectrophotomètre $\lambda = 420 \text{ nm}$.

Expression des résultats :

mg/l SO₄²⁻ = la valeur lue sur le spectrophotomètre x facteur de la dilution.

Annexe IV

➤ Détermination de l'alcalinité (HCO_3^-)

- Réactifs

Solution d'acide Chlorhydrique à 1 N :

Solution d'HCl à 0,1 N :

\$ d'HCl à 1 N 100 ml.

H_2O distillée q.s.p 1000ml.

Électrode : Électrode de pH

Mode opératoire :

- Prendre 100 ml d'eau à analyser ;
- Noter son pH puis titrer avec HCl à 0,1 N jusqu'à obtention d'un pH de 4,3.

Expression des résultats :

$$F.G = \frac{V_A \times N_A \times M_{\text{HCO}_3^-} \times 1000}{PE} = \frac{V_A \times 0,1 \times 61 \times 1000}{100}$$

F.S : $V_{A1} \times 61 = \text{mg/l } \text{HCO}_3^-$

V_A : Volume d'acide versé.

N_A : normalité d'acide versé.

$M_{\text{HCO}_3^-}$: masse des bicarbonates (HCO_3^-).

P.E : prise d'essai.

Remarque :

Si le pH de l'échantillon est supérieur à 8,3 ; titrer jusqu'à cette valeur (volume d'HCl obtenu correspond au CO_3^{2-}) puis continuer le dosage jusqu'à pH de 4,3 noter le volume V_{A2} .

$$\text{mg/l } \text{CO}_3^{2-} = V_{A2} \times 60$$

Annexe V

➤ **Dosage des nitrites (NO_2^-)**

- **Réactifs**

Réactif Mixte :

- Sulfanilamide 40 g.
- Acide phosphorique..... 100 ml.
- N-1- Naphtyl éthylène diamine 2 g.
- H_2O distillée q.s.p 1000 ml.

Mode opératoire :

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 1 ml du réactif mixte ;
- Attendre 10mn ;
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- .

Effectuer la lecture à 543 nm.

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l.

Annexe VI

➤ **Dosage Des Nitrates NO₃⁻ (Méthode au salicylate de sodium)****- Réactifs**

Solution de salicylate de sodium à 0.5 % (renouveler toutes les 24 h).

0.5 gr de salicylate de sodium dans 100 ml d'eau distillée.

Solution d'hydroxyde de sodium 30 %.

30 gr de NaOH dans 100 ml d'eau distillée.

H₂SO₄ concentré.

Tartrate double de sodium et de potassium.

Hydroxyde de sodium Na OH 400 g.

Tartrate de sodium et de potassium 60 g.

Eau distillée qsp 1000 ml.

Laisser refroidir avant de compléter à 1000 cc.

Cette solution doit être conservée dans un flacon de polyéthylène.

Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/l.

Nitrate de potassium anhydre 0.722 g.

Eau distillée 1000 ml.

Chloroforme 1 ml.

Solution fille d'azote d'origine nitrique à 5 mg/l.

Mode opératoire

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser ;
- Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 % ;
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium ;
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88° C.

(ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) laisser refroidir.

- Reprendre le résidu avec 2 ml. H₂SO₄ laisser reposer 10 mn ;
- Ajouter 15 ml d'eau distillée ;
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectro au 415 nm.

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 415 nm.

Annexe VII**➤ Détermination de l'azote ammoniacal (NH_4^+)****- Réactifs**

Réactif I :

- Acide dichloroisocyanurique 2 g ;
- Hydroxyde de sodium (NaOH)32 g ;
- H_2O distillée q.s.p 1000 ml.

Réactif II (coloré) :

- Trictrate de sodium 130 g.
- Salicylate de sodium 130 g ;
- Nitropruciate de sodium 0.97 g ;
- H_2O distillée q.s.p 1000 ml

Mode opératoire

- Prendre 40 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 4 ml du réactif I ;
- Ajouter 4 ml du réactif II et ajuster à 50 ml avec H_2O distillée et
- attendre 1h. 30

L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de : NH_4^+

Effectuer la lecture à 655 nm.

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l

Annexe VIII**➤ Détermination du fer méthode à l'orthophénanthroline****- Réactifs**

Tous les réactifs seront préparés à partir d'eau bidistillée exempte de toute trace de fer.

Tampon Acétate:

Acétate d'ammonium40g

Acide acétique cristallisable.....50ml

Q.S.P 100 ml d'eau distillée.

- Chlorhydrate d'hydroxylamine à 10 % :

Chlorhydrate d'hydroxylamine10g

Q.S.P100 ml d'eau distillée.

Cette solution est stable pendant une semaine.

- Solution de Phénanthroline -1,10:

Dissoudre 0,42 g de Phénanthroline-1,10 monohydraté($C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$) dans 100ml d'eau distillée contenant 2gouttes d'Acide chlorhydrique.

Cette solution est stable pendant une semaine. Conserver dans un flacon teinté et au réfrigérateur.

Solution mère étalon de Fer à 1 g/l:

- Solution fille étalon de fer à 0,01 g/l (à préparer extemporanément).

Diluer au 1/100 la solution précédente.

Mode opératoire:

- Prendre 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 100 ml, ajouter 1ml de la solution de chlorhydrate d'hydroxylamine. Mélanger soigneusement. Ajouter 2ml de tampon acétate. Ajouter 2 ml de la solution 1.10 de phénanthroline et conserver à l'obscurité pendant 15min. Enfin passer au spectro pour mesurage à la longueur d'onde de 510 nm.

Expression des résultats:

Le résultat est donné en mg/l.

Résumé

Afin de mettre en valeur les potentialités en eaux souterraines de la région de Bejaia, nous avons procédé à l'étude physicochimique et bactériologique d'échantillons d'eau provenant de quatre sources karstiques (kefrida, source bleue, tarachoucht et Bzida) situées à l'extrémité Nord Est de Bejaia dans le bassin versant de l'Oued Agrioun.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité des eaux de ces sources. Seize paramètres physico-chimiques (T° , pH, CE, S, TDS, Tbd, Ca^{+2} , Mg^{+2} , NH_4^+ , Na^+ , k^+ , Cl^- , NO_4^{-2} , HCO_3^- , NO_2^- et NO_3^-), ont été suivis durant trois mois allant de Février jusqu'à Mai. Les ETM et la bactériologie de ces eaux ont été réalisés. Selon les résultats des analyses chimiques, hormis la salinité dont les valeurs oscillent entre 0.22 - 0.4 mg/l et dépassent la norme admise, l'ensemble des paramètres analysés sont conformes aux normes. Le calcium varie entre 48 – 125 mg/l, le magnésium varie entre 16 – 37 mg/l, les bicarbonates varient entre 198 – 354 mg/l et les chlorures oscillent entre 20 – 59 mg/l. Les résultats des ETM (Cd, Pb, Cu et Zn) sont nuls pour toutes les stations durant la 1^{ère} et la 2^{ème} campagne. Sauf pour les coliformes et les streptocoques fécaux provenant d'une ancienne contamination, l'analyse bactériologique révèle l'absence d'une contamination récente par *E. Coli*. L'eau est de bonne qualité pour l'ensemble des sources.

Mots clés : qualité des eaux, physico-chimique, bactériologique, karst, Bejaia, Algérie.

Abstract

To emphasize the potentialities in subterranean waters of the region of Bejaia, we have to Proceed to the physico-chemical and bacteriological study of samples of water resulting (coming) from four karstic sources (springs) (kefrida, blue source (spring), tarachoucht and Bzida) situated in the extremity northeast of Bejaia in the pond overturning of Oued Agrioun.

The objective of this work is to estimate the quality of waters of these sources (spring).

Sixteen physico-chemical parameters (T° , pH, CE, TDS, Tbd, Ca^{+2} , Mg^{+2} , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Cl^- , NO_4^{-2} , HCO_3^- , NO_2^- and NO_3^-), were followed for three months going of February may.

The ETM and the bacteriology of these waters were realized. According to the results (profits) of the results (profits) of the chemical analyses, except the salinity the values of which oscillate between 0, 22 - 0, 4 mg/l and exceed (overtake) the standars admitted person, all the analyzed parameters are in accordance with the standards. The calcium varies 48 – 125 mg/l, the magnesium varies between 16 – 37 mg/l, bicarbonates vary between 198 – 354 mg/l and chlorides oscillate between 20 – 59 mg/l. the results (profits) of the ETM (Cd, Pb, Cu and Zn) are nil (worthless) for all the stations (resorts) during the 1st and the 2 nd campaign (countryside). Safe for coliformes and faecal streptococci resulting (coming) from the former (old) contamination, the bacteriological analysis reveals the absence of a recent contamination by *E.coli*. The water is good quality for all the sources (springs).

Key words: waters quality, physicochemical, bacteriology, Karst, Bejaia, Algeria.