

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Abderrahmane Mira - Bejaia**  
**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département des Sciences Biologiques et Environnement**  
**Filière : Toxicologie Industrielle Et Environnementale**

**Mémoire de fin de cycle**

**En vue de l'obtention du diplôme de Master**

**MASTER**

**Thème :**

**Etude comparative de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution  
De la zone de Boulimate par la méthode DRASTIC et SINTACS**

**Présenté par :**

**ADEL Dihia & KISSAR Selma**

**Soutenu le : 20/06/2018**

**Devant le jury composé de :**

Mr : AHMIM Mourad	MCB	Président
Mme : DJOUAD Salima	MAA	Examinatrice
Mr : KHEMMOUDJ Kaddour	MCB	Encadreur

**Année Universitaire : 2017/2018**



## *Remerciements*

*Au terme de notre travail, nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères Au bon Dieu pour la patience et la santé qui nous ont été utiles tout au long de notre parcours.*

*Il est agréable de remercier notre promoteur Mr Khemmoudj Kaddour pour nous avoir assuré l'encadrement et le temps qu'elle nous a consacré À la réalisation de ce mémoire.*

*Nous remercions également Mr AHMIM Mourad qui a bien voulu présider le jury ainsi que Mme DJOUAD Salima pour avoir accepté d'examiner notre travail.*

*On tient aussi à remercier tout le personnel du laboratoire de l'A.D.E, ainsi que Mr BELOUI pour son aide technique et tout le personnel de la région de Boulimat pour leur patience et leur aide.*

*Enfin, on remercie profondément nos chers parents pour leur soutien moral et matériel durant nos études ainsi que toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail et on remercie notre dieu de tt santé et la paix que nous a donné.*

# Dédicaces

*On dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents :*

*ADEL Ali & AMMAOUCHE Zina*

*Mes frères :*

*(Youba, Kousseila, Yougustin)*

*Mes sœurs*

*(Thinhinane, Manissa)*

*Ma grande Mère :*

*Fatima*

*Mes chères oncles :*

*Aziz ,djelloul, Karim, djamel ,Riade*

*leur femme :*

*Fifi, Fahima, Djamila, Fouzia*

*Mes tantes :*

*Minouche,Saida ,Chérifa*

*Samia,Djamila, Houriya ,Lwiza*

*A tous mes cousins et mes cousines :*

*Ikram,Lylia,Kouka,Wahiba*

*Zahra,Ranida ,Bouha,Tassaadit*

*Ma famille proche ou loin*

*Mes Amis:*

*Selma, Sara, yasmina ,hlima,*

*Zahia, Nassima, Kenza, Sal wa, Cilia,*

*Biba, Hanan, Rabah , Amer,*

*À la promotion :*

*Toxicologie Industriel et environnemental 2017/2018*

*ADEL Dilia*

**Dédicace :**

**Je dédie ce modeste travail à :**

**Ma Très Chère Mère «MAMICHE Wahiba » :**

« Si Dieu a mis le paradis sous les pieds des mères, ce n'est pas pour rien »

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. En ce jour mémorable pour moi ainsi que pour toi Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

**Mon Très Cher Père « KISSAR Tahar » :**

Permettez-moi de vous exprimer mon grand amour, mon attachement et ma plus haute considération pour votre personne. Je suis très fière d'être votre fille et de pouvoir enfin réaliser, ce que vous avez tant espéré et attendu de moi. Vous avez su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté et ne jamais te décevoir. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation. Que Dieu le tout puissant te préserve, t'accorde santé, bonheur, quiétude de l'esprit et te protège de tout mal.

**A La Mémoire De Mon Très Cher Grand Père Paternel «KISSAR Mohamed » :**

Qui a été toujours dans mon esprit et dans mon cœur, le destin ne nous a pas laissé le temps pour jouir ce bonheur ensemble, donc je vous dédie aujourd'hui ma réussite qu'elle était l'un de vos meilleurs vœux un jour.

Aucune dédicace ne saurait exprimer tout ce que je ressens pour vous. Je vous remercie pour tout le soutien exemplaire et l'amour exceptionnel que vous me portez depuis mon enfance. Merci parce que vous étiez toujours à mes côtés. Par ton amour et ta tendresse, tu étais donné du gout et du sens à notre vie de famille « nous ne t'oublierons jamais »

En témoignage de mon amour, et ma grande nostalgie à toi et à nos souvenirs ensemble, je vous dédie ce travail. Que Dieu, le miséricordieux, vous habite dans son éternel paradis.

**A Ma Chère Grand-Mère Paternel « Halima » :**

Que ce modeste travail, soit l'expression des vœux que vous n'avez cessé de formuler dans vos prières. Que Dieu vous préserve santé et longue vie.

**A Mon Très Cher Frère «Alla» :** En souvenir d'une enfance dont nous avons partagé les meilleurs et les plus agréables moments. Pour toute la compréhension et l'entente qui nous unissent, ce travail est un témoignage de mon attachement et de mon amour. Puisse Dieu le tout puissant exhausser tous tes vœux.

**A Mon Cher Petit Frère « Islam » :** Pour toute l'ambiance dont tu m'as entouré, pour toute la spontanéité et ton élan chaleureux je te dédie ce travail. Puisse dieu t'accorder la bonne chance et la réussite dans tes études.

**A Ma Très Chère Sœur «Ines» :** En plus de ma sœur tu es aussi une amie éternelle. En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour toi. Je te remercie pour ton encouragement permanent, et ton soutien moral. Ton aide, ta générosité, ton soutien ont pour moi une source de courage et de confiance. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite. Puisse l'amour et la fraternité nous unissent à jamais.

**A Ma Très Chère Sœur « Nahla » :** Je ne peux exprimer à travers ses lignes tous mes sentiments d'amour envers toi. Merci pour la joie que tu me procures et merci infiniment pour ton aide. Je te souhaite la réussite dans ta vie, avec tout le bonheur qu'il faut pour te combler. Puisse l'amour et la fraternité nous unissent à jamais.

**A Toute La Famille KISSAR : Je Cite En Particulier :**

Mes Chers Oncles : KAMEL, ALI, SALAH (Avec toute mon estime, affection et respect je vous souhaite une longue vie : Je vous aime beaucoup) ; Ma Tante ; ainsi que Mes Cousins & Mes Cousines.

**A Toute La Famille Mamiche :** Je Cite En Particulier : Ma Grand Mère & Mon Grand Père. Que Dieu vous préserve santé et longue vie.

**A Mes Chères Amies :** Imene, Meriem, Jiji, Chahra, Khadija, Dihia, Sara : En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble je vous dédie ce travail.

**KISSAR Selma**

# SOMMAIRE :

<b>Introduction</b> .....	1
---------------------------	---

## **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

I.1 La vulnérabilité :.....	3
I.1.1. La définition de la vulnérabilité :.....	3
I.1.2. Les différents types de la vulnérabilité .....	3
I.1.2.a. La vulnérabilité spécifique.....	3
I.1.2.b. La vulnérabilité intrinsèque.....	3
I.2.La pollution .....	4
I.2.1.Définition de la pollution.....	4
I.2.2.Les types de pollution .....	4
I.2.2.a. La pollution de l'eau .....	4
I.2.2.b. La pollution du sol .....	4
I.2.2.c. Pollution de l'atmosphère .....	4
I.2.3.Les risques de la pollution.....	5
I.3. Bassin versant :.....	7
I.3.1.Définition :.....	7
I.3.2.Les types de bassin versant :.....	7

## **Chapitre II : Matérielles et méthodes**

II .1 Présentation de la zone d'étude .....	8
II.2. La population de zone de Boulimat.....	9
II.3.La Flore et la Faune de la région de Boulimat .....	10
II.3.1.La flore .....	10
II.3.2.La faune.....	11
II.4.Les caractéristiques morpho-métriques du bassin versant de boulimat....	12
II.4.1.Réseaux hydrographique.....	12
II.4.2.Pédologie :.....	15
II.4.3.Géologie :.....	16
II.4.4. Hydrogéologie :.....	17
II.5.Climatologie : .....	17
II.5.1. La pluviométrie :.....	18
II.5.2.Température.....	19
II.5.3. Humidité :.....	20
II.5.4. Le vent :.....	21
II.6. Diagramme Ombrothermique :.....	22
II.7. Approche du bilan hydrique :.....	23
II.8.Les logiciels :.....	27
II.9.Les matérielles utilisées pour la réalisation de notre travail :.....	29

II.10.Présentation du lieu de stage.....	32
II.11.Les méthodes utilisées dans la vulnérabilité des eaux souterraine.....	33
II.11.1.Méthode DRASTIC :.....	33
II.11.2.Méthode SINTACS :.....	37

### **Chapitre III : Résultats et Discussions**

III.1. Interprétations des paramètres et réalisation des cartes thématiques de la méthode DRASTIC. ....	44
---	----

III.1.1.Paramètre de profondeur de la nappe « D ».....	44
III.1.2.Paramètre de la recharge nette « R » .....	45
III.1.3.Paramètre de la nature des aquifères « A » .....	46
III.1.4.Paramètre type du sol « S » .....	47
III.1.5.Paramètre topographique « T » .....	48
III.1.6.Paramètre de la zone non saturée « I ».....	49
III.1.7.Paramètre de conductivité «C» .....	50

III.2.Interprétations des paramètres et réalisation des cartes thématiques de la méthode SINTACS.....	51
---	----

III.2.1 Paramètre profondeur des nappes « S ».....	51
III.2.2 Paramètre d’Infiltration « I ».....	52
III.2.3 Paramètre de zone non saturée « N ».....	53
III.2.4 Paramètre de Texture de sol « T ».....	54
III.2.5 Paramètre de Type d’aquifère « A ».....	55
III.2.6 Paramètre de la Conductivité « C ».....	56
III.2.7 Paramètre Topographie « S ».....	57

III.3.La vulnérabilité de la méthode DRASTIC et SINTACS :.....	58
III.3.1.La carte de vulnérabilité de DRASTIC :.....	58
III.3.2.La vulnérabilité de la méthode SINTACS : .....	60
III.4.Comparaison de la vulnérabilité de deux méthodes :.....	60
III.5. Résultats et Discussions :.....	62
III.5.1.Les coordonnées des points d'eaux :.....	62
III.5.2.Les paramètres physiques réalisés durant la sortie :.....	63
III.5.2.1. Discussions des résultats des paramètres physiques :.....	64
III.5.3. Résultats des paramètres hydrochimie :.....	70
III.5.3.1.Discussions des résultats :.....	70
III.5.4. Les résultats du spectromètre d'absorption atomique en flamme ...	73
III.5.4.1.dosages des métaux lourds :.....	73
III.5.4.2.Discussions des résultats :.....	75
III.6.La Carte de risque :.....	77
III.6.1.Les sources de pollution.....	77

## Liste des tableaux :

<b>Tableau N° I</b> : Nombre d'habitants dans la région d'étude.....	09
<b>Tableau N° II</b> : Différents végétaux de la région de Boulimate.....	10
<b>Tableau N° III</b> : les moyennes mensuelles interannuelles des précipitations en millimètre (mm) de la région de Bejaia de 2008 à 2017.....	18
<b>Tableau N° IV</b> : Températures moyennes mensuelles interannuelles en degrés Celsius de la région de Bejaia de la période 1978-2015.....	19
<b>Tableau N° V</b> : Variations de l'humidité mensuelle de la station de Bejaia.....	20
<b>Tableau N° VI</b> : Les moyennes mensuelles du vent pour la région de Bejaia.....	21
<b>Tableau N° VII</b> : Le diagramme ombrothermique.....	23
<b>Tableau N° VIII</b> : Bilan hydrique selon la méthode de Thorntwaite de la région de Bejaia (1996- 2017).....	27
<b>Tableaux N° IX</b> : Des cotations accordées aux paramètres de la méthode DRASTIC.....	37
<b>Tableau N° X</b> : Facteurs de pondération.....	36
<b>Tableau XI</b> : Indices de degré de vulnérabilité.....	37
<b>Tableau XII</b> : Poids attribués aux paramètres SINTACS dans les différents scénarios de la méthode.....	39
<b>Tableau XIII</b> : Paramètre de la profondeur « S ».....	39
<b>Tableau XIV</b> : Paramètre de l'infiltration «I ».....	40
<b>Tableau XV</b> : Paramètre de zone saturée « N ».....	40
<b>Tableau XVI</b> : Paramètre de la texture de sol « T ».....	41
<b>Tableau XVII</b> : Paramètre de type d'aquifère « A ».....	41
<b>Tableau XVIII</b> : Paramètre de la conductivité hydrique « C ».....	42

<b>Tableau XIX</b> : Paramètre de topographie du sol « S » .....	42
<b>Tableau XX</b> .Catégories de vulnérabilité.....	43
<b>Tableau XXI</b> : Indice de la profondeur. ....	44
<b>Tableau XXII</b> : Indice de la recharge nette. ....	45
<b>Tableau XXIII</b> : Indice de la nature des aquifères. ....	46
<b>Tableau XXIV</b> : Indice de type de sol. ....	47
<b>Tableau XXV</b> : Indice de la topographie. ....	48
<b>Tableau XXVI</b> : Indice de la zone non saturée de Boulimate. ....	49
<b>Tableau N° XXVII</b> : Indice de la conductivité. ....	50
<b>Tableau N° XXVIII</b> : L'indice partiel du paramètre « S » .....	51
<b>Tableau N° XXIX</b> : L'indice partiel du paramètre « I » : .....	52
<b>Tableau N° XXX</b> : L'indice partiel du paramètre « N » : .....	53
<b>Tableau N° XXXI</b> : L'indice partiel de paramètre« T » .....	54
<b>Tableau N° XXXII</b> : L'indice partiel du paramètre « A » .....	55
<b>Tableau XXXIII</b> : L'indice partiel du paramètre « C » .....	56
<b>Tableau XXXIV</b> : L'indice partiel du paramètre « S » .....	57
<b>Tableau XXXV</b> : La surface des zones vulnérables.....	60
<b>Tableau N° XXXVI</b> : les coordonnées des points d'eaux : .....	62
<b>Tableau N° XXXVII</b> : Les paramètres physico-chimie réalisée par le multi paramètre : ....	63
<b>Tableau N° XXXVIII</b> : Les résultats des paramètres hydrochimie : .....	70
<b>Tableau N° XXXIX</b> : Résultats de la Spectrophotomètre Absorption Atomique.....	73
<b>Tableau N° XXXX</b> : Résultats de la concentration et l'absorption du cadmium.....	73
<b>Tableau N° XXXXI</b> : Résultats de la concentration du plomb : .....	74
<b>Tableau N°XXXXII</b> : Résultats de la concentration et l'absorption du Zinc : .....	75

## Liste des figures :

<b>Figure N°01</b> : La Représentation schématiques des processus influençant les comportements et le devenir des polluants dans les sols.....	06
<b>Figure N° 02</b> : Schéma explicative d'un bassin versant +réseau hydrographique.....	07
<b>Figure N° 3</b> : Situation géographique de la zone d'étude. ....	08
<b>Figure N°4</b> : Nombre d'habitat de la région d'étude.....	09
<b>Figure N° 05</b> : Faune de la région de Boulimate .....	11
<b>Figure N°06</b> : Les deux sous bassins versant. ....	13
<b>Figure N°07</b> : Carte des types des sols du bassin versant.....	15
<b>Figure N° 08</b> : Carte géologique de la région de Boulimat.....	16
<b>Figure N° 09</b> : Carte du réseau hydrographique. ....	17
<b>Figure N°10</b> : Variation de la précipitation de la station de Bejaia (2008-2017) .....	18
<b>Figure N°11</b> : Variation de la température annuelle de la station de Bejaia.....	20
<b>Figure N° 12</b> : Variation de l'humidité de la station de Bejaia (2008-2017). ....	21
<b>Figure N° 13</b> : Variation de la vitesse de vent de la région de Bejaia .....	22
<b>Figure N°14</b> : Diagramme Ombrothermique. ....	23
<b>Figure N°15</b> : Interface de commande du logiciel Diagrammes.....	29
<b>Figure N° 16</b> : matérielle utilisées durant la sortie sur le terrain. ....	30
<b>Figure N° 17</b> : Le spectromètre d'absorption atomique en flamme (AA6501F/SHIMADZU - Laboratoire Génie des procédés, Université de Bejaia).....	30
<b>Figure N°18</b> : Matérielles utilisées dans l'ADE.....	31
<b>Figure N° 19</b> : Organigramme du siège de l'ADE unité de Bejaia. ....	32
<b>Figure N° 20</b> : Carte de l'indice de profondeur. ....	44
<b>Figure N° 21</b> : Carte du paramètre recharge nette. ....	45
<b>Figure N° 22</b> : Carte de l'indice d'aquifère. ....	46
<b>Figure N°23</b> : Carte de paramètre de la nature du sol. ....	47
<b>Figure N°24</b> : Carte de l'indice de la topographie. ....	48

<b>Figure N°25</b> : Carte de l'indice de la zone non saturée. ....	49
<b>Figure N°26</b> : Carte de l'indice de conductivité.....	50
<b>Figure N°27</b> : Carte du Paramètre profondeur des nappes « S » .....	51
<b>Figure N°28</b> : Carte du Paramètre d'Infiltration « I » .....	52
<b>Figure N°29</b> : Carte du Paramètre de zone non saturée « N » .....	53
<b>Figure N° 30</b> : Carte du Paramètre de Texture de sol « T » .....	54
<b>Figure N° 31</b> : Carte du Paramètre de Type d'aquifère « A ».....	55
<b>Figure N° 32</b> : Carte du Paramètre de la Conductivité « C » .....	56
<b>Figure N°33</b> : Carte du Paramètre de la Topographie « S ». ....	57
<b>Figure N°34</b> : Carte de vulnérabilité à la pollution de Boulimate par la méthode DRASTIC.....	58
<b>Figure N°35</b> : Carte de vulnérabilité à la pollution de Boulimate Par la méthode SINTACS.....	60
<b>Figure N°36</b> : la température des eaux de la zone de Boulimate .....	64
<b>Figure N°37</b> : le potentiel hydrogène des eaux de la zone de Boulimate. ....	65
<b>Figure N°38</b> : La conductivité des eaux de la région Boulimate. ....	66
<b>Figure N°39</b> : La teneur en sels dessous des eaux de la région Boulimate. ....	67
<b>Figure N°40</b> : La Salinité des eaux de la région Boulimate. ....	68
<b>Figure N°41</b> : Oxyde Redox Potentielle (ORP) des eaux de la région Boulimate. ....	68
<b>Figure N°42</b> : L'oxygène dessous (%) des eaux de la région Boulimate.....	69
<b>Figure N°43</b> : L'oxygène dessous (mg/l) des eaux de la région Boulimate. ....	69
<b>Figure N°44</b> : Diagramme de Piper des analyses hydrochimie des eaux souterraines.....	72
<b>Figure N° 45</b> : Diagramme de Wilcox des analyses hydrochimie des eaux souterraines.....	72
<b>Figure N°46</b> : la concentration du cadmium dans la région Boulimate.....	73
<b>Figure N°47</b> : la concentration du plomb dans la région Boulimate. ....	74
<b>Figure N°48</b> : la concentration du Zinc dans la région de Boulimate. ....	75
<b>Figure N°49</b> : la décharge publique au niveau de Boulimate. ....	78
<b>Figure N°50</b> : La Carte de risque de la région Boulimate. ....	78



## Liste d'abréviation :

**A** : Nature d'aquifère

**ADE** : Algérienne Des Eaux.

**C** : Degrés Celsius.

**C** : Conductivité hydraulique

**CND** : Conductivité.

**D** : Profondeur de la nappe

**ETP** : Evapotranspiration Potentielle

**ETR** : Evapotranspiration Réel

**Ex** : Excédent

**H** : Humidité

**I** : Impact de la zone non saturé

**Km** : Kilomètre

**M** : Mètre

**Mm** : Millimètre

**MNT** : Modèle Numérique de Terrain

**OMS** : Organisation mondiale de la santé.

**P** : Précipitation

**pH** : Potentiel Hydrogène.

**R** : Recharge nette

**RFU** : Réserve Facilement Utilisable

**R** : Ruissellement

**S** : Type de sol

**T** : Température

**TA** : Titre alcalimétrique simple.

**TAC** : Titre alcalimétrique complet.

**TDS** : teneur en sels dissous.

**TH** : Titre hydrotimétrique.

**V** : Vent

**VAR** : Variation

**ZNS** : Zone Non Saturée.

**ZS** : Zone Saturée

## **INTRODUCTION**

Les eaux souterraines sont considérées comme l'une des sources les plus importantes, pour l'approvisionnement en eau potable du fait de leur grande capacité d'être stocké ainsi que de leur faible exposition aux polluants contrairement aux eaux de surface .Les eaux souterraines subit une pollution multiforme qui fragilise le milieu. Essentiellement alimentées par les eaux de surface mais également par l'infiltration des eaux des oueds traversant le bassin et communiquant en permanence avec la nappe alluviale. Les ressources en eaux souterraines sont de plus en plus sollicitées pour couvrir les besoins en eau qui ne cesse de croitre dans les domaines industriels, agricole et alimentation en eau potable. **(Margat, 2008)**

Les problèmes liés à la pollution des eaux souterraines constituent actuellement une source d'inquiétude qui requiert un intérêt universel. Ces eaux sont menacées par certaines sources de pollution provenant des activités anthropiques, agricoles, des décharges publiques incontrôlées, les systèmes d'assainissement non contrôlés, les eaux usées et industrielles. La pollution générée par les activités anthropiques atteint des niveaux critiques et présente un danger grave pour la santé publique ce qui s'appelle le risque.

De ce fait, une bonne gestion de la qualité des eaux souterraines paraît nécessaire pour conserver ces ressources. Ainsi, l'élaboration des cartes de vulnérabilité et de sensibilité des aquifères a la pollution s'impose ces dernières décennies vu leurs utilisation dans la gestion, la prévention et la protection des eaux souterraines. **(Amharref et al.,2007)**

Pour la sauvegarde de ces ressources, il est nécessaire de prévoir des moyens de protection. Face aux difficultés liées aux techniques de dépollution et au coût de celles-ci, la protection impose en premier lieu des mesures préventives. Celles-ci passent par la cartographie des zones de l'aquifère susceptibles d'être atteintes par des polluants que l'on qualifiera de vulnérables.

La notion de vulnérabilité des eaux souterraines a été initialement introduite par Margat dans les années soixante (Margat 1968 ; Albinet et Margat 1970). Et elle est retenue par le Comité National Français des Sciences Hydrologiques comme un terme introduit par un défaut de protection ou de défense naturelle de l'eau souterraine contre des menaces de pollution, en fonction des conditions hydrogéologiques locales.

Vu la complexité des mécanismes régissant le transfert d'un polluant, la multitude et la variabilité des facteurs mis en cause, diverses approches ont été proposées. Certains auteurs ont défini la vulnérabilité comme étant une propriété intrinsèque des aquifères. D'autres estiment qu'elle est liée aux propriétés spécifiques du contaminant. Cependant, d'autres auteurs l'associent aux activités humaines et à la nature des sols. (**Gogu et Dassargues 1998 ; Lallemand-barres 1994 ; Vrba et Zaporozec 1994**).

Plusieurs études ont été faites au niveau international :(Margat 1968 ; Albinet 1970 ; Castany 1982 ; Aller et al.1987 ; Suais et Durbar 1993 ; Lallemand et Barrès 1994 ; Vrba et Zaporozec 1994; Bézélgues et al.2002 ; Murat et all .2003 ; Kouam et al .2007). Et au niveau national:( Kherici et al. 2004 ; Chaffai et al .2006 ; Khemmoudj 2009; Charikh 2015 ; Bouguetit et Benhamida2015 ;

Et au niveau local: (Derguini et Adrar 2004 ; Bedhouche et Barkani 2005 ; Djellout et Djellas 2006 ; Ait Hmoudi 2010 ; Belkebir et Debbou 2015 ; Ben Hamiche 2015 ; Djadi et Traore 2016).

Pour définir une stratégie d'adaptation, il est nécessaire de comprendre non seulement les impacts potentiels sur les ressources et leurs usages, mais aussi d'analyser les facteurs de vulnérabilité des territoires. L'étude de vulnérabilité permet d'identifier les points de vigilance sur un territoire donné et met en avant des territoires où il devient urgent de mettre en œuvre des mesures de gestion favorisant l'adaptation au changement climatique.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraine des aquifères de la région. Plusieurs méthodes ont été développées pour l'évaluation de la vulnérabilité des aquifères. Il s'agit des méthodes DRASTIC, GOD, SINTACS, SI (citez les auteurs qui ont utilisé ces méthodes). Cependant, pour une meilleure appréciation de cette vulnérabilité, deux méthodes seront adoptées au cours de notre étude pour attester de la robustesse des résultats obtenus et apprécier celle qui est la mieux adaptée aux aquifères. Ces résultats feront l'objet d'une validation par la comparaison de la méthode DRASTIC et SINTACS.

# **CHAPITRE I :**

## **Synthèse bibliographie**

## **I.1 La vulnérabilité :**

### **I.1.1 définition de la vulnérabilité :**

La vulnérabilité en étymologie désigne la blessure (du latin vulnerare = blesser). C'est à la fois le dommage subi par un système et la propension du système à subir ce dommage. (Fabre ,2013). Dans le domaine hydrogéologique elle est considérée comme : « un défaut de protection ou de défense naturelle de l'eau souterraine contre des menaces de pollution, en fonction des conditions hydrogéologiques locales ». (Comité National Français des Sciences Hydrologiques).

La vulnérabilité est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution .elle décrit la vitesse de propagation d'un polluant vers et dans la nappe d'eau souterraine et caractérise la capacité de «protection» d'une nappe vis-à-vis d'une pollution. (Allier et al .,2008). La vulnérabilité c'est le croisement entre l'**exposition** et la **sensibilité** au changement climatique.

**I.1.2. Les différents types de la vulnérabilité :** On distingue deux types de vulnérabilités de l'eau :

#### **I.1.2.a. La vulnérabilité spécifique :**

C'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. (Schnebelen et al ,2002), Se rapporte aux propriétés hydrogéologiques et à la nature des contaminants potentiels Pouvant modifier la qualité de l'eau souterraine et prendre en compte les propriétés des Polluants et leurs relations avec divers composants de la vulnérabilité intrinsèque. (Cloutier et al., 2001).

#### **I.1.2.b. La vulnérabilité intrinsèque :**

Elle fait référence aux particularités hydrogéologiques de l'aquifère qui donne au milieu naturel des caractéristiques déterminant la sensibilité des eaux souterraines à la pollution anthropique. (Schnebelen et al ., 2002).elle est définie dans ce travail comme la prédisposition à une nappe d'eau souterraine (en partie ou en totalité) à être facilement contaminée ou non par une pollution de surface. Elle est liée principalement à la nature du sol et du sous-sol : couverture argileuse en surface, profondeur et circulation des eaux souterraines, caractéristiques de l'aquifère, importance de l'infiltration par rapport au ruissellement. Douez et Touret (2009).

## **I.2.La pollution :**

### **I.2.1.Définition de la pollution :**

Le terme « pollution » peut être défini par la modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, à travers des effets directs ou indirects des niveaux de radiation, de la constitution physicochimique Du milieu naturel, et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou à travers des ressources agricoles, en eau et autre produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives des milieux ou encore en enlaidissant la nature. **(Koller,2004)**

### **I.2.2.Les types de pollution :**

#### **I.2.2.a.La pollution de l'eau :**

On parle d'une eau polluée lorsque elle perd au moins une des fonctions ou un de ses Usages et elle devient impropre à la consommation, elle présente un danger pour la santé et L'environnement d'une manière générale. Le degré de pollution est apprécié par la mesure De l'écart entre le «bruit de fond » qu'est la teneur en substances minérales dissoutes D'origine naturelle (géologique) caractérisant les eaux souterraines et leurs caractéristiques Physico-chimiques **(Mardhel,2001)**.

#### **I.2.2.b. La pollution du sol :**

On dit qu'un sol est pollué lorsqu'il contient une concentration anormale de composés chimiques potentiellement dangereux pour la santé, des plantes ou des animaux. La contamination se fait alors soit par voie digestive (consommation d'eau polluée par exemple), ou par voie respiratoire (poussières des sols pollués dans l'atmosphère). **(Rainelli ,1996)**.

#### **I.3.2.c. Pollution de l'atmosphère :**

La pollution atmosphérique signifie la présence d'une ou plusieurs substances indésirables dans l'air. Les polluants de l'air ont un impact négatif sur les hommes, les animaux et les plantes, et sur la qualité de l'air. **(Bicocchi, 1995)**.

### **I.2.3. Les risques de la pollution :**

#### **I.2.3.a. Risques pour la santé humaine :**

-De nombreux polluants rencontrés dans les sols et l'eau sont toxiques pour l'homme :

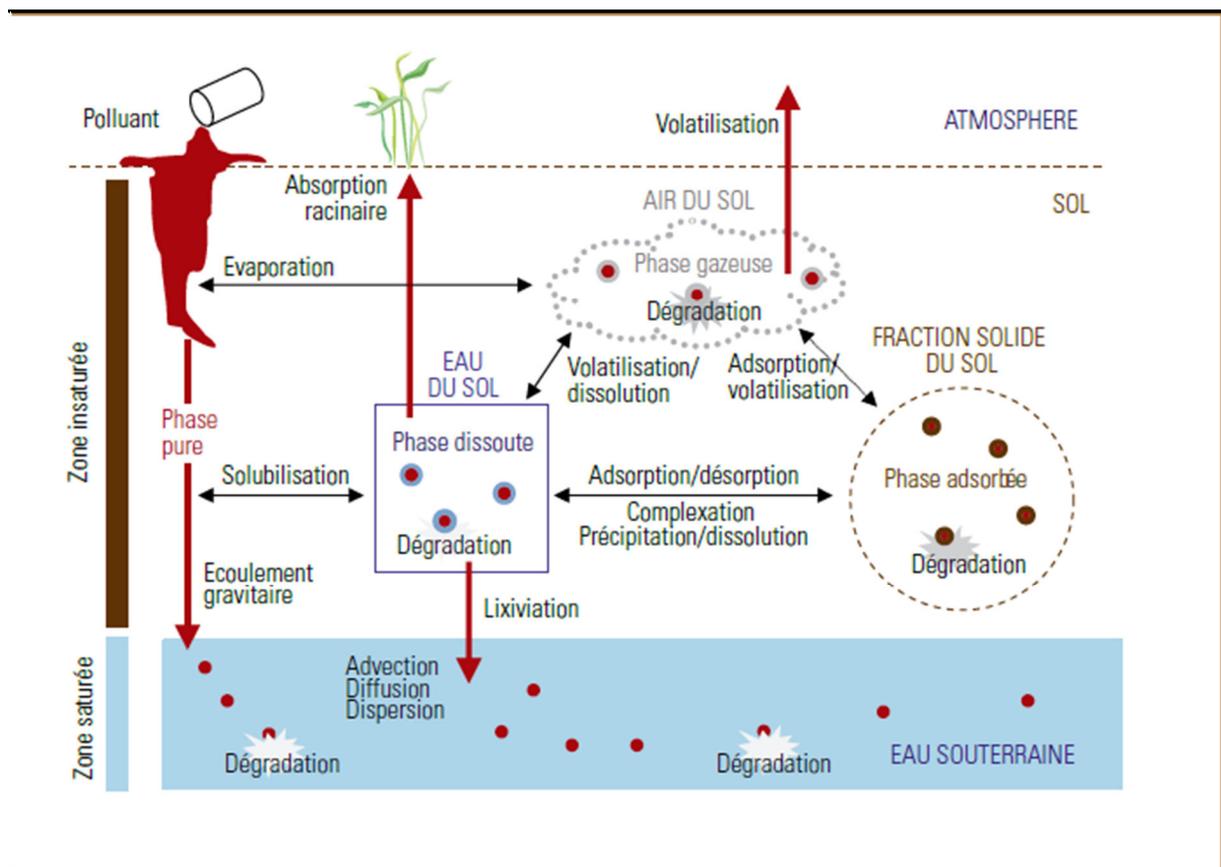
- Dysfonctionnement des surrénales, allergies, alopecies, anorexie, anxiété, malformations, Congénitales, timidité, lésions cérébrales, cataractes, paralysie cérébrale, manque de coordination, Mouvements saccadés, surdité, dépression.
- dermatite, découragement, étourdissements, somnolence, eczéma, troubles émotionnels, excès de salive, fatigue, saignements et douleurs de gencive, maux de tête(bande), perte d'audition, hyperactivité, hypothyroïdie, oubli, dysfonction immunitaire, insomnie, irritabilité,
- douleurs articulaires, dommages aux reins, perte de maîtrise de soi, perte de mémoire, retard mental, goût métallique goût, nervosité, dégénérescence des fibres nerveuses, engourdissements, douleurs dans les membres, éruptions cutanées, rétinite, schizophrénie, timidité, troubles de la parole, tendances suicidaires, picotements, tremblements (paupières, lèvres, langue, doigts, extrémités), perte de vision, faiblesse.

#### **I.2.3.b. Risques pour les ressources en eau :**

La présence de polluants dans les sols menace la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, ressources importantes. Le transfert des polluants vers les ressources en eaux est indissociable de l'écoulement du fluide qui les véhicule :

- L'eau d'infiltration (polluants solubles),
- L'eau de ruissellement (polluants solubles et polluants entraînés sous forme particulaire), ou une phase liquide non aqueuse (polluants organiques liquides immiscibles à l'eau).
- L'atteinte des ressources en eau souterraine dépend des facteurs cités ci-avant. Pour les polluants solubles, la migration avec les eaux d'infiltration dans la zone non saturée du profil s'accompagne généralement d'une atténuation de leurs concentrations, grâce notamment aux réactions de dégradation et de sorption sur les constituants du sol. Lorsqu'ils atteignent la nappe, leur concentration diminue encore par dilution. Pour les produits purs non solubles (hydrocarbures, huiles, solvants chlorés...), l'atteinte de la nappe dépend des caractéristiques du produit (densité, viscosité...) et de la porosité du sol.

**(Fig.1)**

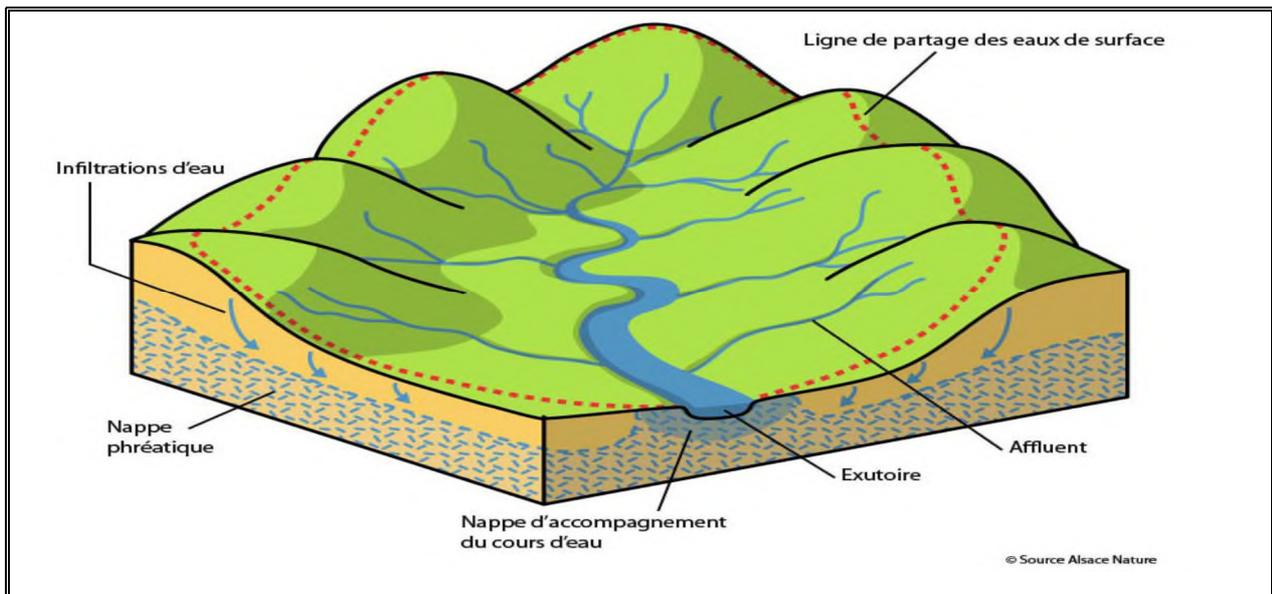


**Figure N°01** : La Représentation schématiques des processus influençant les comportements et le devenir des polluants dans les sols (SITEREM).

### I.3. Bassin versant :

#### I.3.1. Définition :

Le bassin versant (BV) ou le bassin hydrologique représente l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique. Il est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par un cours d'eau principale (Oued) et ses affluents. **(Bengmra, 2010)**



**Figure N° 02 :** Schéma explicative d'un bassin versant +réseau hydrographique **(Alsace Nature).**

#### I.3.2. Les types de bassin versant :

##### Le bassin Versant topographique :

Le bassin versant est une zone de relief dont les eaux de ruissellement de surface s'écoulent et se rassemblent vers un point unique appelé l'exutoire. **(Bengmra, 2010)**

La ligne de partage eaux de surface ne traverse aucun cours d'eau, sauf au niveau de l'exutoire. Généralement, elle correspond à la ligne de crête. **(Bengmra, 2010)**

##### Le bassin versant réel (phréatique ou hydrogéologique) :

Dans le cas d'une région où le sous-sol perméable, il se peut qu'une partie des eaux tombées à l'intérieur du bassin topographique s'infilte puis sorte souterrainement du bassin (ou à l'inverse les eaux entrent souterrainement dans le bassin). **(Bengamra, 2010).**

# **Chapitre II**

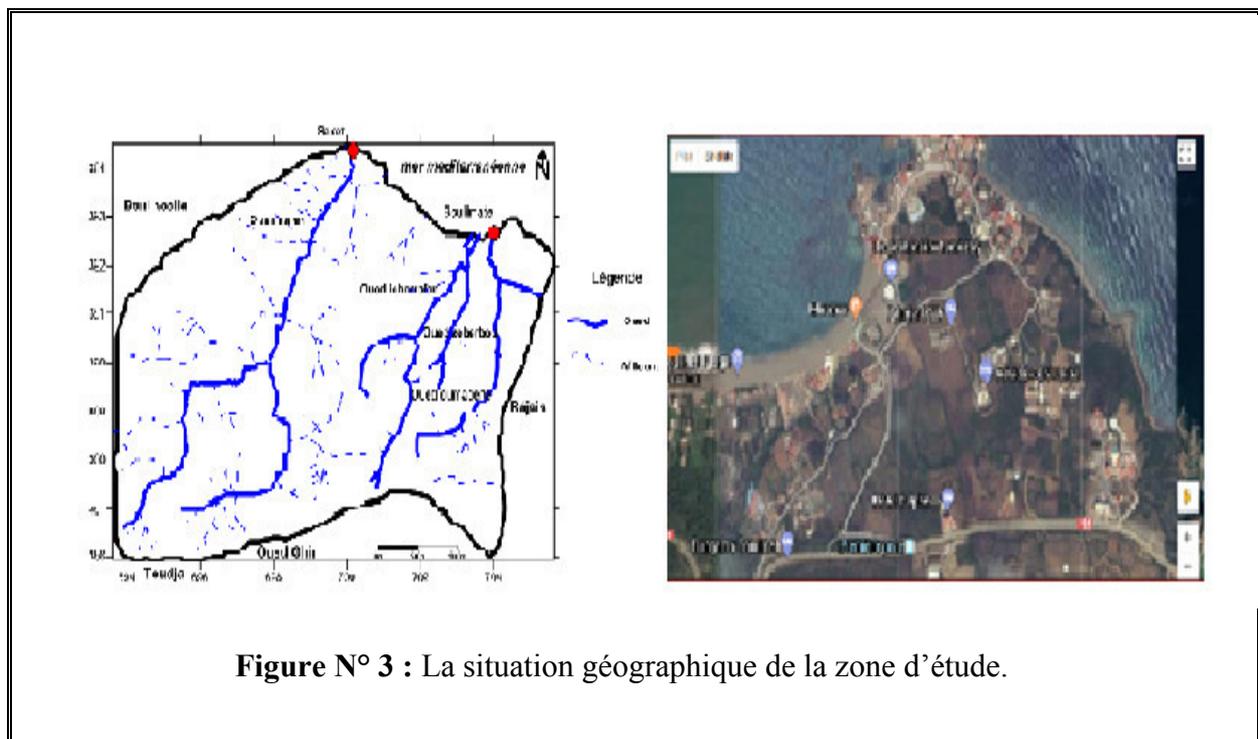
## ***Matériels et Méthodes***

## II .1 Présentation de la zone d'étude :

- Boulimat est un village touristique en Algérie, fait partie du parc national de Gouraya localisé dans la wilaya de Bejaia. Il compte une population d'environ 3000 habitants réguliers et près de 100 000 en saison estivale. Sa nature, ses plages, et ses eaux cristallines contribuent à son attrait. Au large de Boulimat se situe une île rocheuse appelée île des Pisans (**Anonyme, 2018**).
- Boulimat bénéficie d'une situation stratégique de la wilaya de Bejaia, directement connectée à la RN 24. Elle jouit d'une très bonne accessibilité. D'une renommée régionale. La plage de Boulimat achemine des flux important (**Anonyme, 2018**).

Limité au Nord par la mer Méditerranéenne, au Sud par Toudja et Oued Ghir,

A l'Est par Bejaia et à l'Ouest par Beni Kssila. **Fig N°3 :**

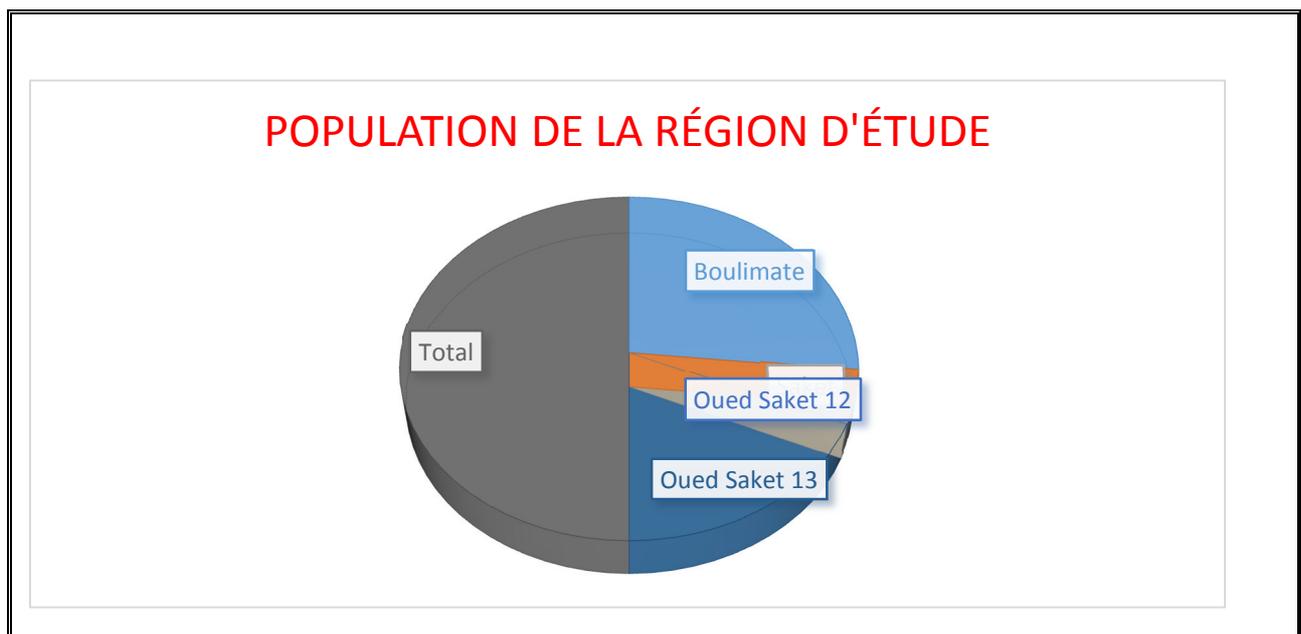


## II.2. La population de zone de Boulimat

La zone de Boulimat compte une population d'environ 3000 habitants réguliers et près de 100 000 en saison estivale. Sa nature sauvage et sa plage et ses eaux cristallines contribuent à son attrait. Boulimat est à environ 15 min de Bejaïa via la route nationale 24. Au large de Boulimat se situe une île rocheuse appelée île des Pisans.(Anonyme, 2018). (Tableau N°1 et Fig.4).

**Tableau N° I :** Nombre d'habitants dans la région d'étude. (RGPH, 2017.)

District	Total
Boulimat	32
Saket	06
Oued Saket 12	0
Oued Saket 13	22
Total	60



**Figure N°4** : nombre d'habitat de la région d'étude.

### II.3.La Flore et la Faune de la région de Boulimat :

#### II.3.1.La flore :

La végétation forestière comporte un certain nombre d'essences de premier ordre. Les feuillus sont plus nombreux que les résineux. Selon l'ordre proposé par Maire 1962, on peut trouver trois types de formations forestières. (Saidani , 2008).Tableau N° II.

**Tableau N° II.** Différents végétaux de la région deBoulimat (Amari et Bouchettout2008).

Famille	Nom scientifique	Nom commun
Fabaceae	<i>Calycotum spinosa</i>	Cytise épineux
	<i>Genista ferox</i>	Genêt
	<i>Genista tricuspidata</i>	Genêt à 3 points
Labiataeae	<i>Lavandula stoechas</i>	Lavande sauvage
Asteraceae	<i>Inula viscosa</i>	Inule visqueuse
	<i>Pallenis spinosa</i>	Astérolide épineux
Apiaceae	<i>Eryngium tricuspidatum</i>	Panicauts à trois épines
Rosacéae	<i>Rubus ulmifolius</i>	Ronce arbrisseau à feuilles d'arme
Lamiacéae	<i>Stachys hirta</i>	épiaire
Ericacéae	<i>Erica arborea</i>	Bruyère arborescente
Cistacéae	<i>Cistus monspeliensis</i>	Ciste de montpellier
Oléacées	<i>Olea europea</i>	Olivier sauvage
Myrtacéae	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Gommier de Camaldoli
		Gommier des rivières
Anacardiaceae	<i>Pistacia lentiscus</i>	Lentisque
Gramamioaceae	<i>Ampelodesmus mauritanica</i>	Diss

- Formation forestière d'arbres résineux (Gymnospermes) :
  - Le pin d'Alep (*Pinushalpensis*)
- Formation forestière d'Angiospermes à feuilles persistantes :
  - Chêne liège (*Quercus suberis*)
  - Olivier sauvage et lentisque (*Oleolentiscus*)

- Formation forestière d'Angiospermes à feuilles Caduques :
  - L'ormie-frêne (Ulmofraxinetum).
  - La peupleraie (Populetumalbae) ou (peuplier blanc).

### II.3.2.La faune :

- **Les oiseaux :** Moineau, Chardonneret, Rouge-gorge, Merle noir, Pigeon biset, Corbeau freux, Chouette hulotte, Cigogne, Grive musicienne. (moulai, 2006).
- **Les mammifères :** Chacal doré, Renard roux , Lapin de garenne, Hérisson, Mangouste, lapin de garenne, les cochons, les chiens et les chats.
- **Les reptiles :** Tortue mauresque, les serpents, Lézards.
- **Les amphibiens :** les grenouilles, Crapauds et Rainettes. ( Fig.5).



**Figure N° 05 :** la faune de la région de Boulimat (ANONYME 2017)

## II.4. Les caractéristiques morpho-métriques du bassin versant de boulimat :

### II.4.1. Réseaux hydrographique

Le réseau hydrographique du bassin versant est composé de deux Oueds

- Oued Djerba (Boulimat) dont l'écoulement est temporaire.
- Oued Saket dont l'écoulement est permanent.

Le réseau hydrographique se définit comme étant l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau Hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du BV. Elle peut prendre un multiple de forme. (Ann, 2016)

#### Densité du drainage

Elle représente la moyenne des longueurs des cours d'eau par unité de surface, cette Caractéristique reflète la dynamique du bassin versant, la stabilité du réseau Hydrographique et le type de ruissellement de surface.

La densité de drainage est donnée par la relation suivante :

$$Dd = \sum Lx / A$$

- **Dd** : Densité du drainage en km
- **Lx** : La longueur totale cumulée des cours d'eaux en Km.  $Lx = 37 \text{ Km}$
- **A** : Surface du bassin en  $\text{km}^2$

$$Dd = 0,55 \text{ Km} / \text{km}^2$$

#### Planimétrie du bassin versant de la région d'étude

Notre bassin couvre une surface de  $66,75 \text{ Km}^2$ . Dans cet ensemble, il est permis de reconnaître deux sous bassins qui sont : (Fig.06)

- Le sous bassin de Boulimat.
- Le sous bassin d'Oued Saket.

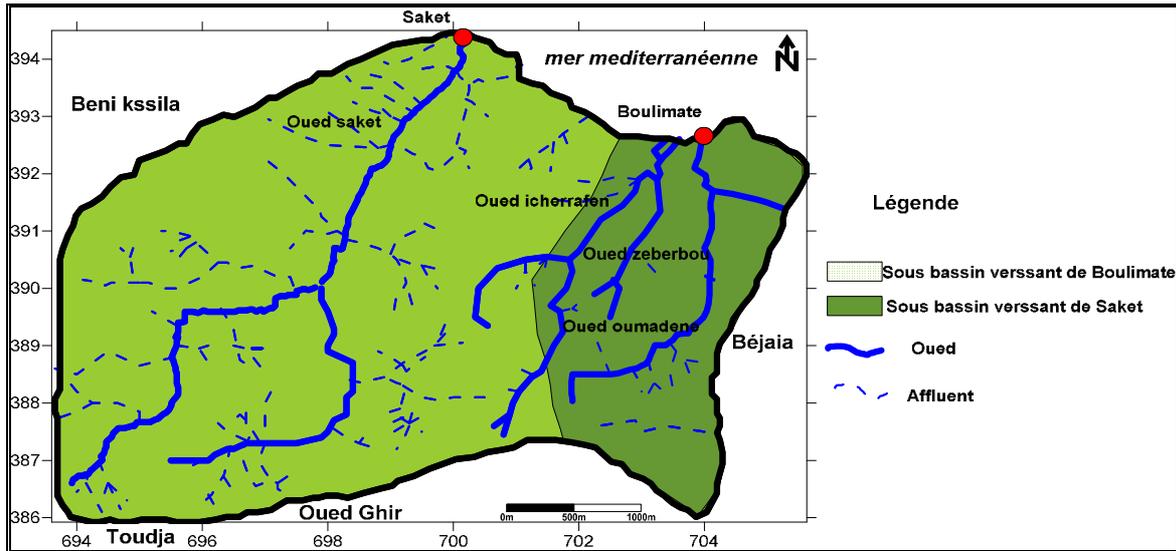


Figure N°06 : Les deux sous bassins versant.

➤ **Périmètre**

C'est la longueur exprimée généralement en Km, de la ligne de contour du bassinversant.

$$P = 34,25 \text{ Km}$$

➤ **L'Indice de Pente :**

La pente est un paramètre qui a une influence directe sur l'écoulement, elle intervient dans presque tous les modèles de débit et de vitesse d'écoulement applicable en hydraulique en général, et en hydrologie en particulier. La pente est donc une caractéristique fondamentale des bassins versants, son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente globale(Ig) donné par la relation suivante :

$$I_g = D/L$$

▪ **D** : Dénivelée simple est donnée par la différence entre les altitudes ayant 5% ET 95% de la surface du bassin:

$$D = H_{5\%} - H_{95\%}$$

$$\text{Donc } D = 470 - 150$$

$$D = 320$$

### L'indice de compacité de Gravelius :

La forme du bassin versant influe directement sur le temps de réponse à une averse quelconque. Un bassin versant allongé aura un temps de réponse plus long que celui d'un bassin versant ramassé ayant une même averse. **Chiter et Ait ouali (2000)**.

L'indice de compacité ( $K_c$ ) s'établit entre le rapport de périmètre du bassin versant ( $P$ ), à celui d'un cercle qui aurait la même surface  $A$  :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$A$  : La surface du bassin versant,  $A=66,75\text{Km}^2$ .

$P$  : Le périmètre du bassin versant,  $P=34,25\text{Km}$ .

$K_c=1,17$

L'indice de compacité est supérieur à 1, donc le bassin versant à une forme allongée.

### Le rectangle équivalent :

On calcule la longueur du rectangle équivalent par la formule suivante ( $L$ ) :

$$L = \sqrt{A} \frac{K_c}{1,12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right)$$

$L=9,17 \text{ Km}$ .

Avec :

$A$  : La surface du bassin versant.

$K_c$  : L'indice de compacité.

Le largeur de rectangle équivalent ( $l$ ) :

$$l = \sqrt{A} \frac{K_c}{1,12} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right)$$

$l=7,66 \text{ Km}$

### II.4.2.Pédologie :

Le sol a un impact sur la frange d'eau qui s'infiltré à travers le sol pour atteindre les ressources en eau souterraine elle est donc la migration verticale des polluants à travers la zone non saturée. Il influence ainsi le temps de migration des contaminants vers la nappe .Dans la zone, 2 types de sol ont été identifiés sur la base des observations faites sur le terrain.

Le sol agit de différentes manières sur le bassin versant.

- Le taux d'infiltration.
- la capacité de rétention.
- le coefficient de ruissellement est en effet étroitement corrélé avec le type de sol.

La région de Boulimate renferme trois types de sols qui sont :

- Un sol sableux tous le long du littorale.
- Un sol alluvionnaire tout le long des Oueds.
- Un sol sableux limoneux.

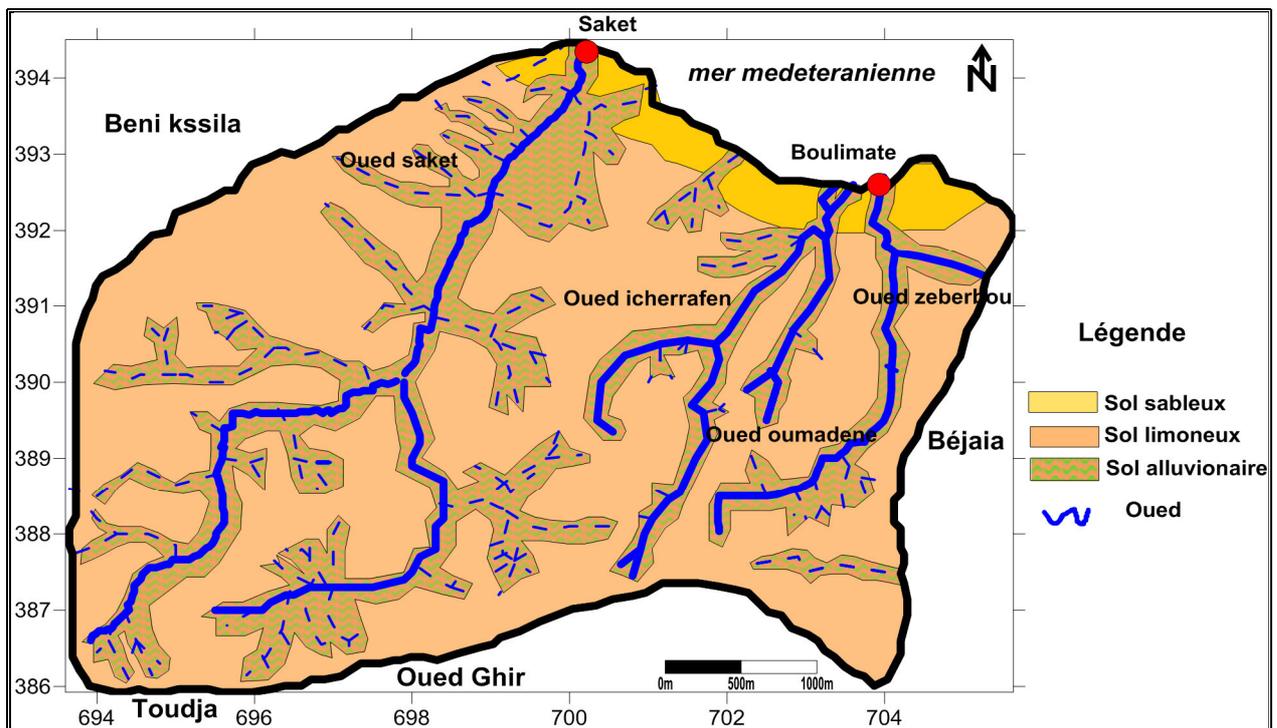


Figure N°07 : Carte des types des sols du bassin versant

### II.4.3.Géologie :

La géologie de la région de Boulimat est fournie par trois grands ensembles :  
 Les formations autochtones, les formations allochtones et le haut fond berbère.

- **Les formations autochtones :**

Sont caractérisé par la présence des alluvions tout le long des Oueds et les argiles des Miocènes.

- **Des formations allochtones :**

Les argiles et les grès de la nappe du flysch ainsi les conglomérats qui occupe la Quasi-totalité de terrain.

- **Le haut fond berbère :**

Il est caractérisé par la présence du grès et une alternance d'oligocène des facies de la chaine calcaire Jurassique et le socle des formations cristallophylliennes du paléozoïque.

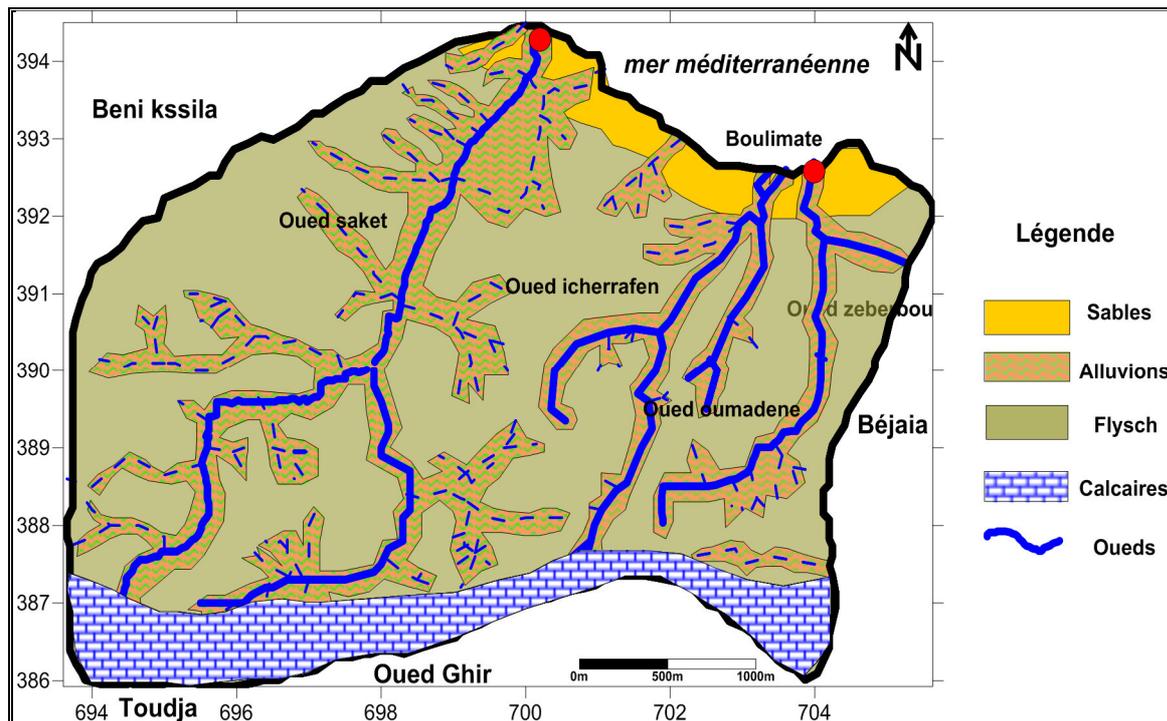


Figure N° 08 : Carte géologique de la région de Boulimat

#### II.4.4. Hydrogéologie :

Le bassin versant est caractérisé de trois aquifères :

- Des formations superficielles (les alluvions). Perméabilité  $K=10^{-3} \text{ m/s}$ .
- Aquifère du sable. Perméabilité  $K=10^{-3} \text{ m/s}$ .
- Aquifère des flysch (argile, grès et conglomérat). Perméabilité  $K=10^{-6} \text{ m/s}$ .
- Aquifère des calcaires : perméabilité  $k = 10^{-4}$

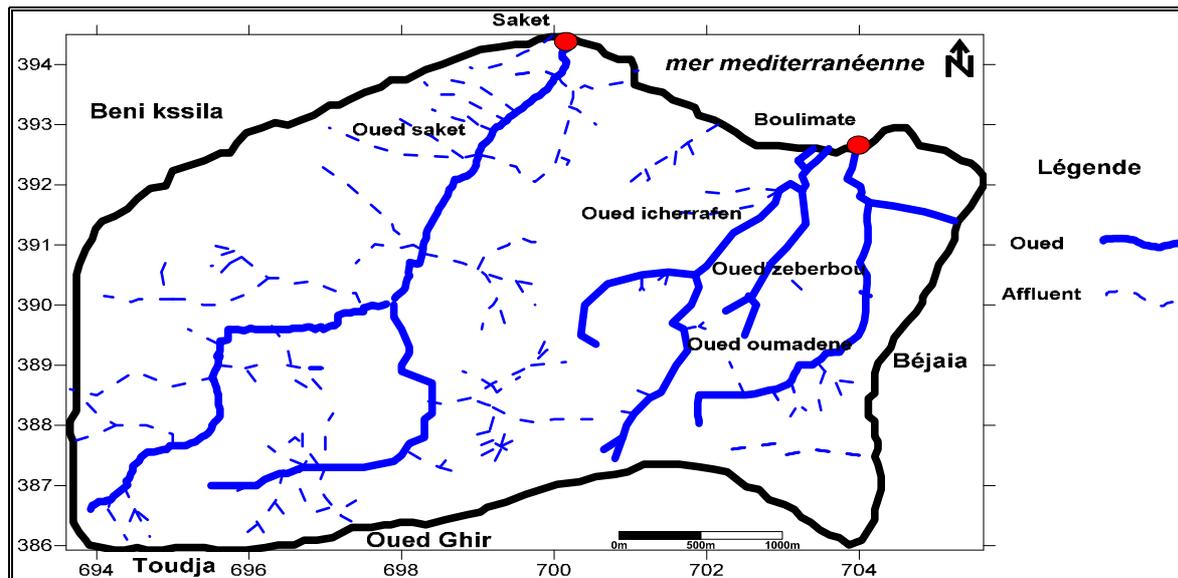


Figure N° 09 : Carte du réseau hydrographique.

#### II.5. Climatologie :

Le climat est un ensemble de conditions naturelles qui caractérisent l'atmosphère en un lieu donné. Parmi les facteurs climatiques qu'on peut distinguer, nous trouvons (**Ramade, 1984**) :

- Les facteurs énergétiques : lumière et température.
- Les facteurs hydrologiques : précipitations et hygrométrie.
- Les facteurs mécaniques : vent et neige.

Dans la région de Béjaïa, la zone littorale de Boulimat jouissent d'un climat pluvieux et doux en hiver, sec et chaud en été. Le climat des zones de montagnes est caractérisé par un été sec et chaud et un hiver pluvieux et froid. La température atteint parfois  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  et moins ce qui s'accompagne par la chute de neige. (**Ben Hamiche, 2015**) Dans cette étude, les données climatiques utilisées sont recueillies auprès de la station météorologique située à l'aéroport de Béjaïa. La période d'observation s'étale sur 10 ans (2008 à 2017).

**II.5.1.La pluviométrie :**

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

**Discutions du tableau N°III :**

-La moyenne annuelle des précipitations de la période 2008-2017 à Bejaia est de 65.67 mm ; cette même moyenne, calculée sur la période 2008 – 2017.

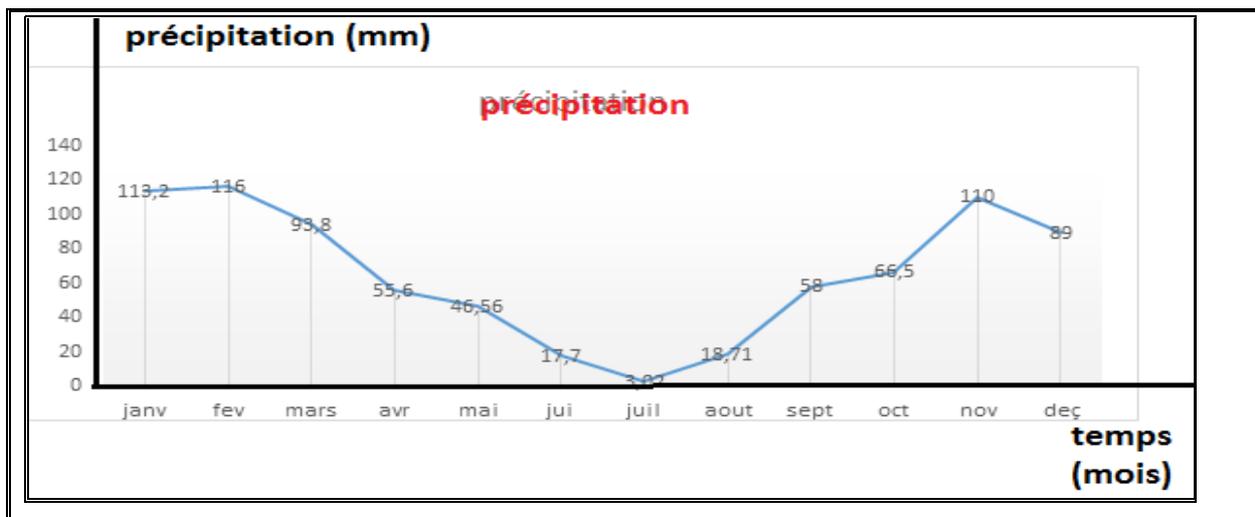
- Nous enregistrons une baisse de la pluviométrie de l'ordre dans le mois de juillet de mm par rapport à la première période de début de l'année le mois de janvier quelle à étais de 113.2 mm Cela dénote une diminution des apports en eau.

-Les maxims des précipitations moyennes mensuelles sont observés au mois de Novembre, janvier et février, mars avec respectivement.110, 113,116 et 93.8mm.

Par contre, pour l'année 2015, nous enregistrons 0 mm de pluie durant le mois de Décembre. Les précipitations diminuent fortement durant la période de juin à aout. La valeur minimale Est enregistrée au mois de juillet avec 5.8 mm. (Tableau N° III et Fig.10)

**Tableau N°III:** les moyennes mensuelles interannuelles des précipitations en millimètre (mm) de la région de Bejaia de 2008 à 2017 (source station météorologique de Bejaia-aéroport).

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



**Figure N°10 :** Variation de la précipitation de la station de Bejaia(2008-2017)

### II.5.2.Température :

La température est un facteur écologique limitant de première importance. Elle intervient, d'une part, dans l'étude hydro-climatique d'une région et d'autre part, (Drogue ,1971).

-elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait, la répartition des espèces animales et végétales (Ramade, 1984).

Tableau N°III : Températures moyennes mensuelles interannuelles en degrés Celsius de la région de Bejaia de la période 1978-2015 (source station météorologique de Bejaia-aéroport).

**Tableau N°IV:** Températures moyennes mensuelles interannuelles en degrés Celsius de la Région de Bejaia de la période 1978-2015 (source station météorologique de Bejaia-aéroport).

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T Max (C°)	17.2	17.2	19.1	21.3	23.6	27	30.2	30.9	28.6	26.3	21.7	18.3
T Min (C°)	7.6	7.6	9.1	11.2	14.2	17.9	21.2	21.6	19.5	16.5	12.1	8.4
(M+m)/2	11.5	11.5	14.1	16.25	18.9	22.45	25.7	26.25	24.05	21.4	16.9	13.35

- La température moyenne annuelle est de 18.52 °C
- La température maximale est 26.25
- La température minimale est 11.

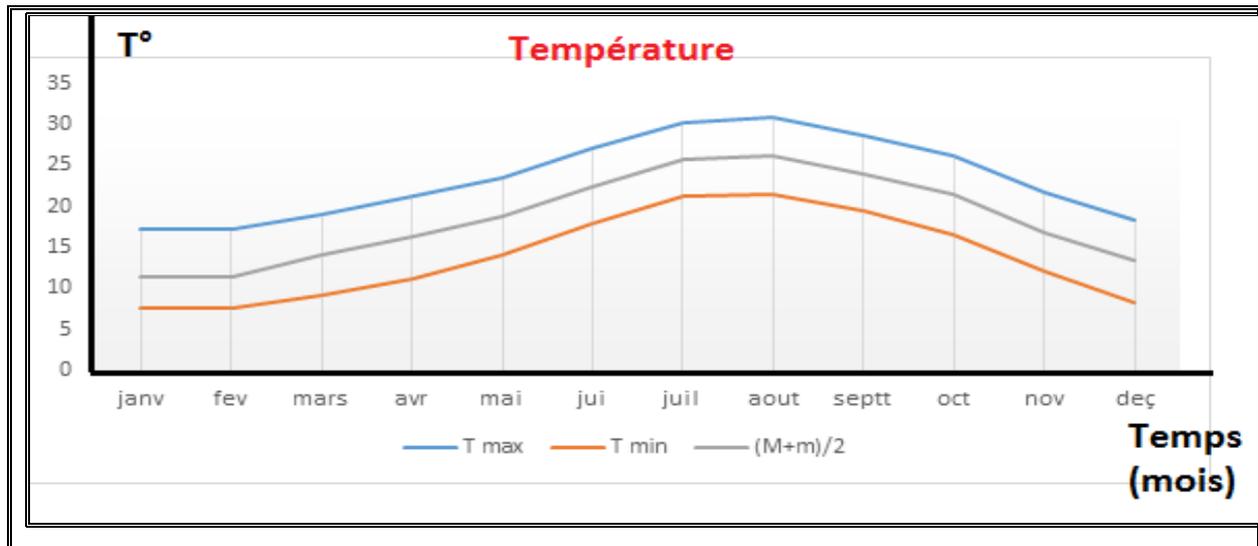


Figure N°11 : Variation de la température annuelle de la station de Bejaia (2008-2017)

### II.5.3.Humidité :

On appelle ainsi le contenu de l'air en vapeur d'eau exprimé sous forme d'une pression partielle. Le taux à saturation de vapeur d'eau dans l'air dépend essentiellement de la température. Il augmente quand la température augmente (Frantier, 2008).

Tableau N° V : Variations de l'humidité mensuelle de la station de Bejaia.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
H (%)	77.8	77.1	77.4	78.6	78.9	78.1	75.6	76.4	76.9	76.7	75	77.3

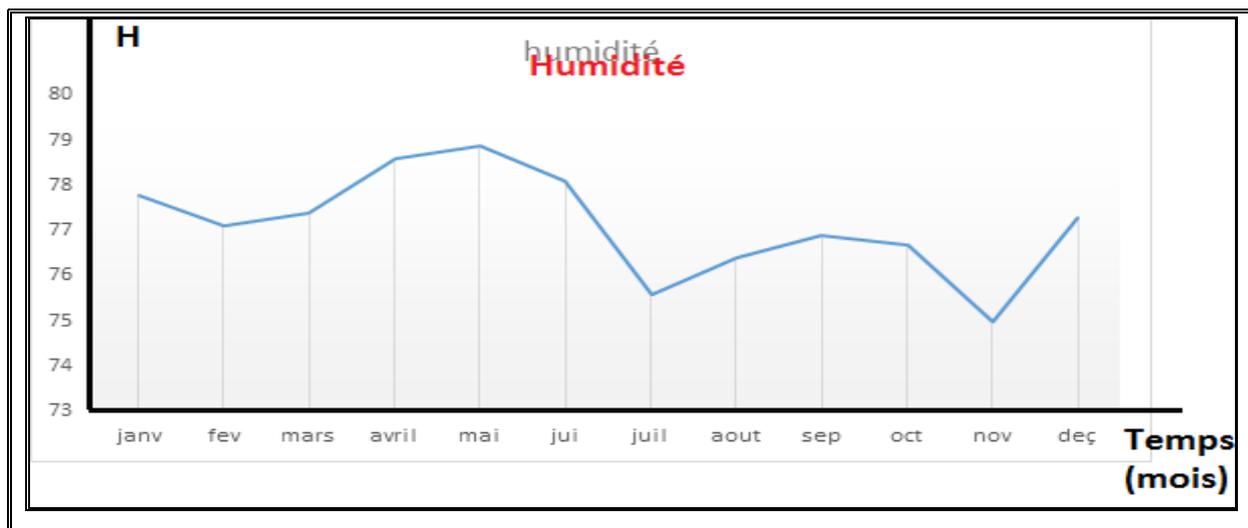


Figure N° 12: Variation de l’humidité de la station de Bejaia (2008-2017).

### II.5.4. Le vent :

Le vent correspond au déplacement d'une masse d'air consécutif à des différences locales de température et de pression. D'une légère brise à une forte tempête, la vitesse et l'amplitude géographique des vents peuvent être très variables dans l'espace et dans le temps. (Ben Hemmich, 2015). Parfois destructeur, le vent participe à de nombreux processus sur Terre, comme l'oxygénation des océans et des rivières, ou l'érosion des sols et le déplacement de minéraux. L'Homme l'utilise aujourd'hui comme source d'énergie : l'éolien.

Dans la région boulimat le vent atteint jusqu'à :

Le vent joue un rôle important dans le cycle de l'eau.

Les moyennes mensuelles des vitesses du vent de la région de Bejaia durant la période Entre 1996 – 2016 sont reportées dans le tableau VI et la figure N° 13.

Tableau N° VI : Les moyennes mensuelles du vent pour la région de Bejaia (2008-2016) (station ONM de Bejaia, 2017).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
V(m/s)	3.47	3.41	3.1	2.68	2.78	2.64	2.73	2.75	2.63	3.06	3.26	3.74

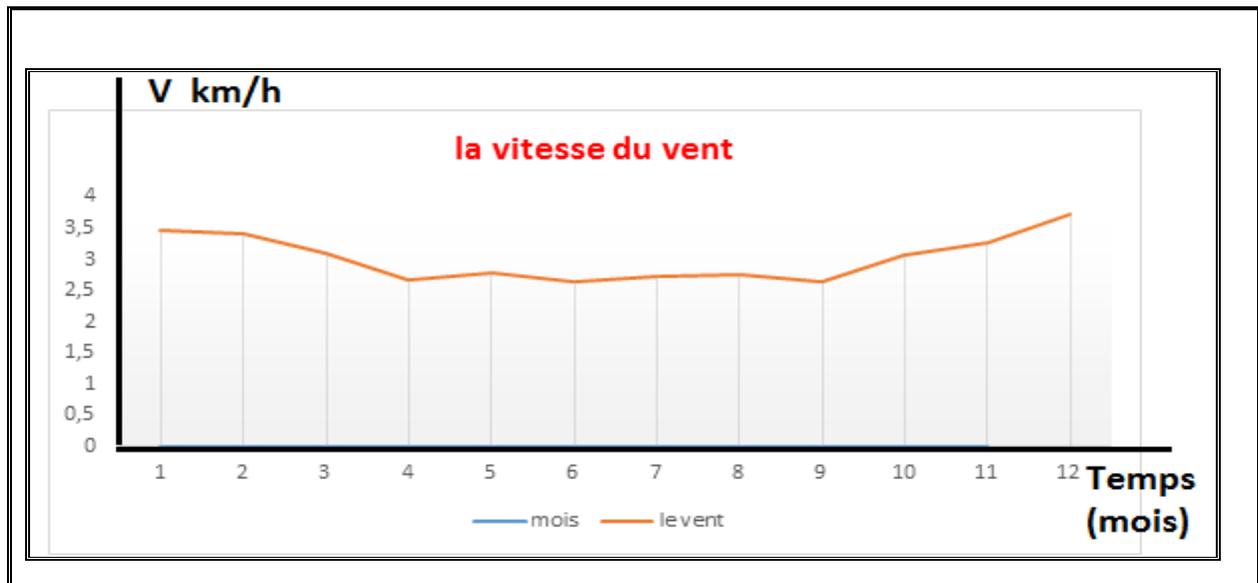


Figure N° 13: Variation de la vitesse de vent de la région de Bejaia (2008-2017)

## II.6. Diagramme Ombro-thermique :

D'après Bagnouls et Gaussen (1957) : Un mois est considéré comme sec lorsque le total des précipitations  $P$  exprimé en mm, est égal ou inférieur au double de la température moyenne  $T$  du mois, exprimée en degré centigrade. Partant de ce principe, la durée et l'importance de la période sèche peuvent être déterminées par le diagramme ombro-thermique proposé par ces deux auteurs (En respectant la relation  $P=2T$ ).

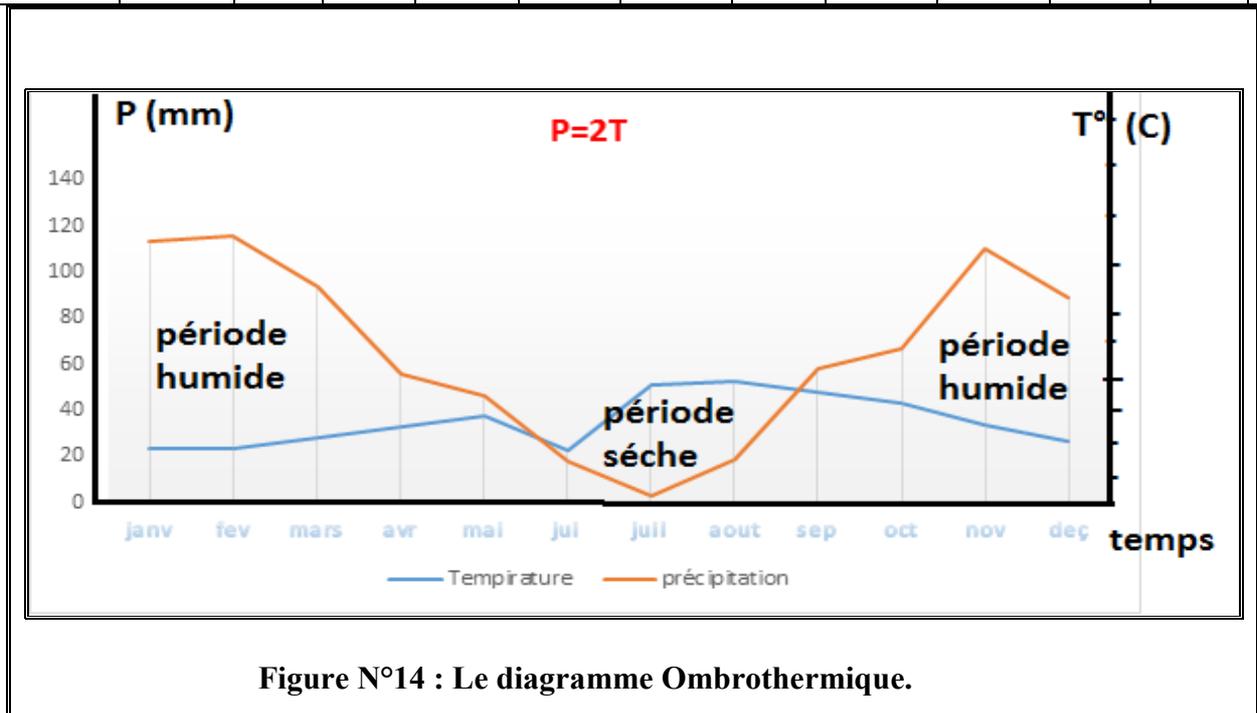
Le diagramme Ombro-thermique de la région de Bejaia durant la période 1996-2017 est présenté dans la figure 14.

À partir des données de température et précipitation le diagramme ombrothermique de Gaussen qui montre Tableau N° VII et Figure N° 14 :

- La période sèche situe entre la fin de mois juin et la fin de mois juillet
- La période humide situe entre le mois de Janvier jusqu'à la fin de mois Mai
- Et le début de mois Septembre jusqu'à décembre.

**Tableau N° VII :**Le diagramme ombrothermique :

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tmoy*2	23	23	28.2	32.5	37.8	22.45	51.4	52.5	48.1	42.8	33.8	26.7
P(mm)	113.2	116	93.8	55.6	46.56	17.7	3.02	18.71	58	66.5	110	89



**Figure N°14 : Le diagramme Ombrothermique.**

**II.7 .Approche du bilan hydrique :**

**ETP :** L'évapotranspiration potentielle est la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une surface d'eau libre ou par un couvert végétal dont l'alimentation en eau facteur limitant (Margat, 1996).

L'établissement du bilan hydrique d'une région consiste à évaluer la répartition des précipitations reçues sur une surface, entre les différentes composantes suivantes :

- Evapotranspiration réelle (ETR)
- Ruissellement (R)
- l'infiltration dans le sous-sol.

L'équation du bilan hydrique s'exprime par la relation :

$$P = ETR + R + I$$

- **P** : Précipitation moyenne annuelle en (mm),
- **R** : Ruissellement en (mm),
- **I** : Infiltration moyenne en (mm),
- **ETR** : Evapotranspiration réelle.

### Principe de calcul du bilan hydrologique :

- Si pour un mois  $P \geq ETP$  :

-  $ETP = ETR$

L'excédent ( $P - ETP$ ) est affecté en premier lieu à la RFU (si le sous-sol a un pouvoir D'infiltration élevée, 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  $P < ETP$  :

-  $P = ETR$

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.

### L'évapotranspiration réelle (ETR)

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, on utilise la méthode de C.W.Thornthwaite, Où on distingue deux principaux cas :

1. Si  $P - ETP > 0$ :  $P > ETP$ , dans ce cas  $ETR = ETP$ .
2. Si  $P - ETP < 0$ :  $P < ETP$ , ce cas est encore subdivisé en deux cas :
  2. a- Si  $P + RFU > ETP$   $ETR = ETP$ .
  2. b- Si  $P + RFU < ETP$   $ETR = P + RFU$ .

K : coefficient de correction qui dépend de la latitude du bassin et de la durée moyenne de l'ensoleillement.

En conséquence, en plus des précipitations et de l'écoulement qui sont mesurés aux stations climatologiques et hydrométriques, l'établissement du bilan hydrique nécessite aussi la connaissance du paramètre " évaporation", dont l'approche est plus complexe.

Quant au dernier membre de l'équation, l'infiltration efficace, difficile à estimer directement, il est déduit après la détermination des 3 autres.

Les précipitations et l'écoulement étant connus, nous donnons, ci- dessous, une approche de l'évapotranspiration potentielle et réelle, par méthodes empiriques.

#### Calcul de ruissellement :

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

$$R = 219,90 \text{ mm}$$

#### 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

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

$$I = 156,85 \text{ mm.}$$

-On a une précipitation annuelle de : 808,38 mm.

-On a un déficit agricole (Da) de : 463,19 mm.

-Une lame d'eau ruisselée de : 219,90 mm.

-Une lame d'eau infiltrée de : 156,85 mm.

R=219,90mm

I=156,85 mm.

### Calcul de l'évapotranspiration potentielle et réelle par la formule de Thornthwaite :

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par transpiration des êtres vivants et évaporation du sol et des surfaces d'eaux libres, si celui-ci contient en permanence la quantité d'eau suffisante, alors que l'évapotranspiration réelle (ETR) correspond à la quantité d'eau effectivement transpirée et évaporée.

### L'évapotranspiration potentielle (ETP)

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentiel selon GW.Thorntwaite (1944) tien compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle.

$$ETP=16(10T/I)^{a*}K$$

Avec :

- **ETP** : Evapotranspiration potentielle annuelle en mm,
- **T** : Température moyenne mensuelle en °C,
- **I**:Somme des indices thermiques mensuels i,  $I=\sum i$ .

Et  $i=(t/5)1.514$

- **K** : Facteur de correction mensuel, fonction de la durée de la journée,
- **a** : Exposant climatique :  $a=(1,6I/100)+0,5$ .

### Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU)

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

- La nature, la composition lithologique et l'épaisseur de la couche superficielle ;
- La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère ;

- Le climat de la région ;
- Le type de la couverture végétale.

Dans notre cas, on prend une valeur de la RFU égale à 100 mm.

**Tableau N° VIII:** Bilan hydrique selon la méthode de Thorntwaite de la région de Bejaia (1996-2017).

	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	-	-	-	-	

## II.8. Les logiciels :

### II.8.1. Présentation du logiciel Surfer :

Selon Alami, (2011), logiciel Surfer conçu par Golden Software, permet de réaliser des cartes à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) en coordonnées Lambert 93. Le logiciel permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières des points x, y, et z, afin de les ordonner. Ces grilles peuvent être importées depuis plusieurs sources pour produire différents types de cartes, incluant des contours, des vecteurs, des images ainsi que des cartes superficielles. Surfer contient plusieurs options cartographiques qui permettent de produire une carte représentant le mieux possible les données utilisées. La carte peut être améliorée en affichant les points de données, en combinant plusieurs cartes ou en ajoutant des dessins ou des annotations.

La variété de méthodes d'interpolation disponibles permet différentes interprétations des données et de choisir la méthode la plus appropriée aux besoins de l'utilisateur. Les fichiers de grilles eux-mêmes peuvent être édités, combinés, filtrés, coupés et transformés mathématiquement. (Baali et al., 2012).

Le logiciel permet donc, d'après (Alami, 2011) ; de :

- Mettre en forme des fichiers Excel
- Afficher des données sous surfer et connaître les outils à disposition
- Créer une grille de données x, y, z
- Créer différents types de cartes et les superposer
- Mettre en forme des cartes
- Réaliser des calculs de volume
- Calculer des longueurs et des surfaces.

Donc a partir de ce logiciel on a réalisé toutes les cartes de notre travail.

### II.8.2. Logiciel du diagramme :

Afin de pouvoir analyser nos données physico-chimiques, et en faire ressortir le plus d'information en peu de temps, Le principal outil utilisé est le logiciel Diagrammes, crée par Roland Simler (2011) du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. C'est un logiciel D'hydrochimie en distribution libre, facilitant l'exploitation des données d'analyse d'eau.

Ces fonctions sont variées et complètes, voici quelques unes :

- Le diagramme de : Piper, Stiff, Schoeller-Berkaloff– Binaire.
- Les paramètres calculés : balances ionique - teneurs en cations, dureté, teneurs en anions, Indice de saturation. Toutes les fonctionnalités n'ont pas été utilisées, mais ce logiciel s'avère être simple d'utilisation.

De ce fait les diagrammes de Piper, de Schoeler, Riverside et le calcul des équilibres calcocarboniques ont été établis grâce à ce logiciel. **(Dominique, 2009)**

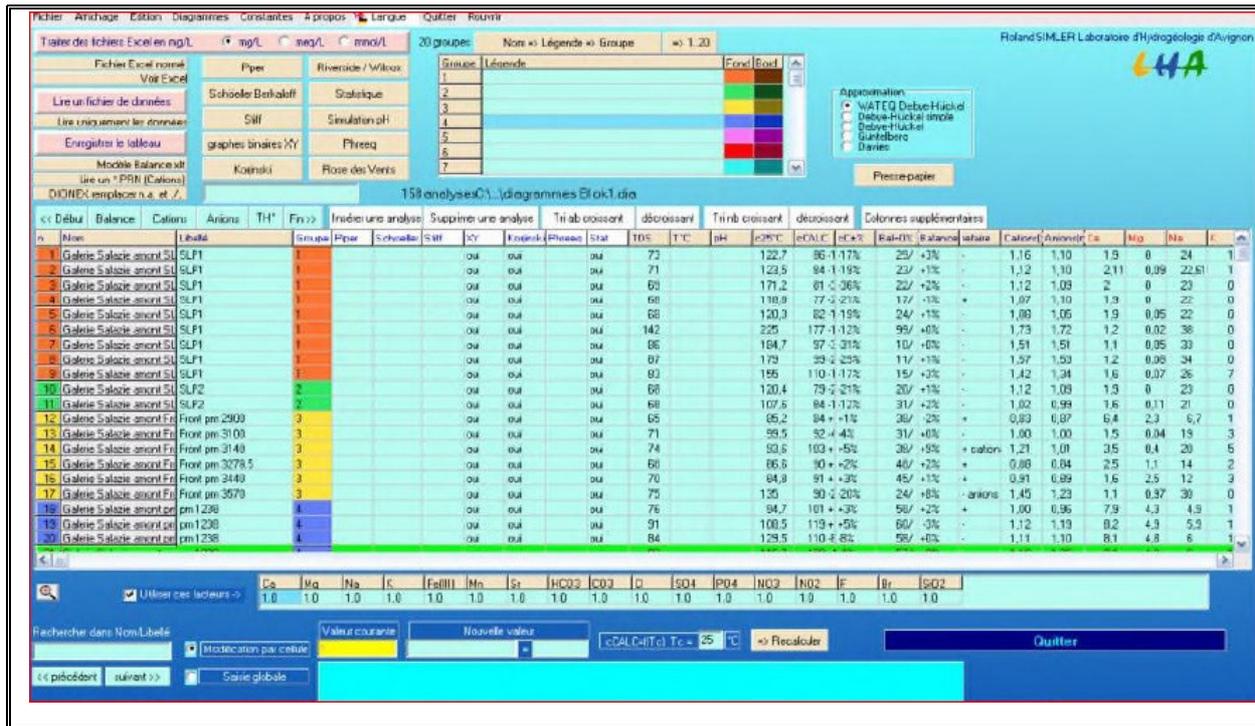


Figure N°15 : Interface de commande du logiciel Diagrammes

## II.9. Matériels utilisés pour la réalisation de notre travail :

### ➤ Matériel utilisées sur le terrain :

Le matériel utilisé se compose d'une :

Un GPS, étalonné à partir d'un point géodésique situé dans la cour de la Préfecture, pour relever coordonnées des différents points et leur altitude.

Sonde piézométrique pour mesurer le niveau d'eau dans les puits.

Une sonde multi paramètres pour mesurer les paramètres physiques de ces eaux de puits qui mesure le paramètre physico-chimie : ph, Température, la Conductivité, Densité Solides totaux dissous (TDS), Salinité, Oxygène dissous optique, Oxyde-Réduction potentielle, Résistivité, Niveau / Profondeur.

Une glacière pour conserver les échantillons.

Les tubes à assailes et les flacons, l'entonnoir et le bicher.

\*Les mesures ont été effectuées sur 11 puits biens repartis dans la zone d'étude.



**Figure N°16 : matérielle utilisées durant la sortie sur le terrain.**

➤ **Matériels utilisées dans Laboratoire Génie des procédés :**

-L'appareille de SAA (Spectre photo mètre Absorption Atomique)

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



**Figure N° 17:Le spectromètre d'absorption atomique en flamme (AA6501F/SHIMADZU - Laboratoire Génie des procédés, Université de Bejaia).**

## Principe de la spectrométrie d'absorption atomique :

Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique comportent quatre parties principales: Le faisceau lumineux issu de la source (1) traverse la chambre d'absorption (flamme ou four) (2) dans laquelle l'élément se trouve porté à l'état atomique, avant d'être focalisé sur la fente d'entrée d'un monochromateur (3) qui sélectionne un intervalle très étroit de longueurs d'onde. Le trajet optique se termine sur la fenêtre d'entrée du détecteur (4).

-En SAA par flamme, les solutions d'échantillon sont généralement nébulisées grâce à un capillaire et un venturi dans une chambre de pulvérisation et l'aérosol produit est conduit, accompagné de la combustion résultant du mélange gaz et oxydant, dans un brûleur approprié. Il faut noter que seulement 10% de la solution se retrouvent dans la flamme et qu'après des phénomènes complexes de vaporisation, dissociation, recombinaison, on obtient une proportion plus ou moins forte d'atomes libres susceptibles d'absorber le rayonnement. C'est pour cela que l'on est obligé de préparer des étalons ayant une composition (une matrice) aussi voisine que possible que celle des échantillons afin de maîtriser au mieux les phénomènes physico-chimiques (nébulisation, vaporisation, réactions chimiques) qui interviennent dans l'obtention des atomes libres à l'état fondamental.

### ➤ Les matériels utilisés dans laboratoires de ADE :

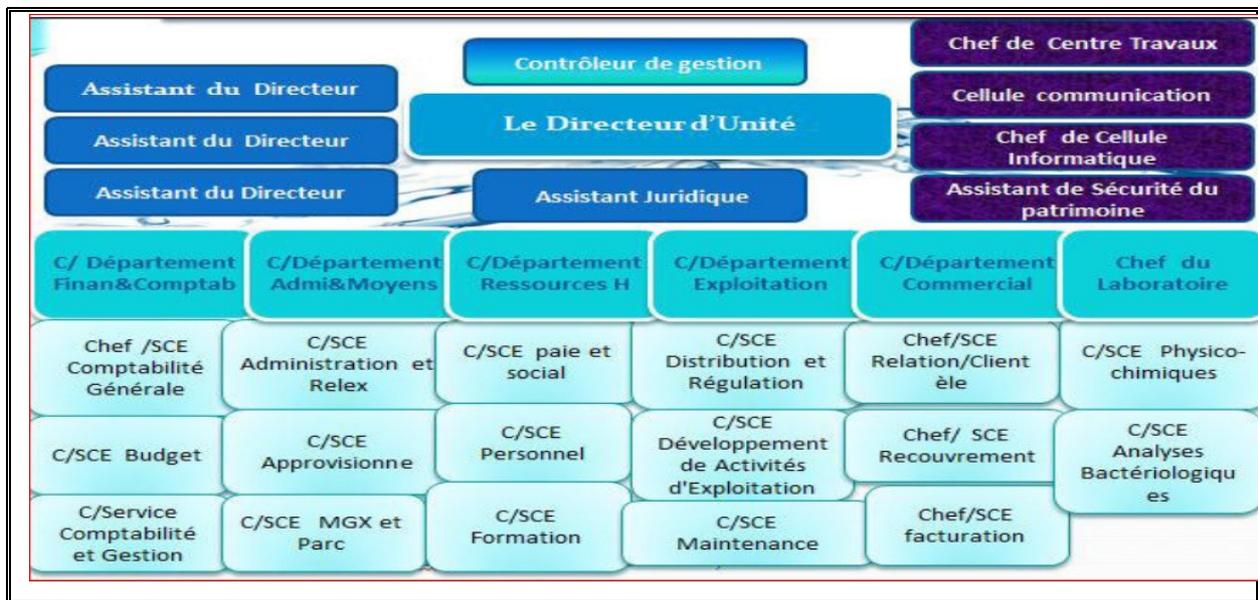
- Burette-étuve
- micropipette
- Fioles – pipettes–bécher- fioles
- Agitateur magnétique



Figure N°18 : Matériels utilisés dans l'ADE

**II.10.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 en l’exploitation Des ressources en eau, le traitement et le contrôle de la qualité de l’eau potable ainsi que sa Distribution (Fig. 19). Le laboratoire de l’unité de Bejaia est entièrement équipé ainsi que 14 Biologistes et chimistes qui veillent à la qualité bactériologique et physico-chimique de l’eau Distribuée, répandant aux normes requises NA 6360 de l’OMS (Adeub, 2016).



**Figure N° 19:** Organigramme du siège de l’ADE unité de Bejaia.

## **II.11. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution (DRASTIC et SINTACS) :**

Les méthodes utilisées pour l'évaluation de la vulnérabilité à la pollution sont les modèles DRASTIC et SINTACS. Le choix du modèle DRASTIC se justifie par le fait que cette méthode demeure la plus appliquée et qui a donné les résultats assez importants dans l'évaluation de la vulnérabilité. En Algérie plusieurs travaux sur l'évaluation de la vulnérabilité à la pollution ont adopté cette méthode. Quant à la méthode SINTACS, bien que moins appliquée en Bejaia, elle reste l'une des méthodes qui ont toujours donné de meilleurs résultats. Ces deux méthodes ont la particularité d'utiliser les mêmes paramètres avec toutefois des notes qui varient d'un paramètre à un autre.

### **II.11.1. Méthode DRASTIC :**

La méthode DRASTIC, développée par sous l'égide de l'Agence américaine de protection de l'environnement USEPA, C'est une méthode d'évaluation de la vulnérabilité verticale intrinsèque à la pollution des aquifères, par systèmes paramétriques. L'acronyme DRASTIC correspond aux initiales des sept facteurs déterminant ci-dessus. Ces sept paramètres découpent d'une façon schématique, une unité hydrogéologique locale en ses principales composantes, lesquelles influencent, à différents degrés, les processus de transport et d'atténuation des contaminants dans le sol, ainsi que leur temps de Transit. (Djabri et al ., 2015).

L'acronyme DRASTIC correspond aux initiales des sept facteurs déterminant la valeur de l'indice de vulnérabilité (Bézégues et al ., 2002).

- Depth of water (D) : profondeur du plan d'eau.
- Net Recharge (R) : recharge efficace de l'aquifère.
- Aquifer media (A): lithologie de l'aquifère.
- Soil media (S) : type de sol.
- Topography (T) : pente topographique du terrain.
- Impact of Vadose Zone (I) : impact de la zone vadose (zone non saturée).
- Hydraulic Conductivity of the aquifer (C): conductivité hydraulique de l'aquifère.

- indice de vulnérabilité DRASTIC et notée ID, est déterminée ; elle décrit le degré de vulnérabilité de chaque unité hydrogéologique. (Aller ,1987)
- L'indice de vulnérabilité DRASTIC est calculé en faisant la somme des produits des notes par les poids des paramètres correspondants.

$$ID = D_p * D_c + R_p * R_c + A_p * A_c + S_p * S_c + T_p * T_c + I_p * I_c + C_p * C_c.$$

(Où D, R, A, S, T, I, et C les sept paramètres de la méthode DRASTIC :

- P = le poids du paramètre.
- c = la cote associée.

**Tableaux N° IX : Des cotations accordées aux paramètres de la méthode DRASTIC.**  
(Lallemand-Barrés, 1994)

<b>D : Profondeur de la nappe (m)</b>		<b>R : Recharge (pluie efficace)</b>	
Valeur en mètre	Cotation	Valeur en mm	Cotation
0-1,5	10	25,5	9
1,5-4,5	9	17,5-25,5	8
4,5-9	7	10-17,5	6
9-15	5	5-10	3
15-22	3	0-5	1
22,5-30	2		
30	1		

A : Nature de la zone saturée		S : Nature de sol	
-Calcaire karstique	10	-Peu épais ou absent	10
-Basalte	9	-Gravier	10
-Sable et gravier	8	-Sables	9
-Calcaire massifs	6	-Argiles, agrégats	7
-Grès massifs	6	-Limon sableux	6
-Métamorphique	4	-Limon	5
altérée		-Limon siliceux	4
-Métamorphique	3	-Limon argileux	3
-Shale massif	2	-Argiles non agrégée	1

T : Topographie, pente		I : Nature de la zone non saturée	
Valeurs en %de la pente	Cotation	-Calcaire karstique	10
		-Sable et gravier	
		-Sable et gravier avec siltet argile	9 8
0-2	10	-Grès	
2-6	9	-Calcaire	6
	5	-Silt /argile	6
6-12	3		1
12-18	1		
18			

<b>C : Perméabilité</b>	
9,4 m/s	10
(4,7-9,4)m/s	8
32,9 -4,7 m/s	6
14,7 -32,9 m/s	4
4,7-14,7 m/s	2
4,7 -4,7 m/s	1

**Tableau N°X:** Facteurs de pondération.

<b>Critères</b>	<b>Facteurs de pondération</b>	
	<b>Normal</b>	<b>Avec produit</b>
D : Profondeur	5	5
R : Recharge	4	4
A : Milieu Aquifère (zone saturée).	3	3
S : Milieu Sol au-dessus de la zone non saturée	2	5
T : Topographie	1	3
I : Nature de la zone non saturée	5	4
C : Perméabilité aquifère	3	2

**Tableau XI** : Indices de degré de vulnérabilité.

L'indice DRASTIC	Dégré de vulnérabilité
23-83	Très faible
84-113	Faible
114-144	Moyen
145-174	Elevé
175-226	Très élevé

### II.11.2.Méthode SINTACS :

La méthode SINTACS, développée par la version italienne de la méthode DRASTIC est une méthode de vulnérabilité verticale intrinsèque prend en développée aussi par (Civita ; 1994) (In Hamza et al ; 2007), est la version italienne de la méthode DRASTIC : c'est une adaptation de cette méthode aux conditions méditerranéennes. La même considération des paramètres avec la méthode DRASTIC.

L'acronyme SINTACS correspond aux initiales des sept facteurs suivant :

- S : Soggiacenza (profondeur de la nappe)
- I : Infiltrazione (infiltration)
- N : Azionedel Non Saturo (zone non saturée)
- T : TipologiadellaCopertura (texture de sol)
- A : CarratteriIdrogeologici dell' Acquifero (type d'aquifère)
- C : ConducibilitaIdraulica (conductivité)
- S : Acclivitàdella Superficie Topographica (topographie du sol)

L'indice SINTACS global résulte de la somme pondérée des indices partiels correspondant à chaque paramètre.

Indice SINTACS général est le suivant :

$$I_s = (S_c.S_p) + (I_c.I_p) + (N_c.N_p) + (T_c.T_p) + (A_c.A_p) + (C_c.C_p) + (S_c.S_p)$$

Et que :

**S, I, N, T, A, C, S** : Paramètres,  
**c** : Cote du paramètre considéré,  
**S<sub>c</sub>** : Est la cote du paramètre S et S<sub>p</sub> est son poids.

#### Description des paramètres :

Ces paramètres sont :

- La profondeur de la nappe
- La recharge ou l'infiltration
- Le type d'aquifère
- Le type de sol,
- La topographie,
- La nature de la zone vadose
- La conductivité hydraulique.

### Les poids attribués aux différents paramètres dans les versions SINTACS.

**Tableau XII :** Poids attribués aux paramètres SINTACS dans les différents scénarios de la méthode. (Hamza et al., 2008).

Scénario paramètre	Impact Normal	Impact Sévère	Drainage important	Karst	Terrains Fissures
S	5	5	4	2	3
A	4	5	4	5	3
N	5	4	4	1	3
T	4	5	2	3	4
A	3	3	5	5	4
C	3	2	5	5	5
S	2	2	2	5	4

### Cote attribuée à chaque paramètre de la méthode SINTACS :

**Tableau XIII :** Paramètre de la profondeur « S » :

Profondeur des nappes « S » (m)	
Intervalles	Côte
0 - 1.3	10
1.3 – 2.6	9
2.6 – 3.9	8
3.9 – 5.6	7
5.6 – 8.2	6
8.2 – 10.8	5
10.8 – 16.5	4
16.5 – 24.3	3
24.3 – 41.47	2
41.47 - 100	1

**Tableau XIV : Paramètre de l'infiltration «I »**

<b>Infiltration « I »</b>	
<b>intervalles</b>	<b>Côte</b>
0 - 30	<b>1</b>
31 - 50	<b>2</b>
50 - 80	<b>3</b>
81 - 100	<b>4</b>
101 - 120	<b>5</b>
121 - 150	<b>6</b>
151 - 180	<b>7</b>
181 - 210	<b>8</b>
211- 250	<b>9</b>
251 - 300	<b>10</b>

**Tableau XV : Paramètre de zone saturée « N »**

<b>Zone non saturée « N »</b>	
<b>Nature de la zone</b>	<b>côte</b>
Dépôt alluviale grossier	8-9
Calcaire karstique	9-10
Dolomie fracturée (fissurée)	4-7
Moyen a fin alluvion	6-8
Calcaire fracturé	9-6
Complexe sableux	7-8
Grés-conglomérats	4-9
Roches plutonique fissuré	2-4
Séquence turbiditique fissure	5-8
Roche volcanique fissurée	8-10

**Tableau XVI** : Paramètre de la texture de sol « T »

<b>Texture de sol « T »</b>	
<b>Nature de sol</b>	<b>Côte</b>
Sol à faible épaisseur ou absent	9.8-10
Gravier pur	9.7-10
Sable pur	8.9-9.5
Sol sableux	8-8.5
Schiste sableux	6.2-7
Sableux terreux	5.5-6
Limon-schiste-sable	4.5-5.2
Sol limoneux	3.5-4.2
Limono-terreux	3-4
Limoneux argileux	6-8

**Tableau XVII** : Paramètre de type d'aquifère « A »

<b>Type d'aquifère « A »</b>	
<b>Nature d'aquifère</b>	<b>Côte</b>
Alluvion grossier	8-9
karstique	9-10
Dolomie fracture	4-7
Alluvion d'un amont	6-8
Grés, conglomérat	4-9
Flysch (séquence turbidique)	5-8
Marne, argile	1-3
Sable complexe	7-9

Tableau XVIII : Paramètre de la conductivité hydrique « C »

<b>Conductivité « C »</b>	
<b>Rang</b>	<b>Côte</b>
Gravier	10
Conglomérat	6-9
Grés	7-4
Sol marneux	4-2
Sol terreux	3-2

Tableau XIX : Paramètre de topographie du sol « S » :

<b>Topographie « S »%</b>	
<b>Intervalles</b>	<b>Côte</b>
0-5	10
6-10	8
11-20	5
21-30	3
>100	1

### **Systeme de cotation :**

L'indice SINTACS est basé sur l'évolution des 7 paramètres suscités. Chaque paramètre est assigné d'un poids relatif fixe dont la valeur, compris entre 1 et 5, correspond à son importance dans le processus d'atténuation des substances contaminants.

Un paramètre prépondérant se voit assigner un poids de 5 alors qu'un paramètre ayant moins d'impact sur le devenir d'un contaminant est assigné d'un poids de 2 (Tableau XII).

Une cote 1 correspond aux conditions de moindre vulnérabilité alors qu'une cote de 10 reflète les conditions les plus propices à la contamination.

Un indice SINTACS partiel propre à chaque paramètre est alors déduit en multipliant sa cote par son poids relatif.

**Indice partiel = poids \* cote**

L'indice SINTACS global résulte de la somme pondérée des indices partiels correspondant à chaque paramètre.

Indice SINTACS général est le suivant :

$$I_s = (S_c.S_p) + (I_c.I_p) + (N_c.N_p) + (T_c.T_p) + (A_c.A_p) + (C_c.C_p) + (S_c.S_p)$$

D'où:

- S, I, N, T, A, C, S : Paramètres,
- c : Cote du paramètre considéré,
- Sc: Est la cote du paramètre S et Sp est son poids

### Interprétation de l'indice SINTACS

L'appréciation de l'indice SINTACS, n'est possible que par l'analyse comparative entre différents sites. A cet effet, un système de représentation offrant à l'utilisateur une visualisation immédiate du degré de vulnérabilité. Le principe de cette représentation regroupe les indices de vulnérabilité en quatre (4) classes.

**Tableau XX** .Catégories de vulnérabilité :

Indice de vulnérabilité	Degré de vulnérabilité
<b>&lt; 106</b>	<b>Faible</b>
<b>106-186</b>	<b>Moyen</b>
<b>187-210</b>	<b>Elevé</b>
<b>&gt; 210</b>	<b>Très élevé</b>

L'application de ce tableau consiste à comparer la valeur indicielle de chaque zone par le degré de vulnérabilité indiqué dans le tableau précédent. Les cartes obtenues permettent de visualiser le degré relatif de vulnérabilité d'un secteur de la zone étudiée. Le potentiel de pollution augmente dans le même sens que l'indice.

**RESULTATS ET DISCUSSION :**

### III.1. Interprétations des paramètres et réalisation des cartes thématiques de la méthode DRASTIC selon Margat,(1968) :

#### III.1.1. Paramètre de profondeur de la nappe « D » :

Le paramètre profondeur nous a fait ressortir 4 zones :

-Les sables dans les profondeurs varient entre 0 - 1,5 m, qui induit un indice de vulnérabilité de l'ordre de 50.

-Les plaines côtières constituées de nappes des alluvions dans les profondeurs varient Entre 1,5 à 4,5m, Impliquant ainsi un indice de vulnérabilité partiel égale à 45.

-La nappe du flysch qui occupe la quasi-totalité de terrain, les profondeurs varient de 4,5 à 9 m ce qui nous donne un indice de vulnérabilité de l'ordre de 30.

-La nappe du calcaire est de degré qui se situe à l'extrême Sud-ouest du sous bassin Versant, la profondeur est de 30 m ce qui nous donne un indice de vulnérabilité de l'ordre 5

(Tab XXI, Fig. 20).

Tableau XXI: Indice de la profondeur.

Profondeur de la nappe « D »				
Zone	Gammes	Cotes	Poids	Indice
Sable	0-1,5	10	5	50
Alluvion	1,5-4,5	9	5	45
Conglomérat	4,5-9	7	5	35
Calcaire massif	30	1	5	5

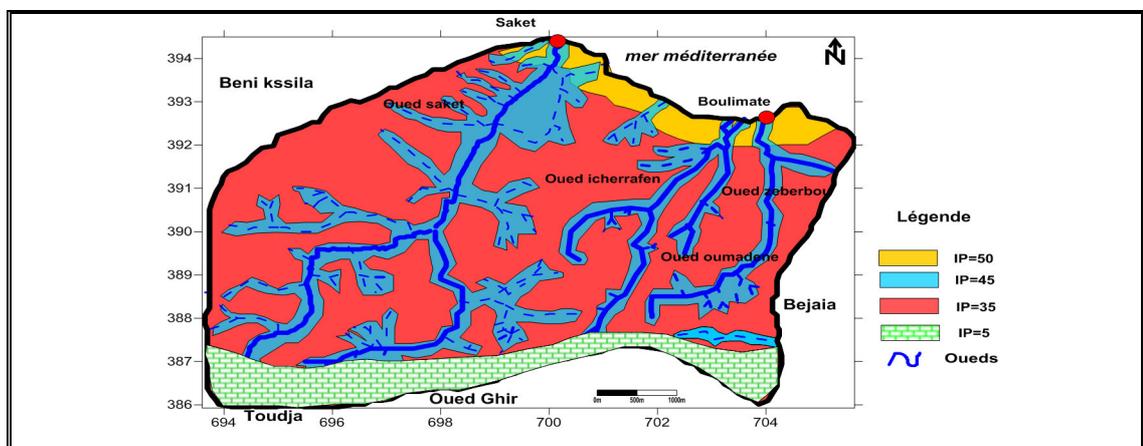


Figure N° 20: Carte de l'indice de profondeur.

### III.1.2. Paramètre de la recharge nette « R » :

La recharge nette ou l'infiltration est estimée à 156,85 mm, cette valeur est classée

Dans la gamme de 25,5. Donc l'indice de recharge partiel est de l'ordre de 24.

(Tableau XXII). (Fig. 21)

Tableau XXII: Indice de la recharge nette.

Recharge nette « R »				
Zone	Gammes	Cotes	Poids	Indice
Alluvion	25.2	6	4	24
Calcaire	25.5	6	4	24

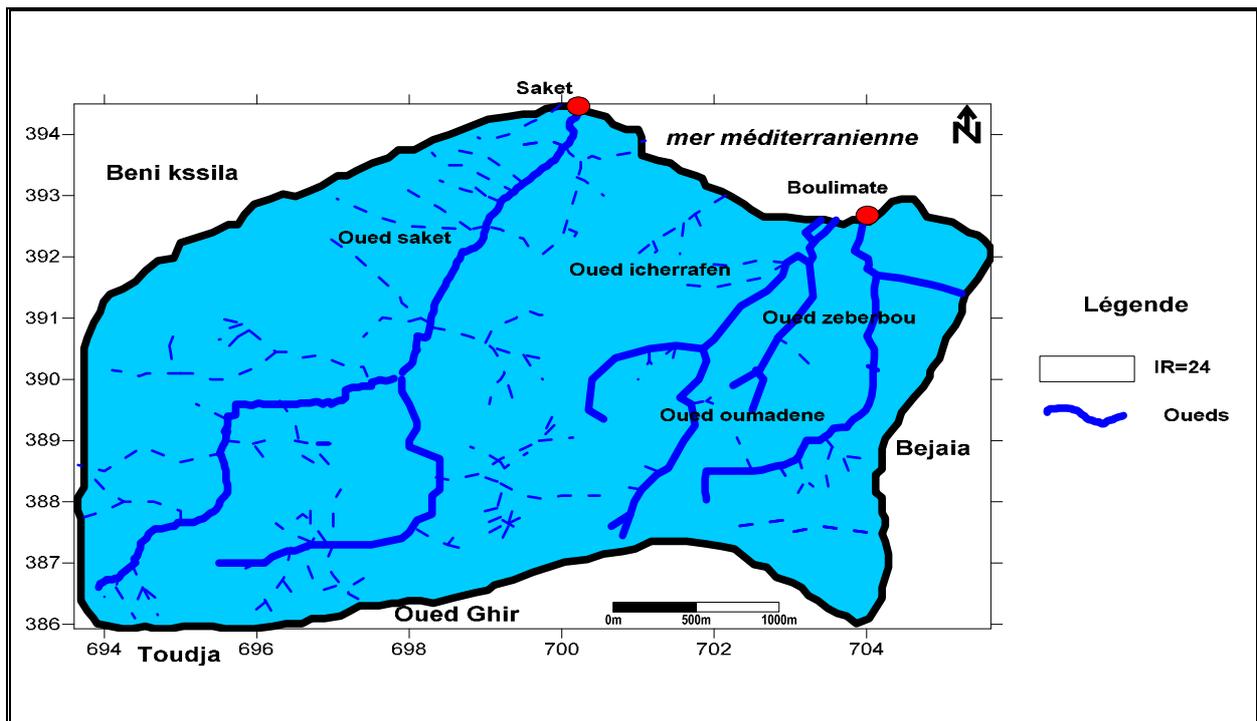


Figure N° 21 : Carte du paramètre recharge nette.

### III.1.3. Paramètre de la nature des aquifères « A » :

L'indice partiel de ce paramètre a fait sortir 2 zones importantes : Les formations de Sable et gravier avec un indice partiel de 24 et les formations des grés et calcaire fissuré Avec un indice de vulnérabilité partiel de 18 (Tab XXIII, Fig22).

Tableau XXIII : Indice de la nature des aquifères.

Nature de l'aquifère « A »			
Zone	Cotes	Poids	Indice
Sable et gravier	8	3	24
Grés	6	3	18
Calcaire fissuré	6	3	18

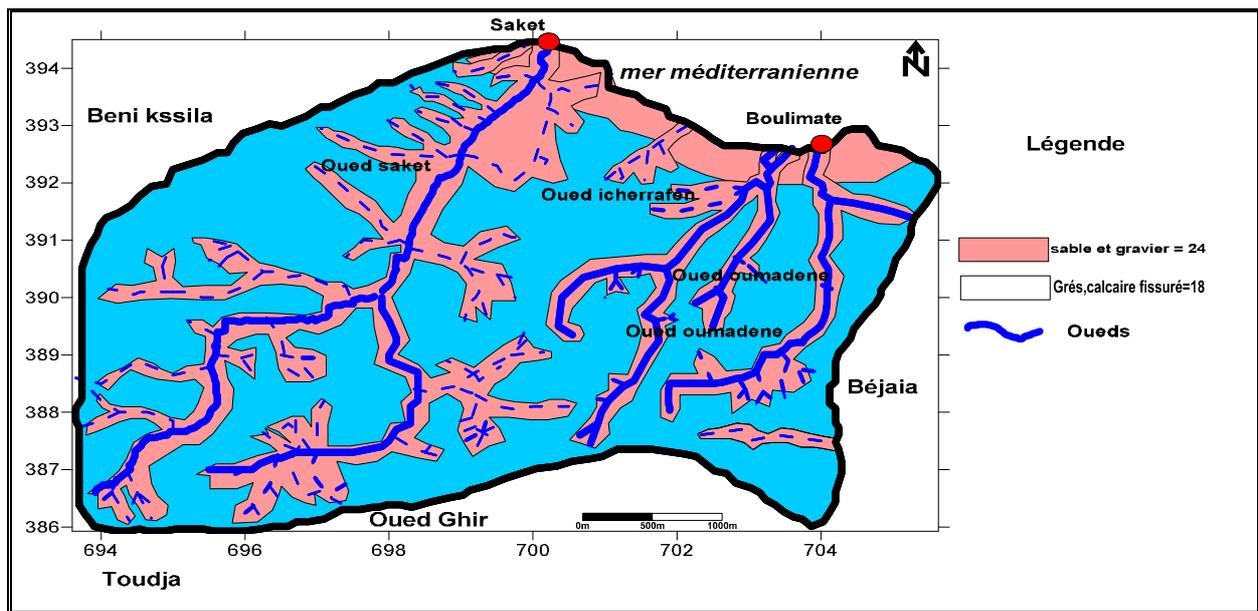


Figure N° 22: Carte de l'indice d'aquifère.

### III.1.4. Paramètre type du sol « S » :

L'étude pédologique de la région nous donne trois indices partiels :

- Le sol sableux avec un indice 18,
- le sol limoneux sableux avec un indice 12,
- le sol limoneux siliceux avec un indice 6

(Tab XXIV, Fig. 23).

Tableau XXIV : Indice de type de sol.

Type de sol « S »			
Zone	Cotes	Poids	Indice
Sable	9	2	18
Limon sableux	6	2	12
Limon Siliceux	4	2	6

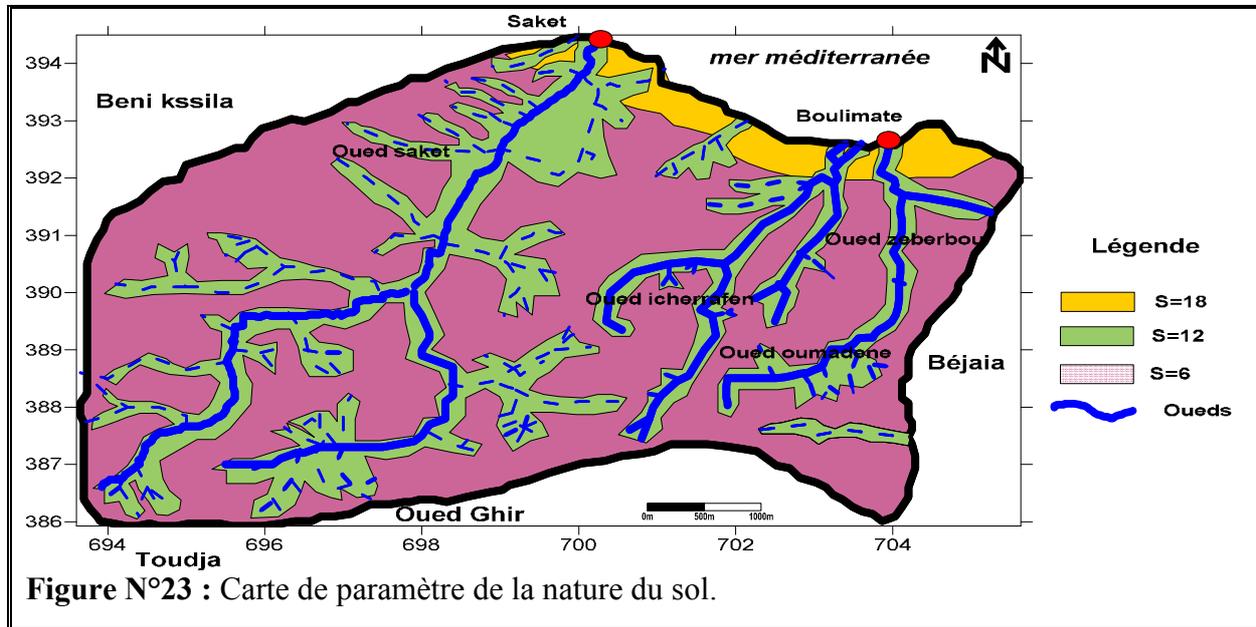


Figure N°23 : Carte de paramètre de la nature du sol.

### III.1.5.Paramètre topographique « T » :

On a pu diviser la région en deux zones topographiques ;

- La première couvre le littorale dont la pente varie entre 0-2 % avec un indice partiel de 10
- La deuxième zone couvre le reste de terrain avec une pente supérieure à 18 % ce qui indique un indice partiel de vulnérabilité de l'ordre de 1.(Tab XVIII, Fig.24).

Tableau XXV: Indice de la topographie.

Topographie « T »				
Zone	Gamme	Cotes	Poids	Indice
Sable	0-2	10	1	10
Alluvion+calcaire	>18	1	1	1

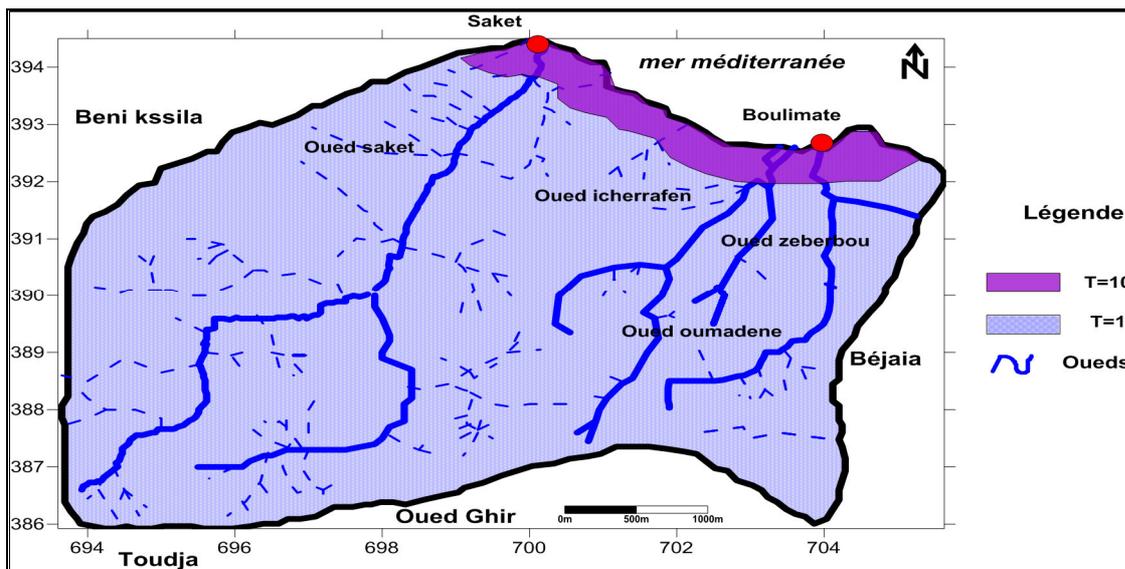


Figure N°24 : Carte de l'indice de la topographie.

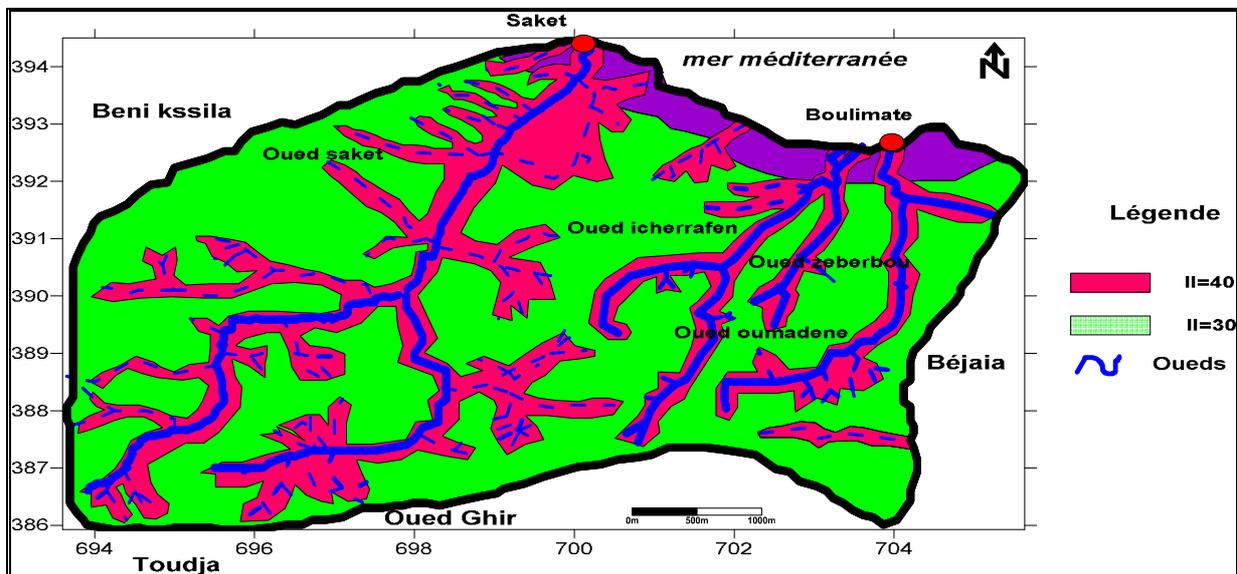
**III.1.6. Paramètre de la zone non saturée « I » :**

On rencontre deux classes (Tab XXVI, Fig. 25) :

- La première : Les alluvions ont un indice 40.
- La deuxième : Les grès et les calcaires ont un indice 30.

**Tableau XXVI :** Indice de la zone non saturée de Boulimat.

Paramètre de la zone non saturée (Impact de la zone vadose)			
Zone	Cotes	Poids	Indice
Alluvion	8	5	40
Grès	6	5	30
Calcaire	6	5	30



**Figure N°25 :** Carte de l'indice de la zone non saturée.

**III.1.7. Paramètre de conductivité «C» :**

- Les sables ( $k=10^{-3}$  m/s)
- conglomérat et grès ( $k=10^{-6}$  m/s) avec un indice de conductivité égale : IC=30.
- Les alluvions ( $k=10^{-5}$  m/s) avec un indice de conductivité égale : IC=18

(Tableau XXVII, Fig. 26).

Tableau N° XXVII : Indice de la conductivité.

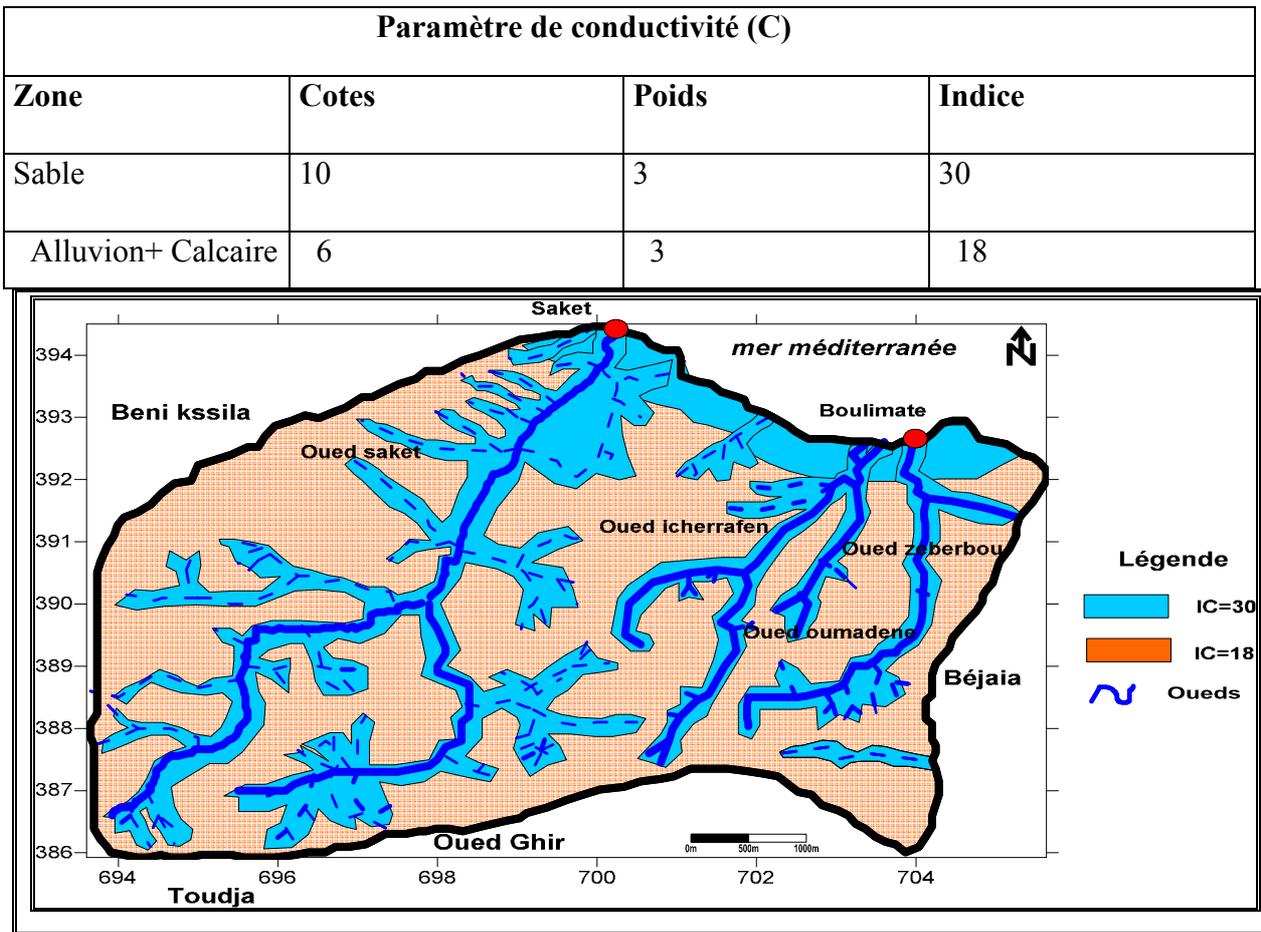


Figure N°26 : Carte de l'indice de conductivité

### III.2. Interprétations des paramètres et réalisation des cartes thématiques de la méthode SINTACS :

#### III.2.1 Paramètre profondeur des nappes « S »

Les indices partiels calculés put nous faire sortir la carte des profondeurs qui

Est constituée de quatre zones,

- l'indice le plus élevé 50 est localisé sur tout le long du littoral de Boulimate à Saket.
- indices 45 est localisé tout autour des Oueds Djerba et Saket.
- Indice 25 aux alentours du bassin versant et au environ et l'indice 10 qu'on trouve dans la Zone externe au sud du bassin. (Tab XXVIII, Fig.27).

Tableau N°XXVIII: L'indice partiel du paramètre « S ».

Intervalles	Cotes	Poids	Indice partiel
0 - 1.3	10	5	50
1.3 – 2.6	9	5	45
8.2 – 10.8	5	5	25
24.3 – 41.47	2	5	10

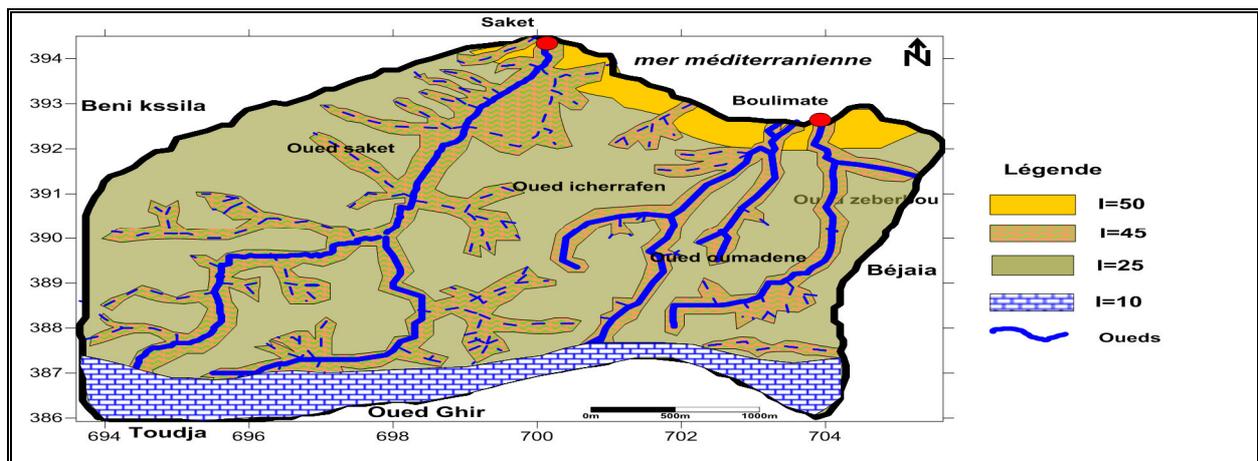


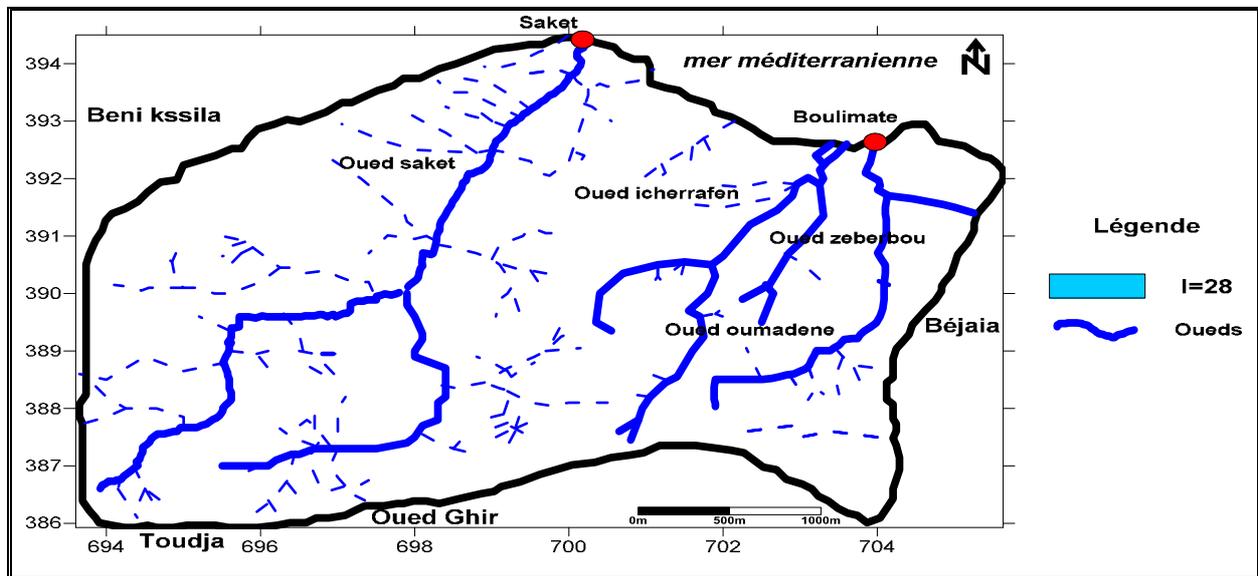
Figure N°27 : Carte du Paramètre profondeur des nappes « S »

### III.2.2 Paramètre d’Infiltration « I »

Ce paramètre nous a fait ressortir une seule zone qui a un impact normal et un Indice de vulnérabilité de 28.(Tab XXIX, Fig.28)

Tableau N° XXIX: L’indice partiel du paramètre « I » :

Intervalles	Cote	Poids	Indice partiel
151 – 190	7	4	28



FigureN°28 : Carte du Paramètre d’Infiltration « I »

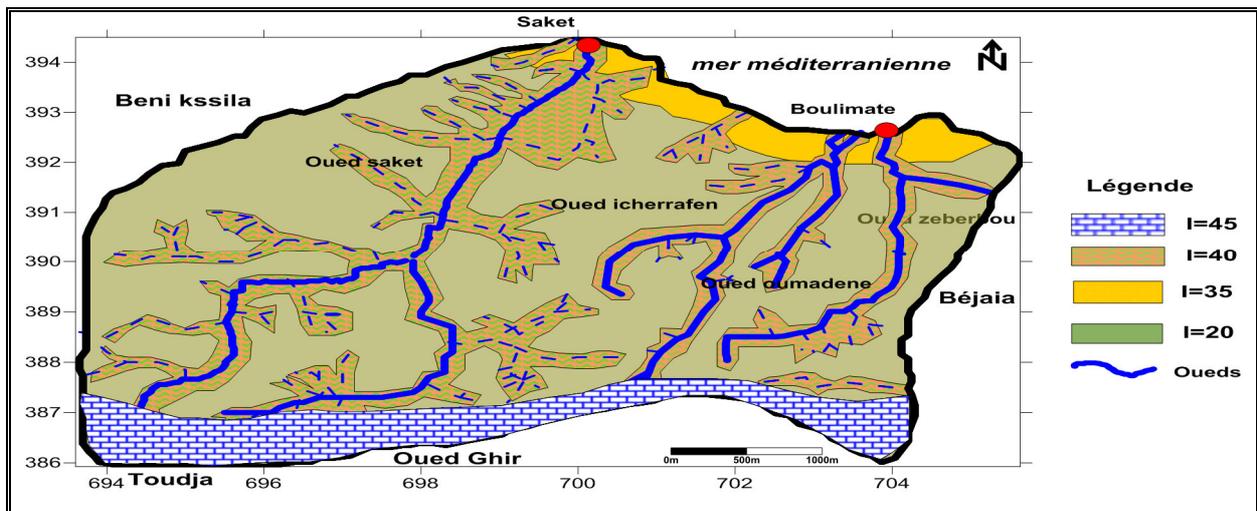
### III.2.3 Paramètre de zone non saturée « N »

L'impact de la zone non saturée est considéré comme étant un paramètre très Important par la méthode SINTACS .Puisque la nature et l'épaisseur de la zone comprise Entre la surface du sol et l'aquifère, contrôlent la vulnérabilité à la pollution des réservoirs. Composé de quatre zones. (Tab XXX, Fig29)

- La première zone est caractérisée par les Calcaires fracturé au sud de la région marquée Par l'indice 45.
- La deuxième zone correspond à des dépôts alluviales grossier, implique un indice de Vulnérabilité 40.
- La troisième zone représente le complexe sableux, situe au long du littoral de Boulimate à Saket de l'indice 35.
- La quatrième zone qui est le grès-conglomérats couvre le reste du bassin avec un indice 20

**Tableau N° XXX** : L'indice partiel du paramètre « N » :

Nature de la zone	Cote	Poids	Indice partiel
Complexe sableux	7	5	35
Dépôt alluvial grossier	8	5	40
Grès-conglomérats	9	5	20
Calcaire fracturé	4	5	45



**Figure N°29** : Carte du Paramètre de zone non saturée « N »

### III.2.4 Paramètre de Texture de sol « T »

Sol sableux avec un indice de vulnérabilité 32 et sol Limon-schiste-sable marqué Par l'indice 18.(Tab XXXI, Fig.30)

Tableau N° XXXI: L'indice partiel de paramètre« T »

Nature de sol	Cote	Poids	Indice partiel
Sol sableux	8	4	32
Limon-schiste-sable	4.5	4	12

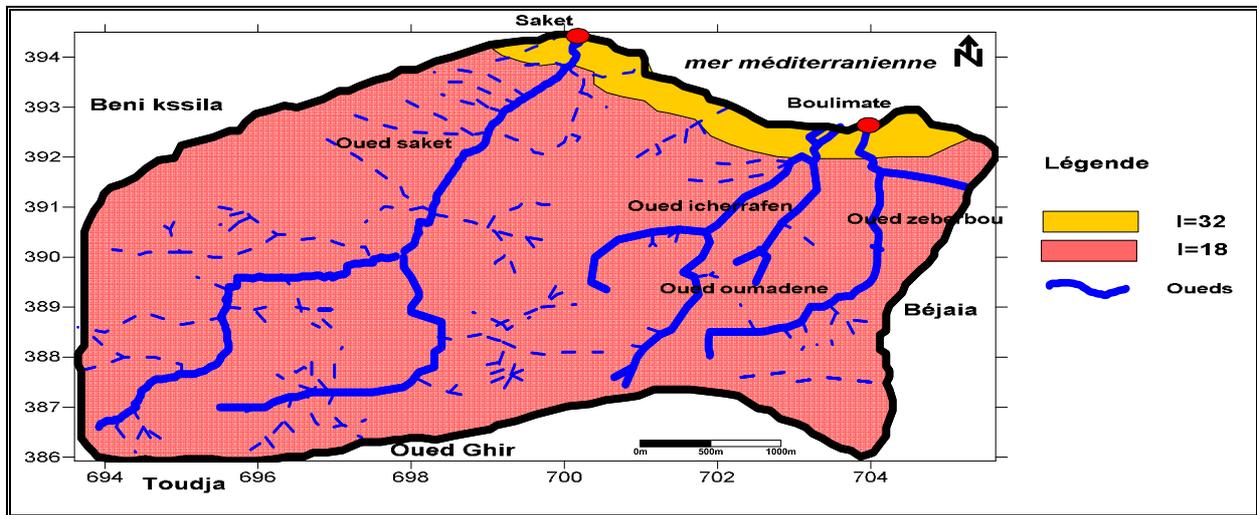


Figure N° 30 : Carte du Paramètre de Texture de sol « T »

### III.2.5 Paramètre de Type d'aquifère « A »

Le calcul de l'indice partielle pour ce paramètre a fait sortir trois zones ;

- Les alluvions grossières avec un indice 24.
- les Sables complexes qui correspondent à l'indice 21
- les Flysch dont l'indice est de 15.(Tab XXXII, Fig.31)

Tableau N° XXXII: L'indice partiel du paramètre « A »

Nature d'aquifère	Cote	Poids	Indice partiel
Sable complexe	7	3	21
Alluvion grossier	8	3	24
Flysch	5	3	15

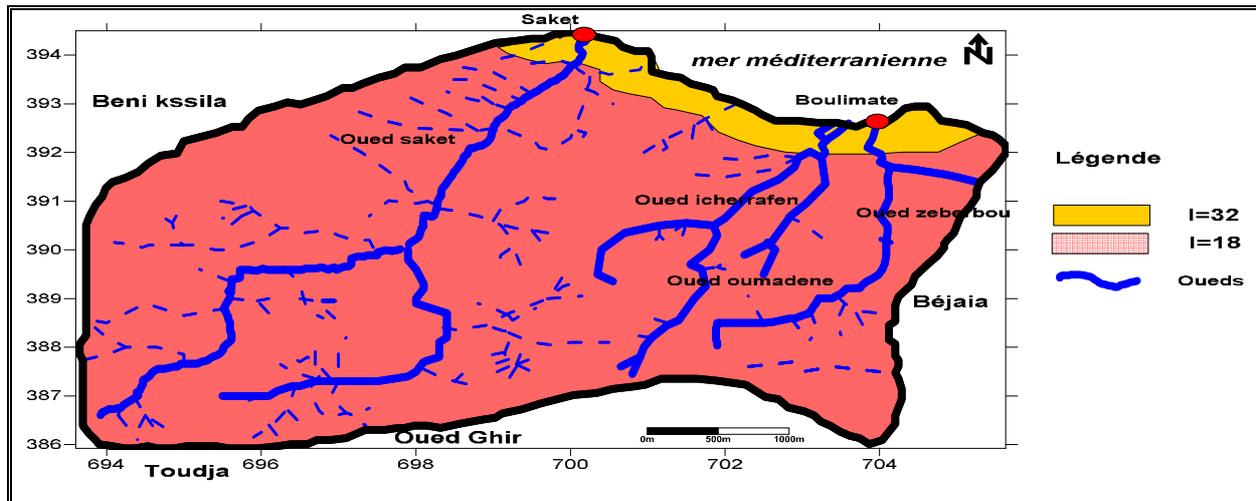


Figure N° 31 :Carte du Paramètre de Type d'aquifère « A ».

### III.2.6. Paramètre de la Conductivité « C »

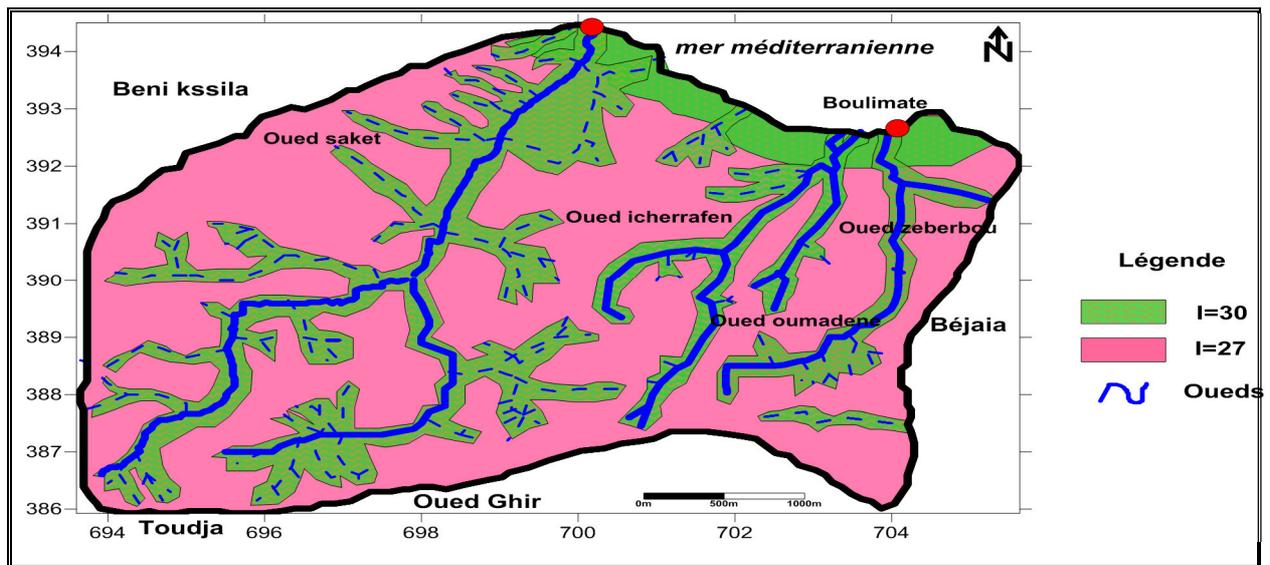
Deux zones de conductivité hydraulique (perméabilité) sont distinctes dans la Région d'étude.

- la première zone qu'est le Gravier a un indice de 30.
- la deuxième zone qui correspond à des Conglomérats dont l'indice partiel est de 27.

(Tab XXXIII, Fig.32)

**Tableau XXXIII** : L'indice partiel du paramètre « C »

Conductivité « C »	Cote	Poids	Indice partiel
Gravier	10	3	30
Conglomérat	9	3	27



**Figure N°32**: Carte du Paramètre de la Conductivité « C »

### III.2.7 Paramètre Topographie « S »

La pente du terrain influe directement sur le taux de concentration des polluants, Elle contrôle l'infiltration.

L'examen de la carte topographique de la région fait ressortir

Trois plages de pentes (0 – 5 %), (21 – 30%) et ( $I > 100\%$ ). (Tab XXXIV, Fig.33)

Tableau XXXIV : L'indice partiel du paramètre « S »

Intervalles	Cote	Poids	Indice partiel
0 – 5	10	2	20
21 – 30	3	2	6
>100	1	2	2

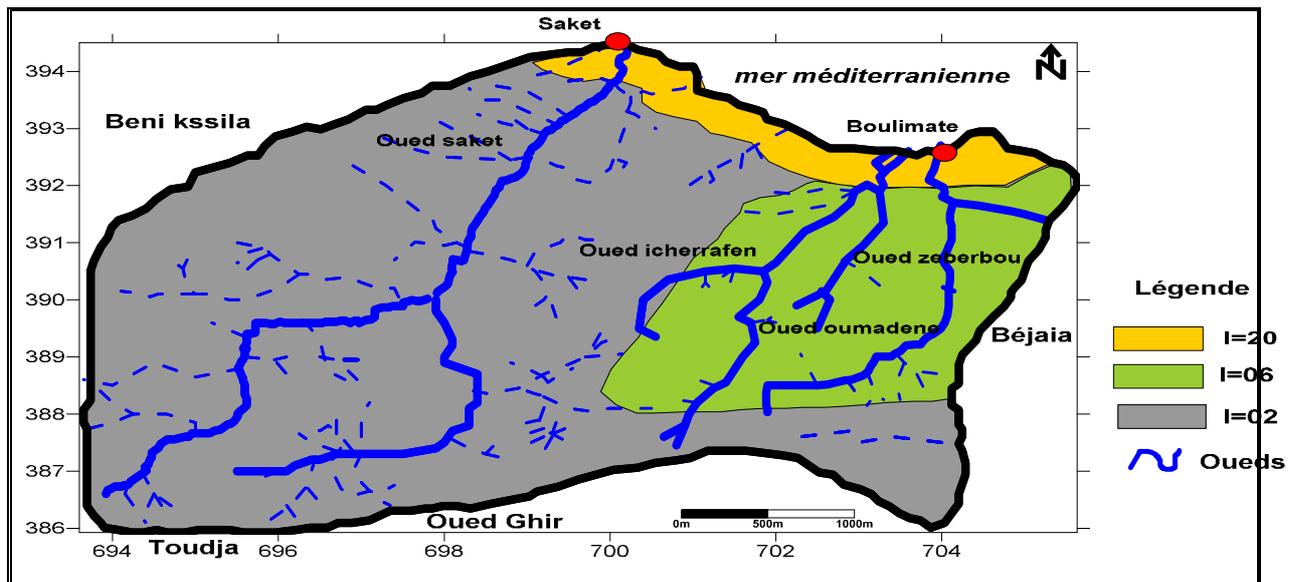


Figure N°33 : Carte du Paramètre de la Topographie « S ».

### III.3. La vulnérabilité de la méthode DRASTIC et SINTACS :

#### III.3.1. La carte de vulnérabilité de DRASTIC :

La cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la région de Boulimate ont été réalisés par la méthode DRASTIC à l'aide du logiciel Surfer version 11. Le calcul des indices de vulnérabilité selon la méthode DRASTIC se fait directement par un calcul d'addition appliqué sur les sept paramètres. Le résultat de ce calcul est l'élaboration d'une nouvelle couche d'information qui représente la variation de l'indice de vulnérabilité générale dans la zone d'étude. (Ait Hmoudi, 2010).

La superposition des sept cartes nous donne la carte de vulnérabilité finale. (Fig34).

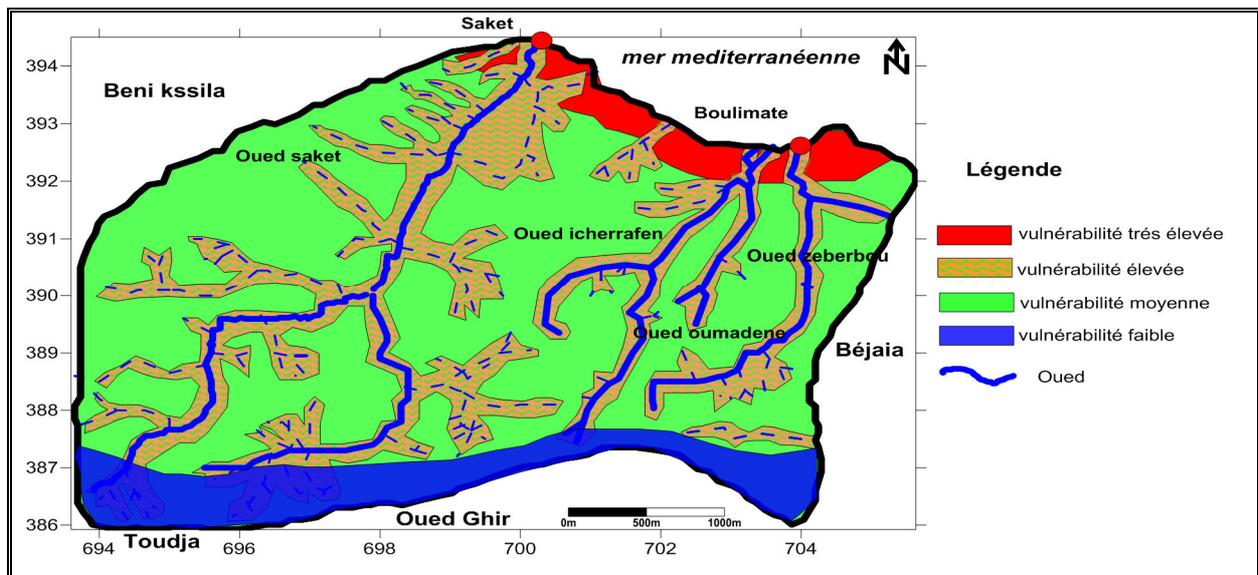


Figure N°34 : Carte de vulnérabilité à la pollution de Boulimat par la méthode DRASTIC

L'indice de la vulnérabilité relatif à la méthode DRASTIC est calculé par multiplication des sept paramètres indiciels .

➤ A partir des résultats obtenus on a distingué quatre parties qui sont comme suite :

**La partie faible :** à un degré de vulnérabilité qui occupe une surface faible de la zone d'étude. La profondeur l'aquifère est supérieur à 30 m.

**La partie moyenne :** à un degré de vulnérabilité représente le plus grand pourcentage de la surface totale de Boulimat avec une profonde de 4,5 -9 m

**La partie élevée :** à un degré de vulnérabilité représente la zone qui entoure les deux Oueds (Saket et Djerba), elle représente une profondeur de 1,5-4,5m.

**La partie très élevé :** Ce degré de vulnérabilité représente la sableuse du littorale de Boulimat sa profondeur est de 0 à 1,5m, Cette zone contient des sables facilite lapropagation des contaminants vers les eaux souterraines.

### III.3.2. La vulnérabilité de la méthode SINTACS :

Ce tableau nous a permis de déterminer les différentes zones vulnérables à la pollution

Dans la région de Boulimat qui sont :

- Zone de vulnérabilité très élevée.
- Zone de vulnérabilité moyenne.

La zone de vulnérabilité très élevée se localise tout le long du littoral de la région

Avec un indice de 216 et la zone de vulnérabilité moyenne occupe le reste du bassin

Versant.

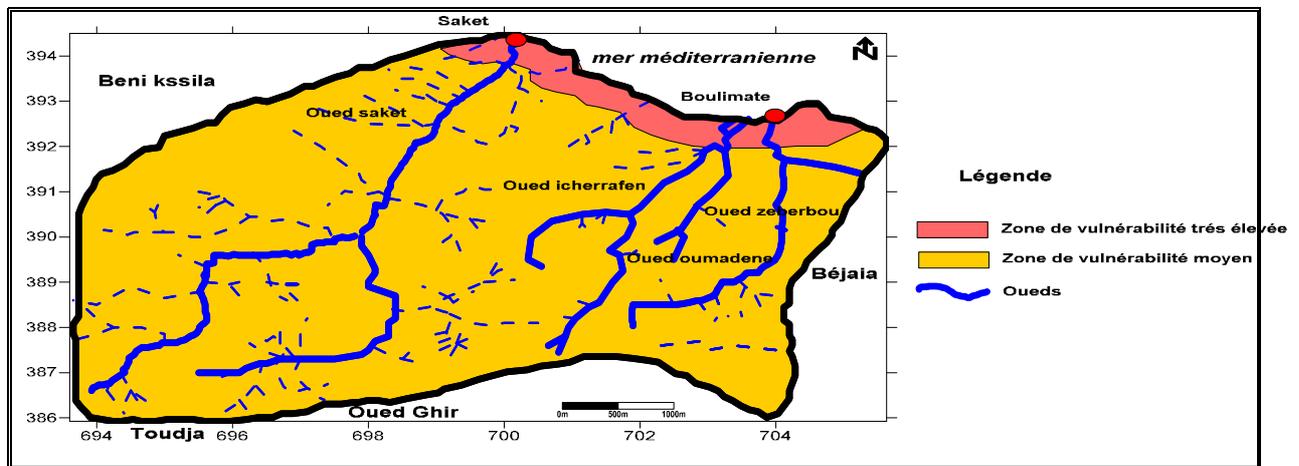


Figure N°35 : Carte de vulnérabilité à la pollution de Boulimat. Par la méthode SINTACS.

### III.4. Comparaison de la vulnérabilité de deux méthodes :

Dans ce contexte le tableau N° XXXV : représente le pourcentage de la surface de chaque Zone de vulnérabilité (Fig.35).

Tableau XXXV : Surface des zones vulnérables.

Type de vulnérabilité	DRASTIC %	SINTACS
Vulnérabilité très élevée	3.33%	4.91%
Vulnérabilité élevée	28.86%	Absence de zone
Vulnérabilité moyenne	56.78 %	95.09%
Vulnérabilité faible	11.03%	Absence de zone

Dans cette étude, nous avons évalué la vulnérabilité à la pollution à partir de deux méthodes qui sont : DRASTIC et SINTACS. Les résultats font ressortir 4 classes de vulnérabilité dans la méthode DRASTIC et 2 classe pour la méthode SINTACS qui se rencontrent à quelques exceptions dans les mêmes zones. Ce sont les classes de vulnérabilité faible, moyenne et élevée et très élevée pour la méthode DRASTIC et les classes de la méthode SINTACS sont moyennes et très élevées. Les classes de faibles vulnérabilités qui alternent avec celles de vulnérabilité moyenne qui se rencontrent dans les parties de la région d'étude. Ces 2 classes couvrent les zones où la recharge est moyenne, le sol est de type hydro morphe avec un aquifère constitué de grès et une profondeur de nappe moyenne.

- La zone de vulnérabilité très élevée de la méthode SINTACS est supérieure à celle de la méthode DRASTICS  
 $4.91 > 3.33$
- La zone de vulnérabilité moyenne de la méthode SINTACS est supérieure à celle de la méthode DRASTICS  
 $95.09 > 56.78$

### III.5. Résultats et Discussions :

#### III.5.1. Les coordonnées des points d’eaux :

Les coordonnées de points d’eau sont positionnées sur place à l’aide d’un GPS :

##### Définition et principe de GPS :

Le système de positionnement global ou GPS (Global positioning system) est un système de radionavigation spatial qui permet aux utilisateurs équipés de récepteurs convenables de déterminer sur terre, sur mer ou dans les airs, leur position, leur vitesse et l’heure à n’importe quel moment du jour ou de la nuit et quelles que soient les conditions météorologiques.

Le système offre un niveau de précision équivalent ou supérieur à tout autre système de navigation actuel (Canada, 2000).(Fig.36)

**Tableau N° XXXVI** : les coordonnées des points d’eaux :

Position et Situation	Position +ou - par rapport au niveau de la mer :(m)	Le Nord	Le Sud	X	Y
Les points d’eau					
Point 1	3	36° 48’48’’	4°59’24’’	703.84	391.21
Point2	3	36° 48’47’’	4°59’25,9’’	703.84	391.21
Point 3	3	36° 48’48,2’’	4°59’22’’	703.84	391.21
Point 4	3	36° 48’49,5’’	4°59’16,1’’	703.84	391.21
Point 5	3	36° 48’47,7’’	4°59’14,1’’	703.84	391.21
Point 6	2	36° 48’45,1’’	4°59’2,7’’	703.84	391.21
Point7	2	36° 48’45,1’’	4°59’2,7’’	703.84	391.21
Point 8	3	36° 48’45,1’’	4°59’2,7’’	703.84	391.21
Point9	3	36° 48’42,1’’	4°58’43,75’’	702.35	391.18
Point 10	3	36° 48’49,5’’	4°59’18,6’’	703.84	391.21
Point 11 Oued boulimate	2	36° 48’47,4’’	4°58’44,9’’	702.35	391.18
Point 12 Oued Saket	3	36° 49’39,1’’	4°56’22,2’’	699.34	392.96

**III.5.2. Les paramètres physiques réalisés durant la sortie :**

Les paramètres physiques sont en relation avec la composition naturelle des eaux : au contact du sol, les eaux se chargent de certains éléments minéraux qui influent sur la conductivité et le pH (acidité). La température de l'eau est également prise en compte.

Le tableau sous dessous : N°XXXVII présente ces paramètres comme suit :

**Tableau N° XXXVII :** Les paramètres physiques réalisés par le multi paramètre :

Paramètre	pH	T°(C)	Conductivité (US /cm)	TDS (mg /l)	Salinité	ORP	DO%	DO (mg/l)
Point d'eau								
Point 1	8.43	18.76	1741	870	0.89	117.9	13.3	1.24
Point 2	7.56	20.43	2932	1466	1.53	118.7	13.8	1.25
Point 3	8.22	18.97	4035	2018	2.15	125.8	26.3	2.44
Point 4	9.13	22.22	3141	1570	1.64	75.8	161.5	14.16
Point 5	7.51	20.83	5625	2813	3.05	144.3	11.6	1.04
Point 6	8.02	21	2468	1234	1.28	127.4	28.8	2.6
Point 7	8.15	14.79	1124	562	0.56	121.1	9	0.92
Point 8	9.16	14.82	1035	518	0.52	132.6	11.6	1.19
Point 9	8.13	14.12	1090	545	0.54	106.1	4	0.42
Point 10	7.73	17.74	1722	861	0.88	136.3	11.1	1.06
Oued boulimat	8.42	18.41	1044	522	0.52	104.5	41.8	3.9
Oued saket	9.13	19.19	658	329	0.32	93.3	51.9	4.97
Normes OMS	6.5-8.5	<25	2000	1000			>50	>5
Normes ALG	6.5-9	25	2800	1200	5			

Selon OMS : Organisation. Mondiale de la Sante, (2003) et Journal Officiel de la République Algérienne, (2011)

III.5.2.1. Discussions des résultats des paramètres physiques :

La température (T°) :

La température de l'eau est un facteur important dans la production biologique. Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci ; En particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques.

Dans la région d'étude, les résultats obtenus montrent que le degré cette température ne présente pas de grandes variations d'un puits à L'autre. Et elle est variée entre 14.79 C° à 22.22 C° qui indiquent que l'eau hydrothermale. (Fig. 36).

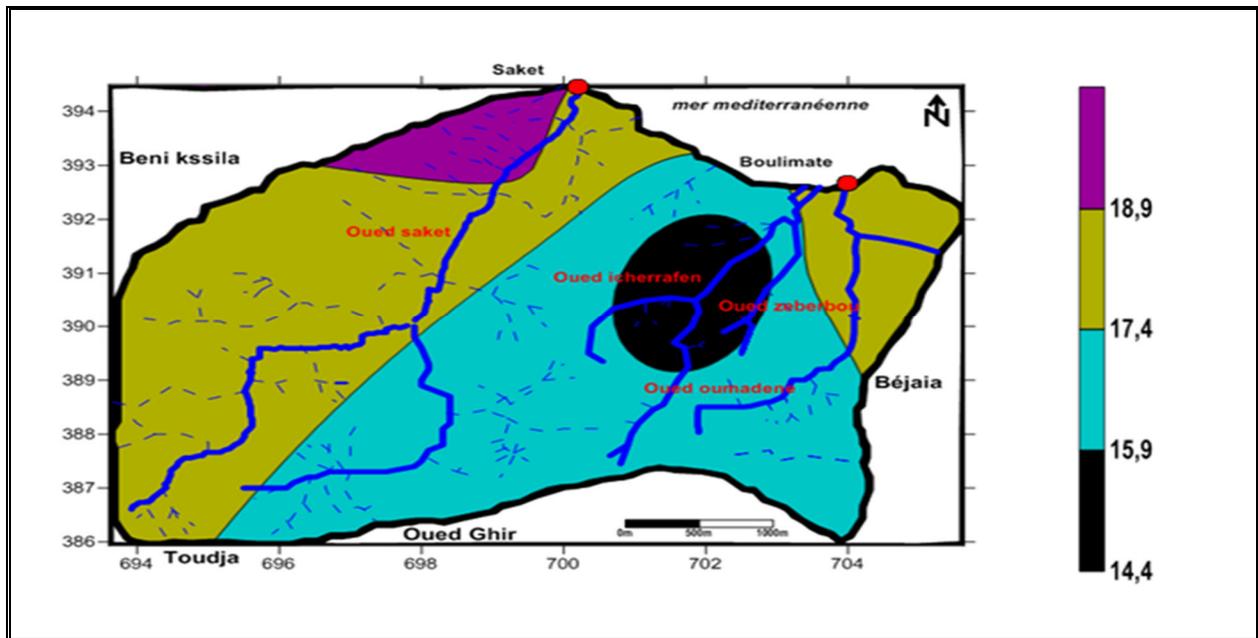


Figure N°36 : la température des eaux de la zone de Boulimate.

➤ **Le Potentiel Hydrogène (pH):**

Bien que le pH à conséquence directe pour le consommateur, le pH est l'un des paramètres opérationnels les plus importants pour la qualité de l'eau. Il doit être soigneusement ajusté à tous les stades du traitement de l'eau. Le pH de l'eau potable se situe généralement entre 6,5 jusqu'à 9.

- notre eau est variée entre 7.51 à 9.16 qui indiquent que l'eau de notre région est alcaline.

Les eaux de ces puits sont alcalines qui conduisent à l'entartrage des canalisations (Fig. 37)

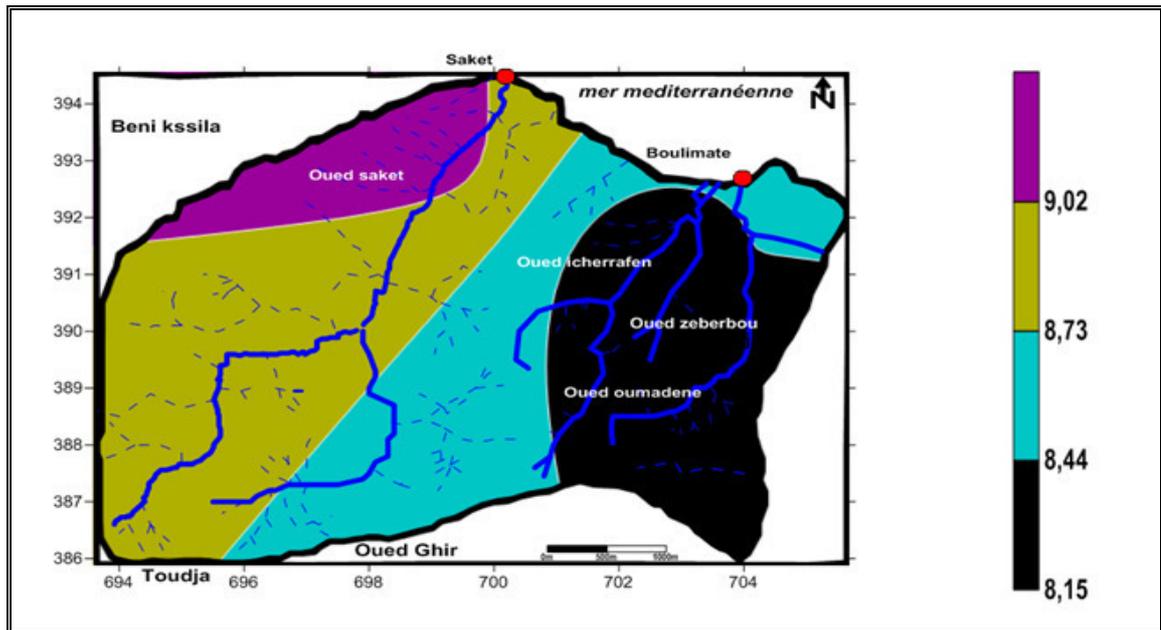


Figure N°37 :le potentiel hydrogène des eaux de la zone de Boulimite.

➤ **La Conductivité (CND)** : Elle indique la capacité d'un aquifère à se laisser traverser par l'eau. La conductivité de notre eau analysée est varié entre 658 jusqu'à 5625 (US /cm) qui indique que l'eau de ce point (3.4.5) a un degré de minéralisation très élevé quand on le compare avec la norme Algérienne (28000US/cm) et la norme de l'OMS (2000Us/cm).

-Plus elle est élevée plus l'eau est riche en sels minéraux.

La conductivité hydraulique verticale a été utilisée au cours de cette étude. (Mihoubi, 2008).

(Fig.38).

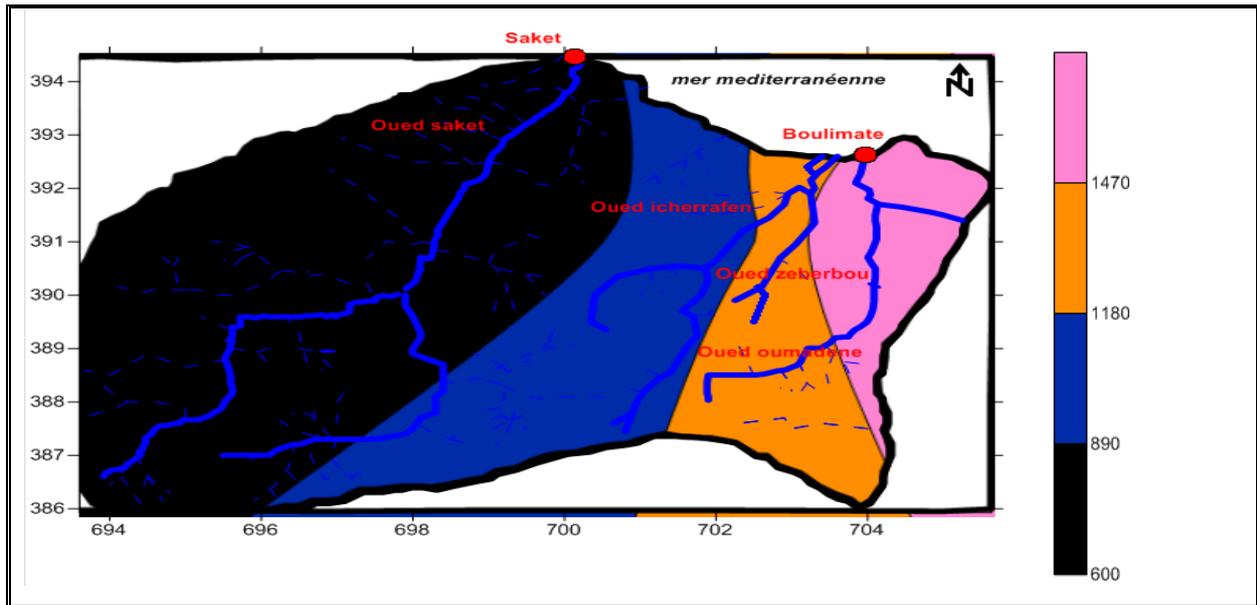


Figure N°38 : La conductivité des eaux de la région Boulimat.

➤ **Teneur en sels dessous (TDS) :** L'eau de puits qu'on a analysé est compris entre 329 jusqu'à 2813(g /l).qui indique que l'eau dans les point (2-3-4-6) très élevés qui indique que ces eaux sont pas propre à la consommation parce que elle sont riches en sels dessous(Fig.39).

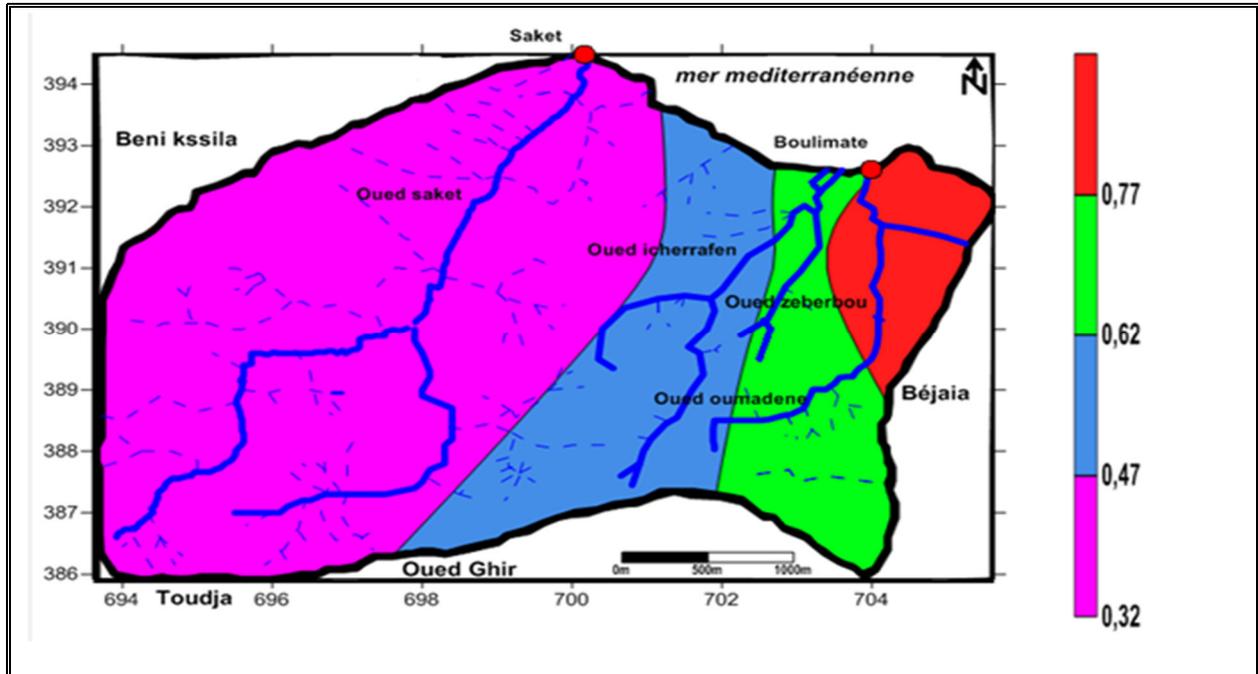


Figure N°39 :La teneur en sels dessous des eaux de la région Boulimata.

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

La salinité de notre eau analysée est comprise de 0.32 à 3.05 g/l. qui indique eau est acceptable. (Fig.40).

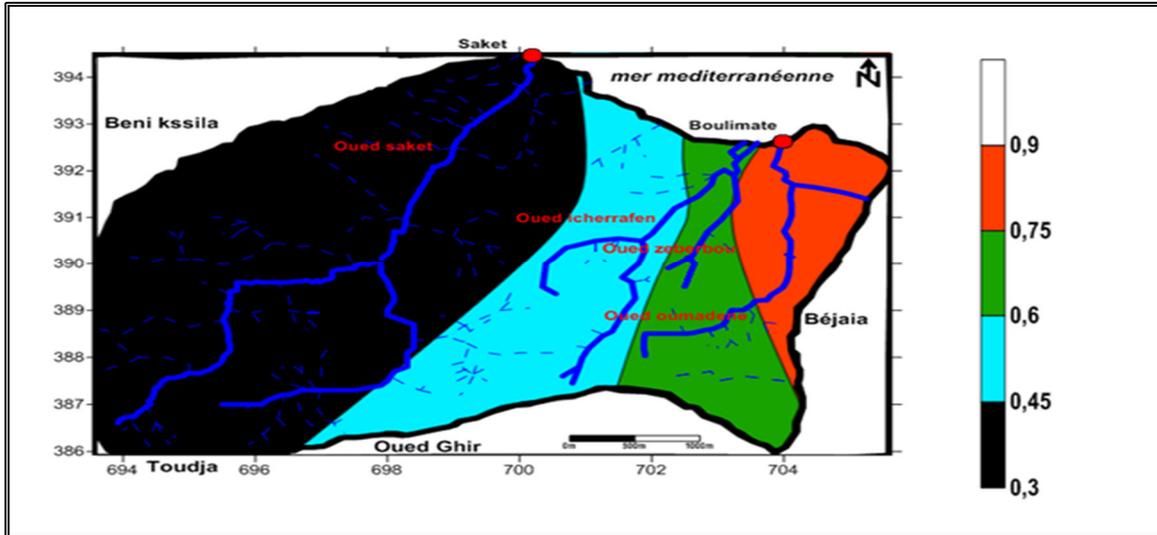


Figure N°40 : La Salinité des eaux de la région Boulimat.

- **Oxyde Redox Potentielle (ORP):** les valeurs d'ORP de notre eau analysée est comprises entre - 75.8 et - 144. S (la fig.41).

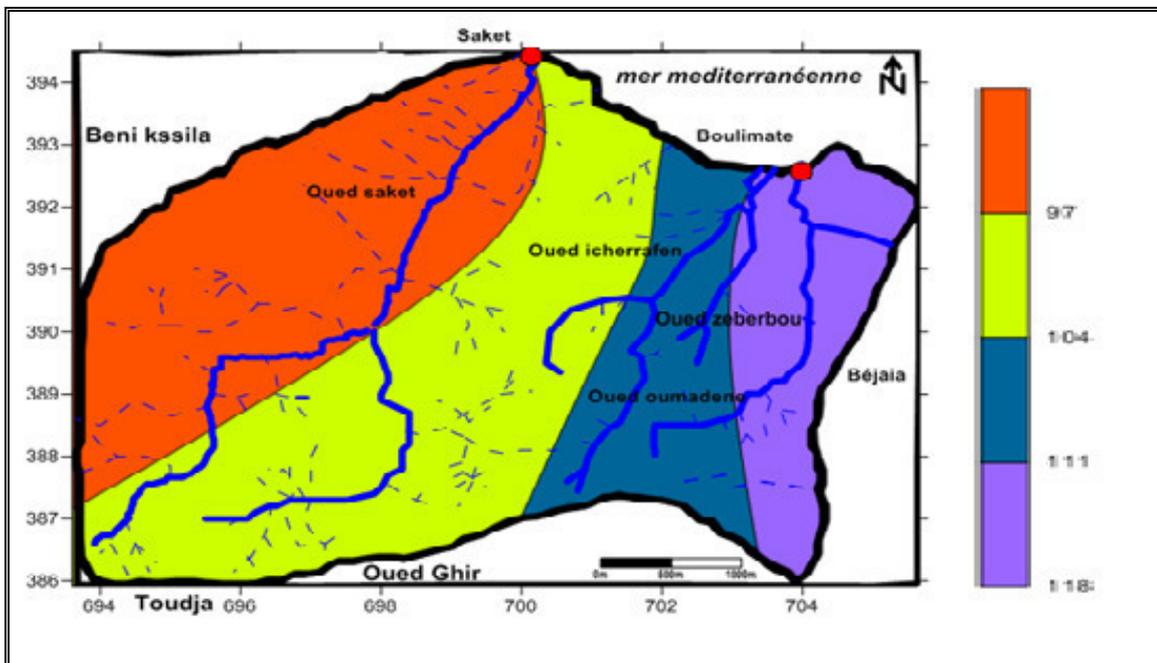


Figure N°41 : Oxyde Redox Potentielle (ORP) des eaux de la région Boulimat.

L'oxygène dessous (%) de notre eau est compris entre 0.42 et 3.9 mg/l.(fig.42) et(Fig.43)

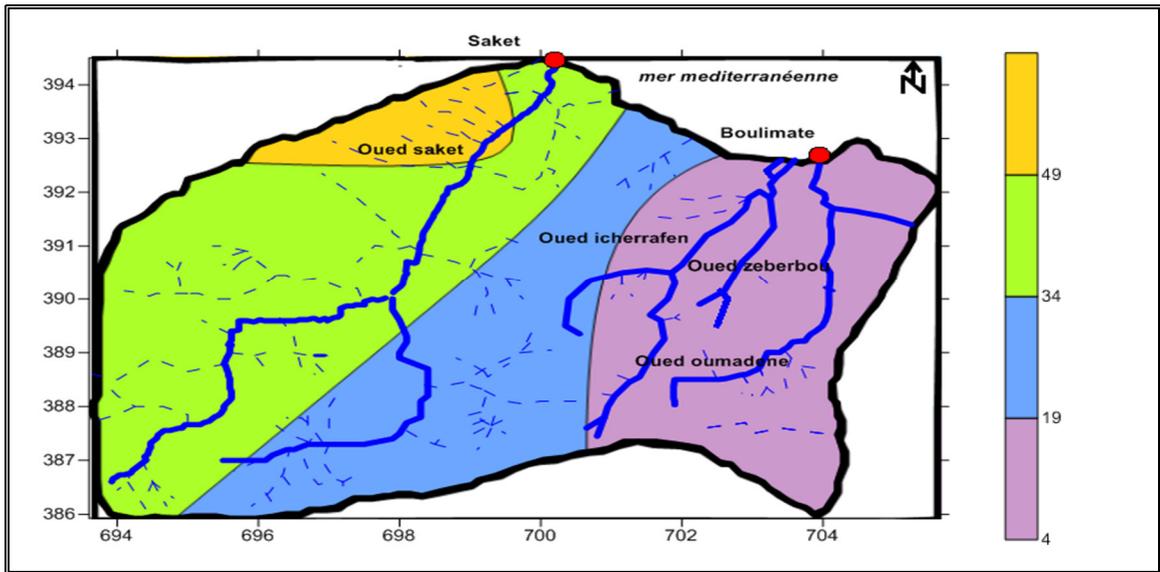


Figure N°42 : L'oxygène dessous en (%)des eaux de la région Boulimat.

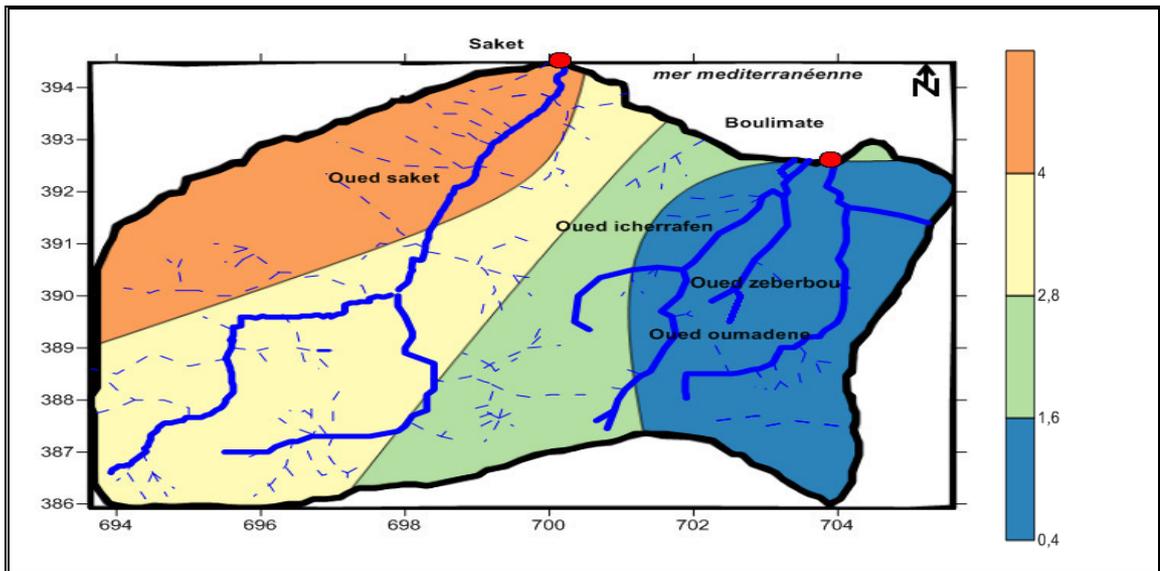


Figure N°43 : L'oxygène dessous en (mg/l)des eaux de la région Boulimat.

### III.5.3. Résultats des paramètres hydrochimie :

Tableau N° XXXVIII : Représente les résultats des paramètres hydrochimie :

paramètre	TAC mg/l	TH	Ca+ mg/l	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	NO <sup>-2</sup> (mg/l)	SO <sup>-2</sup> 4	turbidité	HCO <sup>-3</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na	K
Point1	282	236	54.4	24.2	0	159.46	1.31	344	324	35	12
Point 7	280	464	112	44.53	0.008	181.84	1.32	342	648	25	8
Point10	406	560	166.4	34.85	0.004	158.12	2.39	495	1426	40	20
Oued 11	282	412	105.6	35.82	0.002	141.31	1.09	344	648	12	05
Oued 12	260	332	75.2	34.85	0.01	99.265	2.65	317	247	14	07
Normes OMS(2003)			100- 140	0.4	0.1	500	5	--	200	20- 200	10 - 12
Normes ALG(2011)	500 - 2000	100 - 500	200	<50	0.1- 0.2	400	5	--	500	200	12

Selon les normes de l'OMS (Organisation Mondiale de la Sante), (2003) et le Journal Officiel de la République Algérienne,( 2011)

#### III.5.3.1.Discutions des résultats :

- **La quantité de TAC (Mg/l)** est comprise entre 260 et 406 (Mg/l).
- **La quantité de TH** est comprise entre 236 et 560 (Mg/l).
- **La quantité de Ca<sup>+</sup>** ;cette teneur est varié selon le terrain traversé elle est compris entre 54.4 et 166.4 (Mg/l).elle condition la dureté de l'eau donc la valeur est presque supérieure a la valeur normale qui induise a l'entartages et les problèmes rénaux et la sécheresse de la peau.
- **La quantité de Mg<sup>+2</sup>** ; sa teneur dépend la roche sédimentaire et elle conditionne la dureté, elle est comprise entre 24.2 et 44.53(Mg/l),la valeur est très normale donc il n y a pas l'impact sur la santé.
- **La quantité de Nitrite NO<sup>-2</sup>**est comprise entre 0 et 0.008 (Mg/l). La présence des nitrites d'origine naturelle est très rare. Ils sont répandus dans le sol, les eaux et les plantes mais en quantité relativement faible. La présence des nitrites dans une eau naturelle peut être due à une oxydation incomplète de composés azotés.

(Belattaf, 2016)

- **La quantité de  $\text{SO}_4^{2-}$**  est comprise entre 181.84 et 99.265 (Mg/l), cette valeur n'a pas dépassé la valeur moyenne.
- **La turbidité :** La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Dans les eaux naturelles la turbidité est causée par la présence des matières en suspension fines (argile, limon, grains de silice et les micro-organismes). (Belattaf, 2016).
- **La Turbidité de notre eau analysée** est comprise entre 1.3 et 2.6 (Mg/l) est très normale parce que elle n'a pas dépassé le 5 NTU.
- **La quantité de  $\text{HCO}_3^-$**  est comprise entre 495 et 317 (Mg/l).
- **La quantité du Chlore ( $\text{Cl}^-$ )** est comprise entre 247 et 1426 (Mg/l) est très élevé selon la norme de l'OMS qui dépasse pas le 200 mg/l la possibilité d'avoir des risque sanitaire.
- **La quantité de potassium (K) :** selon Belattaf, (2016), Le potassium peut être apporté par les engrais. Il constitue donc un indicateur de pollution anthropique. La valeur obtenue partir de l'analyse de notre eau à la région de Boulimate est comprise entre 5 jusqu'à 20 (mg/l) cette valeur est très normale.
- **La quantité du sodium (Na)** est compris entre 12 jusqu'à 40 (Mg/l), donc Ya pas de risque sur cette eau.

Les résultats sont présentés comme suit par les figures 44 et 45.

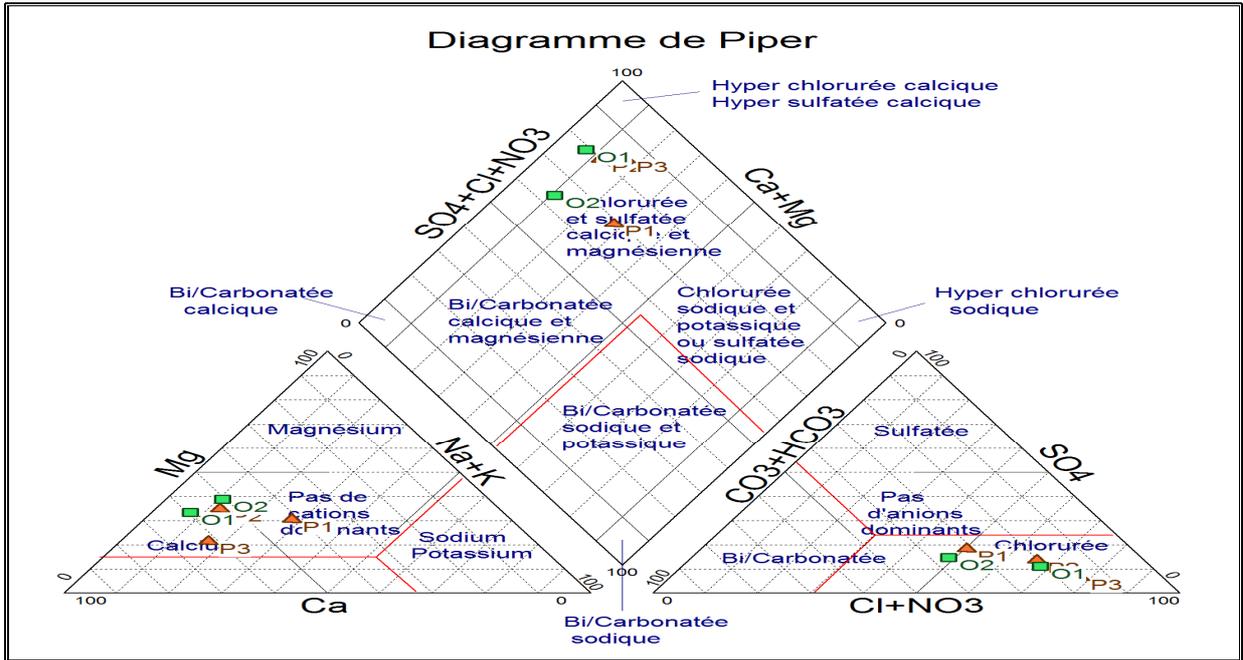


Figure N°44: Diagramme de Piper des analyses hydrochimie des eaux souterraines

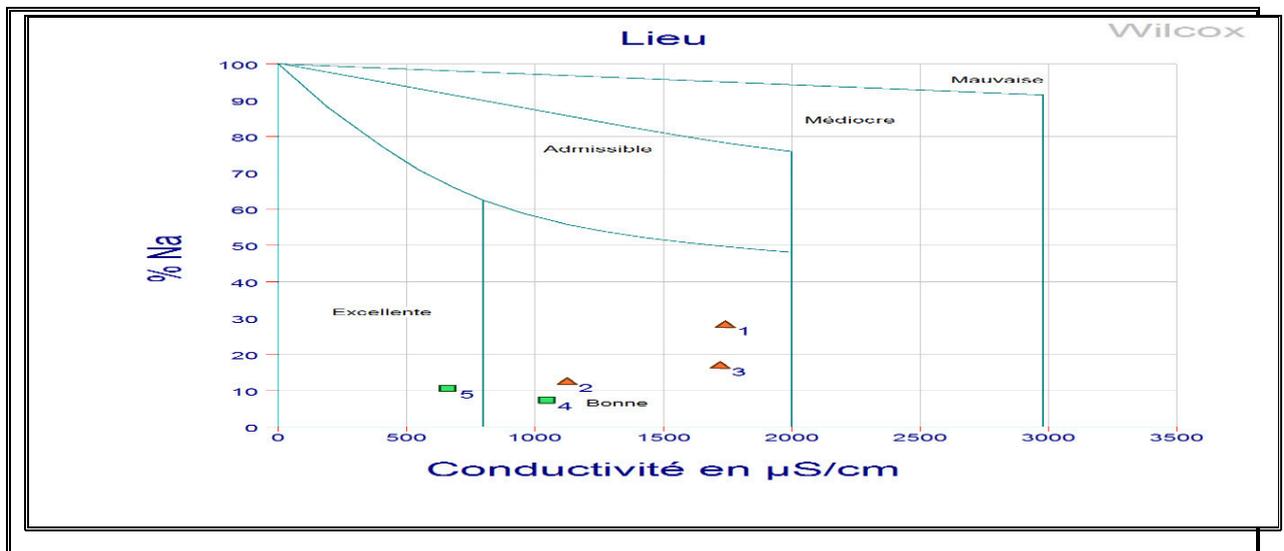


Figure N° 45 : Diagramme de Wilcox des analyses hydrochimie des eaux souterraines.

**III.5.4. .Les résultats du spectromètre d’absorption atomique en flamme (SAA) :**

**III.5.4.1.dosages des métaux lourds :** Les éléments trace métalliques ont été analysés avec le spectromètre d’absorption atomique en flamme (SAA) .au niveau du laboratoire Génie des procédés (Université de Bejaia).Tableau : (N° XXXIX - XXXX - XXXXI -XXXXII).

**Tableau N° XXXIX : Résultats de la Spectrophotomètre Absorption Atomique (SAA).**

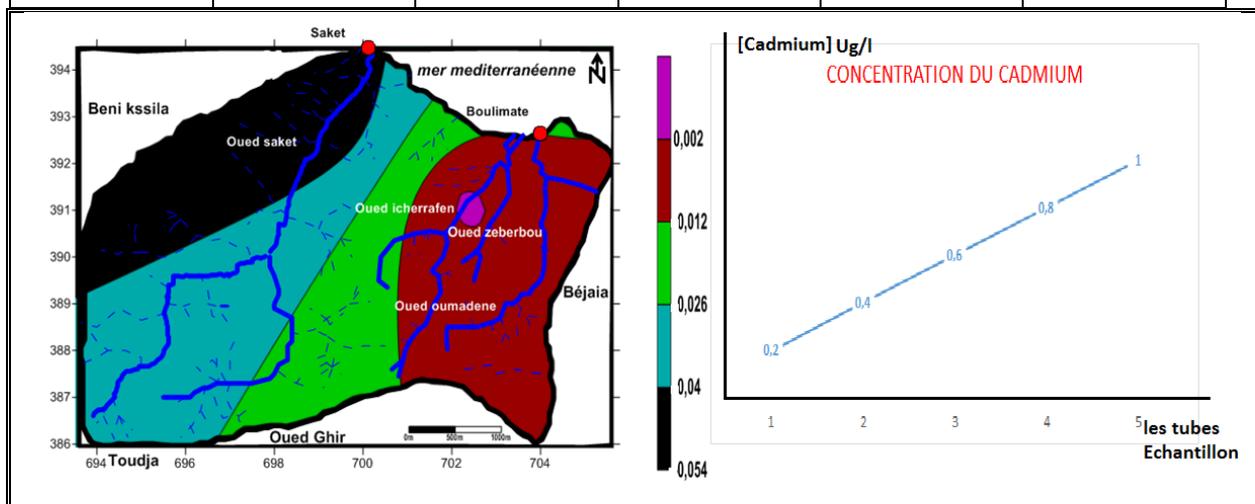
Métaux	Norme OMS (2007)	Norme Algerienne
Cadmium	0.003µg/l	3 µg/l
plomb	0.001(µg/l)	10 µg /l
Zinc	3 (mg/l)	5mg/l
Fer	0.3 (mg/l)	0.3 mg/l
Ammonium	0.2/0.3(mg/l)	0.5 mg/l

(Selon OMS : Organisation. Mondiale de la Sante(2007)et Journal Officiel de la République Algérienne(2011)).

➤ **Les résultats de dosage du Cadmium :**

**Tableau N° XXXX : Résultats de la concentration et l’absorption du cadmium (Cd) :**

tube	11	1	7	10	12
Concentration µg/l	0,2	0,4	0,6	0,8	1



**Figure N°46 :**la courbe et la carte de la concentration du cadmium dans la région boulimata.

➤ Les résultats de dosage du plomb :

Utilisation de la solution du nitrate du plomb pour avoir le dosage du plomb dans l'eau

Tableau N° XXXXI : Résultats de la concentration du plomb :

tube	11	1	7	10	12
Concentration ( $\mu\text{g/l}$ )	0,0049	0,0109	0,0070	0,0018	0,0101

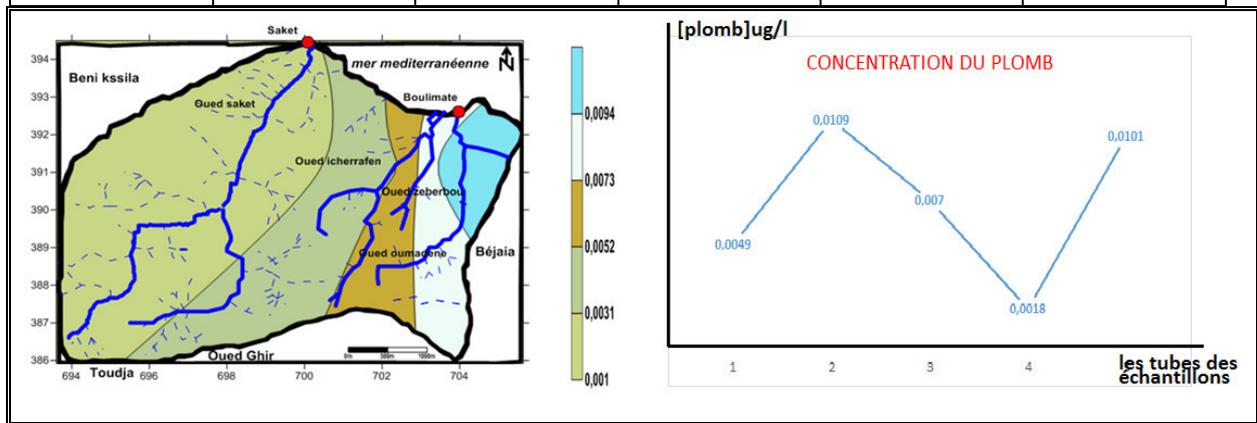


Figure N°47: la courbe et la concentration du plomb dans la région boulimata.

➤ Les résultats de dosage du Zinc :

Tableau N°XXXXII : Résultats de la concentration et l'absorption du Zinc :

tube	11	1	7	10	12
Concentration (mg/l)	0,0348	0,0361	0,0680	0,0411	0,0326

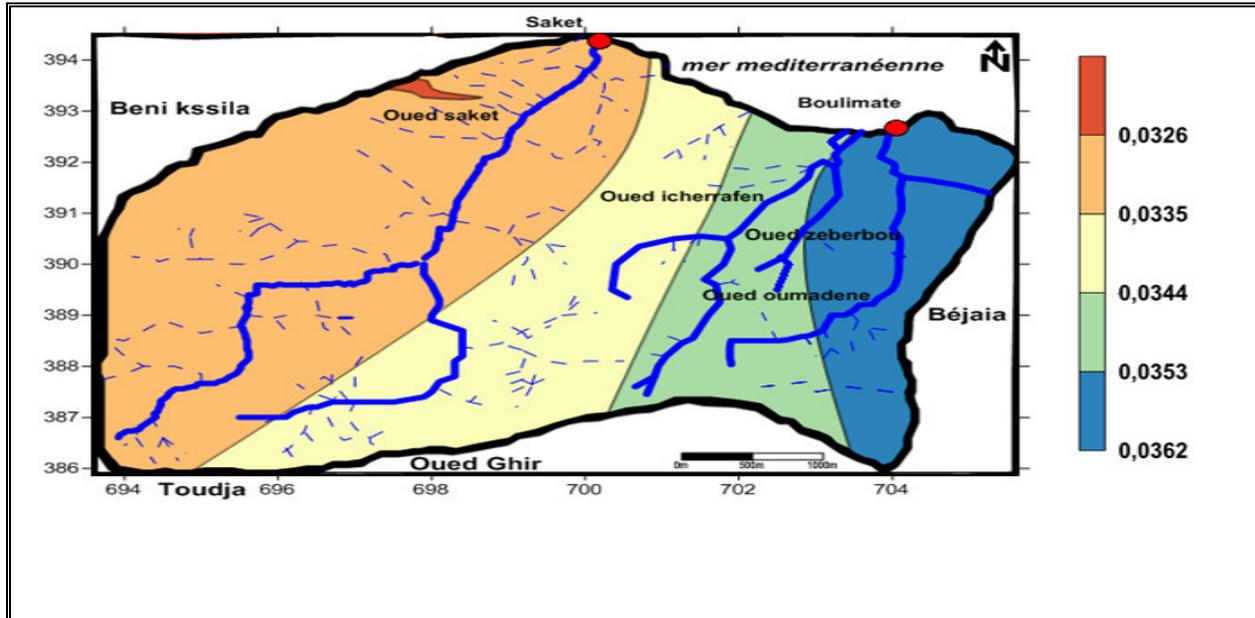


Figure N°48 : la concentration du Zinc dans la région de boulimat.

III.5.4.2. Discussions des résultats :

-Les métaux lourds présents dans l'eau et dans les sédiments sont absorbés par les plantes et les animaux aquatiques le dépassement d'une quantité donnée dans ces espèces provoque leur accumulation dans les organismes et tout au long de la chaîne alimentaire. Ils peuvent atteindre des concentrations menaçant la survie de certaines populations naturelles et présenter des dangers pour le consommateur de produits marins du fait de leur possibilité de concentration dans les espèces marines, de leur élimination difficile et de leur large répartition dans le milieu aquatique.

-D'autres ne sont pas nécessaires à la vie, et peuvent être même préjudiciables comme le Mercure (Hg), le Plomb (Pb), le Cadmium (Cd). Dans la présente étude six métaux ont été étudiées en particulier : le Cadmium, le Plomb, le Fer, le Zinc. (Bennacer,2016).

Dans l'analyse des eaux ; on a remarqué que il y a que des traces des métaux lourds d'après les résultats de la SAA, les résultats sont compris au-dessous comme suivant :

- **Le cadmium ( $\mu\text{g/l}$ )** :Le Cadmium fait également partie des métaux lourds les plus dangereux, même à faibles concentrations, il tend à s'accumuler dans le cortex rénal sur de très longues périodes (50 ans) où il entraîne une perte anormale de protéines par les urines (protéinurie) et provoque des dysfonctionnements urinaires chez les personnes âgées. La concentration de Cadmium dans notre eau est comprise entre 0 et 0.001 alors que leur valeur limitée est de 0.003 (Ug/l) donc on conclut que notre eau n'est pas concentré de cadmium et il ne conduit pas à des risques sanitaires.
- **L'ammonium (mg/l)** est compris entre 0.014 et 0.06 (mg/l) et sa valeur limite est de 0.2 (mg/l).
- **Le plomb ( $\mu\text{g/l}$ )** :ils sont très liposolubles dans l'eau, ils passent immédiatement dans le sang. Ces composés liquides pénètrent facilement dans l'organisme. Le saturnisme désigne l'ensemble des manifestations de l'intoxication par le plomb. Les coliques de plomb sont les effets toxiques les plus connus du métal et ses principaux organes cibles sont : le système nerveux, les reins et le sang. La concentration du plomb est comprise entre 0.0018 et 0.01 et sa valeur limite est de 10 Ug/l donc il n'existe pas un risque sanitaire.
- **Le zinc (mg/l)** est compris entre 0.001 et 0.002 (mg/l) et leur valeur limite est de 5 mg / l donc il n'est pas concentré par le zinc.
- **Le fer ( $\mu\text{g/l}$ )** est compris entre 0 et 0.02 (mg/l) et leur valeur de limite selon les normes algériennes est de 0.3 (mg/l), donc elle ne donne pas des goûts et des couleurs particulière à cet eau quand leur concentration elle n'est pas très élevée.

### III.6. La 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.50).

$$\text{Risque} = \text{Vulnérabilité} \times \text{Aléa.}$$

#### III.6.1. Les sources de pollution :

Ce sont la plupart du temps les activités humaines qui sont à l'origine des pollutions des sols :

- Les installations industrielles peuvent
- les rejets des bâtiments d'élevage.
- des exploitations agricoles sont également à l'origine de nombreuses pollutions des sols (notamment par l'azote et les phosphates, L'épandage des produits phytosanitaires qui vont à leur tour amener la contamination des eaux de ruissellement, et par la suite les cours d'eaux. (Dib, 2009).
- Les actions des collectivités territoriales peuvent également être à l'origine d'une pollution des sols.
- Le trafic routier est souvent la source d'émission de plomb la plus importante à laquelle

L'homme est exposé. Elle représente plus de 90 % de toutes les émissions de plomb

Atmosphérique dans de nombreuses zones urbaines Selon. (Lovie, 1997).

Le trafic routier dans la région d'étude de Boulimate est très développé 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.

➤ **La décharge publique de BULIMAT :**

La décharge publique de la commune de Bejaia est située au nord-ouest du Parc National de Gourara, dans la zone périphérique. Elle est limitée au nord par la mer Méditerranée, au sud, par la route nationale N° 24, à l'est, par Adrar Imalou, et à l'ouest, par Ighzer N'Salah. Le transfert de la décharge de Bougie-plage vers Boulimat a été effectué suite a un arrêté de Monsieur le Wali en 1984, sous le conseil de l'organisation Mondiale de la Santé (OMS). La superficie occupée par la décharge est d'environ 10 hectares. (Mouaci, 2002). (Fig.49)



Figure N°49 : de décharge publique au niveau de Boulimat 2017.

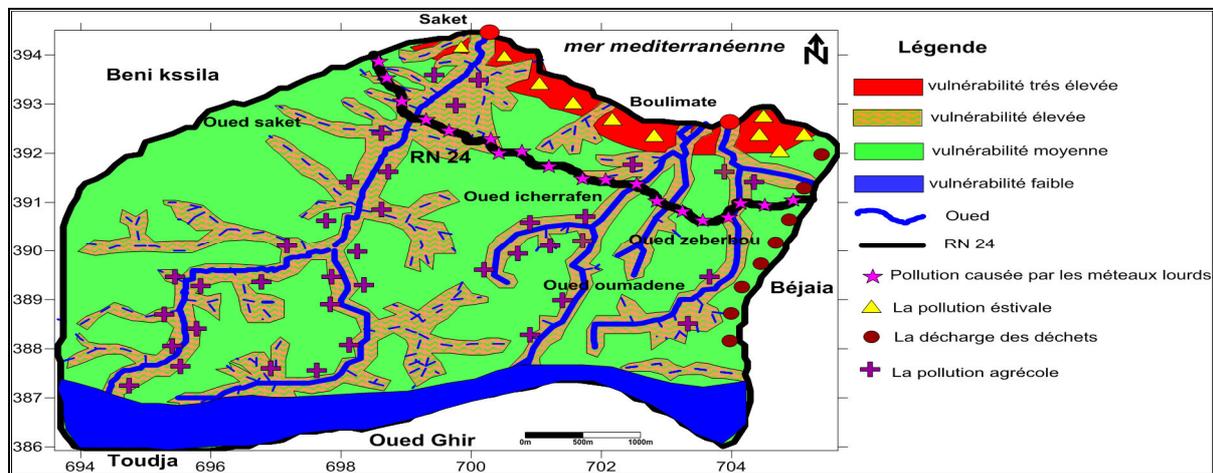


Figure N°50 : Carte de risque de région de Boulimat.

## **Conclusion :**

Au cours de cette recherche, nous avons présenté la vulnérabilité ainsi que la pollution et leurs différents types dans cette région d'étude.

Nous avons présenté la zone d'étude de Boulimat et leurs situation géographique ,la population et leurs faune et flore ainsi que leurs caractéristiques morpho-métriques ,la pédologie, la géologie, l'hydrologie et la climatologie et le matérielles utilisées dans cette étude et les méthodes utilisé pour étudié la vulnérabilité des eaux souterraine dans cette région réalisé dans la synthèse bibliographique et matérielles et méthodes .

Dans les résultats et discussions on a étudié les paramètres physique et chimique et la réalisation de ces résultats faire sous des analyses de déférents objets.

La fin de ce travail se fait par l'étude de la cartographie de la vulnérabilité et les risques de pollution des eaux souterraines. La cartographie est une méthodologie qui est devenue nécessaire afin d'assurer la gestion qualitative des ressources en eau en relation avec les diverses activités humaines.

Dans cette étude, nous avons évalué la vulnérabilité à la pollution à partir de deux méthodes qui sont : DRASTIC et SINTACS. Les résultats font ressortir 4 classes de vulnérabilité dans la méthode DRASTIC et 2 classe pour la méthode SINTACS qui se rencontrent à quelques exceptions dans les mêmes zones. Ce sont les classes de vulnérabilité faible, moyenne et élevée et très élevée pour la méthode DRASTIC et les classes de la méthode SINTACS sont moyennes et très élevées. Les classes de faibles vulnérabilités qui alternent avec celles de vulnérabilité moyenne qui se rencontrent dans les parties de la région d'étude. Ces 2 classes couvrent les zones où la recharge est moyenne, le sol est de type hydro morphe avec un aquifère constitué de grès et une profondeur de nappe moyenne.

L'élaboration de cette cartographie nous montre qu'elles sont suivant les terrains rencontrés en surface, les possibilités de pénétration et de propagation des polluants, de mieux apprécier la fragilité des captages d'eau potable existants, de mieux cerner les zones à risque lors du choix de nouveaux sites de captages et de prévoir des mesures compensatoires et limiter les risques de pollution chronique ou accidentelles.

Les objectifs principaux de ce projet de maîtrise étaient de dresser un portrait de la contamination des eaux souterraines par les sources de pollution et de quantifier la vulnérabilité de l'aquifère rocheux du bassin versant de Boulimat par deux méthodes DRASTIC et SINTACS d'une façon à évaluer l'impact de l'agriculture la décharge publique sur la qualité des réserves en eau souterraine. Cet objectif a été atteint par la mise en oeuvre de travaux de caractérisation sur le terrain et de modélisation ainsi que par la réalisation d'études de vulnérabilité.

La corrélation établie entre les paramètres physiques mesurés montre une bonne liaison entre La salinité, la conductivité électrique et le TDS respectivement.

Pour les autres paramètres ( $T^\circ/\text{TDS}$ ,  $T^\circ/\text{pH}$ ,  $\text{pH}/\text{CE}$ ), le coefficient de détermination est faible. Ce qui traduit la faible liaison entre eux.

Plus aux analyses physiques, il serait intéressant de compléter ce travail par des analyses Chimiques et bactériologiques afin d'avoir un aspect qualitatif plus complet. Nos résultats nous ont permis de nous renseigner que les eaux de sources analysées à de bonnes caractéristiques physiques. Les résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau souterraine en milieu rural dans la région de Boulimat peuvent être considérés admissibles et ne présentent aucun danger lors la consommation.

Donc une bonne qualité de l'eau souterraine de cette région. Nous pouvons donc déduire que cette eau prête à consommer.

Afin de pouvoir bénéficier durablement de cette richesse naturelle quelques recommandations que nous jugeons utiles sont mentionnées ici-bas :

### **Recommandations :**

Les eaux souterraines sont considérées comme l'une des sources les plus importantes, pour l'approvisionnement en eau potable du fait de leur grande capacité de stockage ainsi que de leur faible exposition aux polluants contrairement aux eaux de surface, des particularités qui doivent être prises en compte afin de pouvoir bénéficier durablement de cette richesse naturelle et éviter la possibilité de tout risque sanitaire. Pour cela nous recommandons :

- Traitement de l'eau à l'échelle familiale par l'utilisation d'hypochlorite à l'aide d'un compte-gouttes.
- extension du réseau de l'eau potable en milieu rural.
- Conception du réseau d'assainissement pour l'évacuation des eaux usées, ramassage des ordures, protection des captages.
- La réalisation de travaux pour leur bonne connaissance, leur bonne gestion et leur Protection efficace.
- Certains axes de recherche pourraient apporter un complément intéressant pour la Compréhension du système : les mesures de la pluviométrie et des débits permettraient De mieux définir la relation pluie-débit, et donc l'installation d'un poste Pluviométrique, dans un site adéquat prêt de ces sources, est indispensable.
- L'exploitation des cartes nécessairement s'inscrire dans des plans d'aménagement Concertés permettant une meilleure protection possible contre la pollutions et la Surexploitation des eaux souterraines de la région.
- L'exploitation de la carte de vulnérabilité a la pollution de la région de Boulimat.

- Développement de nouvelles technologies de traitement des déchets.
- Préserver la faune et la flore.
- Contrôler les rejets solides, liquides et gazeux.
- Eviter les rejets à ciel ouvert.
- Eviter les décharges anarchiques et sauvages.
- Eliminer et interdire les décharges publiques dans le voisinage des oueds.
- Sensibiliser les citoyens et les estivants à protéger l'environnement.
- Installation des panneaux d'interdiction de rejets des déchets tout le long des routes.
- Un contrôle et analyses chimiques des eaux de surface et souterraines

## Les Annexes

## Indice de vulnérabilité de la méthode DRASTIC :

	ID	IR	IA	IS	IT	II	IC	Indice	Degré
1	50	24	24	18	10	40	30	196	Très élevé
2	50	24	24	18	1	40	30	187	Très élevé
3	50	24	24	18	10	30	30	186	Très élevé
4	50	24	24	18	1	30	30	177	Très élevé
5	50	24	24	18	10	40	18	184	Très élevé
6	50	24	24	18	1	40	18	175	Très élevé
7	50	24	24	18	10	30	18	174	élevé
8	50	24	24	18	1	30	18	165	élevé
9	50	24	24	12	10	40	30	190	Très élevé
10	50	24	24	12	1	40	30	181	Très élevé
11	50	24	24	12	10	30	30	180	Très élevé
12	50	24	24	12	1	30	30	171	élevé
13	50	24	24	12	10	40	18	178	Très élevé
14	50	24	24	12	1	40	18	169	élevé
15	50	24	24	12	10	30	18	168	élevé
16	50	24	24	12	1	30	18	159	élevé
17	50	24	24	6	10	40	30	184	Très élevé
18	50	24	24	6	1	40	30	175	Très élevé
19	50	24	24	6	10	30	30	174	élevé
20	50	24	24	6	1	30	30	165	élevé
21	50	24	24	6	10	40	18	172	élevé
22	50	24	24	6	1	40	18	163	élevé
23	50	24	24	6	10	30	18	162	élevé
24	50	24	24	6	1	30	18	153	élevé
25	50	24	18	18	10	40	30	190	Très élevé
26	50	24	18	18	1	40	30	181	Très élevé
27	50	24	18	18	10	30	30	180	Très élevé
28	50	24	18	18	1	30	30	171	élevé
29	50	24	18	18	10	40	18	178	Très élevé
30	50	24	18	18	1	40	18	169	élevé
31	50	24	18	18	10	30	18	168	élevé
32	50	24	18	18	1	30	18	159	élevé
33	50	24	18	12	10	40	30	184	Très élevé
34	50	24	18	12	1	40	30	175	Très élevé
35	50	24	18	12	10	30	30	174	élevé
36	50	24	18	12	1	30	30	165	élevé
37	50	24	18	12	10	40	18	172	élevé
38	50	24	18	12	1	40	18	163	élevé
39	50	24	18	12	10	30	18	162	élevé
40	50	24	18	6	1	30	18	153	élevé
41	50	24	18	6	10	40	30	178	élevé
42	50	24	18	6	1	40	30	169	élevé
43	50	24	18	6	10	30	30	168	élevé
44	50	24	18	6	1	30	30	159	élevé
45	50	24	18	6	10	40	18	166	élevé
46	50	24	18	6	1	40	18	157	élevé
47	50	24	18	6	10	30	18	156	élevé

## Indice de vulnérabilité de la méthode DRASTIC :

48	50	24	18	6	1	30	18	147	élevé
49	45	24	24	18	10	40	30	191	Très élevé
50	45	24	24	18	1	40	30	182	Très élevé
51	45	24	24	18	10	30	30	181	Très élevé
52	45	24	24	18	1	30	30	172	élevé
53	45	24	24	18	10	40	18	179	élevé
54	45	24	24	18	1	40	18	170	élevé
55	45	24	24	18	10	30	18	169	élevé
56	45	24	24	18	1	30	18	160	élevé
57	45	24	24	12	10	40	30	185	Très élevé
58	45	24	24	12	1	40	30	176	Très élevé
59	45	24	24	12	10	30	30	175	Très élevé
60	45	24	24	12	1	30	30	166	élevé
61	45	24	24	12	10	40	18	173	élevé
62	45	24	24	12	1	40	18	164	élevé
63	45	24	24	12	10	30	18	163	élevé
64	45	24	24	12	1	30	18	154	élevé
65	45	24	24	6	10	40	30	179	Très élevé
66	45	24	24	6	1	40	30	170	élevé
67	45	24	24	6	10	30	30	169	élevé
68	45	24	24	6	1	30	30	160	élevé
69	45	24	24	6	10	40	18	167	élevé
70	45	24	24	6	1	40	18	158	élevé
71	45	24	24	6	10	30	18	157	élevé
72	45	24	24	6	1	30	18	148	élevé
73	45	24	18	18	10	40	30	185	Très élevé
74	45	24	18	18	1	40	30	176	Très élevé
75	45	24	18	18	10	30	30	165	Très élevé
76	45	24	18	18	1	30	30	166	élevé
77	45	24	18	18	10	40	18	173	élevé
78	45	24	18	18	1	40	18	164	élevé
79	45	24	18	18	10	30	18	163	élevé
80	45	24	18	18	1	30	18	154	élevé
81	45	24	18	12	10	40	30	179	Très élevé
82	45	24	18	12	1	40	30	170	élevé
83	45	24	18	12	10	30	30	169	élevé
84	45	24	18	12	1	30	30	160	élevé
85	45	24	18	12	10	40	18	167	élevé
86	45	24	18	12	1	40	18	158	élevé
87	45	24	18	12	10	30	18	157	élevé
88	45	24	18	12	1	30	18	148	élevé
89	45	24	18	6	10	40	30	173	élevé
90	45	24	18	6	1	40	30	164	élevé
91	45	24	18	6	10	30	30	163	élevé
92	45	24	18	6	1	30	30	154	élevé
93	45	24	18	6	10	40	18	161	élevé
94	45	24	18	6	1	40	18	152	élevé
95	45	24	18	6	10	30	18	151	élevé
96	45	24	18	6	1	30	18	142	élevé

## Indice de vulnérabilité de la méthode DRASTIC :

97	35	24	24	18	10	40	30	181	Très élevé
98	35	24	24	18	1	40	30	172	élevé
99	35	24	24	18	10	30	30	171	élevé
100	35	24	24	18	1	30	30	162	élevé
101	35	24	24	18	10	40	18	169	élevé
102	35	24	24	18	1	40	18	160	élevé
103	35	24	24	18	10	30	18	159	élevé
104	35	24	24	18	1	30	18	150	élevé
105	35	24	24	12	10	40	30	175	Très élevé
106	35	24	24	12	1	40	30	166	élevé
107	35	24	24	12	10	30	30	165	élevé
108	35	24	24	12	1	30	30	156	élevé
109	35	24	24	12	10	40	18	163	élevé
110	35	24	24	12	1	40	18	154	élevé
111	35	24	24	12	10	30	18	153	élevé
112	35	24	24	12	1	30	18	144	moyenne
113	35	24	24	6	10	40	30	169	élevé
114	35	24	24	6	1	40	30	160	élevé
115	35	24	24	6	10	30	30	159	élevé
116	35	24	24	6	1	30	30	150	élevé
117	35	24	24	6	10	40	18	157	élevé
118	35	24	24	6	1	40	18	148	élevé
119	35	24	24	6	10	30	18	147	élevé
120	35	24	24	6	1	30	18	138	moyenne
121	35	24	18	18	10	40	30	175	Très élevé
122	35	24	18	18	1	40	30	166	élevé
123	35	24	18	18	10	30	30	165	élevé
124	35	24	18	18	1	30	30	156	élevé
125	35	24	24	18	10	40	18	163	élevé
126	35	24	24	18	1	40	18	154	élevé
127	35	24	24	18	10	30	18	153	élevé
128	35	24	24	18	1	30	18	144	moyenne
129	35	24	24	12	10	40	30	169	élevé
130	35	24	24	12	1	40	30	160	élevé
131	35	24	24	12	10	30	30	159	élevé
132	35	24	24	12	1	30	30	150	élevé
133	35	24	24	12	10	40	18	157	élevé
134	35	24	24	12	1	40	18	148	élevé
135	35	24	24	12	10	30	18	147	élevé
136	35	24	24	12	1	30	18	138	moyenne
137	35	24	24	6	10	40	30	163	élevé
138	35	24	24	6	1	40	30	154	élevé
139	35	24	24	6	10	30	30	153	élevé
140	35	24	24	6	1	30	30	144	moyenne
141	35	24	24	6	10	40	18	151	élevé
142	35	24	24	6	1	40	18	142	moyenne
143	35	24	24	6	10	30	18	141	moyenne
144	35	24	24	6	1	30	18	132	moyenne
145	5	24	24	18	10	40	30	151	élevé

## Indice de vulnérabilité de la méthode DRASTIC :

146	5	24	24	18	1	40	30	142	moyenne
147	5	24	24	18	10	30	30	141	moyenne
148	5	24	24	18	1	30	30	132	moyenne
149	5	24	24	18	10	40	18	139	moyenne
150	5	24	24	18	1	40	18	130	moyenne
151	5	24	24	18	10	30	18	129	moyenne
152	5	24	24	18	1	30	18	120	moyenne
153	5	24	24	12	10	40	30	145	élevé
154	5	24	24	12	1	40	30	136	moyenne
155	5	24	24	12	10	30	30	135	moyenne
156	5	24	24	12	1	30	30	126	moyenne
157	5	24	24	12	10	40	18	133	moyenne
158	5	24	24	12	1	40	18	124	moyenne
159	5	24	24	12	10	30	18	123	moyenne
160	5	24	24	12	1	30	18	114	moyenne
161	5	24	24	6	10	40	30	139	moyenne
162	5	24	24	6	1	40	30	130	moyenne
163	5	24	24	6	10	30	30	129	moyenne
164	5	24	24	6	1	30	30	120	moyenne
165	5	24	24	6	10	40	18	127	moyenne
166	5	24	24	6	1	40	18	118	moyenne
167	5	24	24	6	10	30	18	117	moyenne
168	5	24	24	6	1	30	18	108	faible
169	5	24	18	18	10	40	30	145	Très élevé
170	5	24	18	18	1	40	30	136	moyenne
171	5	24	18	18	10	30	30	135	moyenne
172	5	24	18	18	1	30	30	126	moyenne
173	5	24	18	18	10	40	18	133	moyenne
174	5	24	18	18	1	40	18	124	moyenne
175	5	24	18	18	10	30	18	123	moyenne
176	5	24	18	18	1	30	18	114	moyenne
177	5	24	18	12	10	40	30	139	moyenne
178	5	24	18	12	1	40	30	130	moyenne
179	5	24	18	12	10	30	30	129	moyenne
180	5	24	18	12	1	30	30	120	moyenne
181	5	24	18	12	10	40	18	127	moyenne
182	5	24	18	12	1	40	18	118	moyenne
183	5	24	18	12	10	30	18	117	moyenne
184	5	24	18	12	1	30	18	108	faible
185	5	24	18	6	10	40	30	133	moyenne
186	5	24	18	6	1	40	30	124	moyenne
187	5	24	18	6	10	30	30	123	moyenne
188	5	24	18	6	1	30	30	114	moyenne
189	5	24	18	6	10	40	18	121	moyenne
190	5	24	18	6	1	40	18	112	faible
191	5	24	18	6	10	30	18	111	faible
192	5	24	18	6	1	30	18	102	faible

## Indice de vulnérabilité de la méthode DRASTIC :

## Indice de vulnérabilité de la méthode SINTACS :

### 2 Calcul de l'indice SINTACS général

La superposition des sept cartes thématiques établies et l'application de l'équation de l'indice SINTACS général nous a permis de tracer la carte finale de vulnérabilité. (Tab XXVIII).

Avec :

$$I_s = (Sc.Sp) + (Ic.Ip) + (Nc.Np) + (Tc.Tp) + (Ac.Ap) + (Cc.Cp) + (Sc.Sp).$$

Zones	$I_s = (Sc.Sp) + (Ic.Ip) + (Nc.Np) + (Tc.Tp) + (Ac.Ap) + (Cc.Cp) + (Sc.Sp)$	vulnérabilité
0 - 1.3	$I_s = 50 + 28 + 35 + 32 + 21 + 30 + 20 = 216$	Très élevée
1.3 - 2.6	$I_s = 40 + 28 + 40 + 18 + 24 + 30 + 06 = 186$	Moyenne
	$I_s = 40 + 28 + 40 + 18 + 24 + 30 + 02 = 182$	Moyenne
8.2- 10.8	$I_s = 25 + 28 + 20 + 18 + 15 + 27 + 06 = 139$	Moyenne
	$I_s = 25 + 28 + 20 + 18 + 15 + 27 + 02 = 135$	moyenne
24.3 - 41.47	$I_s = 10 + 28 + 45 + 18 + 15 + 27 + 02 = 145$	moyenne

### Le protocole suivi :

Pour le dosage des métaux lourds (dans notre cas Cd, Pb, Zn, Fer) il convient d'utiliser des tubes en matière de verre pour éviter toute contamination possible. Il est préférable de préparer les tubes à la veille du prélèvement selon le mode opératoire suivant :

- Laver le tubes et le bouchon avec une solution diluée de détergent et d'eau du robinet.
- Rincer abondamment avec l'eau du robinet.
- Rincer avec une solution aqueuse d'acide Nitrique à 10% ou dans notre cas avec l'eau distillée.
- Vider et remplir complètement avec une solution aqueuse d'acide Nitrique 10%.
- Fermer avec le bouchon et laisser reposer pendant au moins 24h.
- Vider le récipient, rincer avec de l'eau d'une qualité appropriée (eau ultra pure), et replacer immédiatement le bouchon.

### Procédure du prélèvement :

Pour le prélèvement et le stockage des échantillons, nous avons utilisé une méthode :

- Une corde de 15m est attachée à un sceau (volume = 10L) pour faciliter le remplissage.
- Le sceau est rincé trois fois avant l'échantillonnage. Les tubes (ml) sont ensuite rincés avec l'eau du sceau trois fois puis remplis complètement jusqu'à l'extrémité puis scellés de manière à faire éviter des réactions interférentes avec l'air. Les récipients contenant les échantillons sont étiquetés de façon claire. Après la mesure des paramètres in situ (température, pH...) l'ajout dans chaque récipient, de

## **Indice de vulnérabilité de la méthode DRASTIC :**

2mL de substance conservatrice qui est dans notre cas l'eau distillée où lieu l'acide Nitrique 65% est effectué. Les récipients sont conservés dans une glacière à 6°C.

## **Les protocoles utilisés dans toutes les analyses sont dictés par la norme algérienne N°63-60 des paramètres électrochimiques :**

### **Les Mode opératoires des cations et des anions :**

#### **➤ Détermination du calcium (Ca<sup>2+</sup>) :**

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

#### **➤ Détermination du calcium (Ca<sup>2+</sup>) et du magnésium (Mg<sup>2+</sup>)**

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 2 ml réactif de NH<sub>4</sub>OH (10.1) ;
- Ajouter noir urochrome ;
- Titre avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (bleu) ;
- Noter le volume titré et faire le calcul (voir l'annexe N°I)

#### **➤ Détermination des chlorures (Cl<sup>-</sup>)**

- Prendre 5 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 2 gouttes de réactif de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> (coloration jaunâtre) ;
- Titre avec Ag NO<sub>3</sub> à 0,01 N jusqu'à coloration brun rougeâtre ;
- Noter le volume titré et faire le calcul (voir l'annexe N°II).

#### **➤ Détermination des Sulfates (SO<sub>4</sub> (2-))**

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

#### **➤ Détermination du(TA)**

- Prélever dans une fiole conique, 100 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 3 gouttes de solution de phénolphaléine.
- Titre sur fond blanc avec la solution étalon d'hydroxyde de sodium 0,02 N jusqu'à apparition d'une faible coloration rose (virage *pH* 8,3).
- Noter le volume titré et faire le calcul (voir l'annexe N°III) .

#### **➤ Détermination du(TAC)**

- Prélever dans une fiole conique 100 ml d'eau à analyser
- ajouter 2 gouttes de solution de méthylorange.

### **Indice de vulnérabilité de la méthode DRASTIC :**

- Titrer sur fond blanc avec la solution d'hydroxyde de sodium 0,02N jusqu'au virage du jaune au jaune orangé (pH4.6).
- Noter le volume titré et faire le calcul (voir l'annexe N°III).

#### **➤ Dosage des nitrites (NO<sub>2</sub>-) :**

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 1 ml du réactif mixte et attendre 10mn ;
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO<sub>2</sub> ;
- Effectuer la lecture au spectrophotomètre  $\lambda = 543 \text{ nm}$ .

#### **Dosage des nitrates NO<sub>3</sub> :**

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %.
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88° C.
- Reprendre le résidu avec 2 ml. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> laisser reposer 10 mn.
- Ajouter 15 ml d'eau distillée.
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectrophotomètre  
....= 415 nm

## **La Bibliographie :**

- Ait Hmoudi T. (2010)** .Etude de la vulnérabilité de la Baie de Bejaia. Université de Bejaia.
  
- Albinet M., Margat J. (1970)**. Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. (Mapping of groundwater vulnerability to pollution ) bulletin BRGM 2 series 3(5):13-22.
  
- Aller L., Bennett T., Lehr J H., Petty J., Hackett G.(1987)**. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings. U.S.Environmental Protection Agency (EPA), Ada, Oklahoma, USA.
  
- Allier D., Vittecog B., Mordhel V. (2008)**.Evaluation intrinsèque des eaux souterraine de mari igné, rapport final BRGM/RP-56238-Fr.juin 2008.
  
- **Allirou R ., Quantinet B. (2004)** .Vulnérabilité une notion d'avenir. École supérieure des mines .Saint Etienne.
  
- Amari A .,Bouchettout F. (2008)** .Etude de la stabilité des agrégats des sois de la station Boulimat de la côte ouest de Bejaia (Wilaya de Bejaia).Mémoire de master faculté des sciences de la nature et de la vie .Université de Bejaia.
  
- Amharref M., Aassine S .,Bernoussi A ., Ben Heddouchi Y.(2007)**.Revue des science de l'eau .cartographie de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines :applications à la plaine du Gharb(Maroc).page 185-190.
  
- ANDI. Agence National du Développement et de L'Investissement. (2013)**. Invest in Algeria. Wilaya de Bejaia .28p.

-**Ann V. (2017)** .le système d'un bassin versant.

-**Anonyme .(2015 )** (<http://www2.brgm.fr/divers/nappes.htm>)

-**Anonyme . (2016)** (<http://libanconsult.com/fr/references/environnement>)

-**Anonyme. (2018)** (<https://www.google.dz/le+bassin+versant/htm>)

-**Aubouin J., Gaussen H ., Harent H. (2018)** :Méditerranéenne Aire , Encyclopedia Universalis .

-**Baali .( 2012)** .Cartographie sous le logiciel surfer de la pluviométrie de la région Provence alpes côte d'Azur entre 1967 et 1997 et de la température du département du département des Alpes maritimes entre 1971 et 1990 .Projet d'ingénierie. Ecole polytechnique de l'Université de Nice –Sophia Antipolis.21p.

-**Babiker I ., Mohamed A., Hiyama H., Kato K . (2005)** . “A GIS based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, and central Japan.” Science of the Total Environment 345 (2005). 127– 140.

-**Bagnouls ., Gaussen H .(1957)** .Les climats biologiques et leur classification. Annales géographique.volume66.n° 355.pp193-220.

-**Banton O., Gosselin MA ., Larocque M. ( 1997)**. Outil d'évaluation des risques de contamination des eaux souterraines par les sources diffuses. EV ARISK 1.0, Manuel d'utilisation, version préliminaire, INRS-Eau, 65 p.

-**Bedhouche O ., Berkani N . (2005)**. La vulnérabilité à la pollution de la région d'Aokas .Thèse d'ingénieur d'état en écologie et environnement non publié, Université d'A Mira de Bejaia.

- **Belattaf C.(2016)**. Contribution à l'étude hydro chimique de quelques sources karstiques dans la région de Bejaia.

-**Belkebire H ., Debbou F . (2015)** .Evaluation de la vulnérabilité à la pollution de la région d'Aokas par la méthode de EPIK. Mémoire de master en science environnementales. Université d'A Mira de Bejaia.

-**Bengmra S. (2010)** .Hydrologie général du bassin versant.

-**Ben Hamiche N. (2015)** .Contribution à l'étude de l'influence climatique, lithologique et anthropique sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'un aquifère du Nord- Est Algérien : Cas de la basse Soummam, Bejaia .thèse.

-**Benhammouda S. (2002)**. Gestion des eaux souterraines en Aquitaine année 5.opération sectorielle. Protection de la nappe BRGM/RP-51178-FR.

-**Bennacer F., Bougtitene N. (2016)**.Utilisation du merlu du golf de Bejaia dans l'évaluation de la population par quelque métaux lourds (Fe, Cu, Cd, Pb).

-**Bézègues S., Des Garets E., Mardhel V., Dörfliger N. (2002)**. Cartographie de la vulnérabilité de Grand-Terre et de Marie-Galatie (Guadeloupe). Phase 1 : méthodologie de détermination de la vulnérabilité. Rapport BRGM51783-FR, 41p.

-**Biocchi S. (1995)** .les polluants et les techniques d'épuration des fumées : cas des unités de destruction thermiques des déchets. Partie I : polluants contenus dans les fumées Editions TEC & Doc.p1-68.

-**Biocchi S. (1998)** : les polluants et les techniques d'épuration des fumées : cas des unités de traitements thermiques des déchets. Partie II : techniques d'épuration des fumées.2ème Edition. Editions TEC & Doc. P 91-118.

**-Bicocchi S., L'hospitalier C. (2002).** Techniques de dépoussiérage des fumées industrielles, Editions TEC & Doc. P 2.

**-BouguetitK., Benhamida N. (2015)** .Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla (cas de la nappe du continental intercalaire). Mémoire de master faculté de la science appliquée. Université Kasdi Merbah Ouargla.

**-Bugeat F. (2016)** .Les eaux souterraines Présentation des actions agricoles. P 9

**-Castany G. (1982).**Principe et méthode d'hydrogéologie .ED . Dunod, Paris France .12-23p.

**-Castany G. (1982).**Principe et méthode d'hydrogéologie .ED . Dunod, Paris France .12-23p.

**-Cazaux M. (2007)** .Les eaux souterraines en Girande cartographie de la vulnérabilité aux pollutions des nappes éocènes dans le secteur du Blayais. Rapport de stage master II. Départ. des sciences de la terre et de l'environnement de Montpellier.

**-Chaffai H., Laour R., Djabri L., Hani AD. (2006)** .Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe alluviale de Skikda : Application de la méthode DRASTIC. Université d'Annaba.

**-Charikh M. (2015).**Estimation et cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines en milieu aride : Application à la cuvette de Ouargla .Mémoire de magister. Université d'Ouargla.

**-Chiter B., Ait Ouali. (2000).** Prévission des écoulements annuels et saisonniers à l'exutoire d'un bassin versant .Mémoire de fin d'étude d'ingénieur d'état. Option : Hydraulique urbaine. P65.

**-Civita M. (1994).** La carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento : Teoria e pratica. PITAGORA (Éditeurs), Bologna, Italie, 325 p.

**-Civita M., Demaio M. (1997)** .SINTACS. Un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Metodologia & automatizzazione. Pitagora Editrice, Bologna, Italia.

**-Cloutier V ., Lefebvre R ., Savard M ., Therien T. (2001)** . Analyse statistique multi variable de l'hydrogéochimie régionale des aquifères fractures du sud-ouest du Québec, 54 ch. Canadian géotechnique conférence .1068-1076p.

**-Daboussi A. (2009)** .La cartographie de la vulnérabilité des nappes : un moyen de gestion durable des ressources en eaux .Université de Tunis El Manar faculté des sciences de Tunis département de géologie.

**-Day R. (1999).** Enquête préliminaire sur l'impact de la décharge publique de BOULIMAT (BEJAIA) sur la santé humaine. PFE écologie, Université de Abderrahmane Mira- Béjaia.

**-Derguini N ., Adrar H. (2004)** .Etude de la vulnérabilité à la pollution de la commune de Souk –El-Tenine. Université de Bejaia.

**-Djadi HM ., Traore PN. (2016).** Etude de la vulnérabilité de la commune de SoukElTenine par la méthode DRASTIC et GOD .Université de Bejaia.

**-Djebri L. (2015).** Etude de vulnérabilité des eaux à la pollution d'un gage pour l'élaboration d'une gire : cas de plaine alluvial de Tébessa

**-Djellout N., Djallas D. (2006)** .Etude de la vulnérabilité à la pollution de la région de Tichy. Université de Bejaia.

**-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 hydro-technique et environnement, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar Batna, 127 p.

**.-Douez O ., Touret Y. (2009).**Sectorisation des masses d'eaux libre du bassin. Adoungaronne en Poitou-Charentes.

**- Ducommun R. (2010).** Estimation et cartographie de la vulnérabilité des eaux Souterraines en milieu urbain. Thèse. Université de Neuchâtel.

**-Duplan L. (1952).** La région de Bougie. Morphologie régionale 1èresérie.Algérie n°17.Alger.39p.

**-DPAT, Direction de la Planification et de l'Aménagement du territoire.(2004).**Annuaire statistique de la wilaya de Bejaia. Édition 2005.19-135P.

**-DPAT, Direction de la Planification et de l'Aménagement du territoire. (2006).** Annuaire Statistique de la Wilaya de Bejaia.

**-Drogue c, Plegat R. (1971).** Température et phénomènes biochimique dans la dissolution de calcaire. Bulletin de l'association de géographe français. Volume 48.n° 389. P235-240.

**-Etienne G , (2010).**Application des méthodes DRASTIC et SI pour l'étude de la Vulnérabilité à la pollution par les nitrates (N03-) de la nappe de Bonoua (Sud-Est de La Côte d'Ivoire).

**-Fabre J., Pelte T. (2013).** Etude de caractérisation des vulnérabilités du bassin Rhone méditerranée aux incidences du changement climatique dans le domaine de l'eau. p4.

**-Foster S., et Hirata R. (1991).** Groundwater pollutions risk assessment, a methodology using available data. CEPIS Rapport technique, Lima, Perou, 2nd edition, 73 p.

**-Foster. (1987).** Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. Vulnerability of soil and Groundwater to pollutants. RIVM.TNO Committee on Hydrological Research.

**-Frantier S., Pichode D-vial ., Lepretre A ., Dvout D ., Luczak C. (2008).** Livre écosystème, structure, fonctionnement, et évolution .Paris .4eme édition.

**-Gogur F., Dassargues A .(1998)** .A short review on groundwater vulnerability assessment, basic statements for use in the framework of the cost 620 action. Workshop 18-20 mai. Université de Neuchâtel.

**-Greco J. (1966)** .La défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie .ED.Publication du ministère de l'agriculture et de la réforme agraire .Alger.393p.

**-Hamza M ., Added A., Francésb A., Rodríguez R .2007.** Validity of the vulnerability methods DRASTIC, SINTACS and SI applied to the study of nitrate pollution in the phreatic aquifer of Metline–Ras Jebel–RafRaf (northeastern Tunisia); Geosciences de surface (Hydrologie Hydrogéologie). Volume 339. Pages 493–505.

**-Hamza M ., Added A ., Frances Ba ., Rodriguez R . (2008).** Validity of the vulnerability methods DRASTIC, SINTACS and SI applied to the study of nitrate pollution in the phreatic aquifer of meteline –Ras Jebel –RafRaf (Northeastern Tunisia) ; Géosciences de surface (hydrologie- hydrogéologie) ; volume 339.

**-Henin S. (1969).** L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques 2ème édition, le profil cultural, Masson ,322p.

**-Heyd C., Alleaume S., 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). (2011).** Les normes de potabilité d'une eau de consommation. Journal officiel de la République algérienne N°18, 23 mars 2011, Alger, 7-9p.

**-Khemmoudj K. (2009) .**Dynamique des systèmes et stratégie d'aménagement et gestion de la ressource en eau en zone semi-aride : Cas de la région d'El Eulma. Wilaya de Sétif. Thèse doctorat .Université d'Annaba.

**-Kherici N ., Baali F., rouabhia AK ., Djabri . (2004).**Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Abiod (Algerie).Université d'Annaba.

**-Koller E. (2004) .**traitement des pollutions industrielles. Dunod. Paris. ppp 4-6-7.

**-Kouame FK ., Dibi B ., Dongo K ., Kouadio HB ., Akeg E.(2007).** Application des méthodes DRASTIC et SI pour l'étude de la vulnérabilité à la pollution par les nitrates (N03 -) de la nappe de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire).

**-Lallemend-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.

**-Lallemend-Barres A. (1994).** Normalisation des critères d'établissement des cartes de vulnérabilité aux pollutions. Etude documentaire préliminaire. R37928. BRGM.

**-Lallemend-Barrés. (1994).** Normalisation des critères d'établissement des cartes de vulnérabilité aux pollutions, étude documentaire préliminaire.

**-Landreau A. (1996).** Contribution à une normalisation des critères d'établissement des cartes de vulnérabilité aux pollutions des eaux souterraines .Rapport BRGMR38846.

**-Lovie M. (1997).** Removal of Lead from Gasoline Pollution - Prevention and Abatement Handbook, World Bank 1997: 1-16.

**-Margat J. (1968).** Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine a la pollution. Base de la cartographie, Doc. BRGM, 68 SGL 198 HYD. Orléans, France.

**- Margat J. (2008)** .les eaux souterraine dans le monde. BRGM. Sol et sous-sol.

**-Margat J. (1991).** La vulnérabilité des eaux souterraines aux pollutions, conception - estimation cartographie. Institut Européen de l'eau, 9 p.

**-Margat J. (1996).** Les Ressources en Eau. Manuel et Méthodes. BRGM.

**-Mebarki A . (1982).** le bassin du kebir, ressources en eaux et aménagement en Algérie. Thèse doctorat 3ème cycle. Université de Nancy II. p303.

**-Mejia J ., Rodriguez R ., Armienta A ., Mata E and Fiorucci A .2007.**Aquifer Vulnerability Zoning, an Indicator of Atmospheric Pollutants Input , Vanadium in the Salamanca Aquifer, Mexico. Water Air Soil Pollut185.pp 95–100.

- Melloul A., Boughriba M., Boufaïd A. (2009).** Etude de la contamination des ressources en eaux souterraines et cartographie de la vulnérabilité d'un aquifère resoumis au climat semi-aride méditerranéen : Cas de la plaine côtière de Saidia, Maroc.
- Merdhel V. (2001)** .Evaluation et cartographie de la vulnérabilité des grands aquifères de l'île de la Réunion : Etude de la plaine de Galets (rive droite de la rivière des Galets).rapport BRGM/RP-50590-00SGR/REM40 ,98P .
- Mihoubi N. (2008).** Fonctionnement et gestion hydrogéologique et hydrologique des ressources en eau du bassin de Hammam Grouz. Thèse de magister, université Mentouri, Constantine, 244p.
- Mohamed A ., Hiyama T., Kato K .(2005).** A GIS based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan.” Science of the Total Environment 345 (2005).pp 127– 140.
- Mouaïci K. (2002)** .Etude de quelques sources de polluant atmosphérique dans la région de Bejaia, université de Bejaia Abd Arrahmaine Mira.
- Moulai R. (2006)** .Bioécologie de l'avifaune terrestre et marine du parc national de Gouraya (Bejaia), cas particulier du Goéland leucopnée, *Larus michahellis*, Naumann ,1840 .Thèse Doctorat d'Etat. Université I .N.A.El Harrach.141P.
- Murat V.( 2000).** Etude comparative des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères à la pollution, université du Québec INRS –Géoressources.
- OMM : Organisation Météorologique Mondiale.(1996).** Guide des pratiques hydrologiques acquisitions et traitement des données, analyses, prévision et autres applications. Publication OMM N° 168.Genève.Suisse.

**-OMS (Organisation Mondiale de la Sante). (2003).** L'eau pour les Hommes, l'eau pour la vie, Paris, Unesco.

**-OMS : Organisation. Mondiale de la Sante. (2007).**organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. L'eau, 1ère edition.Rome2007.p3.

**-Petelet Giraud E., Dorfliger N ., Crochet P. (2000).**Risque : Méthode d'évaluation multicritère de la cartographie de la vulnérabilité des aquifères Karstiques. Applications aux système des fontaines et Cent-Fonts (Hérault), Hydrologie, Vol.-pp.71-88.

**-Ramade F.(1984).** Elément d'écologie, écologie fondamentale .Edi science. Paris. 517p.

**-RGPH.2017.** Recensement Global de la Population Habitat.

**-Saidani D. (2008)** .Contribution à l'étude de la flore insulaire de la côte Ouest de Bejaia (ilot de Sahel, ile des pisans, ilot d'El Euch).Univ Bejaia.

**-Saou A. (2001).**Etude expérimentale de l'influence des caractéristiques d'un bassin versant sur son comportement hydrologique .Mémoire de magister .Université de Béjaia.P95.

**-Schnebelen . (2002)** .Gestion des eaux souterraines en Aquitaine Année 5. Opération sectorielle. Protection de la nappe de l'Oligocène en région bordelaise – Rapport BRGM/RP-51178-FR.

**-Schnebelen N., Patel JP ., Lenindre Y., Baudry D., hoarau A., Dufour P.,**

**-SEGHIR K. (2008a).** La réalimentation artificielle des nappes phréatiques dans le Nord-Est Algérien, Visions croisées, Université Joseph Fourier, Grenoble, France, Mai 2008, P8.

- **SEGHIR K. (2008b)**. Vulnérabilité, protection des ressources en eaux, essai de gestion active du sous-système aquifère Hammamet Ain Chabro (Est Algérien), Thèse de Doctorat hydrogéologie, Université de Annaba, 152p.
  
- **SEGHIR K.2013** .la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région tebessa-hammamet (Est algérien).
  
- Smida H., Abdellaoui C., Zairi M., Ben Dhia H. (2010)**. Cartographie des zones vulnérables à la pollution agricole par la méthode DRASTIC couplée à un système d'information géographique (SIG) : cas de la nappe phréatique de Chaffar (Sud de Sfax, Tunisie).
  
- Station Office National Météorologique de Bejaia. (2018)**. la répartition des précipitations moyennes mensuelles en mm période 2008-2017.
  
- Thibault S. (2011)**. Bassin versant. Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de L'assainissement, Lavoisier, pp.116, 1997, technique et documentation.
  
- **Vieville J. (1988)**. Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines aux polluants et conception assistée par ordinateur. Projet de recherche présentée pour l'option conception et gestion.
  
- Vrba J et Zaporozec A. (1994)**. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. Alli, vol. 16, 131p.
  
- Vrba J., Zaporozec A. (1994)** .Guidebook on mapping groundwater vulnerability, in international contributions to hydrogeology.16, I. A. Hydrogeologists (Éditeurs).311 p.
  
- Zmirou D ., Beausoleil M ., Coninck P. (2002)**, Les déchets et sol pollués. Chapitre 15. Editions TEC & Doc. Acton Vale / Parie.

**-Zwahlen F., Doerfliger N., Tache E. (1996).** EPIK, une méthode pour cartographier la vulnérabilité des aquifères karstiques : Application à deux sites dans le jura suisse. Paper presented at Actes du Colloque international ESRA '96, l'eau souterraine en région agricole, Poitiers.

**Site web :**

-[http://www.sage-cher-aval.fr/wp-content/uploads/2015/06/Bassin\\_versant.jpg](http://www.sage-cher-aval.fr/wp-content/uploads/2015/06/Bassin_versant.jpg)

-<http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/figures/figure2.2.jpg>

-[http : //bejaiainfo/782-lalgerie-partenaire-pour-reduire-la-pollution-de-la-meditteranee-4efa5.jpg](http://bejaiainfo/782-lalgerie-partenaire-pour-reduire-la-pollution-de-la-meditteranee-4efa5.jpg).

-[www.service-public .Fr/particuliers/vos droits /F103323](http://www.service-public.fr/particuliers/vos_droits/F103323).

-<http://www.Cnrtl/definition/g%C3%A9ologie>.

## **Résumé :**

La vulnérabilité à la pollution des ressources en eau souterraine des régions aquifères est une étude réalisée par plusieurs méthodes développées pour l'évaluation de la vulnérabilité des aquifères. Dans toutes ces méthodes, celle de DRASTIC reste la plus utilisée. Cependant, pour une meilleure appréciation de cette vulnérabilité, deux méthodes doivent être utilisées dans le cadre de cette étude pour évaluer la robustesse des résultats obtenus et utiliser celle qui est la mieux adaptée aux aquifères d'altérites. SINTACS du fait du nombre important de paramètres qu'utilisent. En plus du nombre de paramètres, DRASTIC a été identifié comme une des méthodes de vulnérabilité intrinsèque la plus utilisée à travers le monde.

L'étude de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution au moyen terme DRASTIC présente l'avantage de combiner les sept paramètres suivants : la Profondeur de la nappe (D), la recharge efficace de l'aquifère (R), la lithologie de l'aquifère (A), le type de sol (S), la topographie (T), l'impact de la zone vadose (I) et la conductivité de l'aquifère (C). La méthode de cartographie SINTACS (profondeur de la nappe, infiltration, zone non saturée,

Texture de sol, type d'aquifère, conductivité, topographie) est une adaptation aux conditions méditerranéennes applied for résoudre les principaux problèmes dans l'étude de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution.

La cartographie de ces différents paramètres permet, après leur superposition, l'établissement de la carte de vulnérabilité. Cette méthode, appliquée à la nappe alluviale de Boulimat, fait sortir quatre zones à vulnérabilité : une zone à faible vulnérabilité (102), une zone à vulnérabilité moyenne (144), une zone à vulnérabilité élevée (174), et une zone de vulnérabilité très élevée (196).

L'exploitation de la carte de vulnérabilité apportée à la protection durable des ressources natural. la projection des ressources de la pollution sur la carte de la vulnérabilité nous a donné la Carte de risque

Mots clés : La vulnérabilité, Aquifère, DRASTIC, Boulimat, Carte de risque.

## **Abstract:**

The vulnerability to pollution of groundwater resources in aquiferous regions is the study was carried out by several methods developed for the assessment of aquifer vulnerability. In all these methods, that of DRASTIC remains the most used. However, for a better appreciation of this vulnerability, two methods must be used in this study to evaluate the robustness of the results obtained and use the one that is best adapted to aquifer alterites. SINTACS because of the large number of parameters used. In addition to the number of parameters, DRASTIC has been identified as one of the most widely used intrinsic vulnerability methods around the world.

The study of the vulnerability of groundwater to medium-term DRASTIC pollution has the advantage of combining the following seven parameters: the depth of the water table (D), the effective recharge of the aquifer (R), the lithology of aquifer (A), soil type (S), topography (T), impact of the vadose zone (I) and aquifer conductivity (C). The SINTACS mapping method (depth of the water table, infiltration, unsaturated zone, Soil texture, type of aquifer, conductivity, topography) is an adaptation to the Mediterranean applied conditions to solve the main problems in the study of the vulnerability of groundwater to pollution.

The mapping of these different parameters allows, after their superposition, the establishment of the vulnerability map. This method, applied to the Boulimat alluvial aquifer, brings out four vulnerable zones: a low-vulnerability zone (102), a medium-vulnerability zone (144), a high-vulnerability zone (174), and a vulnerability zone Very high (196).

Exploitation of the vulnerability map provided to the sustainable protection of natural resources. The projection of pollution resources on the vulnerability map gave us the risk map.

Key words: Vulnerability, Aquifer, DRASTIC, Bulimat, Risk Map.

