

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 de Sciences Biologiques de l'Environnement
Spécialité Toxicologie Industrielle et Environnementale



Réf :.....

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

MASTER

Thème

**Contribution à la caractérisation des
eaux de cinq sources dans le bassin
versant de Boussellam, Sud-est de
Bejaia-Algérie**

Présenté par :

SMAILI Massine & TOUATI Abdelhak

Soutenu le : **05 Juin 2018**

Devant le jury composé de :

M. SIDI H.

MCA

Président

M. BENHAMICHE N.

MCA

Encadreur

M LAISSAOUI M.

MAA

Examineur

Année universitaire : 2017 / 2018

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 LAISSAOUI M., a bien voulu examiner ce travail et faire partie du jury de ce mémoire.

Nous remercions toute l'équipe de laboratoire de l'Algérienne des Eaux unité de Bejaia de nous avoir donné la chance pour réaliser ce travail.

Enfin, nos remerciements sont adressés à toutes les personnes que nous avons rencontrées à l'occasion de ce travail.

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce travail

A mes parents

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...
Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour
Le respect, la reconnaissance...*

*Aussi, c'est tout simplement qu'aucune dédicace ne saurait
être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour
tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me donner depuis
ma naissance.*

A ma grande mère

*Je souhaite que Dieu vous préserve une bonne santé et une
longue vie.*

A mes sœurs et mes frères

Siham, Sabah, Samra et Nabil, Farid et Idris

A eux tous, je souhaite un avenir plein de joie et de bonheur.

A toute ma famille

A mes chers amis

A eux tous, je souhaite un avenir plein de joie et de bonheur.

A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux que j'aime

Abdelhak

DEDICACES

Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labeur qu'on dédie du fond du cœur à ceux qu'on aime et qu'on remercie en exprimant la gratitude et la reconnaissance durant toute notre existence.

Je dédie ce modeste travail

À mes parents avant tout et pour tout, pour leur amour, aide et leur soutien;

À mes deux chère soeurs Souad, Razika et ses adorable enfants Raouf, Badiss et Thiziri;

À tous mes amis de la faculté des sciences de la nature et de la vie ;

À tous qui me sont chers ;

À toutes les personnes qui m'encouragent et me souhaitent de la réussite dans ma vie.

MASSINE

Sommaire

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
I. Introduction	1
Chapitre I : Problématique et états des connaissances sur la ressource en eau	
I.1 Problématique et origine du problème de l'eau	3
I.1.1. Eaux souterraines et milieux aquifères dans le monde	3
I.1.2. Les eaux souterraines au Maghreb	4
I.1.3. Les eaux souterraines karstiques en Algérie	4
I.1.4. L'eau en Algérie du Nord	5
I.1.4.1. L'eau et les changements climatiques en Algérie	5
I.1.4.2. Impact des changements climatiques sur les nappes phréatiques	6
I.1.5. Les eaux souterraines karstiques dans la région de Bejaia	6
I.2. Généralités sur l'eau	7
I.2.1. Cycle de l'eau	7
I.2.2. Enjeux et usages de l'eau	8
I.2.2.1. Enjeux	8
I.2.2.2. Usages de l'eau	8
I.2.3. Sources et origines des eaux	9
I.2.3.1. Eaux de pluie	9
I.2.3.2. Eaux de surface	10
I.2.3.3. Eaux souterraines	10
I.2.3.4. Eau de mer et océan	10
I.2.4. Eau de source	10
I.2.4.1. Définition de la source	11
I.2.4.2. Classification des sources	11
I.3. Généralités sur les karsts	12
I.3.1. Le karst	12
I.3.2. Roches carbonatées	12
I.3.3. Spécificités du karst	12
I.3.4. Propriétés structurales des roches karstifiables	12
I.3.5. Propriétés physico-chimiques des roches karstifiables	13

I.3.6. Morphologie karstiques	13
I.3.7. Karstification	13
I.3.7.1. Principes de la karstification	14
I.3.7.2. Condition de karstification	14
I.3.7.3. Potentiel de karstification	15
I.3.8. Identification des types de karst	16
I.3.9. Structure et fonctionnement du système karstique	17
I.3.9.1. Variabilité des systèmes karstiques	17
I.3.9.2. Caractérisation du système karstique	18
I.3.9.3. Zone non saturé	18
I.3.9.4. La zone saturée	19
I.4. Caractéristiques des eaux naturelles	19
I.4.1. Caractéristiques organoleptiques	19
I.4.1.1. La couleur	19
I.4.1.2. L'odeur	20
I.4.1.3. Saveur	20
I.4.2. Les paramètres physico-chimiques	20
I.4.2.1. La turbidité	20
I.4.2.2. La Température	20
I.4.2.3. Le pH	20
I.4.2.4. La conductivité	20
I.4.2.5. Salinité (Sa)	21
I.4.2.6. Minéralisation globale	21
I.4.2.7. Calcium (Ca)	21
I.4.2.8. Magnésium (Mg)	21
I.4.2.9. Chlorures (Cl^-)	21
I.4.2.10. Dureté total (TH)	22
I.4.2.11. Paramètres de pollution	22
I.4.2.11.1. Nitrites (NO_2^-)	22
I.4.2.11.2. Nitrates (NO_3^-)	22
I.4.2.11.3. L'ammonium (NH_4^+)	22
I.4.2.12. Les éléments indésirables	22
I.4.2.12.1. Le fer (Fe)	23
I.4.2.12.2. Le cadmium (Cd)	23

I.4.2.12.3. Le plomb (<i>Pb</i>)	23
I.4.3. Paramètres bactériologiques	24
I.4.3.1. Germes totaux	24
I.4.3.2. Coliformes totaux	24
I.4.3.3. Coliformes fécaux	24
I.4.3.4. Streptocoques fécaux	24
I.5. Pollution de l'eau	25
I.6. Eau et santé publique	27
I.6.1. Maladies à transmission hydrique	27
I.6.1.1. Maladies d'origine bactérienne	27
I.6.1.2. Maladies d'origine parasitaire	28
I.6.1.3. Maladies d'origine virale	29
I.7. Lois algériennes relative à l'eau	29
Chapitre II : Matériel et méthodes	
II.1. Présentation de la région d'étude	31
II.1.1. Situation et limites	31
II.1.2. Le relief de la wilaya	32
II.1.3. Description de la région d'étude	33
II.2. Délimitation du Bassin versant de Bousselam	33
II.2.1. Bassin versant	33
II.2.2. Localisation géographique et topographique	33
II.3. Géologie	34
II.3.1. Aperçu sur la géologie de l'Algérie du Nord	34
II.3.2. Description lithologique des formations	35
II.4. La végétation	36
II.5. Le réseau hydrographique	37
II.6. Climatologie	37
II.6.1. Température	37
II.6.2. Les précipitations	38
II.6.3. Synthèse des données climatiques	38
II.6.3.1. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson	38
II.6.3.2. Climagramme d'Emberger	40
II.7. Présentation de l'Algérienne Des Eaux	41

II.7.1. Missions de l'Algérienne Des Eaux	41
II.7.2. Présentation de l'unité Algérienne Des Eaux de Bejaïa	41
II.8. Géolocalisation des sources	42
II.9. L'échantillonnage	43
II.9.1. Flaconnage	43
II.9.2. Échantillonnage physico-chimique	44
II.9.3. Échantillonnage bactériologique	43
II.10. Méthodes d'analyses	44
II.10.1. Les analyses physico-chimiques	44
II.10.1.1. Les paramètres physiques	44
II.10.1.2. Les paramètres chimiques	45
II.10.2. Analyse bactériologiques	49
Chapitre III : Résultats et discussions	
III.1. Situation et Localisation géographique des sites de prélèvement	54
III.2. Résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques	57
III.3. Discussions des analyses physico-chimiques	60
III.3.1. Température	60
III.3.2. Le Potentiel d'hydrogène (pH)	60
III.3.3. conductivité électrique	61
III.3.4. salinité	61
III.3.5. Total des solides dissous	62
III.3.6. Turbidité	62
III.3.7. Les débit des sources	62
III.4. Les éléments traces métalliques	63
III.5. Discussion des résultats des paramètres électrochimiques	63
III.5.1. Les anions (HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , NO_2^-)	63
III.5.2. les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+)	64
III.5.3. Discussion des rapports caractéristiques	65
III.5.4. Discussion des indices de saturation	65
III.5.5. La dureté	66
III.6. Détermination des faciès chimiques	67
III.6.1. Diagramme de Piper	67
III.6.2. Diagramme de Schoëller-Berkaloff	68
III.6.3. Diagramme de Wilcox	69

III.7. Interprétation des résultats bactériologiques	70
Conclusion	71
Références bibliographiques	
Annexes	
Résumé	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Quantité moyennes d'eau nécessaire à la fabrication de 1 kg de produit.	9
Tableau II : normes de quelques paramètres d'eau destinée à la consommation humaine selon l'algérienne des eaux.	23
Tableau III: les paramètres bactériologiques selon les N.A (source laboratoire d'analyse et contrôle de la qualité des eaux. Unité de Bejaia).	25
Tableau IV : Températures moyennes mensuelles en degrés Celsius corrigées de la région d'étude pour la période (1978-2017).	37
Tableau V: La répartition des précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la station de Bejaia et notre région d'étude (1970-2017).	38
Tableau VI : les données climatiques corrigées (températures moyennes et hauteurs totales mensuelles des précipitations) d'après la station météorologique de l'aéroport de Bejaia (1978-2017).	39
Tableau VII : Dates et heures de prélèvement de la 1 ^{ère} et 2 ^{ème} campagne.	56
Tableau VIII : Résultats des analyses physiques la 1 ^{ère} campagne.	57
Tableau IX : Résultats des analyses électrochimiques et des ETM de la 1 ^{ère} campagne.	57
Tableau X: Mesure des débits de sources de la 1 ^{ère} campagne.	57
Tableau XI: Résultats des indices saturation de 1 ^{ère} campagne.	57
Tableau XII: Résultats du pH à saturation de 1 ^{ère} campagne.	58
Tableau XIII: Résultats des rapports caractéristiques de 1 ^{ère} campagne.	58
Tableau XIV: Résultats de la pression partielle du CO ₂ (atm) et de la dureté en °F de 1 ^{ère} campagne.	58
Tableau XV: Résultats des analyses bactériologiques de la 1 ^{ère} campagne.	58
Tableau XVI: Résultats des analyses physiques la 2 ^{ème} campagne.	58
Tableau XVII: Résultats des analyses électrochimiques et des ETM de la 2 ^{ème} campagne.	59

Liste des tableaux

Tableau XVIII: Mesure des débits de sources de la 2ème campagne.	59
Tableau XIX Résultats des indices de saturation de 2ème campagne.	59
Tableau XX: Résultats du pH à saturation de 2ème campagne.	59
Tableau XXI: Résultats des rapports caractéristiques de 2ème campagne.	59
Tableau XXII: Résultats de la pression partielle du CO ₂ (atm) et de la dureté en °F de 2ème campagne.	60
Tableau XXIII: Résultats des analyses bactériologiques de la 2ème campagne.	60
Tableau XXIV: Goût de l'eau avec les différentes concentrations de TDS	62
Tableau XXV: Normes pour la dureté des eaux de boisson (OMS, 1972) in Rodier <i>et al.</i> (2009).	66

Liste des figures

Figure 01 : les précipitations au Maghreb (d'après Mustin).	4
Figure 03 : cycle de l'eau. Source : ministère de l'environnement, gestion de l'eau par bassin versant : concepts et applications, Québec, 2004, P6	8
Figure 03 : Solubilité de la calcite (CaCO_3) dans l'eau pure en fonction de la $p\text{CO}_2$ à 0°C , 15°C et 25°C , calculée par Phreeq-C. Evolution du pH de la solution au cours de la dissolution de calcite (Lopez, 2009).	15
Figure 04 : Les discontinuités des massifs calcaires (Salomon, 2001).	16
Figure 05 : Représentation d'un système karstique jurassien et vaclusien (Marsaud, 1996).	17
Figure 06 : Coupe et paysage synthétique d'un aquifère karstique d'après Mangin, 1975.	19
Figure 07 : Localisation de la région d'étude (source Google maps).	31
Figure 08 : Carte des reliefs de la wilaya de Sétif.	32
Figure 09 : Profil en long de l'oued Bousselam-Soummam (d'après Gautier E-F, 1910).	34
Figure 10 : Rapports structuraux entre les différentes unités de la chaîne des Maghrébides.	35
Figure 11 : Coupes interprétatives au 1/50 000 (extrait de la carte géologique d'Algérie Sétif).	36
Figure 12 : Carte d'occupation des sols de la wilaya de Sétif (DSA Sétif, 2008).	37
Figure 13 : Diagramme Ombrothermique Bagnouls et Gausson de notre zone d'étude (bassin versant Bousselam) (1978-2017).	40
Figure n° 14 : Classification climatique de la région d'étude d'après le diagramme	

de d'Emberger.	41
Figure 15 : Organigramme de l'unité Algérienne Des Eaux de la ville de Bejaia.	43
Figure 16 : GPS de marque Eltrex (GARMIN).	43
Figure 17 : Multi paramètres de terrain (EXTECH Instrument EC 510).	45
Figure 18 : Turbidimètre HACH 2100N (laboratoire de l'ADE).	46
Figure 19 : Spectromètre d'absorption atomique en flamme (thermo scientific ICE 3000 série AA).	50
Figure 20 : Appareille filtration utilisé pour les analyses bactériologiques (ADEUB, 2016).	52
Figure 21 : photos pris lors de l'analyse bactériologique à l'ADE. Pris par Smaili M, 2018.	55
Figure 22 : Localisation géographique des sites de prélèvement.	55
Figure 23 : Photo de la source Thala Ouazerar (Pris par Smaili. M, 2018).	55
Figure 24 : Photo de la source Senta (Pris par Smaili. M, 2018).	56
Figure 25 : Photo de la source Ain Dokar (Pris par Smaili. M, 2018).	56
Figure 26 : Photo de la source Elkseur (Pris par Touati. A, 2018).	56
Figure 27 : Photo de la source Acharchour (Pris par Touati. A, 2018).	57
Figure 28 : Représentation des eaux du système karstique des sources étudiée sur le diagramme de Piper pour la 1 ^{ère} campagne (Février, 2018) et la 2 ^{ème} campagne (Avril, 2018).	68
Figure : Diagramme de Schoëller-Berkaloff des eaux des sources étudiées durant les deux campagnes (Février et Avril, 2018).	69
Figure 30 : Diagramme de Wilcox des eaux des sources étudiées pendant les deux campagnes (Février et Avril, 2018).	70

Liste des abréviations

ADE : Algérienne Des Eaux

AEP :Alimentation en Eau Potable

Cd : Cadmium

CE : Conductivité Electrique

EPIC : Etablissement Public national à caractères Industriel et commercial

FAO : Food and Agriculture Organisation

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

GPS :Global Positioning System

Zn : Zinc

Na : Sodium

K : Potassium

TDS :total des solides dissous

NO₂⁻ : Nitrites

SO₄ : Sulfates

Mg : Magnésium

MES : MatièresEn Suspension

Sa : Salinité

TGEA : Tryptone Glucose Extract Agar

VER : Volume Elémentaire Représentatif

EK : Épikarst

UFC :*Unité Formation Colonial*

ZS : Zone Saturée

NGL : azote global

Introduction

Introduction

L'eau est devenue, ces dernières années, un sujet de préoccupation à l'échelle planétaire. La question de la qualité de l'eau au sein des programmes humanitaires se pose essentiellement en termes de consommation humaine et d'irrigation et la mauvaise qualité de l'eau peut être induite par des activités anthropiques ou par des phénomènes naturels. D'après l'organisation mondiale de la santé (OMS) la qualité d'une eau est définie par des paramètres physiques, chimiques et biologiques, mais aussi l'usage de cette eau (**Makhoukh et al, 2011**).

L'eau douce est une ressource indispensable à la vie. Elle mérite une attention toute particulière, vu qu'elle est très altérée et sérieusement menacée par les activités humaines. En effet, la croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide qui cause de nombreuses perturbations pour les milieux naturels, l'industrialisation et l'utilisation non rationnelle des engrais et pesticides et le manque de sensibilisation de la population envers la protection de l'environnement, conduisent autant à un déséquilibre de l'écosystème et génèrent des éléments polluants qui peuvent affecter la qualité physico-chimique et biologique des milieux aquatiques récepteurs (**Makhoukh et al, 2011**).

La dégradation de l'état de l'eau de consommation a différents impacts directs ou indirects sur la santé des populations humaines en contact avec cette eau. Tout ceci oblige à faire de plus en plus appel à des eaux d'origines diverses et notamment les eaux souterraines karstiques, qui constituent la ressource principale pour l'alimentation en eau potable des populations. En effet, l'eau des sources a été considérée depuis l'antiquité comme une réserve de bonne qualité, facile à exploiter pour des besoins différents. Mais, leurs vulnérabilités liées à la pollution exigent une surveillance permanente de leurs propriétés physico-chimique, hydrodynamiques et biologiques (**Makhoukh et al, 2011**).

Ce mémoire de fin de cycle réalisé en vue de l'obtention du diplôme de master 2 en Toxicologie industrielle et environnementale est intitulée :« **Contribution à la caractérisation des eaux de cinq sources dans le bassin versant du Bousellam, Sud-est de Bejaia –Algérie** ». Il vise, à travers deux campagnes de mesure, menées en hautes et en basses eaux, de déterminer les caractéristiques physico-chimique et bactériologique des eaux de quelques sources situées dans le bassin versant du Bousellam situé au Sud-est de la wilaya de Bejaia. Les éléments suivants ont été analysés : (T°, pH, CE, S, TDS, Trd, Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , HCO_3^- et TH, Pb, Cd et Fe), ainsi que l'analyse bactériologique. L'objectif de la caractérisation des eaux est la détermination, grâce à

l'utilisation des diagrammes de Piper et de Schoëller, des faciès chimiques des eaux de sources qui permettront de reconnaître l'origine de ces eaux.

Le présent mémoire s'articule autour de 03 chapitres :

- Le premier chapitre comporte la problématique et l'état des connaissances sur la ressource en eau ;
- Le deuxième chapitre décrit les matériels et méthodes ;
- Le troisième chapitre contient les résultats et discussions ;

Et enfin nous terminons par une conclusion générale.

Chapitre I

*Problématique et états
des connaissances sur la
ressource en eau*

I.1. Problématique et origine du problème de l'eau

L'eau est aujourd'hui un sujet d'actualité de plus en plus sensible. Il constitue un élément essentiel dans la vie et l'activité humaine (support de vie). Ainsi, c'est un élément participatif au climat et représente l'habitat et le refuge de million d'êtres vivants végétal ou animal. Aussi l'eau est multidimensionnelle et multi-usage (usage domestique, industriel, agricole). Mais les mauvaises usages rendent cette précieuse ressource vulnérable.

L'eau douce devient de plus en plus une ressource rare et limitée et le besoin en eau potable continue de croître. L'eau douce est, quant à elle, contenue principalement dans les nappes souterraines et dans les glaciers. Ce qui la rend difficile d'accès. D'après **Remini (2005)**, la cause principale du problème de l'eau n'est pas véritablement le manque d'eau au niveau globale mais la croissance démographique galopante surtout dans les pays qui sont déjà en stress hydrique.

Les eaux souterraines représentent généralement une excellente source d'approvisionnement en eau potable. Le filtre naturel, constitué par les matériaux géologiques, produit le plus souvent une eau de bonne qualité. Il en résulte que l'exploitation des eaux souterraines présente des avantages économiques appréciables du fait qu'elles ne nécessitent que peu de traitement (parfois même aucun traitement) avant leur distribution dans un réseau d'eau potable (**Frioua, 2014**). Dans beaucoup de pays en voie de développement les ressources en eau sont fortement menacées par les activités anthropiques et la surexploitation humaine. La pollution et le réchauffement climatique global ont conduit à l'altération de l'environnement naturel notamment le milieu aquifère. Ce qui engendre une baisse de la qualité et de la quantité de l'eau. Cela présente des risques sur la santé publique. Selon l'OMS, dans les pays en développement, 80% des maladies sont liées à l'eau et causent la mort prématurée de trois millions de personnes chaque année. Les pressions exercées sur les eaux souterraines ont des actions constatées sur leur qualité. Cela impose la mise en place de politiques de protections adaptées (**ODE, 2011**).

I.1.1. Eaux souterraines et milieux aquifères dans le monde

Les eaux souterraines constituent la quasi-totalité des stocks d'eau continentale et offrent des ressources avantageuses pour de nombreux utilisateurs (**Margat, 1990**). Les formations carbonatées, susceptibles d'être karstifiées, couvrent des étendues importantes à l'échelle des continents : 40 millions de km², soit environ 10 % des surfaces émergées. Elles constituent des aquifères qui sont souvent la seule ressource en eau exploitable. Les principales régions karstiques du monde sont : l'Extrême-Orient, l'Amérique du Nord et centrale, l'Europe dont la ceinture carbonatée méditerranéenne (**Bakalowicz, 1996**).

I.1.2. Les eaux souterraines au Maghreb

Avec une ressource en eau douce de 45,6 milliards de m³ soit 586 m³/an/hab, le Maghreb n'apparaît pas comme particulièrement bien doté. Il se situe très en dessous de la norme de 1000 m³/an/hab. qui détermine, nous l'avons vu, le seuil de pénurie. Les pluies sont très inégalement réparties. Elles tombent essentiellement sur la frange littorale ou la chaîne de l'Atlas.

Les ressources souterraines sont plus largement sollicitées en Algérie et en Tunisie qu'au Maroc. Dans le Tell cloisonné, les nappes sont partout alimentées par les pluies qui tombent sur les versants. Au Sahara, où les écoulements sont absents, le recours aux nappes est général et celle du Continental terminal est connue depuis longtemps.

Enfin, les trois pays disposent de ressources en eau d'inégale importance et surtout à des niveaux d'accessibilité très variables. Les pays maghrébins, soucieux d'assurer leur sécurité alimentaire, sont conduits à multiplier les superficies irriguées tandis que la consommation urbaine augmente à des rythmes impressionnants (Mutin, 2009).

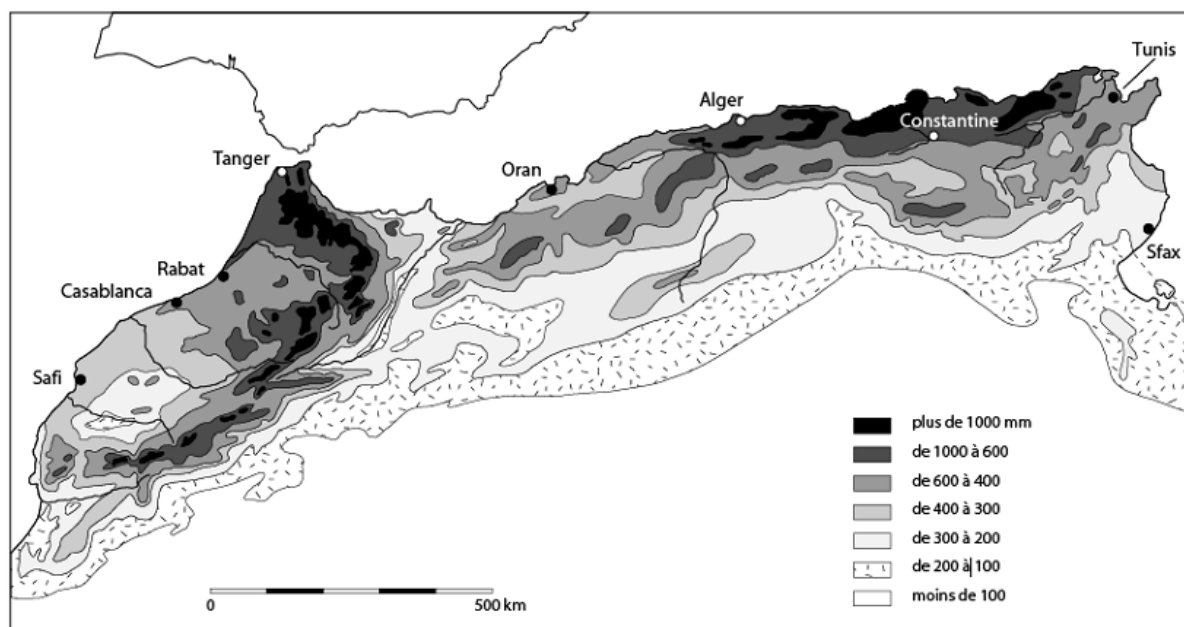


Figure 01 : Les précipitations au Maghreb (d'après Mutin, 2009).

I.1.3. Les eaux souterraines karstiques en Algérie

Les régions calcaires d'Algérie offrent une grande diversité des paysages depuis les karsts bien arrosés des hautes montagnes de l'Atlas jusqu'aux affleurements peu karstifiés du désert du Sahara (Collignon, 1991). Ce sont des formations d'âges 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) (**Bensaoula et al, 2007**).

I.1.4. L'eau en Algérie du Nord

En Algérie l'eau est une ressource de plus en plus précieuse. Le problème de l'eau est aggravé ces dernières années par une sécheresse qui a touché l'ensemble du territoire de notre pays. Dans l'Algérie du Nord, l'apport principal vient du ruissellement et les eaux de surface sont stockées dans les barrages. Le découpage de l'Algérie du Nord en cinq régions hydrographiques repose sur les critères suivants :

- Les caractéristiques géographiques et naturelles des régions ;
- Le groupement des bassins versants hydrographiques entre lesquels existent des nécessités de transfert (**Remini, 2005**).

Les cinq bassins hydrographiques sont : l'Oranie-Chott Chergui, Cheliff-Zahrez, l'Algérois-Hodna-Soummam, le Constantinois-Seybouze-Mellegue et le Sahara.

I.1.4.1. L'eau et les changements climatiques en Algérie

Les changements climatiques ont depuis longtemps cessé d'être une curiosité scientifique. Il constitue le défi majeur auquel doivent répondre les organismes de contrôle environnementaux. Selon les experts, à l'horizon 2020, l'Algérie connaîtra une réduction des précipitations de l'ordre de 5 à 13% et une augmentation des températures de 0,6 à 1,1°C (**Benhamiche et al, 2014**).

L'eau est une des matières premières les plus importantes en Algérie, dont l'importance pour la consommation humaine, la production agroalimentaire, les loisirs et les écosystèmes n'est plus à démontrer. La réaction des consommateurs d'eau ainsi que les mécanismes de gestion de cette ressource déterminent dans un large mesure la vulnérabilité, en Algérie, de ces ressources (**Nichane et Khelil, 2015**).

En Algérie la vulnérabilité aux changements climatiques s'exprime à travers plusieurs aspects (**Nichane et Khelil, 2015**) :

- ✓ **La rareté des ressources** : l'Algérie se situe parmi les 17 pays Africains touchés par le stress hydrique ;

- ✓ **La demande en croissance permanente** : la demande en croissance permanente en eau potable, en eau agricole et en eau industrielle, générée par une démographie et un développement industriel sans cesse croissants ;
- ✓ **La diminution probable des écoulements des eaux** : les hauts plateaux et les régions sahariennes, qui occupent une grande partie du territoire national (93%), ne reçoivent que 10% de l'écoulement total ;
- ✓ **L'évaporation des eaux de surface** : d'où l'augmentation de la demande en eaux souterraines ;
- ✓ **La dégradation de l'infrastructure hydraulique** : vu l'absence fréquente du couvert végétal des bassins versants et la qualité médiocre de gestion des ouvrages provoque des pertes énormes d'eaux ;
- ✓ **Les inondations et divers phénomènes extrêmes** : c'est l'exemple de Bab El Oued à Alger en novembre 2001, ainsi que d'autres régions au Sud du pays ;
- ✓ **Les menaces des zones humides** : malgré leur importance dans les processus vitaux et l'accueil de poissons et d'oiseaux, de nombreuses menaces pèsent sur ces zones, tel le pompage excessif, construction irréfléchie de barrages qui drainent au profit de l'agriculture de nombreuses quantités d'eau.

I.1.4.2. Impact des changements climatiques sur les nappes phréatiques

La diminution des pluies due aux sécheresses qui sévissent depuis le début des années 70 a entraîné une baisse constante des réserves d'eau souterraine des principales nappes aquifères du nord du pays. L'aggravation des sécheresses conjuguée à la surexploitation des nappes phréatiques a entraîné la minéralisation des zones non saturées des nappes aquifères profondes. Dans les régions côtières, la baisse des niveaux de pression hydrostatique a d'ores et déjà entraîné la pénétration d'eau de mer dans les réserves d'eau douce des nappes aquifères côtières des régions de la Mitidja, d'Oran et d'Annaba (Nichane et Khelil, 2015).

I.1.5. Les eaux souterraines karstiques dans la région de Bejaia

Les formations calcaires sont très abondantes dans la région de Bejaia, sur le côté Ouest du littoral, les régions de Toudja jusqu'à Béni ksila sont caractérisées par le crétacé inférieur marin. Dans la région Est de la wilaya, Tala Hamza, Barbacha, Kendira et leurs alentours sont dominés par le crétacé inférieur marin. Les autres localités, du même secteur, présentent une variété géologique. Le crétacé inférieur marin, le crétacé supérieur, le jurassique inférieur marin et peu de trias marin et lagunaire caractérisent les régions d'Aokas jusqu'à Tamridjet et de Melbou à l'extrême de Draa Elkaid. Les localités des rives de la Soummam : Sidi Aich,

Ouzellaguen, Ighram et Timezrit jusqu'à Boujllil sont dominés par le crétacé 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 Béni Djellil (**Bellataf, 2016**).

I.2. Généralités sur l'eau

I.2.1. Cycle de l'eau

On peut définir les mouvements de l'eau sur la terre comme des flux dans un système à circuit fermé. Une représentation simple de ce circuit implique des mouvements d'eau des masses océaniques vers l'atmosphère et vers les masses continentales, puis des masses continentales vers les océans. Cette nature cyclique est à l'origine du terme général attribué à ces mouvements d'eau : cycle de l'eau (**Anctil et al, 2013**). Ce cycle de l'eau est essentiellement un des grands composants de la régulation énergétique de l'ensemble terre-océan-atmosphère (**Roche et al, 2012**). Schématiquement, l'eau évolue entre trois secteurs : l'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère (Fig. 2). La terre recevant l'énergie solaire, l'hydrosphère, chauffée par celle-ci, s'évapore conduisant ainsi à la présence d'eau de l'atmosphère. Cette eau, à la suite d'un refroidissement de l'air et par condensation, retombe sous forme de précipitations sur la lithosphère.

Une fraction des eaux de pluie ruisselle à la surface de la terre et va grossir les cours d'eau et les lacs d'où, elle est rejetée, d'une part à l'évaporation et d'autre part à l'infiltration à travers le sol. Les eaux d'infiltration sont reprises en partie par la végétation qu'elles alimentent. Ensuite, elles sont libérées dans l'atmosphère sous forme de transpiration, et en partie s'accumulent dans les sous-sols, pour former des nappes souterraines qui, à leurs tours en s'écoulant, donnent naissance aux sources qui émergent à la surface du sol et le cycle continue (**Chalgou et Naili, 2017**).

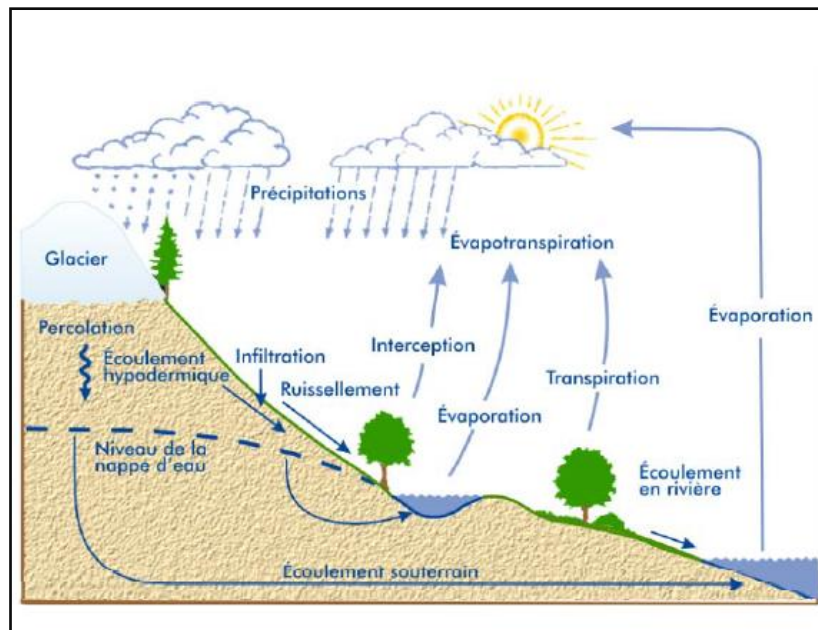


Figure 2 : cycle de l'eau (Ministère de l'environnement du Québec, 2004)

I.2.2. Enjeux et usages de l'eau

I.2.2.1. Enjeux

La croissance démographique et économique des dernières décennies a induit une pression de plus en plus forte sur cette ressource. Les enjeux concernent les différentes facettes environnementale, économique et politico-sociale.

« L'eau, un enjeu mondiale pour le XXI^e siècle ! » à mesure que les quantités d'eau à disposition pour chaque habitant diminuaient et il devenait de plus en plus évident plus que les besoins croissants des populations seraient difficiles à satisfaire. Les développements de l'industrie, de l'urbanisation de l'agriculture (extension des pratiques d'irrigation) se sont avérés extrêmement dommageable pour la qualité de la ressource en eau. L'eau est un bien vitale et économique ayant de tout temps accompagné les développements puis le déclin des civilisations humains. Il suffit de pensé par exemple au génie hydraulique agricole de l'ancien Egypte, à la civilisation romaine et son génie hydraulique urbain (Musy *et al*, 2014).

I.2.2.2. Usages de l'eau

Ce sont toutes les utilisations de l'eau, étant donné que l'eau est une substance indispensable à la survie et au développement des êtres vivants. Son usage est extrêmement varié. Pour l'homme trois catégories d'utilisation peuvent être distinguées (Hoffmann *et al*, 2014) :

✓ Les besoins domestiques

Les usages domestiques concernent l'alimentation (environ 3 litres par jour pour une personne), les diverses activités de lavage, d'évacuation des déchets, l'hygiène personnelle, l'arrosage des jardins. A travers le monde, la dotation journalière pour les besoins domestiques est très variable suivant les pays. Elle est de 600 l aux Etats-Unis, 250 à 300 l en Europe, 30 l en Afrique et 5 l à Madagascar (**Maurel, 2006**).

✓ Les besoins agricoles

L'agriculture est une grande consommatrice d'eau pour l'irrigation et l'élevage. L'irrigation nécessite des volumes considérables. Un hectare de maïs consomme 20000 m³ d'eau pendant sa période végétative, et un hectare de riz 40000 m³ en moyenne (**Aissaoui, 2013**).

✓ Les besoins industrielles

La consommation en eau du secteur industriel est d'autant plus élevée que le pays est développé ou industrialisé. L'usage industriel représente 22% de l'ensemble des prélèvements d'eau douce. Les industries les plus gourmandes en eau sont celles de transformation (Tab. I). En Algérie, il a été constaté que le complexe industriel d'El hadjar (Annaba, Algérie), exige à plein régime un débit de 700 l/s, environ l'équivalent des besoins d'AEP de la ville de Annaba (**Zella, 2007**).

Tableau I : Quantité moyennes d'eau nécessaire à la fabrication de 1 kg de produit

Matière	Quantité d'eau en litre
Acier	300-660
Papier	500-800
Sucre	300-400
Ciment	35-50
Carton	60-400
Savon	1-35
Matière plastique	1-2

Source : FAO, 2004

I.2.3. Sources et origines des eaux

On retrouve quatre sources principales d'eau brute : les eaux de pluie, les eaux de surface, les eaux souterraines et les eaux de mer. Les caractéristiques générales de chacune de ces sources reflètent l'interaction de l'eau et du milieu environnant (**Desjardins, 1997**).

I.2.3.1. Eaux de pluie

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent aucun sel dissous, comme les sels de

magnésium et de calcium ; elles sont donc très douces. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de captage font que peu de municipalités utilisent cette source d'eau (Desjardins, 1997).

I.2.3.2. Eaux de surface

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement, généralement polluées bactériologiquement. Les eaux de surface comprennent celles des cours d'eau, des lacs, des barrages, réservoirs. Elles sont toujours sujettes à des contaminations temporaires ou permanentes. La plupart d'entre elles ont l'inconvénient d'avoir une température assez variable, élevée pendant la saison chaude (Chalgou et Naili, 2017).

I.2.3.3. Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont des sources naturelles et vitales. Elles sont plus en moins renouvelables et transfrontalières. Les eaux souterraines proviennent principalement des eaux superficielles, d'accroissement de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique dans les cavités karstiques, ou dans les pores de terrains. Elle présente généralement une bonne qualité bactériologique, une température et une composition chimique constante (Chalgou et Naili, 2017).

Les principales caractéristiques des eaux souterraines sont (Desjardins, 1997):

- ✓ Turbidité faible ;
- ✓ Contamination bactérienne faible ;
- ✓ Température constante ;
- ✓ Débit constant ;
- ✓ Dureté souvent élevée ;
- ✓ Concentration élevée de fer et de manganèse.

I.2.3.4. Eau de mer et océan

La mer est considérée comme un réservoir d'eau. Celle-ci est très fortement minéralisée et est caractérisée par une grande salinité. Elle contient près de 3,5% de sels, dont le plus important est le chlorure de sodium (Chalgou et Naili, 2017).

I.2.4. Eau de source

Les eaux de source sont comme les eaux minérales naturelles, exclusivement d'origine souterraine, microbiologiquement saines, préservées de la pollution d'origine humaine, et aptes à la consommation humaine sans traitement ni adjonction. Contrairement aux eaux

minérales naturelles, leur composition n'est pas systématiquement stable. Les eaux de sources répondent aux mêmes critères de potabilité que l'eau du robinet.

I.2.4.1. Définition de la source

Une source est le lieu d'apparition et d'écoulement d'une eau souterraine à la surface du sol, à l'origine en général d'un cours d'eau de surface (**Ballouki, 2012**).

Une source est une eau qui sort naturellement de la terre, ou le point où cette eau jaillit. C'est souvent l'origine d'un cours d'eau. Mais les sources peuvent alimenter des mares, des lacs, s'écouler directement en mer, ou produire une eau qui disparaît à nouveau dans le sol. Il existe différents approches permettant de classer les sources (**Ballouki, 2012**) :

- L'hydrochimie permet de classer les sources selon leurs qualités ;
- L'hydrogéologie qui cherche à expliquer l'origine et le fonctionnement de la source ;
- Le thermalisme qui classe les sources selon leur température et l'usage qui peut en être tiré.

I.2.4.2. Classification des sources

Les sources sont classées suivant différents critères (**Ballouki, 2012**) :

A/ Les conditions hydrogéologiques qui déterminent leur situation, le type de nappe souterraine dont elles constituent un exutoire :

- source de déversement, de débordement ou de trop plein (correspondant aux types de nappes souterraines libres de mêmes dénominations) ; source d'émergence ou de dépression (source d'aquifère à nappe libre non liée à l'affleurement du substratum) ; source d'étranglement ;
- source artésienne ou jaillissante (issue d'une nappe captive) ;
- source diaclasienne, source karstique ou de karst, exurgence (issue d'un aquifère discontinu); source vauclusienne (exutoire d'un conduit karstique ascendant subvertical) ;
- résurgence : Retour en surface d'eau originaire, en tout ou partie, de pertes d'un ou plusieurs cours d'eau dans un aquifère karstique.

B/ Suivant la continuité ou non de l'écoulement, le régime de variation du débit : source constante, pérenne, saisonnière, intermittente, temporaire ou accidentelle.

C/ Suivant un caractère de localisation : source de coteau, source littorale ; sources submergées (sous-fluviale, sous-lacustre, sous-marine).

D/ Suivant une caractéristique de l'eau:

- suivant la température : source chaude, thermale ; source hypotherme, orthotherme, hypertherme à température respective inférieure, égale (ou n'excédant pas plus de 4°C) ou supérieure (de plus de 4°C) à la température moyenne annuelle de l'air du lieu.

- suivant une caractéristique chimique : source salée, séléniteuse, ferrugineuse, sulfureuse, minérale, incrustante ou pétrifiante.

I.3. Généralités sur les karsts

I.3.1. Le karst

Le terme « karst » (dont l'étymologie est commune avec les termes calcaire chaux). Le terme vient de l'inscription allemande du nom slovène kras, une région du nord-ouest de la Yougoslavie où ces phénomènes karstiques sont particulièrement spectaculaires (**Banton et Bangoy, 2010**).

I.3.2. Roches carbonatées

Les roches carbonatées résultent de la précipitation des carbonates dans les océans. Les principaux carbonates sont la calcite : $CaCO_3$ et la dolomite $CaMg (CO_3)_2$. Les roches carbonatées contiennent souvent des proportions variables d'argiles, de quartz et de feldspaths qui ont été déposés lors de leur formation : ceux-ci constituent ce que l'on appelle le résidu insoluble (**Atteia, 2015**).

I.3.3. Spécificités du karst

La principale caractéristique d'un aquifère karstique est l'organisation évolutive de son hétérogénéité. Ainsi pour un système karstique, il est quasiment impossible de définir un VER (**Volume Élémentaire Représentatif**), au même titre que pour un aquifère poreux ou fissuré. L'organisation de cette hétérogénéité se traduit par le développement d'un réseau de conduits de perméabilité importante et de dimensions généralement inconnues. Ce réseau est compris dans un volume de roches fracturées de faible perméabilité et est connecté à un exutoire, le plus souvent une source karstique (**Perineau, 2013**).

I.3.4. Propriétés structurales des roches karstifiables

La circulation et le stockage des eaux souterraines dans un aquifère karstique sont conditionnés par l'agencement géologique de la fracturation de l'aquifère. Les principales propriétés structurales de ces roches sont (**Perineau, 2013**) :

- Fonction capacitive (ou réservoir) caractérisée principalement par la porosité matricielle ou de fracture selon l'aquifère, qui caractérise le stockage et contrôle le soutien des débits d'étiage ;
- Fonction transmissive avec la perméabilité qui conditionne l'écoulement de l'eau souterraine de la zone vadose jusqu'à l'exutoire ;

- Fonction d'échanges caractérisée par les processus d'interactions physico-chimiques entre l'eau souterraine et la roche réservoir.

La porosité et la perméabilité du réservoir organisent la circulation des eaux souterraines et déterminent donc la morphologie et l'interconnexion des vides karstiques. Cependant, l'hétérogénéité du milieu et les propriétés physico-chimiques des roches karstifiables (carbonatées) peuvent faire évoluer ces deux paramètres (porosité et perméabilité).

I.3.5. Propriétés physico-chimiques des roches karstifiables

Les propriétés physico-chimiques des roches karstifiables sont caractérisées par (**Perineau, 2013**) :

- un comportement cassant, favorisant une tendance à la fracturation plutôt qu'une déformation plastique (comme les argiles sous des conditions de températures et de pression assez faibles) ;
- une faible solubilité du carbonate de calcium à la pression partielle de CO₂ atmosphérique (pCO₂) proche de 15 mg/l ;
- une porosité primaire assez faible, une porosité secondaire importante résultant des fractures (fissures, diaclases, failles...).

I.3.6. Morphologie karstique

Une grande diversité morphologique et hydrographique est constatée dans les différentes régions karstiques. Certaines formes karstiques très développées dans une région manquent complètement dans une autre. La composition chimique de la roche et le climat, sa couverture sédimentaire, la tectonique de la région, la présence et l'épaisseur de couches imperméables intercalées, sont des facteurs qui peuvent déterminer des différences morphologiques considérables entre les régions karstiques (**Chalikakis, 2006**).

I.3.7. Karstification

Ensemble des processus naturels mécanique (physique) et dissolution (chimique) à l'œuvre dans la formation du karst (**Hoffman et al, 2014**).

La karstification englobe « l'ensemble des processus de genèse et d'évolution des formes superficielles et souterraines d'une région karstique ». Elle est la conséquence de la dissolution des carbonates et de l'érosion mécanique. Elle dépend, essentiellement, de deux paramètres (**Perineau, 2013**) :

- le potentiel de Karstification, lié aux conditions climatiques ainsi qu'à la géométrie du réservoir et l'existence d'un gradient hydraulique,
- la structure interne du massif (lithologie, porosité, fracturation) car la karstification se développe le plus souvent dans la fracturation.

I.3.7.1. Principes de la karstification

Comprendre le fonctionnement d'un aquifère karstique c'est donc s'intéresser aux propriétés des roches encaissantes tout en étudiant les interactions qui existent entre les différentes phases (solides, liquides et gazeuses) du système karstique. Le processus de karstification dépend donc essentiellement de 2 paramètres (**Chalikakis, 2006**) :

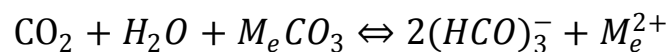
- les propriétés inhérentes aux roches carbonatées,
- l'action de la circulation des fluides (eau et gaz carbonique essentiellement) qui est le siège de la dissolution et de l'érosion mécanique (la karstification).

I.3.7.2. Conditions de karstification

Le phénomène de karstification ne peut se développer que dans des roches dont les minéraux sont solubles dans l'eau pure (gypse) ou dans l'eau rendue agressive par l'adjonction d'un acide fort (oxydation des sulfures métalliques, hydrogène sulfuré des gisements pétroliers), ou, dans l'immense des majorités des cas, par dissociation d'un acide faible (fig. 3), l'anhydride carbonique (CO_2) dissous dans l'eau (**Gilli et al, 2008**). Dans les eaux karstiques, le CO_2 dissous peut avoir plusieurs origines (**Lopez, 2009**) :

- Le sol pédologique (ou pédosphère) où l'activité biologique et bactériologique produit du CO_2 soit par dégradation de la matière organique soit par respiration racinaire ;
- Les circulations d'air chargé en CO_2 dans les milieux souterrains ;
- Un dégazage d'origine profonde ou volcanique.

Les eaux sont capables de dissoudre les roches carbonatées, suivant une réaction triphasique (roche carbonatée, eau et CO_2) dont la formulation est la suivante :



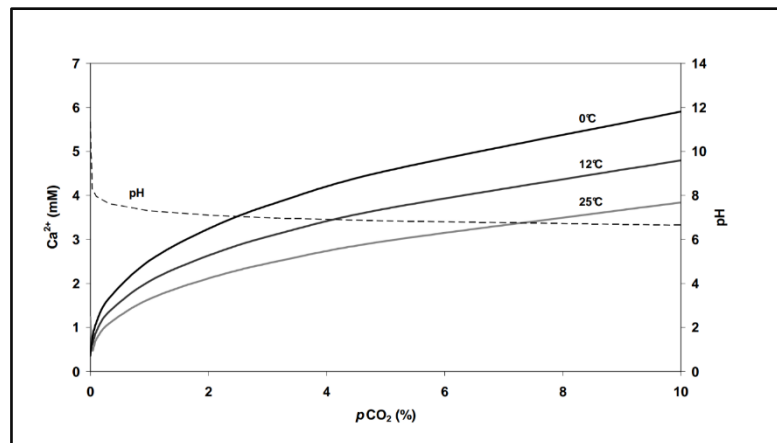


Figure 3 : Solubilité de la calcite (CaCO₃) dans l'eau pure en fonction de la pCO₂ à 0°C, 15°C et 25°C, calculée par Phreeq-C. Evolution du pH de la solution au cours de la dissolution de la calcite (Lopez, 2009).

I.3.7.3. Potentiel de karstification

Le processus de karstification, comme tout processus d'érosion, résulte d'une transformation d'énergie. On peut ainsi définir la notion de potentiel de karstification comme « la possibilité d'apparition d'une karstification et l'ampleur de cette dernière ». Il est déterminé par des facteurs énergétiques (Fournier, 2006).

- énergie de type hydrodynamique : il s'agit de l'énergie potentielle dont dispose l'eau à son entrée dans le massif calcaire. La circulation de l'eau au sein du massif provoque la dissipation d'une partie de cette énergie potentielle en énergie cinétique. Dans l'expression de l'énergie potentielle, deux données interviennent : le flux (donc le débit) et la dénivellation entre le lieu d'entrée et le niveau de base karstique (celui-ci en terme énergétique est la limite au-delà de laquelle l'énergie potentielle a été entièrement transformée ;
- énergie chimique : Cette énergie se manifeste d'abord par l'agressivité initiale de l'eau entrant en contact avec le calcaire et résultant essentiellement de la présence du dioxyde de carbone, atmosphérique mais surtout pédologique. Par l'intermédiaire de la couverture végétale, l'intensité de la karstification est donc une fonction du climat. Cette agressivité primaire corrode le karst superficiellement mais peut aussi être transférée dans les zones profondes du système karstique grâce à l'infiltration rapide. Il apparaît ainsi que la dissolution la plus forte se localise d'une part dans les zones proches de la surface, d'autre part dans le karst noyé ;

- énergie mécanique : cette énergie agit directement sur la roche. On peut distinguer deux types de fractures (Fig. 4) : les actions tectoniques auxquelles a été soumis le massif (mouvements des plaques), puis la présence de zones mécaniquement en détente qui sont très favorables à la karstification ;
- énergie thermique : elle intervient dans le cas des karsts thermaux, en modifiant les conditions d'équilibre et cinétiques des réactions chimiques et en fournissant un moteur aux mouvements des fluides.

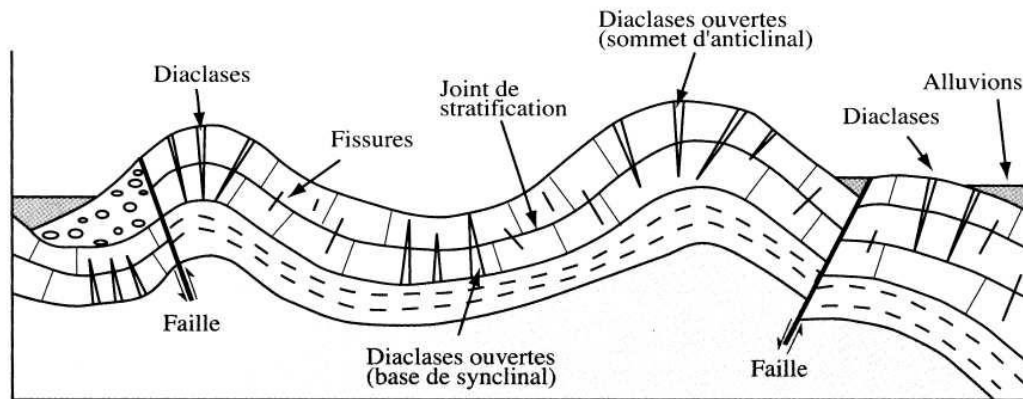


Figure 4 : Les discontinuités des massifs calcaires (Salomon, 2001)

I.3.8. Identification des types de karst

L'hétérogénéité particulière des aquifères karstiques ne permet pas de les identifier à partir d'une reconnaissance de leur structure puisque celle-ci n'est pratiquement pas accessible à l'observation directe. C'est par conséquent par le biais d'une analyse de leur fonctionnement que cette structure sera reconnue (Astruc *et al*, 1988).

Selon le processus de genèse (karstogenèse), on peut distinguer différents types de karst (Chalikakis, 2006) :

- Les karsts classiques qui ont pour origine des écoulements gravitaires et du CO₂ d'origine pédologique ;
- Les karsts profonds ou hydrothermaux qui sont d'origine hydrothermale. Les moteurs de la karstification sont le dégagement de CO₂ d'origine profonde et les gradients thermiques élevés ;
- Les karsts sulfuriques qui ont pour origine des écoulements gravitaires ou sont liés à des gradients de température, et la présence d'acide sulfurique (H₂S) ;

- Les karsts littoraux qui sont formés par l'interaction eau douce- eau salée sur la roche carbonatée.

I.3.9. Structure et fonctionnement du système karstique

I.3.9.1. Variabilité des systèmes karstiques

Il existe une grande variabilité des systèmes karstiques en raison de leur diversité de structures et de fonctionnements. Il est possible de classer les systèmes karstiques en fonction de la nature de leur impluvium et de la position de leur drain principal (**Perineau, 2013**).

A/ En fonction de la nature de l'impluvium, on distingue :

- Les karsts unaires pour lesquels l'ensemble de l'impluvium est constitué de terrain karstique (**Chalikakis, 2006**). L'infiltration diffuse à l'échelle du massif peut être lente ou rapide (**Perineau, 2013**) ;
- Les karsts binaires qui possèdent dans leurs bassins d'alimentation des terrains non karstiques et imperméables (**Chalikakis, 2006**).

B/ En fonction de drain principale, on distingue :

- Le karst Jurassien pour lequel le drain principal se développe à hauteur du niveau de base et de l'émergence (Fig. 05) (le réseau de drainage s'organise à proximité de ce même niveau) (**Perineau, 2013**) ;
- les karsts vaclusiens, où la karstification se développe en profondeur sous le niveau de base (Fig. 5).

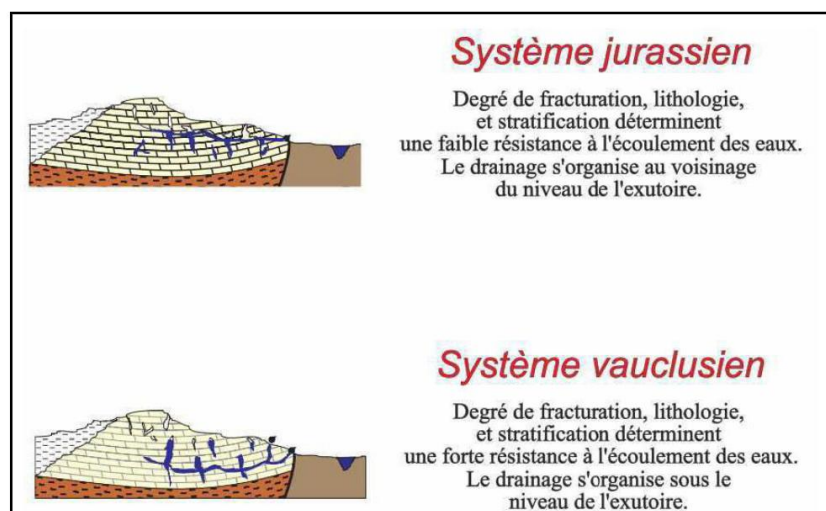


Figure 5: Représentation d'un système karstique jurassien et vaclusien (**Marsaud, 1996**)

I.3.9.2. Caractérisation du système karstique

Un réseau karstique est alimenté soit par les pertes d'un ou plusieurs cours d'eau de surface ou de nappe alluviale, soit par les infiltrations de précipitations très rapides sur un lapiaz. Surface très corrodée de plateau calcaire, une doline (**Martin, 2010**).

La structure interne d'un système karstique s'organise verticalement en 2 sous-systèmes au sein desquels l'écoulement est structuré de manière différente :

a- La zone vadose, qui regroupe :

- ❖ Le sol (qui peut être un impluvium karstique ou non), souvent d'épaisseur réduite mais il joue quand même un rôle essentiel dans le processus de karstification ;
- ❖ l'épikarst (EK), correspondant à la zone superficielle très perméable (zone de décompression) du massif karstique ;
- ❖ la zone non saturée (ZNS) ou zone de transmission, caractérisée par des écoulements diphasiques comprenant des cavités aérées, zones essentielles des activités spéléologiques.

b- La zone saturée (ZS) (ou zone noyée) dans laquelle les vides interconnectés sont remplis d'eau.

I.3.9.3. Zone non saturé

La zone non saturée est surmontée par l'épikarst au sein de l'ensemble de la zone vadose. Elle se caractérise par un écoulement considéré essentiellement comme diphasique eau-air et son rôle majeur est de conduire les eaux vers la zone saturée. Les écoulements sont majoritairement verticaux (**Perineau, 2013**). Ce compartiment correspond à la zone d'infiltration des eaux qui alimentent l'aquifère karstique, et on différencier deux sous-systèmes particuliers :

- **L'épikarst:** Il correspond à la zone superficielle très perméable du massif karstique dont l'épaisseur ne dépasse guère 15 mètres. Cet horizon peut présenter un niveau capacitif où peuvent se constituer des réserves temporaires. La vitesse de transit de l'eau va conditionner l'organisation des écoulements du massif. En effet, si l'infiltration est rapide, le potentiel de karstification sera introduit plus en profondeur dans le système. En revanche, si l'infiltration est lente et retardée, l'étendue de la karstification sera plus limitée dans le massif ;

- **La zone d'infiltration :** cette partie de l'aquifère karstique global est le siège d'un ruissellement souterrain. Elle peut atteindre une épaisseur considérable et jouer un rôle important dans la dynamique et le soutien à l'étiage de certain karst (**Lopez, 2009**).

I.3.9.4. La zone saturée

Le karst noyé est constitué par des sous-systèmes indépendants à forte capacité de stockage reliés entre eux par un réseau de drainage (**Lopez, 2009**). Ces drains peuvent se développer soit dans la partie supérieure du karst noyé (karst jurassien) soit dans la partie inférieure, sous le niveau de l'exutoire (karst vaclusien), les écoulements dans la zone saturée sont organisés et hiérarchisés pour aboutir à un exutoire principal voire unique quand le système est à l'équilibre (Fig. 6) (**Perineau, 2013**).

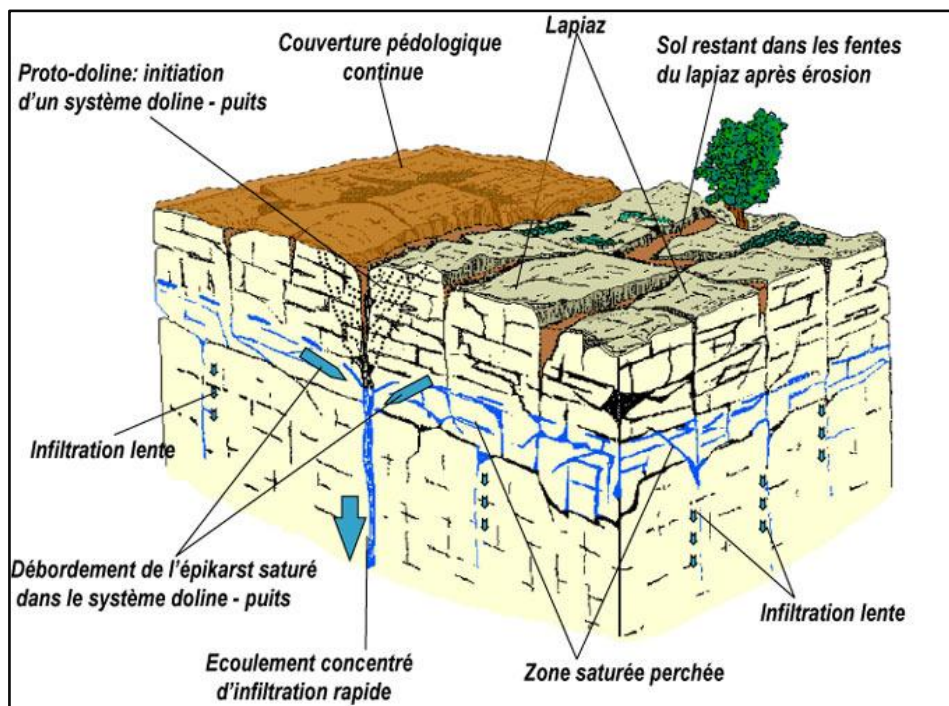


Figure 6: Coupe et paysage synthétique d'un aquifère karstique d'après Mangin, 1975

I.4. Caractéristiques des eaux naturelles

I.4.1. Caractéristiques organoleptiques

I.4.1.1. La couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelle et apparente sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité. La couleur de l'eau est généralement due à la présence de certaines impuretés minérales (fer, manganèse) (**Rodier, 2005**).

I.4.1.2. L'odeur

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire. Le sens olfactif peut seul, parfois, les déceler (**Rodier et al, 2009**).

I.4.1.3. Saveur

La saveur représente les sensations perçues à la suite de la stimulation des papilles gustatives par certaines substances solubles. L'apparition de « mauvaise goût » provient souvent d'une croissance de micro-organismes à l'intérieur de système de distribution ou bien d'une contamination occasionnelle de l'eau par les matériaux utilisés pour la construction ou l'entretien de réseau. Parfois, l'eau naturelle présente une saveur particulière (**Graindorge, 2015**).

De nombreuses substances minérales peuvent donner une saveur désagréable à des concentrations beaucoup plus faibles que celles qui provoqueraient des effets toxiques (**Graindorge, 2015**).

I.4.2. Les paramètres physico-chimiques

I.4.2.1. La turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales, argiles, limons, grains de silice, matières organiques (**Graindorge, 2015**).

I.4.2.2. La Température

Les eaux souterraines sont à température relativement constante toute l'année, 12 °C à 15 °C environ lorsque leur environnement n'est pas modifié.

La température des eaux superficielles (rivières, lacs et retenues) est très variable selon les saisons et peut passer de 2°C en hiver à 30°C (**Graindorge, 2015**).

I.4.2.3. Le pH

Le PH correspond pour une solution diluée, à la concentration d'ions hydrogènes. Il mesure l'acidité ou la basicité (alcalinité) d'une eau. Le pH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés (**Graindorge, 2015**).

I.4.2.4. La conductivité

La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. Ainsi, plus l'eau contient des ions comme le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le bicarbonate

(HCO_3^-), le sulfate (SO_4^{2-}) et le chlorure (Cl^-), plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée (**Benkaddour, 2015**).

I.4.2.5. Salinité (S_a)

La salinité explique la chlorosité de l'eau qui est le pourcentage de chlorure dans l'eau. Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations très variables dont l'origine peut être une percolation à travers les terrains salés, des infiltrations des eaux marines dans les nappes phréatiques ou profondes, des rejets humains (urines), des industries extractives (industries pétrolières, houillères...) et surtout les industries de sel (saline), de la soude et de la potasse (**El Morhit, 2009**).

I.4.2.6. Minéralisation globale

La minéralisation traduit la teneur globale en sels minéraux dissous, tels que carbonates, bicarbonates, chlorures, sulfates, calcium, sodium, potassium, magnésium. Une minéralisation excessive donne un goût salé et peut avoir des effets laxatifs.

Les eaux souterraines profondes ont une minéralisation plus stable dans le temps et plus importante que les eaux peu profondes (**Benkaddour, 2015**).

I.4.2.7. Calcium (Ca)

Le calcium, élément principale de la dureté de l'eau, est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Ses sels se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles. Leur teneur dans l'eau, qui peut varier de 1 à 1500 mg/l, est directement liée à la nature géologique des terrains traversés (**Graindorge, 2015**).

I.4.2.8. Magnésium (Mg)

Le magnésium est un élément très répandu dans la nature, dans de nombreux minéraux et dans les calcaires (2.1% de l'écorce terrestre) (**Rodier et al, 2009**).

La plupart des eaux naturelles présentent des teneurs comprises entre 5 et 10 mg/l. Cette concentration est en relation directe avec la nature géologique des terrains traversés. Le magnésium contribue à la dureté de l'eau sans être l'élément essentiel. Il intervient également dans nombre de systèmes enzymatiques (métabolisme des protéines, des lipides).

I.4.2.9. Chlorures (Cl^-)

La présence des chlorures dans les eaux naturelles peut être attribuée à la dissolution des dépôts de sel gemme, à la pollution provenant du salage des routes (contre la neige et le verglas), aux affluents de l'industrie chimique, à l'exploitation des puits de pétrole. Des additifs utilisés dans le traitement de l'eau sont aussi responsables d'une augmentation des teneurs en chlorures (**Graindorge, 2015**).

I.4.2.10. Dureté total (TH)

La dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium. Il n'est pas facile de définir un niveau entre ce qui constitue une eau dure et une eau douce. Les eaux provenant de terrains calcaires et surtout de terrains gypseux peuvent avoir des duretés très élevées susceptibles d'atteindre 1g/l de C_aCO_3 (Rodier *et al*, 2009).

I.4.2.11. Paramètres de pollution

I.4.2.11.1. Nitrites (NO_2^-)

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. Dans les eaux de surface, leur teneur est en général inférieure à 1 mg/l. On a pu montrer l'existence de nitrites dans l'eau de fonte des neiges et dans des nappes aquifères profondes.

Les nitrites peuvent être dangereux, tant à court terme qu'à long terme. Cette nocivité revêt deux aspects (Rejsek, 2002) :

- La transformation de l'hémoglobine du sang en méthémoglobine par oxydation par les nitrites du fer ferreux en fer ferrique ;
- La mutagenèse : les nitrites sont considérés comme des agents mutagenèses potentiels vis-à-vis des organismes inférieurs.

I.4.2.11.2. Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates (ou azote nitrique) représentent la forme azotée souvent la plus présente dans les eaux naturelles. Les nitrates constituent la composante principale de l'azote inorganique (Ninorganique) ou minéral, lui-même inclus majoritairement dans l'azote global (NGL) ou azote total (NT) avec une autre composante, l'azote organique (Norganique) (Rodier *et al*, 2009).

I.4.2.11.3. L'ammonium (NH_4^+)

«L'ammonium » (NH_4^+ est une forme réduite de l'azote et avec sa forme non-ionisée (NH_3), ils composent l'ammoniaque. L'ammoniaque est fréquemment présente dans des sources d'eaux souterraines où il n'y a pas d'oxygène (Rejsek, 2002).

L'ammoniaque, provient essentiellement de plantes et animaux en décomposition, de l'agriculture (pour laquelle de grandes quantités de fertilisants à base d'ammoniaque sont utilisés), et des processus industriels. Les eaux souterraines dites anaérobiques peuvent contenir de grandes quantités d'ammoniaque (>2 mg/l) (Rodier *et al*, 2009).

I.4.2.12. Les éléments indésirables

I.4.2.12.1. Le fer (Fe)

Le fer contenu dans les eaux superficielles peut avoir une origine tellurique, mais le plus souvent, il provient de lessivage de terrains et de pollutions minières ou métallurgiques. Il se trouve de manière plus importante dans les eaux souterraines car le fer est un des éléments de la croûte terrestre. Sa présence dans l'eau dépend des conditions physiques et hydrologiques. Les eaux contenant moins d'oxygène se chargent en fer (**Rejsek, 2002**).

I.4.2.12.2. Le cadmium (Cd)

Le cadmium, élément non essentiel, est toxique pour l'homme même à faible dose (à partir de 100 µg/jour). Son principal danger réside dans son effet cumulatif car il ne s'élimine pratiquement pas (**Graindorge, 2015**).

I.4.2.12.3. Le plomb (Pb)

La présence de plomb dans l'eau provient assez rarement de la ressource. La contamination peut résulter du contact avec des conduits en plomb, mais aussi avec d'autres matériaux métalliques ou non dont le plomb est un composant (**Graindorge, 2015**).

Tableau II : normes de quelques paramètres d'eau destinée à la consommation humaine selon l'algérienne des eaux.

	Paramètres	Unité	NA
Les éléments majeurs	Calcium (<i>Ca</i>)	mg/l	200
	Magnesium (<i>Mg</i>)	mg/l	150
	Chlorures (Cl^-)	mg/l	500
	Dureté total (TH)	mg/l	500
Paramètres de pollution	Nitrites (NO_2^-)	mg/l	0.2
	Nitrates (NO_3^-)	mg/l	50
	Ammonium (NH_4^+)	mg/l	0
Paramètres Indésirables	fer (<i>Fe</i>)	mg/l	0.3
	zinc (<i>Zn</i>)	mg/l	5
Paramètres Toxiques	Plomb (<i>Pb</i>)	µg/l	10
	Mercure (<i>Hg</i>)	µg/l	1
	Cyanure (<i>Cn</i>)	µg/l	50
	Cadmium (<i>Cd</i>)	µg/l	5

I.4.3. Paramètres bactériologiques

I.4.3.1. Germes totaux

La recherche des micro-organismes bactériens aérobies dite « revivifiables » permet de dénombrer la flore hétérotrophe se développant dans des conditions habituelles de culture et représente, sans prendre en compte tous les genres de bactéries, la teneur moyenne en bactérie d'une ressource naturelle. Ces germes n'ont pas d'effets directs sur la santé mais, sous certaines conditions, ils peuvent générer des problèmes dans le système de dialyse. Ce paramètre permet de mesurer les conditions sanitaires de la distribution (stagnation de l'eau, entretien déficient, présence des nutriments...) et du résiduel de désinfection. Une concentration en germes totaux trop importantes peut entraîner des problèmes d'ordre organoleptique (Graindorge, 2015). Une faible valeur est le témoin de l'efficacité du traitement et de l'intégrité du système de distribution (Tardat-Henry, 1993).

I.4.3.2. Coliformes totaux

Ce sont des organismes en formes de bâtonnets, non sporogones, gram négatif, oxydases négatives capables de croître en aérobiose à 37°C sur milieu de culture (Roux, 1989).

Les bactéries coliformes existent dans les matières fécales mais ils se développent également dans le milieu naturel (sol, végétation, eaux naturelles).

Les eaux traitées ne doivent pas contenir de coliformes. Cependant, l'absence de ces derniers ne signifie pas un risque pathogène, car les kystes de certains parasites, sont plus résistants à la désinfection que les coliformes. La présence d'un petit nombre de coliforme (1-10/100 ml) dans les eaux souterraines non traitées n'a qu'une signification réduite sur le plan sanitaire, lorsqu'elle ne s'accompagne pas de coliformes fécaux (Graindorge, 2015).

I.4.3.3. Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux présentent les mêmes propriétés que les coliformes totaux (Roux, 1989).

Ces coliformes sont capables de se développer à 44°C, alors qu'aucune croissance n'est observée à cette température pour les souches non fécales. La principale bactérie apparaît toujours en grandes quantités dans les déjections animales et humaines et ne se retrouve qu'exceptionnellement dans les sols et les eaux, qui n'ont pas fait l'objet d'une pollution fécale (Tardat-Henry, 1993).

I.4.3.4. Streptocoques fécaux

Ce sont des bactéries *cocci* gram-positif, regroupées sous le terme de streptocoques fécaux. Les germes essentiels du groupe sont : *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. durans*, *E. hirae*,

streptocoque bavis, *S suis* et *S equinus* (Roux, 1989). Ce sont des hôtes animales de l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud. Ce groupe n'est généralement pas considéré comme pathogène.

Les streptocoques fécaux appartiennent à un groupe de streptocoques qui ne sont pas tous d'origine fécale. Toutes fois, leurs recherches associées à celle de coliformes fécaux constituent un bon indice de contamination fécale. Certaines études ont même montrées que les streptocoques étaient un meilleur témoin que les coliformes fécaux, pour des pathologies infectieuses d'origine hydrique (Tardat-Henry, 1993)

Tableau III : les paramètres bactériologiques selon les N.A (source laboratoire d'analyses et contrôle de la qualité des eaux. ADE unité de Bejaia).

Paramètre bactériologiques	Unité	NA
Germes totaux		
• A 37°C	UFC/ml	10
• A 22°C	UFC/ml	100
Coliformes totaux	UFC/100ml	00
E. Coli	UFC/100ml	00
Streptocoques fécaux	UFC/100ml	00
Clostridium sulf-red	UFC/100ml	/
Vibrions cholérique	UFC/51	/
Salmonella typhi	UFC/51	/
Chlore résiduel libre	Mg/l	0.3-0.6

I.5. Pollution de l'eau

L'Algérie est parmi les pays d'Afrique les plus menacés par le fléau de la pollution de ses eaux. En effet, cette pollution continue de poser un problème sérieux pour l'homme et son environnement. 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) (Atteia, 2015).

Les activités humaines ont engendrés une contamination de la plupart des compartiments de l'environnement, seul l'océan profond et les aquifères profonds étant épargnés. Ainsi, les vecteurs et moyens de contamination sont-ils très divers. La première approche de

classification consiste à séparer les pollutions diffuses, épandues sur de grandes surfaces, des pollutions ponctuelles épandues sur des zones allant de quelques mètres carrés à un ou deux kilomètres carrés. Les pollutions diffuses ont deux origines principales (Atteia, 2015) :

- d'une part la pollution atmosphérique provenant des industries et des transports ;
- d'autre part la pollution agricole comprenant engrais et pesticides épandus sur de très grandes surfaces.

Les quantités épandues ont des ordres de grandeur très différents : les engrais sont épandus à des doses allant de 10 à 300 Kg/ha alors que les doses d'épandage des pesticides sont actuellement de quelques dizaines à centaines de g/ha. Les limites de potabilité étant de 50 mg/L pour les nitrates et de 0,1 µg/L pour les pesticides (Atteia, 2015).

Les pollutions ponctuelles sont principalement d'origine industrielle, infiltration de produits toxiques mal entreposés, fuites dans les réservoirs ou accidents lors du transport de matières dangereuses (Atteia, 2015).

Un polluant pourrait être défini comme une substance présente dans l'environnement en quantité suffisamment importante pour entraîner des effets indésirables sur les écosystèmes ou la santé humaine. Selon les types de polluants, le déplacement peut être très différent c'est-à-dire qu'ils ne vont pas se déplacer de la même vitesse, par ailleurs, les propriétés physicochimiques des milieux et des polluants sont donc indispensables à connaître pour gérer les risques liés aux pollutions (Atteia, 2015).

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 (Bordet, 2007).

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. Origine : les foyers domestiques, les hôpitaux, le lavage des déjections, les élevages, certaines industries agroalimentaires (Bordet, 2007).

c) La pollution physique

La pollution physique représente les éléments solides entraînés par l'eau. Ils se subdivisent en plusieurs catégories selon leur nature et leur dimension : éléments grossiers, sables et (matières en suspension MES) (Lounnas, 2009).

I.6. Eau et santé publique

Dans l'eau se trouvent des bactéries « banales » autotrophes vivant grâce aux éléments présents dans les eaux conformément à leurs types trophiques, des bactéries « pathogènes » dont la présence est accidentelle et qui vivent au détriment des mammifères. On y trouve également des virus : bactériophages banaux, bactériophages de bactéries pathogènes dont la présence est accidentelle et des virus de l'homme dont la présence est également accidentelle (Vilaginès, 2010).

I.6.1. Maladies à transmission hydrique

I.6.1.1. Maladies d'origine bactérienne

- **Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes** : ce sont de véritables septicémies dues à des salmonelles : *Salmonella typhi* et *paratyphi A, B* et *C*. Elles sont caractérisées par de la fièvre, céphalées, diarrhée, douleurs abdominales, accompagnées d'un abattement extrême (le tufos) et peuvent avoir des complications graves, parfois mortelles : hémorragies intestinales, atteintes hépatiques, respiratoires, neurologiques. La contamination se fait par voie digestive à partir d'eaux contaminées par des matières fécales, d'aliments avariés ou encore par des mains sales. La bactérie est retrouvée dans les selles du malade dans 50 à 80% des cas. Le traitement se fait grâce à l'antibiothérapie : notamment par la ceftriaxone, les fluoroquinolones et le chloramphénicol (Vilaginès, 2010).
- **Choléra** : Le choléra est un germe pandémique : *Vibrio cholerae* qui s'attaque à l'intestin grêle, c'est une maladie à incubation courte allant de quelques heures à 5 jours. La maladie est contractée en buvant une eau contaminée ou bien des aliments avariés par la bactérie. Il se caractérise par une diarrhée intense et elle s'accompagne de vomissements et de douleurs épigastriques avec anurie et crampes musculaires, son évolution est mortelle en l'absence de réhydratation et d'antibiothérapie. Le mécanisme d'action est dû à une toxine de 103 acides aminés qui se fixe sur les cellules du duodénum responsables de l'absorption de l'eau de la lumière intestinale ce qui conduit à une perte d'eau de 8 à 10 L/jour. En 2008, 190 130 cas de choléra ont été déclarés à l'OMS dont 5 143 décès (taux de létalité : 2,70%).

- **Légionelles** : Agent causal de la maladie des légionnaires, cette affection a été mise en évidence pour la première fois en 1976 à l'occasion d'un congrès de l'American Legion. Le réservoir est principalement hydrique et les sources de contamination sont les installations qui favorisent la multiplication des légionelles dans l'eau avec une température avoisinant 37 °C suivi d'une aérosolisation. Parmi celles-ci, on trouve les circuits d'eau chaude sanitaire (douches), les climatisations, les aérosols médicaux pour traitements respiratoires, les eaux thermales. Les symptômes ne sont pas spécifiques : fièvre, myalgies, anorexie, céphalées, détresse respiratoire...

La légionellose est une maladie à déclaration obligatoire, l'antibiothérapie est basée sur les macrolides et les quinolones (**Vilaginès, 2010**).

- **Gastroentérites aiguës et diarrhées**

Escherichia coli : c'est une bactérie saprophyte du tube digestif de l'homme et des animaux. Les viandes bovine et ovine (soit hachées et/ou mal cuites) ont été fréquemment signalées comme source de contamination, outre les eaux contaminées par les matières fécales de l'homme et des animaux. La shigatoxine (*Shiga toxin E. coli* : STEC) par son aptitude à produire des toxines infecte l'homme et les symptômes provoquer varient d'une simple diarrhée à une diarrhée sanglante, une anémie et une diminution du nombre des plaquettes.

- **Shigella dysenteriae** : les dysenteries bacillaires sont dues à des bactéries du genre *Shigella*. Extrêmement infectieuses, elles sont caractérisées par un syndrome gastro-intestinal comportant des douleurs abdominales, des expulsions de selles non fécales nombreuses (de 4 à 20 par jour), qui s'accompagnent d'un amaigrissement. L'espèce *Shigella dysenteriae* peut provoquer une forme particulièrement sévère de dysenterie dont la mortalité peut atteindre 20% (**Vilaginès, 2010**).

I.6.1.2. Maladies d'origine parasitaire

- **Amibes** : l'amibiase est l'une des maladies parasitaires les plus meurtrières du monde. Cette amibe : *Entamoeba histolytica*, parasite spécifique de l'homme, est responsable de la dysenterie amibienne. Elle sévit dans les régions chaudes et pauvres du globe notamment en Asie du Sud Est, dans le Sud Est et l'Ouest de l'Afrique et en Amérique du sud. Elle provoque les symptômes suivants : des crampes, diarrhée muco-sanglante dans les cas sévères, des abcès du foie, du poumon et du cerveau. Selon l'OMS, 10% de la population mondiale serait infectée par l'amibiase.

- **Giardia lamblia** : ce sont des flagellées habitant les régions intestinales et atriales. L'infection est oro-fécale par ingestion de kystes, le temps d'incubation peut aller de quelques jours à plusieurs semaines. Les symptômes incluent des crampes abdominales, nausées et diarrhée aqueuse.

I.6.1.3. Maladies d'origine virale

- **Hépatite A** : nommée également hépatite infectieuse, elle est provoquée par un virus de la famille des Picornaviridae. Sa transmission est oro-fécale et sa durée d'incubation est de 2 à 6 semaines, elle est caractérisée par son aptitude à diffuser via l'estomac vers l'intestin et le foie. Il est particulièrement fréquente dans les pays à faible niveau d'hygiène, il induit souvent un jaunissement de la peau, fièvre, fatigue, nausées et vomissements, des urines brun-doré avec des selles décolorées, et ne conduit que rarement à un dysfonctionnement hépatique chronique (inflammation du foie).
- **Entérovirus** : les entérovirus sont parmi les plus courants et les plus importants agents pathogènes pour les humains. La poliomyélite est une maladie virale due au poliovirus qui conduit à une paralysie, la contamination se fait par voie digestive par l'intermédiaire de l'eau ou des aliments. Le virus provoque dans un premier temps une légère fièvre, au bout de quelques jours, chez 1 à 2% des sujets infectés, il atteint les neurones moteurs de la corne antérieure de la moelle épinière dont la destruction est responsable de forme de paralysies musculaires. Les Cocksackie A et B et les entérovirus 71 sont les entérovirus le plus souvent responsables de méningites virales bénignes mais qui, dans de rares cas, peuvent être la cause d'encéphalites (**Vilaginès, 2010**).

I.7. Lois algériennes relatives à l'eau

Selon le (**J.O.R.A, 2005**), la protection qualitative et la prévention contre les pollutions des ressources en eau sont assurées par des périmètres de protection et de prévention cités dans les articles de chapitre 3 et de chapitre 4 du journal officiel :

Article. 39. - A l'intérieur des périmètres de protection qualitative, l'ensemble des activités, y compris les activités agricoles ou industrielles, peuvent être réglementées ou interdites. Peuvent faire l'objet de mesures particulières de contrôle, de restriction ou d'interdiction, les activités concernant notamment :

- l'installation de canalisations d'eaux usées ;

- l'installation de canalisations, réservoirs et dépôts d'hydrocarbures, de stations-service de distribution de carburant ;
- l'installation de centrales d'asphalte ;
- l'établissement de toutes constructions à usage industriel ;
- le dépôt de déchets de toutes natures ;
- l'épandage d'effluents et, d'une manière générale, tous produits et matières susceptibles d'altérer la qualité de l'eau, y compris, le cas échéant, les produits destinés à l'agriculture;
- l'installation et l'exploitation de carrières.

Article. 46. - Sont interdits :

- tout déversement ou rejet d'eaux usées de toute nature dans les puits, forages, galeries de captage, fontaines et abreuvoirs publics, oueds à sec et canaux ;
- tout dépôt ou enfouissement de matières insalubres susceptibles de polluer les eaux souterraines par infiltration naturelle ou par recharge artificielle ;
- l'introduction de toutes matières insalubres dans les ouvrages et installations hydrauliques destinés à l'alimentation en eau ;
- le dépôt et/ou l'enfouissement de cadavres d'animaux dans les oueds, lacs, étangs et à proximité des puits, forages, galeries de captage, fontaines et abreuvoirs publics.

Chapitre II
Matériel et Méthodes

II.1. Présentation de la région d'étude

II.1.1. Situation et limites

Du point de vue géographique, la wilaya de Sétif est localisée dans l'Est algérien dans les Hauts-Plateaux. Elle est limitée : au Nord par les wilayas de Bejaia et Jijel, à l'Est par la wilaya de Mila, au Sud par les wilayas de Batna et M'Sila et à l'Ouest par la wilaya de Bordj Bou Arréridj. Elle occupe une superficie de 6.549,64 km² et comporte 60 communes réparties selon 20 Daïras, dont la commune de **Bousselam (Djenba, 2015)**.

La commune de Bousselam se situe à environ 75 Km à l'extrême Nord-ouest de la wilaya de Sétif et fait partie administrativement de la daïra de Bouandas, elle est limitée :

- au Nord par la commune de Kendira de la wilaya de Bejaia ;
- au Sud par Béni Chebana et Talaifacene ;
- à l'Est par Aït Naoual Mezada et Bouandas ;
- et à l'Ouest par Béni Ourtilane et Béni Mouhli et Barbacha.

Le territoire de Bousselam est traversé au Sud par l'oued Bousselam (l'affluent Est de l'Oued Soummam) et elle se trouve au cœur de la chaîne des Babors. Le point culminant de la commune est le mont Takintoucht culminant à 1 600 mètres d'altitude.

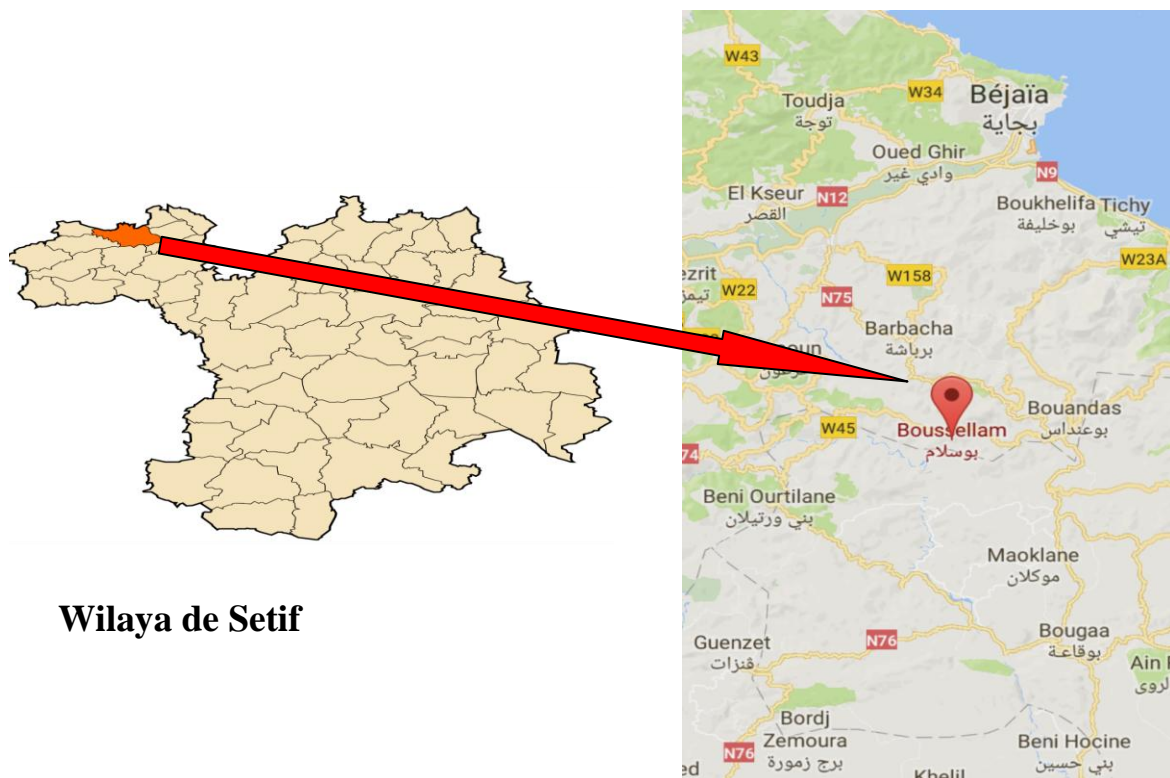


Figure 07 : Localisation de la région d'étude (source Google Earth).

II.1.2. Le relief de la wilaya

Le relief de la wilaya de Sétif se divise en trois grandes zones (Fig. 08) (**Djenba, 2015**) :

a. Zone montagneuse : Cette zone occupe plus de 40% de la superficie de la wilaya. Elle est bien représentée au Nord et au Sud. La partie Nord est représentée par deux lignes principales de reliefs. La plus septentrionale correspond à la chaîne des Babors représentée par Sidi Mimoune (1.646 m), Tilioune (1.698 m) avec le point culminant, le sommet de Djebel Babor (2004 m). La deuxième ligne de hauteurs est moins continue et s'abaissent progressivement vers le Sud.

b. Zone des hautes plaines : c'est une immense étendue occupant 50% de la superficie totale de la wilaya. Elle est relativement plane et dont l'altitude varie de 950 m à l'Ouest jusqu'à 750 m à l'Est.

c. Zone de dépression Sud: elle est située dans le Sud de la wilaya où l'altitude dépasse rarement les 900m. Cette zone est pratiquement plane. Elle couvre une superficie de 10% de l'espace de la wilaya.

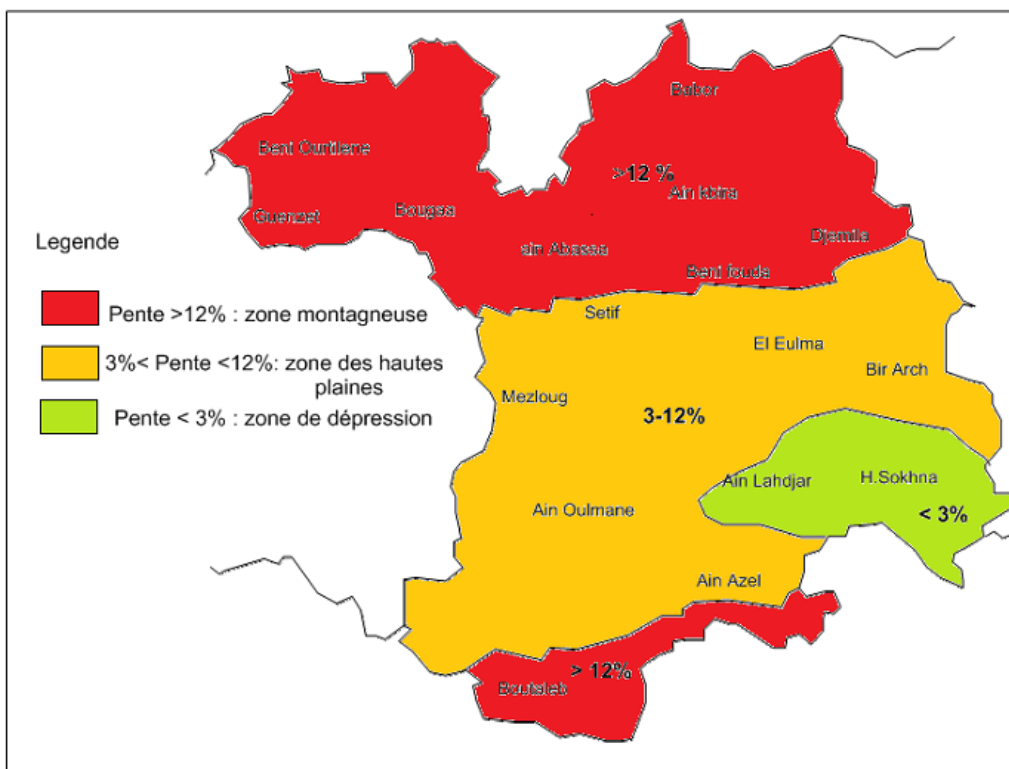


Figure 08 : carte des pentes de la wilaya de Sétif.

II.1.3. Description de la région d'étude

Notre zone d'étude comprend trois (03) communes (Kendira, Bousselam, Bouandas), appartenant au bassin versant de Bousselam. Ce dernier prend sa source au djebel Meghris au Nord de Sétif et draine l'eau vers l'oued Soummam sur une longueur de 159 Km.

II.2. Délimitation du Bassin versant de Bousselam

II.2.1. Bassin versant

C'est le territoire associé à une rivière et regroupant toutes les surfaces sur lesquelles ruissellent, s'infiltrent et courent toutes les eaux qui alimentent cette rivière (**Raven et al, 2009**).

II.2.2. Localisation géographique et topographique

L'oued Bousselam représente le principal axe hydrographique de Sétif. Il constitue avec l'oued Sahel à l'Ouest, l'un des deux principaux affluents de la Soummam ; il draine 54,9 % de la superficie totale du bassin à la mer (**Djenba, 2015**). La Superficie du bassin versant est de 4300 km², avec une longueur de 159 km et un volume régularisable annuellement de près de 38 Hm³. Il est constitué par la réunion de l'oued Gassar qui longe le piémont sud du djebel Meghris (Altitude 1737m) et l'oued Ouricia qui se trouve dans la partie sud de ce djebel. (**Sersoub, 2012**).

Il prend sa source à une altitude de 1100 m environ à cinq kilomètres au Nord-ouest de la ville de Sétif. Il s'étale approximativement entre les longitudes : 5° 20' 00'' et 5° 25' 00'' Est et 36° 10' 00'' et 36° 15' 00'' Nord. L'Oued Bousselam passe par plusieurs agglomérations dans la région Nord de Sétif (Bougaâ, Hammam Gergour, Oued Sebt, Charchar et Béni Ourtillene) et la région Sud (Farmatou, Sidi el khier, Mezloug et Hammam Ouled Yelles) (Fig. 09).

Historiquement, cet Oued a de tout temps été considéré comme un milieu humide de premier plan par les riverains et notamment par les habitants de la ville de Sétif. Il était exploité aussi bien pour la baignade, la pêche, le loisir et même les villégiatures (**Sersoub, 2012**).

Quelques caractéristiques de l'Oued

- **Superficie** : 1800km² ;
- **Périmètre** : 175km ;
- **Coefficient de torrentialité** : 1.115 ;
- **Altitude maximale** : 1674m ;
- **Altitude minimale** : 850m ;
- **Altitude moyenne** : 1000m ;

- **Pente moyenne:** 2.71m/km ;
- **Longueur du talweg principal:** 65km.

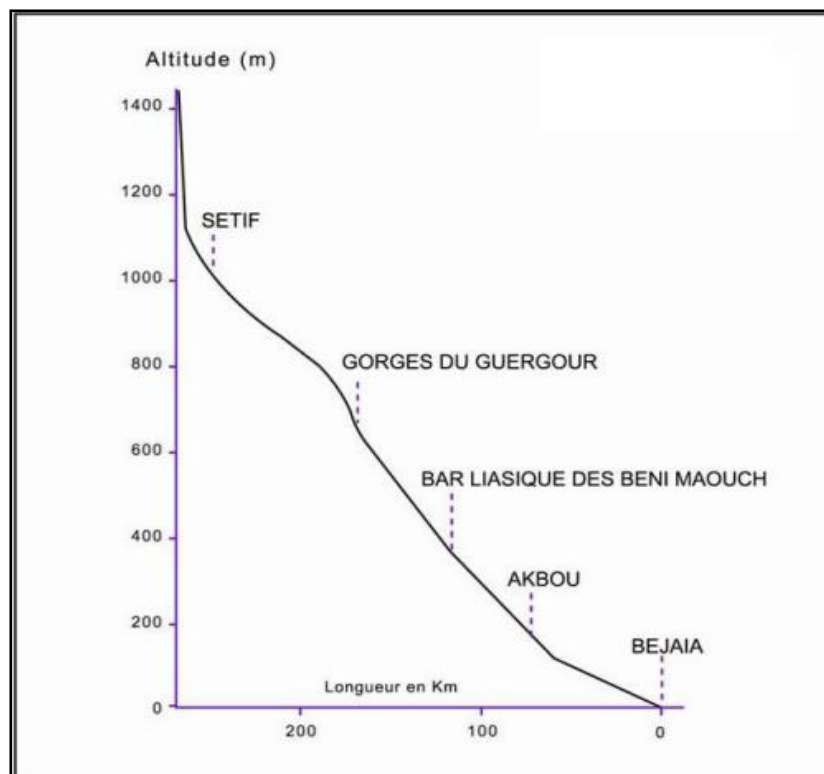


Figure 09 : Profil en long de l'oued Bousselam-Soummam (d'après **Djenba, 2015**).

II.3. Géologie

La géologie et la lithologie constituent une donnée importante pour la connaissance et l'étude du milieu. La nature des terrains est un des principaux critères qui conditionne le choix des travaux de mise en valeur. D'un point de vue géologique, l'Algérie est subdivisée en deux domaines qui s'opposent par leur histoire et leur structure géologique (**Sersoub, 2012**):

- **Un domaine septentrional en Algérie du Nord ;**
- **L'Algérie saharienne ;**

La frontière entre ces deux domaines est délimitée par l'accident Sud-atlasique qui suit le revers Sud de l'atlas saharien.

Notre zone (région) étudiée appartient au premier domaine et fait partie de **la chaîne Maghrébides**.

II.3.1. Aperçu sur la géologie de l'Algérie du Nord

La chaîne alpine d'Afrique du Nord ou chaîne des Maghrébides fait partie de l'orogénèse alpin périméditerranéen d'âge Tertiaire qui s'étend de l'Ouest à l'Est sur 2000 km depuis l'Espagne du Sud, à l'arc calabro-sicilien (**Djenba, 2015**).

Dans ce domaine en forme d'anneau très aplati, on distingue classiquement les zones internes, situées à l'intérieur de l'anneau et représentées aujourd'hui par différents massifs, dispersés le long de la côte méditerranéenne et les zones externes situées à sa périphérie. Le domaine de la chaîne des Maghrébides a connu des phases de déformations méso-cénozoïques aboutissant à la mise en place de nappes de charriages. C'est le domaine des nappes ou domaine allochtone. En Algérie, la chaîne des Maghrébides montre du Nord au Sud différents domaines représentés dans la figure suivante :

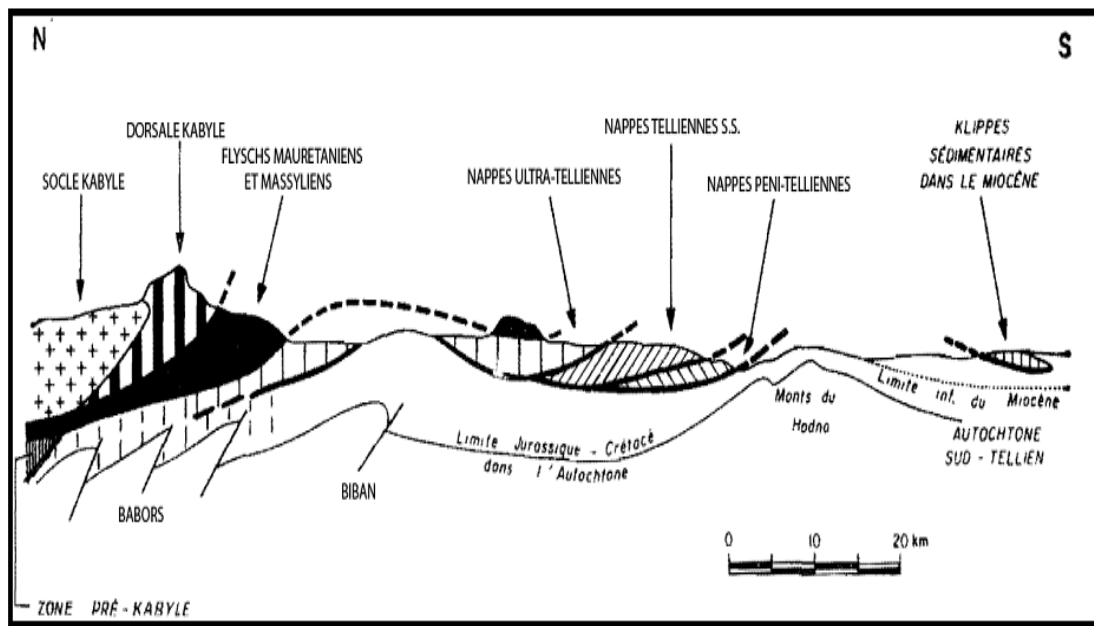


Figure 10 : Rapports structuraux entre les différentes unités de la chaîne des Maghrébides.

II.3.2. Description lithologique des formations

La géologie du bassin d'Oued Bousselam a été étudiée en se référant aux anciens travaux géologiques : La carte géologique de Sétif au 1/50 000, la carte géologique de l'Algérie au 1/500.000.00. L'Oued Bousselam s'étend sur des roches calcaires appartenant au Quaternaire (Vila, 1977).

Du point de vue lithologique, on distingue des roches calcaires appartenant au quaternaire, des apports d'alluvions récentes constituées de dépôts quaternaires d'origine calcaire lacustre, et des croutes villafranchiennes avec horizon caillouteux sphéroïdes.

Le Mio-pliocène montre la présence des dépôts fluvio-lacustres offrant habituellement une coloration rougeâtre, assez prononcée, constitués de sables, graviers limon et argiles.

Le lit de l'oued est limité par les formations telliennes qui sont surtout représentées par des unités supérieures à matériel éocène et se localisent sur les versants Sud-ouest de Djebel Megress en plus de l'éocène moyen et supérieur formé par des marnes noires, brunes et grises. Le Sud de la carte géologique de Sétif est constitué par la nappe de Djemila composée de calcaire bitumineux blanc à cassure noire et silex noir. Au Nord, on trouve des formations calcaires constituées de roches marneuses noirâtres et de calcaire massif gris, blancs ou noirs (Fig. 11) (Sersoub, 2012).

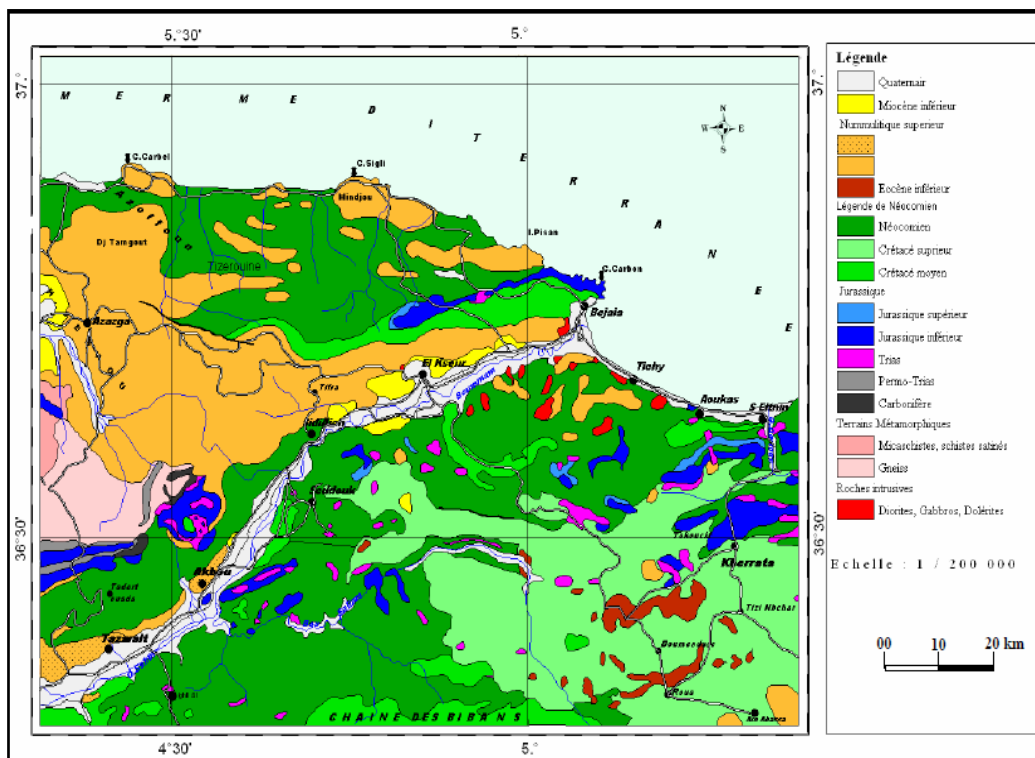


Figure 11 : Carte lithostratigraphique de la vallée de la Soummam 1/200000e (extraite de la carte géologique Nord Constantine 1/200000e).

II.4. La végétation

La barrière climatique des reliefs septentrionaux et l'altitude accentuent les contrastes et diversifient la végétation. On distingue sur les monts des Babors les forêts de Pin d'Alep, de cèdre, le sapin de Numidie, le cyprès, le chêne vert et le chêne-liège. Par ailleurs, la zone montagneuse demeure une région de l'arboriculture notamment l'olivier et le figuier. Les hautes plaines sont le domaine de la céréaliculture et des cultures maraîchères. Par contre pour la zone des dépressions et compte tenu de la qualité saline de ses sols, la flore est généralement pauvre (Djenba, 2015).

II.5. Le réseau hydrographique

Comme la majorité des cours d'eau d'Algérie ceux de la wilaya de Sétif, conséquence des précipitations, ont des écoulements irréguliers. Le réseau hydrographique est organisé autour du dispositif montagneux de la région. Dans la moitié Nord, l'écoulement des eaux de surface se fait vers la mer Méditerranée par Oued Bouselam qui rejoint la Soummam, Oued Agrioun, Oued El Kebir, Oued Bou Slah et Oued Rhumel. Ces réseaux hydrographiques alimentent les barrages et les retenues collinaires de la région.

II.6. Climatologie

Toute étude climatologique, hydrologique ou pluviométrique est basée sur l'exploitation de séries des données recueillies pendant des périodes plus ou moins longues continues ou discontinues (Dubreuil, 1974). En l'absence d'observations au niveau de la région étudiée nous avons utilisées les données recueillies de la station météorologique de Bejaia auxquelles nous avons appliqué la méthode de correction proposée par Seltzer en 1946 et décrite ci-dessous. La période d'observation pour les précipitations s'étale sur 48 ans (de 1970 à 2017) et pour les températures 40 ans (1978 à 2017).

II.6.1. Température

L'abaissement des températures maximales est de **0,65°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. L'altitude maximale de notre zone d'étude est de l'ordre de **1674m** et l'altitude minimale est de **2m**. Ce qui signifie que l'altitude moyenne de notre zone d'étude est d'environ **836m**.

Tableau IV : Températures moyennes mensuelles en degrés Celsius corrigées de la région d'étude pour la période (1978-2017).

MOIS	J	V	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
T (°C)												
T max	11,15	11,62	13,28	15,01	17,53	21,03	24,13	24,88	22,79	20,07	15,42	12,27
T° min	4,14	4,33	5,69	7,49	10,63	14,33	17,33	17,91	15,8	12,56	8,44	5,33
T° moy	7,64	7,97	9,48	11,25	14,08	17,68	20,73	21,39	19,29	16,31	11,93	8,8

T° max: Température maximale.

T° min: Température minimale.

T° moy : $(T^{\circ} \text{ max} + T^{\circ} \text{ min})/2$: Température moyenne.

Le tableau représente les données de températures minimales (**T° min**), maximales (**T° max**) et moyennes (**T° moy**) de la région d'étude. Il en ressort que le mois de janvier est le plus

froid à une valeur **4.14 °C**, alors que les mois de juillet et août sont les plus chauds à des valeurs **24.13°C** et **24.88°C**.

II.6.2. Les précipitations

Les précipitations ont un rôle très important en région méditerranéenne. Elles sont caractérisées par leur régime irrégulier et leur répartition inégale (sécheresse de l'été). Elles se présentent essentiellement sous forme de pluie mais aussi sous forme de neige en période hivernale et au printemps (Sersoub, 2012).

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 (Pan=783.85mm).

Les précipitations moyennes annuelles corrigées du bassin versant Bousselam (P'an=783.85+334.4=1118.25mm).

Donc, le rapport $K = \text{Pan} / \text{P'an}$ est égal à 0.7 ($K=0.7$).

Les précipitations mensuelles du site de bassin versant Bousselam sont le résultat du produit des données brutes de la station de Bejaia par le coefficient **K=0.7**

Tableau V: La répartition des précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la station de Bejaia et notre région d'étude (1970-2017).

Mois	J	V	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D	P(mm)
Bejaia	110.75	93.35	86.27	68.61	42.12	13.68	5.95	12.05	48.91	76.84	101.44	123.88	783.85
Bassin de Bousselam	77.52	65.34	60.38	48.02	29.48	9.57	4.16	8.43	34.23	53.78	71	86.71	548.62

Le régime pluviométrique de Bassin versant de Bousselam présente une certaine variabilité. La moyenne la plus basse est enregistrée durant le mois de Juillet avec **4.16mm**, alors que le mois le plus pluvieux est Décembre et Janvier avec des moyennes mensuelles de **86.71mm** et **77.52mm**

II.6.3. Synthèse des données climatiques

II.6.3.1. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

D'après Bagnouls et Gausсен (1957) un mois est considéré comme sec lorsque le total des précipitations **P**, exprimé en mm, est égal ou inférieur au double de la température moyenne **T**, du mois, exprimée en degré Celsius. Partant de ce principe, la durée et l'importance de la période sèche peuvent être déterminées par le diagramme ombrothermique proposé par ces

deux auteurs. Ce diagramme est obtenu par un graphique où les mois de l'année sont en abscisse, les précipitations moyennes mensuelles (P en mm), en ordonnée de droite, les températures (T en degrés centigrades), en ordonnée de gauche et à une échelle double. La période sèche s'individualise lorsque la courbe des précipitations passe sous celle des températures, c'est à dire lorsque $P < 2T$.

Tableau VI : les données climatiques corrigées (températures moyennes et hauteurs totales mensuelles des précipitations) d'après la station météorologique de l'aéroport de Bejaia (1978-2017). Latitude N (36° 43'), longitude E (05° 04') et altitude en m (2)

mois	J	F	M	A	M	J	JUI	A	S	O	N	D
T°C	7,64	7,97	9,48	11,25	14,08	17,68	20,73	21,39	19,29	16,31	11,93	8,8
P(mm)	79,45	64,09	57,84	45,72	29,07	9,19	3,62	8,98	33,17	49,95	71,65	90,06

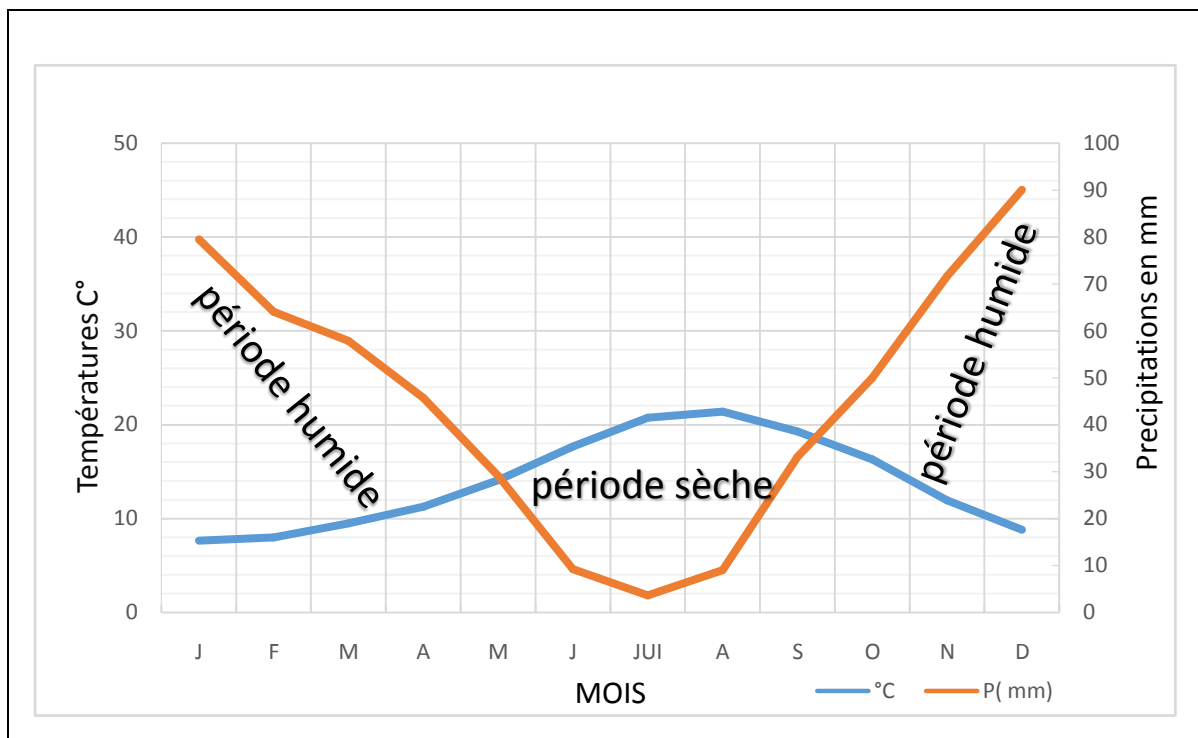


Figure 13 : diagramme Ombrothermique Bagnouls et Gausson de notre zone d'étude (bassin versant Bousselam) (1978-2017).

Le diagramme pluviothermique obtenu montre l'existence de deux périodes. La période sèche débute dès la deuxième semaine du mois de Mai jusqu'à la fin du mois de septembre et la période humide commence le début d'octobre jusqu'au début du mois de mai.

II.6.3.2. Climagramme d'Emberger

La classification bioclimatique la plus utilisée en Afrique du Nord et particulièrement en Algérie, est celle d'Emberger corrigé par Stewart, et cela en se basant sur les données de températures et de précipitations. Le Climagramme d'Emberger est exprimé par la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{3.43P}{M - m}$$

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 (bassin versant bousselam) : P=542.79mm, M=24.88°C, m=4.14°C

$$Q_2 = \frac{3.43 \times 542.79}{24.88 - 4.14}$$

$$Q_2 = 89.76$$

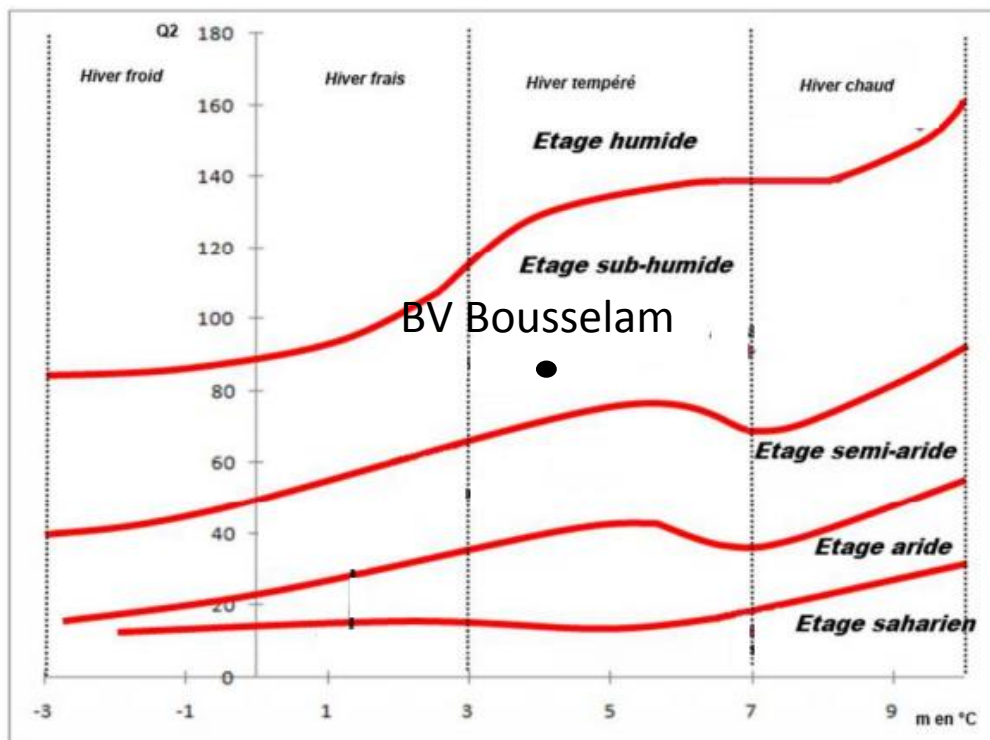


Figure 14 : classification climatique de la région d'étude d'après le diagramme d'Emberger

Le bassin versant du Bousselam est classé dans un étage bioclimatique sub-humide et à hiver tempéré.

II.7. Présentation de l'Algérienne Des Eaux en Algérie

L'Algérienne Des Eaux est un Etablissement Public national à caractères Industriel et commercial (EPIC). Il a été créé par le décret exécutif n° 01-101 du 21 Avril 2001 (JORA, 2001). Sa principale mission est de mettre de l'eau potable à la disposition du consommateur.

Le taux de raccordement a atteint en 2014 les 96% de la population selon la ministère des ressources en eau. Le nombre total de communes gérées par l'Algérienne Des Eaux est de 814. Le nombre total de clients est de 3.4 millions. La longueur du réseau d'alimentation en eau potable est de 55957 Km linéaire, 18229 Km pour l'adduction et 37728 Km pour la distribution.

II.7.1.Missions de l'Algérienne Des Eaux

L'établissement est chargé d'assurer, sur tout le territoire national, la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau potable. Elle a pour objectif :

- ✓ La prise en charge des activités de gestion des opérations de production, de transport, de traitement, de stockage, d'adduction, de distribution et d'approvisionnement en eau potable et industrielles ;
- ✓ Il est chargé à l'introduction de toute technique de préservation de l'eau et de lutte contre le gaspillage ;
- ✓ Il est chargé de développer des actions d'information, de formation, d'éducation et de sensibilisation en direction des usagers ;
- ✓ Il est chargé de la conception, avec les services publics éducatifs, de programmes scolaires diffusant la culture de l'économie de l'eau.

II.7.2.Présentation de l'unité Algérienne Des Eaux de Bejaïa

L'unité Algérienne Des Eaux de Bejaïa compte 5 centres de distribution (Fig.15), un centre de travaux, 16 agences technico-commerciales et 20 équipes d'intervention et de maintenance. Elle totalise 841 travailleurs répartis entre les différents services. Elle gère 250 réservoirs totalisant 81.820 m³d'eau desservant 482.898 habitants. Son réseau est constitué de 311.562 mètres linéaires à l'adduction et de 521.514 mètres linéaires à la distribution. Pour le contrôle de la qualité de l'eau, l'unité Algérienne Des Eaux de Bejaïa dispose d'une équipe de 17 biologistes et chimistes. Ils sont répartis en deux équipes pour veiller à la qualité bactériologique et physico-chimique de la ressource distribuée selon la norme Algérienne.

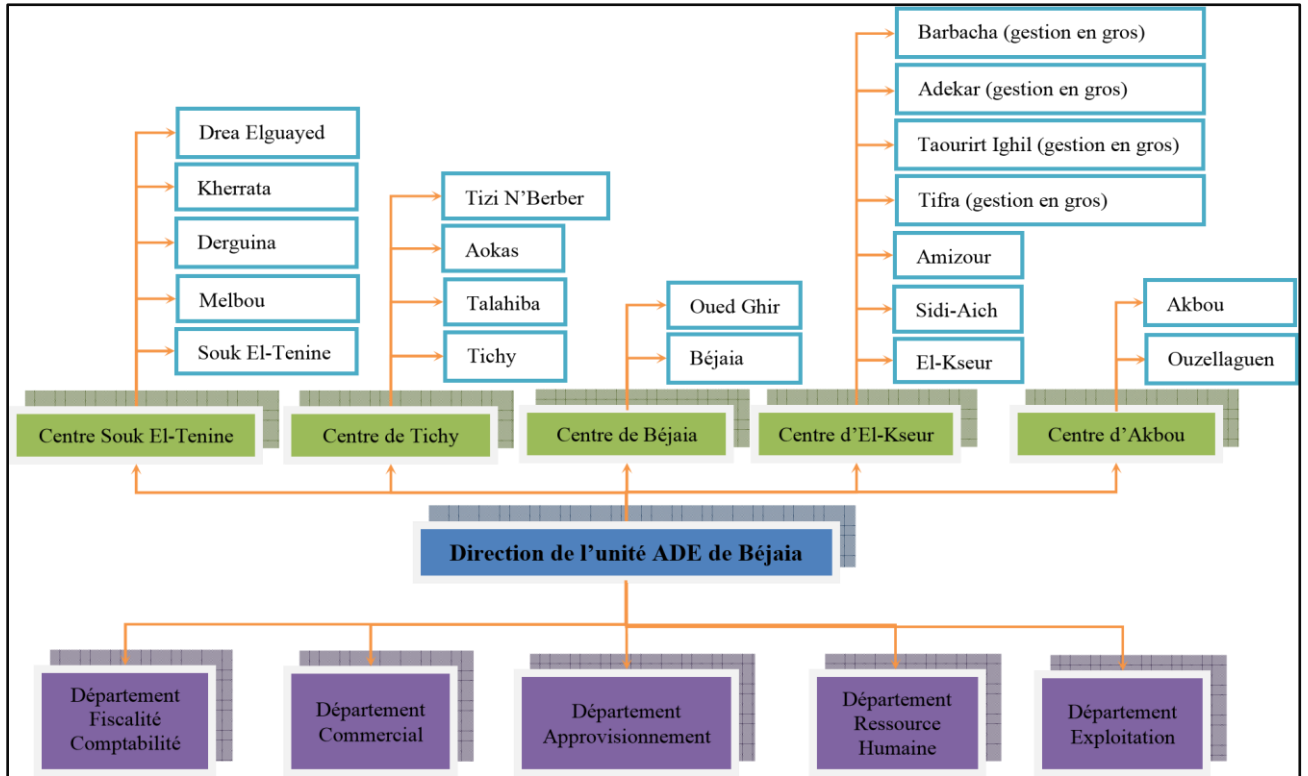


Figure 15 : Organigramme de l'unité Algérienne Des Eaux de la ville de Béjaia

II.8. Géolocalisation des sources

Les sources d'eau que nous avons échantillonnées sont localisées à l'aide d'un GPS (*Global Positioning System*).

Dans les années 1980, le Global Positioning System (GPS) fut créé pour répondre à des besoins militaires de géolocalisation. Il est devenu un outil essentiel, contribuant à l'émergence de nouveaux paradigmes dans de très nombreux domaines et notamment dans les sciences de l'environnement. (Nahmani, 2012).

Le GPS utilisé dans cette étude est de marque Eltrex (GARMIN). Il nous donne les coordonnées géographiques des sources en degrés, minutes et secondes.



Figure 16 : GPS de marque Eltrex (GARMIN)

II.9. L'échantillonnage

La technique de l'échantillonnage est primordiale car il conditionne la pertinence et la fiabilité des résultats de l'analyse. Il doit être précis mais également le mieux planifié dans le temps et dans l'espace pour qu'il soit le plus représentatif de l'échantillon d'eau à étudier.

II.9.1. Flaconnage

La nature du matériau du récipient de prélèvement est importante, car celui-ci ne doit pas entrer en réaction avec l'eau à analyser.

Les échantillons d'eau doivent être prélevés dans des récipients propres, rincés plusieurs fois avec l'eau à analyser, puis fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon, sauf si le récipient, provenant du laboratoire, contient un agent chimique (pour éviter la prolifération bactérienne) ou encore acide conservateur (pour empêcher la précipitation des métaux).

II.9.2. Échantillonnage physico-chimique

Nous avons utilisé des bouteilles en plastique de 0,5L, rincées plusieurs fois avec l'eau à analyser puis remplies jusqu'au bord pour éviter l'oxydation et dégazage.

Ensuite, nous avons numéroté les bouteilles de 1 jusqu'à 5 comme suit :

Source Thala ouazerar (1), source Semta (2), source Ain dokar (3), source Elkseur (4) et source Acherchour (5).

II.9.3. Échantillonnage bactériologique

L'échantillonnage est fait dans des conditions rigoureuses. Nous avons utilisé des flacons en verre de 250ml préalablement nettoyés et stérilisés par autoclavage à 120°C durant 20min au laboratoire.

Le prélèvement bactériologique se déroule comme suit :

Nous avons d'abord passé un fragment de coton imbibé d'éthanol, puis flamber l'orifice de la source à l'aide d'un briquet, pour la stériliser.

Le flacon ne doit pas être rempli complètement, afin de fournir de l'oxygène aux microorganismes aérobies (la teneur des échantillons en certains microorganismes peut se modifier rapidement, pour cela les analyses doivent être immédiates, ne pas dépasser les 24h après le prélèvement).

Ensuite, nous avons numéroté les flacons par les mêmes informations que celles des échantillons pour les analyses physico-chimiques. Les prélèvements sont placés dans une glacière à 4°C pour empêcher la multiplication de germes, puis acheminés aux laboratoires.

II.10. Méthodes d'analyses

II.10.1. Les analyses physico-chimiques

II.10.1.1. Les paramètres physiques

✓ Mesures in situ

Cinq paramètres physiques (température, pH, conductivité électrique, salinité et Total des solides dissous) ont été mesurés in situ à l'aide d'un multi paramètre de type EXTECH Instrument EC510, En effet, ces paramètres sont très sensibles aux conditions de milieu et susceptible de varier dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur site.



Figure 17 : multi paramètres de terrain (EXTECH Instrument EC 510).

- **Mesure des débits par méthode volumétrique:** La méthode volumétrique permet une réelle mesure du débit. Elle consiste à mesurer le temps de remplissage par l'écoulement de la source d'un volume donné, et d'en déduire le débit selon l'équation ci-dessous. Le matériel requis est simple : un récipient calibré, et un chronomètre.

$$Q = V / t$$

Où

- Q : Débit, exprimé en l/s;
- V : Volume (l) ;
- t : Temps (s).

✓ Mesures au laboratoire

Turbidité

La turbidité a été mesurée au laboratoire de l'ADE avec un turbidimètre de type HACH 2100N.

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

- ✓ Bêcher ;
- ✓ Turbidimètre ;
- ✓ Cuvette de mesure en verre.



Figure 18 : turbidimètre HACH 2100N (laboratoire de l'ADE)

II.10.1.2. Les paramètres chimiques

- 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.

Matériels

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

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.

Matériels

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

- **Détermination de l'alcalinité**

Principe

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bicarbonates (HCO_3^-), carbonates (CO_3^{2-}) 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.

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 Naphtyléthylène diamine dichlorure donne naissance à une coloration rose mesurée à 543nm.

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 paranitrosoulylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

Matériels

- ✓ Etuve.
- ✓ Spectrophotomètre U.V visible.
- ✓ Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, bécher.
- **Dosage du fer par spectrométrie a la phenantroline**

Principe

Addition d'une solution de phenantroline 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+}

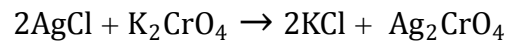
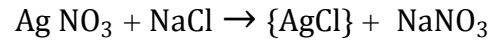
Matériels

- ✓ spectrophotomètre UV- visible ;
- ✓ cuve photométrique ;
- ✓ Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, bécher.
- **Détermination des chlorures (Cl^-) (méthode de Mohr)**

Principe

Le dosage de chlorure est réalisé par titrage au nitrate d'argent ($AgNO_3$) on utilise du dichromate de potassium (K_2CrO_4) comme indicateur.

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.

**Matériels**

- ✓ Burette ;
- ✓ Matériel courant de laboratoire - fioles, pipettes, bécher.
- **Détermination des éléments traces métalliques**

Les concentrations des éléments traces métalliques ont été obtenues par le spectromètre d'absorption atomique en flamme (SAA) au niveau de laboratoire de génie des procédés (Université de Bejaia).

Principe

La spectrométrie par absorption atomique est basée sur l'absorption de photons par des atomes à l'état fondamental. Le nombre d'éléments autorisés à mesurés au niveau de laboratoire de génie des procédés est trois (03), et dans notre cas on a choisi le fer, le cadmium et le plomb.

Matériels

- ✓ Bécher ;
- ✓ Papier filtre ;
- ✓ Entonnoir ;
- ✓ Spectromètre ;
- ✓ Ordinateur.



Figure 19 : spectromètre d'absorption atomique en flamme (Thermo scientific ICE 3000 série AA).

- **Détermination des principaux faciès hydrochimiques**

Les faciès hydrochimiques, sont fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles (**Gouaidia, 2008**).

Les principaux faciès hydrochimiques déterminés dans notre cas sont la calcite, dolomite et aragonite. Dans le but de bien identifier les faciès hydrochimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de Piper, diagramme de Phreeq et à celui de Schoeller-Berkaloff. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel **Diagrammes**, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

II.10.2. 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, ce qui est souvent plus aisé, celles qui les accompagnent et qui sont en plus grand nombre souvent présentes dans l'intestin des mammifères et sont par leur présence indicatrices d'une contamination fécale et donc des maladies associées à la contamination fécale (**Rodier et al, 2009**).

Le matériel que nous avons utilisé lors de ses analyses est des flacons stériles pour éviter toute source de contamination.

- **Germes recherchés**

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

- ✓ Les coliformes totaux
- ✓ Les coliformes thermo tolérants (E. Coli)
- ✓ Les streptocoques fécaux
- ✓ Clostridium S.R.
- ✓ Les microorganismes revivifiables (germes totaux).

- **Appareillage**

- ✓ Rampe de filtration en acier inoxydable stérilisable à flamme.
- ✓ Membranes de filtration stérile.
- ✓ Pinces.
- ✓ Etuves à 37°C, à 22°C et à 44°C.
- ✓ Boîtes de Pétri.
- ✓ Bec Bunsen.
- ✓ Trompe à vide.
- ✓ Pipettes stériles à usage unique.

- **Méthode utilisée**

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.

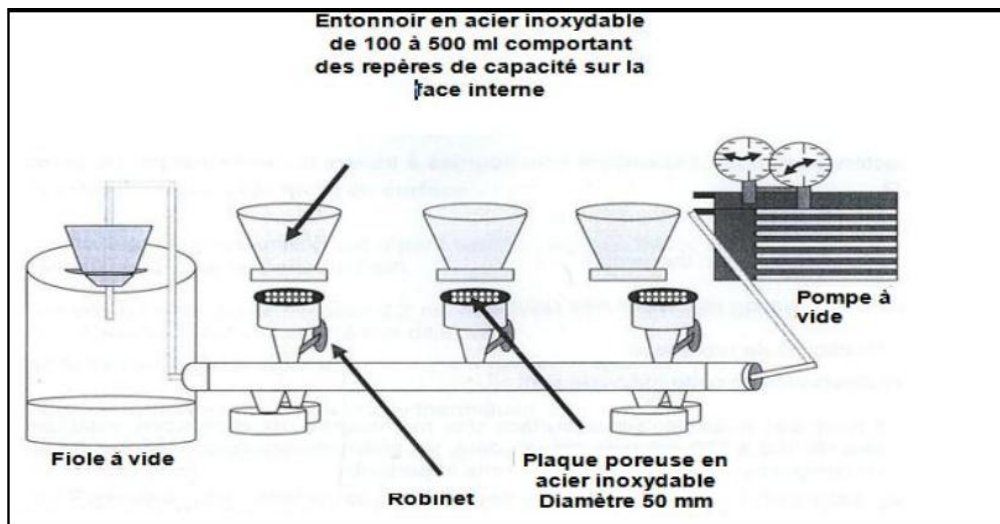


Figure 20 : Appareille filtration utilisé pour les analyses bactériologiques (ADEUB, 2016).



Figure 21 : photo prise lors de l'analyse bactériologique à l'ADE (Cliché pris par Smaili M, 2018).

- Les milieux de cultures utilisés

- ❖ Le Tergitol 7 TTC

Ce milieu permet d'effectuer la recherche et le dénombrement des *Escherichia coli* et des bactéries coliformes dans les eaux, notamment celles destinées à la consommation humaine par la méthode de la membrane filtrante. Le Tergitol 7 inhibe la croissance des microorganismes à Gram positif, limite l'envahissement par les *Proteus* et favorise la

récupération des coliformes. Ces derniers présentent des colonies de coloration jaune, à l'intérieur d'un halo jaune visible sous la membrane (**ADE de Bejaia**).

❖ Milieu Slanetz

C'est un milieu sélectif utilisé pour le dénombrement des entérocoques intestinaux (streptocoque fécaux) dans les eaux d'alimentation, par la technique de la membrane filtrante. L'aide de sodium permet d'inhiber la croissance des microorganismes à Gram négatif. Le TTC est un indicateur de la croissance bactérienne. Il est réduit en formazan insoluble à l'intérieur de la cellule. Cette réaction se manifeste par l'apparition de colonies de couleur rouge à marron (**ADE de Bejaia**).

❖ Milieu TSC

La gélose Tryptone-Sulfite-Cyclosérine (TSC) utilisée pour l'isolement sélectif et le dénombrement de Clostridium dans les eaux destinées à l'alimentation humaine. Ce milieu est également recommandé pour le dénombrement des anaérobies sulfite –réducteurs dans les denrées d'origine animale. Les microorganismes sulfite-réducteurs réduisent le sulfite de sodium en sulfure, provoquant avec le citrate ferrique un précipité noir de sulfure de fer autour des colonies (**ADE de Bejaia**).

• 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 qui indique la présence des coliformes totaux, il faut faire un repiquage dans le milieu de Schubert et incuber à 44°C pendant 24h pour la recherche d'Escherichia coli.

Dans le cas de formation de colonies qui indique la présence des streptocoques totaux, il faut faire le repiquage sur le milieu BEA (Gélose Bile Esculine Azide) et incuber à 44°C pendant 2h afin de confirmer la présence des streptocoques fécaux.

- **Recherche des Clostridium (anaérobies sulfito-réducteurs)**

Mode opératoire

- On filtre sur une membrane stérile de 0,2 μ m de porosité, 100 ml de chaque d'échantillon.
- On dépose la membrane sur la boîte de pétri, face retournée sur la gélose, en évitant toute incorporation d'air.
- On place la boîte préparée dans la jarre d'anaérobiose.
- Puis on l'incube à 37°C pendant 48h.

Test de confirmation

On fait la lecture après 48h, en considérant toute colonie noire comme résultat d'une spore de bactérie anaérobie sulfito-réductrice.

- **Recherche des 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.

Chapitre III
Résultats et discussion

III.1. situation et localisation géographique des sites de prélèvement

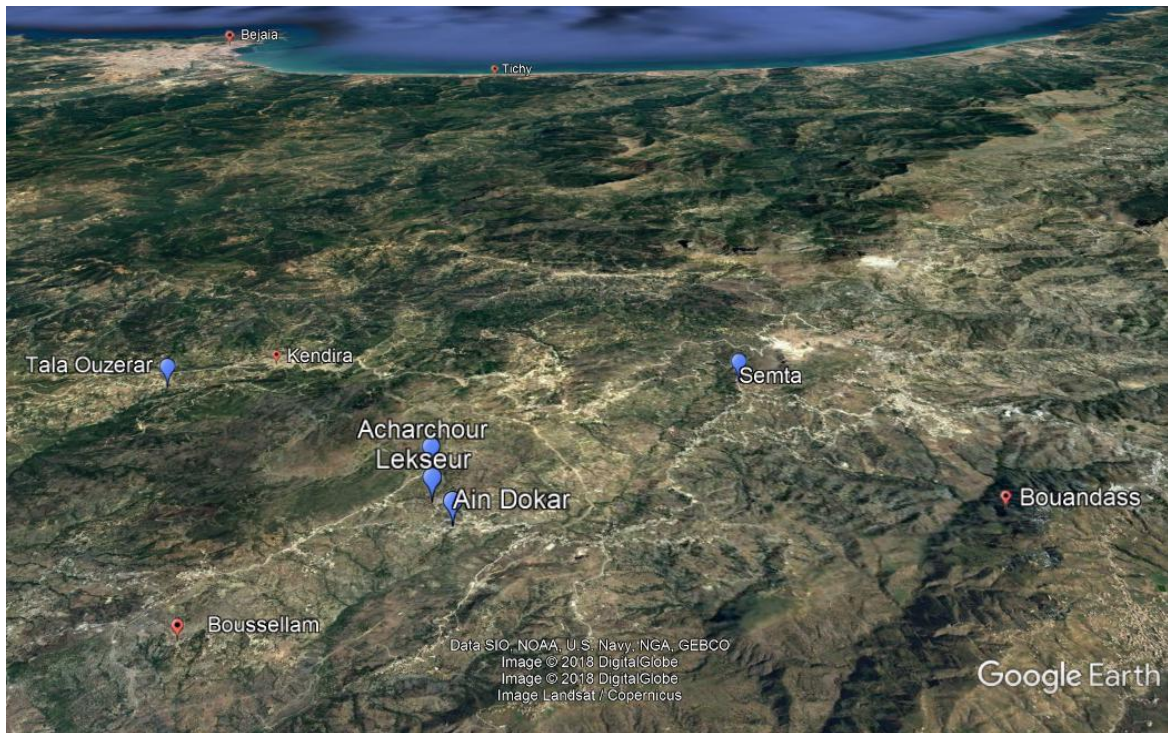


Figure 21 : Localisation géographique des sites de prélèvement

La carte de la situation géographique des sites de prélèvement est obtenue après la projection sur Google Earth. Les sources de prélèvement sont représentées avec des bulles bleues sur la carte et les localités sont représentées par de petites bulles rouges (Fig. 21).

Source 1 : Thala Ouazerar

- Altitude : 903m
- Latitude : N36°32'.304''
- Longitude : E005°00.'945''
- Localité : Kendira (Wilaya de Bejaia)



Figure 22 : Photo de la source Thala Ouazerar
(Cliché Pris par Smaili. M, 2018)

Source 2 : Source Semta

- Altitude : 1164m
- Latitude : N36°30'.486''
- Longitude : E005°05.'144''
- Localité : Bouandas (W. Setif)



Figure 23 : Photo de la source Semta
(Pris par Smaili. M, 2018)

Source 3 : Ain Dokar

- Altitude : 862m
- Latitude : N36°29'.920''
- Longitude : E005°02.'261''
- Localité : Bousselam (Wilaya de Setif)



Figure 24 : Photo de la source Ain Dokar
(Cliché Pris par Smaili. M, 2018)

Source 4 : Elkseur

- Altitude : 972m
- Latitude : N36°30'.177''
- Longitude : E005°02.'239''
- Localité : Bousselam (Wilaya de Setif)



Figure 25 : Photo de la source Elkseur
(Cliché Pris par Touati. A, 2018)

Source 5 : Acharchour

- Altitude : 1134m
- Latitude : N36°30'.483''
- Longitude : E005°02.'381''
- Localité : Bousselam (Wilaya de Setif)

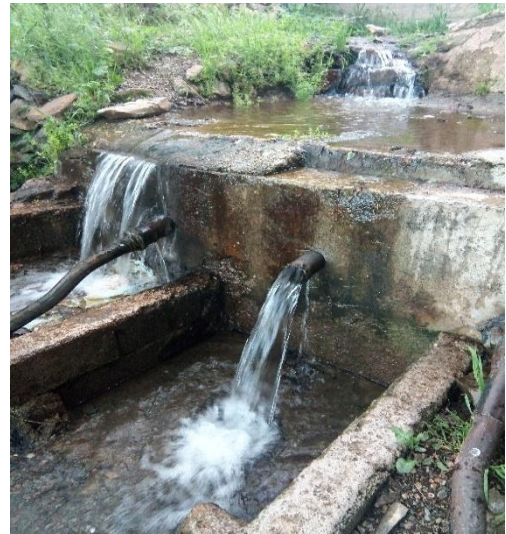


Figure 26: Photo de la source Acharchour
(Cliché Pris par Touati. A, 2018)

- **Echantillonnage**

Dans notre travail, l'échantillonnage a été fait au niveau de 5 sources durant deux campagnes (Hautes et basses eaux). Les trois sources Ain Dokar, Elkseur et Acharchour se trouvent à Bousselam (Setif), la source de Sema est située à Bouandas (Setif) et la source Thala Ouazerar à kendira (Bejaia)

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

Lieux de prélèvement	Code source	1ère campagne	2ème campagne
		26/02/2018	29/04/2018
		Heure de prélèvement	Heure de prélèvement
Source THALA OUAZERAR	S1	08h29	08h05
Source SAMTA	S2	09h13	07h27
Source AIN DOKAR	S3	10h19	06h55
Source ELKSEUR	S4	10h33	06h40
Source ACHARCHOUR	S5	10h57	06h17

III.2. Résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques

Tableau VIII : Résultats des analyses physiques de la 1^{ère} campagne.

Unité	Paramètres physiques						
	T	pH	CE	S	TDS	Trb	TH
	°C	-	µs/cm	Mg/l	Mg/l	NTU	mg/l
Norme	25	6.5-9.5	2800	50	1200	5	500
S1	14.5	7.94	658	319	392	0.725	488
S2	9.5	9.05	243	121	145	0.845	128
S3	14.9	8.33	547	271	331	0.374	316
S4	14.3	8.13	684	338	408	0.441	440
S5	13.4	8	374	183	222	0.616	232

Tableau IX : Résultats des analyses électrochimiques et des ETM de la 1^{ère} campagne.

Eléments	Unité	Normes						
			S1	S2	S3	S4	S5	
Bicarbonates	HCO_3^-	mg/l	-	316	96	190	278	156
Chlorures	Cl^-	mg/l	500	41.25	17.68	23.57	29.47	17.68
Nitrates	NO_3^-	mg/l	50	6.11	7.66	5.89	4.43	5.49
Nitrites	NO_2^-	mg/l	0.2	0.007	0.007	0.004	0.003	0.004
Calcium	Ca^{2+}	mg/l	200	145.6	35.2	96	124.8	64
Magnésium	Mg^{2+}	mg/l	150	30	9.68	18.39	48.4	17.42
Ammonium	NH_4^+	mg/l	0	0.008	0.027	0.009	0.01	0.004
Fer	Fe	mg/l	0.3	0.0312	0.0029	0.0090	0.0984	0
Cadmium	Cd	µg/l	3	0	0	0	0	0
Plomb	Pb	µg/l	0.016	0	0	0	0	0

Tableau X: Mesure des débits de sources de la 1^{ère} campagne.

Nom des sources	Débit des sources en l/s
Thala Ouazerar	0.3
Semta	0.25
Ain dokar	1.42
Elkseur	2.5
Acharchour	2.5
Moyenne	1.39

Tableau XI: Résultats des indices saturation de 1^{ère} campagne

Source	dolomite	calcite	Aragonite
S1	1.81	1.07	0.93
S2	1.92	1.06	0.92
S3	1.82	1.09	0.95
S4	2.2	1.13	0.98
S5	0.89	0.55	0.41

Tableau XII: Résultats du pH à saturation de 1^{ère} campagne

Source	Dolomite	calcite	Aragonite
S1	1.93	1.13	0.99
S2	2.2	1.21	1.06
S3	1.95	1.16	1.02
S5	0.97	0.59	0.45

Tableau XIII: Résultats des rapports caractéristiques de 1^{ère} campagne

Source	Mg^{+2}/Ca^{+2}	Ca^{+2}/Mg^{+2}
S1	0.340	2.943
S2	0.453	2.205
S3	0.316	3.166
S4	0.640	1.564
S5	0.449	2.228

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

Source	PCO ₂	Dureté °F
S1	0.00353	49
S2	0.00009	13
S3	0.00088	32
S4	0.00200	51
S5	0.00156	23

Tableau XV: Résultats des analyses bactériologiques de la 1^{ère} campagne.

	Clostridium sulf-red	Streptocoque fécaux	Coliformes fécaux	Germes totaux à 22 °C	Germes totaux à 37 °C	E-Coli
Unité	UFC/100ml	UFC/100ml	UFC/100ml	UFC/ml	UFC/ml	UFC/100ml
Norme	/	0	0	100	10	0
S1	0	2	43	Ind	09	0
S2	0	0	02	05	04	0
S3	0	1	10	31	03	0
S4	0	0	95	49	01	0
S5	0	0	20	72	03	0

UFC : Unité Formation Colonial

Tableau XVI: Résultats des analyses physiques la 2^{ème} campagne.

Paramètres physiques							
	T	pH	CE	S	TDS	Trb	TH
Unité	°C	-	µs/cm	Mg/l	Mg/l	NTU	mg/l
Norme	25	6.5-9.5	2800	50	1200	5	500
S1	15.9	7.87	766	374	461	0.152	492
S2	11.6	8.14	245	117	144	0.150	144
S3	14.5	7.95	463	225	275	0.116	272
S4	14.8	8.25	597	310	355	0.104	612
S5	12.08	8.88	335	169	208	0.126	224

Tableau XVII: Résultats des analyses électrochimiques et des ETM de la 2^{ème} campagne.

Eléments	Unité	Normes	S1	S2	S3	S4	S5
			Bicarbonates HCO_3^-	mg/l	-	390	114
Chlorures Cl^-	mg/l	500	58.93	17.67	29.46	23.57	35.35
Nitrates NO_3^-	mg/l	50	6.91	8.15	3.10	2.48	0.93
Nitrites NO_2^-	mg/l	03	0.085	0.090	0.076	0.054	0.044
Calcium Ca^{2+}	mg/l	200	150.4	35.2	86.4	120	75.2
Magnésium Mg^{2+}	mg/l	150	28.07	13.55	13.55	75.50	8.71
Ammonium NH_4^+	mg/l	0	0.011	0	0	0	0.002
Fer	Mg/l	0.3	0.0252	0	0.0015	0.0080	0
Cadmium	µg/l	3	0	0	0	0	0
Plomb	µg/l	10	0	0	0	0	0

Tableau XVIII: Mesure des débits de sources de la 2^{ème} campagne.

Nom des sources	Débit des sources en l/s
Thala Ouazerar	0.50
Semta	0.32
Ain dokar	0.90
Elkseur	1.66
Acharchour	5.00
Moyenne	1.68

Tableau XIX Résultats des indices de saturation de 2^{ème} campagne

Sources	Dolomite	calcite	Aragonite
S1	1.82	1.10	0.95
S2	0.59	0.33	0.18
S3	1.04	0.75	0.60
S4	2.64	1.24	1.10
S5	2.22	1.4	1.25

Tableau XX: Résultats du pH à saturation de 2^{ème} campagne

Source	Dolomite	calcite	Aragonite
S1	6.90	6.71	6.85
S2	7.81	7.78	7.92
S3	7.38	7.16	7.30
S4	2.64	6.92	7.06
S5	2.22	9.34	7.48

Tableau XXI: Résultats des rapports caractéristiques de 2^{ème} campagne

Source	Mg^{+2}/Ca^{+2}	Ca^{+2}/Mg^{+2}
S1	0.308	3.249
S2	0.635	1.575
S3	0.259	3.867
S4	1.038	0.964
S5	0.191	5.236

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

Sources	PCO ₂	Dureté °F
S1	0.00510	49
S2	0.00084	14
S3	0.00239	27
S4	0.00166	61
S5	0.00021	22

Tableau XXIII: Résultats des analyses bactériologiques de la 2^{ème} campagne.

Unité	Clostridium sulf-red UFC/100ml	Streptocoque fécaux UFC/100ml	Coliformes fécaux UFC/100ml	Germes totaux à 22 °C UFC/ml	Germes totaux à 37 °C UFC/ml	E-Coli UFC/100l
Norme	/	0	00	100	10	0
S1	0	0	00	80	80	0
S2	0	0	00	30	22	0
S3	0	0	00	60	17	0
S4	0	0	00	40	07	0
S5	0	8	05	30	35	0

UFC : Unité Formation Colonial

III.3. Discussions des analyses physico-chimiques

III.3.1. Température

Le suivi de la température dans les cinq sources étudiées montre qu'il n'y a pas une grande fluctuation durant la période d'étude. Durant la 1^{ère} campagne, les températures enregistrées sont de 14.5°C pour S1, 9.5°C pour S2, 14.9°C pour S3, 14.3°C pour S4 et 13.4°C pour S5. Pour la 2^{ème} campagne, les températures sont 15.9°C, 11.6°C et 14.5°C, 14.8°C, 12.08°C, au niveau des sources S1, S2, S3, S4 et S5, respectivement. Nous avons remarqué une légère variation de la température entre les deux campagnes. Selon Rodier (1996) la température des eaux superficielles dépend de l'altitude, de la saison, de l'heure et du débit.

Les valeurs de ces sources sont conformes à la norme algérienne estimée de 25°C.

III.3.2. Le Potentiel d'hydrogène (pH)

Les valeurs observées révèlent que le pH est autour de la neutralité dans toutes les sources. En effet, le pH dans la 1^{ère} campagne (février) varie entre 7,87 dans la source S1 et 8,88 dans la S5 et 8.14, 7.95 et 8.25 pour les sources S2, S3 et S4 respectivement. Une variation légère dans la 2^{ème} campagne (avril) par rapport à la 1^{ère} campagne telle que les valeurs enregistrées en Avril sont compris entre 7.94 (S1) et 9.05 (S2) et 8.33 pour S3, 8.13 pour S4 et 8 pour S5. Cette différence entre les sources et la variation entre les deux campagnes pourrait être

expliqué par la nature géochimique des roches que les eaux de ces sources ont traversées et la durée de contact avec ces roches.

Les valeurs de ces sources sont conformes à la norme algérienne estimée entre 6.5-9.5.

III.3.3. conductivité électrique

Nous avons remarqués que les valeurs enregistrées au niveau S1 durant les deux campagnes sont les plus élevées : $658 \mu S/cm$ pour la 1^{ère} campagne et $766 \mu S/cm$ pour la 2^{ème} campagne et les valeurs les plus faibles sont enregistrées au niveau S2 dont des valeurs $243 \mu S/cm$ durant la 1^{ère} campagne et $245 \mu S/cm$ durant la 2^{ème} campagne. Par contre pour les autres sources (S3, S4 et S5), nous avons remarqué une légère diminution des valeurs durant la 2^{ème} campagne par rapport à la 1^{ère} comme suit : en mois février, les conductivités sont $547 \mu S/cm$ pour S3, $684 \mu S/cm$ pour S4 et $374 \mu S/cm$ pour S5. L'explication de cette diminution pourrait résider dans la dilution des eaux par l'apport des eaux pluviales. D'après Rodier (2009), il existe quelques indications sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité:

- $200 \mu S/cm < CE < 333 \mu S/cm$, la minéralisation est moyenne : cas de la source 2 (Semta) ;
- $333 \mu S/cm < CE < 666 \mu S/cm$, la minéralisation est moyennement accentuée : cas de la source 1 en 1^{ère} campagne, source 4 (Elkseur) en 2^{ème} campagne et cas des sources 3 et 5 durant les deux campagnes;
- $666 \mu S/cm < CE < 1000 \mu S/cm$ la minéralisation est importante, cas de S1 en Avril et de S4 en Février.

Les valeurs de ces sources sont conformes à la norme algérienne estimée $2800 \mu S/cm$.

III.3.4. salinité

La salinité durant les deux campagnes est comprise entre 117 mg/l et 374 mg/l. Durant la 1^{ère} campagne, les valeurs de S1, S2, S3, S4 et S5 sont 319 mg/l, 121 mg/l, 271 mg/l, 338 mg/l et 183 mg/l respectivement. Par contre, pour la deuxième campagne, nous avons remarqué une légère diminution par rapport à la première campagne : les valeurs sont comme suit : 374 mg/l pour S1, 117 mg/l pour S2, 225 mg/l pour S3, 310 mg/l pour S4 et 169 mg/l pour S5. Ces valeurs sont supérieures à la norme Algérienne qui est de 50 g/l. Cette salinité est probablement liée à la libération des ions des sédiments ou à la concentration des sels dissous dû à la présence de roches évaporitiques dans la région.

III.3.5. Total des solides dissous

Le total des solides dissous enregistrés au niveau des cinq sources est compris entre 144 et 461 mg/l durant les deux campagnes. Ces valeurs du TDS répondent à la norme algérienne de potabilité fixée à 1200 mg/l. Le total des solides dissous est en fonction de la géologie des roches traversées. Dans une étude réalisée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), un jury de dégustateurs sont venus à la conclusion sur la quantité de TDS préférable dans l'eau selon le tableau suivant:

Tableau XXIV: Goût de l'eau avec les différentes concentrations de TDS (FEPS, 2008).

Niveau de TDS (milligrammes par litres)	Evaluation
Moins de 300	Excellent
300-600	Bien
600 – 900	Passable
900 – 1200	Faible
Plus de 1200	Inacceptable

Les valeurs des TDS de toutes les sources sont conformes à la norme algérienne estimée à 1200 mg/l

III.3.6. Turbidité

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que la turbidité des eaux de toutes les sources est largement inférieure à celle de la norme algérienne qui est 5 NTU. Les valeurs enregistrées sont inférieurs à 1. Nous avons remarqué une diminution de ces valeurs durant la 2^{ème} campagne de toutes les stations par rapport à la 1^{ère} campagne en Février. Cette diminution pourrait être expliquée par la diminution de l'érosion des roches entraînant des matières minérales ou organiques du sol et/ou déversement d'eaux usées domestiques riches en matières en suspension grossières.

III.3.7. Les débits des sources

Lors des deux campagnes de prélèvement, nous avons remarqué une variation spatio-temporelle du débit. Durant la 1^{ère} campagne, le débit est compris entre 0.25 l/s (S2) et 2.5 l/s pour S4 et S5 avec une moyenne 1.39 l/s. Durant 2^{ème} campagne, le débit est compris entre 0.32 l/s (S2) et 5 l/s au niveau de S5 avec une moyenne de 1.68 l/s.

L'augmentation du débit durant la 2^{ème} campagne pourrait être expliquée par les nombreuses précipitations enregistrées durant le mois Mars.

D'après les résultats obtenus nous remarquons que ces sources, selon leurs débits, sont toutes importantes même en saison estivale.

III.4. Les éléments traces métalliques

➤ Le fer

Les valeurs du Fe varient de 0 mg/l enregistrées dans la station 5 à 0,0984 mg/l enregistrées dans la station 4. Ces valeurs sont faibles par rapport à la norme algérienne exigée de 0.3 mg/l

➤ Le cadmium

Les concentrations de Cd sont nulles pour toutes les stations durant les deux campagnes.

➤ Le plomb

Nous notons l'absence totale de cet élément dans toutes les stations sauf quelques légères traces au niveau de la source 1 (Thala ouazerar). La présence faible ou l'absence de ces éléments dans les eaux de ces sources serait à l'origine de l'absence totale d'activités industrielles dans cette région.

III.5. Discussion des résultats des paramètres électrochimiques

III.5.1. Les anions (HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , NO_2^-)

➤ Les Bicarbonates (HCO_3^-)

Durant notre étude, les résultats des analyses pour les Bicarbonates sont peut variables. Les concentrations varient entre 96 et 316 mg/l pour la 1^{ère} campagne (Février), et entre 114 et 390 mg/l pour la 2^{ème} campagne (Avril). Nous constatons que la concentration en HCO_3^- est constante pour la station n°5 (Acharhour) qui est de 156 mg/l dans les deux campagnes.

Les teneurs en HCO_3^- sont peut variables durant les deux campagnes. D'après Bouroubi (2009), le temps de séjour de l'eau dans l'aquifère est un facteur qui contrôle la teneur de HCO_3^- . La grande surface couverte par les calcaires dans notre zone d'étude est la source principale des Bicarbonates dissout dans l'eau.

➤ Les chlorures (Cl^-)

Lors des deux campagnes de prélèvement, les eaux des cinq stations ne sont pas chargées en Cl^- . Les résultats d'analyses montrent que la teneur en chlorures est comprise entre 17,68 et 41,25 mg/l pour la 1^{ère} campagne et entre 17,68 et 58,93 mg/l pour la 2^{ème} campagne. La teneur la plus élevée en Cl^- est de 58,93 à S1 (tala ouazerar, kendira) et la plus faible à S2 (Semta, Bouandas) pour 17,68.

Les chlorures peuvent avoir différents origines. D'après Bakalowicz (1996), ils peuvent provenir d'une action anthropique (eaux usées). Dans les aquifères karstiques, elles peuvent

être attribuées à des intrusions d'eau marine et au lessivage des formations évaporitiques (Bouroubi, 2009).

Les teneurs obtenues dans les deux campagnes sont conformes à la norme algérienne de potabilité fixée à 500 mg/l.

➤ **Les nitrates (NO_3^-)**

Par rapport aux résultats d'analyses d'eau effectuées, nous remarquons de faibles teneurs en NO_3^- . Cela indique l'absence de toute source de pollution, car les nitrates constituent un excellent traceur de la qualité des eaux.

Les teneurs varient de 4,43 à 6,11 mg/l durant la 1^{ère} campagne, et de 0,93 à 6,91 mg/l durant la 2^{ème} campagne et sont toutes des teneurs conformes à la norme algérienne et de l'OMS (50 mg/l).

➤ **Les nitrites (NO_2^-)**

La variation des teneurs en nitrites entre les cinq stations de prélèvement est très faible pendant les deux campagnes. Lors de la 1^{ère} campagne elles varient entre 0,003 et 0,007 mg/l, et lors de la 2^{ème} campagne elles varient de 0,044 à 0,095 mg/l.

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).

Toutes les teneurs obtenues sont conformes à la norme algérienne de potabilité fixée à 0.2 mg/l.

III.5.2. Les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+)

➤ **Le calcium (Ca^{2+})**

Les concentrations en calcium varient entre 35,2 et 145,6 mg/l durant la 1^{ère} campagne, et entre 35,2 et 150,4 mg/l durant la 2^{ème} campagne. S2 (fontaine Semta) a la plus faible valeur et S1 (Acharhour) à la valeur la plus élevée pour les deux campagnes de prélèvement d'eau. Les teneurs obtenues montrent que cet élément est très abondant dans les roches calcaires présentes dans notre secteur d'étude. D'après Nechad *et al.* (2014), le calcium s'introduit dans le système d'eau douce sous l'action de la météorisation des roches, particulièrement celle des roches calcaires. Cet élément pourrait provenir essentiellement de la dissolution des roches carbonatées suite à la présence du gaz carbonique, ou bien des formations gypsifères. Les teneurs obtenues ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité (200 mg/l).

➤ **Le magnésium (Mg^{2+})**

Les résultats d'analyses d'eau des deux campagnes fait ressortir que les teneurs en Mg^{2+} présentent une variabilité remarquable. Elles varient entre 9,68 et 48,4 mg/l lors de la 1^{ère} campagne, et entre 8,71 et 75,50 lors de la 2^{ème} campagne. Cette fluctuation pourrait être expliquée par la nature du sol et des roches traversées. Cet élément accompagne souvent le calcium.

Les concentrations en Mg^{2+} des cinq stations de prélèvement répondent à la norme algérienne fixée à 150 mg/l.

➤ **L'ammonium (NH_4^+)**

Les teneurs en NH_4^+ sont très faibles surtout lors de la 2^{ème} campagne, où les valeurs sont nulles pour les trois stations S2, S3, S4. Pour la 1^{ère} campagne, les teneurs varient entre 0,004 et 0,027 mg/l. Quant à la 2^{ème} campagne, la teneur en cet élément est de 0,011 mg/l et 0,002 mg/l respectivement pour S1 (tala Ouazerar) et S5 (Acharchour), et nulle pour le reste des stations.

Les teneurs en NH_4^+ révèlent une légère augmentation lors de la 1^{ère} campagne. Ceci pourrait être expliqué par la présence d'une décomposition de matières azotées (déchets végétaux et animaux). Les eaux profondes peuvent également se charger en ammonium par réduction des nitrates sous l'action de bactéries.

Les concentrations obtenues sont conformes à la norme algérienne de potabilité fixée à 0.5 mg/l.

III.5.3. Discussion des rapports caractéristiques

➤ **Le rapport Mg^{2+}/Ca^{2+}**

Durant les deux campagnes, le rapport Mg^{2+}/Ca^{2+} de toutes les stations de prélèvement est inférieur à l'unité. Ceci pourrait être expliqué par la dominance des ions Ca^{2+} sur les ions Mg^{2+} . Ce qui traduit, en général, l'abondance de faciès calcaire sur le faciès dolomitique dans la lithologie des aquifères.

➤ **Le rapport Ca^{2+}/Mg^{2+}**

Le rapport Ca^{2+}/Mg^{2+} pour les deux campagnes, montre que les valeurs sont supérieures à l'unité. S3 a la valeur la plus élevée (3,166) lors de la 1^{ère} campagne, et S5 à la valeur la plus grande (5,236) lors de la 2^{ème} campagne. Ce qui signifie la dominance du Ca^{2+} dans ces eaux.

III.5.4. Discussion des indices de saturation

D'après Chabour (2006), l'indice de saturation nous donne une idée sur l'état de la solution par rapport au minérale.

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).

➤ **Dolomite**

L'indice de saturation de la dolomite (IS_d) est positif pour les cinq stations de prélèvement durant les deux campagnes. Donc, la solution est sursaturée en cet élément.

➤ **Calcite**

Pour la calcite, l'indice de saturation est positif pour les deux campagnes de prélèvement d'eau. La solution est aussi sursaturée.

➤ **Aragonite**

Toutes les stations ont un IS_{Arg} positif pendant les deux campagnes.

III.5.5. La dureté

Lors de la 1^{ère} campagne, la dureté des eaux des cinq stations varient entre 13 et 51°F, et durant la 2^{ème} campagne, les valeurs varient entre 14 et 61°F.

Tableau XXV: Normes pour la dureté des eaux de boisson (OMS, 1972) in Rodier *et al.* (2009).

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

Selon ce tableau pour :

➤ **la 1^{ère} campagne**

Les deux sources S3 et S5 ont une eau qui est assez douce, S2 est modérément douce, tandis que les eaux de S1 et S4 sont dures.

➤ **La 2^{ème} campagne**

La S2 ainsi que la S5 sont modérément douce, S1 et S4 sont toujours dure, alors que la S3 est assez douce.

III.6. Détermination des faciès chimiques

III.6.1. Diagramme de Piper

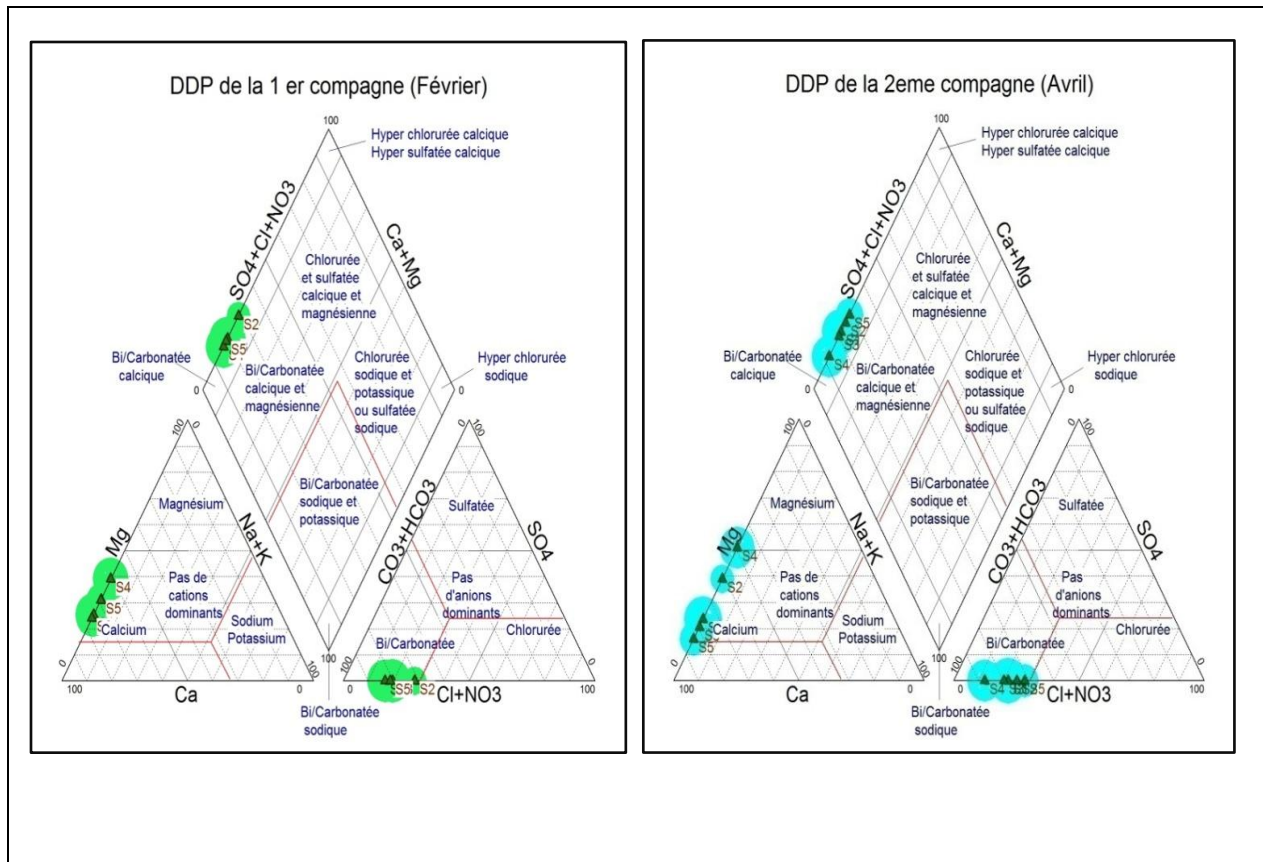


Figure 27 : Représentation des eaux du système karstique des sources étudiées sur le diagramme de Piper pour la 1^{ère} campagne (Février, 2018) et la 2^{ème} campagne (Avril, 2018).

A partir de diagramme de Piper, nous constatons que durant les deux campagnes, toutes les sources sont globalement d'un faciès chimique bicarbonatée calcique et magnésienne, avec une dominance de bicarbonate et de calcium.

III.6.2. Diagramme de Schoëller-Berkaloff

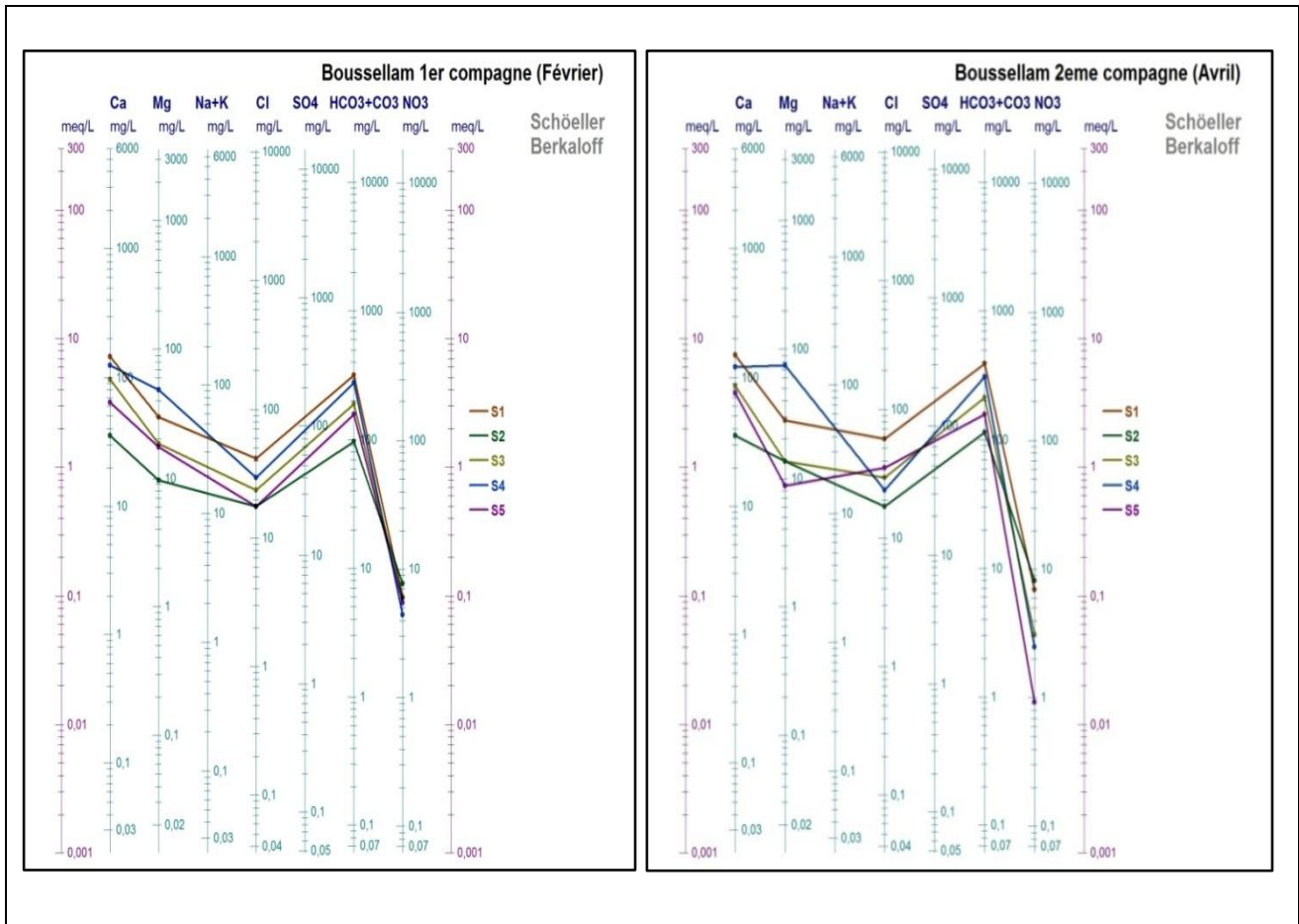


Figure 28: Diagramme de Schoëller-Berkaloff des eaux des sources étudiées durant les deux campagnes (Février et Avril, 2018).

Le diagramme de Schoëller-Berkaloff, nous permet de confirmer l’abondance du faciès bicarbonaté calcique et magnésienne dans les eaux des cinq sources étudiées.

III.6.3. Diagramme de Wilcox

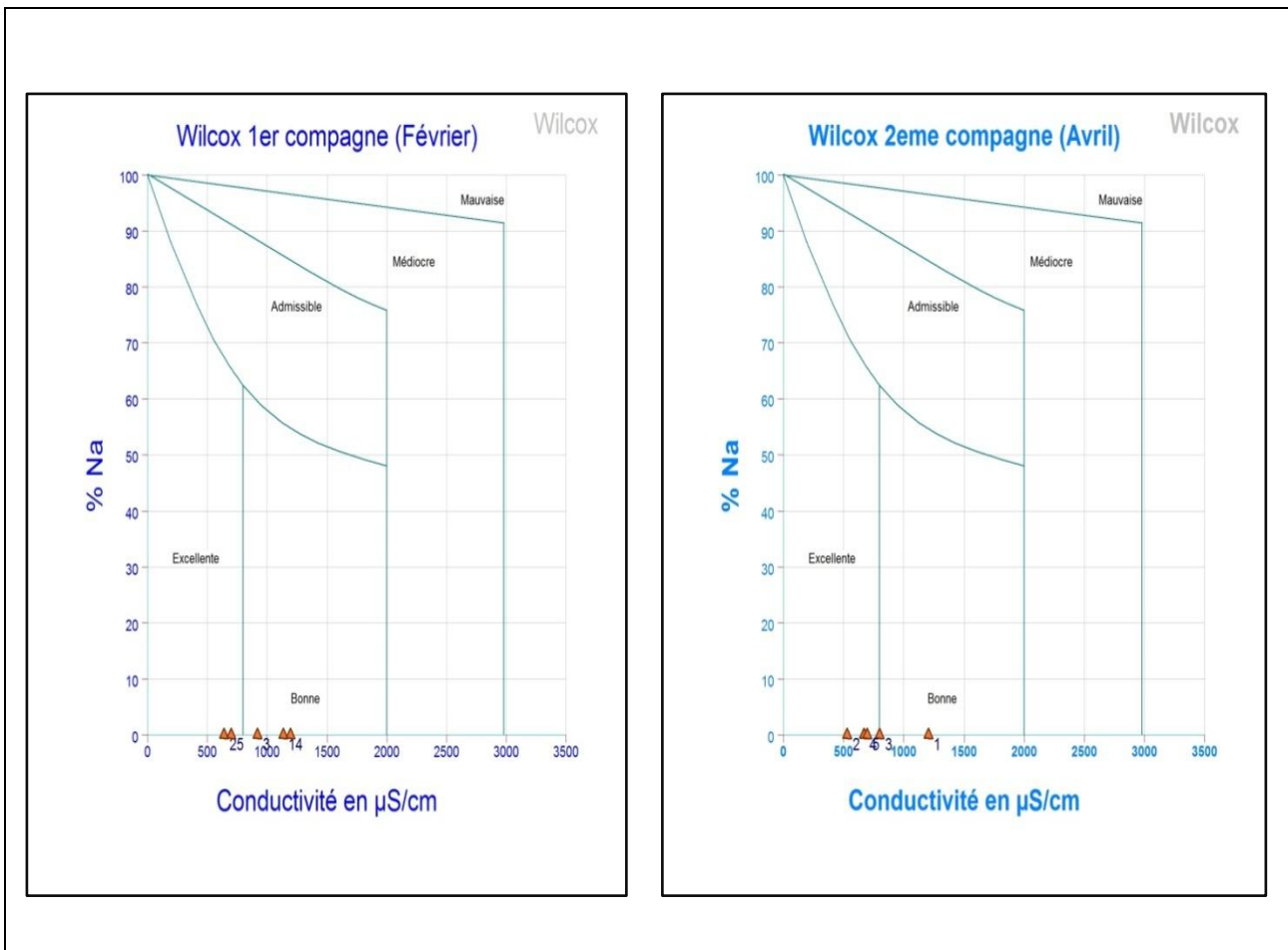


Figure 29 : Diagramme de Wilcox des eaux des sources étudiées pendant les deux campagnes (Février et Avril, 2018).

Les deux diagrammes de Wilcox démontrent que lors de la 1^{ère} campagne, les sources S1, S3 et S4 ont une bonne qualité de l'eau, alors que S2 et S5 ont une excellente qualité de l'eau.

Pour la 2^{ème} campagne, S2, S4 et S5 ont une excellente qualité de l'eau, la S3 a entre une bonne et une excellente qualité et enfin. S1 a une bonne qualité de l'eau durant les deux campagnes.

- **Discussion des résultats des trois diagrammes obtenus**

Les trois diagrammes Piper, Schoëller-Berkaloff et Wilcox des eaux analysées prouvent que les sources d'eau étudiées sont des sources karstiques, possédant des teneurs élevées en bicarbonates, calcium et magnésium. Ceci pourrait être attribué à la nature géologique de la région d'étude. Ce sont des eaux qui sont conformes aux normes algériennes de potabilité. Ce qui démontre qu'ils sont bons pour la consommation humaine, ainsi que pour l'irrigation.

III.7. Interprétation des résultats bactériologiques

➤ Anaérobies Sulfito-réducteurs et l'E- Coli

Les Anaérobies Sulfito-réducteurs et l'E- Coli sont absents dans les cinq sources et durant les deux campagnes.

➤ Les Streptocoque fécaux

Présence de quelques streptocoques au niveau de S1 et S2 durant la 1^{ère} campagne et au niveau de S5 durant la 2^{ème} campagne mais la consommation de l'eau de ces sources ne représente pas un danger sanitaire sur les consommateurs.

➤ Coliformes fécaux

Le dénombrement des Coliformes fécaux montre que toutes les sources représentent un nombre compris entre 2 et 95 UFC/100ml durant la 1^{ère} campagne et disparation total de ces coliformes au niveau de toutes les stations sauf au niveau de la source 5 où demeurent quelques coliformes.

D'après Monique (1993), ces bactéries proviennent de rejets des animaux et humains. La présence de « *coliformes* » dans l'eau d'une source n'indique généralement pas une contamination d'origine fécale ni un risque sanitaire mais plutôt une dégradation de la qualité bactérienne de l'eau. Cette dégradation pourrait être attribuée à une infiltration d'eau de surface dans le sol.

➤ Germes totaux

Les échantillons analysés enregistrent une présence des germes totaux à 22 et 37°C et durant les deux campagnes. Une augmentation du nombre de germes totaux à 37°C durant la 2^{ème} campagne par rapport la 1^{ère} campagne. Ces valeurs dépassent la norme algérienne estimée à 10 UFC/ml. A 22°C une augmentation de ces germes au niveau de toutes les sources sauf pour la source 1 où nous enregistrons une diminution jusqu'à 80 UFC/ml.

D'après Rodier (2009), cette augmentation pourrait provenir de la prolifération de la flore dans un réseau alimenté par une eau mal traitée, c'est-à-dire riche en matière organique.

Donc ces sources nécessitent une chloration.

En effet, ces eaux souterraines sont utilisées comme eau de boisson par la population sans aucun traitement préalable. Cette évaluation porte sur la voie orale et concerne les expositions chroniques uniquement.

Conclusion

Conclusion

L'accès à l'eau est une préoccupation majeure pour le XXI^{ème} siècle. Les ressources en eau en Algérie, en général, et au niveau du bassin versant du Bousselam, en particulier, sont de deux types : ressources en eau de surface (rivières) et ressources en eau souterraines. Ces dernières sont intéressantes car ce sont elles qui assurent un écoulement permanent pendant la période estivale. La plupart de ces ressources souterraines se manifestent par d'importantes sources. L'alimentation en eau potable de ce territoire est assurée par ces sources qui sont exposées à différentes pollutions dues aux activités anthropiques sans cesse croissantes.

Ce travail a pour objectif de caractériser les eaux de cinq sources situées au niveau du bassin du Boussellam. Il s'agit des sources : Thala ouazerar, Sema, Ain dokar, Elkseur et Acharchour). Cette caractérisation a été menée durant les hautes eaux et les basses eaux. Elle est basée sur l'aspect qualitatif des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Les paramètres physiques mesurés ont fournis les valeurs suivantes : la conductivité électrique est comprise entre 243 et 766 $\mu\text{S}/\text{cm}$, le pH varie entre 7.87 et 9.05, le TDS entre 144 et 461 mg/l et la turbidité est inférieure à 1. Ces paramètres physiques sont tous conformes aux normes utilisées en Algérie sauf pour la salinité qui dépasse la norme avec des valeurs variant entre 117 mg/l et 374 mg/l. Les paramètres chimiques analysés sont tous conformes à la norme algérienne de potabilité. Les valeurs des éléments traces métalliques (le fer, cadmium et le plomb) sont nulles.

Les résultats physico-chimiques et électrochimiques obtenus, portés sur les diagrammes de Piper et Schoëller-Berkaloff, montrent que les eaux des sources analysées ont un faciès chimique bicarbonaté, calcique et magnésien, avec une dominance du bicarbonate et du calcium. Les deux diagrammes de Wilcox montrent que les eaux de ces sources représentent une bonne et excellente qualité.

Selon les normes Algériennes relatives à la microbiologie de l'eau potable, la consommation de l'eau de ces cinq sources n'ont aucun effet sur la santé humaine.

Actuellement, la consommation des eaux de ces sources n'a aucun effet néfaste sur la santé. Mais il est toujours recommandé de faire un suivi de la qualité des eaux utilisées par la population. Il reste toujours une probabilité que ces sources soient contaminées par différentes sources de pollution. Donc Il est indispensable de faire un suivi régulier, soit qualitatif ou quantitatif afin de protéger les eaux de ces sources et éloigner toute possibilité de développement de maladie à transmission hydrique.

Références
Bibliographiques

Références bibliographiques

- Aissaoui, A. (2013).** Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammam Grouz de la région de Oued Athmania (wilaya de Mila) par les activités agricoles. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister en biologie, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 4p.
- Anctil, F. Rousselle, J et Lauzon, N. (2013).** Hydrologie : cheminements de l'eau. 2^{ème} édition. Ed. Presses internationales polytechnique Canada. 2-3p.
- Astruc, J.G. Bakalowicz, M. Biscaldi, R et Mangin, A. (1988).** Etude des possibilités de surexploitation des aquifères karstiques de midi-pyrenees. Laboratoire souterrain de moulis (ARJECE) C.N.R.S, B.R.G.M. Agence de l'eau Adour-Garonne. 108p, 5p. PDF.
- Atteia, O. (2015).** Chimie et pollutions des eaux souterraines. Lavoisier, Paris.
- Bakalowicz, M. Ricard, J. (1996).** Connaissance, aménagement et protection des ressources en eau du Larzac septentrional, Aveyron (France). Report R38953, BRGM, Orléans.
- Ballouki, K. (2012).** Etude de la Qualité Physico-chimique et Biologique de trois Sources dans la Région de Midelt (Haut Moulouya). Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès. 13-15p.
- Banton, O, Bangoy, L. (2010).** Hydrogéologie : multisciences environnementale de l'eau souterraine. Ed. Presses de l'université du Québec, Québec (Canada). 81p.
- Belattaf, C. (2016).** Contribution à l'étude hydrochimique de quelques sources karstiques dans la région de Bejaia. Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master, Université de Bejaia. 2-3p.
- Benhamiche, N. Madani, K. et Laignel, B. (2014).** Impact of Climatique Changes on Water Resources in Algeria. M. Behnassi *et al*, (eds.) Chapter Book Springer, Vulnerability of Agriculture, Water and Fisheries to Climate Change: Toward Sustainable Adaptation Strategies. DOI 10. 1007/978-94-017-8962-2_12.

- Benkaddour, N. (2015).** Contribution à l'étude de l'efficacité de la graine de Moringa oleifera dans la dépollution des eaux d'oued Safsaf. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en agroforesterie, Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen. 18-20p.
- 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.
- 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.
- Bordet, J. (2007).** L'eau dans son environnement rural. Ed. JOHANET, Paris. 240p.
- BRGM. (1998).** Gestion des ressources en eau d'origine karstique. Rapport de séminaire national, 27-29 novembre pour une gestion des ressources en eau d'origine karstiques. Montpellier. 289p.
- 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.
- Chalgou, T. Naili, A. (2017).** Etude physico-chimique et microbiologique de la floculation-coagulation et de l'adoucissement de l'eau du puits de forage d'Ibourassen (CEVITAL). Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master, Université de Bejaia. 2-3-4p.
- Collignon, B. (1991).** Les principaux karsts d'Algérie, Quelques éléments de synthèse, actes du 9ème Congrès National de la SSS. Construction hydro-technique et environnement, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar Batna. 127 p.
- Chalikakis, K. (2006).** Application de méthode géophysique pour la reconnaissance et la protection de ressource en eau dans les milieux karstiques. Thèse de doctorat pour obtenir le grade de docteur, Université Paris 6. 21-23p.

- Desjardins, R. (1997).** Le traitement des eaux. Ed. Ecole polytechnique de Montréal, Montréal. 3-6p.
- Djenba, S. (2015).** Influence des paramètres : géologique, géomorphologique et hydrogéologique sur le comportement mécanique des sols de la wilaya de Setif. (Algérie). Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences, Université Mohamed Kheider – Biskra. 40p.
- EL Morhit, M. (2009).** Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences, ecotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estrien (BASLOUKKAS), Université Mohammed V – AGDAL, Rebat. 37p.
- Farioua, S (2014).** Localisation et caractérisation des zones, sources de pollution des ressources en eau de la ville de Biskra à l'aide de SIG. Mémoire de master en science de l'eau et de l'environnement, université de Biskra. 1. 78p.
- Fournier, M. (2006).** Identification des modalités de transport et de la vulnérabilité du karst de la craie. Application de nouveaux outils statistiques d'analyse des données au système du Hannefort (Seine-Maritime, France). Thèse pour obtenir le grade de docteur, Université de Rouen. 29-30p.
- Graindorge, J. (2015).** Guide des analyses de la qualité de l'eau. Ed. Territorial éditions, paris. 126. 142. 147.162. 165. 183p.
- Gilli, E. (2008).** Hydrogéologie : objet, méthodes application. 2ème édition. Ed. Dunod, Paris. 48p.
- Gouaidia, L. (2008).** Influence De La Lithologie Et Des Conditions Climatiques Sur La Variation Des Paramètres Physico –Chimiques Des Eaux D'une Nappe En Zone Semi-Aride, Cas De La Nappe De Meskiana Nord-Est Algérien. Thèse Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en sciences Option Hydrogéologie, Université Badji Mokhtar-Annaba. 55p.
- Hoffmann, F. Auly, T et Myer, A. M. (2014).** L'eau, coll. Les petits vocabulaires de la géographie. Editions Confluences.

- Jean-Marc, J. A. H. N. et de SEAAL, D. G. (2009).** Un partenariat public-privé innovant dans le domaine de l'environnement: «Le contrat de management de La Société Des Eaux et De L'assainissement d'Alger». Le Journal de l'Eau et de l'Environnement, 7, 30-34.
- 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.
- Lounnas, A. (2009).** Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-Kroma de Skikda. Mémoire de Magister, université de Skikda. 10p.
- Lopez, B. (2009).** Les processus de transfert d'eau et de dioxyde de carbone dans l'épikarst : Aide à la conservation des grottes ornées par le développement de nouvelles méthodologies pour l'étude de l'environnement des cavités. Thèse pour obtenir le grade de docteur, Université Bordeaux 1. 20-24p.
- Makhoukh, M. Sbaa, M. Berrahou, A.V. et 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 : 149-169p.
- Margot, J. (1990).** Les eaux souterraines dans le monde. Rapport dérivé de la conférence invitée, exposée en France à Sophie, Antipolis les 29-31 janvier sur les eaux souterraines et la gestion des eaux. 42p.
- Marsaud, B. (1996).** Structure et fonctionnement de la zone noyée des karsts à partir des résultats expérimentaux. Thèse de doctorat, université Paris XI Orsay.
- Martin, M. (2010).** Géologie appliquée au BTP. Ed. Eyrolles, Paris. 76p.
- Maurel, A. (2006).** Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres : et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. 2^{ème} édition. Ed. Tec et Doc, 11rue Lavoisier Paris. 5p.
- Ministère de l'environnement. (2006).** Gestion de l'eau par bassin versant : concepts et applications, Québec. P6.

- Musy, A. Higy, C. et Reynard, E. (2014).** Hydrologie 1 : une science de la nature Une gestion sociétale. 2ème édition revue et augmentée. Ed. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Mutin, G. (2009).** Le monde arabe au défi de l'eau : enjeux et conflits. Ed. Revue de l'institut d'études politiques de Lyon. 146p.
- Nahmani, S. (2012).** Méthodologies en traitement de données GPS pour les Sciences de l'Environnement : Contributions à l'étude de la Mousson en Afrique de l'Ouest. Thèse de doctorat, Université Paris VI Pierre et Marie Curie. 14p.
- Nechad, I. Fadil, K. et Fadil, F. (2014).** Qualité physicochimique des eaux des sources Ain Regrag et Ain Sidi Bouali dans la région de Sefrou (moyen Atlas, Maroc). LARHYSS Journal ISSN 1112-3680, (20).
- Nichane, M et Khelil, M.A. (2015).** Changements climatiques et ressources en eau en Algérie. Vulnérabilité, impact et stratégie d'adaptation. Département d'écologie et environnement, université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie. Larhyss journal, n°21, mars 2015, pp. 16-17-18-19.
- ODE. (2011).** Protection des eaux souterraines. Document technique publié par un groupe d'experts inter gouvernement sur le maintien et l'amélioration de la qualité des eaux souterraines. Ed. Ursanne et new châtelé : république et couton de jura. 56p.
- Raven, P.H. Berg, L.R. Hassenzah, D. M. (2009).** Environnement. Edition de Boeck université, Bruxelles. 328p.
- Perineau, A –B. (2013).** Caractérisation du fonctionnement de la zone non saturée des aquifères karstiques : approche directe par études hydrodynamiques et hydrochimiques sur le Bassin de recherche, d'Expérimentation à Bas Bruit de Rustel- Pays d'Apt. Thèse pour obtenir le diplôme de Doctorat, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. 5-7, 14-17, 20-25p.
- Rejsek, F. (2002).** Analyse des eaux : aspect réglementaire et techniques. Ed. Scérène CRDP aquitaine, centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine, 75 cours Alsace - Lorraine - 33075 Bordeaux. 66p.

- Remini, B. (2005).** La problématique de l'eau en Algérie. Office des publications universitaires, 1, place centrale de Ben-Akenoun (Alger).
- Roche, D-A. Miquel, J et Gaume, E. (2012).** Hydrologie quantitative : processus, modèles et aide à la décision. Ed. Springer-Verlag France. 7p.
- Roche, M. A. Dubreuil, P. et Hoepffner, M. (1974).** Dynamique des eaux, des sels et des sédiments en suspension dans les estuaires du Mahury et de l'Approuague. *Publication ORSTOM*.
- Rodier, J. et coll. (2005).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Ed. Dunod, Paris. 8ème édition. 23. 780. 975p.
- Rodier, J. Legube, B. Merlet, N et coll. (2009).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Ed. Dunod, Paris. 9ème édition. 35. 326p.
- Roux, M. (1989).** Analyse biologique de l'eau. Ed. Lavoisier _ Tec et Doc, Paris. 85, 91p.
- Seltzer, R. (1946).** Le climat de l'Algérie. Int. Ephys du globe, Uni. D'Algérie, p219.
- Sersoub, D. (2012).** Aménagement et Sauvegarde de la Biodiversité de la Vallée d'Oued Boussellam (Sétif). Mémoire Présentée Pour obtenir le diplôme de magister, Université de Sétif. 19p.
- Tardat-henry, M. (1993).** Chimie des eaux. 2^{ème} Ed. Éditions Le Griffon d'argile, Montréal, Canada.
- Vila, J. M. (1977).** Carte géologique de l'Algérie au 1/50000: feuille no 99, Sédrata (1ère éd.), avec notice explicative détaillée (levés de S. Guellal et JM Vila). Service de cartes Géologiques et Sonatrach, Division d'hydrocarbure, Direction des explorations, Alger, Algérie.
- Vilaginès, R. (2010).** Eau, environnement et santé publique : Introduction à l'hydrologie. 3^{ème} édition. Ed. Lavoisier, Paris.
- Zella, L. (2007).** L'eau : pénurie ou incurie. Ed. Office des publications universitaires. 1, place centrale de Ben-Akenoun (Alger). 47-48p.

Annexes

Annexes**Annexe I****❖ Dosage Des Nitrates NO₃⁻ (Méthode au salicylate de sodium)****Réactifs**

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

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

Solution d'hydroxyde de sodium 30 %.

30 g de Na OH 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 q s p 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 0.722g.

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 Na OH 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 II

❖ Dosage des nitrites NO_2^-

Réactifs

Sulfanilamide 40g.
Acide phosphorique 100 ml.
N-1- Naphtyl éthylène diamine 2g.
 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 III

Détermination de l'alcalinité (HCO_3^-)

Réactifs

Solution d'acide Chlorhydrique à 1 N

Solution d' HCL^- à 0,1 N

Solution 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

$$F.G = \frac{VA \times NA \times MHCO_3^- \times 1000}{PE} = \frac{VA \times 0,1 \times 61 \times 1000}{100}$$

F.S : $VA_1 \times 61 = mg/l HCO_3^-$

VA : Volume d'acide versé.

NA : normalité d'acide versé.

$MHCO_3^-$: 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 VA2.

$$Mg/l CO_3^{2-} = VA2 \times 60$$

Annexe IV

❖ Détermination des chlorures (Cl^-)

Réactifs

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

1,6987 d' $AgNO_3$ → 1000 ml d'eau distillée

Indicateur coloré K_2CrO_4 à 10 %:

10 g de K_2CrO_4 → Q.S.P 100 ml d' H_2O distillée.

Solution de chlorures à 71 mg/l:

0.107g de NH_4Cl1000ml d'eau distillée.

Mode opératoire

- Prendre 5 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 2 gouttes de K_2CrO_4 (coloration jaunâtre) ;
- Titrer avec $AgNO_3$ à 0,01 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

Expression des résultats

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

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

V_{AgNO_3} : Volume d' $AgNO_3$ nécessaire pour le dosage de l'échantillon.

N_{AgNO_3} : Normalité d' $AgNO_3$

M_{Cl^-} : masse des chlorures.

F : facteur de correction du titre d' $AgNO_3$.

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 ;
- Doser par $AgNO_3$ à 0,01 N jusqu'au virage (couleur brun rougeâtre).

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

Annexe V**❖ 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) :

Tricitrate 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 ;
- 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 VI

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

Réactifs

Solution d'E.D.T.A N/50 ($C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$) : (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 (NH₄OH) pH = 10,1:

Chlorure d'ammonium 67,5 g ;

NH₄OH (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 2 heures 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 carbonate 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 Ca^{2+} : Masse molaire du calcium en g.

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

F : Facteur

$$\text{mg/l Ca}^{2+} = \frac{V1 \times 0,01 \times F \times 40,08}{50} \times 1000$$

Donc : $\text{mg/l Ca}^{2+} = V1 \times F \times 8,016$

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

$$\text{mg/l Mg}^{2+} = \frac{(V2-V1) \times C_{EDTA} \times F \times M_{\text{Mg}^{2+}}}{PE} \times 1000$$

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 Mg^{2+} : Masse molaire du Magnésium en g.

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

F : Facteur

$$\text{mg/l Mg}^{2+} = \frac{(V2-V1) \times 0,01 \times F \times 24,3}{50} \times 1000$$

Donc

$$\text{mg/l Mg}^{2+} = (V2-V1) \times F \times 4.86$$

Résumé

Notre travail a pour objectif l'étude, la caractérisation et l'évaluation de la qualité, physicochimique et bactériologique de l'eau provenant de cinq sources karstiques (tala ouazerar, fontaine Semta, Ain dokar, tala Elkseur et Acharchour) situées à l'extrémité sud Est de Bejaia dans le bassin versant du Boussellam.

Quatorze paramètres physico-chimiques (T° , pH, CE, S, TDS, Tbd, Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- et TH), ainsi que trois ETM (Pb, Cd et Fe) et la bactériologie ont été suivis durant deux campagnes de prélèvement, la première au mois de Février et la deuxième à la fin du mois d'Avril. Les résultats des analyses physico-chimiques sont conformes aux normes algériennes de potabilité, l'interprétation des faciès chimiques des deux campagnes montre la dominance du faciès chimique bicarbonaté calcique et magnésienne dans toutes les sources. Les résultats des ETM montrent que pour le fer, les concentrations sont faibles par rapport à la norme, l'absence de Cd et de Pb dans les eaux des cinq stations, sauf quelques traces de Pb au niveau de S1 (tala ouazerar). L'analyse bactériologique révèle l'absence des Clostridium et des E. coli dans l'eau, par contre pour les streptocoques fécaux, coliformes fécaux et Germes totaux révèlent la présence d'un certain nombre de colonies particulièrement au niveau de S1, mais qui peuvent être éliminé totalement après le traitement. Cette étude montre la bonne qualité de l'eau de ses sources pour la consommation humaine et l'irrigation.

Mots clés : physico-chimique, bactériologique, eau, sources karstiques, campagne, ETM, Bejaia, Boussellam.

Abstract

This study aims to feature and evaluate the quality, physicochemical and bacteriological of water, which come from five karst springs (tala ouazerar, Semta fountain, Ain dokar, Tala Elkseur and Acharchour) located at Boussallem watershed in southeastern Bejaia.

Fourteen physico-chemical parameters (T° , pH, CE, S, TDS, Tbd, Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- and TH), as well as three ETM (Pb, Cd and Fe) and bacteriology were monitored during two sampling campaigns. The first on February and the second at the end of April. The results of the physicochemical analyzes conforme to the Algerian potability norms. The interpretation of the chemical facies of the two companions shows the dominance of the calcium and magnesium bicarbonated chemical facies in all of the water sources. The results of the ETM show that for iron, the concentrations are low compared to the norm, the absence of Cd and Pb in the waters of the five stations, except for some traces of Pb at S1 (tala ouazerar). Bacteriological analysis revealed the absence of Clostridium and E. coli in water, whereas faecal streptococci, faecal coliforms and total germs showed the presence of a certain number of colonies, particularly at the S1 level. Can be eliminated completely after treatment. This findings of this study reveals the good quality of water from those sources for human consumption and irrigation.

Key words : physico-chemical, bacteriological, water, karst springs, companion, ETM, Bejaia, Boussellam.