

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

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



Réf :.....

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

MASTER

Thème

**Etude comparative de la vulnérabilité des
eaux souterraines à la pollution de la
commune de Souk El Tenine par les
méthodes DRASTIC et GOD**

Présenté par :

DJEDI Hamid Mokrane & TRAORE Papa Namory

Soutenu le : 13/06/2016

Devant le jury composé de :

M ^r LAARACHI N.	MAA	Président
M ^r LAISSAOUI M.	MAA	Examineur
M ^r KHEMMOUDJ K.	MCB	Encadreur

Année universitaire : 2015 / 2016.

REMERCIEMENT

Le travail ayant pris fin, nous tenons principalement à exprimer notre reconnaissance et remerciement à notre promoteur Mr Khemmoudj pour son dévouement à la réalisation de ce travail, son aide précieuse et pour tous ses conseils judicieux.

Nous exprimons également nos vifs remerciements à tous les enseignants du département de Biologie pour leurs conseils durant tout notre cycle d'étude.

Nous manifestons notre parfaite gratitude aux honorables membres du jury pour leurs présence. Nous remercions également tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à sa réalisation.

A mes parents qui m'ont tout donné et qui ont tout sacrifié pour réaliser mes buts et mes rêves qu'ils partagent avec moi, à ma sœur Rosa, mon frère Boussaad et sa femme Nacira et leurs petit fils Brayan.

A ma très chère sœur Rosa pour son soutien.

A tous mes amis, Halim, Samira, Yanis, Zintouh, Tarik, Zakou, Amrane, Thiziri, Célia, Ouahab, Amel, Mélissa, Ryma, mes camarades de classe, et toutes les personnes qui me sont chères.

Hamid

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à sa réalisation.

A mes très chers parents, pour leur soutien et leur encouragement, je prie Dieu de les protéger et les récompenser de toute l'amour et de sacrifice donnés aux quels je ne rendrais jamais assez.

A ma très chère grande mère Anta que Dieu la protège.

A mes frères et cousins Youssouf, Babou, Adama, Cheick et Aba dont je souhaite longue vie et succès

A mes sœurs et cousines Aminata, Rokia et Bintou, dont je souhaite également une longue vie plein de bonheur.

A toute la famille Traoré, Seck, Keita et Doumbia.

A mes amis (es) Sadam, Neydi, Izoz, Moumou, Yuri, Stélio, Tamé, Lovisa, Cissé Ex, Tawaty

A tous mes compatriotes et à toute la communauté étrangère de Bejaia.

Papa Namory

TABLE DES MATIERES

I. Introduction	1
II. Matériels et méthodes	3
II.1 Matériels	3
II.1.1 Géomorphologie de la zone d'étude	5
II.1.1.a) Les caractéristiques du bassin versant	5
II.1.1.b) Le réseau hydrographique	6
II.1.2 Climatologie de la zone d'étude	7
II.1.2.a) Précipitation	7
II.1.2.b) Température	8
II.1.2.c) Vent	9
II.1.2.d) Humidité	10
II.1.3 Pédologie de la zone d'étude	11
II.1.4 Géologie de la zone d'étude	11
II.1.5 Hydrogéologie de la zone d'étude	12
II.1.6 Sources de pollution	13
II.1.6.a) pollution par les eaux usées.....	13
II.1.6.b) pollution d'origine agricole	14
II.2 Méthodes	15
II.2.1 La vulnérabilité	15
II.2.2 Description des paramètres	17
II.2.2.a) La profondeur de la nappe	17
II.2.2.b) La recharge nette	17
II.2.2.c) L'impact de la zone non saturée et type d'aquifère	17
II.2.2.d) Topographie	18
II.2.2.e) Type de sol	18
II.2.2.f) Conductivité hydraulique	18
II.2.3 La méthode DRASTIC	18
II.2.3.a) Interprétation de l'indice DRASTIC	19

II.2.3.b) Cote et poids attribué pour chaque paramètre de la méthode DRASTIC	19
II.2.4 La méthode GOD	23
II.2.4.a) Interprétation de l'indice GOD	23
II.2.4.b) Note attribué pour chaque paramètre de la méthode GOD	23
II.2.5 Carte de vulnérabilité	24
III. Analyse et discussions	26
Conclusion	39
Références bibliographiques	40
Annexes	

LISTE DES FIGURES

Liste des figures	Page
Figure N° 01 : Organisation spatiale de la commune de Souk El Tenine	4
Figure N° 02 : Répartition de la population par zone (%)	5
Figure N° 03 : réseau hydrographique de la région d'étude	7
Figure N° 04 : Précipitation mensuelles moyennes	8
Figure N° 05 : Variation des températures moyennes maximales, minimales et moyennes mensuelles (C°)	9
Figure N° 06 : Moyennes mensuelles d'humidité relative (%)	10
Figure N° 07 : Carte géologique de la région de Souk El Tenine.	12
Figure N° 08 : Carte de vulnérabilité DRASTIC issus de la superposition des sept paramètres	25
Figure N° 09 : Carte du paramètre profondeur de la nappe « D »	26
Figure N° 10 : Carte du paramètre recharge nette « R »	27
Figure N° 11 : Carte du paramètre nature de l'aquifère « A »	28
Figure N° 12 : Carte du paramètre type du sol « S »	29
Figure N° 13 : Carte du paramètre Topographie « T »	30
Figure N° 14 : Carte du paramètre impact de la zone non saturée « I »	31
Figure N° 15 : Carte du paramètre conductivité hydraulique « C »	32
Figure N° 16 : Carte de vulnérabilité à la pollution de Souk El Tenine par la méthode DRASTIC	33
Figure N° 17 : Carte du paramètre type d'aquifère « G »	34
Figure N° 18 : Carte du paramètre nature lithologique « O »	35
Figure N° 19 : Carte du paramètre profondeur de la nappe « D »	36
Figure N° 20 : Carte de vulnérabilité à la pollution de Souk El Tenine par la méthode GOD	37

LISTE DES TABELAUX

Liste des tableaux	Page
Tableau N° 01 : Répartition de la population par zone.	5
Tableau N° 02 : densité du drainage.	7
Tableau N° 03 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles.	8
Tableau N° 04 : Températures moyennes maximales, minimales et moyennes mensuelles (C°).	8
Tableau N° 05 : Vitesse moyenne journalière du vent.	9
Tableau N° 06 : Humidité relative moyennes mensuelles (%).	10
Tableau N° 07 : Etat du réseau d'assainissement au niveau de la commune de Souk El Tenine.	14
Tableau N° 08 : Répartition des terres.	14
Tableau N° 09 : Classes de la vulnérabilité DRASTIC.	19
Tableau N° 10 : Paramètre de profondeur de la nappe.	19
Tableau N° 11 : Paramètre de la recharge nette.	20
Tableau N° 12 : Paramètre de la nature de l'aquifère.	20
Tableau N° 13 : Paramètre de type du sol.	21
Tableau N° 14 : Paramètre de la topologie.	21
Tableau N° 15 : Paramètre de l'impact de la zone non saturée.	22
Tableau N° 16 : Paramètre de la conductivité hydraulique.	22
Tableau N° 17 : Classes de la vulnérabilité GOD.	23
Tableau N° 18 : Paramètre du type d'aquifère.	23
Tableau N° 19 : Paramètre de la nature lithologique.	24
Tableau N° 20 : Paramètre de profondeur.	24
Tableau N° 21 : Paramètre de profondeur de la nappe.	26
Tableau N° 22 : Paramètre de la recharge nette.	27
Tableau N° 23 : Paramètre nature de l'aquifère.	28
Tableau N° 24 : Paramètre type du sol.	29
Tableau N° 25 : Paramètre topographique.	30
Tableau N° 26 : Paramètre impact de la zone non saturée.	31

Tableau N° 27 : Paramètre conductivité hydraulique.	32
Tableau N° 28 : Paramètre type d'aquifère.	34
Tableau N° 29 : Paramètre nature lithologique.	35
Tableau N° 30 : Paramètre profondeur de la nappe.	36
Tableau N° 31 : Pourcentage des surfaces des classes de vulnérabilité selon les méthodes DRASTIC et GOD.	38

LISTE DES SIGNES ET ABREVIATIONS

A	Nature d'aquifère
ACL	Agglomération chef lieux
AS	Agglomération secondaire
C	Conductivité hydraulique
C_A	Type d'aquifère
C_D	Profondeur de la nappe
C_L	Nature lithologique
D	Profondeur de la nappe
EPA	Environmental Protection Agency
I	Impact de la zone non saturée
ID	Indice DRASTIC
IG	Indice GOD
IP	Indice partiel
Km	Kilomètre
m	Mètre
Max	Maximum
Min	Minimum
Moy	Moyen
mm	Millimètre
PA	Pluies annuels
R	Recharge nette
RN	Route national
RGPH	Répartition général de la population humaine
S	Type de sol
SIG	Système d'information géographique
T°	température

>	Supérieur à
=	Egale
+	plus
*	Multiplier
%	pourcentage

Introduction

I. Introduction :

Les eaux souterraines constituent la plus grande réserve en eau douce de la planète et jouent un rôle prépondérant dans toute activité socio-économique. Elles sont considérées comme l'une des sources les plus importantes dans l'approvisionnement en eau potable, environs 8 à 10 millions de km³, du fait de leur faible exposition aux polluants par rapport aux eaux de surface (**DIBI brou et al, 2013**).

Avec un volume renouvelable annuellement par infiltration des précipitations estimé à plus de 10.000 km³, comparé à son exploitation annuelle d'environ 800 km³/an pour satisfaire les besoins socio-économique mondial, ce volume peut paraître à priori largement satisfaisant, affichant même une marge de développement potentiel complémentaire (**Handry H, 2007**).

De nos jours, l'eau est devenue une ressource fondamentalement préoccupante dans sa gestion partout dans le monde, du fait de sa préciosité et de sa rareté. La protection des ressources en eau est devenue une priorité en Algérie en raison de leurs raretés et leurs expositions à d'innombrable pollution (engrais chimiques résultant des activités agricole, décharges sauvages, rejets industrielles, rejets d'eaux usées domestiques, etc...). La complexité des problèmes d'eau en Algérie particulièrement celui du nord du pays peut s'expliquer par les caractéristiques naturelles et les conditions naturelles défavorables auxquelles s'ajoute la mal répartition de la population.

L'eau souterraine est la ressource en eau la plus pure. Mais la qualité de cette eau est sans cesse mise à l'épreuve par la menace grandissante associée aux sources potentielles de pollution, pouvant ainsi porter atteinte à l'équilibre écologique mais aussi à la santé humaine. Il est important, dans le contexte actuel, que des mesures soient prises afin d'assurer la pérennité de ces ressources. L'estimation de la vulnérabilité intrinsèque permet de prévenir une partie de la contamination en aidant à la prise de décision en matière de gestion du territoire.

Il n'existe pas de méthode absolue d'évaluation de la vulnérabilité des nappes d'eau souterraine, mais plusieurs méthodes d'estimation de la sensibilité des aquifères à la pollution ont été mises au point (**Murat, 2000 ; Murat et al. 2000**).

Dans le cadre de la présente étude, deux méthodes d'estimation sont appliquées, la méthode

DRASTIC (7 paramètres) (**Aller et al, 1987**), et la méthode GOD (3 paramètres) (**S. Foster et Hirata 1991**).

Cette étude a pour objectif, de comparer et d'apprécier la méthode qui s'avère la plus efficace et réaliste du point de vue de l'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque, elle a été réalisée en deux parties, un volet pour l'estimation de la vulnérabilité intrinsèque en appliquant les 2 méthodes d'estimation et un second volet pour l'analyse statistique concernant la place de chacun des paramètres dans les diverses méthodes et la variabilité de l'estimation de la vulnérabilité d'une méthode à l'autre.

Parmi les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des aquifères celle de DRASTIC reste la plus utilisée à travers le monde (**I. S. Babiker et al, 2005**). Selon (**B. M. Evans and W. L. Myers, 1990**) le nombre important de paramètres pourrait limiter les erreurs sur les calculs. Quant à la méthode GOD, elle a déjà fait ses preuves un peu partout dans le monde et ses résultats sont plutôt intéressants. L'application de ces 2 méthodes permet de voir que les résultats obtenus sont fortement influencés par la nature des formations superficielles et diffèrent sur les caractéristiques pédologiques du terrain.

Matériels et méthodes

II. Matériels et Méthodes :

II.1 Matériels :

Surfer est un logiciel de modélisation de pleine visualisation 3D, le remodelage et la surface qui fonctionne sous Microsoft Windows. Surfer est largement utilisé pour la modélisation de terrain, paysage visualisation, l'analyse de surface, la cartographie de contour, des bassins versants et la cartographie de surface 3D, maillage, volumétries, et bien plus encore.

➤ **Présentation des BLN :**

1-Introduction des coordonnées (x,y)

2-Réalisation de la carte : une fois les coordonnées (x,y) sont utilisables dans le worksheet, on passe à l'étape gride (grid) et on trace la carte map.(Le même principe pour l'ensemble des cartes)

Surfer 11 conduit les commandes suivante :

- La commande plot qui est constituée de : File, edit, view, draw, arrage, grid, map, tools, window, help.
- La commande Worksheet qui est constituée de: File, edit, view, format, data, tools, window, help.

➤ **Présentation de la région d'étude :**

La commune de Souk-El-Tenine est située au Nord-Est de la wilaya de Bejaia, au bord de la mer méditerranéenne, à l'intersection de deux grands axes routiers qui sont la RN n°9 et la RN n°43. La commune de Souk-El-Tenine est l'une des daïras de la wilaya de Bejaia, elle s'étend sur 26,28 km², et est distante de 35 Km de chef-lieu de la wilaya. Souk El Tenine, est chef-lieu de daïa et de commune, elle est limitée administrativement comme suit :

- Au Nord, par la mer méditerranéen ;
- Au Sud, par les communes de Derguina et Taskiout;
- A l'Est, par la commune de Melbou;
- A l'Ouest, par la commune d'Aokas.

Sur le plan spatial, la commune de Souk El Tenine est constituée de :

- Une agglomération chef-lieu ;
- Une agglomération secondaire Lota située à l'Ouest de l'ACL ;
- Une agglomération secondaire Louasta située au Sud de l'ACL ;
- Une zone éparse constituée de villages et d'hameaux répartis à travers l'ensemble du territoire communal, dont les plus importants sont ; Ait Boucherit, Bouakraz, Artatas, Ait ahmed et Tazouit.

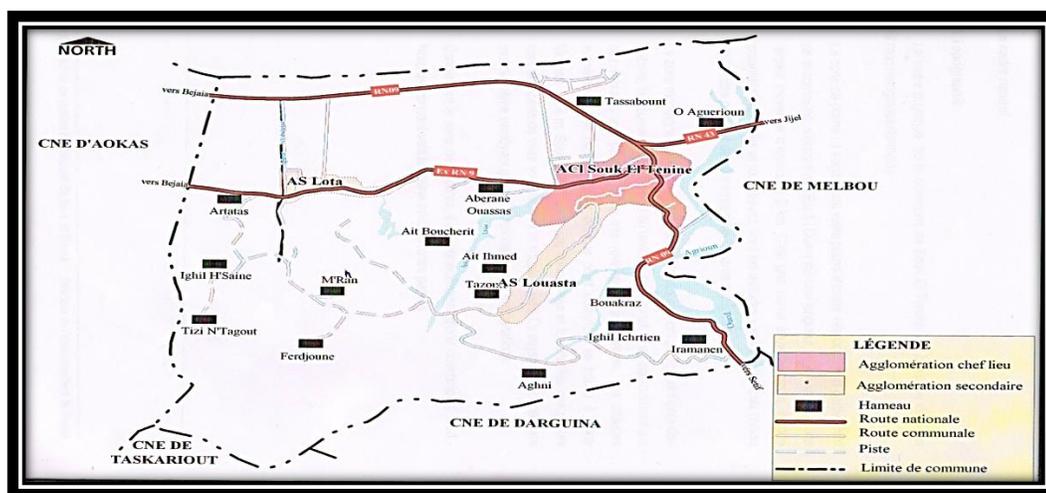


Figure n°1 : Organisation spatiale de la commune de Souk El Tenine.

La commune de Souk El Tenine comptait 13311 habitants, lors du dernier RGPH 2008. La répartition de la population par dispersion, nous montre que la quasi-totalité de la population communale est agglomérée (77,39%), dont 47,95% de la population est concentrée dans l'agglomération chef-lieu, la population éparse représente environ 23% de la population totale (voir tableau n°1).

Tableau n°1 : Répartition de la population par zone (Direction de l'environnement de Bejaïa, 2008).

Population par zone	RGPH 2008	
	Nombre	%
ACL	6383	47,95
AS Lota	2665	20,02
AS Louasta	1245	9,35
Zone éparses	3009	22,61
Total	13311	100

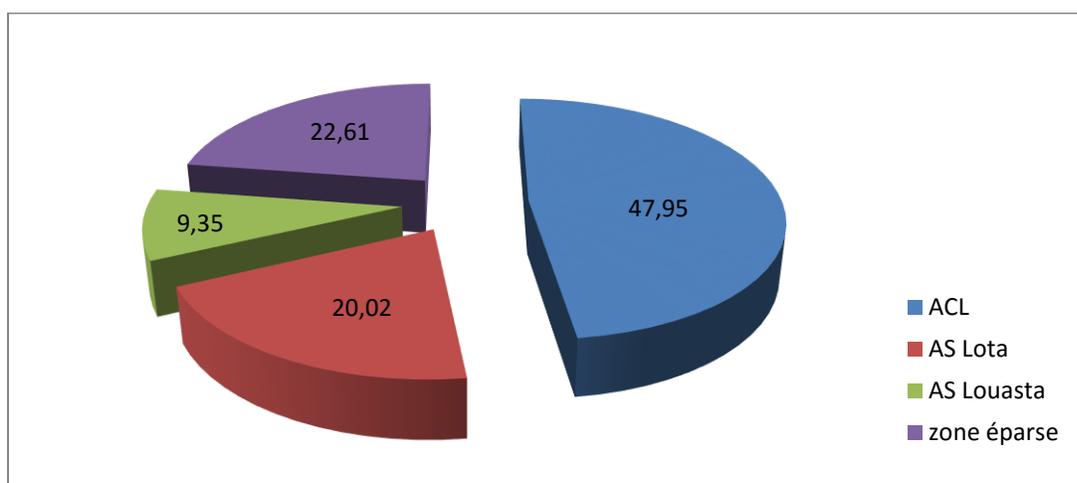


Figure n°2 : Répartition de la population par zone (%).

II.1.1 Géomorphologie de la zone d'étude :

II.1.1.a) Les caractéristiques du bassin versant :

Le bassin versant représente, en principe, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ces effets.

Plus précisément, le bassin versant qui peut être considéré comme un « système » est une surface élémentaire hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieure et tous excédents de précipitation s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire. (Derguini N et Adrar H, 2004).

Le bassin versant de Souk El Tenine constitue la bordure septentrionale de la chaîne des Babors. Du point de vue physique, on distingue :

- Au Nord une vaste plaine littorale, délimitée par un cordon de chaîne de montagne, cette plaine est à forte potentialité agricole et touristique et compte un axe routier majeur la RN n°9.
- Au Sud, une zone de montagne constituée par des formations schisteuses argilo-marneuses et calcaires.

Sa limite Sud présente un obstacle pour les voies de communication à l'exception des passages obligés formés par le col de Kefrida (extrémité Sud-Ouest du territoire) et la gorge de l'oued Ageriou (limite Est du territoire).

II.1.1.b) Le réseau hydrographique :

Le réseau hydraulique se définit comme l'ensemble de cours d'eaux naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Il est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin versant. (**Handré M, 2003**).

Le réseau hydraulique est influencé par quatre facteurs principaux :

- La géologie : la nature du substratum influence la forme du réseau hydraulique.
- Le climat : le réseau hydraulique est dense dans les régions montagneuses et tend à disparaître dans les régions désertiques.
- La pente du terrain : elle détermine si les cours d'eaux sont en phase érosive ou sédimentaire.
- La présence humaine : le drainage des terres agricoles, la construction du barrage, l'endiguement, modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique

L'indice de la densité de drainage, introduit par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

$$D = \frac{\sum L}{A}$$

D : densité du drainage.

$\sum L$: longueur totale des oueds permanents.

A : Surface du sous-bassin.

Tableau n°2 : densité du drainage (Direction de l'environnement de Bejaïa, 2008).

Oueds	ΣL	A	D
Oued Agerioun	81,99 Km	25,59 Km ²	3,2 Km ⁻¹

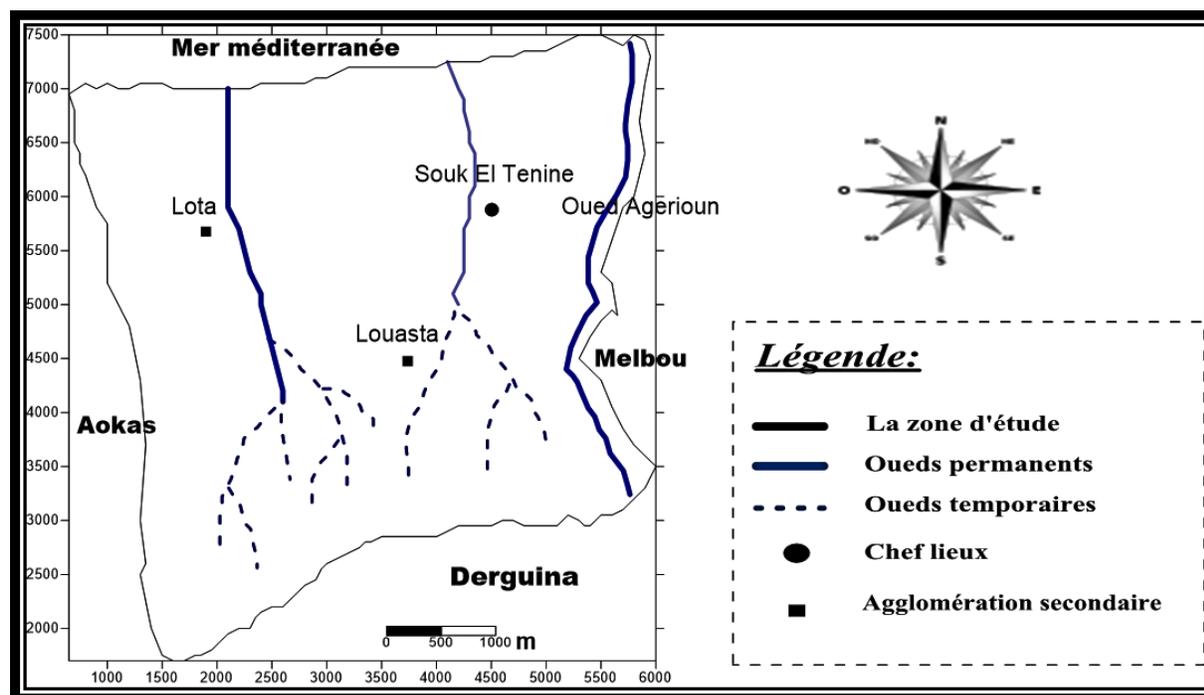


Figure n°3: Le réseau hydrographique de la région d'étude.

II.1.2 Climatologie de la zone d'étude :

Le territoire de la commune de Souk El Tenine est soumis à un climat méditerranéen typique, caractérisé par l'alternance très régulière d'une saison relativement fraîche et humide avec une saison chaude et sèche, son régime thermique est type humide tempéré.

L'analyse climatique de la commune d'étude est faite sur la base des données obtenues à partir de la station d'Aokas (oued Marsa).

II.1.2.a) Précipitation :

D'après l'analyse du tableau ci-dessous, l'essentiel des pluies tombent en Novembre, Décembre et en Janvier avec un maximum en mois de Janvier qui est de 181 mm.

Quand a la période sèche, elle s'étale du mois d'Avril au mois d'Août avec le minimum de précipitation en mois de Juillet qui est de 6 mm (voir tableau n°3).

Tableau n°3 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles (Direction de l'environnement de Bejaïa, 2008).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	PA
Pluies (mm)	181	120	115	83	56	44	6	11	76	106	150	157	1105

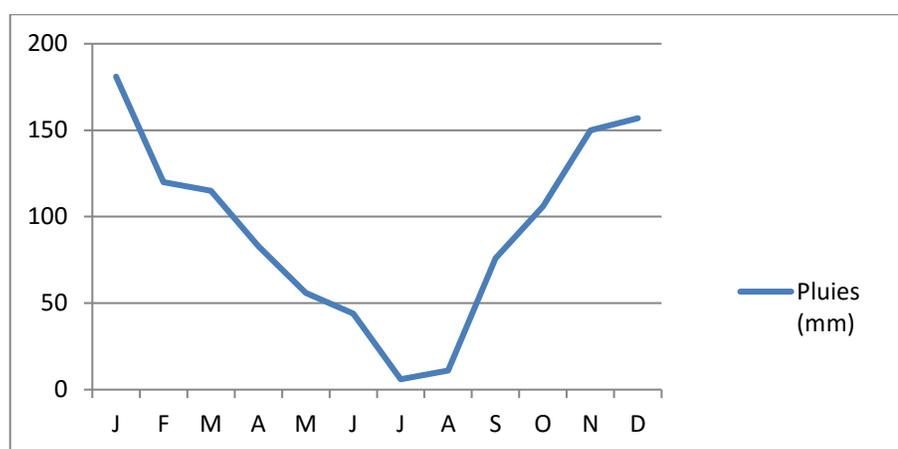


Figure n°4 : Précipitation mensuelles moyennes.

II.1.2.b) Température :

La région de Souk El Tenine est caractérisée par un climat méditerranéen avec un hiver froid et humide et un été chaud et sec.

Tableau n°4 : Températures moyennes maximales, minimales et moyennes mensuelles (C°) (Direction de l'environnement de Bejaïa, 2008).

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T°A
T° max	15,0	16,61	18,9	21,4	24,0	27,7	31,4	32,0	30,3	24,7	19,4	15,9	23,1
T° moy	11,1	12,1	13,9	16,3	18,8	22,4	25,6	26,0	24,0	19,6	15,4	11,9	18,1
T° min	7,3	7,6	8,9	11,2	13,6	17,1	19,8	20,1	17,8	14,5	11,4	8,0	13,1

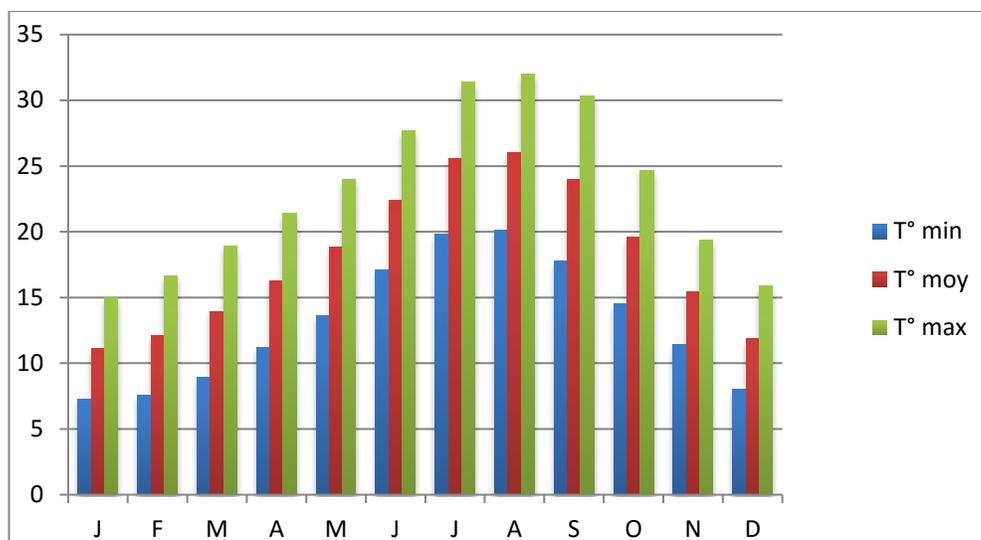


Figure n°5 : Variation des températures moyennes maximales, minimales et moyennes mensuelles (C°).

La température inter annuelle moyenne se situe autour de 18,1 C°, ce qui constitue une valeur de tendance centrale modérée.

En ce qui concerne les minima moyens, les températures sont supérieures à 0°C, en effet les mois de Janvier et Février sont ceux qui ont les valeurs les plus basses de l'année avec 7,3°C. En revanche, les maxima moyens atteignent des valeurs élevées, avec 32°C pour le mois d'Août et de 31,4°C pour le mois de Juillet.

II.1.2.c) Vent :

Dans la commune de Souk El Tenine la vitesse moyenne journalière du vent est de 4,0 m/s de direction variable, les vents les plus fréquents sont du Nord-Est et Est, mais rarement du Sud et Nord-Ouest.

Tableau n°5 : Vitesse moyenne journalière du vent (**Direction de l'environnement de Bejaïa, 2008**).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Moy/J (m/s)	4,7	4,3	3,9	3,5	3,6	3,5	3,6	3,4	3,5	3,1	4,5	4,9	4,0

Les vents les plus forts soufflent en général au cours de l'hiver, cependant, les vents orographiques locaux sont plus fort en été.

En ce qui concerne le vent du Sud (Sirocco), vent très sec qui apporte un flux de chaleur du Sahara, sa fréquence relativement faible est enregistrée essentiellement en période sèche durant le mois d'Août (Selter, 1946 in Khialfi et all, 2001).

II.1.2.d) Humidité :

L'humidité est un facteur climatique important dans la région, car elle présente une humidité relative de 76% avec une variation saisonnière faible de l'ordre de 6%, ce fort taux d'humidité est due principalement à la situation géographique de la région, qui se trouve au bord de la mer (voir tableaun°6).

Tableau n°6 : Humidité relative moyennes mensuelles (%) (Direction de l'environnement de Bejaïa, 2008).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
H(%)	74,9	77,0	76,8	78,2	78,5	77,0	72,7	75,5	75,4	74,2	76,3	75,5	76

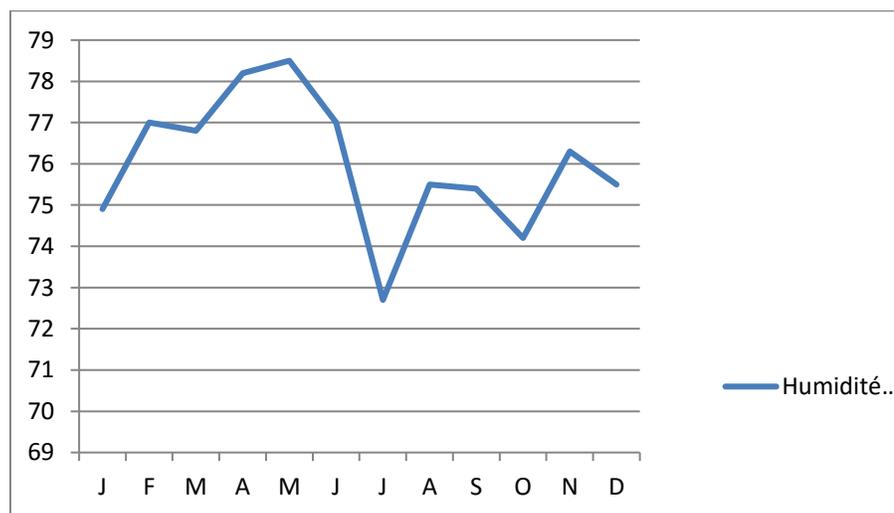


Figure n°6 : Moyennes mensuelles d'humidité relative (%).

II.1.3 Pédologie de la zone d'étude :

La différenciation d'un sol est contrôlé par plusieurs facteurs, que ce soit les facteurs extrinsèques aux sols (climat, géologie, géomorphologie, végétation...), ou dépendant de la situation physique interne du sol ou de certains facteurs de station. **(Boulaine, 1980)**

La zone d'étude est caractérisée par plusieurs types de sol, elle est formée par des dunes de sable tout le long de littoral, par des sols argileux-sableux dans toute la plaine d'Aschritt, et dans la partie montagneuse, renferme des sols argileux et marneux. **(Derguini N et Adrar H, 2004).**

II.1.4 Géologie de la zone d'étude :

Du cap Aokas à Souk El Tenine, l'intérieur longe le flanc Nord du synclinal de l'Oued Marsa. Le crétacé supérieur y est schisteux avec quelques bancs marno-calcaires lenticulaires. Sur le flanc Sud du synclinal, il est transgressif sur les schistes albo-aptiens.

L'anticlinal du Djebel L'moulentaour qui limite au Sud le synclinal d'Ouest Marsa montre son flanc Nord renversé sur le crétacé. De la route en voit bien les marno-calcaires du jurassique supérieur et les calcaires finement lités du Lias supérieur-Dogger, surmontés par les calcaires massifs du Lias moyen qui forment les crêtes **(Duplan L, 1952).**

De Souk El Tenine à Kherata, l'itinéraire recoupe successivement :

- Le Trias de Souk El Tenine.
- La terminaison de Djebel Elmoulentaour.
- Le synclinal de Beni Smail.
- Le massif de Kherrata.

Les terrains rencontrés sont :

- Alluvions récentes et cônes de déjection de l'oued Aguerioun, ces alluvions sont rencontrées le long de l'oued ;
- Plage et dunes actuelles, elles constituent le cordon de dunes représentées essentiellement par les sables et limons ;
- Alluvions marécageuse de l'embouchure de l'oued Aguerioun ;
- Alluvions anciennes ;
- Brèches calcaire et éboulis ;
- Conglomérats de l'oued Aguerioun, ce sont de dépôts spéciaux détritiques a élément triasique et jurassique ils sont sarmentes de marnes a lentilles de calcaire (voir figure n°6)

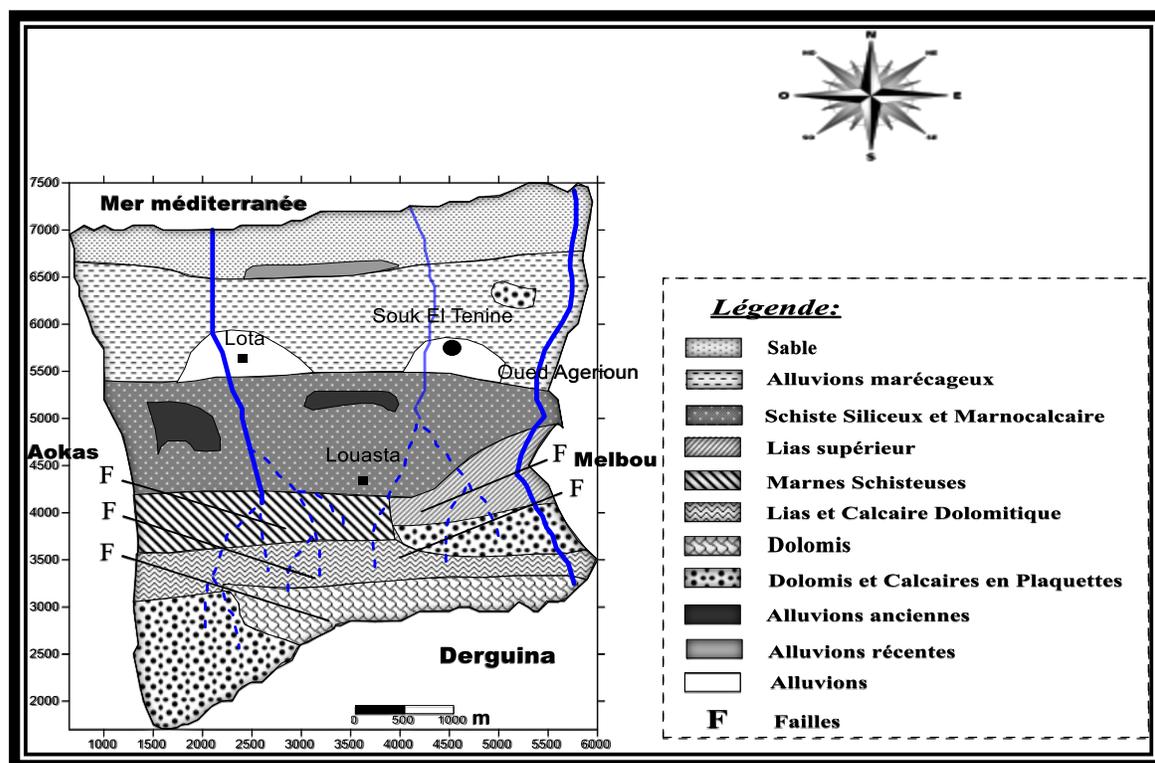


Figure n°7 : Carte géologique de la région de Souk El Tenine.

(Source : Carte géologique de Ziama Mensouria, 1/50000)

II.1.5 Hydrogéologie de la zone d'étude :

L'hydrogéologie est une science de l'eau souterraine. C'est une discipline des sciences de la terre qui a pour objectifs l'étude du rôle des matériaux constituant le sous-sol et les structures hydrogéologiques et, par acquisition des données numériques par la prospection ou l'expérimentation sur le terrain, de permettre la planification des captages, ainsi que l'exploitation et la gestion des eaux souterraines. L'hydrogéologie se spécialise dans la recherche et l'exploitation des eaux souterraines à usage domestique, agriculture ou industriel et étudie comment les matériaux géologiques influencent la circulation et la qualité des eaux souterraines. Outre les connaissances géologiques, l'hydrologue doit posséder des bonnes connaissances hydrauliques. Il intervient en effet dans la recherche et l'exploitation du gisement de la nappe aquifère, dans l'étude de la qualité des eaux ainsi que dans leur protection. L'hydrogéologie doit être capable d'estimer la quantité et la qualité de l'eau et prédire son comportement dans les aquifères. (Renard, 2002).

La région d'étude est caractérisée par la présence de deux aquifères. Un aquifère libre tout le long des oueds et de littoral, et un aquifère captif dans les formations carbonatés.

II.1.6 Sources de pollution :

L'altération de l'environnement naturel, notamment le milieu aquifère est devenu progressivement une préoccupation mondiale. En Algérie la principale source de la satisfaction de la demande en eau est l'eau souterraine, du fait de son exploitation relativement facile. La croissance démographique et la modernisation de l'agriculture entraînent un grand problème de détérioration de la qualité de cette source souterraine, déjà en quantité limitée.

Actuellement, les cours d'eaux de la région étudiée reçoivent en permanence les rejets urbains et industriels chargés d'éléments chimiques et organiques, souvent toxiques. Ces substances polluantes peuvent affecter de façon dangereuse la santé publique, si elle continue à être déversée dans la nature sans traitement préalable. Le mécanisme de pollution des eaux souterraines est un processus évolutif dans l'espace et dans le temps, difficilement maîtrisable (**Abdelbaki et Boukli Hacène, 2007**).

II.1.6.a) pollution par les eaux usées :

Les eaux usées sont des eaux chargées de résidus, soluble ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. Elles représentent une faible fraction du volume des ressources en eaux utilisable, mais leur qualité très médiocre exige une épuration avant leurs rejets dans le milieu naturel (**Guerre et Gomella, 1982**).

En générale, les eaux usées sont véhiculées par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration qui le renvoie vers le milieu récepteur.

Une fois utilisées ; l'eau est rejetée avec sa charge en polluants appartenant à différentes catégories qui sont à l'origine de :

- La pollution organique : par diverses matières organiques solubles ou en suspension dans l'eau ;
- La pollution toxique : des produits d'origine minérale et organique ;
- Matière en solide suspension (**Gondard, 2003**).

Le tableau ci-dessous montre les données représentatives sur l'état du réseau d'assainissement au niveau de la commune de Souk El Tenine :

Tableau n°7 : Etat du réseau d'assainissement au niveau de la commune de Souk El Tenine (Direction de l'environnement de Bejaïa, 2008).

Localités assainie	Remarques
Souk El Tenine centre	-Dans la partie haute du chef-lieu se trouve un réseau d'eaux usées raccordé à un bassin de décantation défectueux. -Dans la partie basse du centre-ville, on trouve deux rejets à ciel ouvert qui dégagent des odeurs nauséabonde et qui constitue un danger pour la santé publique.
Le village agricole	-Le village est pourvu d'un réseau d'assainissement relié à un bassin de décantation. -Assainissement partiel, avec un seul bassin de décantation
Localités non assainies	Remarques
Ait Ihmed Ait Bouchrit Ighil H'Saine	Ces villages sont situés dans les zones éparses, caractérisés par l'absence du réseau d'assainissement, par contre on trouve des fosses septiques et des branchements directs sur les ravins et oueds.

II.1.6.b) pollution d'origine agricole :

La situation de la commune de souk El Tenine sur l'une des plaines littorales les plus fertiles lui confère une vocation agricole de première importance.

La répartition générale des terres est donnée dans le tableau n°8 :

Tableau n°8 : Répartition des terres (Direction de l'environnement de Bejaïa-direction de gestion de déchets de Souk El Tenine, 2008).

Secteurs	Hectare (Ha)	Pourcentage (%)
Terres productives	1595	60,69
Pacages et parcours	41	1,56
Terres improductives	102	3,88
Forêts	890	33,86
Total	2628	100

La pollution est étendue dans l'espace et dans le temps ; elle est chronique et concerne de grande surfaces. En effet, les pratiques actuelles des cultures influencent fortement le régime et la qualité des eaux. L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes détruit la vie dans les rivières et rend impropre la consommation humaine, et parfois animale, les eaux superficielles et souterraines. D'après les informations recueillies au niveau des services de l'agriculture au niveau de la commune, les différents produits phytosanitaires et les engrais utilisés sont : fongicides, insecticides, engrais (urée), les engrais foliaires (**Coopérative petit Fellah Aokas, 2004**).

II.2 Méthodes :

Les méthodes utilisées sont celles de DRASTIC et GOD. Plusieurs travaux sur l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution ont adopté la méthode DRASTIC (**J.P.R. Jourda et al, 2005**), (**R. Houria, 2007**). Quant à la méthode GOD, bien que moins appliquée, elle est l'une des méthodes qui ont toujours donné de bons résultats. Les deux méthodes ont une différence de nombre de paramètres, DRASTIC (7 paramètres) et GOD (3 paramètres), avec toutefois des notes qui se diffèrent d'un paramètre à un autre selon la méthode.

II.2.1 La vulnérabilité :

La notion de vulnérabilité à la pollution est souvent proche d'une autre notion, celle de risque de pollution. La vulnérabilité est un élément de l'évaluation du risque de pollution. Une analyse des risques comporte l'étude ou la caractérisation de trois (3) facteurs majeurs : la source de pollution, le vecteur (transfert) de pollution, la cible (**Lallemant Barrès, 1994**). Une étude de vulnérabilité aurait pour but d'appréhender quelles zones sont potentiellement vulnérables à la contamination depuis la surface, mais pas de prédire (risque) ou d'inventorier (caractérisation) les concentrations en contaminant dans l'eau souterraine (**Margane, 2003**).

Le terme vulnérabilité de l'eau à la contamination aurait été pour la première fois utilisé par Margat (1968). Le concept de vulnérabilité de l'eau souterraine est généralement défini comme « la capacité d'un système hydrologique à transmettre un contaminant potentiel depuis la surface du sol jusqu'à atteindre la zone saturée » (**Rahman, 2008**). Véhiculé depuis l'eau des

précipitations qui s'infiltrer à la surface du sol, le contaminant percole ainsi à travers la zone vadose jusqu'à atteindre la zone saturée.

La vulnérabilité des nappes souterraines est une donnée locale qui peut servir à la protection de la ressource en eau, à la planification rationnelle de l'utilisation du territoire et à la prévention sur l'environnement :

-Selon MARGAT 1968, définit la vulnérabilité comme le fait, pour une nappe souterraine, d'être plus ou moins exposée, par les conditions naturelles, à un risque de pollution (**Berkani.N, Bedhouche.O, 2005**).

-En 1971, ALBINET reprend cette définition sous forme suivante : la vulnérabilité des nappes correspond aux possibilités de pénétration de la propagation des polluants dans les terrains concentriques en surface et au niveau des réservoirs dans laquelle est contenue la première nappe d'eau souterraine, généralement libre (**Berkani.N, bedhouche.O, 2005**).

-En 1980 PRASCONDALA précise que : définir le degré de vulnérabilité suppose la connaissance préalable du mode d'agression par les polluants et défense de l'aquifère, l'établissement d'une fonction et d'une échelle de vulnérabilité. (**Berkani.N, Bedhouche.O, 2005**).

-En 1980, BAUTON et P.VILLENEUVE, indiquent que le concept de la vulnérabilité peut être considéré à trois niveaux différents :

- Evaluation du risque de pénétration de polluant,
- Migration des évolutions du polluant dans le système aquifère,
- Effet du contaminant (le polluant) sur la qualité de l'eau (**Ait Hamoudi.T, 2010**).

-En 1982, CASTANY définissait la vulnérabilité des nappes à la pollution comme leur sensibilité aux différents facteurs de contamination à partir de la surface du sol. elle étudie les possibilités de propagation des polluants dans l'espace souterrain.

Elle est liée en premier lieu :

A l'autoépuration naturelle du sol, donc à la présence des conditions indispensables à son action,

En second lieu, est favorisée par la circulation de l'eau. (**Berkani.N, Bedhouche.O, 2005**).

II.2.2 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 et la conductivité hydraulique. La description de ces paramètres se présente comme suit :

II.2.2.a) La profondeur de la nappe :

Ce paramètre ne change pas de nom selon les deux méthodes. Il représente le paramètre (D) au niveau de DRASTIC aussi bien qu'au niveau de GOD. C'est l'un des paramètres les plus importants dans l'étude de la vulnérabilité des eaux souterraines. Il nous donne une idée sur la distance que doit parcourir le polluant avant d'atteindre la nappe. La profondeur de la nappe joue un grand rôle, car il permet l'atténuation de la pollution lorsque le niveau d'eau augmente dans la nappe (K. Srinivasamoorthy, et al, 2010).

- Dans le cas d'une nappe libre, la profondeur de l'eau représente la tranche de sol entre la couche végétale et la surface libre de la nappe.
- Dans le cas d'une nappe captive ou confinée, la profondeur de l'eau représente la tranche de sol entre la couche végétale et le toit de l'aquifère.

Ce paramètre est difficile à évaluer et nécessite souvent des mesures de terrain.

II.2.2.b) La recharge nette :

La recharge nette représente la frange d'eau qui s'infiltré dans la terre et atteint la nappe. Elle facilite la percolation verticale des polluants de la surface vers les nappes. Plus la recharge est importante, plus le potentiel de contamination est important et plus la note qui lui est attribuée est importante. Pour un aquifère donné, la recharge nette ne correspond pas seulement à la part de l'infiltration des précipitations, il faut aussi inclure les eaux d'infiltration d'irrigation, les eaux d'alimentation artificielle et d'autres horizons d'aquifères situés en auprès de la nappe concernée (Dibi. B, et al, 2013).

II.2.2.c) L'impact de la zone non saturée et type d'aquifère :

Ces paramètres varient de nom selon la méthode. Au niveau de DRASTIC, il représente respectivement les paramètres (I) et (A), et les paramètres (O) et (G) au niveau de GOD. Si la zone non saturée représente la couche au-dessus du niveau statique qui est non saturée ou saturée de façons discontinue, il est sous influence du type de sol et des roches au-dessus du niveau

statique (**Dibi. B, et al, 2013**). La nature de la zone vadose tient compte de la perméabilité du sol et du niveau statique. Cette zone permet d'évaluer la migration du potentiel polluant vers la nappe (**K. Srinivasamoorthy, et al, 2010**).

Impact de la zone vadose = Conductivité hydraulique + Niveau statique

II.2.2.d) Topographie :

La topographie représente la variabilité de la pente de la surface terrestre. Le degré de cette pente détermine la puissance d'infiltration des eaux de ruissellement. Cette pente indique le ruissellement de l'eau à la surface ou son infiltration dans le sol. En effet, plus la pente est importante, plus le ruissellement y est important et moins l'eau parvient à s'infiltrer (**Dibi. B et al, 2013**).

II.2.2.e) Type de sol :

Le type de sol a un impact sur la frange d'eau qui s'infiltré à travers le sol pour atteindre les ressources en eau souterraine et donc la migration verticale des polluants à travers la zone non saturée. Il influence ainsi le temps de migration des contaminants vers la nappe (**Dibi. B, et al, 2013**).

II.2.2.f) Conductivité hydraulique :

Elle indique la capacité d'un aquifère à se laisser traverser par l'eau. Plus ce paramètre est élevée plus les potentialités de contamination de la nappe sont importantes. La conductivité hydraulique contrôle le taux de transfert de l'eau souterraine à travers la zone saturée ainsi le taux de transfert des polluants (**Dibi. B, et al, 2013**).

II.2.3 La méthode DRASTIC :

La méthode DRASTIC standard a été mise au point par l'EPA (**Environmental Protection Agency**) aux Etats-Unis en 1985 (**Aller et al. en 1987**), afin d'estimer le potentiel de pollution des eaux souterraines. Elle permet d'évaluer la vulnérabilité verticale en se basant sur sept paramètres physiques différents qui interviennent dans les processus de transport et d'atténuation des contaminants. L'acronyme DRASTIC correspond : (D) profondeur de l'eau, (R) recharge efficace, (A) type d'aquifère, (S) type de sol, (T) topographie, (I) zone vadose et (C) conductivité hydraulique du milieu aquifère. L'indice de vulnérabilité DRASTIC est calculé en faisant la somme des produits des cotes par les poids des correspondants :

$$ID = Dp * Dc + Rp * Rc + Ap * Ac + Sp * Sc + Tp * Tc + Ip * Ic + Cp * Cc$$

(Soit 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). (M. H. Hamza, et al, 2008).

II.2.3.a) Interprétation de l'indice DRASTIC :

Tableau n°9: Classes de la vulnérabilité DRASTIC (Ait Hamoudi. T, 2010).

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Très faible	0-84
Faible	85-114
Moyen	115-145
Elevé	146-175
Très élevé	176-226

II.2.3.b) Cote et poids attribué pour chaque paramètre de la méthode DRASTIC :

Tableau n°10 : Paramètre de profondeur de la nappe.

Profondeur de la nappe « D »	
Intervalle (m)	Côtes
0-1,5	10
1,5-4,5	09
4,5-9	7
9-15	05
15-23	03
23-31	2
>31	01
Poids : 05	

Tableau n°11 : Paramètre de la recharge nette.

Recharge nette « R »	
Intervalle (cm)	Côtes
0-5	1
5-10	3
10-18	6
18-25	8
>25	9
Poids : 04	

Tableau n°12 : Paramètre de la nature de l'aquifère.

Nature de l'aquifère « A »		
Nature du milieu aquifère	Côtes	Cote type
Schiste massif	1-3	2
Roches métamorphiques/ignées	2-5	3
Roches métamorphiques/ignées altérées	3-5	4
Lits de grès, calcaire et argile schisteuse	5-9	6
Grès massif	4-9	6
Calcaire massif	4-9	6
Sable et gravier	6-9	8
Basalte	2-10	9
Calcaire karstique	9-10	10
Poids : 03		

Tableau n°13 : Paramètre de type du sol.

Type de sol « S »	
Nature du sol	Côtes
Sol mince	10
Gravier	10
Sable	9
Argile fissurée	7
Terre grasse sableuses	6
Terre grasse	5
Terre limoneuse	4
Terre argileuse	3
Argile non fissurée	1
Poids : 02	

Tableau n°14 : Paramètre de la topologie.

Topographie « T »	
Intervalles (%)	Côtes
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1
Poids : 01	

Tableau n°15 : Paramètre de l'impact de la zone non saturée.

Impact de la zone non saturée « I »		
Nature de la zone non saturée	Côtes	Côtes type
Limon / Argile	1 – 2	1
Argile schisteuse	2 – 5	3
Calcaire	2 – 7	6
Grès	4 – 8	6
Lits de grès, calcaire et argile schisteuse	4 – 8	6
Sable et gravier avec limon et argile	4 – 8	6
Roches métamorphiques / ignées	2 – 8	4
Sable et gravier	6 – 9	8
Basalte	2 – 10	9
Calcaire karstique	8 – 10	10
Poids : 05		

Tableau n°16 : Paramètre de la conductivité hydraulique.

Conductivité hydraulique « C »	
Rang	Côtes
Intervalles (m/s)	
$4,72.10^{-7} - 4,72.10^{-5}$	1
$4,72.10^{-5} - 1,416.10^{-4}$	2
$1,416.10^{-4} - 3,304.10^{-4}$	4
$3,304.10^{-4} - 4,720.10^{-4}$	6
$4,720.10^{-4} - 9,44.10^{-4}$	8
$> 9,44.10^{-4}$	10
Poids : 03	

II.2.4 La méthode GOD :

La méthode GOD a été développée par Foster en 1987. Elle présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée. Cette méthode est basée sur l'évaluation de trois paramètres ; type d'aquifère en fonction de son degré de confinement (C_A), la profondeur de la nappe (C_D) et la lithologie des couches de la zone non saturée de l'aquifère (C_L). Les côtes attribuées aux classes des différents paramètres sont inférieures ou égales à "1" (Murat, 2003).

L'Indice GOD (IG) qui permet d'évaluer la vulnérabilité de l'aquifère à la pollution est obtenu par la multiplication de ses trois paramètres (Foster et, Hirata 1991).

$$IG = C_A * C_L * C_D$$

II.2.4.a) Interprétation de l'indice GOD :

Tableau n°17 : Classes de la vulnérabilité GOD (Foster et, Hirata 1991).

Classe GOD	Indice de vulnérabilité
Aucune vulnérabilité	0
Vulnérabilité très faible	0 à 0,1
Vulnérabilité faible	0,1 à 0,3
Vulnérabilité modérée	0,3 à 0,5
Vulnérabilité forte	0,5 à 0,7
Vulnérabilité extrême	0,7 à 1

II.2.4.b) Note attribué pour chaque paramètre de la méthode GOD :

Tableau n°18 : Paramètre du type d'aquifère.

Type d'aquifère	Note
Aucun aquifère	0
Aquifère confiné et artésien	0,1
Aquifère confiné et non artésien	0,2
Aquifère semi-confiné	0,3
Aquifère avec couverture de surface assez perméable	0,4-0,6
Aquifère non confiné	0,7-1

Tableau n°19 : Paramètre de la nature lithologique.

Nature lithologique	Note
Sol résiduel	0,4
Limon alluvial, argile, marne, calcaire fin	0,5
Sable éolien, siltite, tuf, roche ignée et métamorphique fracturée	0,6
Sable et gravier, grès, tuf	0,7
Gravier (colluvions)	0,8
Calcaire	0,9
Calcaire fracturé ou karstique	1

Tableau n°20 : Paramètre de profondeur.

Profondeur (m)	0-2	2-5	5-10	10-20	20-50	50-100	>100
Note	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

II.2.5 Carte de vulnérabilité :

La carte de vulnérabilité nous montre le degré de vulnérabilité des différentes parties de la zone étudiée.

L'utilisation du SIG (surfer11) pour la réalisation des sept cartes pour la méthode DRASTIC et les trois cartes de la méthode GOD ainsi que leur superposition nous donnent chacune, une carte finale colorée limitant les différentes zones en fonction de leur degré de vulnérabilité.

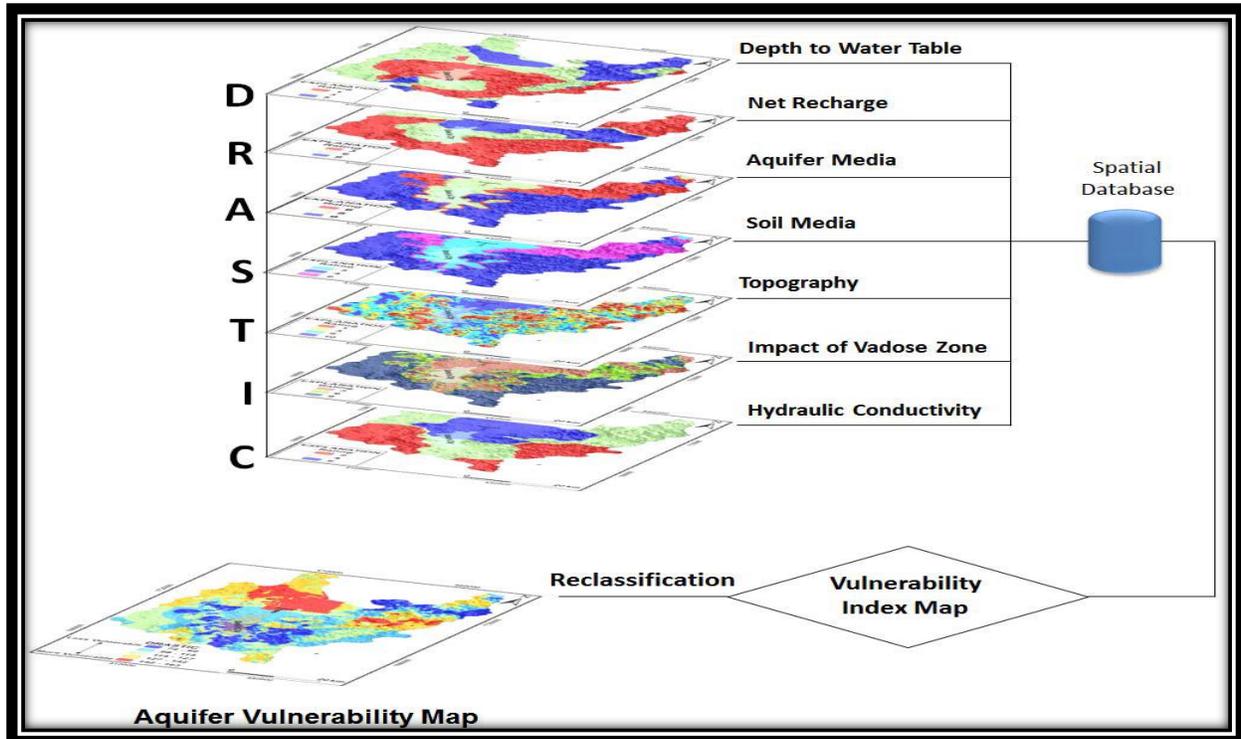


Figure n°8 : Carte de vulnérabilité DRASTIC issus de la superposition des sept paramètres.

Résultats et discussions

III. Résultats et discussions :

1. Méthode DRASTIC :

❖ Interprétations des paramètres et réalisation des cartes thématiques

Paramètre de profondeur de la nappe « D » :

Ce paramètre nous a fait ressortir 3 zones (figure n°8) :

Les plaines côtières constituées de nappes des alluvions dans les profondeurs variant entre 0 à 1,5m, implique ainsi un indice de vulnérabilité partiel égal à 50.

Les nappes de flysch qui couvrent la plus grande partie des versants, les profondeurs varient de 4,5 à 9m ce qui induit un indice de vulnérabilité partiel de l'ordre de 35.

En fin les nappes de calcaire, dolomis et lias se situant au sud-ouest du sous bassin versant vers les communes de Taskariout et Derguina, les profondeurs varient de 23 à 31m induisant ainsi un indice de vulnérabilité partiel égal à 10.

Tableau n°21 : Paramètre de profondeur de la nappe.

Profondeur de la nappe « D »		
Intervalle (m)	Côtes	Indice partiel
0-1,5	10	50
4,5-9	7	35
23-31	2	10
Poids : 05		

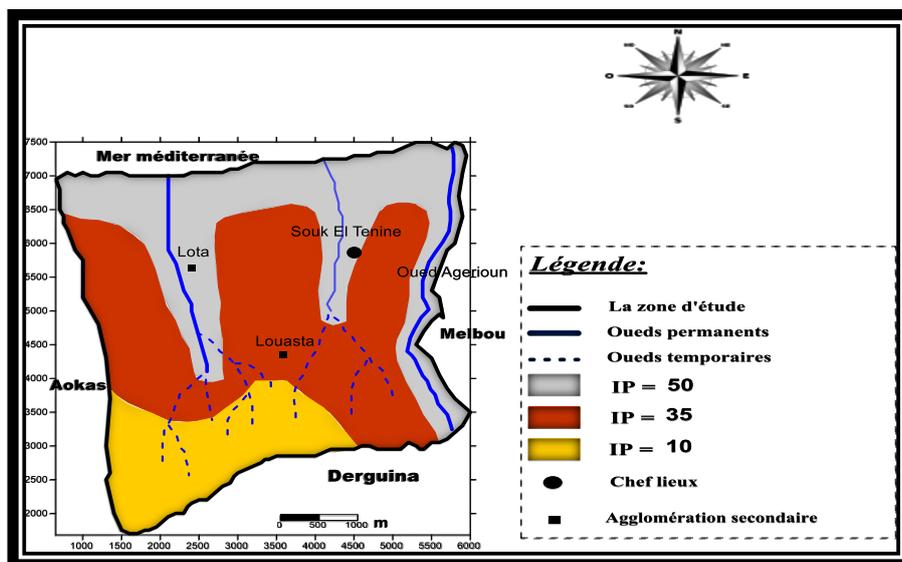


Figure n°9 : Carte du paramètre profondeur de la nappe « D »

Paramètre de la recharge nette « R » :

Ce paramètre nous montre une recharge nette de la zone où l'infiltration est estimée dans un intervalle 5 à 10cm dont l'indice partiel est estimé à 12 (figure n°9).

Tableau n°22 : Paramètre de la recharge nette.

Recharge nette « R »		
Intervalle (cm)	Côtes	Indice partiel
5-10	3	12
Poids : 04		

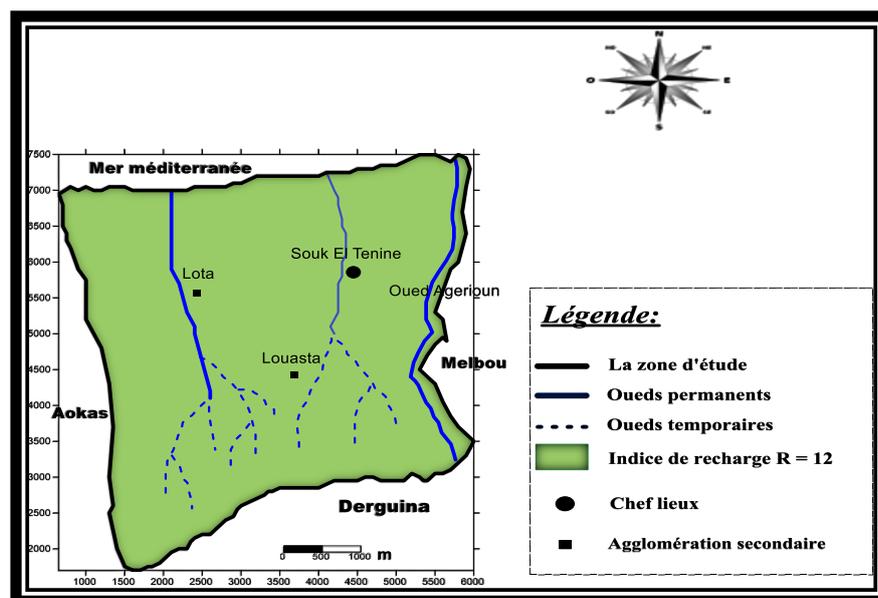


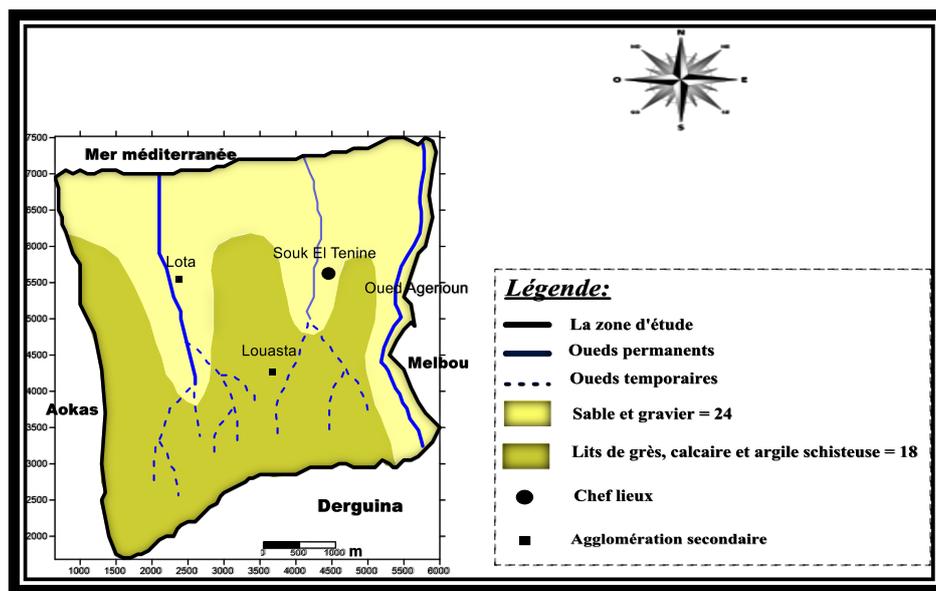
Figure n°10 : Carte du paramètre recharge nette « R »

Paramètre nature de l'aquifère « 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 de lits de grès, calcaire et argile schisteuse avec un indice de vulnérabilité partiel de 18 (figure n°10).

Tableau n°23 : Paramètre nature de l'aquifère.

Nature de l'aquifère « A »		
Nature du milieu aquifère	Côtes	Indice partiel
Sable et gravier	8	24
Lits de grès, calcaire et argile schisteuse	6	18
Poids : 03		



. **Figure n°11 :** Carte du paramètre nature de l'aquifère « A »

Paramètre type du sol « S » :

L'étude pédologique de la région a montré une grande hétérogénéité au niveau structural (3 importantes structures). Le calcul de ce paramètre nous donne 3 indices partiels Les sols sableuse avec une valeur de 18 ; les sols argileux fissuré avec un indice partiel de 14 et les terres grasses sableuses dont la valeur est égale à 12 (figure n°11).

Tableau n°24 : Paramètre type du sol.

Type de sol « S »		
Nature du sol	Côtes	Indice partiel
Sable	9	18
Argile fissurée	7	14
Terre grasse sableuses	6	12
Poids : 02		

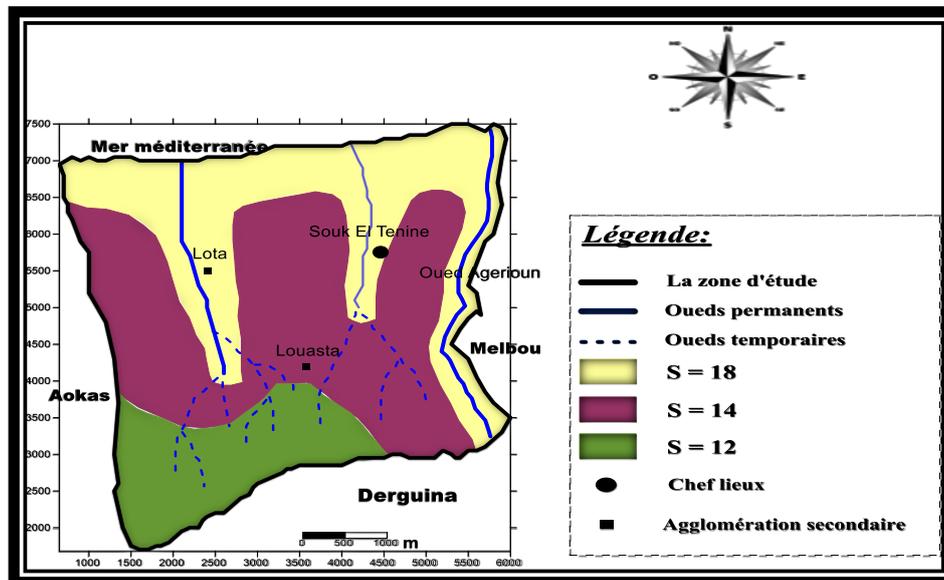


Figure n°12 : Carte du paramètre type du sol « S »

Paramètre topographique « T » :

On a pu diviser la région en deux zones topographiques, la première constitue tout le long de la littorale et des oueds dont la pente varie entre 6-12% avec un indice partiel de 5, la deuxième zone couvre toute la formation carbonatée avec une pente supérieure à 18 ce qui indique un indice partiel de vulnérabilité de l'ordre de 1 (figure n°12).

Tableau n°25 : Paramètre topographique.

Topographie « T »		
Intervalles (%)	Côtes	Indice partiel
6-12	5	5
>18	1	1
Poids : 01		

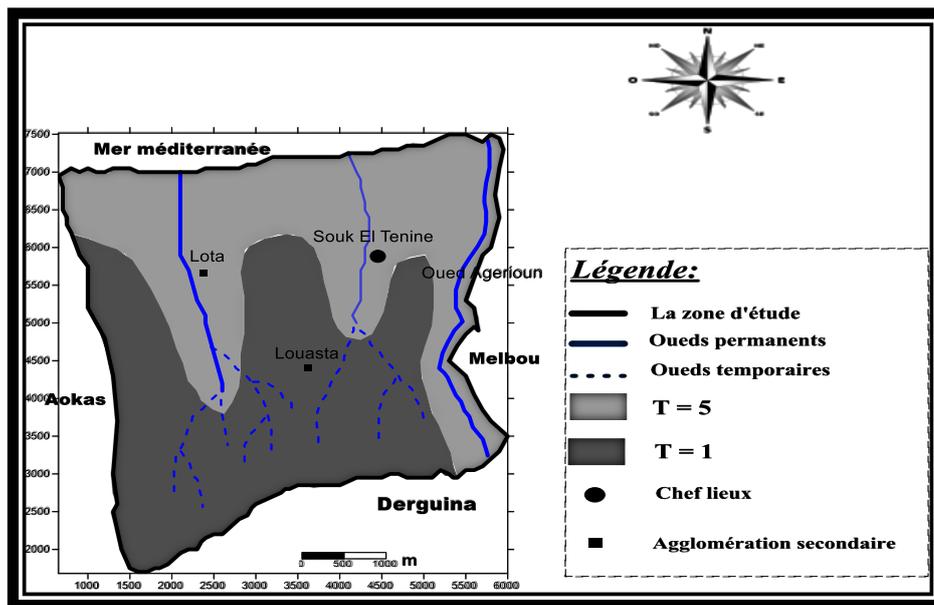


Figure n°13 : Carte du paramètre Topographie « T »

Paramètre impact de la zone non saturée « I » :

L'étude a été faite en se basant sur la nature lithologique, à la granulométrie et au degré de fissuration des différentes formations existantes dans la région. Ce paramètre nous a fait sortir trois structures importantes (figure n°13) :

- les formations alluviales de sable et gravier avec un indice partiel de 40 ;
- les formations argilo schisteuse dont l'indice est égale à 15 ;
- les formations sableuses et gravières avec limon et argile avec un indice de 30.

Tableau n°26 : Paramètre impact de la zone non saturée.

Impact de la zone non saturée « I »		
Nature de la zone non saturée	Côtes	Indice partiel
Sable et gravier	8	40
Argile schisteuse	3	15
Sable et gravier avec limon et argile	6	30
Poids : 05		

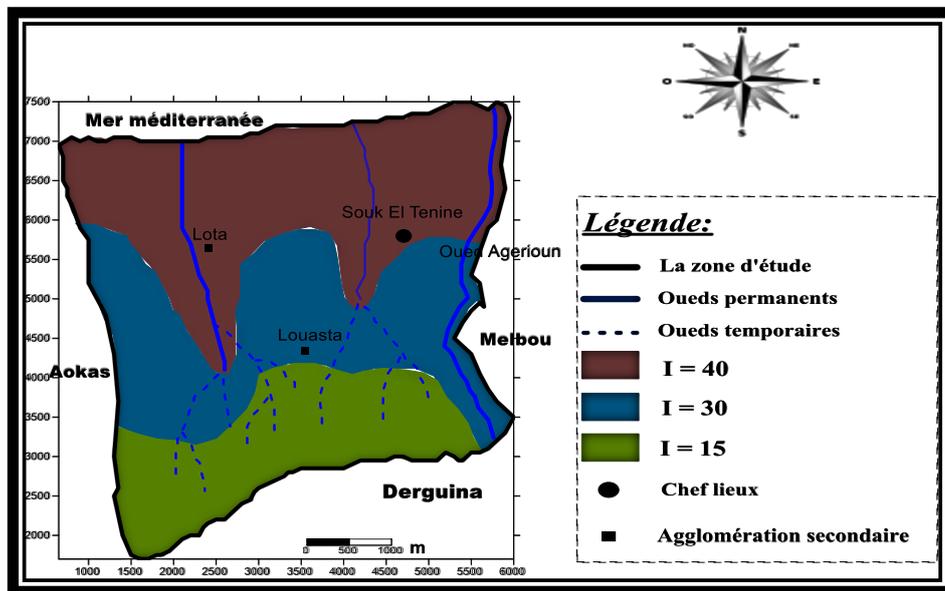


Figure n°14 : Carte du paramètre impact de la zone non saturée « I »

Paramètre conductivité hydraulique « C » :

Ce paramètre nous a fait sortir une conductivité hydraulique monotone variant entre $4,72.10^{-7}$ et $4,72.10^{-5}$ avec un indice partiel de 3 (figure n°14).

Tableau n°27 : Paramètre conductivité hydraulique.

Conductivité hydraulique « C »		
Rand	Côtes	Indice partiel
Intervalle (m/s)	1	3
$4,72.10^{-7} - 4,72.10^{-5}$		
Poids : 03		

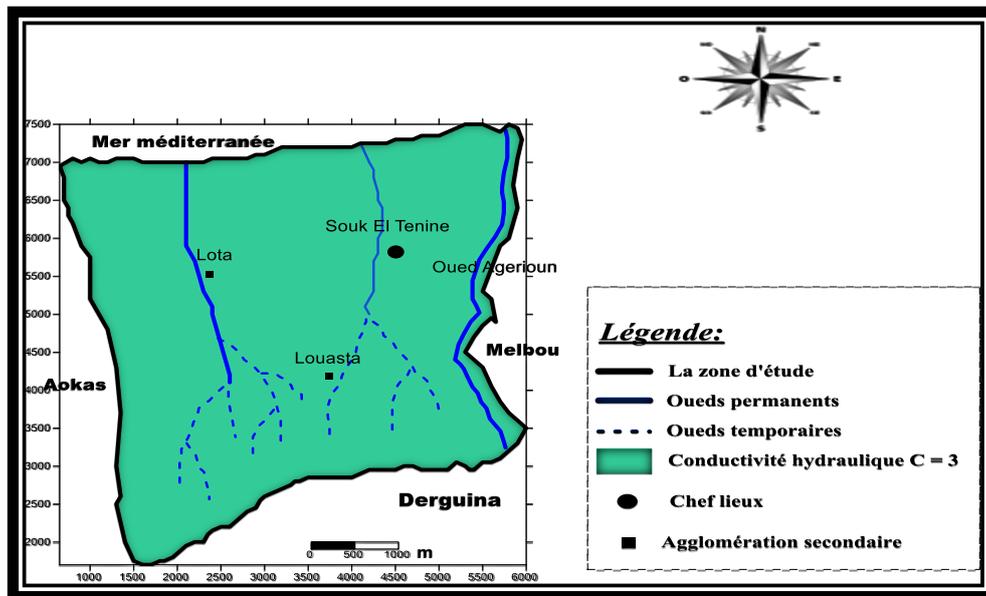


Figure n°15 : Carte du paramètre conductivité hydraulique « C »

Carte de vulnérabilité DRASTIC :

L'utilisation du SIG pour la réalisation des sept carte pour la méthode DRASTIC ainsi que leurs superpositions nous donne une carte finale constituée de 4 zones selon leurs degrés de vulnérabilité :

- En rouge, zone à vulnérabilité forte ;
- En jaune, zone à vulnérabilité moyenne ;
- En vert, zone à vulnérabilité faible ;
- Et bleu zone à vulnérabilité très faible.

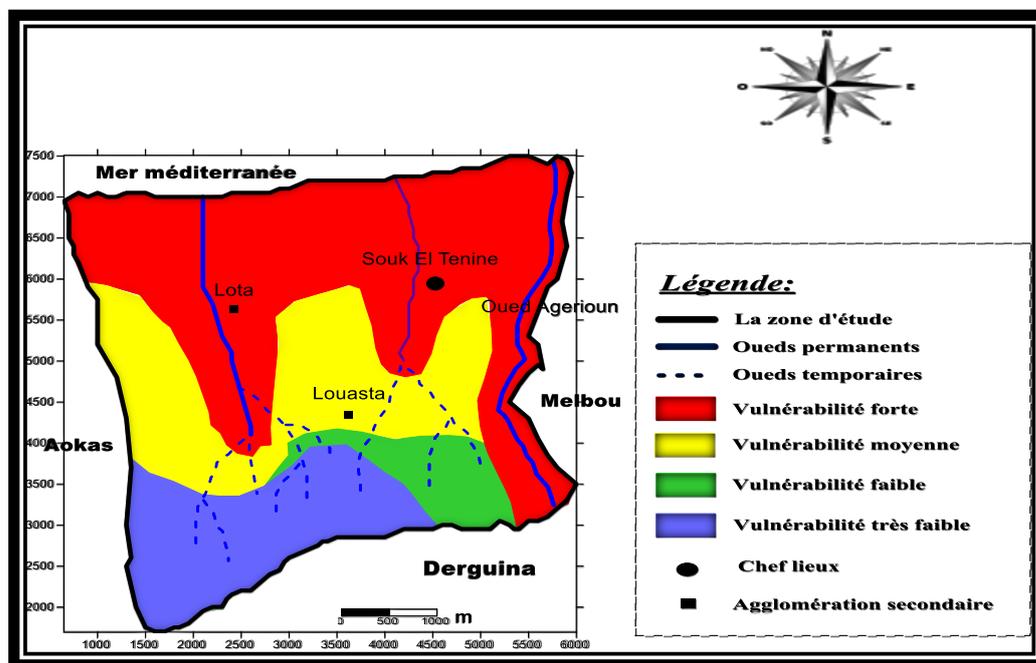


Figure n°16 : Carte de vulnérabilité à la pollution de Souk El Tenine par la méthode DRASTIC

2. Méthode GOD :

❖ Interprétations des paramètres et réalisation des cartes thématiques

Paramètre type d'aquifère « G » :

L'application de ce paramètre a fait sortir 2 zones importantes : tout au long de la littorale et des oueds se présente des aquifère non confiné avec une note d'ordre de 0,8 ; et tout au long des formations carbonatés se présente des aquifères confinés et non artésiens avec une note de 0,2 (figure n°16).

Tableau n°28 : Paramètre type d'aquifère.

Type d'aquifère	Note
Aquifère confiné et non artésien	0,2
Aquifère non confiné	0,8

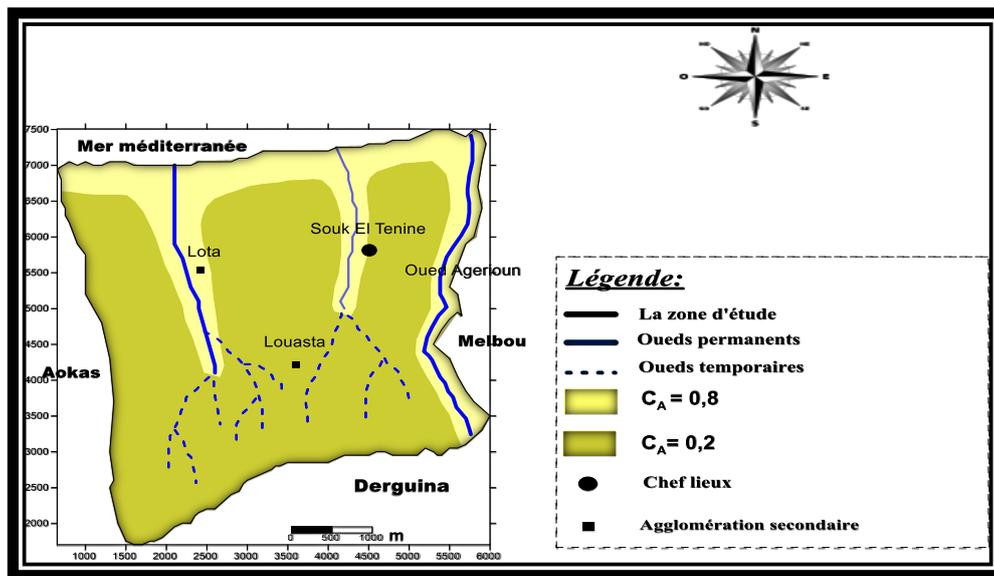


Figure n°17: Carte du paramètre type d'aquifère « G »

Paramètre nature lithologique « O » :

L'étude a été faite en se basant sur la nature lithologique, à la granulométrie et au degré de fissuration des différentes formations existantes dans la région. Ce paramètre nous a fait sortir trois(2) structures importantes (figure n°17) :

- les formations limon alluvial, argile, marne, calcaire fin avec une note de 0,5 ;
- les formations de calcaire avec une note de 0,9.

Tableau n°29 : Paramètre nature lithologique.

Nature lithologique	Note
Limon alluvial, argile, marne, calcaire fin	0,5
Calcaire	0,9

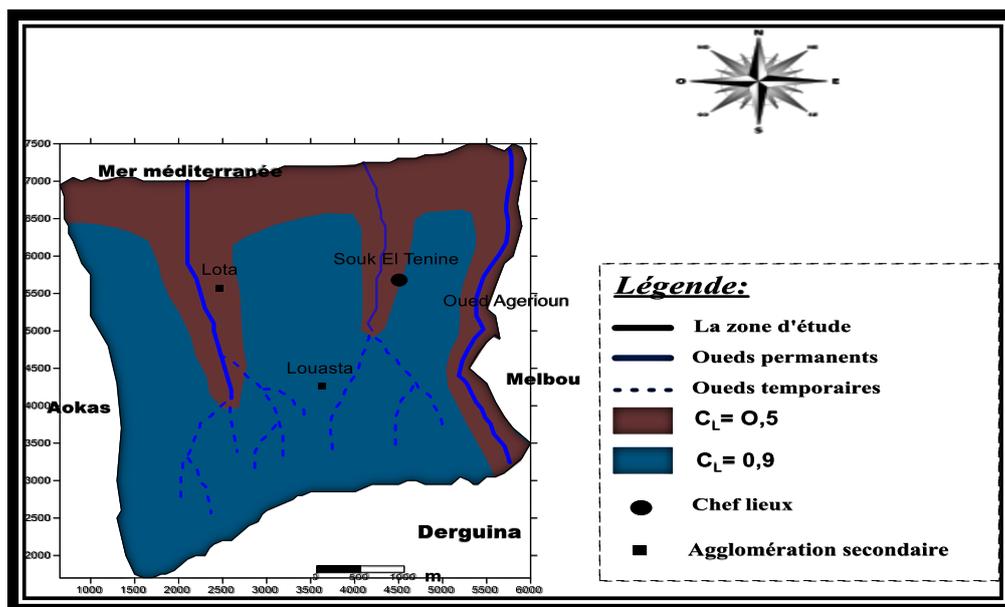


Figure n°18 : Carte du paramètre nature lithologique « O »

Paramètre profondeur de la nappe « D » :

Ce paramètre nous a fait ressortir 3 zones (figure n°18) :

Tout au long de la littorale et tout au long des oueds dont les profondeurs varient entre 0 à 2m, implique ainsi une note égal à 1. Les nappes de flysch, dolomites et marnocalcaire dont les profondeurs varient de 5 à 10m induisant ainsi une note de 0,8.

En fin les nappes dolomites et calcaire en plaquettes se situant au sud-ouest du sous bassin versant vers le commune de Taskariout, les profondeurs varient de 20 à 50m induisant ainsi une note égal à 0,6.

Tableau n°30 : Paramètre profondeur de la nappe.

Profondeur (m)	Note
0-2	1
5-10	0,8
20-50	0,6

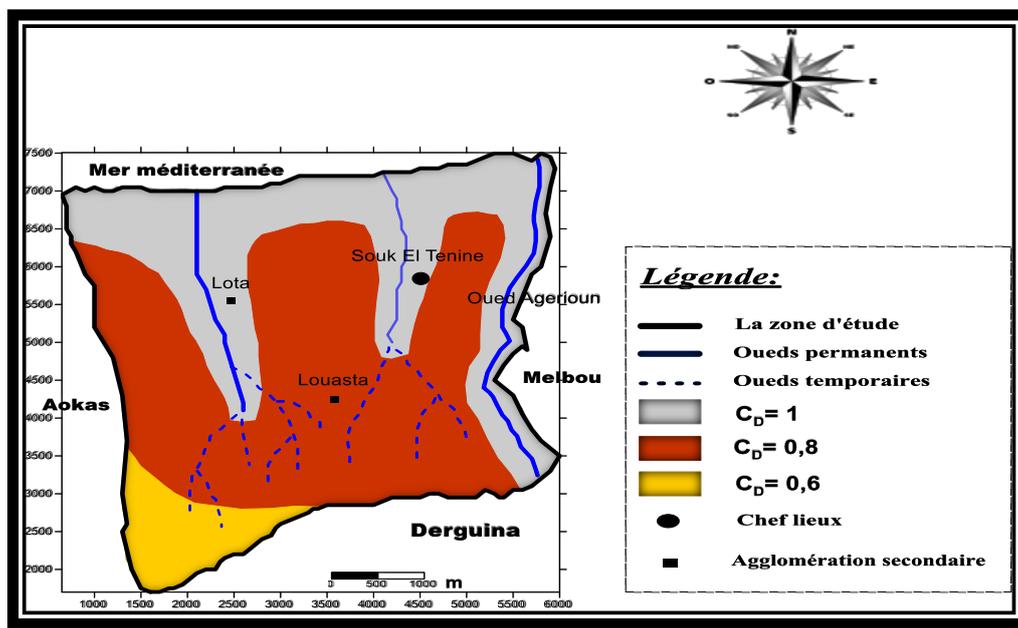


Figure n°19 : Carte du paramètre profondeur de la nappe « D »

Carte de vulnérabilité GOD :

Les trois cartes de la méthode GOD et leurs suppositions nous donnent une carte finale constituée de 3 zones selon leurs degrés de vulnérabilité :

- En rouge, zone à vulnérabilité forte ;
- En jaune, zone à vulnérabilité moyenne ;
- En vert zone à vulnérabilité faible.

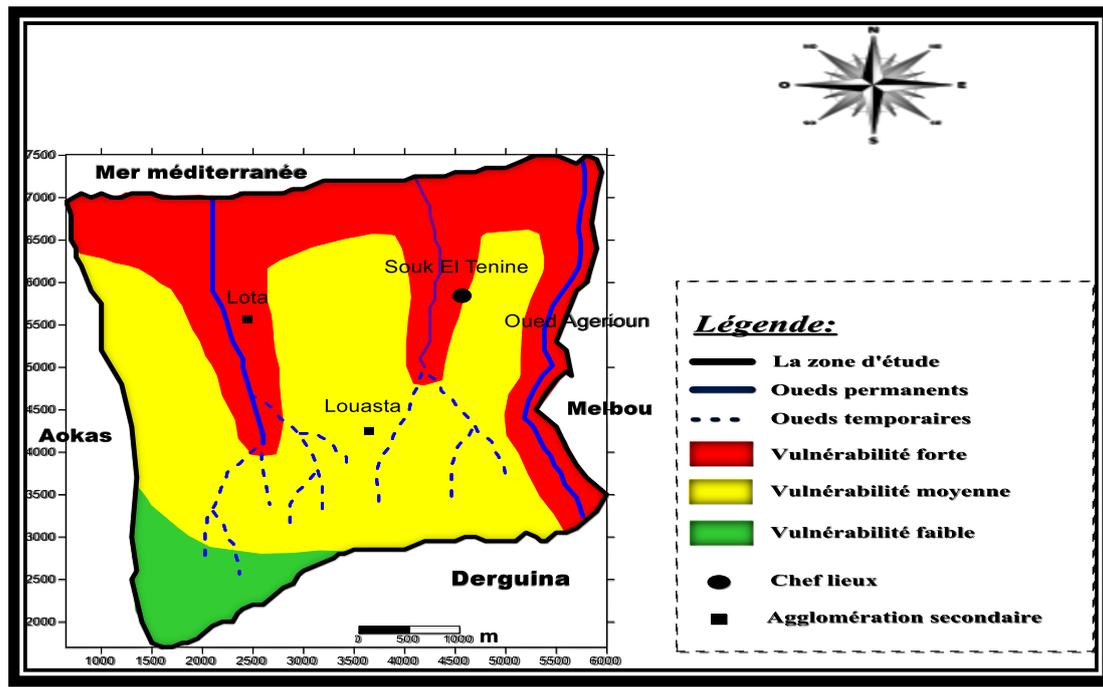


Figure n°20 : Carte de vulnérabilité à la pollution de Souk El Tenine par la méthode GOD

Afin de pouvoir comparer la cartographie de la vulnérabilité à la pollution, issue des deux méthodes, nous sommes partis des quatre classes de vulnérabilité ou la surface de chaque classe a été calculée et transformée en pourcentage (tableau n°31).

Tableau n°31: Pourcentage des surfaces des classes de vulnérabilité selon les méthodes DRASTIC et GOD.

Classe de vulnérabilité	DRASTIC		GOD	
	Nombre de mailles	pourcentage	Nombre de mailles	pourcentage
Très faible	1336	16,30%	0	0%
Faible	700	8,54%	639	7,79%
Moyenne	2064	25,18%	4558	55,61%
Forte	4095	49,96%	2998	36,58%
TOTAL	8195	100%	8195	100%

Analyse statistique des surfaces par classe de vulnérabilité:

- La vulnérabilité par la méthode DRASTIC est représentée essentiellement par trois classes « forte », « moyenne » et « très faible » (91,46%), avec une dominance de la classe « forte », suivie de la classe « moyenne » (25,18%) puis la classe « très faible » (16,30%) et enfin de la classe « faible » (8,54%).
- La méthode GOD, par contre, elle a aboutis a une vulnérabilité concentrée entre les deux classe « moyenne » et « forte » avec un taux de (92,21%) ou en remarque la domination de la classe « moyenne » (55,58%), suivie de la classe « forte » (36,58%) puis la classe « faible » (7,79%) et enfin l’absence de la classe « très faible » (0%).

En comparant les deux méthodes, en remarque que la méthode DRASTIC permet d’obtenir une information plus fine au niveau de la représentation de la vulnérabilité. Cela est relié à un découpage des indices en 4 classes par rapport à 3 classes de la méthode GOD. L’information s’en trouve plus diversifiée et le découpage de la carte élaborée par la méthode DRASTIC plus varie que celui de la carte produit par la méthode GOD. Cela peut-être un impact sur l’évaluation de la vulnérabilité. Un autre point à noter est que la méthode GOD n’utilise que 3 paramètres contre 7 pour la méthode DRASTIC.

Conclusion

IV. Conclusion :

D'après les résultats obtenus pour chacune des deux méthodes, nous retiendrons la méthode DRASTIC. Celle-ci permet de mettre en évidence les zones de recharge comme étant les plus vulnérables du territoire étudié. La méthode montre que le territoire présente dans son ensemble une vulnérabilité modérée. Il n'est pas recommandé de baser des décisions sur les résultats de la carte GOD, lesquels ne sont pas cohérents par rapport aux caractéristiques du milieu. À la suite de cette étude, il est recommandé que soient réalisés des travaux plus approfondis sur les erreurs présentes sur la carte de vulnérabilité DRASTIC et sur la manière dont les erreurs se propagent lors de son élaboration. Ceci permettra que les prises de décisions basées sur de telles cartes soient faites en connaissance des incertitudes. De plus, il serait intéressant de valider les résultats obtenus par la méthode DRASTIC avec des modèles numériques qui pourraient être basés sur le temps d'infiltration. Cela permettrait de montrer à quel point la réalisation de telles cartes peuvent contribuer concrètement à l'aménagement du territoire (Murat.V, 2003).

Dans le but de diminuer les risques de pollution souterraine, on peut énoncer quelques recommandations qu'il faut prendre en considération :

- Pour les déchets solides urbains :
 - Aménagement des dépotoirs vers les zones à moins de risque, c'est-à-dire vers les zones de faible vulnérabilité.
 - La mise en place d'un contrôle de décharges afin d'éviter les dépôts sauvages.
- Pour les eaux usées et l'assainissement urbain :
 - Eviter les rejets à ciel ouvert.
 - Installation de réseaux d'assainissement.

Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité aident dans l'aménagement et la gestion du territoire. Il serait donc préférable de faire les études d'évaluation de la vulnérabilité avant toute prise de décision d'aménagement afin d'éviter l'occupation anarchique des territoires.

Références bibliographiques

Références bibliographique :

1. **Added A. et Hamza M.H., 1999.**
<http://gis.esri.com/library/usercomf/proceed/papers/pape845.p845.htm>,
2. **Abdelbaki C. et Boukli Hacène F., 2007.** Etude de phénomènes de dégradation des eaux souterraines du groupement urbain de Tlemcen, Université de Tlemcen.
3. **AitHamoudi T., 2010.** *étude de la vulnérabilité à la pollution de la baie de Bejaia par la méthode DRASTIC*, master université ABDERRAHMANE MIRA-Bejaia.
4. **Aller L., Lehr J.H., Petty R. and Bennet T., 1987.** "DRASTIC : A standardized system to evaluate Groundwater pollution using Hydrogeologic setting". Jour. Geol. Soc. India, 29(1), pp 23-37.
5. **Albinet M. and Marga J., 1970.** *Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine.* (Mapping of groundwater vulnerability to pollution) Bulletin BRGM 2nd series 3(4): 13-22.
6. **Babiker I.S., mohamed M.A.A., Hiyama T., Kato K., 2004.** *Assessment of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system.* Environment international; 29:1009-17.
7. **Banton O., Bangoy L.M., 1997.** Hydrogéologie. Multiscience environnementales,
8. **Berkani N., Bedhouche O., 2005.** *la vulnérabilité à la pollution de la région d'aokas* mémoire ingénieur d'état, université ABDERRAHMANE MIRA-Bejaia.
9. **Boulaine J., 1980,** *Pédologie appliquée* .Masson, 67P.
10. **Boularak M., 2003.** *Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin du boumerzouk. Vulnérabilité des eaux souterraines et impact de la pollution sur la région d'el khroub.* Thèse magister en hydrogéologie. Université de Mentouri-constantine.157p.
11. **Chiter et ait Ouali, 2000.** *prévisions des écoulements annuels et saisonnières à l'exutoire d'un bassin versant*, mémoire de fin d'étude d'ingénieur d'état, option hydraulique urbain, p65.
12. **Dale van Stempvoortl L., Ewert. and wassenaar L., 1993.** "Aquifer vulnerability index (AVI): a GIS compatible method for groundwater vulnerability mapping." scientific hydrology/Sciences hydrologiques, Canadian Water Resources Journal 18:25-37.
13. **Darguini N. et Adrar H., 2004.** *La vulnérabilité à la pollution de la commune de Souk El Tenine*, Mémoire d'ingénieur, Université de Bejaia, 63p.

14. **Dibi B., Kouassi K.L., Kouamé K.I., Konan K.S., Soumahoro M., Konan-waidhet A.B. and Gnakri D., 2013.** Evaluation de la vulnérabilité à la pollution des aquifères des formations altérites à partir des méthodes DRASTIC et SYNTACS, Cas de la ville de M'bahiakro, Centre de la Cote d'Ivoire, International journal of innovation and applied studies, Vol2 No, 4 Apr, 2013, p 464-476.
15. **Duplan L., 1952.** Monographies régionales, première série : Algérie n° 17, la région de bougie.
16. **Evans B.M. and Myers W.L., 1990.** "A GIS-based approach to evaluating regional groundwater pollution with DRASTIC". Journal of soil and water conservation 29:242-245.
17. **Foster S., 1987.** "fondamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: Van Duijvenbooden. W, Van Waegeminingh HG (eds) Vulnerability of soil and groundwater to pollutants". Committee on hydrological research, The Hague, p 69-86.
18. **Foster S. and Hirata R., 1991.** *Groundwater pollution risk assessment. A methodology using available data*; World Health Organization (WHO)/Pan American Health Organization (PAHO)/Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS), Technical Report, Lima, Perou, 2nd edition, 73 p.
19. **Handry H., 2007.** *Nos lacs les connaître pour mieux les protéger*. Edition fédés. Bibliothèque nationale de Québec.
20. **Handré M., 2003.** Hydrologie, première édition collection gérée l'environnement, Lousanne, 26p
21. **Houria R., 2007.** "Relation entre les nappes et la salinité dans les sols gypseux de la région de Din Ben Noui Biskra". Mémoire master, p83.
22. **Jourda J.P.R., Saley M.B., Kouamé K.J., Kouadio B.H. et Raszack M., 2005.** " *Gestion et protection des ressources en eaux souterraines : contribution d'un SIG à la réalisation de la carte de vulnérabilité à la pollution des aquifères fissurés de Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire) selon la méthode DRASTIC*". Actes de la conférence Francophone, SIG 2005, Paris, 21p.
23. **Khemmoudj K., 2002.** Impact de la pollution industrielle, agricole et urbaine, sur les eaux superficielles de la région d'Eulma, Mémoire de Magister, Université de Annaba, institut de chimie, 189p.
24. **Murat V., 2000.** *Étude comparative des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères à la pollution : application aux aquifères du Piémont*

Laurentien ; Mémoire de maîtrise, Université du Québec, INRS-Géoressources, Québec, 127 p.

25. **Murat V., Paradis D., Savard M.M., Nastev M., Bourque É., Hamel A., Lefebvre R. et Martel R., 2003.** *Vulnérabilité à la nappe des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec : évaluation par les méthodes DRASTIC et GOD* ; Commission géologique du Canada, Recherches en cours 2003-D3, 14 p.
26. **Rahman A., 2008.** A GIS based DRASTIC model for assessing ground water vulnerability in shallow aquifer in Aligorh, India Appl Geogr 28, p 32-53.
27. **Renard F., 2002.** *cours hydrogéologie*, UJF Grenoble, France.
28. **Srinivasamoorthy K., Vijayaraghavan K., Vasanthavigar M., Rajivgandhi R., Chidambaram S., Anandhan P., Manivannan R., 2010.** ‘‘ Assessment of groundwater vulnerability in Mettur region, Tamilnadu, India using DRASTIC and GIS techniques.’’ Arad J Geosci, DOI 10.1007/s 12517-010-0138-x.
29. **US EPA (United States Environmental Protection Agency), 1985.** *DRASTIC: a standard system for evaluating groundwater potential using hydrogeological settings.* WA/EPA Series, n°163. Ada. Oklahoma: US EPA.

Annexes

Calcul de l'indice DRASTIC

Indice DRASTIC général = (Dc.Dp)+(Rc.Rp)+(Ac.Ap)+(Sc.Sp)+(Tc.Tp)+(Ic.Ip)+(Cc.Cp)

N°	D	R	A	S	T	I	C	TOTAL
1	50	12	24	18	5	40	3	152
2	50	12	24	18	5	15	3	127
3	50	12	24	18	5	30	3	142
4	50	12	24	18	1	40	3	148
5	50	12	24	18	1	15	3	123
6	50	12	24	18	1	30	3	138
7	50	12	24	14	5	40	3	148
8	50	12	24	14	5	15	3	123
9	50	12	24	14	5	30	3	138
10	50	12	24	14	1	40	3	144
11	50	12	24	14	1	15	3	119
12	50	12	24	14	1	30	3	134
13	50	12	24	12	5	40	3	146
14	50	12	24	12	5	15	3	121
15	50	12	24	12	5	30	3	136
16	50	12	24	12	1	40	3	142
17	50	12	24	12	1	15	3	117
18	50	12	24	12	1	30	3	132
19	50	12	18	18	5	40	3	146
20	50	12	18	18	5	15	3	121
21	50	12	18	18	5	30	3	136
22	50	12	18	18	1	40	3	142
23	50	12	18	18	1	15	3	117
24	50	12	18	18	1	30	3	132
25	50	12	18	14	5	40	3	142

26	50	12	18	14	5	15	3	117
27	50	12	18	14	5	30	3	132
28	50	12	18	14	1	40	3	138
29	50	12	18	14	1	15	3	113
30	50	12	18	14	1	30	3	128
31	50	12	18	12	5	40	3	140
32	50	12	18	12	5	15	3	115
33	50	12	18	12	5	30	3	130
34	50	12	18	12	1	40	3	136
35	50	12	18	12	1	15	3	111
36	50	12	18	12	1	30	3	126
37	35	12	24	18	5	40	3	137
38	35	12	24	18	5	15	3	112
39	35	12	24	18	5	30	3	127
40	35	12	24	18	1	40	3	133
41	35	12	24	18	1	15	3	108
42	35	12	24	18	1	30	3	123
43	35	12	24	14	5	40	3	133
44	35	12	24	14	5	15	3	108
45	35	12	24	14	5	30	3	123
46	35	12	24	14	1	40	3	129
47	35	12	24	14	1	15	3	104
48	35	12	24	14	1	30	3	119
49	35	12	24	12	5	40	3	131
50	35	12	24	12	5	15	3	106
51	35	12	24	12	5	30	3	121
52	35	12	24	12	1	40	3	127
53	35	12	24	12	1	15	3	102

54	35	12	24	12	1	30	3	117
55	35	12	18	18	5	40	3	131
56	35	12	18	18	5	15	3	106
57	35	12	18	18	5	30	3	121
58	35	12	18	18	1	40	3	127
59	35	12	18	18	1	15	3	102
60	35	12	18	18	1	30	3	117
61	35	12	18	14	5	40	3	127
62	35	12	18	14	5	15	3	102
63	35	12	18	14	5	30	3	117
64	35	12	18	14	1	40	3	123
65	35	12	18	14	1	15	3	98
66	35	12	18	14	1	30	3	113
67	35	12	18	12	5	40	3	125
68	35	12	18	12	5	15	3	100
69	35	12	18	12	5	30	3	115
70	35	12	18	12	1	40	3	123
71	35	12	18	12	1	15	3	98
72	35	12	18	12	1	30	3	113
73	10	12	24	18	5	40	3	112
74	10	12	24	18	5	15	3	87
75	10	12	24	18	5	30	3	102
76	10	12	24	18	1	40	3	108
77	10	12	24	18	1	15	3	83
78	10	12	24	18	1	30	3	98
79	10	12	24	14	5	40	3	108
80	10	12	24	14	5	15	3	83
81	10	12	24	14	5	30	3	98

82	10	12	24	14	1	40	3	104
83	10	12	24	14	1	15	3	79
84	10	12	24	14	1	30	3	94
85	10	12	24	12	5	40	3	106
86	10	12	24	12	5	15	3	81
87	10	12	24	12	5	30	3	96
88	10	12	24	12	1	40	3	102
89	10	12	24	12	1	15	3	77
90	10	12	24	12	1	30	3	92
91	10	12	18	18	5	40	3	106
92	10	12	18	18	5	15	3	81
93	10	12	18	18	5	30	3	96
94	10	12	18	18	1	40	3	102
95	10	12	18	18	1	15	3	77
96	10	12	18	18	1	30	3	92
97	10	12	18	14	5	40	3	102
98	10	12	18	14	5	15	3	77
99	10	12	18	14	5	30	3	92
100	10	12	18	14	1	40	3	98
101	10	12	18	14	1	15	3	73
102	10	12	18	14	1	30	3	88
103	10	12	18	12	5	40	3	100
104	10	12	18	12	5	15	3	75
105	10	12	18	12	5	30	3	90
106	10	12	18	12	1	40	3	96
107	10	12	18	12	1	15	3	71
108	10	12	18	12	1	30	3	86

Calcul de l'indice GOD

$$\text{Indice GOD} = C_L * C_A * C_D$$

N°	G	O	D	TOTAL
1	0,2	0,5	1	0,1
2	0,2	0,5	0,8	0,08
3	0,2	0,5	0,6	0,06
4	0,2	0,9	1	0,18
5	0,2	0,9	0,8	0,144
6	0,2	0,9	0,6	0,108
7	0,8	0,5	1	0,4
8	0,8	0,5	0,8	0,32
9	0,8	0,5	0,6	0,24
10	0,8	0,9	1	0,72
11	0,8	0,9	0,8	0,576
12	0,8	0,9	0,6	0,432

RESUME

Le développement des cultures agro-industrielles à forte utilisation des fertilisants chimiques, la croissance démographique, les cours d'eaux deviennent les récepteurs principales des déchets solide et liquide dans la région de Souk El Tenine (Nord-Est de la Wilaya de Bejaia), constitue un risque important de contamination des eaux souterraines. La vulnérabilité à la pollution de la nappe de cette région a été étudiée par deux méthodes différentes mais complémentaires : la méthode DRASTIC et la méthode GOD. La validation de cette application a été testée en comparant les deux méthodes et la répartition des différentes classes de vulnérabilités établies. Quatre classes de vulnérabilité (Très faible, faible, moyenne et forte) ont été identifiées par la méthode DRASTIC, et trois classes de vulnérabilité par la méthode GOD (faible, moyenne et forte). Une analyse intégrée révèle que la classe forte avec 49,96% (pour la méthode DRASTIC) et la classe moyenne 55,61% (pour celle de GOD) sont les plus dominantes, la classe faible avec 8,54% (pour la méthode DRASTIC) et 7,79% (pour la méthode GOD) a le plus faible pourcentage. Ces résultats constituent un guide pour les décideurs en matière de protection des zones jugées sensibles à la pollution et d'identification des sites devant abriter ultérieurement des infrastructures socio-économiques.

Mots clés : DRASTIC, GOD, Vulnérabilité, Les eaux souterraines, Pollution de l'aquifère, Hydrogéologie et SIG.