

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 : Santé et Environnement

Réf:.....

Option : Environnement et Santé Publique



Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Thème

Etude de la vulnérabilité
à la pollution de la région de Boulimate
par la méthode DRASTIC

Présenté par :

BOUTAYA IMANE & CHALAL SANA

Soutenu le : 22/06/2017

Devant le jury composé de :

Mr : Alkama A

Pr

Président

Mr : Balla L

MCA

Examineur

Mr: Khemmoudj k

MCB

Promoteur

Année Universitaire : 2016/2017

Remerciements

Au nom d'Allah le plus grand

Merci lui revient de nous' avoir guidé vers

Le droit chemin et qui nous a donné la force et le courage pour effectuer ce travail.

Ce modeste mémoire est le fruit de cinq ans de travail et de coordination avec l'ensemble des enseignants qui nous ont appris l'amour des sciences de la nature et de la vie.

- *Nous tenons à remercier chaleureusement notre promoteur **MR KHEMMOUDJ KADDOUR** pour sa patience, sa disponibilité et sa compréhension.*
- *Nous remercions aussi les membres de jury **MR BALLA L ET MR ALKAMA A** qui ont accepté d'examiner et juger notre travail.*
- *Nous remercions également à tous les travailleurs de notre département.*
- *Tous les étudiants de notre spécialité.*
- *A toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*
- *Enfin, nous remercions également, le chef du département des sciences biologique de l'environnement **MR BOUGHAM ABDELAZIZE FRANCK** et tous les enseignants, qui ont assuré notre formation durant notre cycle universitaire.*

Et merci une autre fois à dieu.

Dédicace

Louange à dieu

Pour commencer, je tiens tout particulièrement à dédier ce travail à mon grand-père *C.SALEH*, ma grand-mère, mes parents *C.BRAHIM, Alliouche N* qui m'ont toujours soutenu et encouragé malgré des hauts et des bas en sachant que quoi que je fasse, je n'arriverai jamais à leur rendre ne serai ce qu'une goûte des océans d'amour et de bonheur qu'ils m'ont donnés durant toutes mes années d'études ;... Merci beaucoup.

Spécial dédicace aussi à ma sœur *ASMA*, mes frères *MOUAD, SALAH EDDINE, TAKI EDDINE, MOUHAMED*, mon oncle *C.SAID*, son épouse, leurs enfants *Randa, Ferdousse Seif Eddine, Ishak, Amine* et à toute la grande famille à *JIJEL, SEKIKDA* où qu'elle soit.

A mon binôme, M^{elle} BOUTAYA IMEN.

Dédie aussi ce travail à tous mes amis qui m'ont encouragé :

«Nour elhouda. Rjma, Amel, Selma, Asma, Amira, Nadjat, Nezha ».chaqu'un a son nom.

Je dédie aussi ce travail à tous mes collègues d'étude en Environnement et Santé Publique.

Ces personnes me sont très chères, j'espère que notre amitié puisse à travers le temps...

« Que DIEU préserve tous ceux que j'ai cité

ℒ

Je leur souhaite tous de réussir dans la

vie »

*** CHALAL SANA ***

Dédicace

A Dieu source de toute connaissance

A ma raison de vivre, d'espérer

A ma source de courage, à ceux que j'ai de plus cher

Ma mère, mon père, mon grand père

*Aucun mot, aucune dédicace ne serait exprimer mon
respect, ma considération et l'amour éternel pour les sacrifices
que vous déployés pour mon instruction et mon bien
être dans les meilleures conditions.*

A mes sœurs, mon frère, ma grande famille.

*A mes amies, Sim, Sara, Sana, Selma, Houda et Rima à qui je souhaite le succès, en les
remerciant pour l'amitié qui nous a toujours unis.*

A toute personne qui m'a aidé à franchir un horizon dans ma vie

BOUTAYA IMANE

Table de matière

Remerciements	
Dédicaces	
Table de matière	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des équations	
Liste des abréviations	
I.Introduction	1
II.Généralité.....	3
II.1.Vulnérabilité.....	3
II.1.1. Définition de la vulnérabilité	3
II.1.2. Les différents types de la vulnérabilité	4
II.1.3. Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité	5
II.2. Bassin versant	6
II.2.1 Définition.....	6
II.2.2. Caractéristiques d'un bassin versant.....	7
II.3. la pollution	8
II.3.1. Définition de la pollution de l'eau	8
II.3.2. Les origines de la pollution	8
III.Matériels et Méthodes	9
III.1. Présentation de la région d'étude	9
III.2.Présentation de la population	10
III.3.Géomorphologie	11
III.3.1. Les caractéristiques morphologiques du bassin versant de Boulimate.....	11
III.3.1.1 Le réseau hydrographique.....	11
III.3.1.2. L'indice de compacité de Gravelius	12
III.3.1.3 Le rectangle équivalent	12
III.3.1.4 L'indice de pente	13
III.3.1.5. La densité de drainage	13
III.4. La Flore et la Faune de la région de Boulimate	14
III.4.1. La Flore	14
III.4.2. La Faune	15

III.5. Climatologie	16
III.5.1. Concept hydro climat	16
III.5.2. Le climat méditerranéen	16
III.5.3. La température	16
III.5.4. Précipitation	17
III.5.5. Humidité	18
III.5.6. Le vent	19
III.5.7. Le diagramme Ombrothermique	20
III .5.8. Bilan hydrique	21
III.6. Pédologie	24
III.7. La géologie	24
III.8. Hydrogéologie	25
III.9. La méthode DRASTIC	26
III .10. Présentation du logiciel Surfer	29
IV.Resultats et Discussions	30
IV.1.Interprétations des paramètres et réalisation des cartes thématiques :	30
IV.1.1.paramètre de profondeur de la nappe « D »	30
IV.1.2.paramètre de la recharge nette « R »	31
IV.1.3.Paramètre de la nature des aquifères « A »	32
IV.1.4.paramètre type du sol « S »	33
IV.1.5.paramètre topographique « T »	34
IV.1.6.Paramètre de la zone non saturé « I »	35
IV.1.7.paramètre de conductivité (C).....	36
IV.2.La carte de vulnérabilité	37
IV.3La décharge publique de Boulimate :	40
IV.4 Autres sources de pollution des eaux souterraines dans la région de Boulimate :	41
IV.5.Carte de risque :	42
V.Conclusion :	43
Références bibliographiques	
Annexe	

Liste des tableaux :

Numéro de tableau	Le titre des tableaux	Page
I	Tableau de la vulnérabilité intrinsèque	04
II	Les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité.	05
III	Tableau du nombre d'habitants dans la région d'étude.	10
IV	Tableau de présentation des espèces de la flore commune entre les trois milieux ile de Pisans, ilot de Sahel et El Euch.	14
V	Tableau des variations de la température mensuelle.	16
VI	Tableau des variations des précipitations mensuelles.	17
VII	Tableau des variations de l'humidité mensuelle de la station de Bejaia	18
VIII	Tableau des variations de la vitesse du vent de la station de Bejaia.	19
IX	Tableau représente les précipitations et les températures	20
X	Tableau de Thornthwaite	22
XI	Tableaux des cotations accordées aux paramètres de la méthode DRASTIC (d'après Lallemand-Barrés, 1994).	27
XII	Tableau des facteurs de pondération.	28
XIII	Tableau des degrés de vulnérabilité.	28
XIV	Tableau des indice de la profondeur « D ».	30
XV	Tableau de l'indice de la recharge net « R ».	31
XVI	Tableau de l'indice des aquifères « A ».	32
XVII	Tableau de l'indice de la nature de sol « S ».	33
XVIII	Tableau de l'indice de la topographie « T ».	34
XIX	Tableau de l'indice de l'impact de la zone vadose « I ».	35
XX	Tableau de l'indice de conductivité « C ».	36
XXI	La surface des zones vulnérables	38

Liste des figures :

Numéro	Titre de figure	Page
1	Schéma explicatif d'un bassin versant (Source Alsace Nature)	06
2	Le bassin versant topographique et réel (Echo-EPFL)	07
3	La situation géographique de Boulimate	09
4	Nombre d'habitants	10
5	Carte des réseaux hydrographique de la région de Boulimate	11
6	Variation de la température mensuelle de la station de Bejaia	17
7	Variation de la précipitation de la station de Bejaia	18
8	Variation de l'humidité de la station de Bejaia	19
9	Variation de la vitesse de vent	20
10	Le diagramme Ombrothermique	21
11	Carte de sol de la région de Boulimate	24
12	La carte géologique de la région de Boulimate	25
13	Carte de l'indice de profondeur « D ».	31
14	Carte du paramètre recharge nette « R ».	32
15	Carte de l'indice de l'aquifère « A ».	33
16	Carte de paramètre de la nature de sol « S » .	34
17	Carte de l'indice de la topographie « T »	35
18	Carte de l'indice de la zone non saturée « I »	36
19	Carte de l'indice de conductivité « C »	37
20	Carte de vulnérabilité à la pollution de Boulimate.	38
21	Le pourcentage de la surface des zones de vulnérabilité.	39
22	Photo de la décharge publique de Boulimate. (Bejaiainfo/782)	40
23	Carte de risque de région de Boulimate.	42

Liste des équations

Numéro	Equation	Page
1	Formule de l'indice de compacité ou de Gravelius (Kc)	12
2	Formule de la longueur du rectangle équivalent(L)	12
3	Formule du largeur du rectangle équivalent	13
4	Formule de l'indice de pente(Ig)	13
5	Formule de la dénivelée	13
6	Formule de la densité de drainage	14
7	Formule de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	21
8	Formule d'exposant (α)	21
9	Formule de l'indice thermique mensuelle (i)	21
10	Formule de l'indice thermique annuel(I)	21
11	Formule du ruissellement (Rui)	22
12	Formule pour calculer l'infiltration (Inf)	23
13	Formule général de la méthode DRASTIC	26
14	Formule du risque	42

Liste des signes et des abréviations :

A	Nature d'aquifère
C	Conductivité hydraulique
D	Profondeur de la nappe
Da	Déficit agricole
ETP	Evapotranspiration Potentielle
ETR	Evapotranspiration Réel
Ex	Excédent
H	Humidité
I	Impact de la zone non saturée
ID	Indice DRASTIC
Inf	Infiltration
Km	Kilomètre
M	Mètre
Mm	Millimètre
MNT	Modèle Numérique de Terrain
P	Précipitation
R	Recharge nette
RFU	Réserve Facilement Utilisable
RN	Route National
Rui	Ruissellement
S	Type de sol
T	Température
V	Vent
VAR	Variation
ZNS	Zone Non Saturée

Introduction

I. Introduction :

Au cours du siècle dernier, les prélèvements d'eau douce dans le monde ont augmenté deux fois plus vite que la population mondiale, qui a elle-même plus que triplé. 20% des êtres humains n'ont ni accès, ni les moyens de se fournir en eau potable, en raison de la pollution et de la contamination à l'eau, ainsi, 8 millions de personnes meurent chaque année d'une maladie liée à l'eau, soit 15 personnes par minute. « L'absence d'eau tue 10 fois plus que les guerres » (**Daboussi, 2009**).

L'attention portée à la pollution des eaux souterraines est un phénomène assez récent qui s'est amorcé, il y a environ 15 ans. Les eaux souterraines constituent actuellement l'essentiel des réserves en eau potable de la planète et représentent un enjeu économique et stratégique primordial (**Vieville, 1988**).

La qualité de cette eau est sans cesse mise à l'épreuve du fait de l'augmentation des sources de pollution tant diffuses venant des activités agricoles, que ponctuelles venant des activités industrielles, des déversements accidentels de substances toxiques, de sites d'enfouissement de déchets, de fuites de réservoirs enfouis ou hors terres. De plus, beaucoup de contaminants potentiellement polluants peuvent être sans couleur, sans odeur ou sans goût et donc difficile à détecter sans analyses spécifiques. L'eau souterraine peut se décontaminer naturellement lors de son passage dans le sol vers la nappe phréatique (**Murat, 2000**).

L'établissement des cartes de vulnérabilité des aquifères permet une meilleure gestion des nappes d'eau. (**Smida et al, 2010**), elles ont été conçues et élaborées comme des outils destinés à sensibiliser l'opinion publique et les décideurs politiques à la gravité des problèmes posés par la pollution de certains réservoirs aquifères (**Vieville, 1988**).

La vulnérabilité dans le domaine hydrologique, défini comme un moyen de protection ou de défense naturelle de l'eau souterraine contre les menaces de pollution en fonction des conditions hydrogéologiques locales à partir de l'application des méthodes de la vulnérabilité. (**Allirou et Quantinet, 2004**). Elles sont très nombreuses. Chacun élaborant sa méthode selon ses besoins (**Murat, 2000**).

Et comme le terme vulnérabilité de l'eau à la contamination aurait été pour la première fois utilisé par **Margat (1968)**. Plusieurs auteurs ont travaillé sur la vulnérabilité, (Aller et al 1987, Vieville 1988, Murat 2000, Ducommun, 2010 ...) .en Afrique (Kouame 2007, Melloul et al 2009, Smida et al 2010) .en Algérie (Kherici et al 2004, Chaffai et al 2006, Khemmoudj 2009, Charikh2015) et à Bejaia (Derguini et Adrar 2003, Djellout et Djellas 2006, Ait Hmoudi 2010, Ben Hamiche 2015, Djadi et Traore 2016).

Notre travaille de recherche est basée sur la méthode DRASTIC pour réaliser une carte de vulnérabilité de la région de Boulimate.

A partir de la carte de vulnérabilité, on définit les zones sensibles dans lesquelles une pollution peut affecter gravement une nappe et avoir une idée sur les moyens à employer pour protéger les eaux souterraines de la région.

Généralité

II. Généralité :

II.1. La vulnérabilité :

II.1.1. Définition de la vulnérabilité :

Peut-être que pour mieux comprendre ce concept, un retour à l'étymologie est nécessaire : Emprunte au Latin « vulnerabilis » qui peut être blessé et qui blesse, dérivé de « vulnerare » blesser au propre et au figuré, lui-même « devulnus .vulneris » -c'est-à-dire blessure – la vulnérabilité traduit, dans le langage commun, une faiblesse, une déficience, un manque, une grande sensibilité spécifique à partir desquels l'intégrité d'un être, d'un lieu, se trouve menacée d'être détruite, diminuée, altérée. On peut aussi définir la vulnérabilité comme un état de moindre résistance et aux agressions. (**Allirou et Quantinet, 2004**)

Le terme vulnérabilité date des années 1960 et a été choisi afin de sensibiliser la population au fait que même si la notion d'eau souterraine est associée à une image de pureté, cette ressource n'en reste pas moins sensible aux agents extérieurs et susceptible d'être polluée. Selon la nature et la structure des sols et aquifères, le concept de vulnérabilité pourra prendre des formes et des degrés variés de manière à mettre en évidence les capacités de résistances naturelles diverses des milieux. (**Margat, 1991**)

La notion de La vulnérabilité développée depuis quarante ans et ne possède pas de définition unique mais déferée selon la sensibilité des approches et des auteurs. (**Cazaux, 2007**)

Selon **Cazaux (2007)**, Le concept de vulnérabilité des eaux souterraines est basé sur l'origine de contamination, l'écoulement et la cible.

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

II.1.2. Les différents types de la vulnérabilité :

Dans la littérature, on distingue deux types de vulnérabilité : La vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique (Hamza et al ,2007) .

- **La vulnérabilité intrinsèque : (Tab I)**

Est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines (Landreau ,1996).

Tableau I: La vulnérabilité intrinsèque.

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

- **La vulnérabilité spécifique :**

Est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque. (Schnebelen et al ,2002)

II.1.3. Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité :

Elles constituaient à réaliser la synthèse de quelques paramètres ayant une influence majeure dans la vulnérabilité des aquifères (Tab II).

- Les méthodes fondées sur les documents cartographiques.
- Les méthodes basées sur un système de cotation numérique.

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

Méthode	Auteur	Année	Nombre de paramètre	Les paramètres
DRASTIC	Aller et al	1987	07	Profondeur à la nappe D. Recharge R. Le type d'aquifère A. Le type de sol S. La topographie T. L'impact de la zone vadose I. La conductivité hydraulique C.
GOD	Foster et al	1991	04	le type de sol, les formations géologiques, la lithologie des lits confiants de la zone non saturée, la profondeur à la nappe.
SCAM 3	Vbra et Zaporozec.	1996.	07	-Texture de l'horizon A de surface. -Texture de l'horizon B du sous-sol. -pH de l'horizon de surface. -la profondeur du sol altéré. -classe de drainage de sol. -perméabilité des horizons du sous-sol. -contenu en matière organique.
EV ARISK	Banton	1997	03	-la composition des différentes couches de sol. -la présence d'une pente ou non. -le type de végétation avec la quantité d'eau consommée.
EPIK	Zwahlen et al	1996	04	-le développement de l'Epikarst, -l'épaisseur de la couverture Protectrice, -les conditions d'Infiltration et le développement du réseau Karstique

RISKE	Petelet-Giraud et al	2000	05	-la roche aquifère (R) les conditions d'infiltrations (I) La couverture protectrice ou sol (S) La karstification (K) Epikarst(E).
SINTACS	Civita	1990	07	-Densité des réseaux d'écoulement. -Epaisseur de texture -Connexion aquifère /eau de surface -Recharge -Zone non saturée -Caractéristique hydraulique -Topographie

II.2. bassin versant :

II.2.1.Définition :

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

Les limites d'un bassin versant sont appelées les lignes de partage des eaux .Elle sont constituées de sommets qui séparent les directions d'écoulement des eaux de ruissellement.

(Fig 01)

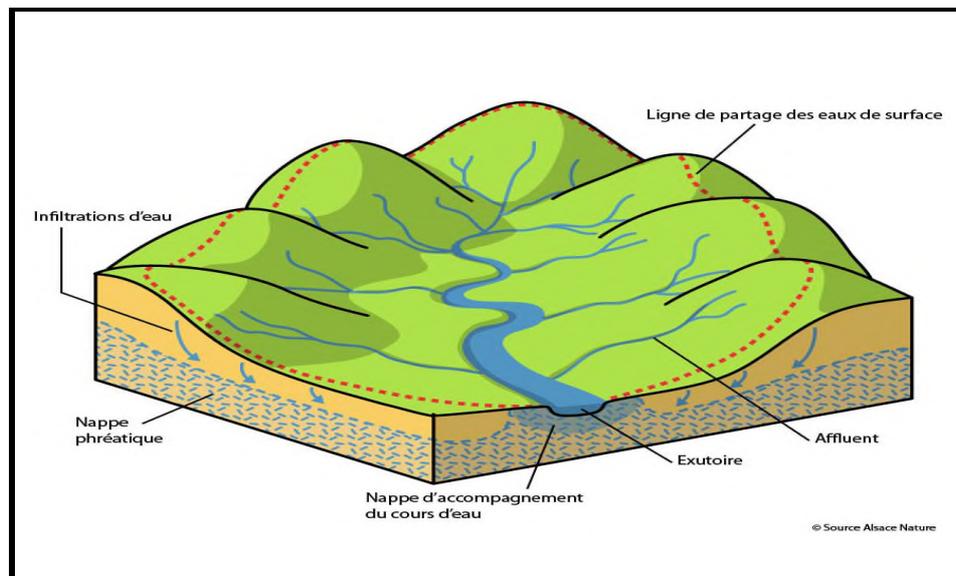


Figure 01: Schéma explicatif d'un bassin versant (Source Alsace Nature).

Il est important de distinguer le bassin versant topographique du bassin versant réel (**Figure 02**). Le bassin versant réel peut différer du bassin versant topographique en fonction de la composition du sous-sol et des connexions avec la nappe (bassin versant hydrogéologique), ou encore de modifications anthropiques (canaux de dérivations, routes transversales modifiant le ruissellement...) (**Heyd, 2012**).

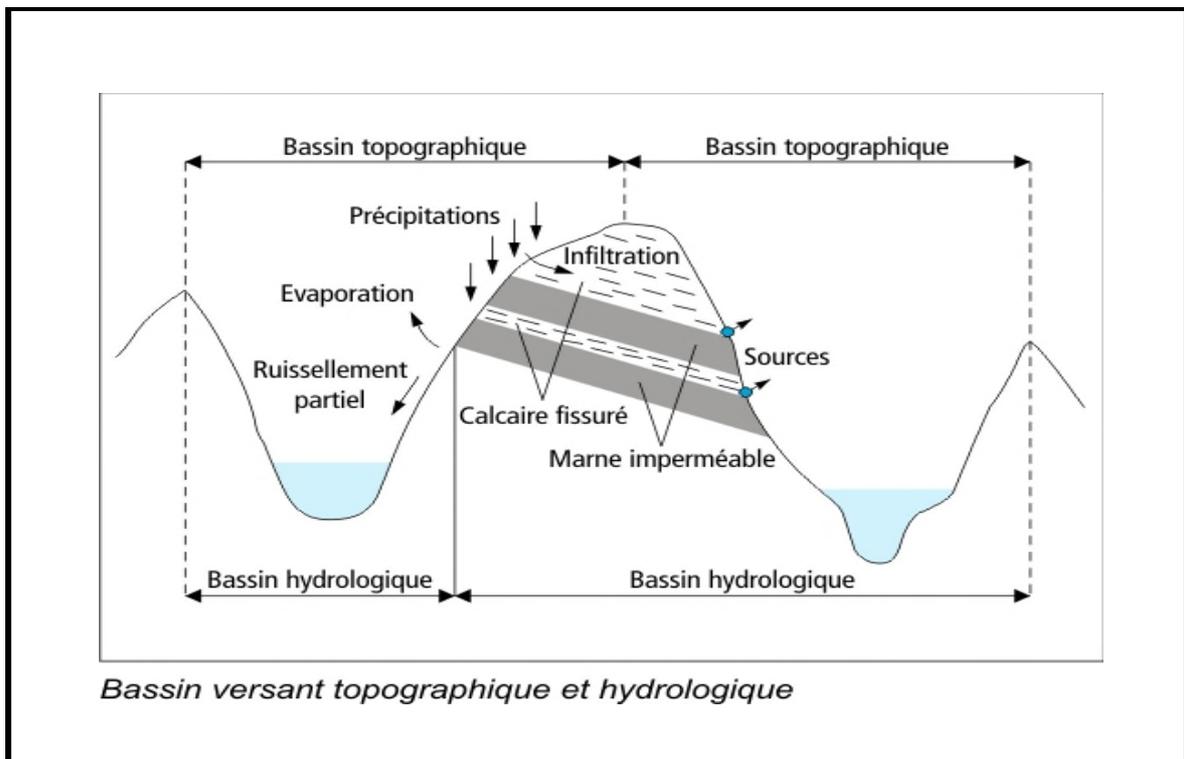


Figure 02 : Le bassin versant topographique et réel (Echo-EPFL).

II.2.2. Caractéristiques d'un bassin versant :

- 1- Sa limite, l'enveloppe des surfaces potentiellement drainantes et les extrémités aval du réseau de drainage;
- 2- Son organisation qui peut être liée à la structure du réseau, à la distribution surfacique des éléments de drainage etc.
- 3- Sa composition, les types de recouvrement de surface, et quelques grandeurs géométriques associées (**Thibault, 2011**) .

II.3. La pollution :

II.3.1. Définition de 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 font » qu'est la teneur en substances minérales dissoutes d'origine naturelle (géologique) caractérisant les eaux souterraines et leurs caractéristiques physico-chimiques (Mardhel.2001).

II.3.2. Les origines de la pollution :

-Origine domestique : C'est le cas par exemple des puits perdus, d'assainissements individuels avec infiltration dans le sol mal conçu ou mal dimensionnés, des stations d'épurations urbaines surchargé...etc.

-Origine industrielle : Les polluants d'origines industrielles sont très variée selon les types d'activité: substances organiques banales, produits organiques de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux, métaux lourds,...etc.

-Origines agricole : les pratiques actuelles des cultures et l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux (Charikh. 2015).

Matériels et Méthodes

III. Matériels et Méthodes :

III.1. Présentation de la région d'étude :

Boulimate 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 Boulimate se situe une île rocheuse appelée île des Pisans (Anonyme, 2013).

Boulimate 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 Boulimate achemine des flux important (Anonyme, 2014).

Limité au Nord par la mer Méditerranéenne, au Sud par Toudja et Oued Ghir à l'Est par Bejaia et à l'Ouest par Beni Kssila (Fig03).

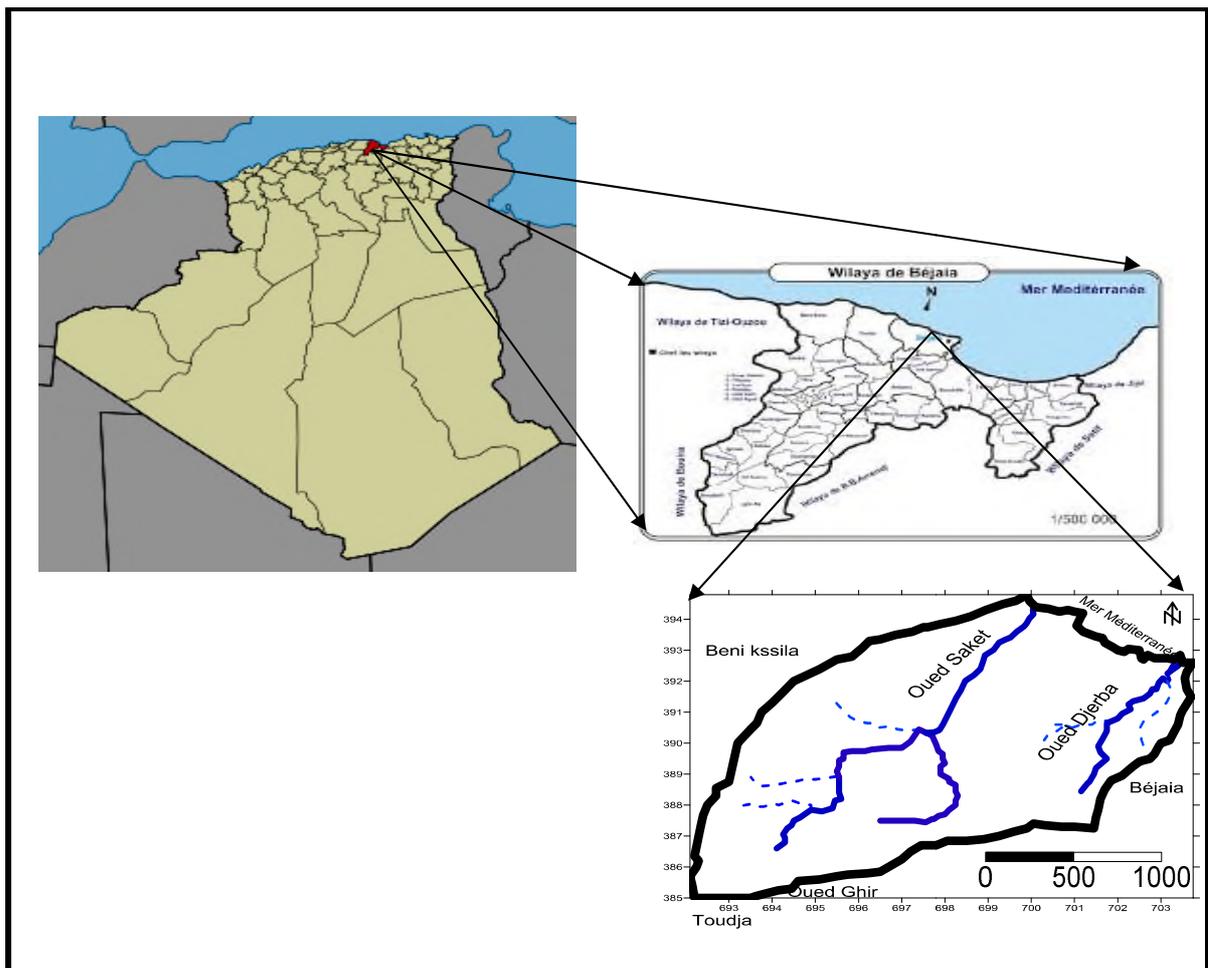


Figure 03 : La situation géographique de Boulimate.

III.2-Présentation de la population :

La répartition de la population nous donne des informations sur l'occupation du territoire. La population de la région est estimée à la fin de l'année 2008 à 60 habitants, elle augmente à la saison estivale à l'environ de 100000 estivants (**Tab III, Fig 04**).

L'impact de la population sur l'environnement n'est pas négligeable, car c'est la principale source de pollution par les déchets managers et les eaux usées qu'elles dégagent.

Tableau III : Nombre d'habitants dans la région d'étude.

District	Nombre de ménages	Masculin	Féminin	Total
Boulimat 10	17	22	10	32
Saket 11	06	06	00	06
Oued Saket 12	0	0	0	0
Oued Saket 13	8	14	8	22
Total	31	42	18	60

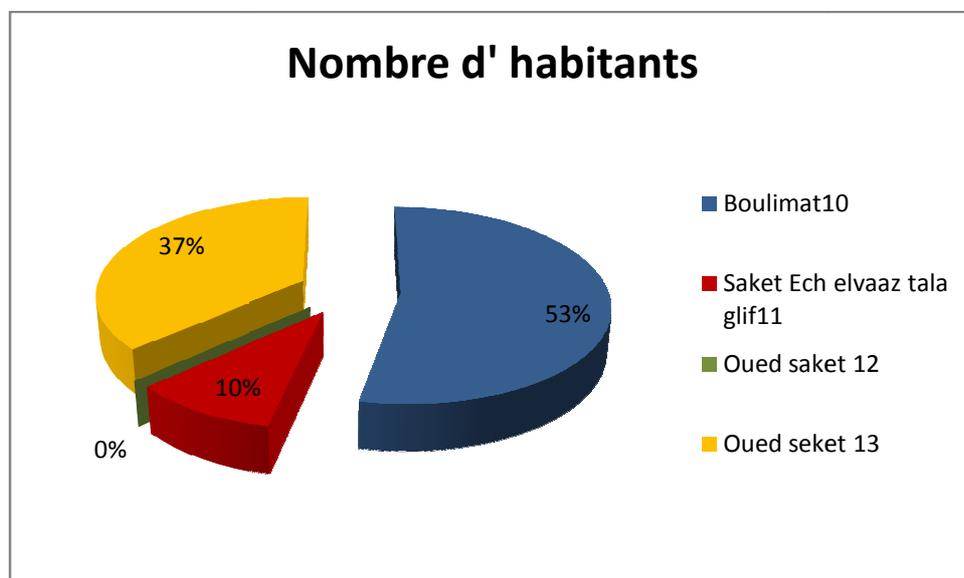


Figure 04 : Nombre d'habitants.

III.3.Géomorphologie :

III.3.1.Les caractéristiques morphologiques du bassin versant de Boulimate:

III.3.1.1. Réseau hydrographique :

Se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturelles ou artificielles, permanents ou temporaires qui participent à l'écoulement de surface (**Fig05**).

Le réseau hydrographique est sans doute l'une des caractéristiques les plus importantes. Il peut prendre une multitude de formes. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin versant est due à quatre facteurs principaux :

La géologie du bassin versant, le climat, la pente du terrain et la présence humaine (**Saou, 2001**).

Le bassin versant de Boulimate contient deux cours d'eau qui sont :

L'Oued de Djerba : Il se situe à l'Est du bassin versant, sa longueur est égale à : 12,75 Km.

L'Oued de Saket : Il se situe à l'Ouest du bassin versant, sa longueur est égale à : 24,25Km.

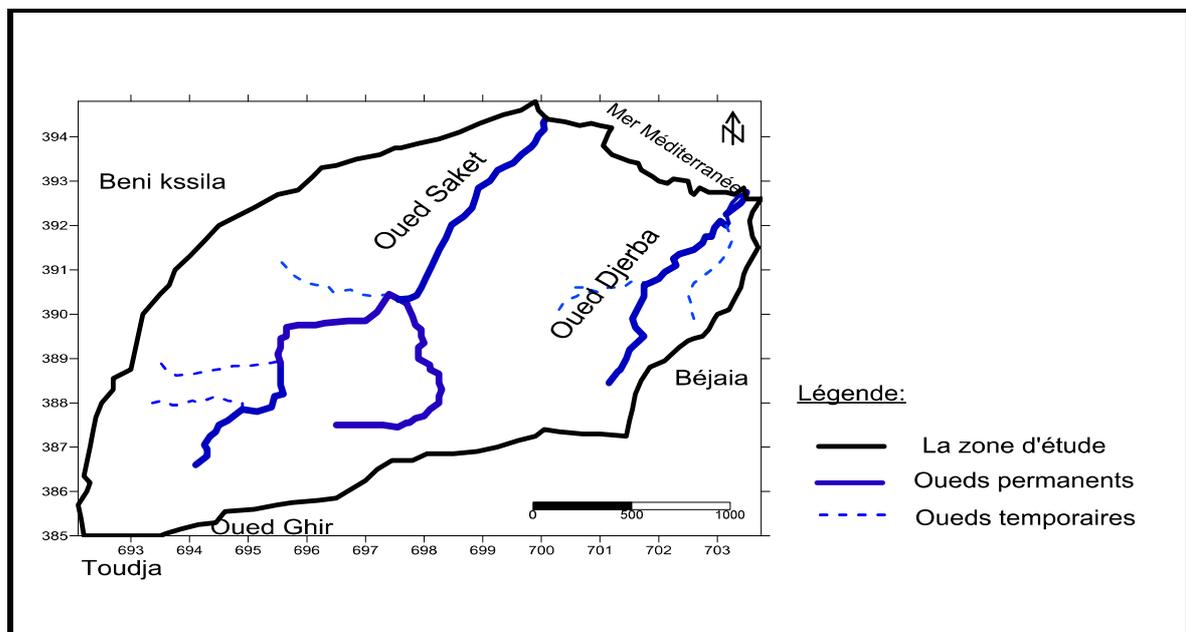


Figure 05 : Cartes des réseaux hydrographiques de la région de Boulimate.

III.3.1.2. 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 :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

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

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

$$K_c = \frac{0,28 * 34,25}{\sqrt{66,75}}$$

$$K_c = 1,17$$

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

III.3.1.3. Le rectangle équivalent :

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

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

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

Avec : A : La surface du bassin versant.

K_c : L'indice de compacité.

La largeur de rectangle équivalent (l) :

$$l = \sqrt{A} \frac{Kc}{1,12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc}\right)^2}\right) \quad (3)$$

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

III.3.1.4. L'indice de pente :

L'indice de pente caractérise le relief d'un bassin versant. Il est défini par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} \text{ ou bien } I_g = \frac{(I_{5\%} - I_{95\%})}{L} \quad (4)$$

D: Etant la dénivelée qui est égale à :

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \quad (5)$$

$$D = 470 - 150$$

$$D = 320 \text{ m}$$

$$I_g = D \text{ (m)} / L \text{ (Km)}$$

$$= 320 / 9,17$$

$$I_g = 34,89 \text{ m/Km}$$

La valeur trouvée nous renseigne que le relief est très fort ce qui caractérise un écoulement des eaux de surface très important.

III.3.1.5. La densité de drainage :

La densité de drainage D_d représente la moyenne des longueurs des cours d'eau par unité de surface, selon la formule suivante :

$$Dd = \sum L/A \quad (6)$$

L : La longueur totale des cours d'eau (écoulements permanents et temporaires) en (Km) :

L= 37Km

A : La surface du bassin versant : A=66,75 Km²

Dd=0 ,55 Km

III.4. La Flore et la Faune de la région de Boulimate :

La Forêts du parc de Gouraya, couvre une superficie de 10580 Ha soit un taux de boisement de 88%.

III.4.1. La Flore :(Tab IV)

Il existe beaucoup d'espèces dans cette région on cite :

L'olivier, figuier, caroubier, câprier, peuplier, chênes (liège, zen, Afares et vert), pins d'Alep, cèdre et sapin de Numidie. Avec la présence d'une espèce endémique (*l'euphorbia dendroïdes*).

Tableau IV : Présentation des espèces de la flore communes entre les trois milieux île de Pisans, îlot de Sahel et El Euch. (Saidani, 2008)

Espèces en commun entre les Pisans et Sahel	Espèces en communs entre El Euch et Pisans
1- <i>Fumaria capeolata</i>	1- <i>Polypodium vulgar</i>
2- <i>Chamaerops humils</i>	2- <i>Fumaria capeolata</i>
3- <i>Lavatera arborea</i>	3- <i>Smilax aspera</i>
4- <i>Lavatera cretica</i>	4- <i>Chamaerops humils</i>
5- <i>Pistacia lentiscus</i>	5- <i>Arundo donax</i>
6- <i>Crithmum maritimum</i>	6- <i>Lavatera arborea</i>
7- <i>Daucus carota</i>	7- <i>Lavatera cretica</i>
8- <i>Rubus ulmifolius</i>	8- <i>Pistacia lentiscus</i>
9- <i>Hyoseris radiata</i>	9- <i>Crithmum maritimum</i>
10- <i>Olea europea</i>	10- <i>Daucus carota</i>
11- <i>Phillyrea media</i>	11- <i>Fucus carica</i>

<i>12-Plantago coronopus</i>	<i>12- Hyoseris radiate</i>
<i>13-Mercurialis annua</i>	<i>13-Phillyrea angustifolia</i>
<i>14-Urtica urens</i>	<i>14- Phillyrea media</i>
<i>15-Urtica sp</i>	<i>15-Solanum nigrum</i>
	<i>16- Plantago coronopus</i>
	<i>17-Atriplex pattula</i>
	<i>18-Chenopodium album</i>
	<i>19- Chenopodium chenopoides</i>
	<i>20-Mercurialis annua</i>
	<i>21-Urtica urens</i>
	<i>22-Urtica sp</i>

III.4.2. La Faune :

Une liste préliminaire des espèces présentes : des mollusques, des insectes, des oiseaux et des mammifères.

- ❖ Les mammifères : le singe magot, le renard roux, le porc épic et la genette.
- ❖ Les oiseaux : en ce qui concerne les oiseaux de l'Ouest de la région de Bejaia présente des colonies plus au moins de *Goélands leucophés* pour ce qui des autres oiseaux nicheur en milieu insulaire, on trouve le Martinet pale , *Apus pallidus* ,la Fauvette mélanocéphale,*Sylvia melanocephala* et le Pigeon biset ,*Clombia Livia* qui nidifient au niveau des trois ilots ,ajoutant à cela le Merle noir ,*Tudus merula* qui se reproduit à l'île des Pisans et à l'îlot d'EL Euch et le Faucon pelerin,*Falco peregrinus* à l' îlot de Sahel ilots.(Moulai, 2006)

III.5. Climatologie :

III.5.1. Concept hydro climat :

On nomme hydro climat, ou climat d'une masse d'eau, l'ensemble de ses caractères physique et chimique. Ses variations saisonnière sont en effet étroitement liées aux variations climatique de l'atmosphère lesquelles se traduisent par deux paramètre importants pour les masses d'eau en contact : la température de l'air et son humidité l'une et l'autre gouvernant les taux d'évaporation et de condensation de l'eau. (Frantier ,2008)

III.5.2. Le climat méditerranéen :

La région de Boulimate est soumise à un climat de type méditerranéen. Les données climatiques utilisées sont recueillies de la station météorologique de Bejaia, qui s'étalent sur une période de vingt ans ; allant de 1996 à 2016.

III.5.3. La température :

D'après les informations qui sont fournis par la station météorologique de Bejaia :

La température varié entre les deux valeurs extrême 11,9-26C°. (Tab V, Fig 06)

Tableau V : Variations de la température mensuelle (1996-2016).

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil.	Aout
T C°	23,7	20,9	16,2	13	12,1	11,9	13,95	16,1	18,8	22,4	25,2	26

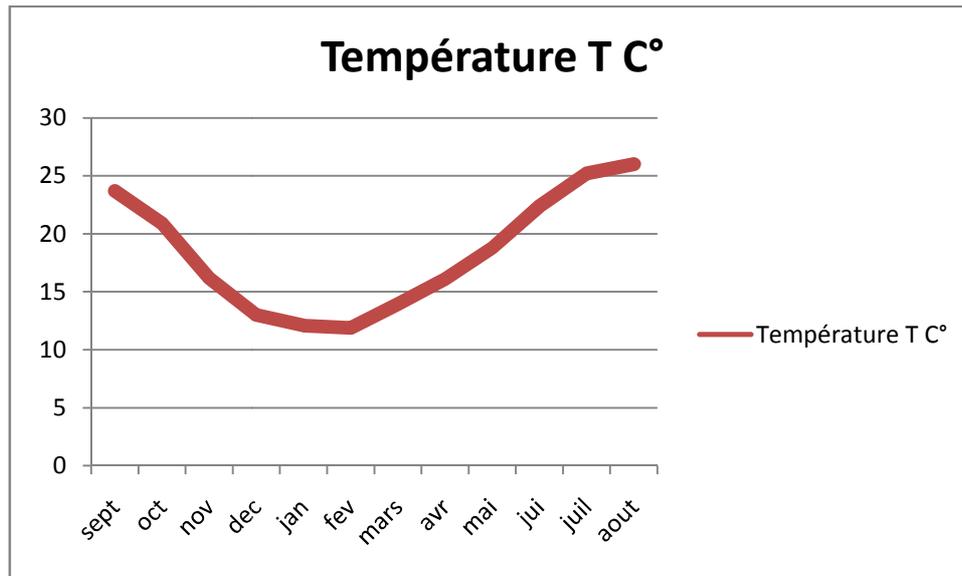


Figure 06: Variation de la température mensuelle de la station de Bejaia.

III.5.4. Précipitation :

Les informations utilisées sont celles de la station de Bejaia :

-Le mois de Décembre est le plus pluvieux avec un maximum de précipitation qui est de 124,61 mm.

-Le minimum des précipitations est marqué au mois de Juillet avec une quantité qui est de 7,81mm. (Tab VI, Fig07)

Tableau VI : Variations des précipitations mensuelles.

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout
P (mm)	65,05	68,45	108,3	124,61	109,65	105,22	74,72	70,69	44,89	18,37	7,81	10,57

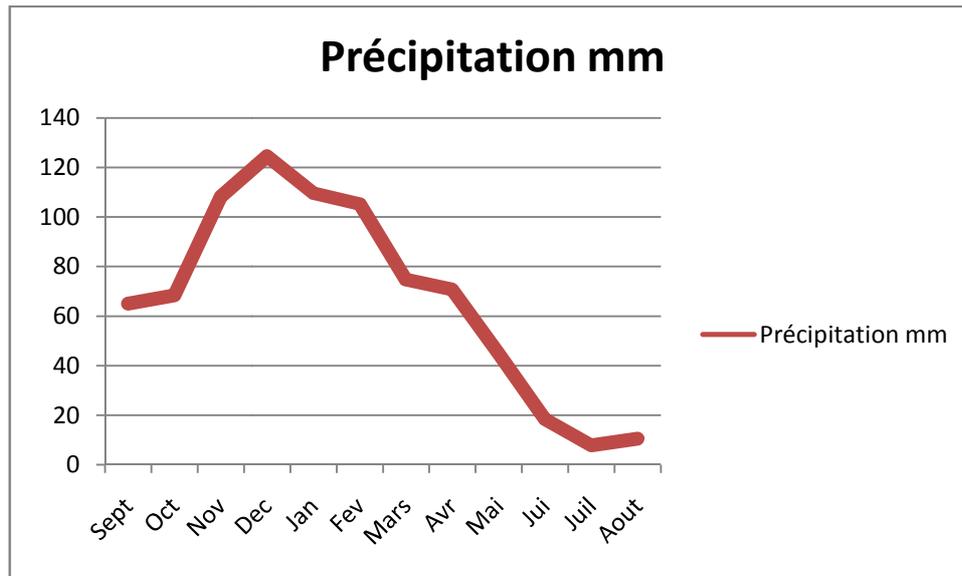


Figure 07: Variation de la précipitation de la station de Bejaia.

III.5.5. 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**).

L'humidité relative enregistre des taux variant de 74,82 - 78,29 % (**Tab VII, Fig08**).

Tableau VII : Variations de l'humidité mensuelle de la station de Bejaia.

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout
H (%)	76,11	75,01	75,5	74,82	71,56	76,48	76,86	77,31	78,29	76,6	75,1	74,88

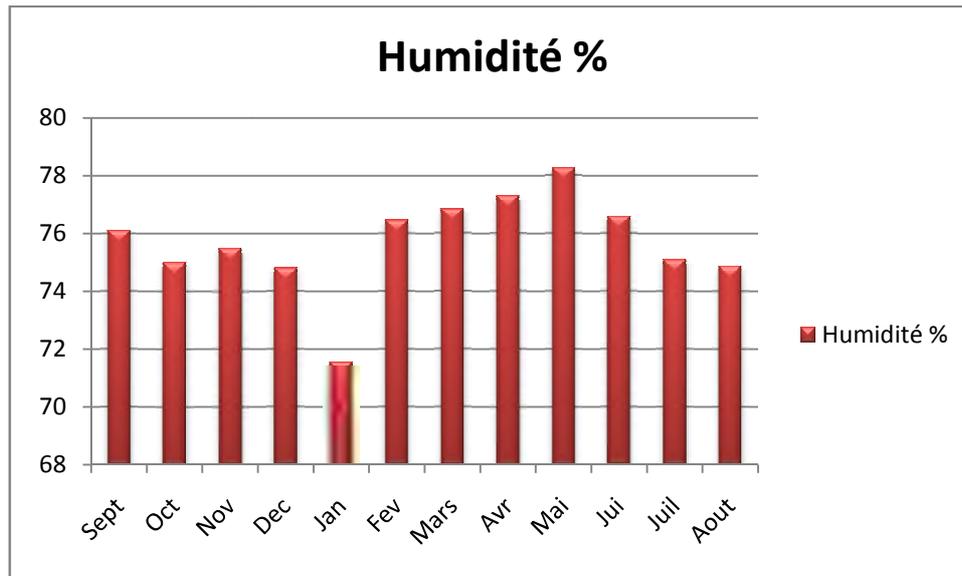


Figure 08 : Variation de l'humidité de la station de Bejaia.

III.5.6. Le vent : (Tabl VIII, Fig09)

Les directions dominantes des vents sont les suivantes. (Anonyme ,2014)

- Ouest et Nord-ouest.
- Nord-est, Est et Ouest.
- Nord-est.

Tableau VIII : Variations de la vitesse du vent de la station de Bejaia.

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout
V m/s	5,97	6,66	7,06	7,7	7,67	7,44	6,6	5,97	5,84	5,05	5,98	6,11

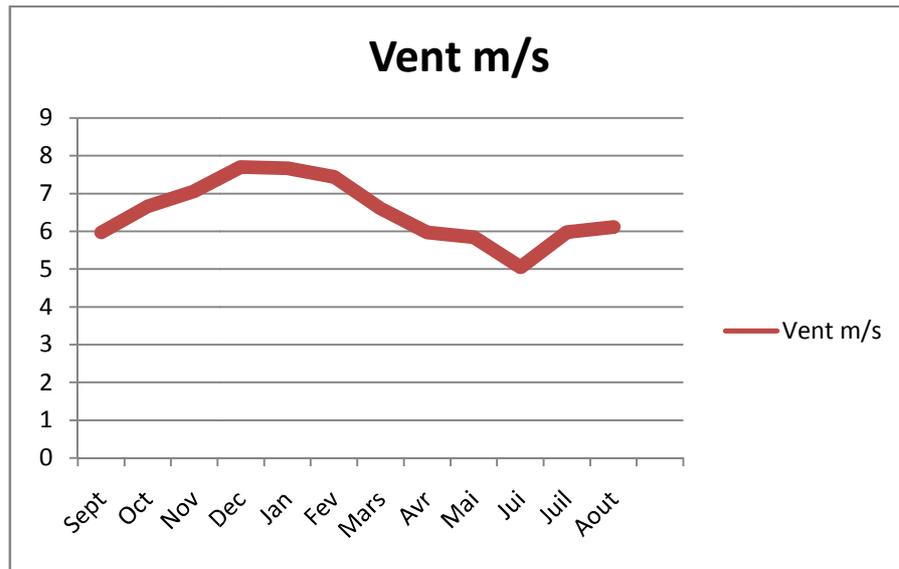


Figure 09 : Variation de la vitesse de vent.

III.5.7. Le diagramme Ombrothermique :

À partir des données de température et précipitation on a établi le diagramme Ombrothermique de Gaussen qui montre :

- ✓ La période sèche situe entre la fin de Mai et la fin d'Aout.
- ✓ La période humide situe entre le mois de Septembre et le mois de Mai (**Tab IX, Fig10**).

Tableau IX : Représente les précipitations et les températures.

Mois	jan	Fev	mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
T C°	12,1	11,9	13,95	16,1	18,8	22,4	25,2	26	23,7	20,9	16,2	13
P(mm)	109,65	105,22	74,72	70,69	44,89	18,37	7,8	10,5	65,05	68,45	108,3	124,6

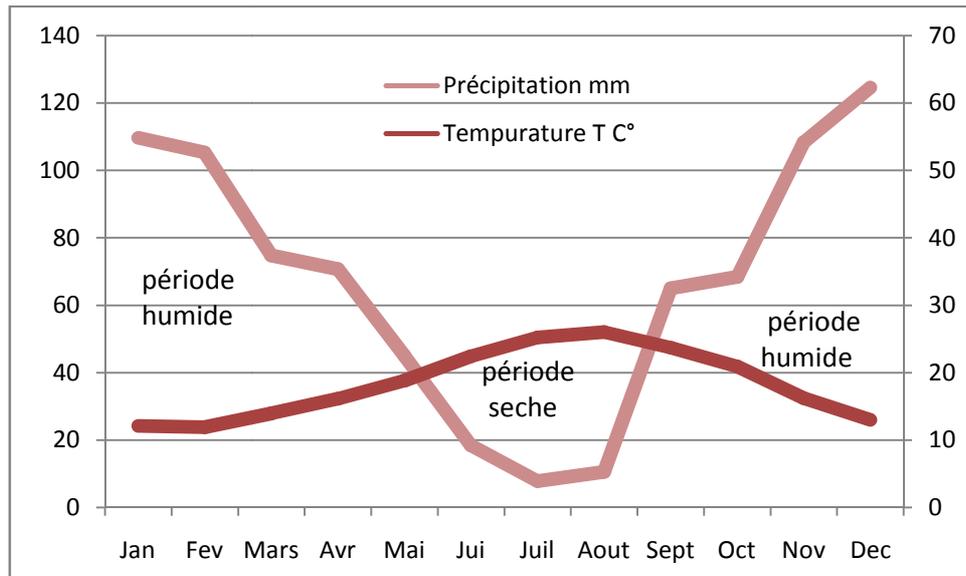


Figure 10 : Le diagramme Ombrothermique.

III.5.8. Bilan hydrique :

➤ Définition de l'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 n'est pas le facteur limitant (Margat, 1996).

Le calcul de l'évapotranspiration potentiel selon la méthode de Thornthwaite :

$$ETP = 16 \left(10 \frac{T}{I}\right)^\alpha k \quad (7)$$

$$\alpha = 1,6 \frac{I}{100} + 0,5 \quad (8)$$

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad (9)$$

$$I = \sum_{i=1}^n i \quad (10)$$

Tableau X de Tornthwaite :

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Annuel
TC°	12,1	11,9	13,95	16,1	18,8	22,4	25,2	26	23,7	20,9	16,2	13	18,35
I	3,81	3,72	4,43	5,87	7,43	9,68	11,57	12,13	10,55	8,72	5,93	4,25	88,39
P	109,65	105,22	74,72	70,69	44,89	18,37	7,81	10,57	65,05	68,45	108,30	124,61	808,38
ETP	29,15	28,23	38,25	50,30	67,63	94,51	118,35	125,63	105,26	82,79	50,89	33,43	
α	1,91												
K	0,87	0,87	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84	
ETPc	25,36	24,56	39,40	55,32	81,83	115,30	146,75	145,73	108,42	80,30	43,77	28,08	894,83
ETR	25,36	24,56	39,40	55,32	44,89	18,37	7,81	10,57	65,05	68,45	43,77	28,08	431,63
Var	84,29	80,66	35,32	15,37	- 36,94	-96,93	- 138,94	- 135,16	-43,37	- 11,85	64,53	96,53	
DA	00	00	00	00	36,94	96,93	138,94	135,16	43,37	11,85	00	00	463,19
RFU	100	100	100	100	63	00	00	00	00	64	100	100	
EX	84,29	80,66	39,40	55,32	-	-	-	-	-	-	-	61	

➤ 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 élevé, cet excédent va constituer la composante verticale de l'écoulement souterrain ou l'infiltration efficace vers la nappe), et si la RFU est complète, cette quantité restituée ($P - ETP$) va alimenter l'écoulement.

- Si $P < ETP$:

- $P = ETR$

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

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

➤ Calcul de ruissellement :

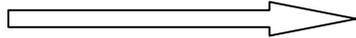
$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2} \quad (11)$$

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

➤ **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

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

(12)

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

- 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.

III.6. Pédologie :

Le sol agit de différentes manières sur le bassin versant. Le taux d'infiltration, la capacité de rétention et le coefficient de ruissellement sont en effet étroitement corrélés avec le type de sol.

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

Un sol sableux tout le long du littoral, un sol alluvionnaire tout le long des Oueds et un sol sableux limoneux (**Fig11**).

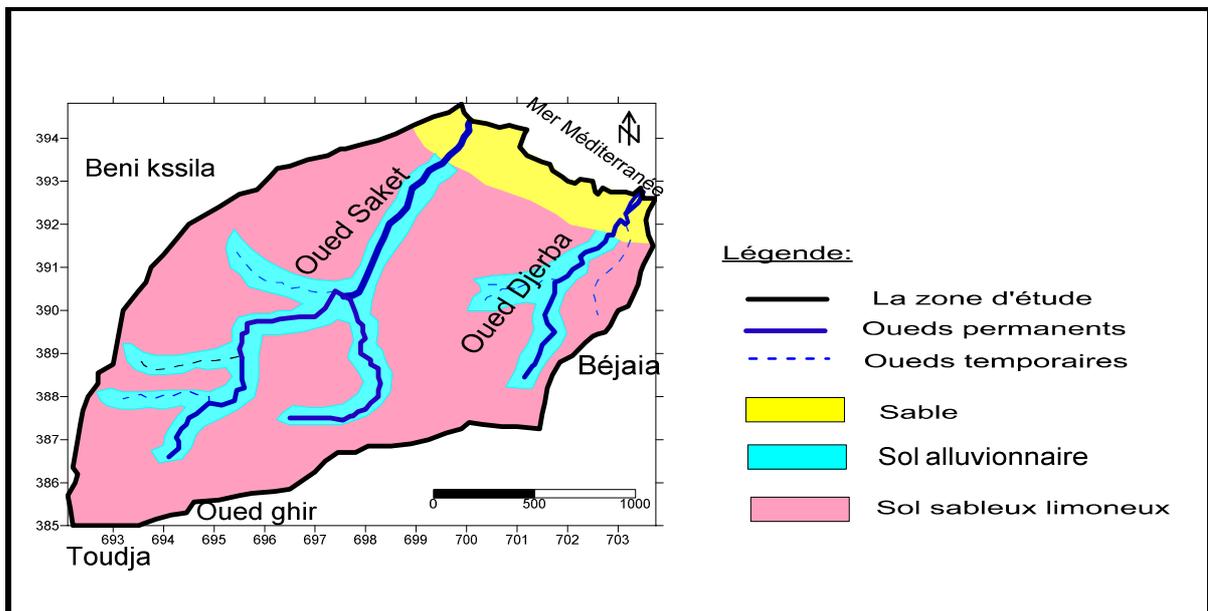


Figure 11: Carte de sol de la région de Boulimate.

III. 7. La géologie :

La géologie de la région de Boulimate 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 occupent la quasi totalité de terrain.

❖ Le haut fond berbère :

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

(Fig12)

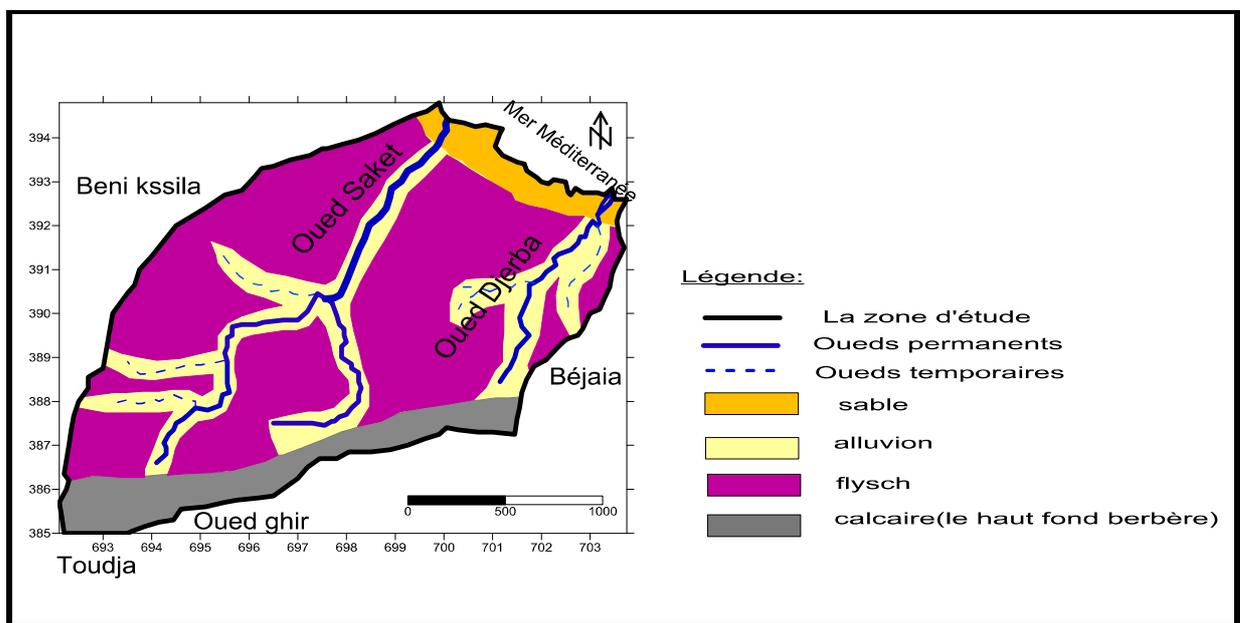


Figure 12 : La carte géologique de la région de Boulimate.

III.8. Hydrogéologie :

Est caractérisé par la présence de quatre aquifères :

- Des formations superficielles (les alluvions) .La Perméabilité $K=10^{-5}$ m/s.
- Aquifères des sables. La perméabilité $K= 10^{-3}$ m/s.
- Aquifères du flysch : argile grès et conglomérat. La perméabilité $K=10^{-1}$ m/s.
- Aquifères de la formation fissurée.

III.9. La méthode DRASTIC :

La méthode DRASTIC a été mise au point par Environmental Protection Agency (EPA) (Agence de Protection et de l'Environnement) aux Etats-Unis en 1987 (**Aller et al. 1987**). Elle permet d'évaluer la vulnérabilité verticale des eaux souterraines à la pollution.

La méthode DRASTIC tire son nom de l'acronyme de ses 7 paramètres de vulnérabilité. (**Bézélgues et al ,2002**)

Depth of water (D)	————>	Profondeur de la nappe;
Net Recharge (R)	————>	Recharge efficace de l'aquifère;
Aquifer media (A)	————>	La 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.

Les sept paramètres découpent, de 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 transport. Une valeur numérique appelée poids paramétrique, comprise entre 1 et 5, est attribuée à chaque paramètre, reflétant son degré d'influence. Chaque paramètre est classé en classes associées à des cotes variant de 1-10. La plus petite cote représente les conditions de plus faible vulnérabilité à la contamination. Une valeur numérique appelée indice de vulnérabilité DRASTIC et notée ID est déterminée : L'indice de vulnérabilité DRASTIC est calculé en faisant la somme des produits des cotes par les poids des paramètres correspondants :

$$ID = Dp * Dc + Rp * Rc + Ap * Ac + Sp * Sc + Tp * Tc + Ip * Ic + Cp * Cc. \quad (13)$$

(Où D, R, A, S, T, I, et C les sept paramètres de la méthode DRASTIC, p étant le poids du paramètre et, c la cote associée) (**Tab XI, Tab XIII**).

Tableaux XI : Des cotations accordées aux paramètres de la méthode DRASTIC.
(Lallemand-Barrés, 1994)

D : Profondeur de la nappe (m)		R : Recharge (pluie efficace)	
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 altérée	4	Limon	5
Métamorphique	3	Limon siliceux	4
Shale massif	2	Limon argileux	3
		Argiles non agrégée	1

T : Topographie, pente		I : Nature de la zone non saturée	
Valeurs en % de la pente	Cotation		
0-2	10	Calcaire karstique	10
2-6	9	Sable et gravier	9
		Sable et gravier avec silt	8

6-12	5	et argile	
12-18	3	Grès	6
18	1	Calcaire	6
		Silt /argile	1

C : Perméabilité	
9,4 10^{-4} m/s	10
4,7-9,4 10^{-4} m/s	8
32,9 10^{-5} -4,7 10^{-5} m/s	6
14,7 10^{-5} -32,9 10^{-5} m/s	4
4,7 10^{-5} -14,7 10^{-5} m/s	2
4,7 10^{-7} -4,7 10^{-5} m/s	1

Tableau XII : Facteurs de pondération.

Critères	Facteurs de pondération	
	Normal	Avec produit
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 XIII : Indices de degré de vulnérabilité.

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

III. 10. Présentation du logiciel Surfer :

Golden Software, le fournisseur leader de logiciels graphiques scientifiques abordables, qui annonce la sortie de Surfer 11, un logiciel puissant et convivial qui transforme les données en cartes prêtes pour les présentations, et aussi nous a permis à réaliser des cartes à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) en coordonnées Lambert.

Introduit en 1984, Surfer est apparu comme le logiciel de cartographie et de contour standard de l'industrie utilisé par les géologues, les hydrologues et les ingénieurs. Surfer 11 offre douze méthodes de grille différentes, y compris Kriging avec des variogrammes, pour convertir des données XYZ à distance irrégulière en une grille uniforme. Affichez une grille ou un modèle d'élévation numérique dans l'un des huit types de cartes 2D et 3D entièrement personnalisables: contour, bassin versant, image, relief ombré, vecteur 1 grille et 2 grilles, trame 3D et cartes de surface 3D.

L'une des nouveautés les plus populaires de Surfer 11 est la possibilité de créer des cartes de partage des eaux. Les utilisateurs peuvent maintenant charger un fichier de grille pour créer une carte du bassin versant et afficher les bassins versants et les lignes de flux en fonction des données Z dans le fichier de grille.

En plus de créer des cartes de bassins hydrographiques, les utilisateurs peuvent maintenant charger et étiqueter des cartes de base avec des attributs. Ceci a été une requête principale des utilisateurs actuels. Chargez les fonctionnalités dans Surfer avec des attributs, étiquetez les fonctionnalités avec les attributs, modifiez les attributs et exportez la fonctionnalité et les informations d'attribut ensemble dans un nouveau fichier.

Résultats et Discussions

IV. Résultats et Discussions :

IV.1. Interprétations des paramètres et réalisation des cartes thématiques :

IV.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 et de grés qui se situes 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 XIV, Fig 13).

Tableau XIV: 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		45
Conglomérat	4,5-9	7		35
Calcaire massif	30	1		5

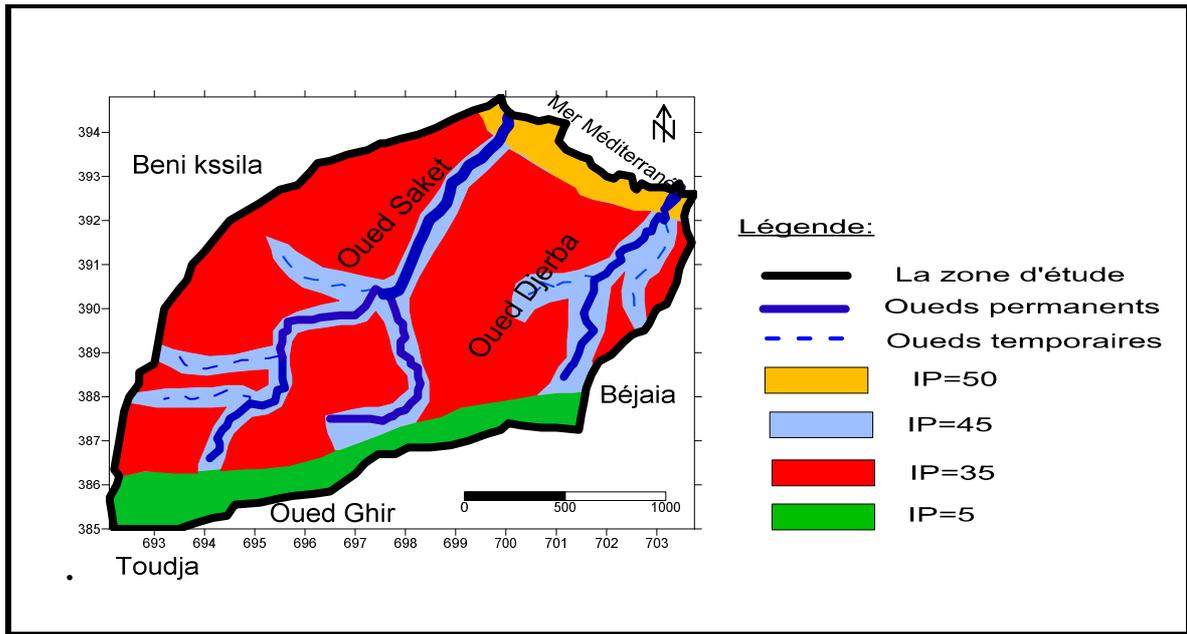


Figure 13: Carte de l'indice de profondeur.

IV.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. (Tabl XV Fig 14)

Tableau XV : Indice de la recharge nette.

Recharge nette « R »				
Zone	Gammes	Cotes	Poids	Indice
Alluvion	25,5	6	4	24
Calcaire	25,5	6		24

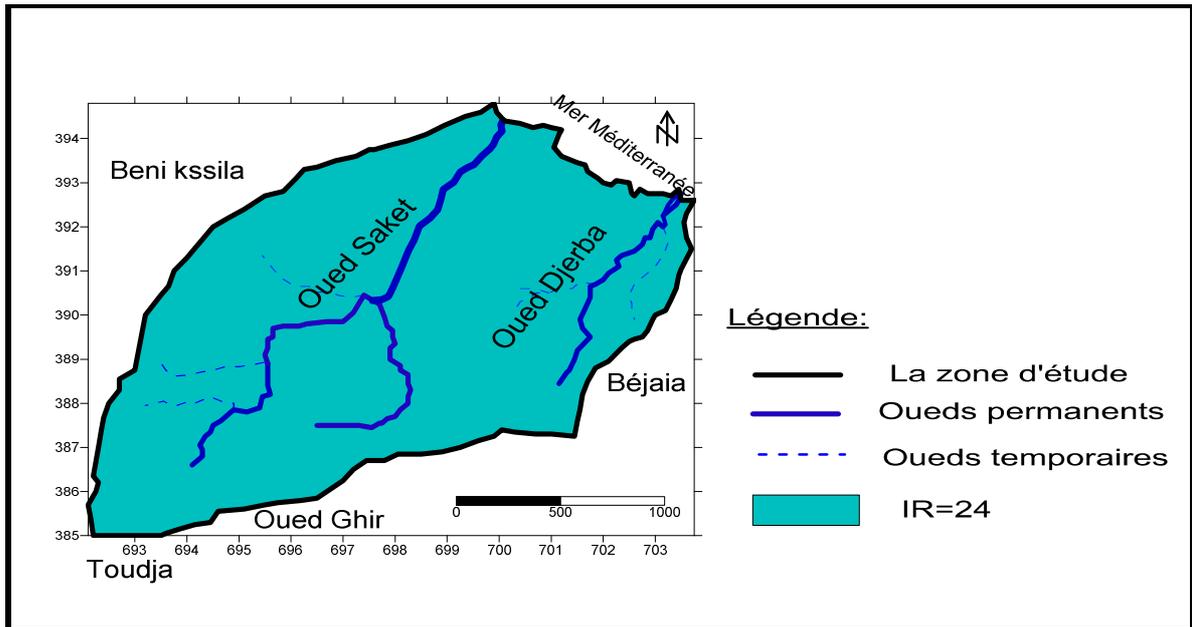


Figure 14 : Carte du paramètre recharge nette.

IV.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 XVI, Fig15).

Tableau XVI : Indice de la nature des aquifères.

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

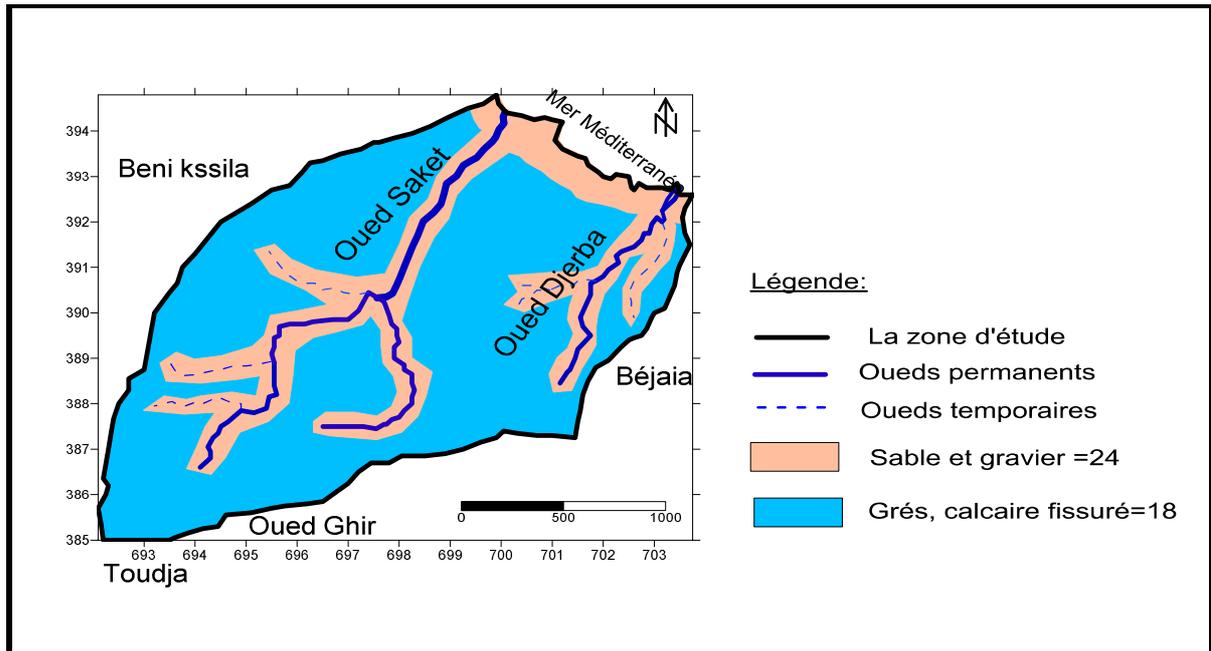


Figure 15: Carte de l'indice d'aquifère.

IV.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 XVII, Fig16).

Tableau XVII : Indice de type de sol.

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

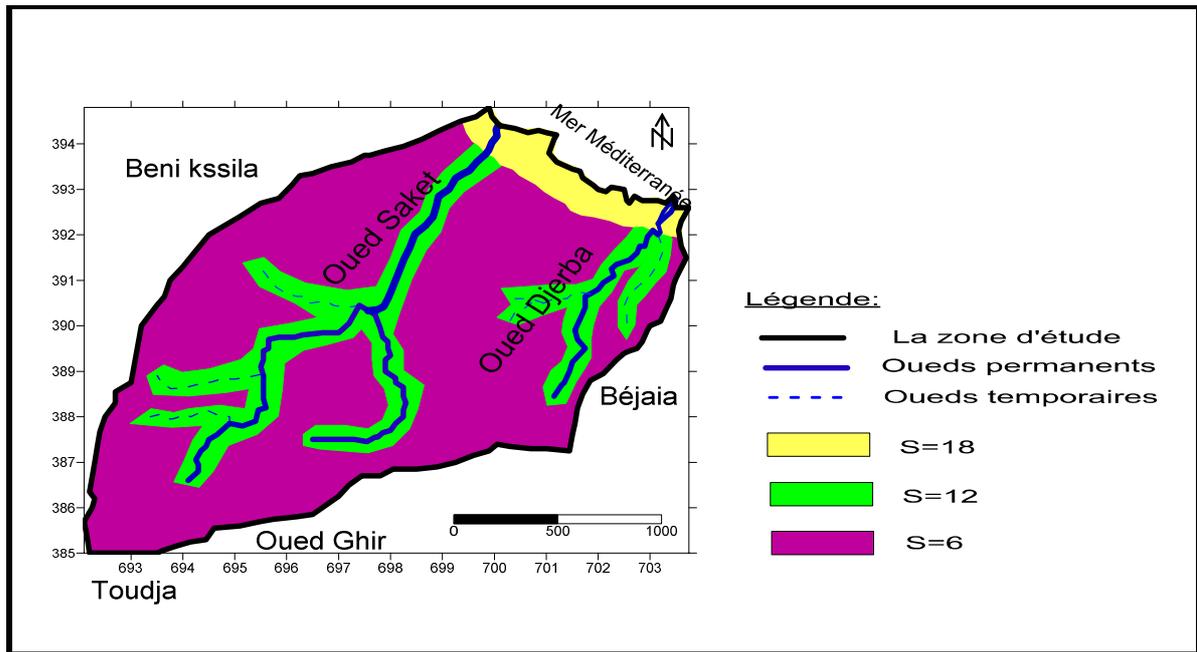


Figure 16 : Carte de paramètre de la nature du sol.

IV.1.5. Paramètre topographique « T » :

On a pu diviser la région en deux zones topographiques, la première couvre le littoral 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, Fig17).

Tableau XVIII : Indice de la topographie.

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

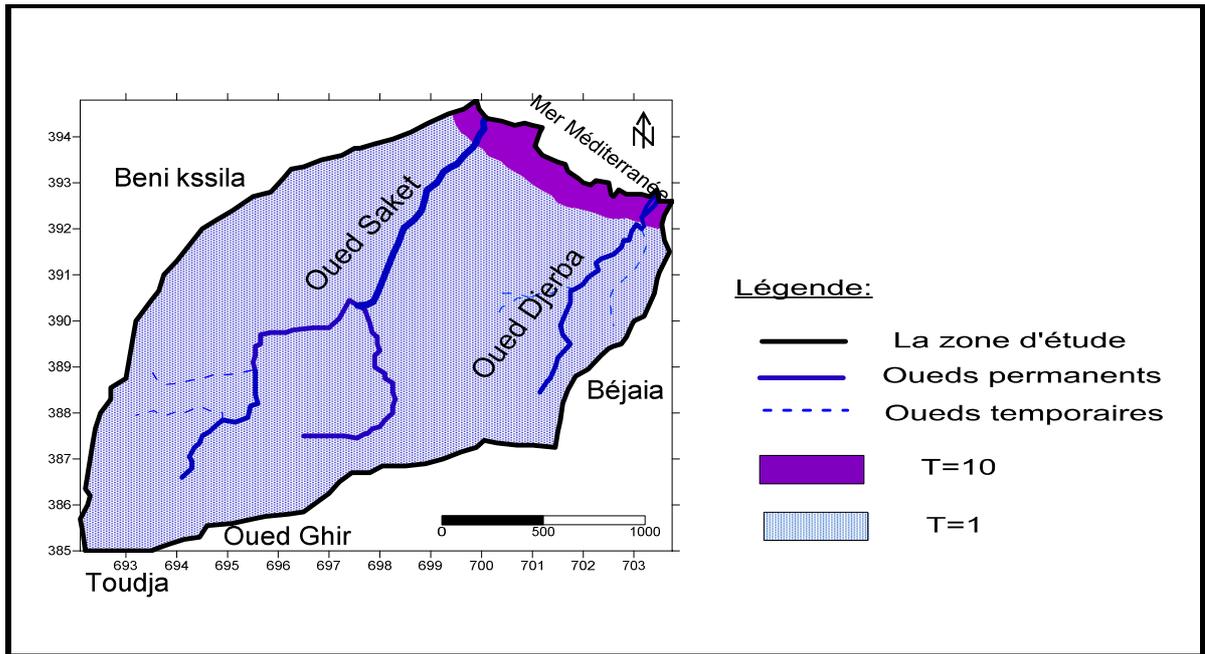


Figure 17 : Carte de l'indice de la topographie.

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

On rencontre deux classes (Tab XIX, Fig18) :

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

Tableau XIX : Indice de la zone non saturée de Boulimate.

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

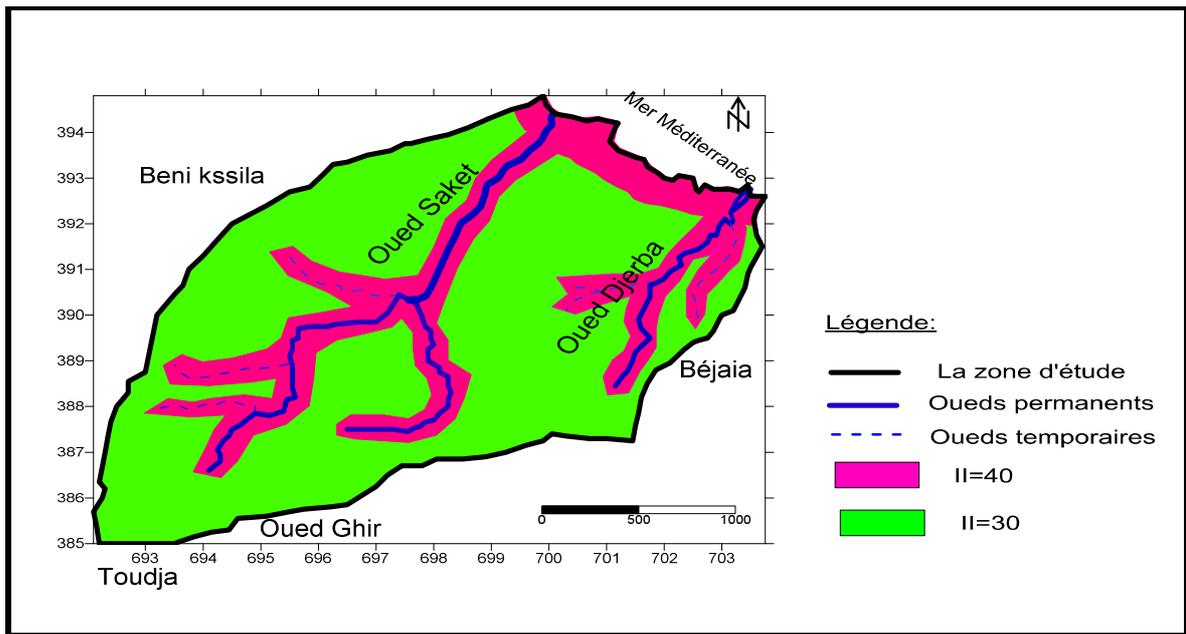


Figure 18 : Carte de l'indice de la zone non saturée.

IV.1.7. Paramètre de conductivité «C» :

-Les sables ($k=10^{-3}m/s$), conglomérat et grés ($k=10^{-1}m/s$) avec un indice de conductivité égale : IC=30.

-Les alluvions ($k=10^{-5}m/s$) avec un indice de conductivité égale : IC=18 (Tabl XX, Fig 19).

Tableau XX : Indice de la conductivité.

Paramètre de conductivité (C)			
Zone	Cotes	Poids	Indice
Sable	10	3	30
Alluvion+ Calcaire	6	3	18

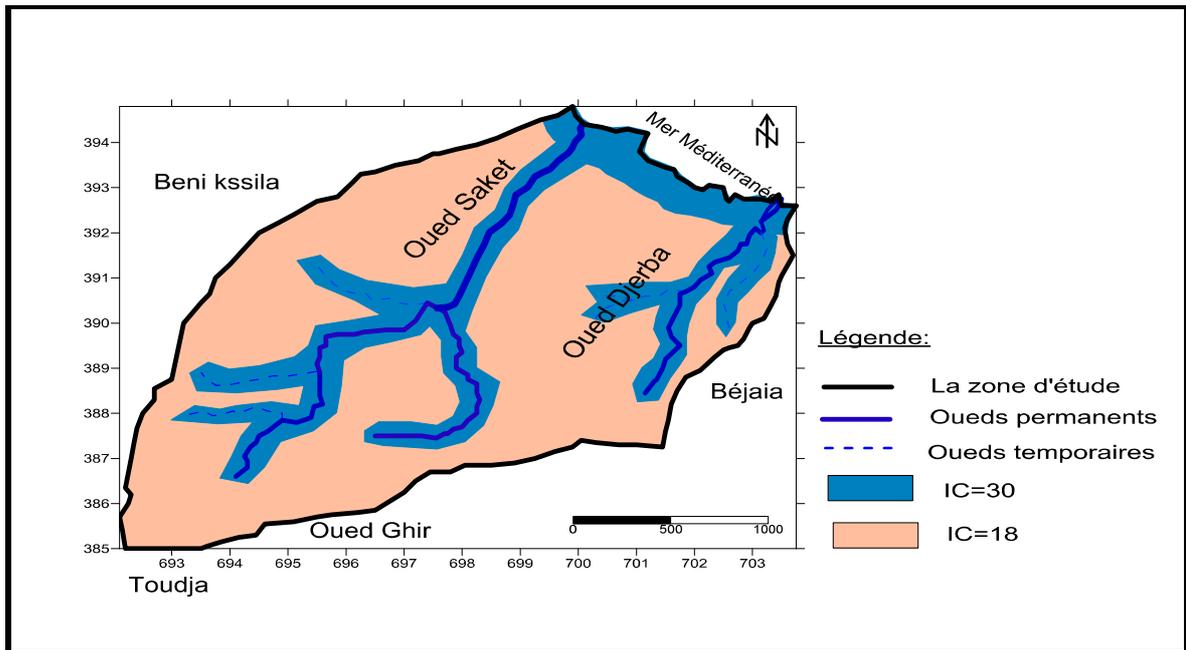


Figure 19 : Carte de l'indice de conductivité.

IV.2.La carte de vulnérabilité :

Le calcul et la cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la région de Boulimat ont été réalisés par la méthode DRASTIC et 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.

La superposition des sept cartes nous donne la carte de vulnérabilité finale. **(Fig20)**

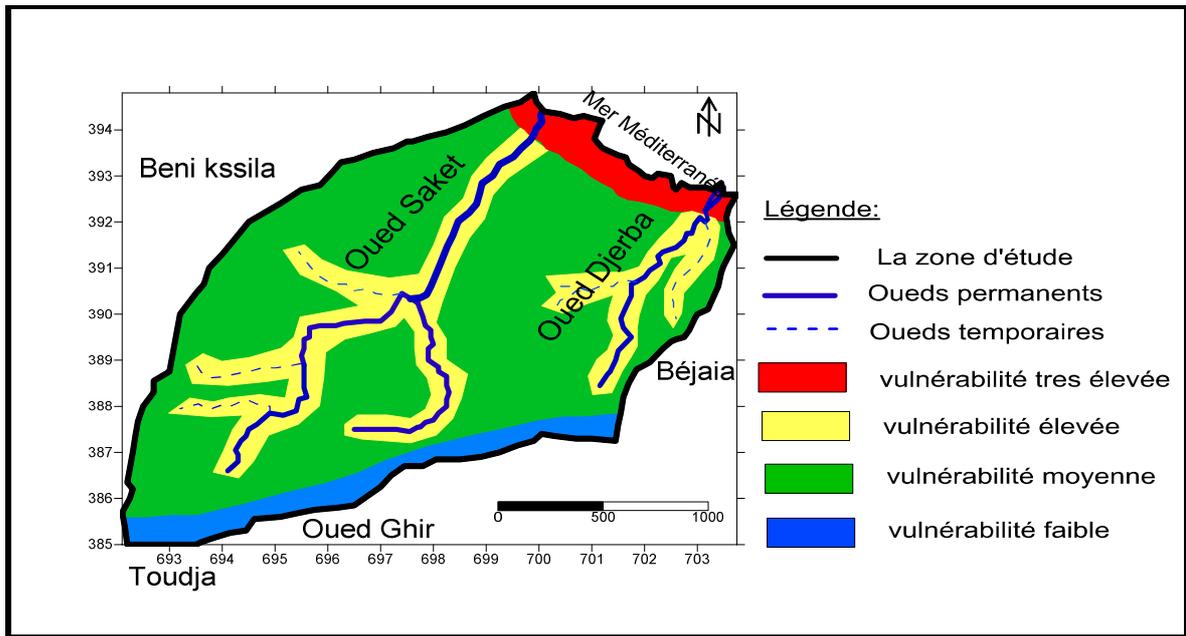


Figure 20 : Carte de vulnérabilité à la pollution de Boulimat.

Dans ce contexte le tableau XXI représente le pourcentage de la surface de chaque zone de vulnérabilité (**Fig21**).

Tableau XXI: La surface des zones vulnérables.

Type de vulnérabilité	Surfaces-en Km ²	Pourcentage en %
Vulnérabilité très élevée	2,25	3,37
Vulnérabilité élevée	7	10,48
Vulnérabilité moyenne	46,75	70,03
Vulnérabilité faible	4,75	7,11

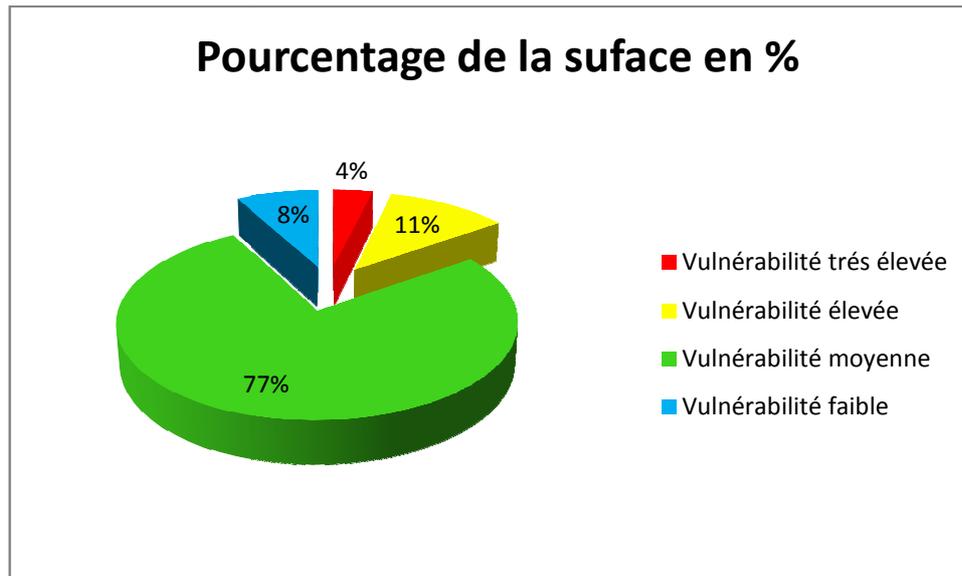


Figure 21 : Le pourcentage de la surface des zones de vulnérabilité.

L'indice de la vulnérabilité relatif à la méthode DRASTIC est calculé par la multiplication des sept paramètres indiciaires (**Annexe**).

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

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

La partie moyenne : A un degré de vulnérabilité représente le plus grand pourcentage de la surface totale de Boulimate avec une profondeur de 4,5-9m.

La partie élevé : A un degré de vulnérabilité représente la zone qui entour 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 partie sableuse du littorale de Boulimate sa profondeur est de 0-1,5m. Cette zone contient des sables facilite la propagation des contaminants vers les eaux souterraines.

IV.3. La décharge publique de Boulimate :

La décharge publique de la commune de Bejaia est située au Nord-ouest du Parc National de Gouraya. Le transfert de la décharge de Bougie-plage vers Boulimate a été effectué suite à un arrêté de Monsieur le Wali en 1984. La superficie occupée par la décharge est d'environ 10 hectares (Day, 1999).

Les ordures rejetées dans la décharge de Boulimate sont ménagères et industrielles. Les déchets sont déversés sans aucun contrôle, ce qui fait que cette décharge constitue un danger permanent pour les écosystèmes sur un rayon de plusieurs kilomètres. Par conséquent, elle revêt un aspect déplaisant et porte atteinte à la faune et à la flore du Parc National de Gouraya dont elle fait partie (Mouaïci, 2002)(Fig22).



Figure 22 : Photo de la décharge publique de boulimate.

(Bejaiainfo/782)

IV.4 .Autres sources de pollution des eaux souterraines dans la région de Boulimate :

➤ Pollution par des lixiviats :

L'interaction des eaux de surface avec les déchets de la décharge publique produit les lixiviats.

➤ Trafic routier :

Les émissions de substances, polluantes ou non, émanant des infrastructures routières sont générées par plusieurs types de sources :

- Les véhicules en circulation sur l'infrastructure.
- L'abrasion de la chaussée.
- L'usure des équipements.

➤ Pollution agricole :

L'activité agricole modifie fortement la qualité et la dynamique de l'eau dans le milieu. Par l'apport de fertilisants et de pesticides.

➤ Pollution atmosphérique :

La décharge pollue l'atmosphère suite aux dégagements des gazes hautement toxiques émanant de l'incinération quotidienne et de la dégradation biologique des déchets.

➤ Pollution provoquée par les estivants :

La région de Boulimate est l'une des régions la plus touchée par la pollution pendant la saison estivale à partir d'un nombre très important des estivants à l'environ de 100000 visiteurs chaque année qui résulte :

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

IV.5. Carte de risque :

La projection des sources de pollution sur la carte de vulnérabilité nous donne une carte de risque selon la formule suivante. (Fig23)

$$\text{Risque} = \text{Vulnérabilité} \times \text{Aléa.} \quad (14)$$

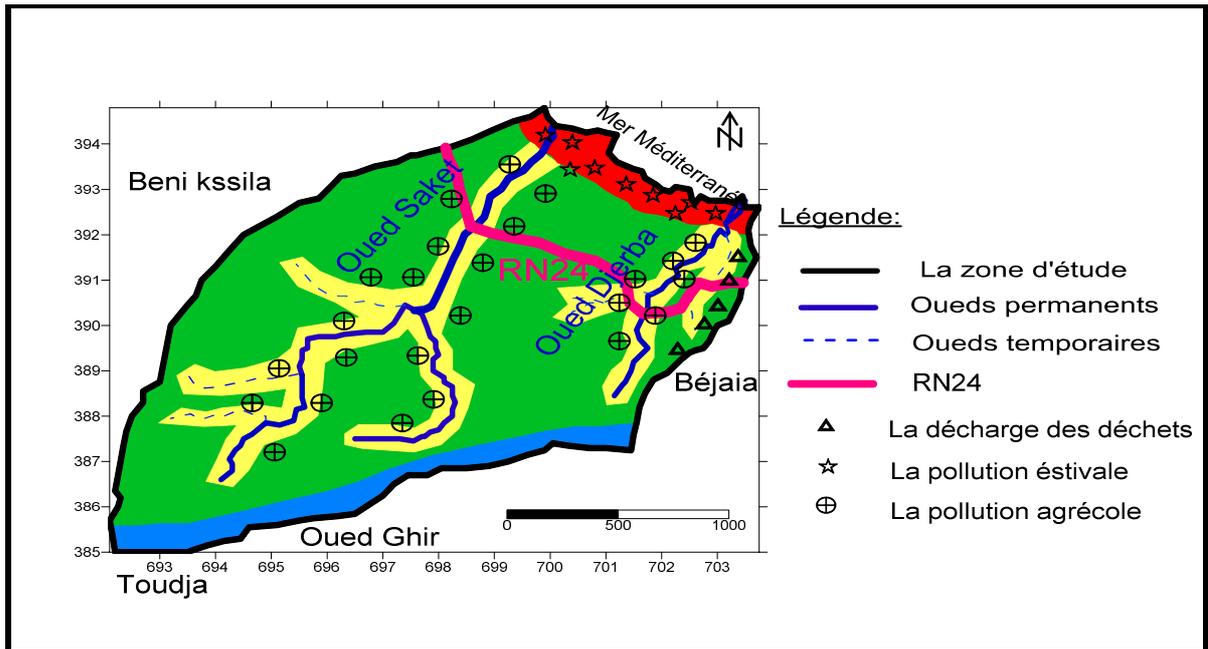


Figure 23 : Carte de risque de région de Boulimata.

Conclusion

V. Conclusion :

Au cours de cette recherche, nous avons premièrement présenté la zone d'étude, la population, les caractéristiques géomorphologiques et climatiques de la région de Boulimate.

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

Sur le plant géologique on a déterminée 3 formations :

Formation autochtone, formation allochtone et le haut fond berbère.

Sur les plants hydrogéologiques on a quatre aquifères :

Les aquifères des sables, des alluvions, des flysch et conglomérats et les calcaires fissurées.

A partir des résultats obtenus par l'application de la méthode DRASTIC à la nappe superficielle de la région de Boulimate, on a fournie une carte de vulnérabilité qui définit le degré de contamination, pour chaque indice DRASTIC calculé.

On a définie quatre zones de vulnérabilité de degré très élevée, élevée, moyenne, et faible tel qu'elles sont citée ci-dessous :

- Les zones à vulnérabilité très élevées qui sont définie par les sables (175-226).
- Les zones à vulnérabilité élevées qui représentées par Les plaines côtières constituées des nappes des alluvions (145-174).
- Les zones à vulnérabilité moyenne qui représentées par Les nappes de flysch et les conglomérats qui occupent la quasi-totalité du terrain (114-144).
- En fin, les zones à vulnérabilité faible qui sont localisées au Sud de la zone d'étude par les calcaires fissurés (84-113).

La cartographie de la vulnérabilité et des risques de pollution des eaux souterraines est une méthodologie qui est devenue nécessaire afin d'assurer la gestion qualitative des ressources en eau en relation avec les diverses activités humaines ,elle apparait donc nécessaire et incontournable car ce type de carte permet d'identifier très facilement les zones à risques de pollutions potentielles .Elle servira donc comme un

outil d'aide à la décision aux gestionnaires des ressources en eau et permettra également d'orienter l'aménagement du territoire .

Recommandation :

Dans le but de gestion et de protection de la qualité des eaux souterraines, on peut énoncer quelques recommandations qu'il faut prendre en considération :

- Développement et application des méthodes pour contrôler l'évolution de la pollution.
- Mettre à niveau la collecte et le traitement le long du cours d'eau.
- Diminuer la pollution agricole en modérant l'épandage d'engrais, industriels, de pesticides, de biocides.
- Protéger les eaux souterraines contre l'éventuelle infiltration de la pollution.
- Traitement des rejets des eaux usées industrielles et domestiques qui sont déversés directement dans les affluents et la mise en place d'un réseau de canalisation planifié.
- La sensibilisation de la population et les estivants sur le danger de la pollution de la région.
- Aménagement des dépotoirs vers les zones à vulnérabilité faible.
- Contrôle la pollution de l'air.
- Faire un suivi hydrochimique des eaux de surfaces et souterraines.

Références bibliographiques

« A »

- Ait Hmoudi TF. (2010).** Etude de la vulnérabilité de la Baie de Bejaia. Université de Bejaia.
- **Anonyme .2013 .** Agence national de développment et l'investigation.
- Anonyme. (2014) .** Etude d'aménagement de la Zest pointe des moules ,direction du tourisme et de l'artisanat de la wilaya de Bejaia ,rapport phase1 ,aménagement touristique de la Zest de Boulimate .Bejaia.
- Albinet M., Margat J. (1970).** Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. (Mapping of graundwater vulnérabilityto polution) bulletin BRGM 2nd series 3(5):13-22.
- Aller L., Bennet T., Lehr R J H., Petty J., Hacket G. 1987. DRASTIC.** A standardised system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic.
- **Allirou R ., Quantinet B. (2004) .** Vulnérabilité une notion d'avenir. École supérieure des mines .Saint Etienne.

« B »

- Banton O., Gosselin MA et ., 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.
- BenHamiche 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 suommam, Bejaia .thèse.
- Bézèlgues 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.

« C »

- 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)**. Prévision 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
- Cazaux M. (2007)** .Les eaux souterraines en Girande cartographie de l a 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.

« D »

- Daboussi A. (2009)** .La cartographie de la vulnérabilité des nappes : un moyen de gestion durables des ressources en eaux .Université de Tunis ElManar faculté des sciennces 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.
- Djadi HM ., Traore PN. (2016)**. Etude de la vulnérabilité de la commune de SoukElTenine par la méthode DRASTIC et GOD .Université de Bejaia.
- Djellout N.,Djallas D. (2006)** .Etude de la vulnérabilité à la pollution de la région de Tichy.Université de Bejaia .
- Derguini N ., Adrar H. (2004)** .Etude de la vulnérabilité à la pollution de la commune de Souk –El-Tenine. Université de Bejaia.

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

« F »

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

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

« H »

-**Hamza M .,Added A.,Frances Ba.,Rodriguez R.(2007).**Validity of the vulnerability methods DRASTIC,SINTACS and SI applied to the study of nitrate pollution in the phréatic aquifer of meteline –Ras Jebel –RafRaf(Northeastern Tunisia) ;Géosciences de surface (hydrologie- hydrogéologie) ;volume 339.

-**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.**

« K »

-**Kouame FK.,Dibi B .,Dongo K.,Kouadio HB.,Ake GE.(2007).** Application des méthodes DRASTIC et SI pour l'étude de la vulnérabilité à la pollution par les nitrates (NO_3^-) de la nappe de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire).

-**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.

« L »

-Lallemand-Barrés. (1994). Normalisation des cratères 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.

« M »

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

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

-MELLOUL A., BOUGHRIBA M., MBOUFAID 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 .

-Mouaici 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 leucophée, 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.

« P »

-Petelet Giraud E., Dorfliger n ., Crochet P. (200).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.

« S »

-Saidani D. (2008) .Contribution à l'étude de la flore insulaire de la cote 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 N., Patel JP ., Lenindre Y., Baudry D., hoarau A., Dufour P., Benhammouda S . (2002). Gestion des eaux souterraines en Aquitaine année 5.opération sectorielle. Protection de la nappe BRGM/RP-51178-FR.

-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).

« T »

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

« V »

- Vieville JJ. (1988). Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines aux polluants et conception assistée par ordinateur. Projet de recherche présente pour l'option conception et gestion.

Vrba J., et Zaporozec A. (1994). Guidebook on mapping groundwater vulnerability. Alli, vol. 16, 131p.

« Z »

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

-<https://bejaiainfo/782-lalgerie-partenaire-pour-reduire-la-pollution-de-la-mediterranee-4efa5.jpg>

Annexe

Indice des degrés de vulnérabilité

	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	Elevé
8	50	24	24	18	1	30	18	165	Elevé
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	Tlevé
13	50	24	24	12	10	40	18	178	Très élevé
14	50	24	24	12	1	40	18	169	Elevé
15	50	24	24	12	10	30	18	168	Elevé
16	50	24	24	12	1	30	18	159	Elevé
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	Elevé
20	50	24	24	6	1	30	30	165	Elevé
21	50	24	24	6	10	40	18	172	Elevé
22	50	24	24	6	1	40	18	163	Elevé
23	50	24	24	6	10	30	18	162	Elevé
24	50	24	24	6	1	30	18	153	Elevé
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	Elevé
29	50	24	18	18	10	40	18	178	Très élevé
30	50	24	18	18	1	40	18	169	Elevé
31	50	24	18	18	10	30	18	168	Elevé
32	50	24	18	18	1	30	18	159	Elevé
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	Elevé
36	50	24	18	12	1	30	30	165	Elevé
37	50	24	18	12	10	40	18	172	Elevé
38	50	24	18	12	1	40	18	163	Elevé
39	50	24	18	12	10	30	18	162	Elevé
40	50	24	18	12	1	30	18	153	Elevé

	ID	IR	IA	IS	IT	II	IC	Indice	Degré
41	50	24	18	6	10	40	30	178	Très élevé
42	50	24	18	6	1	40	30	169	Elevé
43	50	24	18	6	10	30	30	168	Elevé
44	50	24	18	6	1	30	30	159	Elevé
45	50	24	18	6	10	40	18	166	Elevé
46	50	24	18	6	1	40	18	157	Elevé
47	50	24	18	6	10	30	18	156	Elevé
48	50	24	18	6	1	30	18	147	Elevé
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	Elevé
53	45	24	24	18	10	40	18	179	Très élevé
54	45	24	24	18	1	40	18	170	Elevé
55	45	24	24	18	10	30	18	169	Elevé
56	45	24	24	18	1	30	18	160	Elevé
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	Elevé
61	45	24	24	12	10	40	18	173	Elevé
62	45	24	24	12	1	40	18	164	Elevé
63	45	24	24	12	10	30	18	163	Elevé
64	45	24	24	12	1	30	18	154	Elevé
65	45	24	24	6	10	40	30	179	Très élevé
66	45	24	24	6	1	40	30	170	Elevé
67	45	24	24	6	10	30	30	169	Elevé
68	45	24	24	6	1	30	30	160	Elevé
69	45	24	24	6	10	40	18	167	Elevé
70	45	24	24	6	1	40	18	158	Elevé
71	45	24	24	6	10	30	18	157	Elevé
72	45	24	24	6	1	30	18	148	Elevé
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	175	Très élevé
76	45	24	18	18	1	30	30	166	Elevé
77	45	24	18	18	10	40	18	173	Elevé
78	45	24	18	18	1	40	18	164	Elevé
79	45	24	18	18	10	30	18	163	Elevé
80	45	24	18	18	1	30	18	154	Elevé

	ID	IR	IA	IS	IT	II	IC	Indice	Degré
81	45	24	18	12	10	40	30	179	Très élevé
82	45	24	18	12	1	40	30	170	Elevé
83	45	24	18	12	10	30	30	169	Elevé
84	45	24	18	12	1	30	30	160	Elevé
85	45	24	18	12	10	40	18	167	Elevé
86	45	24	18	12	1	40	18	158	Elevé
87	45	24	18	12	10	30	18	157	Elevé
88	45	24	18	12	1	30	18	148	Elevé
89	45	24	18	6	10	40	30	173	Elevé
90	45	24	18	6	1	40	30	164	Elevé
91	45	24	18	6	10	30	30	163	Elevé
92	45	24	18	6	1	30	30	154	Elevé
93	45	24	18	6	10	40	18	161	Elevé
94	45	24	18	6	1	40	18	152	Elevé
95	45	24	18	6	10	30	18	151	Elevé
96	45	24	18	6	1	30	18	142	Elevé
97	35	24	24	18	10	40	30	181	Très élevé
98	35	24	24	18	1	40	30	172	Elevé
99	35	24	24	18	10	30	30	171	Elevé
100	35	24	24	18	1	30	30	162	Elevé
101	35	24	24	18	10	40	18	169	Elevé
102	35	24	24	18	1	40	18	160	Elevé
103	35	24	24	18	10	30	18	159	Elevé
104	35	24	24	18	1	30	18	150	Elevé
105	35	24	24	12	10	40	30	175	Très élevé
106	35	24	24	12	1	40	30	166	Elevé
107	35	24	24	12	10	30	30	165	Elevé
108	35	24	24	12	1	30	30	156	Elevé
109	35	24	24	12	10	40	18	163	Elevé
110	35	24	24	12	1	40	18	154	Elevé
111	35	24	24	12	10	30	18	153	Elevé
112	35	24	24	12	1	30	18	144	Moyen
113	35	24	24	6	10	40	30	169	Elevé
114	35	24	24	6	1	40	30	160	Elevé
115	35	24	24	6	10	30	30	159	Elevé
116	35	24	24	6	1	30	30	150	Elevé
117	35	24	24	6	10	40	18	157	Elevé
118	35	24	24	6	1	40	18	148	Elevé
119	35	24	24	6	10	30	18	147	Elevé
120	35	24	24	6	1	30	18	138	Moyen

	ID	IR	IA	IS	IT	II	IC	Indice	Degré
121	35	24	18	18	10	40	30	175	Très élevé
122	35	24	18	18	1	40	30	166	Elevé
123	35	24	18	18	10	30	30	165	Elevé
124	35	24	18	18	1	30	30	156	Elevé
125	35	24	18	18	10	40	18	163	Elevé
126	35	24	18	18	1	40	18	154	Elevé
127	35	24	18	18	10	30	18	153	Elevé
128	35	24	18	18	1	30	18	144	Moyen
129	35	24	18	12	10	40	30	169	Elevé
130	35	24	18	12	1	40	30	160	Elevé
131	35	24	18	12	10	30	30	159	Elevé
132	35	24	18	12	1	30	30	150	Elevé
133	35	24	18	12	10	40	18	157	Elevé
134	35	24	18	12	1	40	18	148	Elevé
135	35	24	18	12	10	30	18	147	Elevé
136	35	24	18	12	1	30	18	138	Moyen
137	35	24	18	6	10	40	30	163	Elevé
138	35	24	18	6	1	40	30	154	Elevé
139	35	24	18	6	10	30	30	153	Elevé
140	35	24	18	6	1	30	30	144	Moyen
141	35	24	18	6	10	40	18	151	Elevé
142	35	24	18	6	1	40	18	142	Moyen
143	35	24	18	6	10	30	18	141	Moyen
144	35	24	18	6	1	30	18	132	Moyen
145	5	24	24	18	10	40	30	151	Elevé
146	5	24	24	18	1	40	30	142	Moyen
147	5	24	24	18	10	30	30	141	Moyen
148	5	24	24	18	1	30	30	132	Moyen
149	5	24	24	18	10	40	18	139	Moyen
150	5	24	24	18	1	40	18	130	Moyen
151	5	24	24	18	10	30	18	129	Moyen
152	5	24	24	18	1	30	18	120	Moyen
153	5	24	24	12	10	40	30	145	Elevé
154	5	24	24	12	1	40	30	136	Moyen
155	5	24	24	12	10	30	30	135	Moyen
156	5	24	24	12	1	30	30	126	Moyen
157	5	24	24	12	10	40	18	133	Moyen
158	5	24	24	12	1	40	18	124	Moyen
159	5	24	24	12	10	30	18	123	Moyen
160	5	24	24	12	1	30	18	114	Moyen

	ID	IR	IA	IS	IT	II	IC	Indice	Degré
161	5	24	24	6	10	40	30	139	Moyen
162	5	24	24	6	1	40	30	130	Moyen
163	5	24	24	6	10	30	30	129	Moyen
164	5	24	24	6	1	30	30	120	Moyen
165	5	24	24	6	10	40	18	127	Moyen
166	5	24	24	6	1	40	18	118	Moyen
167	5	24	24	6	10	30	18	117	Moyen
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	Moyen
171	5	24	18	18	10	30	30	135	Moyen
172	5	24	18	18	1	30	30	126	Moyen
173	5	24	18	18	10	40	18	133	Moyen
174	5	24	18	18	1	40	18	124	Moyen
175	5	24	18	18	10	30	18	123	Moyen
176	5	24	18	18	1	30	18	114	Moyen
177	5	24	18	12	10	40	30	139	Moyen
178	5	24	18	12	1	40	30	130	Moyen
179	5	24	18	12	10	30	30	129	Moyen
180	5	24	18	12	1	30	30	120	Moyen
181	5	24	18	12	10	40	18	127	Moyen
182	5	24	18	12	1	40	18	118	Moyen
183	5	24	18	12	10	30	18	117	Moyen
184	5	24	18	12	1	30	18	108	Faible
185	5	24	18	6	10	40	30	133	Moyen
186	5	24	18	6	1	40	30	124	Moyen
187	5	24	18	6	10	30	30	123	Moyen
188	5	24	18	6	1	30	30	114	Moyen
189	5	24	18	6	10	40	18	121	Moyen
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

Résumé :

L'étude de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution au moyen de la méthode 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), la type de sol(S), la topographie(T), l'impact de la zone vadose(I), et la conductivité de l'aquifère(C).

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 différentes : une zone a faible vulnérabilité(102), une zone a vulnérabilité moyen(144), une zone a vulnérabilité élevée(174), et une zone de vulnérabilité très élevée(196).

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

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

Abstract:

The study of the vulnerability of groundwater to pollution by means of the DRASTIC method has the advantage of combining the following seven parameters: the Depth of the water (D), the recharge of the aquifer (R), the aquifer media (A), the soil media (S), the topography (T), the impact of the vadose zone (I), and the conductivity of the aquifer (C).

The mapping of these different parameters allow, after their superimposition, to draw the vulnerability map. This method is applied to the alluvial Boulimat water table, brings out four zones with different vulnerability: a zone with low vulnerability (102), a zone with medium vulnerability (144), a zone with high vulnerability (174), and a zone of vulnerability Very high vulnerability.(196).

Exploitation of the vulnerability map contributed 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, Boulimat, Risque map.

ملخص:

إن دراسة ضعف المياه الجوفية للتلوث باستخدام طريقة جذرية DRASTIC لديه ميزة الجمع بين المعلمات السبع التالية: عمق طبقات المياه (D)، التغذية الفعال لطبقة المياه الجوفية (R)، الخصائص الصخرية لطبقة المياه الجوفية (A)، نوع التربة (S)، التضاريس (T)، تأثير المنطقة الغير مشبعة (I)، الموصلية (C).

إن رسم خرائط لهذه المعلمات المختلفة تسمح بعد التركيب ، إلى رسم خريطة الضعف، لقد تم تطبيق هذه الطريقة علي المياه الجوفية لمنطقة Boulimat، باستنتاج أربعة مناطق ضعف: منطقة ذات ضعف منخفض (102)، منطقة ذات ضعف متوسط (144)، منطقة ذات ضعف شديد (174)، منطقة ذات ضعف شديد جدا (196).

إن استغلال خريطة الضعف يساهم في الحماية المستدامة للموارد الطبيعية. إن اسقاط مصادر التلوث على خريطة الضعف يعطينا خريطة الخطر.

كلمات البحث: الضعف، المياه الجوفية، DRASTIC، Boulimat، خريطة الخطر.