

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

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de sciences biologique de l'environnement
Spécialité Toxicologie Industrielles et Environnementale



Réf :.....

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

MASTER

Thème

**Etude de la vulnérabilité à la pollution de
la zone de Boulimat par la méthode GOD**

Présenté par :

DJENADI Helima & DJERROUD Yasmina

Soutenu le : **20 Juin 2018**

Devant le jury composé de :

M. SIDI Hachemi	MCA	Président
M. KHEMMOUDJ Kaddour	MCB	Encadreur
M. LARACHI Nassim	MAA	Examineur

Année universitaire : 2017 / 2018

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu le bon Dieu, qui nous a donné le courage, la force et la volonté pour accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à remercier vivement notre promoteur : **M. KHEMMOUDJ Kaddour**, d'avoir accepté de nous encadrer. Nous remercions aussi pour son aide, ces conseils, ses orientations et pour sa patience, sa disponibilité intellectuelle qui a contribué à améliorer notre réflexion.

Nos remerciements vont également à le président du jury **M.SIDI**, ainsi que à l'examineur **M. LARACHI** d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous remercions vivement tout le personnel du laboratoire physico-chimique de l'ADE pour leurs précieuses aides et leurs disponibilités.

Nous remercions aussi tout le personnel et le directeur de Parc National de Gouraya.

Nous remercions tous les membres de nos familles pour leurs soutiens et encouragements, en particulier nos parents.

Dans le souci de n'oublier personne, nous remercions vivement tous ceux qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de nos études.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail avec grand amour, sincérité

et fierté ;

A mes très chers parents pour leurs conseils, leurs sacrifices et surtout pour leurs soutiens tout au long de ma vie et que le Bon Dieu me les gardes.

A mes chers frères et à ma chère sœur, en témoignage de fraternité, avec mes souhaits de bonheur, de santé et de succès.

À tous les membres de ma famille.

A tous mes amis, tous mes professeurs

A tout qui compulse ce modeste travail

Et à ma binôme et toute sa famille.

HELIMA

Dédicace

Tout au début, je tiens à remercier le bon dieu de m'avoir prévu de la patience, santé afin de réaliser ce modeste travail que je dédie à :

A mes très chères parents que le dieu me les gardes : ma mère qui m'a donnée tous ce qui rassemble a l'amour, pour les sacrifices qu'elle faits pour notre éducation, mon père qui ma encourager et son soutien pour mes études que je dois tout mon respect et mon amour

A mes très chères frères MOULOUD et MADANI, A ma très chère sœur TAOUS.

A ma grande mère yema Djohra et à khalfy Djillali .et a nana Ouardia

A mes cousins Mounir, Anis, à mes cousines Drifa et Katia et Fariel.

A mes cheres amies surtout Sabrina, a tout mon groupe de L3 jusqu'à M2

A tous les binômes de monsieur khemmoudj : Sarah Dhiya Salama karim El Hachemie

A ma très chère binôme helima et

Toute sa famille Djennadi

Yasmina

Liste des tableaux

Tableau I : Critères de la vulnérabilité.....	8
Tableau II : Les différentes méthodes d'évaluation la vulnérabilité	9
Tableau III : Températures mensuelles minimales, maximales et moyennes dans la région de Bejaia (2008-2017).....	13
Tableau IV : Moyennes mensuelles des précipitations en (mm) dans la région de Bejaia (2008-2017).....	14
Tableau V : Moyenne mensuelle de vent en m/s dans la région de Bejaia (2008-2017).....	15
Tableau VI : Résultat de bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite.....	18
Tableau VII : Intervalle des valeurs de l'indice GOD et classes correspondantes.....	29
Tableau VIII : Paramètre de type d'aquifère (C_a).....	29
Tableau IX : Paramètre de la nature lithologique (C_l).....	29
Tableau X : Paramètre profondeur de la nappe (C_d).....	29
Tableau XI : Indice partiel du paramètre « G ».....	30
Tableau XII : Indice partielle de paramètre « O ».....	31
Tableau XIII : Indice partielle de paramètre « D ».....	32
Tableau XIV : Répartition des degrés de vulnérabilité dans la région d'étude.....	32
Tableau XV : Coordonnés géographiques des ressources d'eau de la région de Boulimat.....	34
Tableau XVI : Résultats des analyses physique et des ETM au niveau des eaux souterraines.....	34
Tableau XVII : Résultats des analyses électrochimiques au niveau des eaux souterraines	35
Tableau XVIII : Résultats des analyses physique et des ETM au niveau des eaux de surfaces.....	35
Tableau XIX : Résultats des analyses électrochimiques au niveau des eaux de surfaces...	35

Liste des figures

Figure 1: Schéma explicatif d'un bassin versant.....	2
Figure 2 : Différentes sources de pollution d'eau souterraine.....	4
Figure 3 : Les différents types de nappes souterraines.....	5
Figure 4: Modèle «origine – écoulements – cible».....	7
Figure 5: Localisation de la zone d'étude.....	10
Figure 6 : carte géologique de la région de Boulimat.....	11
Figure 7 : La carte de types de sol de la région de Boulimat.....	12
Figure 8 : Carte de réseau hydrographique.....	12
Figure 9 : Variation moyenne mensuelle de la température de la région de Bejaïa (2008-2017).....	14
Figure 10 : Répartition mensuelle des précipitations au niveau de la région de Bejaïa (2008-2017).....	15
Figure 11 : Répartition mensuelle de la force du vent dans la région de Bejaïa.	16
Figure 12 : Diagramme Ombrothermique de la région de Bejaïa (2008-2017)	17
Figure 13 : GPS de marque Eltrex (GARMIN).....	20
Figure 14 : Illustrations de quelques sources souterraines de la région de Boulimat.....	20
Figure 15 : Illustration de quelques sources superficielles de la région de Boulimat.....	21
Figure 16 : Multi paramétré de terrain HANNA Instrument HI 9828.....	22
Figure 17 : Turbidimètre HACH 2100N (Laboratoire de l'ADE).....	22
Figure 18 : Le spectromètre d'absorption atomique en flamme du Laboratoire de Génie des procédés, Université de Bejaïa.....	26
Figure 19 : Interface de commande de logiciel diagramme.....	27
Figure 20 : Système empirique GOD pour une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère.....	28
Figure 21 : Carte de type d'aquifère « G ».....	30
Figure 22 : Carte de lithologie d'aquifère « O ».....	31
Figure 23 : Carte de profondeur d'aquifère « D ».....	32
Figure 24 : Carte de degré de vulnérabilité de la région d'étude.....	33
Figure 25 : Pourcentage de degré de la vulnérabilité de la région d'étude.....	33
Figure 26 : La répartition de la température dans les eaux des sites étudiées....	36

Liste des figures

Figure 27 : La répartition du pH dans les eaux des sites étudiées.....	37
Figure 28 : La répartition de l'oxygène dissous dans les eaux des sites étudiées.....	38
Figure 29 : La répartition de la conductivité électrique dans les eaux des sites étudiées.....	39
Figure 30 : La répartition de la salinité dans les eaux des sites étudiées.....	39
Figure 31 : La répartition de TDS dans les eaux des sites étudiées.....	40
Figure 32 : La répartition de la turbidité dans les eaux des sites étudiées.....	41
Figure 33 : Carte de la répartition de concentration de Zinc.....	42
Figure 34 : Carte de la répartition de concentration de Plomb.....	43
Figure 35 : Carte de la répartition de concentration de Cadmium.....	44
Figure 36 : Carte de la répartition de concentration de Fer.....	45
Figure 37 : Représentation des eaux des sites étudiés sur le diagramme de Piper.....	45
Figure 38 : Diagramme de Wilcox des eaux des sites étudiées.....	46
Figure 39 : Décharges sauvages de Boulimat.....	47
Figure 40 : La route nationale N°24.....	47
Figure 41 : Carte de risque de la région de Boulimat	48

Liste des abréviations

Cd : Cadmium.

Cl : Chlorures.

DO : Oxygène dessous.

ETP : Evapotranspiration réelle.

Fe²⁺ : Fer.

GOD : Type d'aquifère, Lithologie d'aquifère, Profondeur d'aquifère.

NH₄⁺ : ammoniac.

NO₂⁻ : Nitrites.

P : Précipitation.

Pb : Plomb.

pH : Potentiel d'hydrogène.

Psu: practical salinity unit.

R : Ruissèlement.

S : Salinité.

SAA : Spectrométrie d'absorption atomique.

SO₄²⁻ : Sulfates.

T max : Température maximal.

T min : Température minimal.

T Moy : Température moyenne.

TDS : Taux de solide dissous.

TH : Dureté totale.

TH_{Ca} : Dureté calcique.

Zn : Zinc.

ZN : Zone saturée.

ZNS : Zone non saturée.

Liste des tableaux	
Listes des figures	
Liste des abréviations	
Introduction	1

Partie bibliographique

I.1. Bassin versant hydrologique	2
I.1.1. Définition	2
I.1.2. Caractéristique d'un bassin versant	2
I.2. La pollution des eaux souterraines	3
I.2.1. Définition	3
I.2.2. Origine de la pollution	3
I.2.3. Classification des nappes aquifères	5
I.3. La vulnérabilité des eaux souterraines.....	6
I.3.1 Définition.....	6
I.3.2 Différents types de vulnérabilité.....	7
I.3.3 Critères de vulnérabilité.....	8
I.3.4. Méthode d'évaluation de la vulnérabilité.....	9

Partie expérimentale

Matériel et méthodes

II. Présentation de la zone d'étude.....	10
II.1. Situation géographique	10
II.2. Caractéristique physique de la région d'étude.....	11
II.2.1 Reliefs	11
II.2.2. Géologie.....	11
II.2.3. Pédologie	12
II.2.4. Réseau hydrographique	12
II.3. Climatologie de la région d'étude	13

II.3.1. Climat	13
II.3.2. Température.....	13
II.3.3. Précipitation.....	14
II.3.4. Vent.....	15
II.4. Synthèse climatologique	16
II.4.1 Diagramme Ombrothermique.....	16
II.4.2 Estimation des paramètres du bilan hydrogéologique	17
II.5. Présentation de lieu de stage	19
II.6. Position et localisation des sources d’eaux	19
II.7. Lieux et date de prélèvement	20
II.8. Méthode de prélèvement et Echantillonnage.....	21
II.9. Méthodes d’analyses.....	22
II.9.1. Les analyses physicochimiques	22
II.9.1.1. Les paramètres physiques	22
II.9.1.2. Les paramètres chimiques.....	23
II.9.2. Logiciels utilisés	26
II.9.3. Méthode de la vulnérabilité utilisée dans la région d’étude	27

Résultats et discussions

III.1 Description des paramètres et réalisation des cartes.....	30
III.1.1. Paramétré types d’aquifère « G ».....	30
III.1.2. Paramètre de nature lithologique « O ».....	31
III.1.3. paramètre profondeur de la nappe « D ».....	31
III.2. Carte de vulnérabilité.....	32
III.3. Coordonnées géographique des sites de prélèvement.....	34
III.4. Résultats des analyses physico-chimiques.....	34
III.5. Discussions des analyses physico-chimiques.....	36
III.5.1. Température	36

III.5.2. Le potentiel d'hydrogène.....	36
III.5.3. Oxygène dissous	37
III.5.4. Conductivité électrique.....	38
III.5.5. Salinité	39
III.5.6. Total des solides dissous (TDS).....	40
III.5.7. Turbidité.....	40
III.6. Résultat des analyses des métaux lourds	41
III.6.1. Zinc (Zn).....	41
III.6.2. Plomb (Pb).....	42
III.6.3. Cadmium (Cd).....	43
III.6.4. Fer (Fe)	44
III.7. Détermination des factices chimiques.....	45
III.7.1. Diagramme de Piper.....	45
III.7.2. Diagramme de Wilcox	46
III.8. Sources de pollution dans la région d'étude.....	46
III.8.1. Décharges sauvages	46
III.8.2. Pollution par le trafic routier.....	47
III.8.3. Pollution causée par les estivants.....	48
III.9. Carte de risque	48
Conclusion	49
Références bibliographiques	

Annexes

INTRODUCTION

Introduction

L'eau est un élément essentiel à la vie biologique. Non seulement, elle est un nutriment vital, mais elle est aussi impliquée dans de nombreuses fonctions physiologiques essentielles telles que la digestion, l'absorption, la thermorégulation et l'élimination des déchets (**Kirkpatrick et Fleming, 2008**). Sans cette matière simple et complexe en même temps, la vie sur terre n'aurait jamais existé donc c'est un élément noble qu'on doit protéger pour les générations futures (**Henri, 2012**).

L'eau souterraine est fragile et souvent considérée comme une source d'alimentation en eau potable. Elle est très vulnérable aux nombreuses sources de contamination. Sa vulnérabilité est une propriété intrinsèque des aquifères qui dépend de la sensibilité des eaux souterraines aux impacts naturels et anthropiques (**Ayad, 2017**).

Pour mieux comprendre la relation entre la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution et les conditions hydrologiques, géologiques et météorologiques locales des aquifères, plusieurs méthodes d'évaluation de la vulnérabilité ont été créées, sur l'échelle internationale on citera **Murat, 2000 ; Feumba, 2015 et Simboro, 2016** ; en Algérie on citera **Draou, 2013 ; Fella, 2012 et Zeghid, 2013** et dans la région **Bedhouche et Barkani, 2005 ; Boutaya et al, 2007** **Yahiaoui et al, 2017**.

Dans ce mémoire, notre objectif est de réaliser une cartographie de la vulnérabilité et de risque de pollution des eaux souterraines dans le cadre de mieux orienter le développement urbain et la préservation des ressources souterraines dans la région de Boulimat.

Dans le chapitre I, est consacrée à une synthèse bibliographique sur la vulnérabilité et la pollution, la deuxième partie matérielle et méthodes présente une description de la zone d'étude regroupe les différentes techniques utilisées dans ce travail. La troisième partie résultats et discussion dans laquelle nous avons interpréter et évaluer les résultats obtenues. On termine par conclusion et des perspectives de recherche.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Bassin versant hydrologique

I.1.1. Définition

Le bassin versant se définit comme une surface élémentaire hydrologiquement close, c'est-à-dire que tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface transite en aval par une seule section appelée exutoire (**Heyd et al., 2012**) (Fig. 1).

C'est le territoire sur lequel tous les écoulements des eaux de surface convergent vers un même point que l'on nomme l'exutoire du bassin versant. Ce territoire est limité physiquement par la ligne des crêtes, appelée ligne de partage des eaux. A l'intérieur de ce domaine, toutes les pentes locales dirigent les écoulements de surface vers le point le plus bas correspondant à l'exutoire. Il est donc défini par un exutoire, dont il est nécessaire de préciser la localisation géographique (**Banton et Bangoy, 2010**).

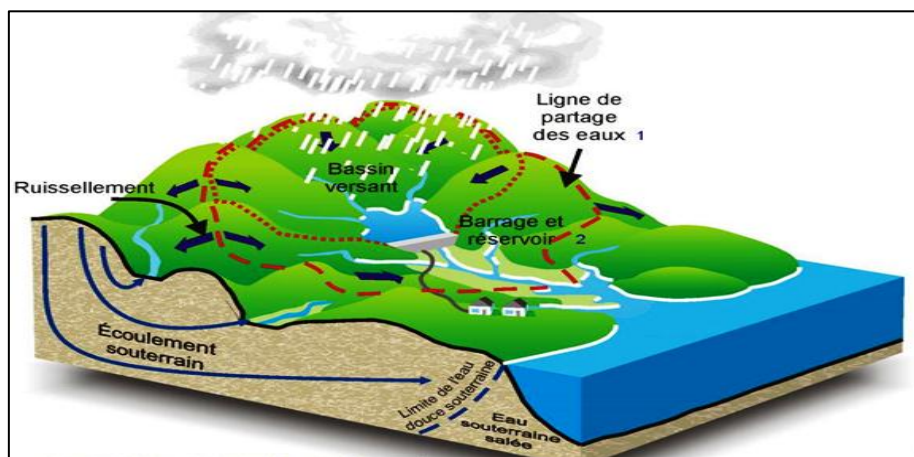


Figure 1: Schéma explicatif d'un bassin versant (**Labord, 2009**).

I.1.2. Caractéristiques d'un bassin versant

Un bassin versant est caractérisé par trois composantes principales (**Thibault, 2011**) :

1. Sa limite, l'enveloppe des surfaces potentiellement drainantes et les extrémités avals du réseau de drainage.
2. Son organisation qui peut être reliée à la structure du réseau, à la distribution surfacique des éléments de drainage.
3. Sa composition, les types de recouvrement de surface, et quelques grandeurs géométriques associées.

I.2. La pollution des eaux souterraines

I.2.1. Définition

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux de l'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives du milieu ou en laidissant la nature (**Ramade, 2007**).

Une eau est polluée lorsque, sous l'effet de l'activité humaine, elle devient impropre à satisfaire la demande d'utilisation ou qu'elle présente un danger pour l'environnement (**Castany, 1980**).

L'eau souterraine est considérée comme polluée lorsqu'elle contient des substances autres que celles liées à la structure naturelle des terrains où elle a séjourné, en particulier, lorsque les concentrations des constituants dissous ou en suspension dépassent les concentrations maximales admissibles fixes par les standards nationaux ou internationaux (**Lallemand et Roux, 1999**).

I.2.2. Origines de la pollution

La qualité naturelle des eaux souterraines peut être altérée par l'activité humaine et inhérente au développement de ces activités. Les sources de pollution des eaux souterraines (Fig. 2) se sont multipliées au cours du siècle dernier (**Addad et Hamza, 2006**).

- **Origine urbaine et domestique :** (eaux usées domestiques, eaux pluviales, eaux d'infiltration sous les dépôts d'ordures, etc.) (**Lallemand et Jean, 1999**).

Ce sont les rejets d'eaux usées domestiques et municipales (lavage des rues, arrosages et les eaux utilisées pour la climatisation des immeubles) (**Castany, 1980**).

- **Origine industrielle :** (eaux usées, eaux d'infiltration sous les stockages de déchets industriels, liquides dangereux tels que hydrocarbures et solvants) (**Lallemand et Jean, 1999**).

Elles sont provoquées par les rejets industriels, thermiques et chimiques. Il faut ajouter les effets des grands aménagements urbains, le développement des autoroutes (**Castany, 1980**).

- **Origine agricole :** (eaux d'infiltration de drainage et de ruissellement sous aires cultivées, ou sous aires agricoles (élevages, stockages et épandages d'engrais et de produits phytosanitaires) (**Lallemand et Jean, 1999**).

Les pollutions agricoles sont causées principalement par l'utilisation irrationnelle des engrais chimiques et les pesticides ; aussi le traitement des plantes et les fuites de stockage des sous-produits de l'élevage (**Castany, 1980**).

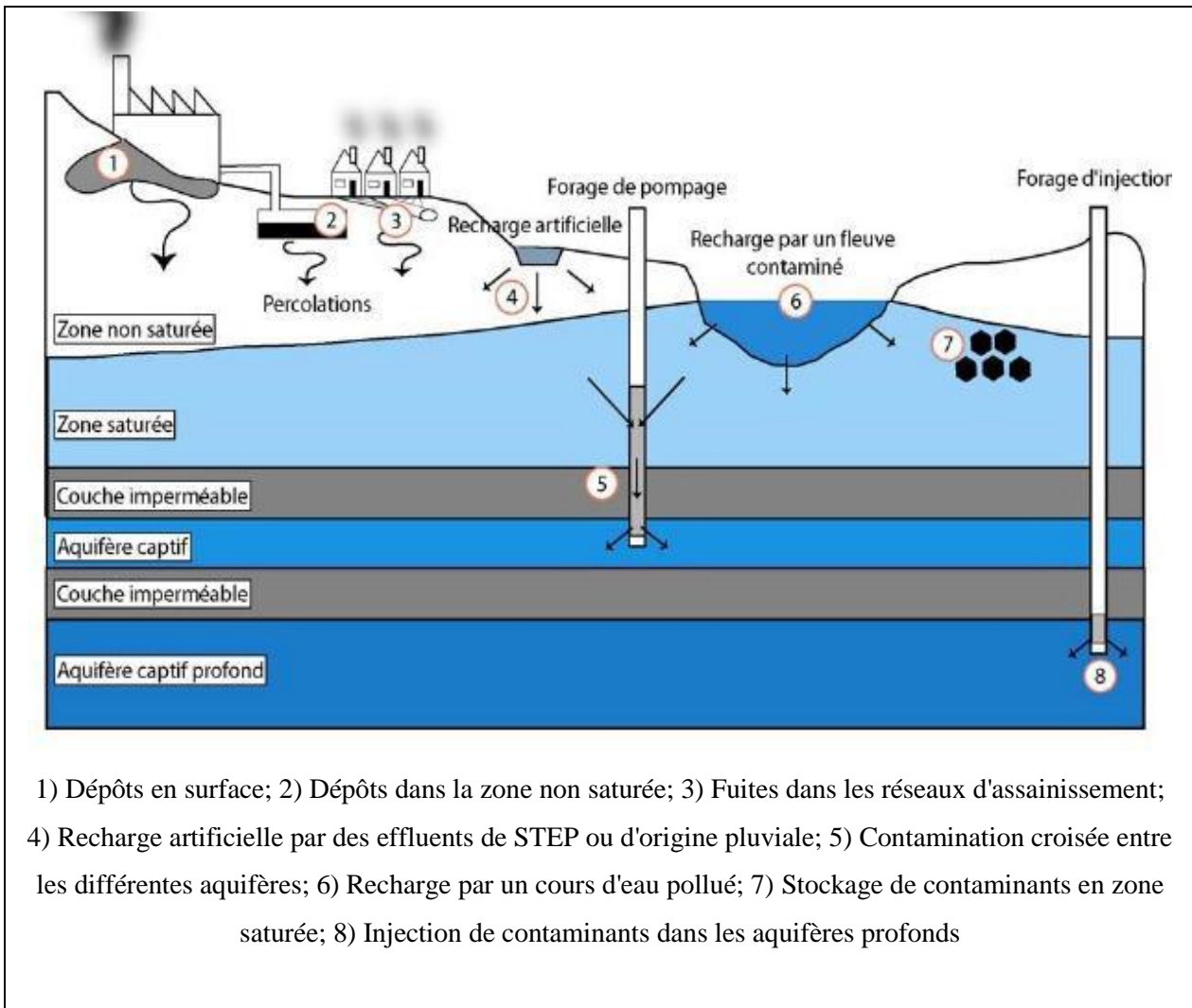


Figure 2 : Différentes sources de pollution d'eau souterraine (**Datry, 2003**).

I.2.3. Classification des nappes aquifères

On appelle aquifère un corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantité d'eau appréciable (**Castany, 1998; Beauchamp, 2006**).

Les nappes d'eau souterraine ne sont ni des lacs ni des cours d'eau souterrains. Les nappes d'eau souterraine sont de l'eau contenue dans les pores ou les fissures des roches saturées par les eaux de pluie qui se sont infiltrées (AEAG, 2012).

D'après Castany (1998), on distingue 3 types des nappes en fonction des conditions géologiques à savoir:

- **Aquifère à nappe libre:** Il s'agit de roches poreuses (sable, crie, calcaire) ; la base de l'aquifère, le substratum, est imperméable. La surface piézométrique est la limite supérieure de la zone saturée de l'aquifère (une limite hydrodynamique). Cette surface peut s'élevé ou s'abaissé librement dans la formation hydrogéologique perméable formant le réservoir. La pluie efficace peut alimenter directement toute la surface libre de la nappe. Au sien des nappes libres, on distingue « les nappes phréatiques », qui sont des nappes d'eau libres à faible profondeur, et « les nappes alluviales ».
- **Aquifère à nappe captive:** Les eaux sont emprisonnées dans la formation hydrogéologique perméable, entre deux formations imperméables fixes : le substratum à la base et le toit au sommet. Leur alimentation ne s'effectue que par les affleurements du terrain perméable.
- **Nappe semi captive :** Le toit ou le substratum (ou de les deux) de la nappe sont souvent constitués par une formation hydrogéologique semi-perméable. Celle-ci permet, dans certaines condition hydrodynamiques favorables (différence de charge) des échanges d'eau (ou de pression) avec la nappe superposé ou sous-jacent appelé drainante.

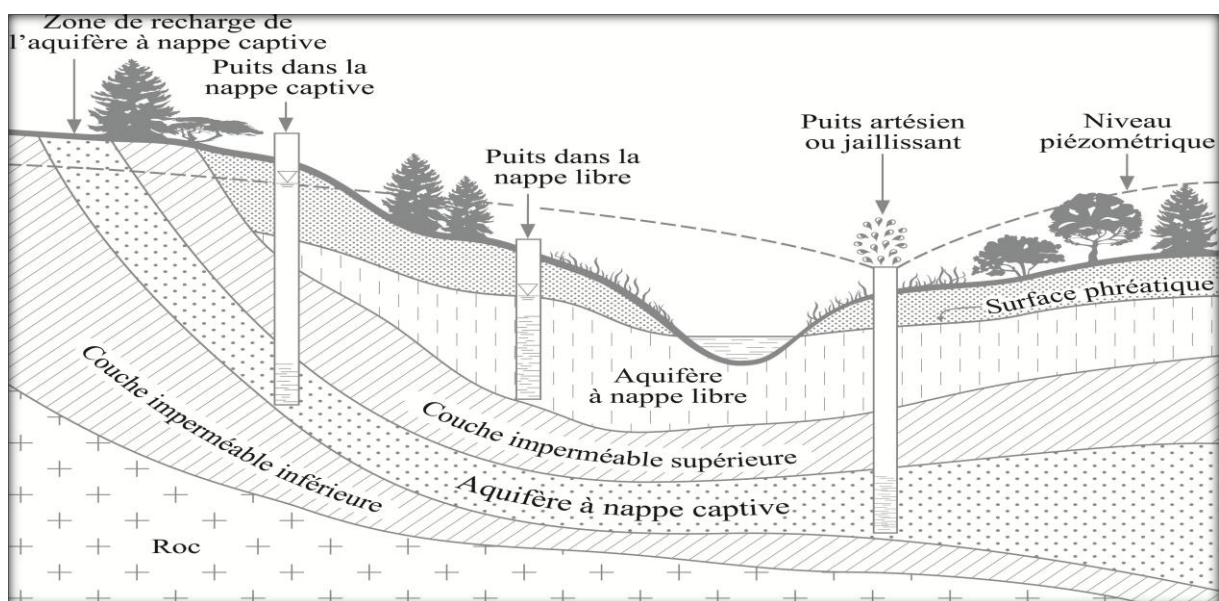


Figure 3 : Les différents types de nappes souterraines (Anonyme 1).

I.3. La vulnérabilité des eaux souterraines

I.3.1. Définition

La vulnérabilité est le caractère de ce qui peut être attaqué, blessé ou endommagé. Le terme "vulnérabilité" traduit la fragilité ou la sensibilité d'un système face à une menace externe : pollution, évènements socio-économiques, aléas climatiques, etc. Ce terme vulnérabilité a été utilisé historiquement depuis les années 50 notamment dans les domaines des sciences humaines, de la protection sociale et de la médecine (**Es Saouini, 2015**).

La vulnérabilité est un terme introduit en hydrogéologie par Margat dans les années 60 (**Margat, 1968**). Le concept de vulnérabilité de l'eau souterraine est généralement défini comme « la capacité d'un système hydrogéologique à transmettre un contaminant potentiel depuis la surface du sol jusqu'à atteindre la zone saturée» (**Rahman, 2008**). Véhiculé depuis l'eau des précipitations qui s'infiltré à la surface du sol, le contaminant percole ainsi à travers la zone vadose jusqu'à atteindre la zone saturée.

On résume que la vulnérabilité est une évaluation qualitative des mécanismes de transfert d'un polluant qui repose sur une conceptualisation multicouche du milieu traversé (**Charikh, 2014**). En effet, la vulnérabilité d'une eau souterraine à la pollution est une notion relative sans dimension et non mesurable (**Vrba et Zaporozec, 1994**).

D'après Cazaux (2007), le concept de vulnérabilité des eaux souterraines est basé sur un modèle « origine – écoulements – cible » (fig.4).

- **L'origine de la contamination:** c'est le lieu d'infiltration du polluant au niveau de la surface du sol.
- **L'écoulement :** c'est le trajet du contaminant à travers le milieu naturel, c'est à dire sa composante verticale au sein de la zone non saturée.
- **La cible:** est l'eau souterraine faisant l'objet d'une protection. Il peut s'agir soit du toit de la nappe, soit du captage d'eau.

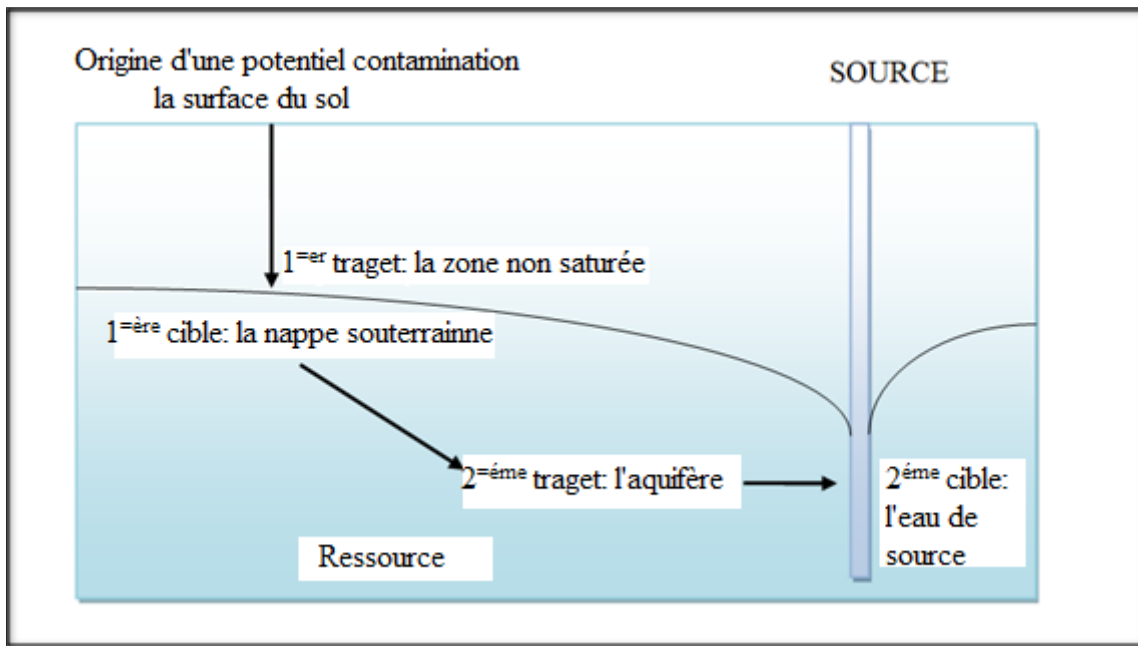


Figure 4: Modèle «origine – écoulements – cible» (Cazaux, 2007).

I.3.2. Différents types de vulnérabilité

Les études de la vulnérabilité font généralement la distinction entre deux notions : vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique. La distinction des deux types de vulnérabilité est nécessaire car, d'une façon générale, elles ne se placent pas sur la même échelle d'investigation : la vulnérabilité intrinsèque peut être considérée comme invariante dans le temps alors que la vulnérabilité spécifique (directement liée aux polluants éventuels) est évolutive et ne caractérise qu'un instant précis (Mardhel et al., 2005).

- **La vulnérabilité intrinsèque** : est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel (nature géologique, hydrogéologique du sous-sol, profondeur de la surface libre et drainage de surface) qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines (industrielle, urbain, agricole) (Albinet et Margat, 1970 ; Mardhel et al., 2005).
- **La vulnérabilité spécifique** : est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque (Mardhel et al., 2005).

I.3.3. Critères de vulnérabilité

La vulnérabilité d'une nappe dépend de multiples facteurs intervenant soit sur la nature et/ou la concentration de la contamination, soit sur son temps de transfert. Elle est évaluée en prenant en compte les caractéristiques du sol, de la zone non saturée et de la zone saturée qui contrôlent le comportement des polluants (**Charikh, 2014**).

Les critères sont récapitulés dans le tableau I:

Tableau I : Critère de vulnérabilité (Zewahlen ,2004)

Sol	Zone non saturée (ZNS)	Zone saturée
Topographie (pente)	Profondeur de la nappe libre ou épaisseur de la ZNS	Type de nappe (Libre ou captive)
Pédologie (perméabilité vertical des sols, nature et texture des sols)	Temps de transfert (perméabilité verticale)	Temps de résidence (dépend de l'hydrodynamisme des formations aquifères)
Bilan hydrique (ruissellement et infiltration efficace)		Relation eau souterraine /eau superficielles
	Structure de la ZNS (variation de faciès, épaisseur des discontinuités de faciès, position dans le profil vertical, texture, teneur en matière organique et argile)	Piézométrie (sens et direction d'écoulement et évolution selon la période du cycle hydrique)
	Présence ou non d'un horizon moins perméable et position de celui-ci	Epaisseur de l'aquifère (quantité de réserve)
		La recharge (recharge annuelle nette)
		Type de système hydrogéologique (caractère plus ou moins capacitif et transmissif)
	Battement de nappe	
	Fracturation (direction et densité)	

I.3.4. Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité

Les premières cartes de vulnérabilité à la pollution sont apparues dans les années soixante-dix (**Albinet et Margat, 1970**). Elles ont été ensuite expérimentées dans d'autres pays du monde ; leur objectif principal est de représenter les différents niveaux de la vulnérabilité des eaux souterraines sur un support cartographique. La littérature afférente au sujet montre

l'existence de plusieurs méthodes d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité des nappes aux risques de pollution (tab. II).

Tableau II: Les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité

Méthodes	Auteurs	Critères
GOD	Foster, 1987	G : Type de nappe O : Lithologie de la zone non saturée de l'aquifère D : Profondeur de la nappe
DRASTIC	Aller et al, 1987	D : Profondeur de la nappe R : Recharge nette A : Nature lithologique de l'aquifère S : Type de sol T : Topographie des terrains I : Impact de la zone non saturée C : Conductivité hydraulique
EPIK	Zwahlen et al, 1996	E : Développement de l'Epikarst, P : Epaisseur de la couverture Protectrice I : Conditions d'Infiltration K : Développement du réseau Karstique
RISKE	Petelet-G et al, 2000	R : Roche aquifère I : Conditions d'infiltrations S : Sol et couverture protectrice K : karstification E : Epikarst
PI	Goldsheider et al, 2002	P : Couverture Protectrice I : Conditions d'Infiltration
SINTACS	Citiva, 1994	S : Profondeur de la nappe I : Recharge efficace N : Lithologie de la zone non saturée T : Type de sol A : Type de l'aquifère C : Conductivité hydraulique S : Topographie

PARTIE EXPERIMENTALE

MATERIELS ET METHODES

II. Présentation de la région d'étude

II.1. Situation géographique

La wilaya de Bejaia, située au nord du pays, sur le littoral méditerranéen. La superficie est de 322 348 ha. Du point du vue découpage administratif, elle est constituée de 19 Daïras et 52 communes (ANDI ,2013).

Le site d'étude est un espace naturel situé dans la frange littorale Ouest de Bejaia, il fait partie du parc national de Gouraya. Boulimat se situe à 15 Km de chef-lieu de la wilaya de Bejaia via la route national 24. Limité au Nord par la méditerranée, au sud par la commune d'Oued Ghir à l'Ouest par la commune de Toudja et à l'Est par la commune de Bejaia (Fig.5) (PNG, 2014).

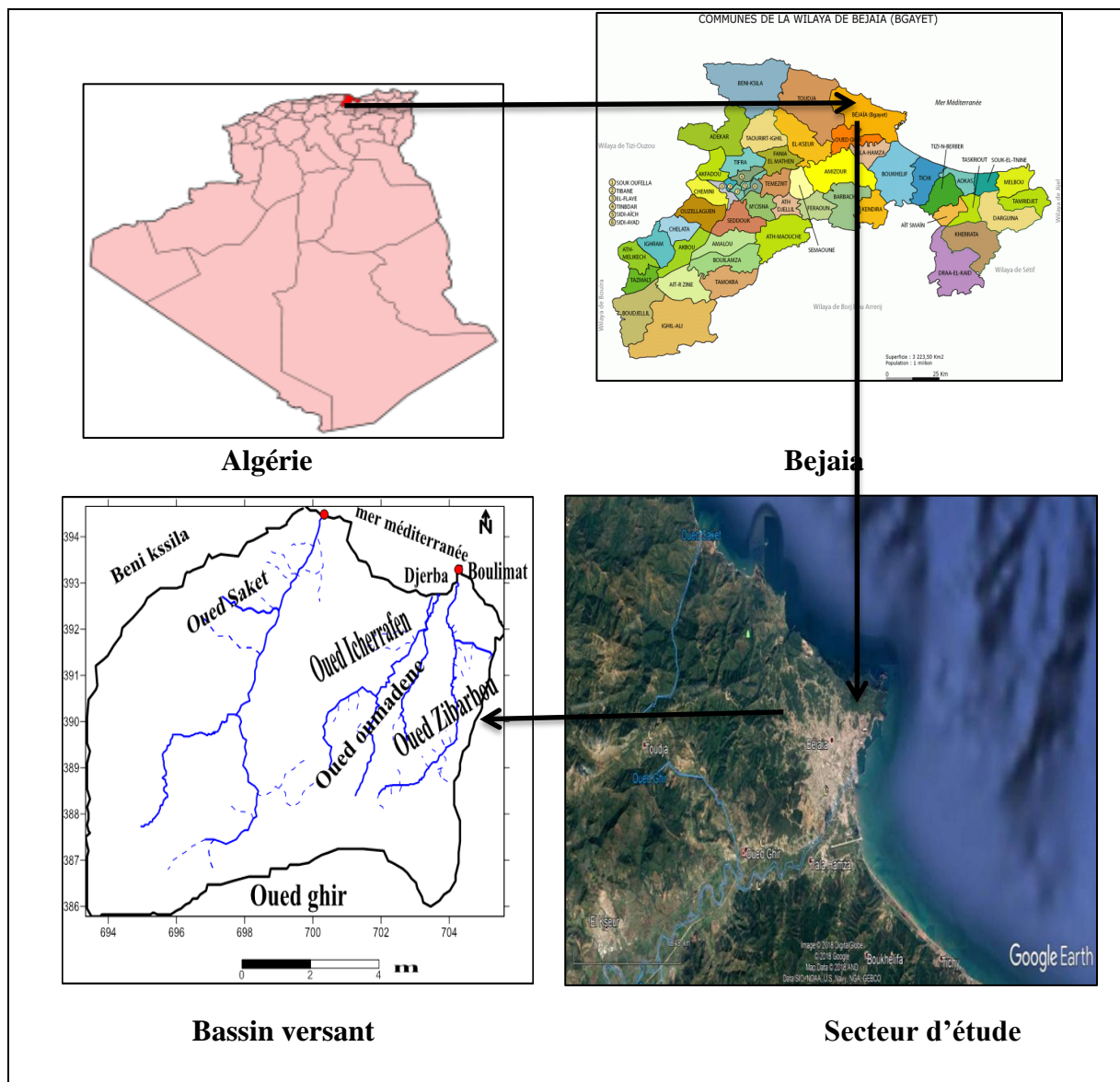


Figure 5: Localisation de la zone d'étude

II.2. Caractéristiques physiques de la région d'étude

II.2.1. Reliefs

Les reliefs de la région sont caractérisés par une prédominance de montagne ; par une succession de falaises, de zones rocheuses et de plages soit de sables, de galets ou de plages mixtes. Il est à remarquer que le faciès rocheux semble dominant. Elles sont constituées par les différents Caps, pointes, falaises et rochers maritimes (**Rebbas, 2014**).

II.2.2. Géologie

La zone de Boulimat est formée par des dunes, éboulis et solifluxions du Quaternaire. Par contre la pointe Boulimat repose sur de Quaternaire ancien. Entre Adrar Oufarnou et cap Bouak, les calcaires et dolomies, marnes et marno-calcaires du lias dominant. La plage de la pointe des salines est composée par du Quaternaire ancien et la plage des Aiguades est formée par de Schistes et conglomérats du Néocomien (**Rebbas, 2014**).

La géologie de la région de Boulimat est formée par trois grands ensembles (Fig.6)

- ✓ **Les formations autochtones** : Sont caractérisées par la présence des alluvions tout le long des oueds et les argiles des Miocènes.
- ✓ **Les formations allochtones** : Les argiles et les grès de la nappe des flysch ainsi les conglomérats qui occupent la quasi totale de terrain.
- ✓ **Le haut fond berbère** : Il est caractérisé par la présence des gris et une alternance oligocène des faciès de la chaîne calcaire jurassique, et le socle des formations cristallophylliennes du paléozoïque.

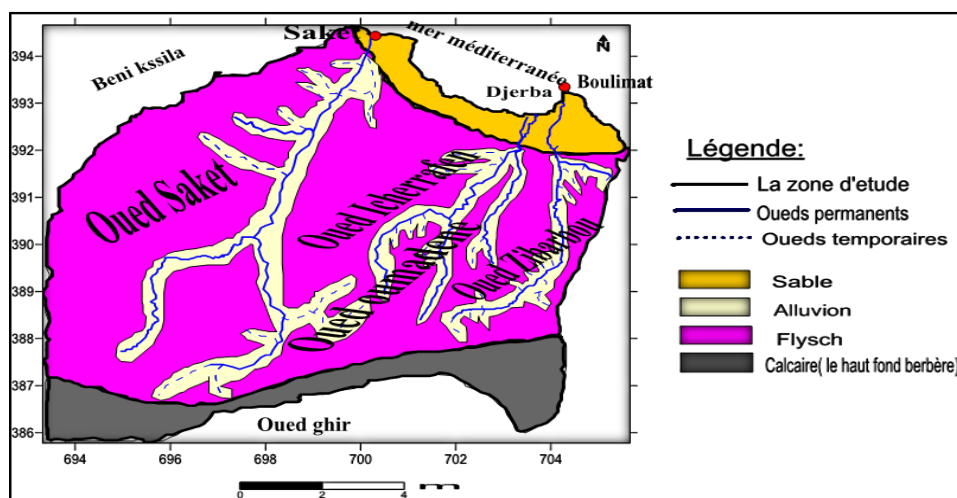


Figure 6 : carte géologique de la région de Boulimat.

II.2.3. Pédologie

La région est caractérisée par la présence de trois types de sol :

- Sol sableux tout au long du littoral.
- Sol alluvionnaire qui se trouve autour des Oueds.
- Sol limoneux qui couvre la plus grande partie de terrain(Fig.7).

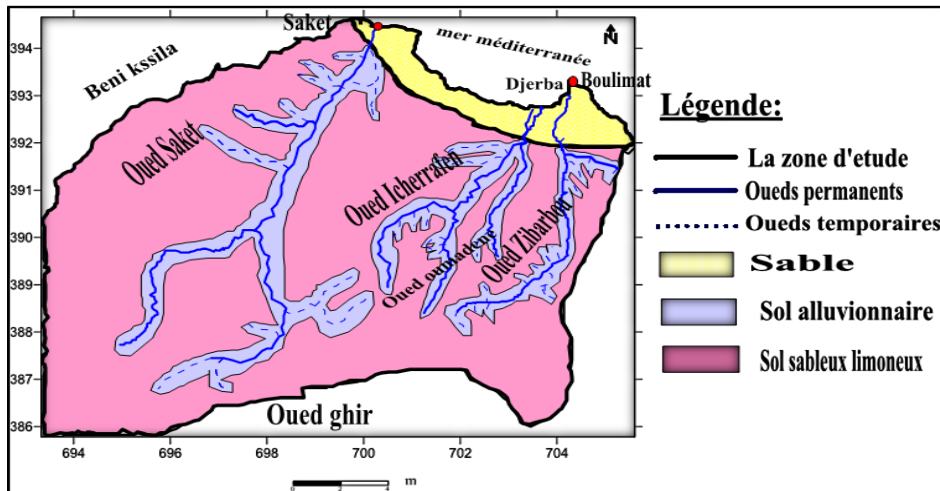


Figure 7 : La carte de types de sol de la région de Boulimat.

II.2.4. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de la région d'étude est composé d'oueds à écoulement temporaires oued Djerba et oued Icharrafen et oued Saket à écoulement permanents (Fig.8).

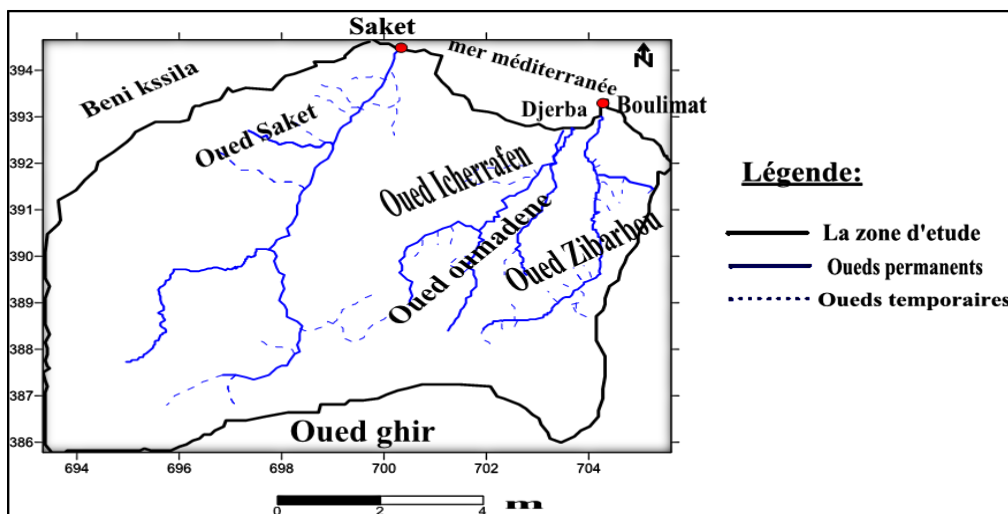


Figure 8 : Carte de réseau hydrographique.

II.3. Climatologie de la région d'étude

Selon Ramade (1994) le climat est un ensemble de conditions naturelles qui caractérisent l'atmosphère en un lieu donné.

Parmi les facteurs climatiques qu'on peut distinguer :

- ✓ les facteurs énergétiques : lumière et température.
- ✓ les facteurs hydrologiques : précipitations.
- ✓ les facteurs mécaniques : vent et neige

Dans notre étude, les données climatiques utilisées sont recueillies auprès de la station météorologique de l'ONM située à l'aéroport de Bejaia. La période d'observation s'étale 10 ans (2008 à 2017).

II.3.1. Climat

Le climat de la Wilaya de Bejaia est de type méditerranéen, pluvieux et froid en hiver chaud et sec en été.

II.3.2. Température

La température est un facteur écologique limitant de première importance car elle intervient, d'une part, dans l'étude hydro-climatique d'une région et d'autre part, elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne, de ce fait, la répartition des espèces animales et végétales (**Ramade, 1984**).

Les températures mensuelles minimales, maximales et moyennes relevées sur dix ans (10ans) de 2008-2017 (Tab. III, Fig. 9).

Tableau III : Températures mensuelles minimales, maximales et moyennes dans la région de Bejaia (2008-2017).

Mois T° C	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	O
T° Max	28.6	26.3	21.7	18.3	17.2	17.2	19.1	21.3	23.6	27	30.2	30.9
T° Min	19.5	16.5	12.1	8.4	7.6	7.6	9.1	11.2	14.2	17.9	21.2	21.6
T° Moy	24.05	21.4	16.9	13.35	11.5	11.5	14.1	16.25	18.9	22.45	25.7	26.25

T° Max : Température maximal.

T°_{Min} : Température minimal.

$T^{\circ}_{\text{Moy}} = (M + m)/2$: Température moyenne.

A partir de tableau III, nous constatons que le mois d'Août est le mois le plus chaud avec une température maximale de l'ordre de 30.9°C et que le mois le plus froid est le mois de Janvier avec une température minimale de l'ordre de 7.6°C .

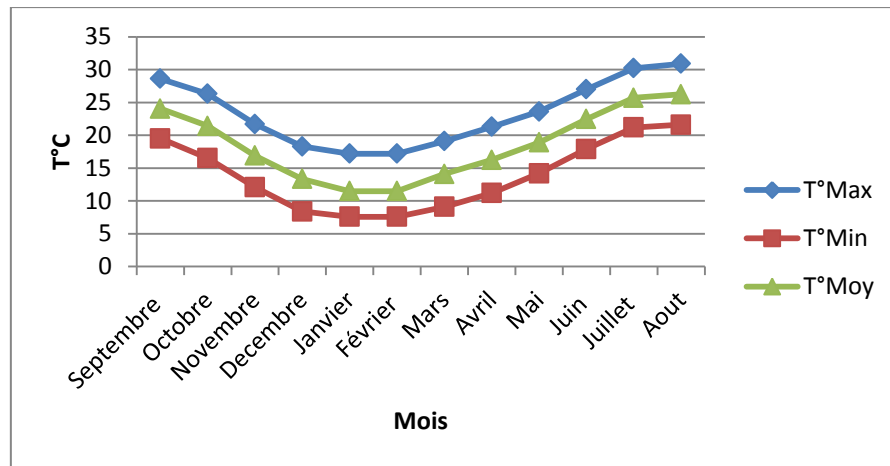


Figure 9 : Variation moyenne mensuelle de la température de la région de Bejaïa (2008-2017).

II.3.3. Précipitations

Les précipitations constituent un facteur écologique d'importance fondamentale dans l'alternance saison des pluies et saison sèche, qui joue un rôle régulateur des activités biologiques (**Ramade, 1984**).

La répartition des précipitations moyennes mensuelles de la région de Bejaïa durant la période entre 2008 – 2017 (Tab. IV, Fig. 10).

Tableau IV : Moyennes mensuelles des précipitations en (mm) dans la région de Bejaïa (2008-2017).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	O	Total
Précipitation (mm)	58	66.5	110	89	113.2	116	93.8	55.6	46.56	17.7	3.02	18.71	788.09

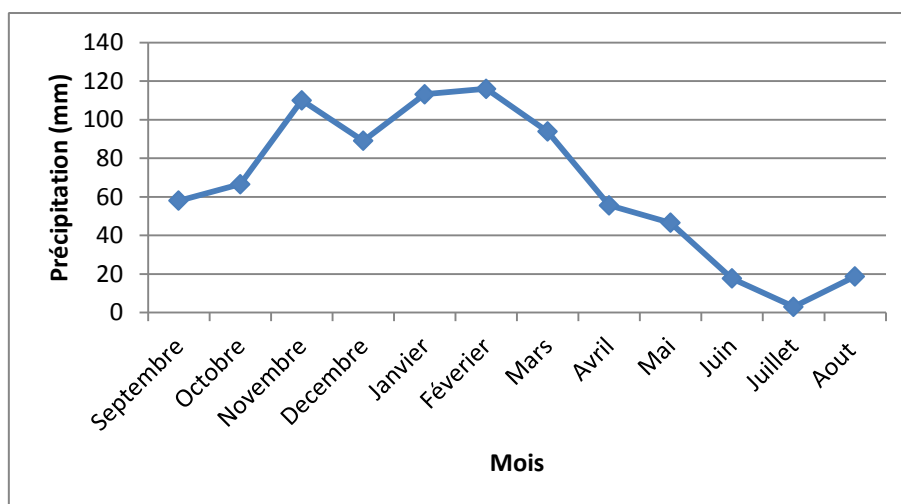


Figure 10 : Répartition mensuelle des précipitations au niveau de la région de Bejaia (2008-2017).

II.3.4. Vent

La région de Bejaia reçoit dans la majorité de temps des vents modérés qui soufflent du Nord-Est vers le Sud-Est. Il est à noter que des vents assez forts soufflent durant certaines journées entre janvier et avril, ce qui rend difficile l'accessibilité au milieu marin. Le sirocco, vent chaud et sec se manifeste en moyenne pendant 20 à 27 jours par an, notamment au cours des mois de juillet et août et quelque fois même durant le printemps entre avril et juin (S.M.B ;2012).

Tableau V : Moyenne mensuelle de vent en m/s dans la région de Bejaia (2008-2017).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	O
Vitesse M/S	2.63	3.06	3.26	3.75	3.47	3.41	3.1	2.68	2.78	2.64	2.73	2.75

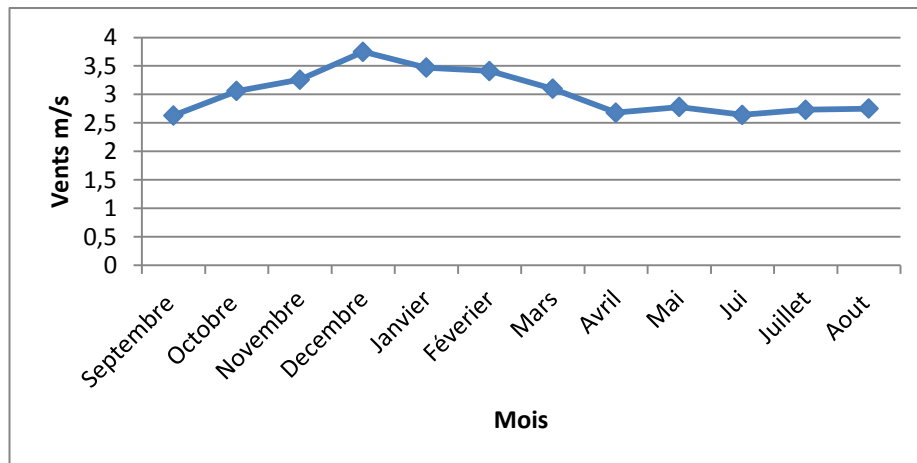


Figure 11 : Répartition mensuelle de la force du vent dans la région de Bejaia.

II.4. Synthèse climatique

II.4.1. Diagramme Ombrothermique

Ce diagramme permet de distinguer les mois secs dans l'année, lorsque les températures sont deux fois plus élevées que les précipitations. Le diagramme est conçu de telle sorte que l'échelle de la pluviométrie (P) exprimée en millimètres est égale au double de celle de la température moyenne mensuelle (T) exprimé en degré Celsius « $P = 2 T$ » (Dajoz, 1985).

D'après Bagnouls et Gaussen, il y a sécheresse lorsque la courbe des précipitations descend et passe en dessous de celle des températures. On remarque d'après le diagramme Ombrothermique établi pour la région de Bejaia, pour 10 ans (2008-2017), que la saison sèche dure près de 4 mois. Elle s'étale de la mi-mai à la mi-août (fig.12).

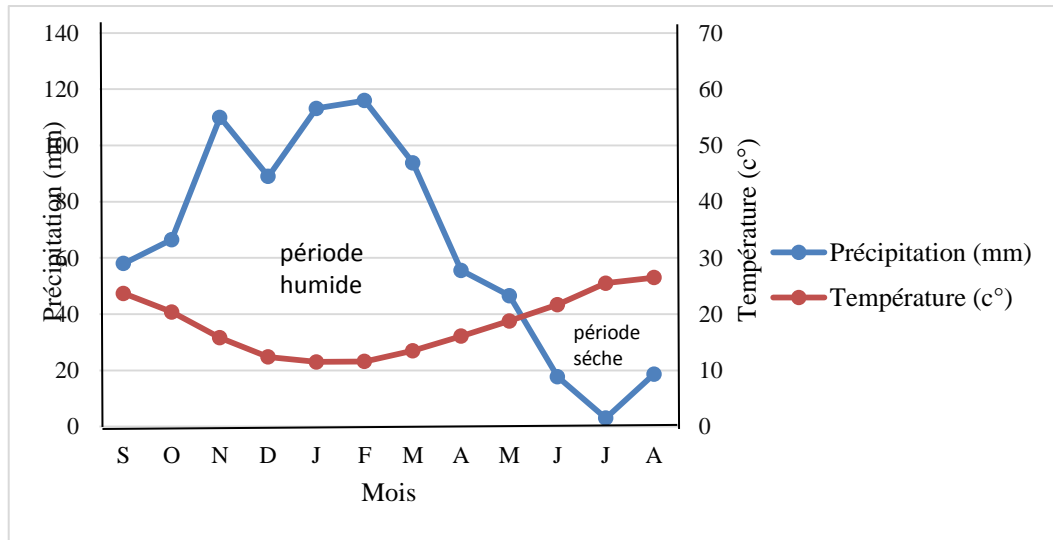


Figure 12 : Diagramme Ombrothermique de la région de Bejaia (2008-2017).

II.4.2. Estimation des paramètres du bilan hydrologique

➤ Méthode de Thornthwaite:

La méthode de Thornthwaite nous permet à partir des données de base (précipitations, températures, le coefficient thermique mensuel K et l'indice thermique mensuel (i) de calculer l'évapotranspiration potentielle mensuelle selon la relation suivante :

$$ETP = 16 \left(10 \frac{T}{I} \right)^a k$$

$$a = 1.6 + \frac{I}{100} + 0.5$$

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

$$I = \sum_i^n = 1 i$$

• L'évapotranspiration potentielle :

Selon Roche (1963) : L'ETP correspond à l'évaporation d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques.

Tableau VI : Résultat de bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite:

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	annuelle
P	58	66.5	110	89	113.2	116	93.8	55.6	46.56	17.7	3.02	18.71	788.09
T	24.05	21.4	16.9	13.35	11.5	11.5	14.1	16.25	18.9	22.45	25.7	26.25	
I	10.78	9.03	6.32	4.42	3.52	3.52	4.80	5.95	7.48	9.71	11.92	12.31	89.76
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.87	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	
A	1.93												
ETP	107.2	85.57	54.26	35.32	25.81	25.81	38.25	50.3	67.33	93.86	121.85	126.39	831.95
ETPc	110.41	83	46.66	29.66	22.45	22.45	39.39	55.33	81.46	114.5	151.09	147.23	
ETPr	58	66.5	54.26	35.32	25.81	25.81	38.25	50.3	46.56	17.7	3.02	18.71	440.25
VAR	- 52.41	- 16.5	63.34	59.35	90.75	93.55	54.41	0.29	- 35.9	- 96.8	- 148.07	- 128.52	
RFU	0	0	63.34	100	100	100	100	0.29	0	0	0	0	
DA	108.22	17.7	63.34	-	-	-	-	0.29	19.67	21.77	76.16	118.83	
EX	-	-	55.74	53.68	87.99	90.19	55.55	5.3	-	-	-	-	

- **Evapotranspiration réelle ETR**

Elle correspond à l'évapotranspiration qui se produit pendant un intervalle de temps donné, dans des conditions réelles des teneurs en eau abondantes du sol. Ce paramètre est calculé par plusieurs méthodes empiriques prenant en compte les précipitations et les températures.

- **Principe de calcul du bilan hydrologique :**

- Si pour un mois $P \geq ETP \longrightarrow ETP = ETR$,

L'excédent ($P - ETP$) est affecté en premier lieu à la RFU (si le sous-sol a un pouvoir d'infiltration élevé, cet excédent va constituer la composante verticale de l'écoulement souterrain ou l'infiltration efficace vers la nappe), et si la RFU est complète, cette quantité restituée ($P - ETP$) va alimenter l'écoulement.

- Si $P < ETP \longrightarrow P = ETR$

Il faudra évaporer toute la pluie et prendre à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit :

- Si $RFU = 0$, la quantité ($Da = ETP - ETR$) représente le déficit agricole, c'est-à-dire sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes.

➤ Calcul de ruissellement :

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

$$R = 235.72 \text{ mm}$$

➤ Calcul d'infiltration :

Le calcul de l'infiltration selon la méthode de Thornthwaite est basé sur la formule suivant :

$$P = R + (E+I)$$

R c'est l'ETR selon Thornthwaite

(E+I) : Ruissellement +infiltration

P : Précipitation mensuelle en mm

$$P = R + (E+I)$$

$$I = 112.13 \text{ mm}$$

II.5. Présentation du lieu de stage

L'Algérienne des eaux (ADE) est créée le 21 avril 2001 par décret présidentiel N°01-101, et l'unité de Bejaia a été intégrée à celle-ci le 01/08/2006. Son métier consiste à l'exploitation des ressources en eau, le traitement et le contrôle de la qualité de l'eau potable ainsi que sa distribution. Le laboratoire de l'unité de Bejaia est entièrement équipé de 14 biologistes et chimistes qui veillent à la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau distribuée, répandant aux normes requises NA 6360 (ADEUB).

II.6. Positionnement et localisation des sources d'eaux

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

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



Figure 13 : GPS de marque Etrex (GARMIN).

II.7. Lieux et dates de prélèvement

Dans le cadre de notre travail, nous avons réalisé plusieurs prélèvements pour évaluer la vulnérabilité et risque de pollution des ressources en eaux de la région de Boulimat ; les choix des sites d'échantillonnage a été fait selon l'origine et la répartition des points d'eau dans la région d'étude (Fig.14 - 15). La campagne de prélèvements d'échantillons a été effectuée durant la période de hautes eaux 17 Avril 2018.



Figure 14 : Illustrations de quelques sources souterraines de la région de Boulimat.

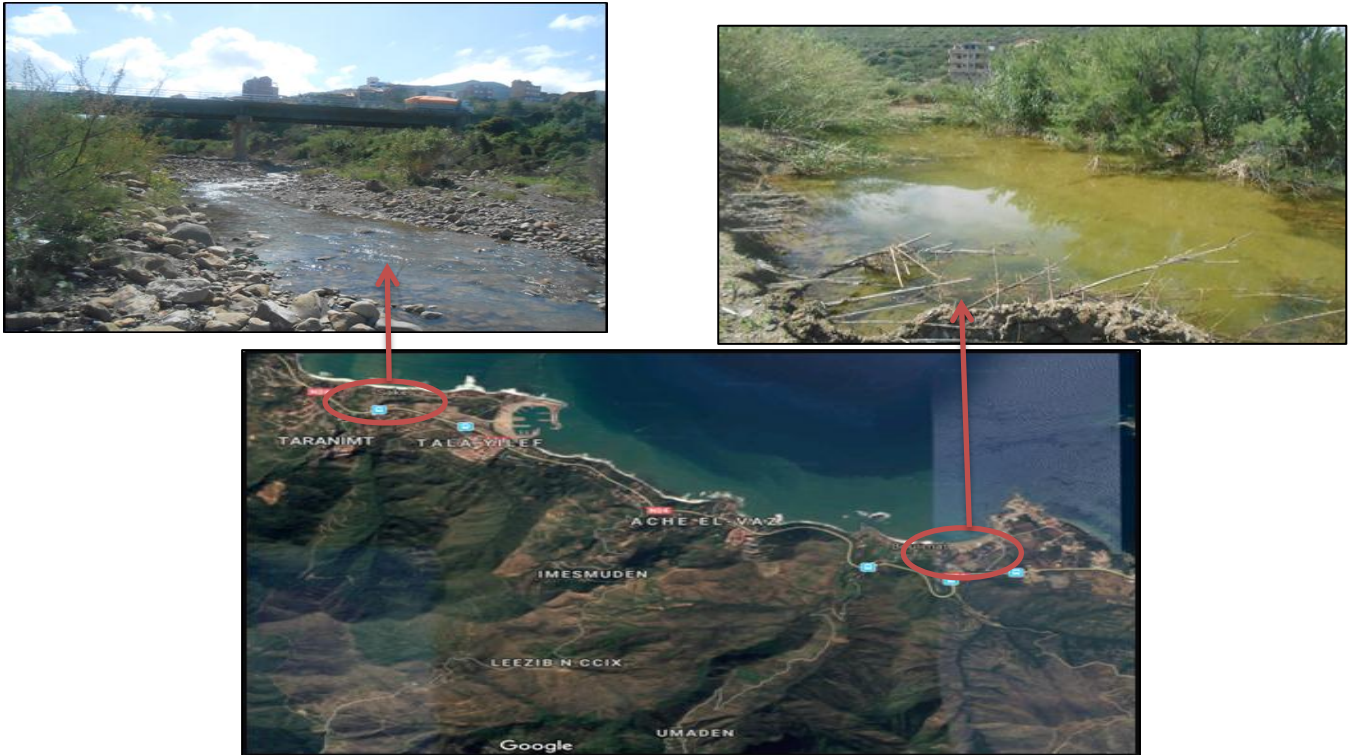


Figure 15 : Illustration de quelques sources superficielles de la région de Boulimat.

II.8. Méthode de prélèvement et Echantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. C'est pour cette raison que nous avons respecté les recommandations dictées par Rodier en 2009 et qui consiste à :

- ✓ Les échantillons pour laboratoire doivent être prélevés de préférence dans des flacons en verre ou des flacons en polyéthylène pour les analyses physico-chimiques.
- ✓ Les bouteilles utilisées pour l'échantillonnage doivent être rincées au moins trois fois avec de l'eau à prélever pour les analyses physico-chimiques.
- ✓ Les bouteilles doivent être remplies à ras pour les analyses physico-chimiques et bouchées avec précaution.
- ✓ Les bouteilles sont désignées par une étiquette où est indiquée l'origine de l'échantillon.
- ✓ Le transport des échantillons depuis le point de prélèvement jusqu'au laboratoire se fait dans une glacière à 4°C.
- ✓ Les échantillons sont mis au réfrigérateur après leurs conservations.

II.9. Méthodes d'analyses

II.9.1. Les analyses physico-chimiques

II.9.1.1. Les paramètres physiques

Les paramètres physiques (température, pH, conductivité électrique, salinité, et TDS) ont été mesurés sur le terrain, à l'aide d'un multi paramètre de type HANNA Instrument HI 9828. Pour chaque paramètre, il consiste à tremper la sonde, dans le récipient de l'échantillon, laissé stabiliser un moment, puis noter les résultats. La turbidité a été mesurée au laboratoire de l'ADE avec un turbidimètre de type HACH 2100N. Il consiste à remplir sa cuve avec l'échantillon soigneusement agité et faire la lecture en prenant la plus grande valeur.



Figure 16 : Multi paramétré de terrain
HANNA Instrument HI 9828



Figure 17 : Turbidimètre HACH
2100N (Laboratoire de l'ADE).

II.9.1.2. Les paramètres chimiques

Nous avons effectué ces analyses à l'aide des chimistes du laboratoire, on utilisant les protocoles dictés par la norme algérienne N°63-60.

✓ **Détermination de la dureté totale (TH)**

• **Principe**

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

- **Matériels**

- Burette utilisé pour l'EDTA.

- Matériel courant de laboratoire - fiole, bécher.

- ✓ **Détermination de la dureté calcique TH_{Ca}**

- **Principe**

Le calcium est dosé avec une solution aqueuse l'EDTA à un PH compris entre 12 et 13. L'indicateur utilisé est le MUREXIDE, ne se combine qu'avec le calcium pour former un complexe violet (mode opératoire, voir l'annexe II).

- **Matériels**

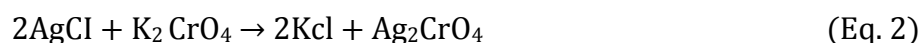
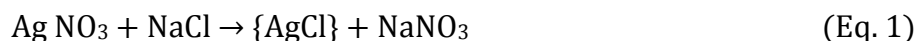
- Burette utilisé pour l'EDTA.

- Matériel courant de laboratoire - fiole, bécher

- ✓ **Détermination des chlorures (Cl⁻) «Méthode de MOHR »**

- **Principe**

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium, la fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte brun-rouge caractéristique du chromate d'argent (Mode opératoire, voir l'annexe III).



- **Matériels**

- Burette

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

- ✓ **Détermination des sulfates (SO_4^{2-})**

- **Principe**

Les sulfates sont dosés par spectrophotométrie UV visible à 420 nm, après que les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum en présence de $BaCl_2$ (mode opératoire, voir l'annexe IV).



- **Matériels**

- Agitateur magnétique.
- Matériel courant de laboratoire - fioles, pipettes, bécher.
- Spectrophotomètre U.V Visible.

- ✓ **Détermination de l'alcalinité (HCO_3^-)**

- **Principe**

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

- **Matériels**

- Burette automatique.
- Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, bécher.
- Agitateur magnétique.

- ✓ **Détermination des nitrites (NO_2^-)**

- **Principe**

Les nitrites dans l'échantillon réagissent avec l'acide Sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui, après copulation avec le N-1-Naphtyl éthylène diamine dichloride donne naissance à une coloration rose mesuré à 543 nm (mode opératoire voir l'annexe VI).

- **Matériels**

- Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes.
- Spectrophotomètre U.V Visible.

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

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

• Matériels

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

- Spectrophotomètre U.V Visible.

✓ Détermination du fer (Fe^{2+})**• Principe**

Addition d'une solution de phénantroline 1,10 à une prise d'essai et mesure photométrique du complexe rouge-orange à une longueur d'onde de 510nm (mode opératoire voir l'annexe VIII).

• Matériels

- Etuve.

- Spectrophotomètre U.V visible.

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

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

Les éléments trace métalliques ont été analysés avec le spectromètre d'absorption atomique en flamme (SAA) (Fig. 18) au niveau du laboratoire Génie des procédés (Université de Bejaia). Les paramètres analysés selon la disponibilité des lampes sont : le zinc, le cadmium et le plomb.



Figure 18 : Le spectromètre d'absorption atomique en flamme du Laboratoire de Génie des procédés, Université de Bejaia.

- **Principe**

La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) est une méthode d'analyse quantitative s'adressant essentiellement aux métaux lourds. Elle est basée sur la propriété des atomes, de l'élément à doser, qui peuvent absorber des radiations de longueurs d'ondes déterminées. La solution de l'élément à analyser est nébulisée dans une flamme, ce qui provoque successivement l'évaporation du solvant, la vaporisation de l'élément sous forme de combinaisons chimique et en fin la dissociation de ces combinaisons avec production d'atomes libres à l'état fondamental (Rodier, 2009).

II.9.2. Logiciels utilisés

- ✓ **Logiciel surfer**

Le logiciel Surfer conçu par Golden Software, nous permet de réaliser des modèles numériques de terrain (MNT) issus des données qu'on a récoltés sur le terrain via de GPS ou bien on se basant sur une carte déjà préétablie. Le principe de Surfer est de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières de nos points x, y, z afin de les ordonner.

C'est à partir de ces grilles qu'on pourra créer plusieurs types de cartes: base maps, contour maps, 3D surface.

✓ Logiciel diagramme

Ce logiciel nous a permis d'analyser nos données physico-chimiques et faire ressortir plus d'information en peu de temps. Le logiciel Diagrammes (voir interface de commande dans la figure 19) créé par Roland Simler en 2013 au Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. C'est un logiciel d'hydrochimie en distribution libre qui facilite l'exploitation des données d'analyse d'eau. Nous avons l'utilisé pour l'établissement des diagrammes : Piper, Wilcox.

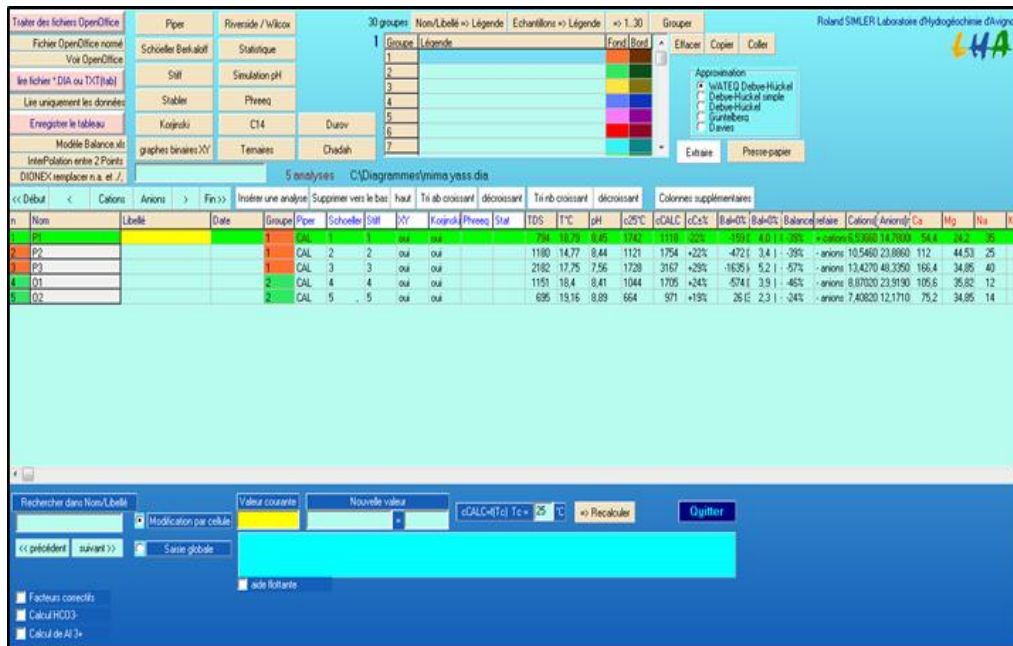


Figure 19 : Interface de commande de logiciel diagramme.

II.9.3. Méthode de la vulnérabilité utilisée dans la région d'étude

✓ Méthode GOD

La méthode GOD est un système qui a été développé par Foster 1987 en Angleterre, elle est illustrée par la Figure 20. Elle représente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée (Murat et al, 2003).

Cette méthode est basée sur l'identification de trois critères :

- Type de nappe \longrightarrow Groundwater occurrence (G).
- Type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques \longrightarrow Overall aquifer class (O).
- Profondeur de la nappe \longrightarrow Depth to groundwater table (D).

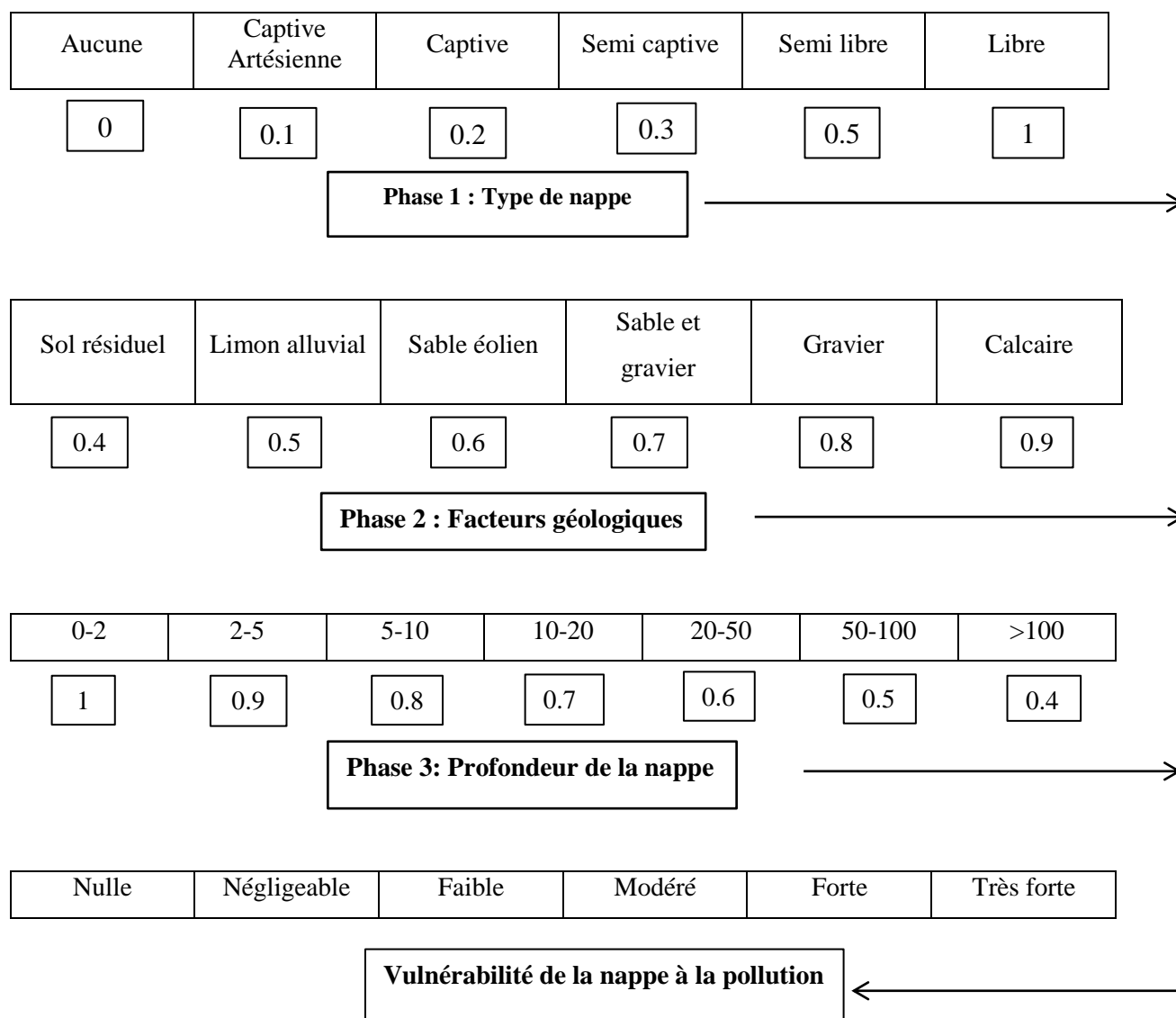


Figure 20 : Système empirique GOD pour une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère (Foster, 1987).

Selon Bézélgue et al., 2002 cette méthode permet de réaliser une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère. L'indice GOD (IG) qui permet d'évaluer la vulnérabilité de l'aquifère à la pollution est obtenu par la multiplication de ces trois paramètres selon l'équation suivante :

$$IG = C_a * C_l * C_d$$

Où C_a = cote du type d'aquifère; le C_l = cote de la lithologie ; et enfin le C_d = cote de la profondeur de la nappe.

L'indice GOD a pour valeur minimum « 0 » et « 1 » comme valeur maximum. D'une manière générale les indices GOD sont répartis en cinq classes de vulnérabilité allant de « très faible » à « extrême » (Tab. VII, VIII IX, X) (Foster et Hirata, 1991).

Tableau VII : Intervalle des valeurs de l'indice GOD et classes correspondantes

Intervalle	Classe GOD
0-0.1	Vulnérabilité très faible
0.1-0.3	Vulnérabilité faible
0.3-0.5	Vulnérabilité modérée
0.5-0.7	Vulnérabilité forte
0.7-1	Vulnérabilité extrême

Tableau VIII : Paramètre de type d'aquifère (C_a)

Type d'aquifère	Note
Aucun aquifère	0
Aquifère confiné et artésien	0.1
Aquifère confiné et non artésien	0.2
Aquifère semi-confiné	0.3
Aquifère avec couverture de surface assez perméable	0.4-0.6
Aquifère non confiné	0.7-1

Tableau IX : Paramètre de la nature lithologique (C_l).

Nature lithologique	Note
Sol résiduel	0.4
Limon alluvial, argile, marne, calcaire fin	0.5
Sable éolien, silt, tuf, roche ignée et métamorphique fracturée	0.6
Sable et gravier, grès, tuf	0.7
Gravier (colluvions)	0.8
Calcaire	0.9
Calcaire fracturé ou karstique	1

Tableau X : Paramètre profondeur de la nappe (C_d).

Profondeur (m)	0-2	2-5	5-10	10-20	20-50	50-100	>100
Note	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4

RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 Description des paramètres et réalisation des cartes

Pour chaque paramètre on a réalisé des cartes thématiques et des tableaux par lesquelles on a délimitées des zones caractérisées et établir des cartes de vulnérabilité.

III.1.1. Paramétré types d'aquifère « G »

On a fait ressortir une carte de type d'aquifère qui est constituée de trois zones.

- Aquifère non confiné localisé long du littoral de Boulimat à Saket avec une note d'ordre 1.
- Aquifère avec une couverture de surface assez perméable localisée aux alentours du bassin versant avec une note d'ordre 0.6
- Aquifère confiné et artésien localisé dans la zone externe au sud du bassin avec une note d'ordre de 0.1 (Tab. XI Fig. 21).

Tableau XI : Indice partiel du paramètre « G ».

Type d'aquifère	Note
Aquifère confiné et artésien	0.1
Aquifère avec couverture de surface assez perméable	0.6
Aquifère non confiné	1

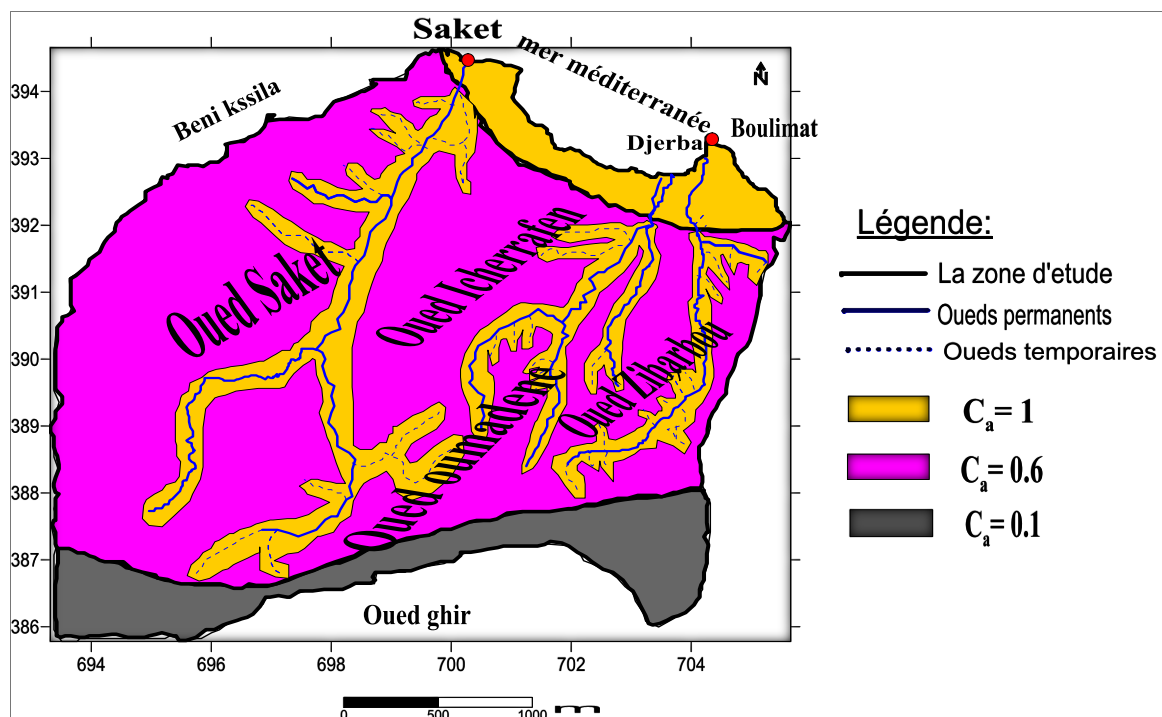


Figure 21 : Carte de type d'aquifère « G ».

III.1.2. Paramètre de nature lithologique « O »

Le paramètre nature lithologique nous a fait ressortir trois zones (Tab. XII, Fig. 22).

- Les formations sable localisées sur tout le long du littoral de Boulimat à Saket avec une note d'ordre 0.6.
- Les formations limon alluvial, argile, marne localisées aux alentours du bassin versant et sur tout le long des oueds avec une note d'ordre 0.5.
- Les formations de calcaire massifs localisé au Sud de bassin avec une valeur d'ordre 0.9.

Tableau XII: Indice partielle de paramètre « O »

Nature lithologique	Note
Limon alluvial, argile, marne, calcaire fin	0.5
Sable	0.6
Calcaire	0.9

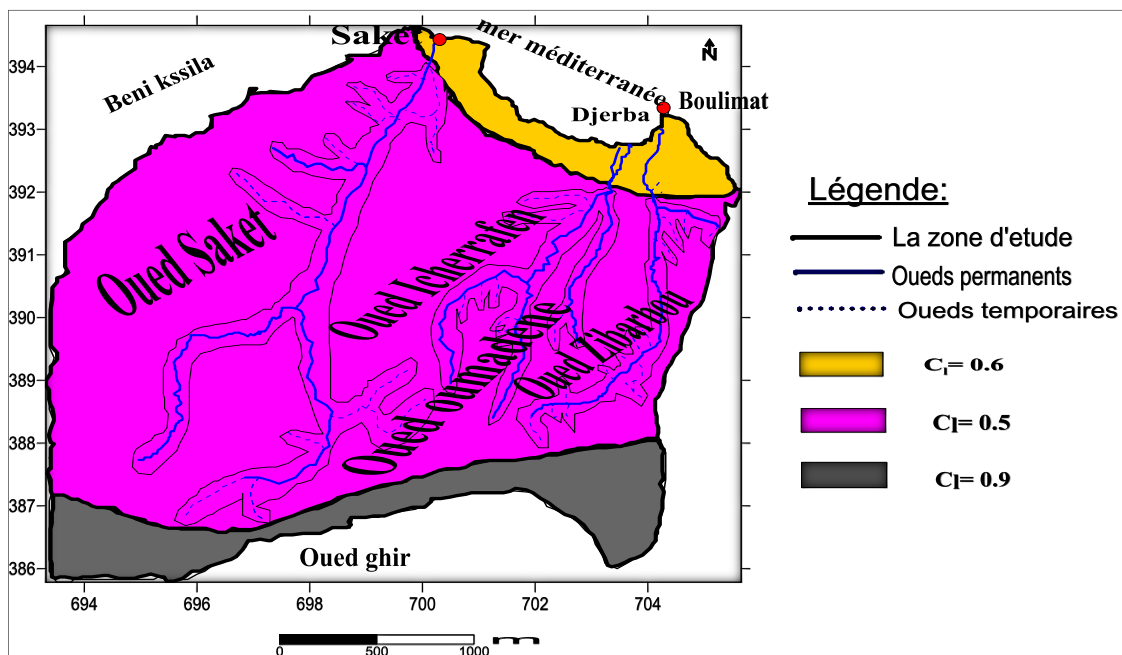


Figure 22 : Carte de lithologie d'aquifère « O ».

III.1.3. paramètre profondeur de la nappe « D »

Ce paramètre nous a fait ressortir 3 zones (Tab. XIII, Fig. 23).

- Profondeur varie entre 0 à 2 avec une cote d'ordre 1 localisé tout le long de la littorale.
- Profondeur varie entre 2 à 5 avec une cote d'ordre 0.9 localisé tout a long des oueds.

- Profondeur supérieure à 20 (> 20) avec une note d'ordre 0.6 localisé aux alentours du bassin versant.

Tableau XIII : Indice partielle de paramètre « D ».

Profondeur	Notes
0 – 2	1
2 – 5	0.9
> 20	0.6

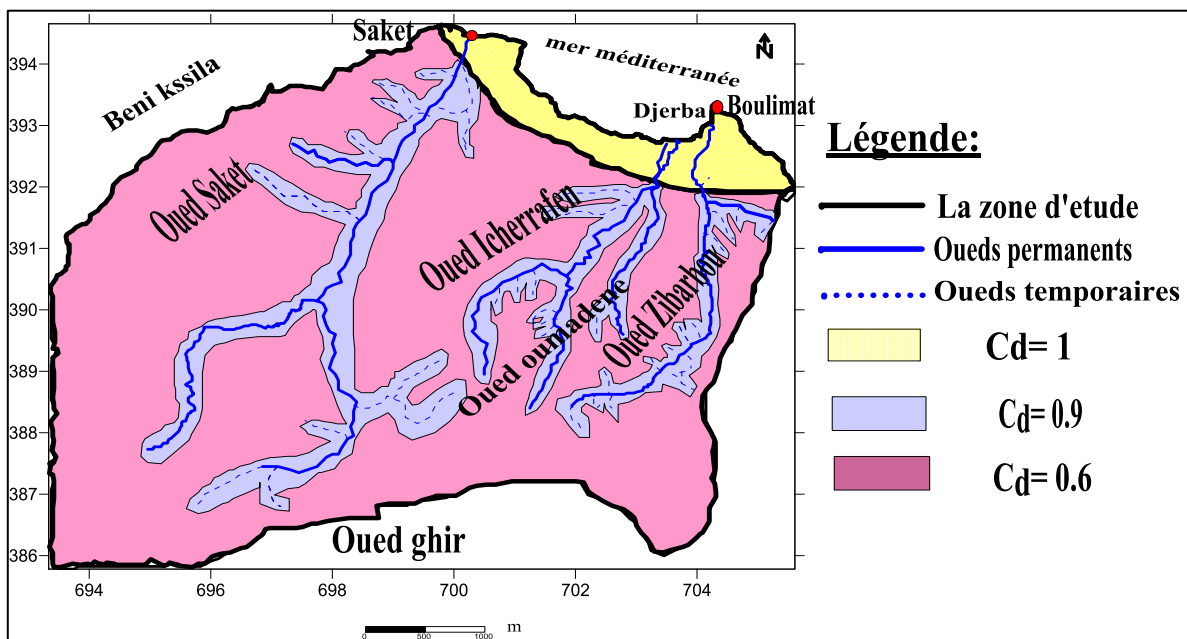


Figure 23 : Carte de profondeur d’aquifère « D ».

III.2. Carte de vulnérabilité

Le calcul et la cartographie de carte de la vulnérabilité à la pollution de la région de Boulimat a été réalisé par la méthode GOD à l’aide du logiciel Surfer version 11. Le calcul des indices de vulnérabilité par la méthode GOD se fait directement par la multiplication de ces trois paramètres (Annexe. VIII). Le résultat de ce calcul est l’élaboration d’une carte de vulnérabilité (Tab. XIV, Fig.24).

Tableau XIV : Répartition des degrés de vulnérabilité dans la région d’étude.

Intervalle	Classe
0.1 - 0.3	Vulnérabilité faible
0.3 – 0.5	Vulnérabilité modérée
0.5 - 0.7	Vulnérabilité forte
0.7 – 1	Vulnérabilité très forte

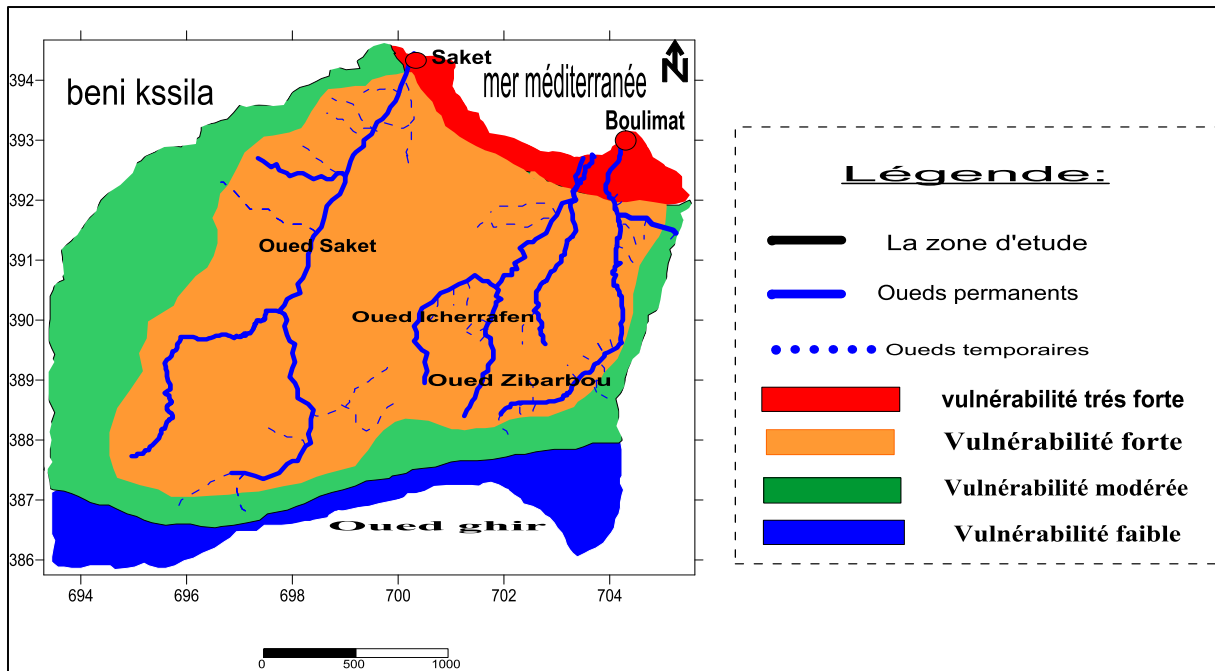


Figure 24 : Carte de degré de vulnérabilité de la région d'étude.

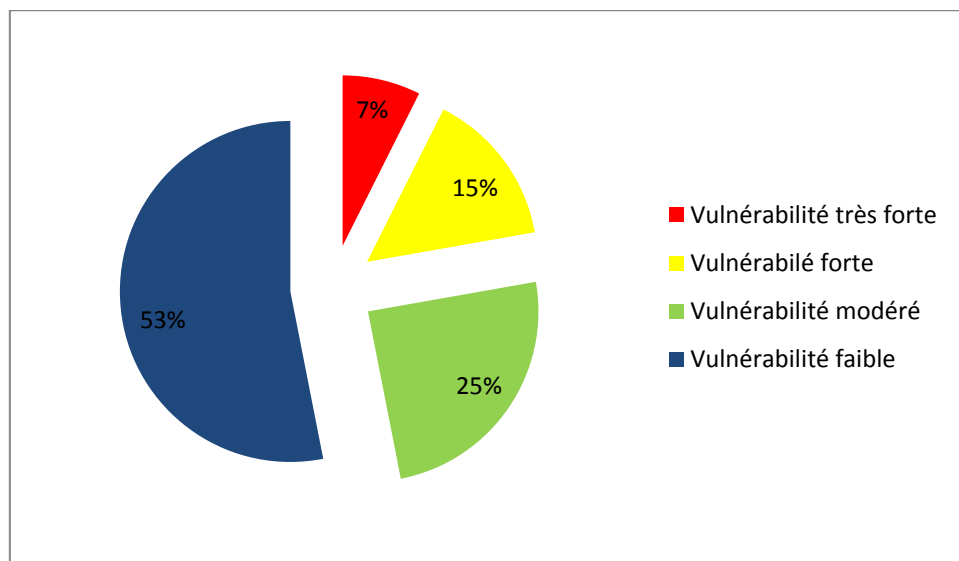


Figure 25 : Pourcentage de degré de la vulnérabilité de la région d'étude.

Les trois paramètres de la méthode GOD et leurs suppositions nous donnent une carte finale

Constituée de 4 zones selon leurs degrés de vulnérabilité :

- En rouge, zone à vulnérabilité très forte avec un indice globale de 0.7 à 1
- En jaune, zone à vulnérabilité forte avec un indice globale de 0.5 à 0.7
- En vert zone à vulnérabilité modéré avec un indice globale de 0.3 à 0.5
- En bleu zone à vulnérabilité faible avec un indice globale de 0.1 à 0.3

III.3. Coordonnées géographiques des sites de prélèvement

Tableau XV : Coordonnées géographiques des ressources d'eau de la région de Boulimat.

Sources		Coordonnées Lambert		
Nom de source	Désignation des points	X*(°)	Y*(°)	Z**(m)
Puits Djerba	P1	E4°59'.24''	N36°48'.48''	3
Puits Boulimat	P2	E4°59'.2.6''	N36°48'.45.5''	2
Puits Bouzma	P3	E4°58'.43.7''	N36°48'.42.1''	+3
Oued Boulimat	O1	E4°58'.44.8''	N36°48'.47.4''	2
Oued Saket	O2	E4°56'.22.8''	N36°49'.39.1''	+3

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

III.4. Résultats des analyses physico-chimiques

Les paramètres physiques des échantillons ont été mesurés in situ à l'aide d'un multi paramètre, les éléments traces métalliques ont été mesurés au niveau de laboratoire de génie des procédés (Tab. XVI, XVIII) et les éléments électrochimiques ont été analysés au niveau de laboratoire de l'ADE (Tab. XVII, XIX).

➤ Résultats d'analyses physique et ETM des eaux souterraines

Tableau XVI : Résultats des analyses physique et des ETM au niveau des eaux souterraines.

	Paramètre physique							ETM			
	T	PH	DO	CE	S	TDS	Trb	Zn	Pb	Cd	Fe
Unités	C °	-	mg/l	µS/cm	Psu	mg/l	NTU	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
Normes	25	6.5-9	5	2800	-	-	5	3	0.05	0.01	0.3
P1	18.5	8.45	1.24	1742	0.89	0.871	1.31	0.0240	0.108	0.0079	0.011
P2	14.77	8.44	0.93	1121	0.56	0.562	1.32	0.0236	0.170	0.0027	0.00
P3	17.75	7.56	0.91	1728	0.88	0.864	2.39	0.0411	0.101	0.0057	0.021

➤ Résultats d'analyses électrochimiques des eaux souterraines

Tableau XVII : Résultats des analyses électrochimiques au niveau des eaux souterraines.

	Anions				Cations					TAC	TH
	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺		
Unités	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
										CaCO ₃	CaCO ₃
Normes	-	400	500	0.2	200	150	0.5	200	12	500	500
P1	344	159.46	324	0	54.4	24.2	0.014	35	12	282	236
P2	342	181.84	648	0.008	112	44.53	0.016	25	8	280	464
P3	495	158.12	1426	0.004	166.4	34.85	0.06	40	20	406	560

➤ Résultats d'analyses des physiques et ETM des eaux de surfaces

Tableau XVIII : Résultats des analyses physique et des ETM au niveau des eaux de surfaces.

	Paramètres physiques							ETM			
	T	pH	DO	CE	S	TDS	Trb	Zn	Pb	Cd	Fe
Unités	C°	-	mg/l	μS/s	psu	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Normes	25	6.5-9	< 7	2800	-	-	5	3	0.05	0.01	0.3
O1	18.40	8.41	3.87	1044	0.52	0.522	1.09	0.054	0.0051	0.069	0.00
O2	19.16	8.89	4.72	664	0.32	0.333	2.65	0.0326	0.0014	0.052	0.00

➤ Résultats d'analyses électrochimiques des eaux de surfaces

Tableau XIX: Résultats des analyses électrochimiques au niveau des eaux de surfaces.

	Anions				Cations					TAC	TH
	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Na+	K+		
Unités	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
										CaCo3	CaCo3
Normes	-	250	500	0.2	50	50	0.5	200	12	500	500
O1	344	141.31	648	0.002	105.6	35.82	0.06	12	5	282	412
O2	317	99.265	247	0.010	75.2	34.85	0.00	14	7	260	332

III.5. Discussions des analyses physico-chimiques

III.5.1. Température

D'une façon générale, la température des eaux est influencée essentiellement par les variations climatiques (Dib, 2009) et par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes) (Rodier et al., 2005).

D'après les résultats des températures obtenues dans la région d'étude, nous constatons que la température des eaux souterraines enregistrée varie de 14.77°C (P2) à 18.5°C (P1) avec une moyenne d'ordre 17.01°C. Par contre dans les eaux de surfaces, elle est d'ordre de 18.40°C (O1) et 19.16°C (O2) (Fig.26); ceci est due à l'origine des eaux et leurs contacts directs avec l'atmosphère

Les valeurs obtenues durant la période d'observation sont conformes à la norme algérienne recommandée (JORA, 2011).

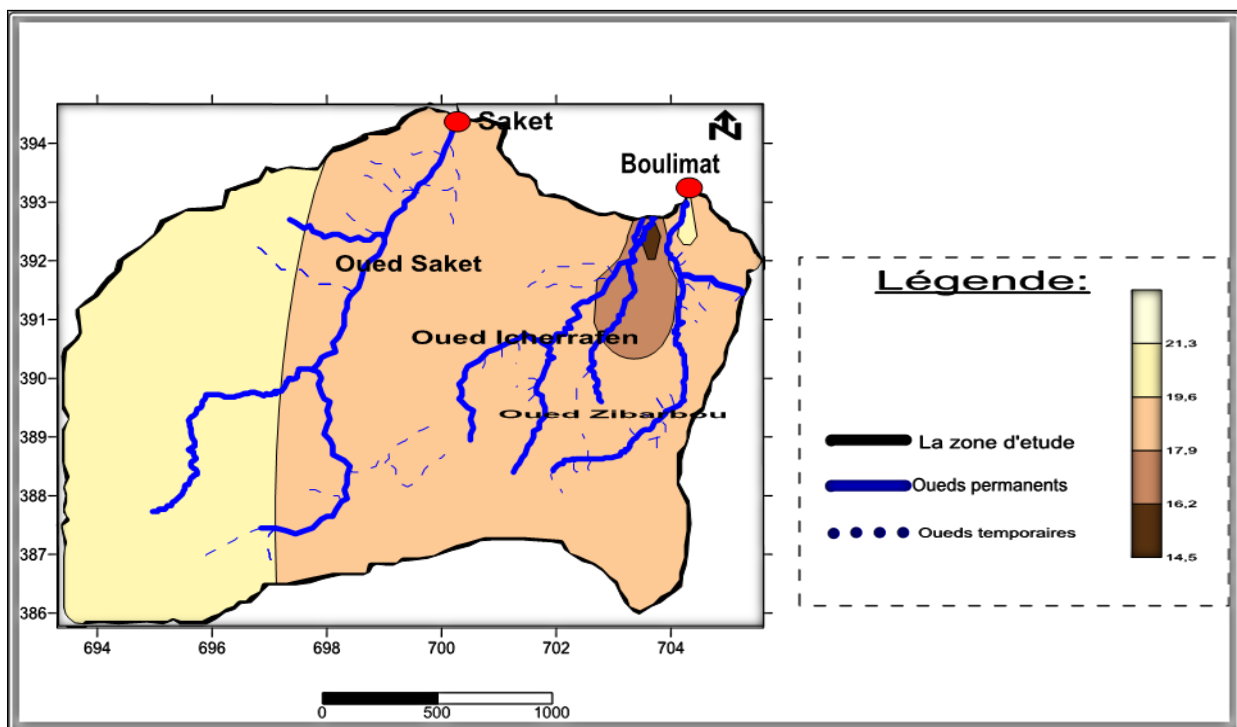


Figure 26 : La répartition de la température dans les eaux des sites étudiées.

III.5.2. Le potentiel d'hydrogène

Le pH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés (Saadali, 2007 ; Gouaidia, 2008). Les législations algériennes et européennes précisent comme niveau guide du pH est de 6,5 à 9 (JORA, 2011; Rodier et al., 2009).

Dans notre secteur d'étude les résultats obtenus montrent que tous les points d'eau se trouvent dans l'intervalle de la norme mais avec des valeurs variables ; dans les eaux de superficielles les valeurs de pH enregistrées varient entre 8.41 (O1) et 8.89 (O2), cela est dû au contact direct avec l'air. Par contre les eaux souterraines le pH varie entre 7.56 (P3) à 8.45 (P1) avec une moyenne de 8.15 (Fig.27).

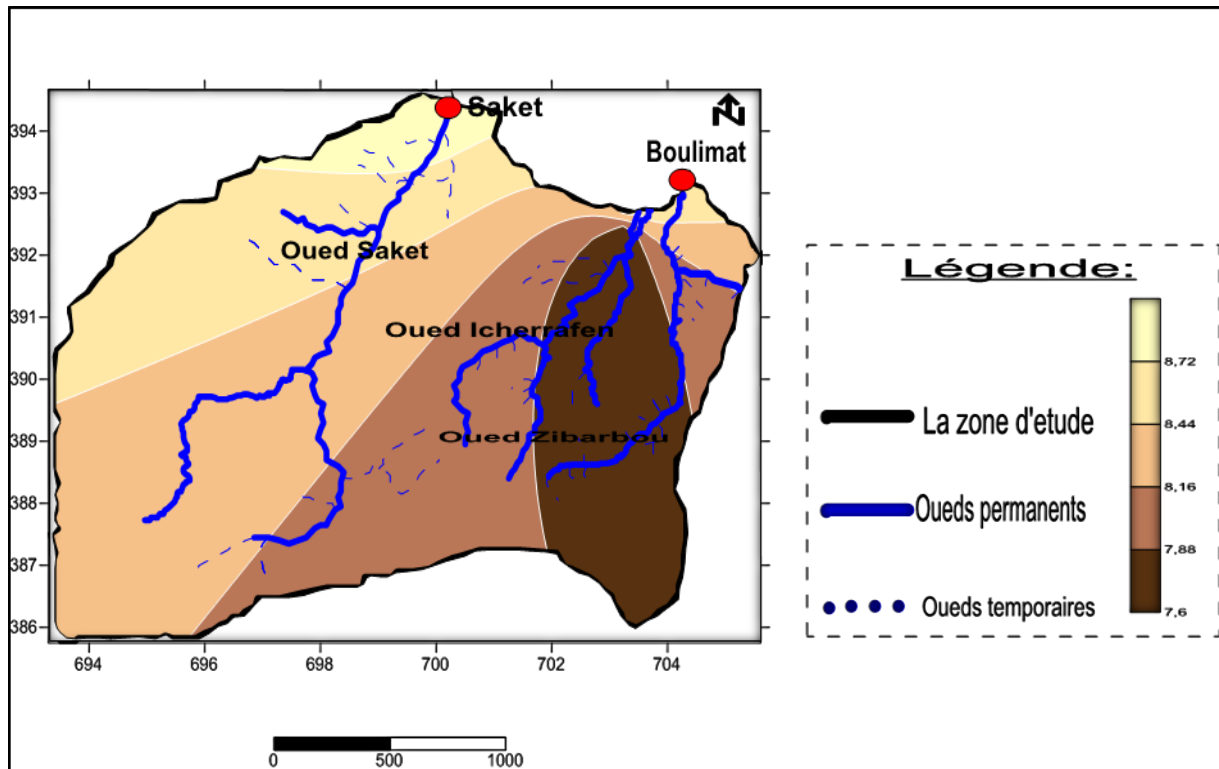


Figure 27 : La répartition du pH dans les eaux des sites étudiées

III.5.3. Oxygène dissous

La solubilité de l'oxygène dans l'eau est liée à plusieurs facteurs, en particulier la température, la pression atmosphérique et la salinité. L'oxygène dissous est aussi en fonction de l'origine de l'eau. Les eaux superficielles peuvent contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation. Les eaux profondes n'en contiennent le plus souvent que quelques milligrammes par litre (**Rodier et al., 2009**).

Pendant la période d'étude, les teneurs d'oxygène dissous plus élevées sont observées au niveau des eaux superficielles comprises entre 3.87 mg/l (O1) et 4.72 mg/l (O2) avec une moyenne de 4.29 mg/l. Les valeurs basses sont présentées au niveau des eaux souterraines varient entre 0.91 mg/l (P3) à 1.24 mg/l (P1) avec une moyenne de 1.03 mg/l (Fig.28).

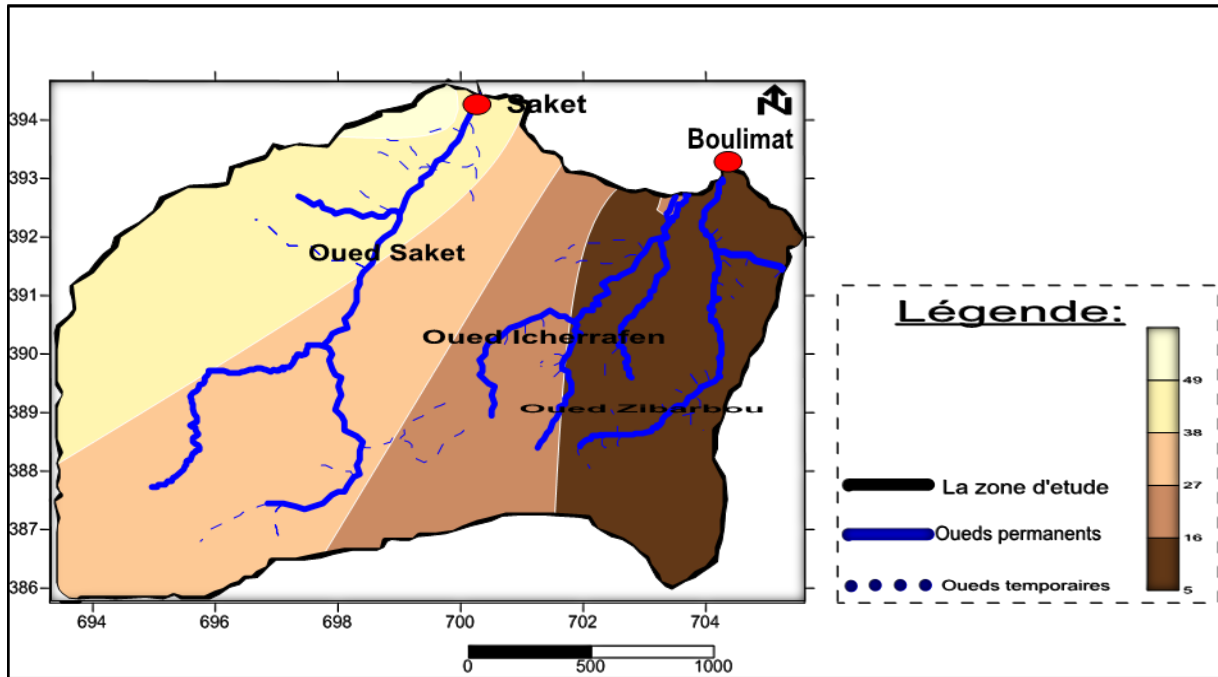


Figure 28 : La répartition de l'oxygène dissous dans les eaux des sites étudiées.

III.5.4. Conductivité électrique

Rodier et al. (2009), signalent que la variation de conductivité est induite par la présence dans le milieu des ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Cette mobilité dépend de la nature des ions dissous et de leur concentration, tels que les ions de calcium (Ca^{2+}), de sodium (Na^+), de chlorures (Cl^-), des bicarbonates (HCO_3^-)...etc. Généralement, la conductivité électrique augmente avec la concentration des ions en solution et la température (Dib, 2009).

Les résultats des mesures ont permis d'observer la variation de la conductivité électrique au niveau des eaux superficielles qui varient entre 664 (O2) $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1044 (O1) $\mu\text{S}/\text{cm}$. Pour les eaux souterraines la conductivité électrique varie de 1121 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P2) à 1742 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P1) (Fig.29). Toutes les valeurs ne dépassent pas la norme algérienne fixée (JORA, 2011).

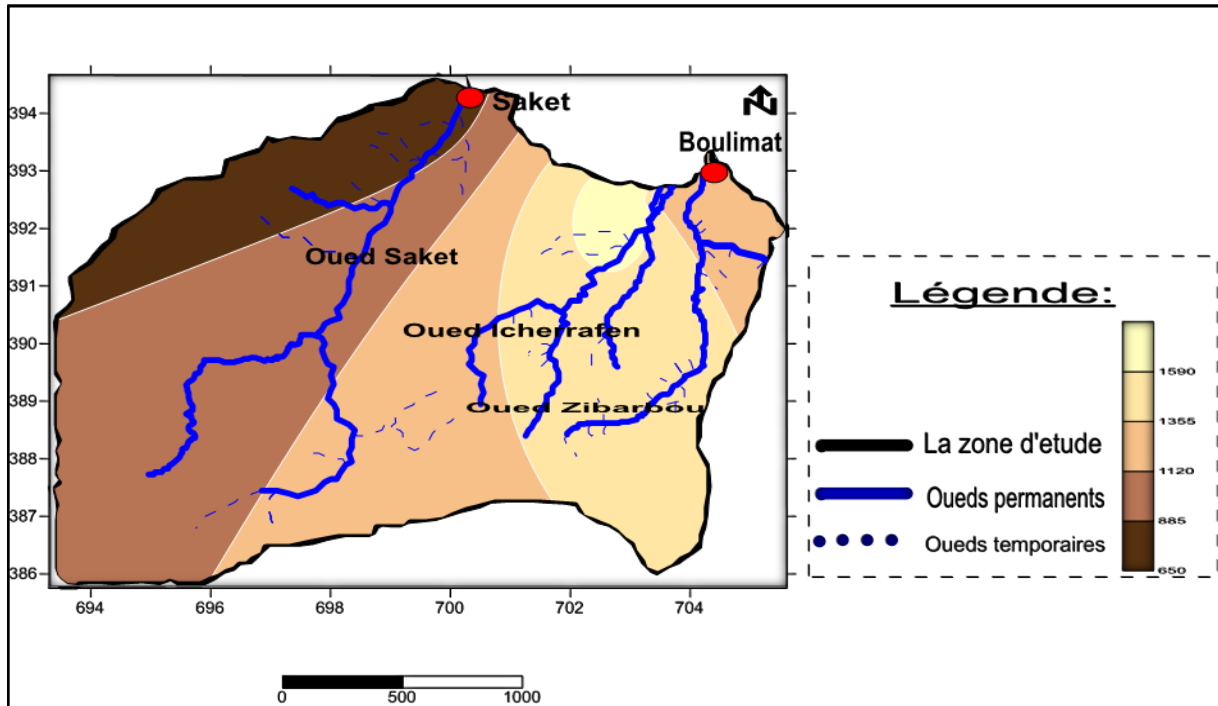


Figure 29 : La répartition de la conductivité électrique dans les eaux des sites étudiés.

III.5.5. Salinité

Les valeurs obtenues, lors de la campagne de prélèvement des eaux souterraines varient de 0.56 mg/l (P2) à 0.89 mg/l (P1). Pour les eaux de surfaces la salinité varie entre 0.32 mg/l (O2) et 0.52 mg/l (O1) (Fig.30).

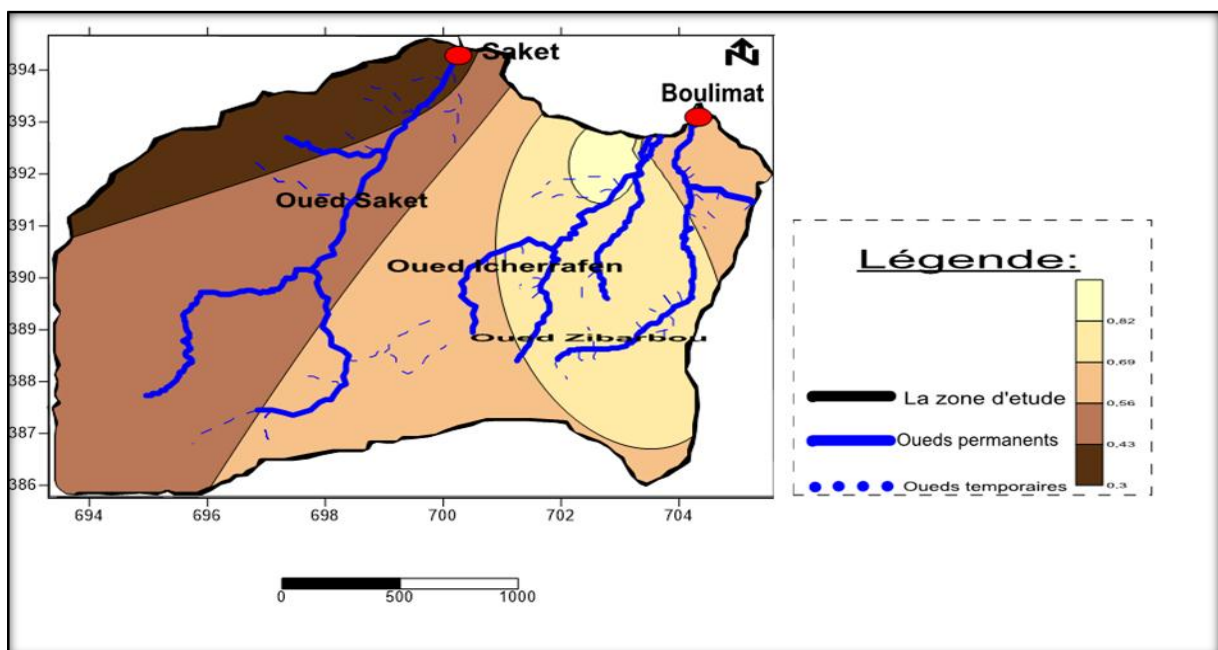


Figure 30 : La répartition de la salinité dans les eaux des sites étudiés.

III.5.6. Total des solides dissous (TDS)

Les concentrations des solides dissous dans les échantillons d'eau souterraines sont variées de 0.562 mg/l (P2) à 0.871 mg/l (P1). Pour les eaux de surfaces sont entre 0.333 (O2) et 0.522 (O2) (Fig.31). Le TDS pourrait provenir de la dissolution des roches carbonatées (origine naturelle), ou des eaux usées (origine anthropique).

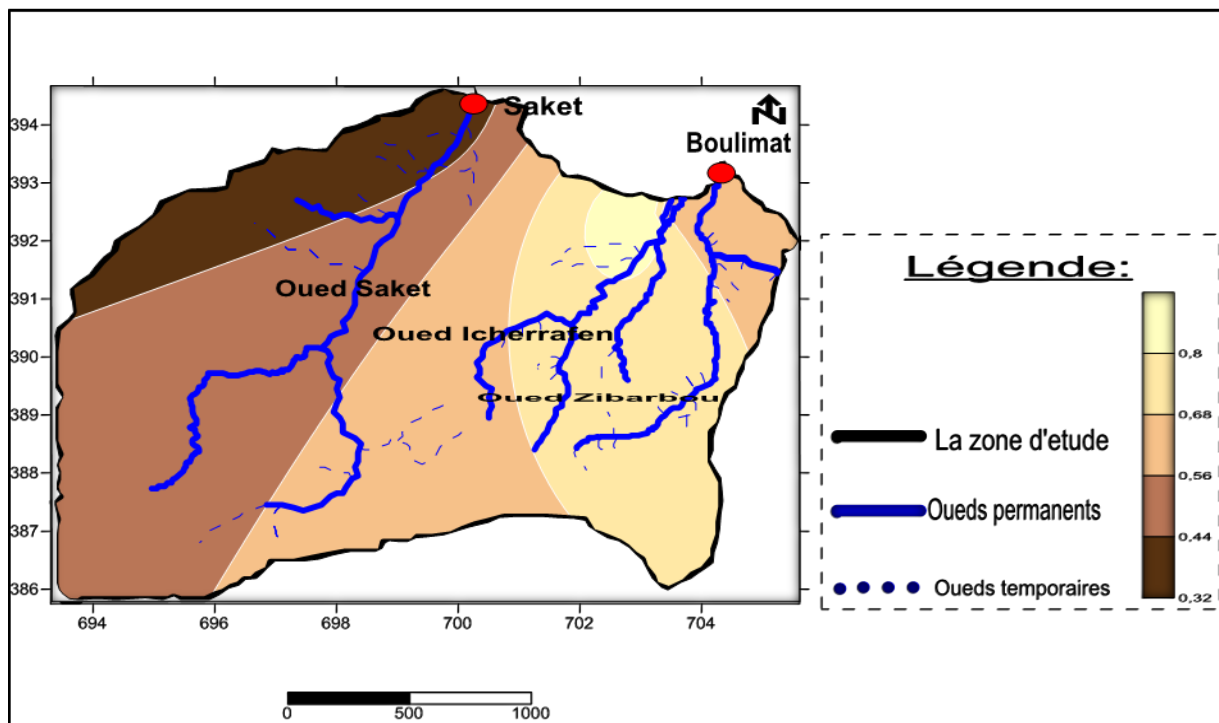


Figure 31 : La répartition de TDS dans les eaux des sites étudiées.

III.5.7. Turbidité

La turbidité d'une eau est causée par la présence des matières en suspension ou par des substances en solution comme les substances minérales (sable, argiles ou limons), des matières organiques (matières organiques morts ou des végétaux en décomposition, du plancton suspendu) ou d'autres matières microscopiques qui forment un obstacle au passage de la lumière dans l'eau (Rodier et al., 2005 ; Hade, 2007). Les normes algériennes (JORA, 2011), recommandent comme valeur limite de turbidité 5 NTU.

Dans notre cas, les valeurs enregistrées par le turbidimètre pour les eaux souterraines varient de 1.31 NTU (P1) à 2.39 NTU (P3). Pour les eaux de surfaces varie entre 1.09 NTU (O1) et 2.65 NTU (O2) (Fig.32). La turbidité des eaux enregistrées durant la période de prélèvement ne dépassent pas la norme algérienne (5NTU). Nous avons constaté que la turbidité des

sources d'eau était inférieure à 5 (NTU < 5), donc on peut classer cette eau comme une eau claire.

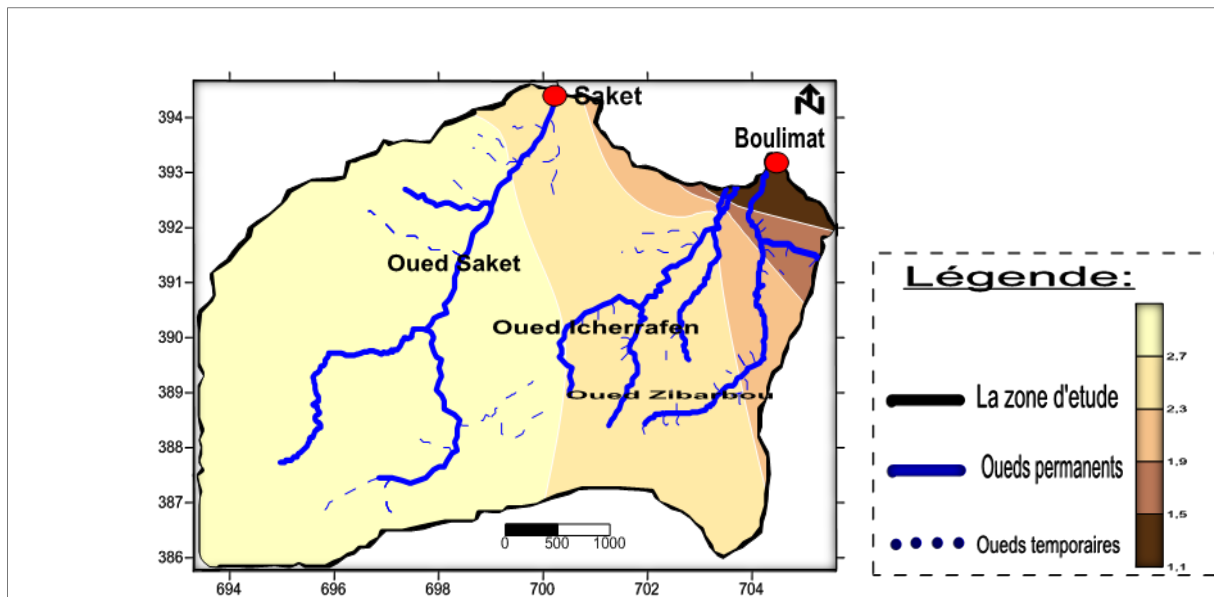


Figure 32 : La répartition de la turbidité dans les eaux des sites étudiées.

III.6. Résultat d'analyses des métaux lourds

III.6.1. Zinc (Zn)

L'examen global des concentrations de zinc dans les eaux des sites étudiées, indique une absence de contamination en zinc au niveau de toutes les sites suivie par l'étude. En effet, elles sont inférieures à la valeur maximale admissible par les normes nationale qui est de 3mg/l (JORA, 2006).

Les concentrations en zinc dans les eaux souterraines varient de 0.0236 mg/l (P2) à 0.0411 mg/l (P3). Par contre dans les eaux de surfaces varient entre 0.0326 (O1) mg/l et 0.054 mg/l (O2). Les fortes concentrations se trouvent au Nord-est et au Sud-ouest de la région d'étude ; cela est dû probablement à l'importance des rejets domestiques que reçoit la région Boulimat et aussi des polluants qui proviennent de la décharge (décharge Boulimat) (fig.33)

- **La toxicité**

Le zinc, sous sa forme métallique et à dose pondérable, présente une faible toxicité aiguë par inhalation et par voie orale. En revanche, trop de zinc provoque des problèmes de santé importants : crampes d'estomac, nausées et vomissements, irritations de la peau, anémie, dysfonctionnement général de l'organisme, notamment du pancréas (qui sécrète un suc

indispensable à la digestion), perturbation du métabolisme des protéines, source d'artériosclérose et de désordres respiratoires (en milieu professionnel, la contamination au zinc peut mener à un état comparable à une grippe chronique nommée la fièvre du fondeur) (Willem, 2017).

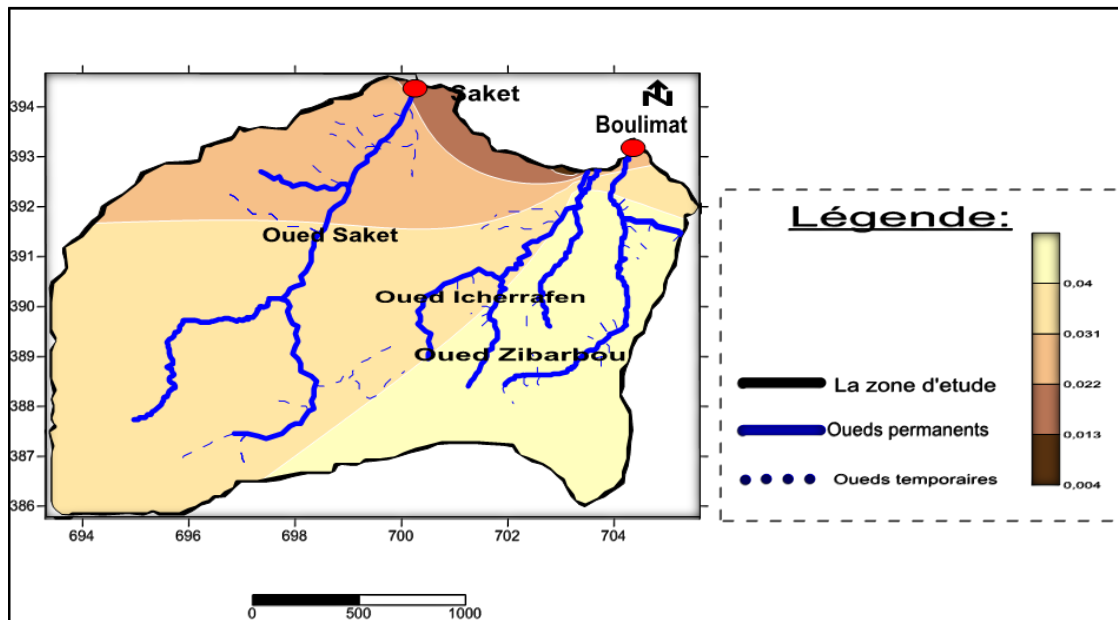


Figure 33 : Carte de la répartition de concentration de Zinc.

III.6.2. Plomb (Pb)

Les concentrations de Plomb au niveau des eaux souterraines varient de 0.101 mg/l(P2) à 0.170 mg/l (P2) ; ces valeurs dépassent la norme nationale fixée qui est 0.05 mg/l. Par contre dans eaux de surface varient entre 0.0051 mg/l (O1) et 0.0014 mg/l (O2). La carte de répartition du plomb dans la région de Boulimat montre que les fortes concentrations se trouvent au Nord-Est et à Nord-Ouest de la région. Cette distribution est liée probablement au trafic routier qui provoque le dégagement des gaz d'échappement qui sont très riche en composés de plomb et à la décharge publique (lixiviats) (Fig. 34)

- **Toxicité**

Saturnisme (trouble neurologique, convulsions), anémie, fatigue chronique, coliques abdominale

Le plomb (sous forme d'acétate de plomb), dès la concentration micromoléculaire correspondant à des dilutions homéopathiques de 4 à 5 CH, stimule formellement l'activité de la protéine kinase C des capillaires cérébraux. Ce fait est capital, car il prouve que des dilutions homéopathiques sont suffisamment puissantes pour induire des réactions

d'hypersensibilité pouvant aller jusqu'à rompre la barrière hémato-encéphalique (Willem, 2017).

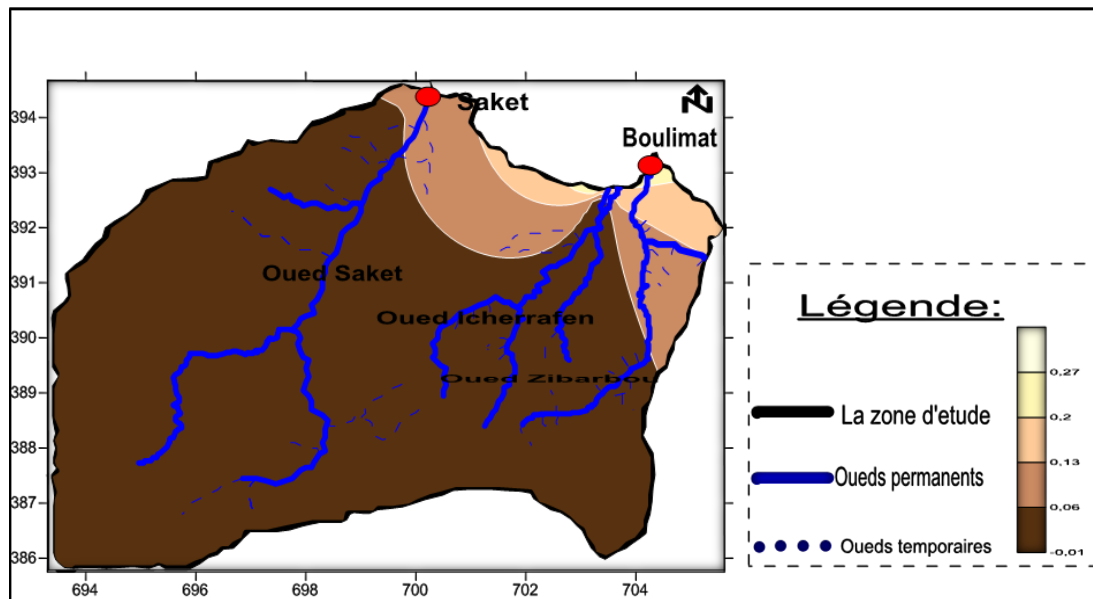


Figure 34 : Carte de la répartition de concentration de Plomb.

III.6.3. Cadmium (Cd)

Le test des concentrations de Cadmium au niveau des eaux étudiées, montre une contamination au niveau des eaux de surfaces variant entre 0.052 mg/l (O1) et 0.069 mg/l (O2). En effet, elles sont supérieures à la valeur maximale admissible par les normes nationale qui est de 0.01 mg/l (JORA, 2006). Par contre dans les eaux souterraines sont variées de 0.0027 mg/l (P2) et 0.0079 mg/l (P1). La distribution du cadmium dans la région de Boulimat est caractérisée par une concentration élevée dans le centre et au Nord-Ouest de la région d'étude. Cette concentration est due probablement au nombre de véhicules qui transitent la région et à la fertilisation par les engrais (Fig.35)

- **Toxicité**

Les deux principales voies d'absorption du cadmium sont l'inhalation et l'ingestion. Le cadmium entraîne l'apparition de certaines maladies comme le cancer (en particulier pulmonaire), l'obstruction des poumons avec emphysème ou bronchite chronique, une fragilisation des os, des maladies rénales... et aussi de l'anémie, de l'arthrite, des migraines, des problèmes cognitifs, des maladies cardiovasculaires comme l'artériosclérose, de l'ostéoporose ou une perte du goût et de l'odorat (Willem, 2017).

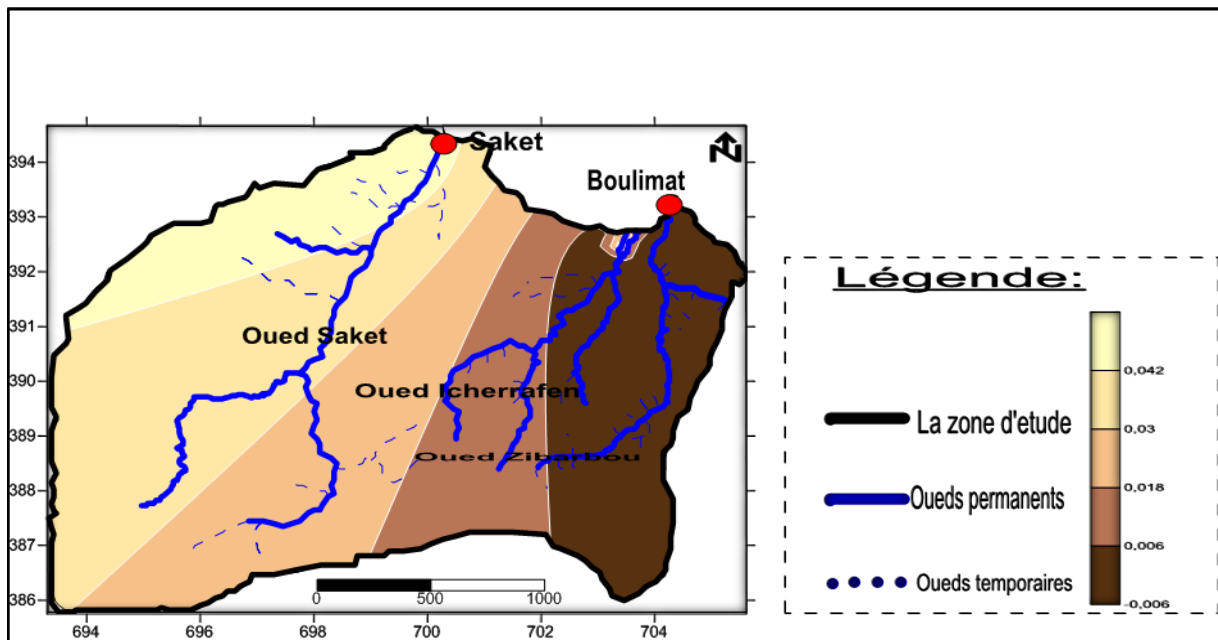


Figure 35 : Carte de la répartition de concentration de Cadmium.

III.6.4. Fer (Fe)

Les concentrations en fer dans les eaux souterraines varient de 0.011 mg/l (P1) à 0.021 mg/l (P3). Les valeurs sont conformes à la norme nationale qui est de 3 mg/l. Les concentrations du fer dans les eaux souterraines sont localisées dans le centre de la région (Fig. 36).

- **Toxicité**

Des taux élevés de fer (dans l'eau de boisson, dans les fruits et légumes, et plus généralement, dans les produits alimentaires...) provoquent des risques accrus de maladies cardiovasculaires et de cancer. Par exemple, on sait que le métal non absorbé favorise la production dans le côlon de radicaux libres, ces agents du vieillissement cellulaire. En réagissant avec la flore colique, le fer se comporte comme un facteur de l'installation d'un cancer.

L'excès de fer dans l'organisme s'appelle hémochromatose. Cette affection provoque affaiblissement et troubles divers au niveau du cœur, des poumons, du foie, des glandes endocrines, de la peau, des muqueuses... jusqu'à être très impliquée dans plusieurs maladies neurodégénératives, dont l'Alzheimer ou, pour les personnes prédisposées, l'hémochromatose (une maladie héréditaire) qui, si elle n'est pas traitée à temps, se termine par un cancer du foie (Willem, 2017)

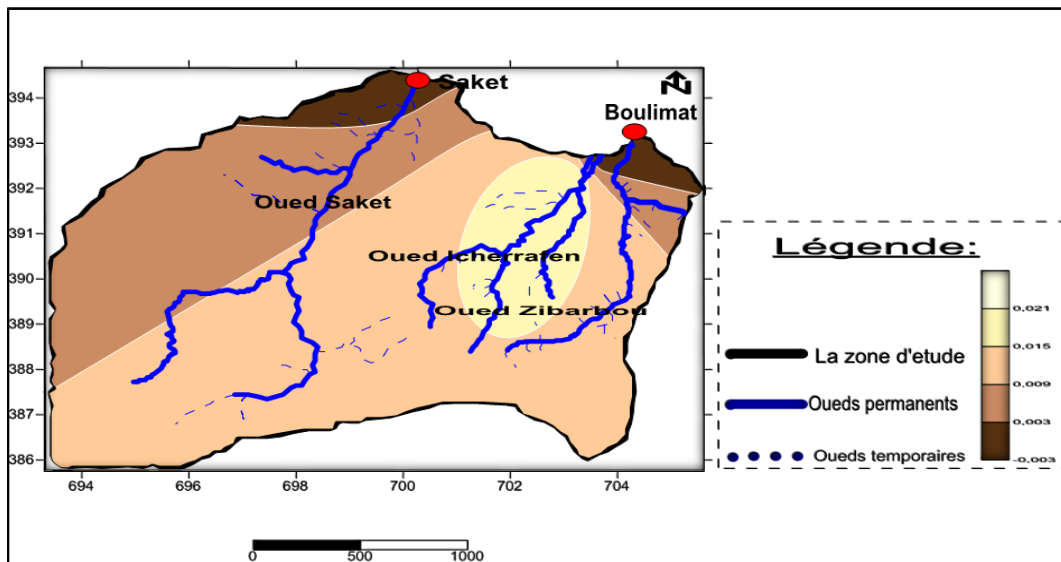


Figure 36 : Carte de la répartition de concentration de Fer.

III.7. Détermination des faciès chimiques

Dans le but de bien identifier les faciès hydro-chimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux étudiées, on a eu recours au diagramme de Piper et à celui de Wilcox. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel Diagrammes, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

III.7.1. Diagramme de Piper

L'interprétation des résultats d'analyses du diagramme de Piper (Fig. 37) pour la période d'observation a permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux étudiées dans la région d'étude.

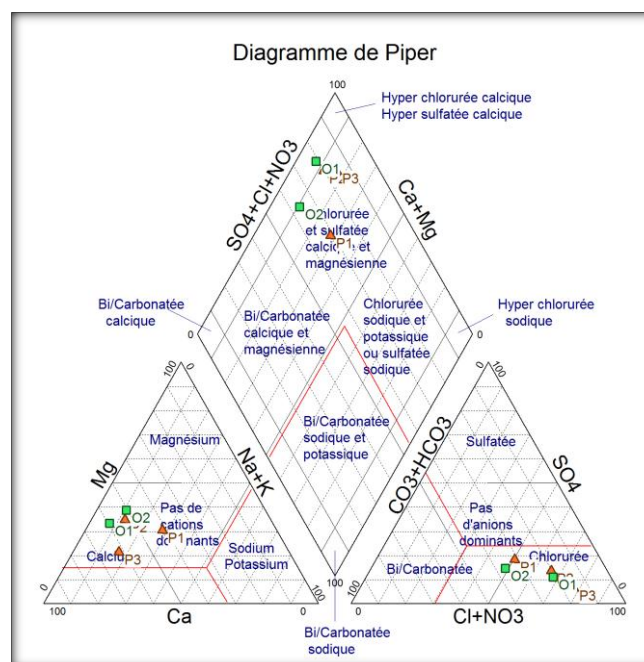


Figure 37 : Représentation des eaux des sites étudiés sur le diagramme de Piper.

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

III.7.2. Diagramme de Wilcox

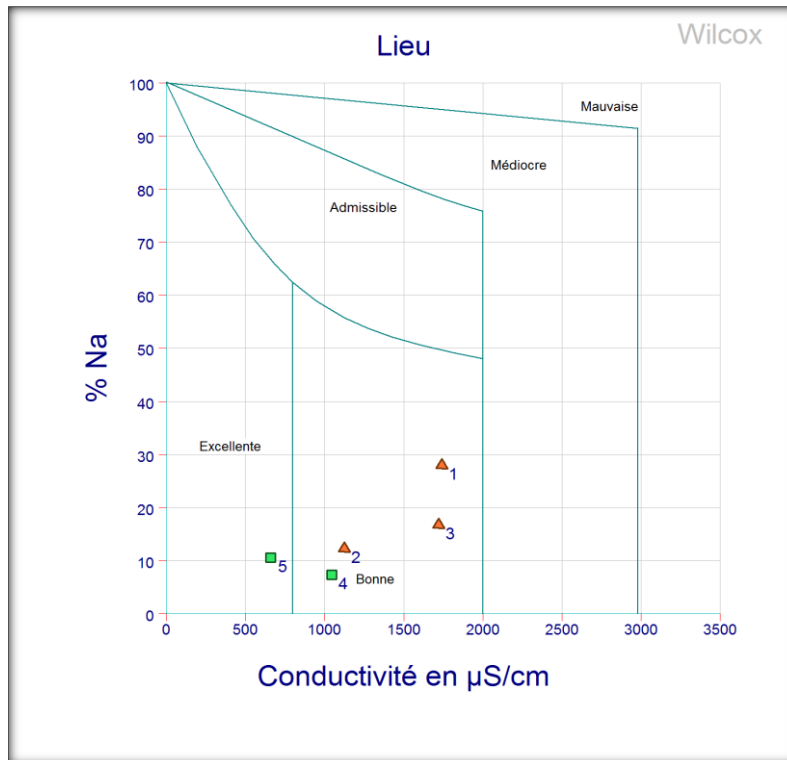


Figure 38 : Diagramme de Wilcox des eaux des sites étudiés.

Le diagramme de Wilcox montre que O2 a une excellente qualité de l'eau, et P1, P2, P3 et O1 ont une bonne qualité de l'eau.

III.8. Sources de pollution dans la région d'étude

III.8.1. Décharges sauvages

Elles constituent aujourd'hui un véritable danger pour la santé et l'environnement. Ces décharges qui sont implantées au sein des différents quartiers nuisent à l'image de la commune (Fig.39).

Les ordures rejetées dans la décharge de Boulimat sont ménagères. Les déchets déversés sans aucun contrôle, ce qui fait de cette décharge un danger sur l'écosystème et porte atteinte à la faune et flore du Parc National de Gouraya dont elle fait partie (Mouaïci, 2002).



Figure39 : Décharges sauvages de Boulimat.

III.8.2 Pollution par le trafic routier

Le trafic routier dans la région est très étendu par le passage de la route nationale N°24 ce qui a pour conséquence la propagation des produits d'essence et ses dérivées comme les métaux lourds (Fig. 40).



Figure 40 : La route nationale N°24.

III.8.3 Pollution causée par les estivants

Comme chaque année durant la période estivale la pollution dans la région augmente.

- Une augmentation des déchets à la plage.
- Une augmentation des rejets des eaux usées vers les plages ou vers les eaux souterraines.

III.9. Carte de risque

La projection des sources de pollution sur la carte de vulnérabilité nous donne une carte de risque selon la formule suivante. (Fig.41)

Risque = Vulnérabilité × Aléa.

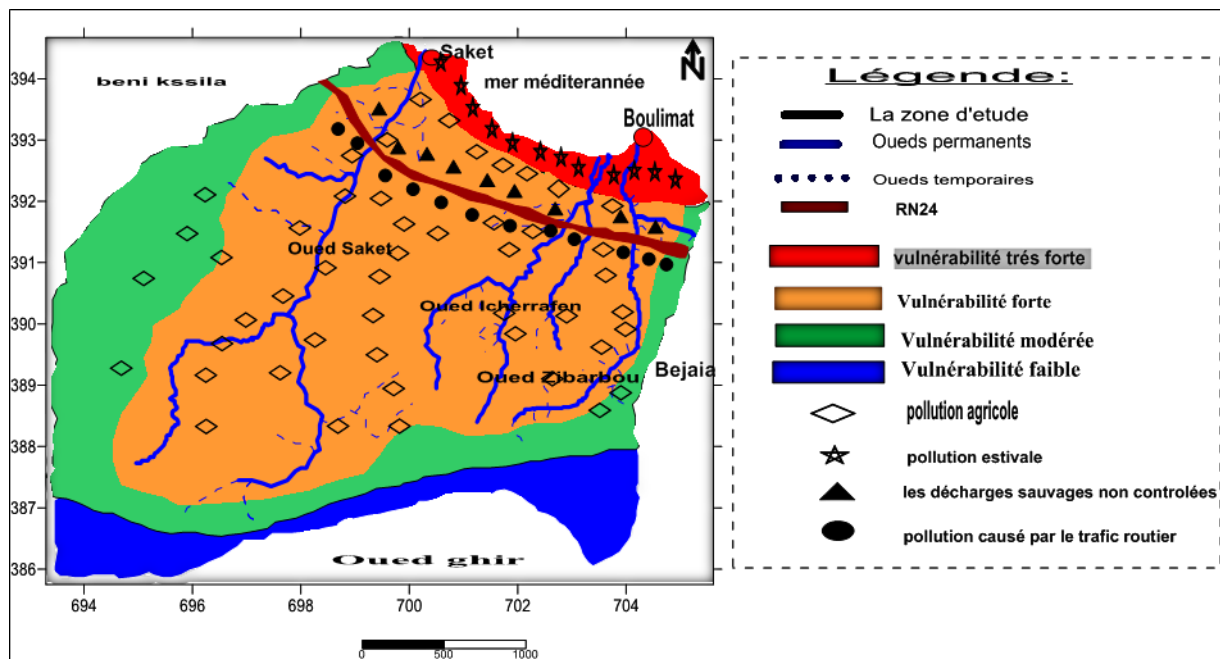


Figure 41 : Carte de risque de la région de Boulimat.

CONCLUSION

Conclusion

Le présent travail a été réalisé dans le cadre d'étudier la vulnérabilité des eaux souterraine à la pollution par la méthode GOD et d'évalué la qualité physico-chimique de cette ressource dans la région de Boulimat.

Cette étude nous a amené à conclure les résultats suivants :

Sur le plant climatique : la région de Boulimat a un climat méditerranéen humide dont la période sèche varie du mois Mai jusqu'à Aout et une période humide à partir du mois Septembre jusqu'à Avril.

Sur le plant géologique on a déterminée 3 formations : Formation autochtone, formation allochtone et le haut fond berbère.

La zone de Boulimat comporte trois types d'aquifères ; aquifère de nature lithologique sableux, limoneux alluvial, et calcaire fissurées.

L'analyse et l'interprétation des donnés hydro-chimique des eaux de la région d'étude montre la prédominance des éléments chimiques (SO_4 , Cl, NO_3 , Ca et Mg), permettent de distinguer que toutes les sites sont globalement d'un faciès chimique bicarbonatée calcique et magnésienne avec une dominance de calcium.

Les eaux de la région sont probablement exposées aux quatre genres de pollution, décharge sauvage, pollution d'origine agricole, pollution par trafic routier et pollution causé par les estivants. Cette pollution à l'état actuel montre un degré très faible, mais le non contrôle peut accentuée cette pollution.

La cartographie des zones de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines par la méthode GOD a révélé quatre zones de vulnérabilité différente de degré très forte, forte, modérée et faible.

- La zone à vulnérabilité très forte qui est définie par les sables (0.7 - 1).
- La zone à vulnérabilité forte qui représentée par les plaines côtières constituées des nappes des alluvions (0.5 – 0.7).
- La zone à vulnérabilité modérée qui représentée par Les nappes de flysch et les conglomérats qui occupent la quasi-totalité du terrain (0.3 – 0.5).

Conclusion

- En fin, la zone à vulnérabilité faible qui est localisée au Sud de la zone d'étude par les calcaires fissurés (0.1 – 0.3).

La cartographie de la vulnérabilité et le risque de pollution des eaux souterraines est une méthodologie qui est devenue nécessaire afin d'assurer la gestion qualitative des ressources en eau en relation avec les diverses activités humaines, elle apparaît donc nécessaire et incontournable car ce type de carte permet d'identifier très facilement les zones à risques de pollutions potentielles .Elle servira donc comme un outil d'aide à la décision aux gestionnaires des ressources en eau et permettra également d'orienter l'aménagement du territoire .

Perspectives

- Effectuée un suivi spatiotemporel dans la période estivale.
- Création d'une méthode de cartographie à la pollution des eaux souterraine on prenant en considération les condition climatiques, la géologie et hydrogéologie propre à notre pays.
- Protéger les eaux souterraines contre l'éventuelle infiltration de la pollution.
- Développement et application des méthodes pour contrôler l'évolution de la pollution.
- Traitement des rejets des eaux usées industrielles et domestiques qui sont déversé directement dans les affluents et la mise en place d'un réseau de canalisation planifié.
- Sensibiliser les citoyens et les estivants à protéger l'environnement.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

Added, A. Hamza, M.H. (2006) .Evaluation of the vulnerability in Metline aquifer (Northeast of Tunisia). ESRI user conference. San Diego, États-Unis.

AEAG, (Agence de l'Eau Adour-Garonne). (2012). Les eaux souterraines, Toulouse,

Albinet, M. Margat, J. (1970). Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraines. Bull BRGM (2) 1970; Section III (4): 13-22.Algeria. Wilaya de Bejaia .28p.

ANDI, (Agence National du Développement et de L'Investissement). (2013). Invest in **Ayad, W. (2017)**.Evaluation de la qualité physico-chimiques et microbiologique des eaux souterraines : cas des puits de la région (D'el harrouch) (Wilaya de Skikda). Faculté des sciences. Université Badji Mokhtar – Annaba. Thèse doctorat.156p.

Banton, O. Bangoy, L. M. (2010) : Hydrogéologie multi science environnementale des eaux souterraines, presses de l'université du QUEBEC /AUPELF. Ca nada. P : 9.Bejaia. 153p.

Bézèlques S. et des Garets E. avec la collaboration de Mardhel V. et Dörfliger N.

2002. Cartographie de la vulnérabilité des nappes de Grande-Terre et de Marie-Galante (Guadeloupe). Phase 1 - Définition de la méthode de détermination de la vulnérabilité. Rapport BRGM-51783-FR, 44p.

Castany, G. (1982). Principes et méthodes de l'hydrogéologie. BORDAS, Paris. P 223-225

Cazaux, M. (2007). Les eaux souterraines en Gironde. Cartographie de la vulnérabilité aux pollutions des nappes éocènes dans le secteur du Blayais. Faculté des sciences de la terre et de l'Environnement de Montpellier. Rapport de stage Master II. Cedex 4, 5p.

Charikh, M. (2014). Estimation et cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines en milieu aride: application à la cuvette de Ouargla. P87.

Dajoz, R. (1985). Précis d'écologie. 5^{eme} édition. DUNOD, université paris, p472.

Datry, T. (2003). Urbanisation et qualité des nappes phréatiques - Réponses des écosystèmes aquatiques souterrains aux pratiques d'infiltration d'eau pluviale. Thèse de Doctorat. Univ. Claude Bernard-Lyon 1. 220 p.

Références bibliographiques

Dib, I. (2009). L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine- Ain Yaghout (Est Algérien), Mémoire de magister en hydraulique, construction hydrotechnique et environnement, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna, 127 p.

Dudok de Wit, T. (2007). GPS et localisation par satellites. (Cour : licence de chimie physique).53p.

ES Saouini, H. (2015). Vulnérabilité a la pollution des eaux souterraines : aspect dynamique et application à l'aquifère de R'MEL (Larache, MAROC).Faculté des sciences et techniques tanger .Université Abdelmalek Essaadi. Thèse doctorat.p153.

Foster, S. (1987). Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: Van Duijvenbooden, W. & Van Waegeningh , H.(eds) Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution. TNO Committee on Hydrological Research, The Hague, 69–86.

François, R. (2007): introduction à l'éco toxicologie fondements et applications. Edition TEC et DOC Lavoisier Paris. P : 14 - 20. Géosciences, faculté des sciences de la terre, département de géologie, Université Badji Mokhtar- Annaba, 110p.

Gouaidia, L. (2008). Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana nord-est Algérien, Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 131p.

Hade, A. (2007). Nos lacs : Les connaitre pour mieux les protéger, Edition Fides, Bibliothèque national du Québec, Canada, 27p.

Henri, L. (2012). L'eau Potable, Édition réimprimée, 190 p.

Heyd, C. Alleaume, S et Argillier, C. (2012). Bavela Bassin versant Lacustre, Méthode de délimitation et extraction des données spatiales. Partenariat 2011 ONEMA –Irstea Evaluation de la qualité écologique des écosystèmes plans d'eau – Action 13.

JORA, (Journal officiel de la république Algérienne). (2006).. Décret, ministériel n°06-141, du 19 Avril 2006, définissant les valeurs limitent des rejets d'effluents liquides industriels.

Références bibliographiques

- JORA, (Journal Officiel de la République Algérienne). (2011).** Décret exécutif n° 11125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif, qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers: Bir-Mourad Raïs, Alger, Algérie, PP: 7-25.
- Kirkpatrick, k. Fleming, E. (2008).** La qualité de l'eau, ROSS TECH 07/47, 12.
- Laborde, J.P. (2009).** Eléments d'hydrologie de surface.202p
- Lallemand, B. Jean, C.R. (1999).** Pollution des eaux souterraines, in BRGM, BP, 6009,45060 Orléans Cedex 2, Périmètre de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humain. P : 24-27.
- Lallemand-Barres A. & Roux J-C., 1989.** Guide méthodologique d'établissement des périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine. BRGM manuels et Méthode n° 19.
- Mardhel, V. Pinson, S et Gravier, A. (2005).** Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines en région Nord-Pas-de-Calais. Etude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM/RP – 54238 - FR.
- Margat, J. (1968).** Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine à la pollution. Base de la cartographie, Doc. BRGM, 68 SGL 198 HYD. Orléans, France.
- Mouaïci, k. (2002).** Etude de quelques sources de polluant atmosphérique dans la région de Bejaia, université de Bejaia Abd Arrahmaine Mira.
- PNG, (Parc National de Gouraya). (2008).** Plan de gestion du Parc National de Gouraya.
- Rahman, A. (2008).** A Gis DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. *Applied Geography*. Vol. 28(1), pp. 32-53.
- Ramade, F. (1984).** Eléments d'écologie- écologie fondamentale. Edition Marc Graw-Hill, Paris. 397p.
- Rebbas, K. (2014).** Développement durable au sein des aires protégées algériennes, cas du Parc National de Gouraya et des sites d'intérêt biologique et écologique de la région de Bejaïa. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Université Ferhat Abbas Sétif 1. Thèse doctorat.p192.

Références bibliographiques

Rodier, J. (2009). L'analyse de l'eau .9eme édition, Dunod.

Rodier, J. Bazin, C. Broutin, J.P. Chambon, P. Champsaur, H et Rodi, L. (2005). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.

Rodier, J. Legube, B et Merlet, N. (2009). L'analyse de l'eau, 9^{ème} édition, Ed. Dunod, 1579p.

S.M.B, (Station météorologique de Bejaia). (2012). Rapport interne.

Saadali, B. (2007). Etude de la qualité des eaux de sources issues du massif dunaire de Bouteldja (Algérie extrême Nord oriental), Mémoire de magister en géologie.

Thibault, S. (2011). Bassin versant. Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement, Lavoisier, pp.116, 1997, technique et documentation.

Vrba, J. Zaporozec, A. (1994). Guide book on mapping groundwater vulnerability. IAH, Vol. 1, pp131.

Willem, J. P. (2017).les dégâts des métaux lourds prévention et détoxification naturelle. Edition GUY Trédaniel, Paris. P 52, 69,71, 84.

Zwahlen, F. (2004). Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (Karst) aquifers COST action 620. European commission, EUR 20912: 297 p, Université Neuchâtel.

Site internet

Anonyme 1 : www.grobec.org/hydrogeo/résultats/conditions-confénement.php

ANNEXES

Annexe I et II

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

Réactifs

Solution d'E.D.T.A N/50 ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) : (0.02N ou 0.01M)

EDTA.....3.725g. Après déshydratation à 80°C pendant 2h.

H_2O distillée q s p 1000 ml.

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

NaOH (pastilles).....80g ;

H_2O distilléeq s p 1000 ml.

Solution d'hydroxyde d'ammonium(NH_4OH) pH=10.1 :

Chlorure d'ammonium67.5g ;

NH_4OH (25%).....570 ml ;

HCl concentrépH=10.1

H_2O distilléeq 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 1g dans une fiole conique de 500 ml et humidifier avec l'eau. Ajouter goutte à goutte de l'acide chlorhydrique à 4 mol/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.
- ✓ Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 1000ml et compléter au volume avec de l'eau distillée.

Mode opératoire

(V1) Ca^{2+} :

- Prendre 50ml 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 de NH_4^+OH (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 (0.01M/l).

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

F : facteur

$$\text{mg/l Ca}^{2+} = \frac{\text{V1} \times 0.01 \times \text{F} \times 40.}{50} \times 1000$$

Donc : $\text{mg/l Ca}^{2+} = \text{V1} \times \text{F} \times 8.016$

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

$$\text{mg/l Mg}^{2+} = \frac{(\text{V2} - \text{V1}) \times \text{CEDTA} \times \text{F} \times \text{M1 Mg}^{2+}}{50} \times 1000$$

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).

MMg²⁺ : Masse molaire du Magnésium en g.

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

F : Facteur

$$\text{mg/l Mg}^{2+} = \frac{(V_2 - V_1) \times 0.01 \times F \times 24.3}{50} \times 1000$$

Donc

$$\text{mg/l Mg}^{2+} = (V_2 - V_1) \times F \times 4.$$

Annexe III

❖ Détermination des chlorures (Cl⁻)

Réactifs

Solution de nitrate d'argent à 0.01 N :

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

Indicateur coloré K₂CrO₄ à 10% :

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

Solution de chlorures à 71 mg/l :

0,107g de NH₄Cl.....1000 ml d'eau distillée.

Mode opératoire

Prendre 5 ml d'eau à analyser ;

Ajouter 2 gouttes de K₂CrO₄ (coloration jaunâtre) ;

Titrer avec AgNO₃ 0,01 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

Expression des résultats

$$F.G = \frac{V_{AgNO_3} \times N_{AgNO_3} \times M_{Cl^-}}{PE} = \frac{V_{AgNO_3} \times 0.01 \times 35.5 \times F \times 1000}{5}$$

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

N_{AgNO₃} : Normalité d'AgNO₃

M_{Cl⁻} : masse des chlorures.

F : facteur de correction du titre d'AgNO₃

PE : prise d'essai.

Annexe IV

❖ Dosage des sulfates SO_4^-

Réactifs :

Solution stabilisante ;

Solution de chlorure de baryum.

Mode opératoire

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

Mesure et calcul du résultat :

Les résultats sont affichés directement par spectromètre en mg/l de sulfates x le facteur de dilution.

Annexe V

❖ 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 N100 ml.

H₂O distilléeq s p 1000 ml.

Electrode : 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

$$F.G = \frac{VA \times NA \times MHCO \times 1000}{PE} = \frac{VA \times 0.1 \times 61 \times 1000}{100}$$

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

VA : normalité d'acide versé.

NA : normalité d'acide versé.

MHCO₃⁻ : 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.

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

Annexe VI

❖ Dosage des nitrites NO_2^- .

Réactifs

Sulfanilamide40g.

Acide phosphorique.....100 ml.

N-1-Naphtyl éthylène diamine2g.

H_2O distilléeq s p 1000ml.

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 VII

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

Réactifs

Réactif I :

Acide dichloroisocyanurique2g ;

Hydroxyde de sodium (NaOH).....32g ;

H₂O distillée.....q s p 1000ml.

Réactif II (coloré) :

Trictrate de sodium130g ;

Salicylate de sodium130g ;

Nitropruciate de sodium0.97g ;

H₂O distilléeq 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 H₂O 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 VIII Les paramètres de la méthode GOD

Indice GOD = $C_L * C_A * C_D$			
	Type d'aquifère		
1	1×1×0.9	0.9	Très forte
	1×1×0.6	0.6	Forte
	1×1×0.5	0.5	Modéré
1	1×0.9×0.9	0.81	Très forte
	1×0.9×0.6	0.54	Forte
	1×0.9×0.5	0.25	Faible
1	1×0.6×0.9	0.54	Forte
	1×0.6×0.6	0.36	Modéré
	1×0.6×0.5	0.30	Faible
0.1	0.1×1×0.9	0.09	Faible
	0.1×1×0.6	0.06	Faible
	0.1×1×0.5	0.05	Faible
0.1	0.1×0.9×0.9	0.081	Faible
	0.1×0.9×0.6	0.054	Faible
	0.1×0.9×0.5	0.045	Faible
0.1	0.1×0.6×0.9	0.054	Faible
	0.1×0.6×0.6	0.036	Faible
	0.1×0.6×0.5	0.030	Faible
0.6	0.6×1×0.9	0.54	Forte
	0.6×1×0.6	0.36	Modéré
	0.6×1×0.5	0.30	Faible
0.6	0.6×0.9×0.9	0.486	Modéré
	0.6×0.9×0.6	0.324	Modéré
	0.6×0.9×0.5	0.27	Faible
0.6	0.6×0.6×0.9	0.324	Modéré
	0.6×0.6×0.6	0.216	Faible
	0.6×0.6×0.5	0.18	Faible
	Type lithologique		
0.9	0.9×1×1	0.9	Très forte
	0.9×1×0.9	0.81	Très forte
	0.9×1×0.6	0.54	Forte
0.9	0.9×0.1×1	0.09	Faible
	0.9×0.1×0.9	0.081	Faible
	0.9×0.1×0.6	0.054	Faible
0.9	0.9×0.6×1	0.54	Forte
	0.9×0.6×0.9	0.486	Modéré
	0.9×0.6×0.6	0.324	Modéré
0.6	0.6×1×1	0.6	Forte
	0.6×1×0.9	0.54	Forte
	0.6×1×0.6	0.36	Modéré
0.6	0.6×0.1×1	0.06	Faible
	0.6×0.1×0.9	0.054	Faible
	0.6×0.1×0.6	0.036	Faible

0.6	0.6×0.6×1	0.36	Modéré
	0.6×0.6×0.9	0.324	Modéré
	0.6×0.6×0.6	0.216	Faible
0.5	0.5×1×1	0.5	Modéré
	0.5×1×0.9	0.45	Modéré
	0.5×1×0.6	0.30	Faible
0.5	0.5×0.1×1	0.05	Faible
	0.5×0.1×0.9	0.045	Faible
	0.5×0.1×0.6	0.03	Faible
0.5	0.5×0.6×1	0.30	Faible
	0.5×0.6×0.9	0.27	Faible
	0.5×0.6×0.6	0.18	Faible
	Profondeur		
1	1×1×0.9	0.9	Très forte
	1×1×0.6	0.6	Forte
	1×1×0.5	0.5	Modéré
1	1×0.1×0.9	0.09	Faible
	1×0.1×0.6	0.06	Faible
	1×0.1×0.5	0.05	Faible
1	1×0.6×0.9	0.54	Forte
	1×0.6×0.6	0.36	Modéré
	1×0.6×0.5	0.30	Faible
0.9	0.9×1×0.9	0.81	Très forte
	0.9×1×0.6	0.54	Forte
	0.9×1×0.5	0.45	Modéré
0.9	0.9×0.1×0.9	0.081	faible
	0.9×0.1×0.6	0.054	Faible
	0.9×0.1×0.5	0.045	Faible
0.9	0.9×0.6×0.9	0.486	Modéré
	0.9×0.6×0.6	0.324	Modéré
	0.9×0.6×0.5	0.27	Faible
0.6	0.6×1×0.9	0.54	Forte
	0.6×1×0.6	0.36	Modéré
	0.6×1×0.5	0.30	faible
0.6	0.6×0.1×0.9	0.054	Faible
	0.6×0.1×0.6	0.036	Faible
	0.6×0.1×0.5	0.030	Faible
0.6	0.6×0.6×0.9	0.324	Modéré
	0.6×0.6×0.6	0.216	Faible
	0.6×0.6×0.5	0.18	Faible

Résumé :

Ce mémoire de recherche prend en charge la question de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région de Boulimat.

L'étude de cette vulnérabilité à la pollution a été déterminée on se basant sur la méthode GOD par l'application de ces trois paramètres : type d'aquifère (G), lithologie d'aquifère (O) et profondeur d'aquifère (D).

La cartographie de ces différents paramètres permet, après leur superposition, l'établissement de la carte de vulnérabilité. Cette méthode fait sortir quatre zones à vulnérabilité différentes : une zone à faible vulnérabilité (0.1-0.3), une zone a vulnérabilité modérée (0.3-0.5), une zone a vulnérabilité forte (0.5-0.7) et une zone de vulnérabilité très forte (0.7-1).

L'exploitation de la carte de vulnérabilité contribuée à la protection durable des ressources naturelles.la projection des sources de pollution sur la carte de vulnérabilité nous a donné la carte de risque.

Mots clé : Vulnérabilité, GOD, Carte de risque, Pollution, Zone de Boulimat.

Abstract

This research paper addresses the issue of vulnerability to groundwater pollution in the Boulimat region. The study of this vulnerability to pollution was determined based on the GOD method by the application of these three parameters: type of aquifer (G), aquifer (O) lithology and aquifer depth (D).). The mapping of these different parameters allows, after their superposition, the establishment of the vulnerability map. This method brings out four zones with different vulnerabilities: a zone with low vulnerability (0.1-0.3), a zone with moderate vulnerability (0.3-0.5), a zone with high vulnerability (0.5-0.7) and a zone of very strong vulnerability (0.7-1). Exploitation of the vulnerability map contributed to the sustainable protection of natural resources. The projection of pollution sources on the vulnerability map gave us the risk map.

Keywords: Vulnerability, GOD, Risk Map, Pollution, Boulimat Zone