

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 de Sciences Biologiques de l'Environnement
Filière: Sciences Biologiques
Option: Toxicologie Industrielle et Environnemental

Réf :.....

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

MASTER

Thème

**Etude de la vulnérabilité à la pollution de la nappe superficielle
de Souk El Tenine par la méthode GALDIT**

Présenté par:

BOUDJELIL El-hachemi et DJAFARI Abdel Karim

Soutenu le : 07 Juin 2018

Devant le jury composé de :

Mr SIDI Hachemi

MCA

Président

Mr KHEMMOUDJ Kaddour

MCB

Encadreur

Mr LARACHI Nassim

MAA

Examineur

Année Universitaire : 2017/2018.

REMERCIEMENT

Au terme de ce travail nous tenons à exprimer toutes nos gratitudes à Dieu, et nous tenons aussi à exprimer nos reconnaissances et nos remerciements envers :

- Notre promoteur Mr KHEMMOUDJ Kaddour. Pour ses précieux conseils et sa disponibilité. Qu'il puisse trouver ici l'expression de nos sincères remerciements.

- Mr SIDI Hachemi qui nous a assuré la présidence de notre jury.

- Mr LARACHI Nassim d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

- A tous nos enseignants qui nous ont initiés aux valeurs authentiques, en signe d'un profond respect

-Mr Haddadi H.au service hydraulique béjaia

-le chef du laboratoire de l'ADE béjaia et toute l'équipe de labo

-Mr Bob l'informaticien de son aide

-A tous les citoyens de la commune Souk El Tenine

-Enfin Nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DÉDICACES

Je tien à dédier solennellement ce modeste travail :

Avec vif plaisir à ceux qui sont les plus proches à mon cœur, qui m'ont toujours aimés et qui ont fait de toute leurs force pour que je sois toujours heureux, mes très chers parents, qui sans eux je ne serai rien ;

À mes frères Idir, Djamel et mes très chères sœurs et Amel

À mon chers binôme El Hachemi et sa famille Boudjelil

À mes Amis

Karim, Foufou, Hakou, Bilal, yasmina, Ali, Kamel, Moussa,

Lyamine, lyes, Massi, Samir, Idir, Tayeb, Marzouk, Toufik, Fatah...

À toute la promotion 2017/2018 toxicologie industrielle et environnemental.

Karim

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A mes chères parents et mes très chères frères et sœurs, a toute ma famille.

A mon chère binôme Karim et tout sa famille

A mes amis spécialement : Lyamine, Lyes, abdelhak, massi, kamal, bilal, farid, hamo, faicel, samir, idir ...

A tous mes copains de chambre A106.

A tout la promotion 2017/2018 de toxicologie industrielle et environnementale.

A vous tous... !

Hachemi.

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Table de matière

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations et des symboles

I-Introduction.....1

Chapitre I : Synthèse biographiques.

I-Bassin versant.....3

I-1-Définition3

I-2-Characteristiques d'un bassin versant4

II-Définition du réseau hydrique.....4

III-Définition d'Hydrogéologie5

IV-L'aquifère et les types d'aquifère5

V-Généralité sur la pollution5

V-1-La pollution.....5

V-2-La pollution des eaux souterraine6

V-3-Les principales sources de pollution des eaux souterraine7

V-4-Les types de pollution.....9

V-5-Modes de transfert des polluants10

VI-La vulnérabilité.....10

VI-1-Notion de la vulnérabilité10

VI-2-Historique11

VI-3-Différents types de la vulnérabilité11

VI-4-Notion de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraine12

VI-5-But de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraine.....12

VI-6-Origine de la vulnérabilité des eaux souterraines.....	12
VI-7-Etude de la vulnérabilité.....	13
VI-8-L'indice de vulnérabilité	14
VI-9-Maladies à transmission hydrique.....	14
VI-9-1-Maladies d'origine bactérienne.....	14
VI-9-2-Maladies d'origine virale.....	15

Chapitre II : Matériel et méthode.

I-Matériel.....	16
I- 1-Présentation de la région d'étude	16
I-1-2-Population	17
I-1-3-Bassin versant de la région d'étude	18
I-2-Délimitation du bassin versant de la zone d'étude.....	19
I-3-Climatologie.....	19
I-3-1-La température	20
I-3-2-Humidité	21
I-3-3-Le Vent.....	22
I-3-4-Précipitation	23
I-3-5-Diagramme ombrothermique	24
I-4-Topographe	24
I-5-Le sol.....	25
I-6-Réseaux hydrographique	26
I-7-La géologie.....	26
I-8-Hydrogéologie.....	28
I-8-1-Description des formations aquifères.....	29
I-8-1-1-Les formations dunaires	29
I-8-1-2-La formation aquifère des alluvions	29

I-8-2-Alimantaion de la nappe superficielle.....	29
I-8-3-Décharge de la nappe.....	29
I-9-La piézométrie	30
I-10-Sources de pollution.....	31
I-10-1-Pollution agricole	31
I-10-2-Pollutoin industrie.....	31
I-10-3-La pollution urbain.....	32
I-10-3-1-Décharge publique non contrôlée	32
I-10-3-2-Réseau d'assainissement.....	33
I-11-Les prélèvements.....	33
I-12-Présentation de matérielles utilisées	34
I-12-1-Logiciel surfer	34
I-12-2-Logiciel diagramme.....	35
I-12-3-Multi –paramètre	35
I-12-4-Le GPS (Global Positing System)	36
II-Méthode.....	36
II-1-Méthode GALDIT	36
II-1-1-Définition de la méthode GALDIT	37
II-1-3-Discription des paramètres de GALDIT.....	38
II-1-2-Indice de GALDIT.....	39

Chapitre III : Analyses et discussions.

I-Résultats et discussions de la méthode GALDIT.....	41
I-1-Paramètre (G) le type d'aquifère.....	41
I-2-Paramètre (A) la conductivité hydraulique de l'aquifère	41
I-3-Paramètre (L) L'altitude de la nappe par rapport au niveau de la mer.....	42
I-4-Paramètre (D) La distance par rapport au rivage	43

I-5-Paramètre (I) L'impact de l'intrusion saline présente dans la zone	44
I-6-Paramètre (T) L'épaisseur de la nappe phréatique ou l'épaisseur saturée d'un aquifère.....	44
I-7-Indice GALDIT	45
II-Résultats discussion des paramètres physico-chimiques	46
II-1-Paramètre physique.....	46
II-1-1- Température	46
II-1-2-La conductivité.....	47
II-1-3-La Teneur en sels dissous (TDS)	48
II-1-4-La Salinité	49
II-1-5-Potentiels d'hydrogène (pH)	50
II-2-Paramètres hydrochimie.....	51
II-2-1-Classification de Piper	51
II-2-2-Diagramme de Wilcox	52
III-Résultats et discussion des métaux lourds.....	53
IV-Résultats et discussions les analyses microbiologique.....	54
IV-1-Analyse des résultats par rapport au nombre de colonie et types des bactéries	54
IV-2-Analyse des résultats par rapport aux germes et leur température	55
Conclusion et perspectives.....	57
Références biobibliographiques.	
Annexes.	

Listes des figures :

Figure 01: Schéma explicatif d'un bassin versant (Source Alsace Nature).....	03
Figure 02 : les sources de la pollution des eaux souterraine.....	09
Figure 03: paramètres intervenant dans l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines (Babiker I. et <i>al</i> , 2004)	13
Figure 04 : Organisation spatiale de la commune de Souk E Tenine.....	16
Figure 05 : Répartition de la population par zone (%).....	17
Figure 06 : la carte du sous bassin de la région Souk El Tenine. (Source l'ANRH)..	18
Figure 07 : La carte de bassin versant la région Souk El Tenine	19
Figure 08 : Température moyenne mensuelle interannuelle (C°). Période (2008-2017)	20
Figure 09 : l'humidité relative moyenne mensuelle interannuelle pour la période (2008-2017).	21
Figure 10 : Moyenne mensuelles interannuelles de la vitesse de vent en (m/s) période (2008-2017).	22
Figure 11 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles par (mm) période (2008-2017).	23
Figure 12 : Diagramme ombrothermique de la région d'étude	24
Figure 13 : Carte du sol de la région d'étude	25
Figure 14 : la carte du réseaux hydriques de la région d'étude	26
Figure 15 : Carte géologique de la région d'étude	28
Figure 16 : Carte piézométrique	30
Figure 17 : La décharge de Souk El Tenine (Mai 2018).	33
Figure 18 : présentation les sites d'échantillonnage.....	34
Figure 19 : photo multi-paramètre de terrain	35
Figure 20 : Photo GPS de terrain	36
Figure 21 : Représentation carte du paramètre G dans l'aquifère	41
Figure 22 : Représentation Carte du paramètre A dans l'aquifère	42
Figure 23: Représentation Carte du paramètre L dans l'aquifère	43
Figure 24 : Représentation Carte du paramètre D dans l'aquifère	43
Figure 25 : Représentation Carte du paramètre I dans l'aquifère	44

Figure 26 : Représentation Carte du paramètre T dans l'aquifère	45
Figure 27 : indices de GALDIT	46
Figure 28 : Carte température	47
Figure 29 : Carte conductivité	48
Figure 30 : Carte TDS	49
Figure 31 : Carte salinité	50
Figure 32 : Carte potentiels d'hydrogène (pH).	51
Figure 33 : Classification de Piper.....	52
Figure 34 : Comparaison entre Na (%) et la conductivité ($\mu\text{s/cm}$)	53

Liste des tableaux :

Tableau 01 : Principales substances polluantes des eaux souterraines (Collin.J 2004).....	07
Tableau 02 : Répartition de la population par zone (Direction de l'environnement de Bejaïa, 2008).....	17
Tableau 03 : Température moyenne mensuelle interannuelles (C°). Période (2008-2017) (source la station météorologique de l'aéroport de Bejaia, 2017).....	20
Tableau 04 : Humidité moyenne mensuelles interannuelles en (%) période (2008-2017), source : la station métrologique de l'aéroport de Bejaia .2017.....	21
Tableau 05 : Moyenne mensuelles interannuelles de la vitesse de vent en (m/s) période (2008-2017) source : station métrologique de l'aéroport de Bejaia .2017....	22
Tableau 06 : Moyenne mensuelles interannuelles des précipitations par (mm) période (2008-2017) Source : station métrologique de l'aéroport de Bejaia .2017.	23
Tableau 07 : Répartition des terres agricoles. (Direction de l'environnement de Bejaïa 2008).....	31
Tableau 08 : Les classes de la vulnérabilité par l'indice GALDIT.....	39
Tableau 09 : Synthèse des poids et rangs de méthode GALDIT.....	40
Tableau 10 : Calcule des indices de GALDIT.....	45
Tableau 11 : Résultat des métaux lourds.....	54
Tableau 12 : Résultat d'analyse microbiologique.....	55
Tableau 13 : Détermination de nombre des germes à 37 C° et 22 C°.....	56

Liste des abréviations et symboles

ACL : Agglomération Chef Lieux.

ADE : Algérienne Des Eaux.

ANRH : Agence Nationale des Ressources hydrique.

ASL : Agglomération Secondaire Lota.

ASR : Germe Sulphoto-réducteur

C° : Degré Celsius.

Cd : Cadmium.

CGG : Compagne Générale de géophysique.

Cu : Cuivre

DEMRH : Direction des Etudes de Milieu et de la Recherche Hydraulique.

GPS : Global Positioning System.

Km : Kilometer.

Km² : Kilomètre carré.

l : Litre.

m : mètre.

MTN : Modèle Numérique de Terrain.

mg : milligramme.

mm : millimètre.

m/s : mètre par seconde.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

P : Précipitation.

P1 : Puits 1

pH : Potentiel Hydrogène.

RN : Route Nationale.

RGPH : Répartition Générale de la Population Humaine.

S : Source.

SAA : Spectrométrie d'Absorption Atomique.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

TDS : Teneur Dissout de Sel.

TH : Dureté.

.UFC : Unité Formation Colonie

Zn : Zinc.

< : Inferieur.

> : Supérieure.

% : Pourcentage.

μS : micro –siemens.

Introduction

Introduction

I-Introduction :

Les eaux souterraines représentent généralement une excellente source d'approvisionnement en eau potable. Le filtre naturel constitué par les matériaux géologiques produit le plus souvent une eau de grande qualité, avec notamment de très faibles teneurs en micro-organismes et autres substances en suspension. Il en résulte que l'exploitation des eaux souterraines présente des avantages économiques appréciables, du fait qu'elles ne nécessitent que peu de traitement parfois même aucun traitement avant leur distribution dans un réseau d'eau potable. (Niazi S. 2007)

L'eau souterraine douce contenue dans un aquifère s'écoule vers le rivage et sa progression est limitée par la présence de l'eau marine salée. Le contact entre les eaux est marqué par une interface eau douce/eau salée. L'eau de mer pénètre par le sous-sol, et par effet de contraste de densité entre l'eau douce continentale et l'eau salée (l'eau de mer contient en moyenne 30 grammes de sel par litre). Ce phénomène est connu sous le nom d'intrusion marine (biseau salé). (Niazi S. 2007)

Cependant, Certaines sources de pollution diffuse provenant des activités anthropiques (pratiques agricoles, exploitations des décharges incontrôlées et des systèmes d'assainissement sauvages) menacent ces ressources des eaux souterraines.

Pour une meilleure gestion la prévention contre ces polluants apparaît primordiale. Les méthodes de vulnérabilité à la pollution du fait de leurs performances dans la délimitation des périmètres de protection se présentent comme les méthodes les plus appropriées.

Plusieurs méthodes d'étude et d'évaluation des eaux souterraine à la pollution sont utilisées telle que : **DRASTIC, GOD, RISK, SINTACS, EPIK, SI, EVARISK, GALDIT.**

La méthode GALDIT est basée sur cotation de six paramètres qui sont G, A, L, D, I, T. et cette méthode elle est efficace pour la mise en évidence du phénomène de l'intrusion marine de la région d'étude.

La méthode GALDIT a été choisi afin de réalisé la carte de vulnérabilité à la pollution des souterraine appliquée à la nappe superficielle de Souk El Tenine parce que cette dernière c'est une région côtière.

Notre travaille doivent répondre aux préoccupations suivante :

- Est-ce que la nappe de la région est confrontée à phénomène de l'intrusion marine, et vulnérable à la pollution ?

Introduction

Afin de répondre à la cette préoccupation, nous avons structurés notre travail en trois chapitre :

- Le premier chapitre en présent synthèse bibliographique.
- Le deuxième chapitre en présent matériel et méthode.
- Le troisième chapitre résultats et discussions.
- Conclusion et perspectives.

I-Bassin versant :

I-1-Définition :

Le bassin versant peut être décrit comme le territoire sur lequel tous les écoulements des eaux de surface convergent vers un même point que l'on nomme l'exutoire du bassin. Ce territoire est limité physiquement par la ligne de partage des eaux. A l'intérieure de ce domaine, toutes les pentes locales dirigent les écoulements de surface vers le point le plus bas correspondant à l'exutoire (**Baton O.2010**).

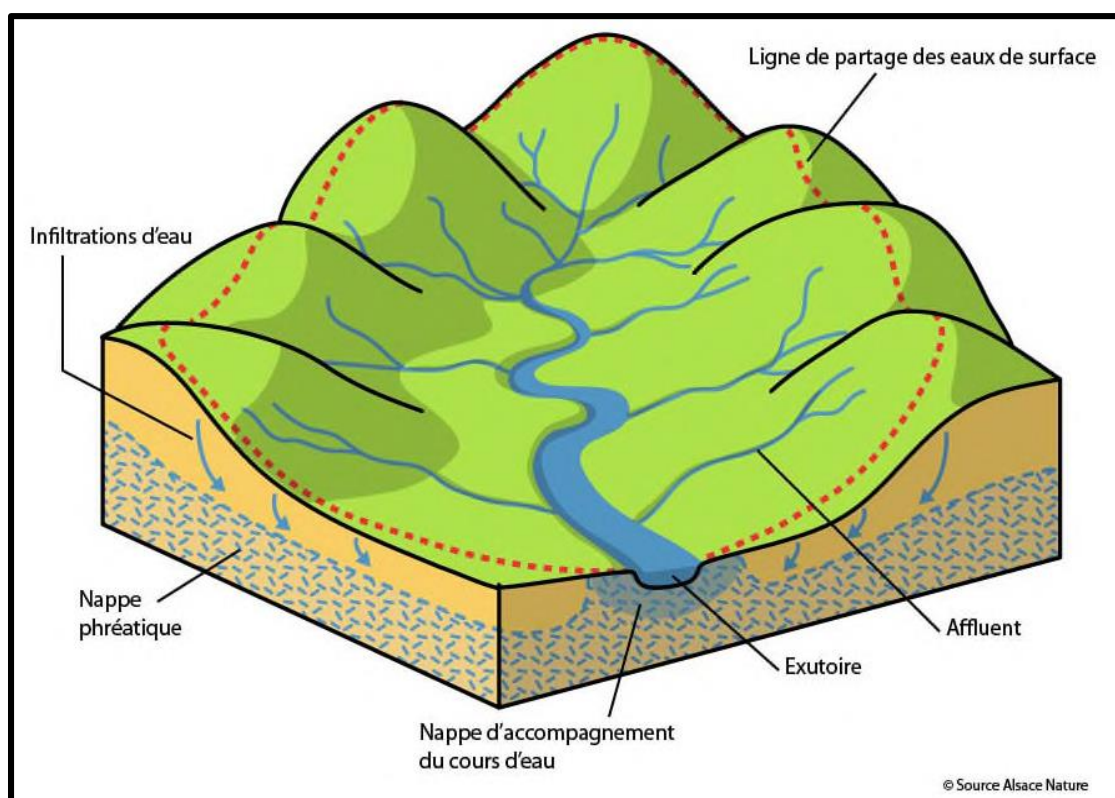


Figure 01: Schéma explicatif d'un bassin versant (Source Alsace Nature)

I-2-Caractéristiques d'un bassin versant :

Un bassin versant est caractérisé par trois composantes principales:

1-Sa limite, l'enveloppe des surfaces potentiellement drainantes et les extrémités avalées du réseau de drainage.

2-Son organisation qui peut être reliée à la structure du réseau, à la distribution surfacique des éléments de drainage.

3-Sa composition, les types de recouvrement de surface et quelques grandeurs géométriques associées (**Si Ahmed A. et al, 2017**).

II-Définition du réseau hydrique :

Le réseau hydraulique se définit comme l'ensemble de cours d'eaux naturel ou artificiel, permanent ou temporaire, 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 :**

1-La géologie : la nature du substratum influence la forme du réseau hydraulique.

2-Le climat : le réseau hydraulique est dense dans les régions montagneuses et tend à disparaître dans les régions désertiques

3-La pente du terrain : elle détermine si les cours d'eaux sont en phase érosion et sédimentation.

4-La présence humaine : le drainage des terres agricoles, la construction du barrage, l'endiguement, modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique (**Djedi H. et Traor T. 2016**).

III-Définition d'Hydrogéologie :

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 formations géologiques influencent la circulation et la qualité des eaux souterraines (**Djedi H. et Traor T. 2016**).

IV- l'aquifère :

L'aquifère (du latin aqua fere : porter l'eau) est une structure géologique perméable contenant l'eau, comme alluvions de rivière, des granites fissurés, un plateau de calcaire, etc... (**Gilli E. et al, 2008**).

Il existe différents types d'aquifères :

-Nappe libre : l'aquifère se nomme nappe libre lorsque son niveau supérieur est en contact avec l'atmosphère et fluctue librement au gré du climat (**Anctil G. et al, 2012**).

-Nappe captive : Elle est dite captive lorsqu'elle est recouverte par un horizon imperméable à une cote inférieure à celle de la surface piézométrique.

-Nappe semi-captif.

-Nappe perchée.

V-Généralité sur la pollution :**V-1- La pollution :**

La pollution est la dégradation d'un écosystème par diffusion directe ou indirecte de substances chimiques, physiques ou biologiques susceptibles de porter atteinte à la santé humaine ou perturber de manière plus ou moins importante le fonctionnement naturel des écosystèmes (**Es Saouini H. 2015**).

V-2-La pollution des eaux souterraine :

La pollution des eaux souterraines se produit si la charge de contaminants du sous-sol, générés par les émissions d'origine humaine (déversement de déchets, les rejets et fuites) est mal contrôlée, et dépasse la capacité d'atténuation naturelle des sols et couches sous-jacents. Les profils de sous-sol naturels atténuent activement de nombreux polluants de l'eau, et ont longtemps été considérés comme potentiellement efficaces pour l'élimination sûre des excréments humains et des eaux usées domestiques (**Vaessen V. et Brentführer R. 2015**).

Pour que l'eau soit considérée polluée, il faut que deux conditions soient réalisées simultanément :

-la teneur en substances dissoutes ou en suspension, dépasse les normes sanitaires en vigueur pour l'eau potable ou les normes hydrobiologique : on parle de la concentration maximale admissible ou CMA ;

-les substances indésirables ont été introduite artificiellement, c'est-à-dire par l'homme, volontairement ou non (**collin J. 2004**).

Tableau 01 : Principales substances polluantes des eaux souterraines (Collin J.2004).

Catégorie		substances	Ordre de grandeur de la CMA
Minérales	Elément majeurs	Cl, SO ₄ , NO ₃ , Na	10 – 100 mg/l
	Oligo-élément	Fe, Mn, Al ,B ,F, NH ₄	0,1 – 1 mg/l
	Eliment traces	Cd, Pd, Zn, Hg	1 – 10 µg/l
organiques	Hydrocarbures	Fioul, kérosène, Pétrole brute	10 µg/l
	Molécules simples	Organo-halogénés	0,2 µg/l
	Molécules complexes	phytosanitaires	0,1 – 0,5 µg/l

V-3-Les principales sources de pollution des eaux souterraine :

Les eaux souterraines contaminées contiennent des substances nuisibles en solution ou en suspension avec des concentrations élevées dépassent parfois celles fixées par les normes nationales ou internationales. Ces produits polluants peuvent venir aussi bien de source naturelle que de l'activité anthropique. Ainsi, les eaux souterraines peuvent être polluées par des produits utilisés par les industries, l'agriculture, l'urbanisation, etc...(Es Saouini H. 2015).

-Pollution naturelle : les eaux souterraines, même si elles ne sont pas affectées par les activités humaines, peuvent contenir quelques impuretés qui sont causées par la nature elle-même. Les eaux souterraines en s'infiltrant à travers les sols et les roches peuvent absorber un éventail de composés qui dépendent de la nature du matériel géologique traversé tels que le magnésium, le calcium, les chlorures, l'arsenic, le bore, le sélénium, etc...(Es Saouini H. 2015).

-Pollution industrielle : les installations industrielles génèrent des pollutions des eaux et du sol dont l'ampleur est difficilement connue a priori. Cette pollution se produit quand l'eau utilisée par les activités économiques modernes est retournée au cycle hydrologique sans traitement ou quand le transport et le stockage de la matière employée dans la fabrication est perdue par débordement, par fuite ou par mauvaise manipulation. Les polluants d'origine industrielle sont de nature et de gravité très variés selon le type d'activité : substances organiques, produits organiques de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux, métaux lourds...Les plus courants sont les dérivés pétroliers contenus dans les carburants et les dérivés industriels présents dans les plastiques ou les revêtements (polystyrène, phtalates, polyamides...) (Es Saouini H. 2015).

-Pollution agricole : Est due à l'utilisation massive des engrais et des produits phytosanitaires et pesticides. La pratique de l'irrigation intensive influence fortement sur la qualité des eaux par l'accélération du transfert des résidus de ces produits utilisés en agriculture vers la nappe. Ce transfert se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée ou par rejet dans des puits perdus, des gouffres et/ou bétoires. Cette pollution peut résulter du débordement des engrais et des pesticides pendant la manipulation, de l'utilisation de pesticides, du stockage de produits chimiques agricoles près des conduits d'eaux souterrains et dans des secteurs découverts, non protégés, du vent et/ou de la pluie. L'utilisation de déjections azotées, produit par l'élevage intensif, comme engrais ou aliments affecte aussi la qualité des eaux souterraines (Es Saouini H. 2015).

-Pollution domestique et urbaine : En ville, les ordures ménagères accumulées dans des décharges public ou non aux normes libèrent des lixiviats riches en polluants qui peuvent être transférées à la nappe. La contamination des nappes peut être induite par les fuites de cuves de carburants, les routes et par les cimetières.

Ces sources produisent une forte quantité d'eau de ruissellement chargée en produits polluants divers (hydrocarbures, métaux lourds libérés par les véhicules, substances dangereuses échappées par accident...) (Es Saouini H. 2015). Fig 2

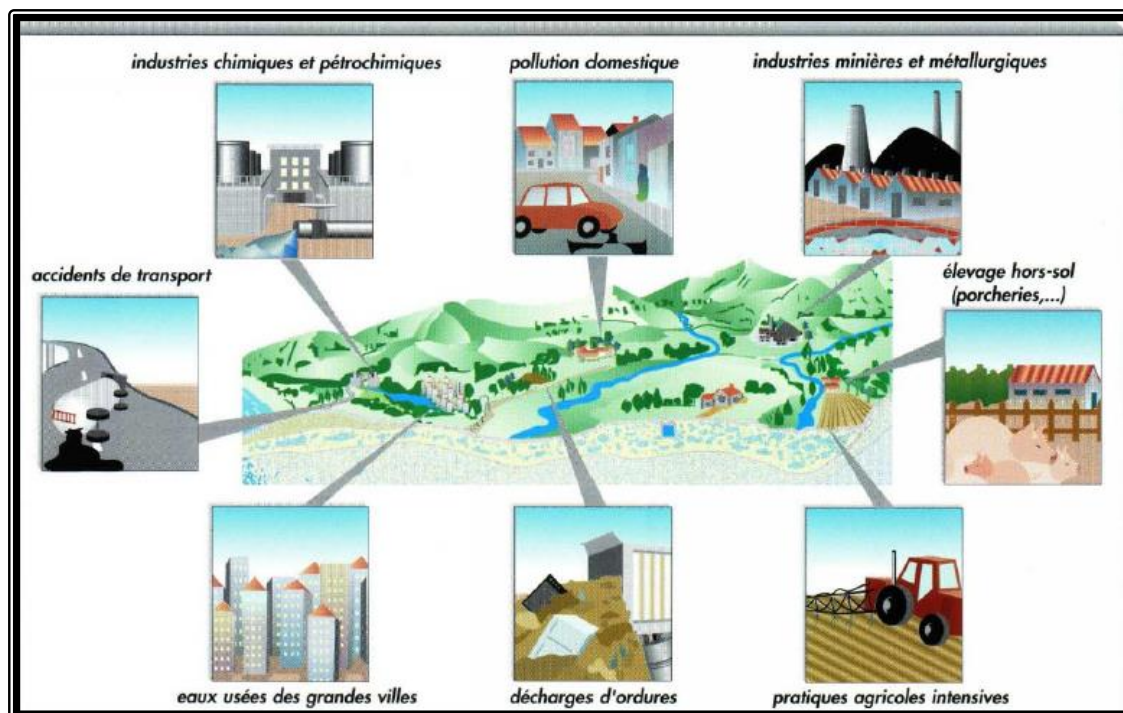


Figure 02 : les sources de la pollution des eaux souterraine.

V-4-les types de pollution :

La pollution engendrée peut être d'ordre physique (radioactivité, élévation de la température...), chimique (rejets agricoles, industriels et urbains) et microbiologique (rejets urbains, élevage...). Pour mieux évaluer la pollution, il existe des paramètres qui permettent d'estimer l'ampleur de celle-ci en fonction de son type.

- La pollution physique est liée aux facteurs influents sur l'état physique de l'eau tels que la température, le pH, la conductivité, le solide totale dissous (TDS), la présence des particules ou mousses et le changement de l'effet réfractaire de l'eau (**Chaden M. 2014**).
- Les polluants chimiques peuvent provenir de dépôts naturels dans le sol ou de rejets industriels, et chaque source de polluant à des paramètres différents.
- Les polluants microbiologiques proviennent pour la plupart des déchets humains et animaux, bien que quelques-uns se produisent naturellement (virus, protozoaires, vers et autres) (**Vincent W. 2009**).

V-5-Modes de transfert des polluants :

-Pollution ponctuelle (accidentelle) : constituée d'une source de taille restreinte et concentrée résultant d'un apport massif de produit dans l'eau à la suite d'un déversement accidentel (Es Saouini H. 2015).

-Pollution diffuse : causée par la diffusion de multiples polluants dans le temps et dans l'espace. Elle se présente sur de grandes étendues avec des concentrations beaucoup plus faibles à la source (Es Saouini H. 2015).

-Pollution temporaire : peut-être causée par l'émission exceptionnelle de matière polluante à la suite d'un incident (mauvaise manœuvre en usine, accident de la circulation...) (Es Saouini H. 2015).

-Pollution chronique : est une pollution permanente due aux émissions répétées ou constantes des polluants très rémanents (qui persistent après la disparition de la source). Elle est plus insidieuse et plus dommageable, moins spectaculaire et peut passer inaperçue (pollution agricole par les nitrates ; contaminations par hydrocarbures à partir de sols pollués) (Es Saouini H. 2015).

VI- La vulnérabilité :**VI-1-Notion de la vulnérabilité:**

Le terme « générique » de vulnérabilité est défini de différentes manières selon les disciplines et les auteurs. Il n'y a donc de définition unique et standardisée. En général, la vulnérabilité est définie par le degré d'exposition subi par un élément par rapport à un aléa donné (changement climatique, risques naturels, pollution ...). L'élément exposé peut-être une entité /territoire économique (ex. population, ville, agriculture,...).ou un milieu naturel (sol, rivière, aquifère...) (Dorfiger N. et al, 2011).

VI-2-Historique :

-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 » (**Djedi H. et al, 2016**).

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

-En 1994, BARRES écrivait « la vulnérabilité de l'eau souterraine à la pollution s'exprime par la sensibilité de nappe aux différents agents pollueurs exposés à la surface du sol avec des degrés de l'accessibilité à la nappe dépendant que de paramètres physicochimiques (**Belkerir H. et al, 2015**).

VI-3-Différents types de la vulnérabilité:

Il existe deux types de vulnérabilité : la vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique.

-La vulnérabilité intrinsèque:

La vulnérabilité intrinsèque 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 (**Kaid Rassou K. 2009**).

-La vulnérabilité spécifique:

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 (**Kaid Rassou K. 2009**).

VI-4- Notion de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraine :

La vulnérabilité, terme définie notamment en 1970 par Albinet et Margat, est la possibilité qu'a un contaminant de percoler de la surface jusqu'au réservoir d'eau dans des conditions naturelles. Cette définition a été reprise et complétée, notamment en distinguant la vulnérabilité intrinsèque de la vulnérabilité spécifique (liée à un contaminant particulier) (**Kaid Rassou K. 2009**).

VI-5-But de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraine :

La prévention contre la pollution des nappes constitue une étape importante dans la gestion des aquifères, à laquelle les scientifiques consentent de plus en plus d'efforts, notamment l'étude de la vulnérabilité des nappes d'eaux souterraines à la pollution. Cette étude permet une meilleure gestion des ressources en eau et leur protection. Elle permet aussi de préciser les zones susceptibles d'être contaminées suite à des activités anthropiques. Une fois identifiées, ces régions peuvent être visées avec prudence par les planificateurs et les utilisateurs de la terre (**Charikh M. 2015**).

VI-6-Origine de la vulnérabilité des eaux souterraines:

D'après Cazaux (2007) in Charikh (2015) le concept de vulnérabilité des eaux souterraines est basé sur un modèle « origine – écoulements – cible ».

- **L'origine de la contamination:** c'est le lieu d'infiltration du polluant au niveau de la surface du sol. Cette approche ne tient pas compte des pertes ou fuites de réseaux d'eau usée (**Charikh M. 2015**).
- **L'écoulement :** c'est le trajet du contaminant à travers le milieu naturel, c'est à dire sa composante verticale au sein de la zone non saturée. Si l'objet de la protection est le point de captage d'eau (puits, forage, exutoire), il faut également prendre en compte l'écoulement au sein de l'aquifère (**Charikh M. 2015**).
- **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 (**Charikh M. 2015**).

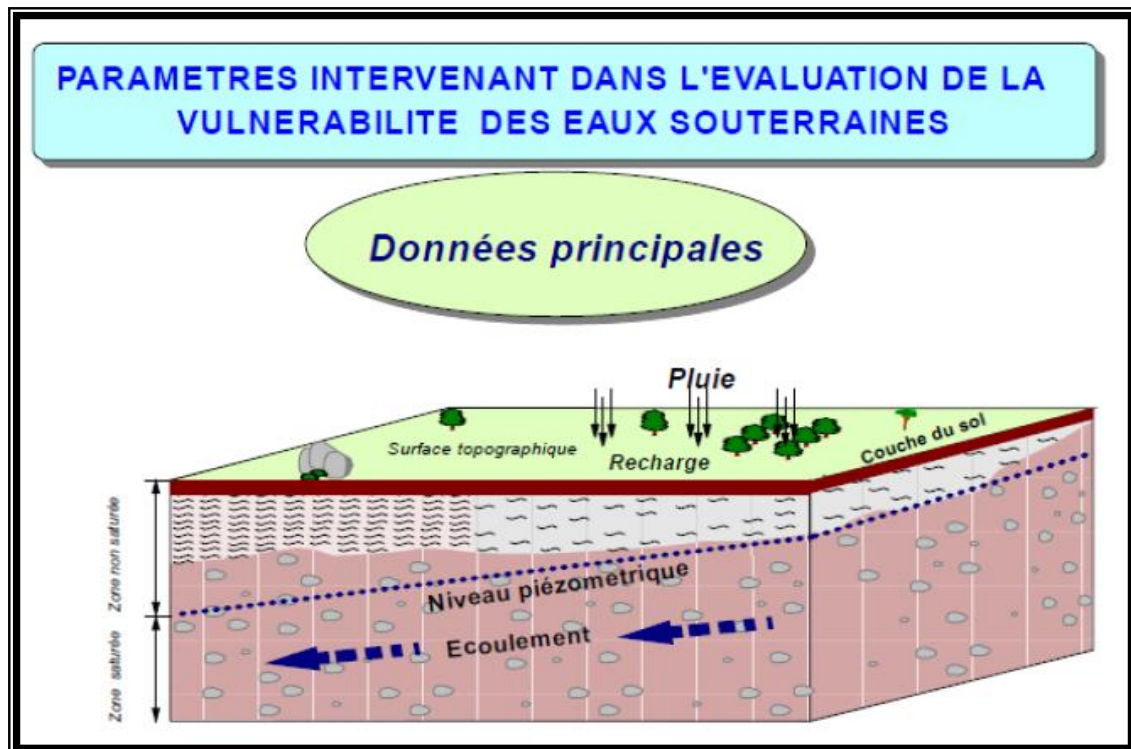


Figure 03: paramètres intervenant dans l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines (Belkebir et al, 2015).

VI-7-Etude de la vulnérabilité :

Pour étudier la vulnérabilité des ressources en l'eau face à diverses de pollutions diffuse, de nombreuses méthodes ont été développées allant des plus complexes avec des modales prenant en compte les processus physiques, chimiques et biologiques dans la zone saturée, à des méthodes de cartographie et de pondération de différents critères peuvent affecter la vulnérabilité. Elles peuvent être classées selon trois grandes familles de méthodes (Dorfiger N. et al, 2011) :

-Méthode de simulation : ils consistent à trouver une solution numérique à des équations mathématiques représentant le processus de transfert des polluants dans l'aquifère. Ils donnent une présentation de la vulnérabilité spécifique de la nappe car le « calage » des méthodes dépend des caractéristiques des polluants pris en compte (Dorfiger N. et al, 2011) ;

-Méthode de statistique : elles sont basées sur une variable qui dépend de la concentration des polluants. Ces méthodes intègrent des données sur la distribution des contaminants dans l'aquifère et fournissent des caractéristiques sur les probabilités de

contamination. Elles donnent une présentation de la vulnérabilité spécifique de la nappe (Dorfiger N. et al, 2011) ;

-Méthode de cartographie à index : Elles se basent sur la superposition de cartes de divers paramètres caractérisant l'aquifère, en donnant une note numérique à chaque paramètre. La combinaison des cartes se fait au moyen des outils de traitement multicritères et sous SIG. La représentation de degré de vulnérabilité en classe permet une visualisation rapide concernant une zone donnée et la comparaison aisée de la vulnérabilité de différente zone (Dorfiger N. et al, 2011).

VI-8-L'indice de vulnérabilité :

L'indice de vulnérabilité de la nappe phréatique à l'intrusion saline est défini par la somme de tous les produits calculés à partir de la multiplication de la valeur attribuée à chaque paramètre (rangs) par son importance relative (poids), selon l'expression suivante :

$$\text{-Indice de vulnérabilité} = \sum_{i=1}^n P_i R_i$$

- P_i est le poids accordé à chaque paramètre i

- R_i est le rang ou la nation accordée à chaque paramètre

VI-9-Maladies à transmission hydrique :

VI-9-1-Maladies d'origine bactérienne :

□ **Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes :** ce sont de véritables septicémies dues à des salmonelles : *Salmonella typhi* et *paratyphi A, B et C*. Elles sont caractérisées par de la fièvre, céphalées, diarrhée, douleurs abdominales, accompagnées d'un abattement extrême (le tufos) et peuvent avoir des complications graves, parfois mortelles : hémorragies intestinales, atteintes hépatiques, respiratoires, neurologiques. La contamination se fait par voie digestive à partir d'eaux contaminées par des matières fécales, d'aliments avariés ou encore par des mains sales. La bactérie est retrouvée dans les selles du malade dans 50 à 80% des cas. Le traitement se fait grâce à l'antibiothérapie : notamment par la ceftriaxone, les fluoroquinolones et le chloramphénicol.

□ **Choléra :** Le choléra est un germe pandémique : *Vibrio cholerae* qui s'attaque à l'intestin grêle, c'est une maladie à incubation courte allant de quelques heures à 5 jours. La maladie est contractée en buvant une eau contaminée ou bien des aliments avariés par la bactérie. Il se caractérise par une diarrhée intense et elle s'accompagne

de vomissements et de douleurs épigastriques avec anurie et crampes musculaires, son évolution est mortelle en l'absence de réhydratation et d'antibiothérapie. Le mécanisme d'action est dû à une toxine de 103 acides aminés qui se fixe sur les cellules du duodénum responsables de l'absorption de l'eau de la lumière intestinale ce qui conduit à une perte d'eau de 8 à 10 L/jour. En 2008, 190 130 cas de choléra ont été déclarés à l'OMS dont 5 143 décès (taux de létalité : 2,70%).

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

VI-9-2-Maladies d'origine virale :

▪ **Hépatite A** : nommée également hépatite infectieuse, elle est provoquée par un virus de la famille des Picornaviridae. Sa transmission est oro-fécale et sa durée d'incubation est de 2 à 6 semaines, elle est caractérisée par son aptitude à diffuser via l'estomac vers l'intestin et le foie. Il est particulièrement fréquente dans les pays à faible niveau d'hygiène, il induit souvent un jaunissement de la peau, fièvre, fatigue, nausées et vomissements, des urines brun-doré avec des selles décolorées, et ne conduit que rarement à un dysfonctionnement hépatique chronique (inflammation du foie).

▪ **Entérovirus** : les entérovirus sont parmi les plus courants et les plus importants agents pathogènes pour les humains. La poliomyélite est une maladie virale due au poliovirus qui conduit à une paralysie, la contamination se fait par voie digestive par l'intermédiaire de l'eau ou des aliments. Le virus provoque dans un premier temps une légère fièvre, au bout de quelques jours, chez 1 à 2% des sujets infectés, il atteint les neurones moteurs de la corne antérieure de la moelle épinière dont la destruction est responsable de forme de paralysies musculaire.

Chapitre II

Matériels et méthodes

I- Matériel :

I- 1- 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 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 une distante de 35 Km de chef-lieu de la wilaya. Elle est chef-lieu de daïra, limitée administrativement par :

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

La commune de Souk El Tenine est constituée de Chef-lieu de la commune, et une agglomération secondaire Lota située à l'Ouest et Louasta située au Sud de l'ACL. La zone éparsé 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. (Fig 4)

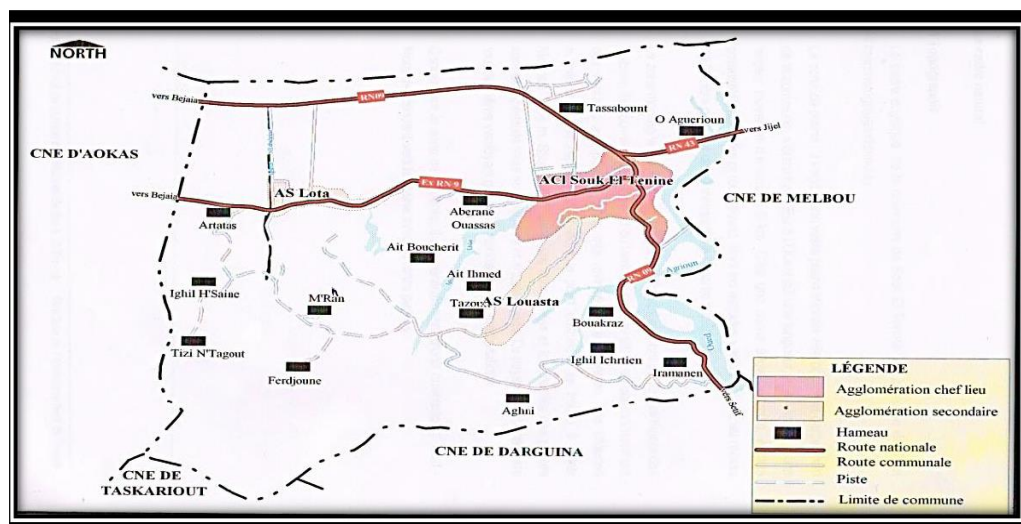


Figure 04 : Organisation spatiale de la commune de Souk El Tenine.

I-1-2-Population :

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 est agglomérée (77,39%), dont (47,95%) est concentrée dans chef-lieu, la population éparsée représente environ 23% de la population totale). (Tableau N°2, Fig 5).

Tableau 02 : 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 éparsée	3009	22,61
Total	13311	100

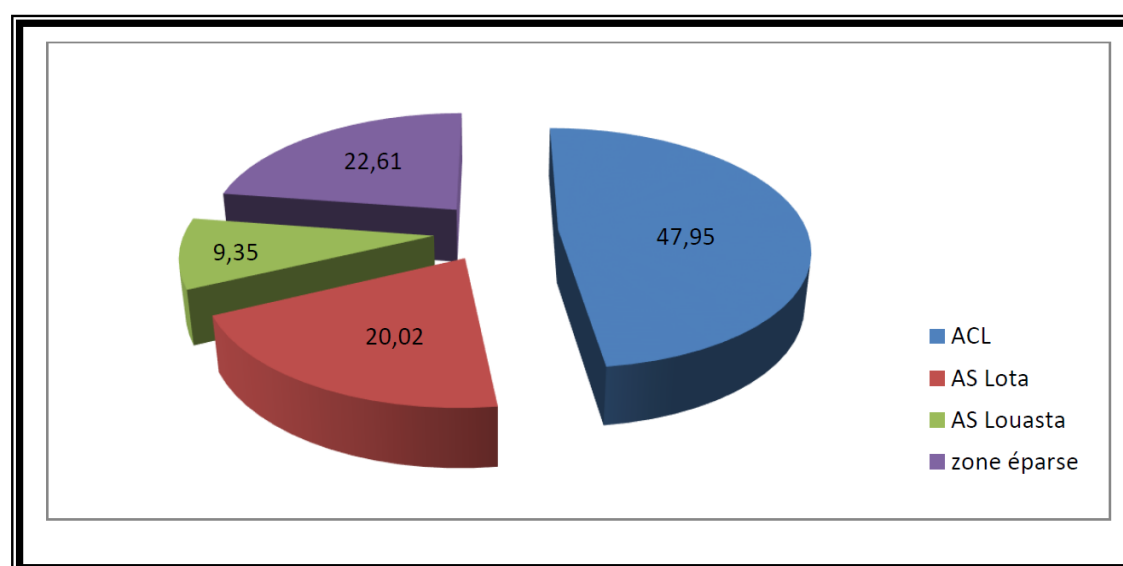


Figure 05 : Répartition de la population par zone (%).

I-1-3-Bassin versant de la région d'étude :

Le bassin versant de Souk El Tenine appartient au grand bassin côtier constantinois qui porte le numéro (03 et 02). (Fig. 06)

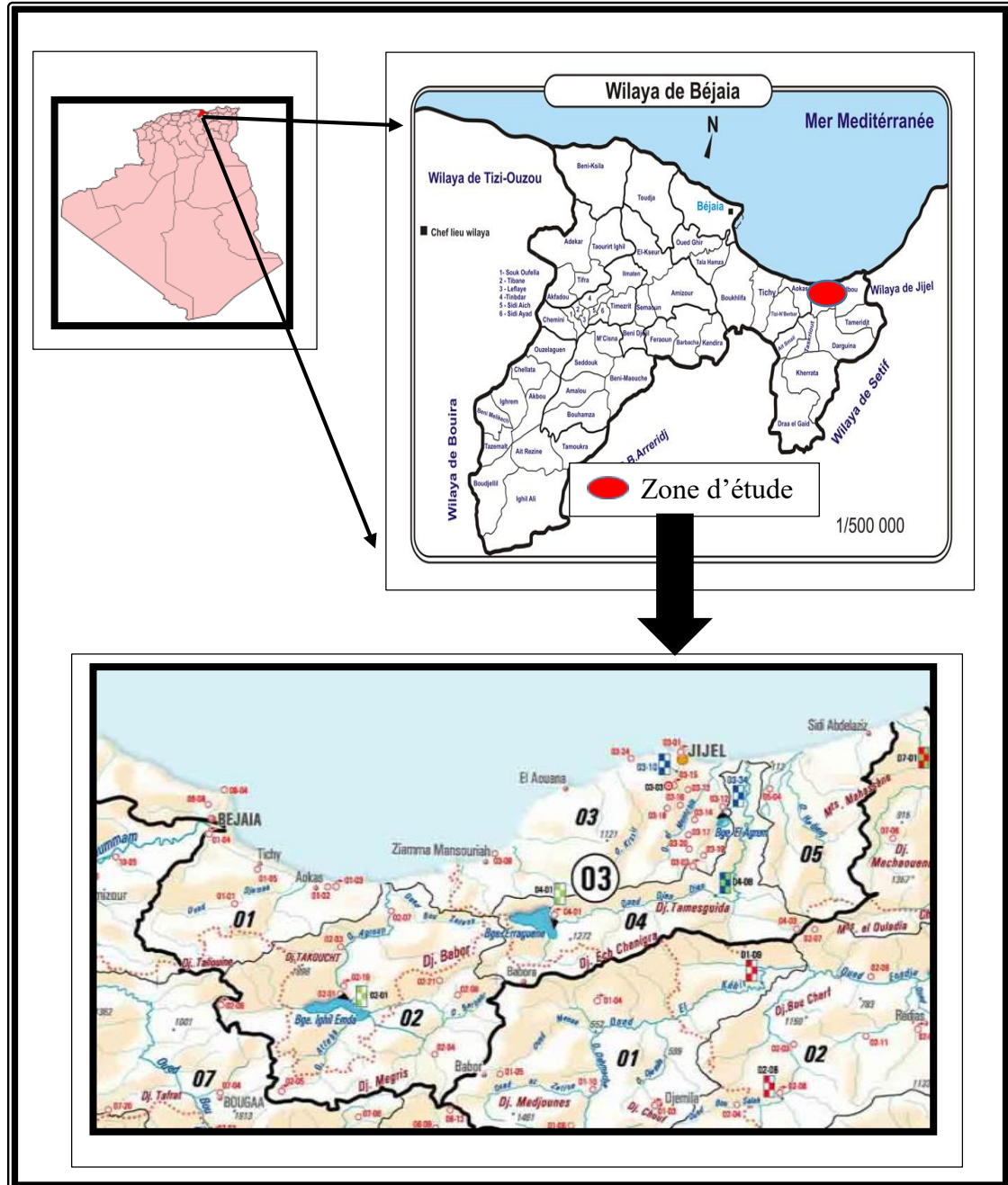


Figure 06 : La carte du sous bassin de la région Souk El Tenine. (Source l'ANRH).

I-2-Délimitation du bassin versant de la zone d'étude :

Pour délimiter le bassin nous avons superposés le papier calque sur la carte topographique de Ziama (échelle 1 /50000), nous projetons les points des limites du bassin Souk El Tenine avec les réseaux hydrographiques en coordonné Lambert (X, Y), et nous avons utilisés du logiciel Surfre à fin de tracer le bassin versant. (Fig. 07).

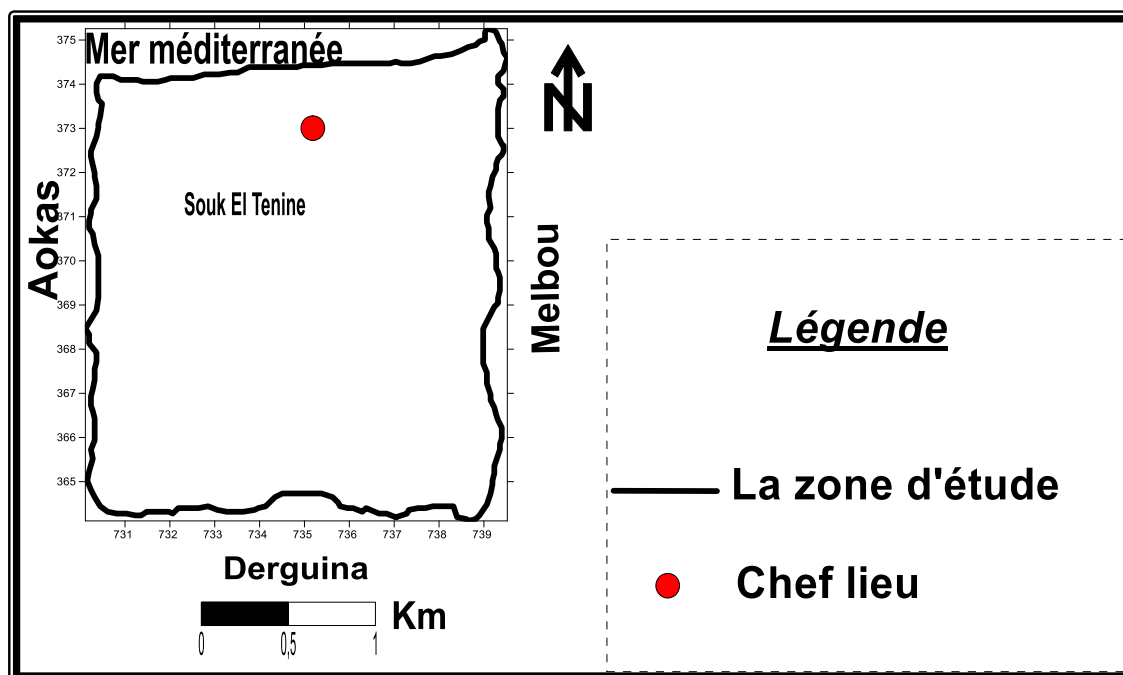


Figure 07 : La carte de bassin versant la région Souk El Tenine.

I-3-Climatologie :

Les facteurs climatiques intervenant dans les processus de transformation (biodégradation) des matières organiques contenues dans les déchets ; sont les pluies, les températures et les vents.

Le territoire de la commune 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 de type humide tempéré, l'analyse climatique de la région d'étude est faite sur la base des données obtenues à partir de la station météorologique de l'Aéroport de Bejaia.

I-3-1-La 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.

❖ **Répartition des températures moyenne mensuelles interannuelles :**

La distribution moyenne mensuelle interannuelle des températures montre que les mois les plus froids sont Janvier et Février avec une valeur de 11.5 C° alors que le moins le plus chaud est Aout avec une moyenne observée de l'ordre de 26.5 C°.

Tableau 03 : Moyenne mensuelle interannuelles des températures (C°). Période (2008-2017) (source la station météorologique de l'aéroport de Bejaia, 2017)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T(C°)	11.5	11.6	13.5	16.1	18.8	21.7	25.5	26.5	23.7	20.4	15.8	12.4

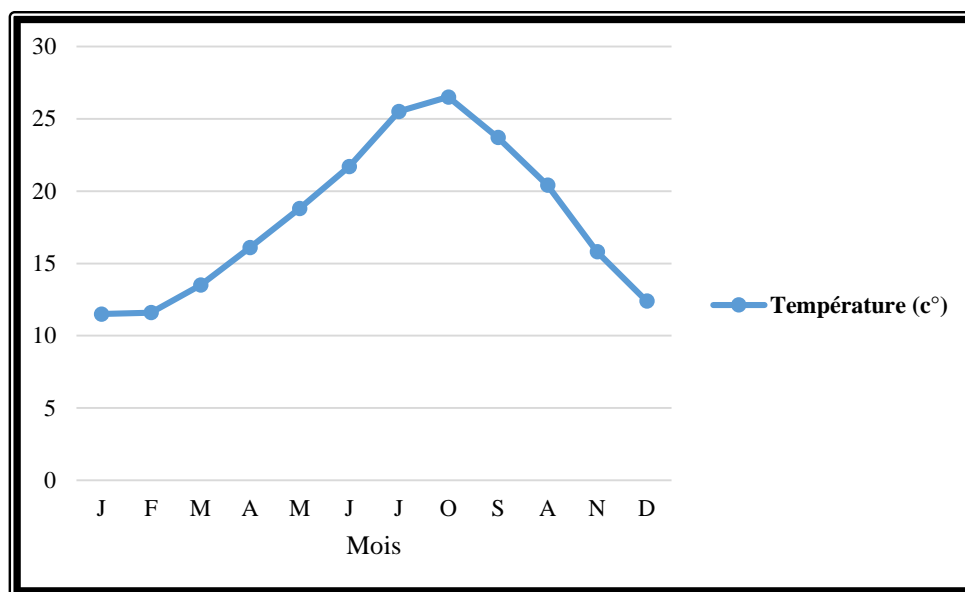


Figure 08 : Température moyenne mensuelle interannuelle (C°). Période (2008-2017).

I-3-2-Humidité :

Le taux d’humidité présent dans l’air (quantité de vapeur d’eau) nous renseigne sur la possibilité de formation des nuages et donc des précipitations.

On observe que le pourcentage de l’humidité, relative à notre région d’étude, sont élevés du mois de Mars à Mai avec un maximum de 78.9 %, et des taux moins élevés en mois Juillet et le mois Novembre avec une moyens de 75 %. L’humidité atteste l’influence du milieu marin sur cette région. (Tableau 04) (Fig 09)

Tableau 04 : humidité moyenne mensuelles interannuelles en (%) période (2008-2017), source : la station métrologique de l’Aéroport de Bejaia .2017.

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

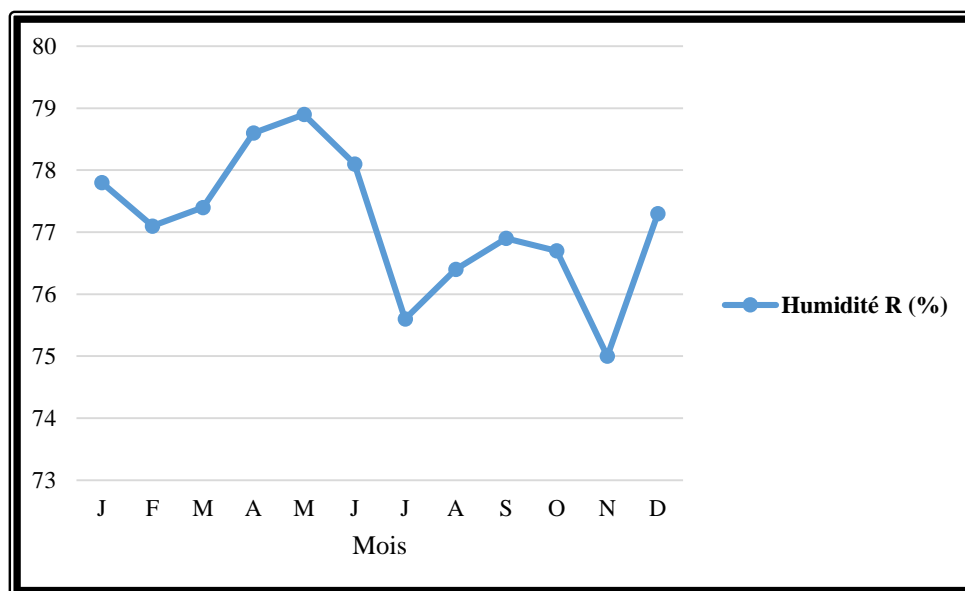


Figure 09 : L’humidité relative moyenne mensuelle interannuelle pour la période (2008-2017).

I-3-3-le Vent :

Les vents ont un effet important sur les phénomènes d'évaporation (ils augmentent l'intensité de l'évapotranspiration), de précipitation et, à un degré moindre sur la température.

Les vents sont fréquents mais généralement calmes avec une variabilité relative de leur vitesse : elles sont comprises entre 2.68 m/s et 3.74 m/s ; les vitesses restent faible durant la saison estivale et forte durant la période hivernale. (Tableau 05) (Fig 10)

Tableau 05 : moyenne mensuelles interannuelles de la vitesse de vent en (m/s) période (2008-2017) source : station métrologique de l'aéroport de Bejaia .2017.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Vent	3.47	3.41	3.01	2.68	2.78	2.64	2.73	2.75	2.63	3.06	3.23	3.74

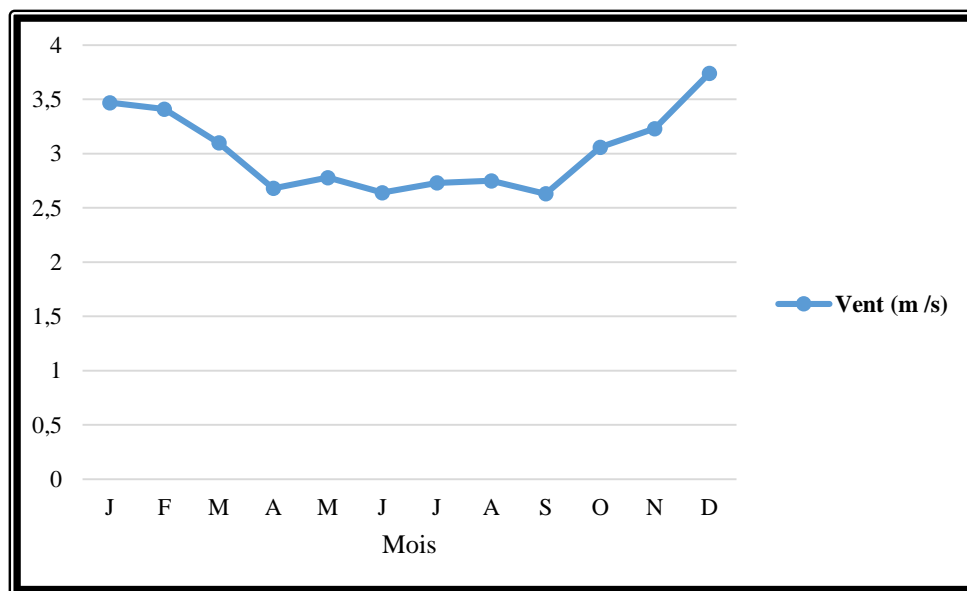


Figure 10 : Moyenne mensuelles interannuelles de la vitesse de vent en (m/s) période (2008-2017).

I-3-4-Précipitation :

Les précipitations est la lame d'eau recueillie dans le pluviomètre ou enregistrée dans le pluviographe soit sous forme liquide ou solide, elles constituent une composante essentielle du cycle de l'eau. Elles sont l'unique entrée principaux systèmes hydrologiques continentaux qui sont les bassins versants et permettent le renouvellement total ou partiel des nappes.

Les quantités maximales des précipitions moyennes mensuelles interannuelles sont respectivement pour le mois de janvier 113.2 mm, février 116 mm et aussi le mois de novembre avec un taux de 110 mm et le mois le plus bas de précipitation c'est le mois juillet avec 3.02 mm. (Tableau 06) (Fig 11)

Tableau 06 : moyenne mensuelles interannuelles des précipitations par (mm) période 2008-2017 Source : station métrologique de l'aéroport de Bejaia .2017.

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

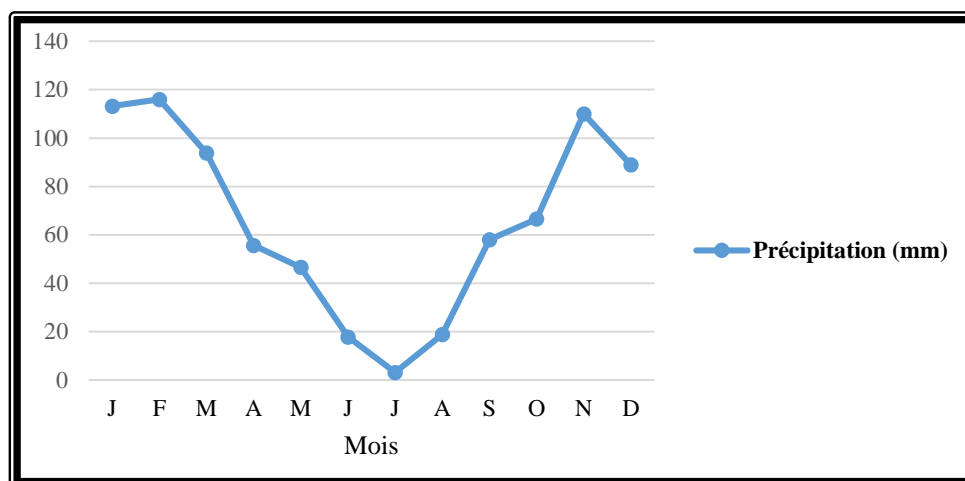


Figure 11 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles par (mm) période (2008-2017).

I-3-5-Diagramme ombrothermique :

Le diagramme appelé aussi pluviothermique ou encore courbe de Gausse $P=2T$, est la combinaison des températures et précipitations mensuelles moyennes interannuelles, il permet de faire la distinction entre la période humide et sèche.

D'après le diagramme, la région d'étude possède une période humide qui s'étend du mois de Septembre jusqu'à mois de Mai et d'une période sèche qui s'étend de début du mois de Mai jusqu'à la fin d'Aout. (Fig 12)

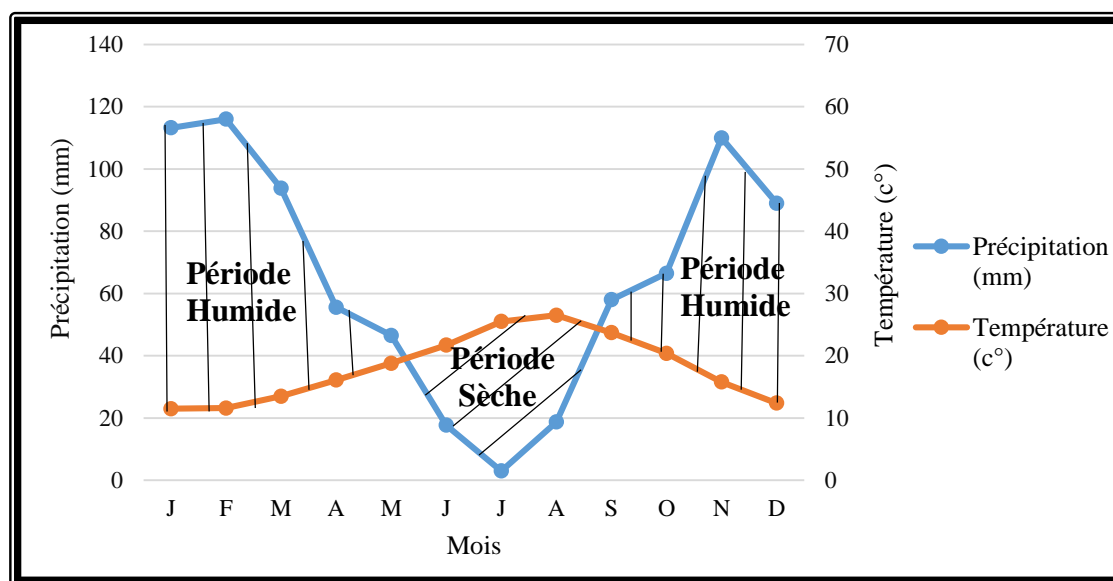


Figure 12 : Diagramme ombrothermique de la région d'étude.

I-4-Topographe :

Le cadre physique de la région d'étude est composé de deux unités morphologique :

-La plaine :

Il s'agit d'une vaste plaine littorale, elle occupe la partie Nord de la commune, s'étalant de l'Est à l'Ouste sur une longueur de 4,5 km, et d'une largeur moyenne d'environ 1,8 km, à forte potentialité agricoles et touristiques. Altitudes varient entre 2-10 m.

-La zone montagneuse :

Il s'agit des reliefs littoraux qui font partie des Babors, ils couvrent la partie Sud, et se caractérisent par des versants aux pentes fortes, très ravinées et accidentées. Le point culminant se trouve à Adrar Mesbah 1384 m. Le paysage verdoyant grâce à l'importance des précipitations. La pente a une orientation; Sud-Nord.

I-5-Le sol :

La commune de Souk El Tenine constitue de 80% des terres fertiles, le sol sableux tout le long du littoral, et Argileux dans toute la plaine, et la partie montagneuse referme des sols argileux et marneux.

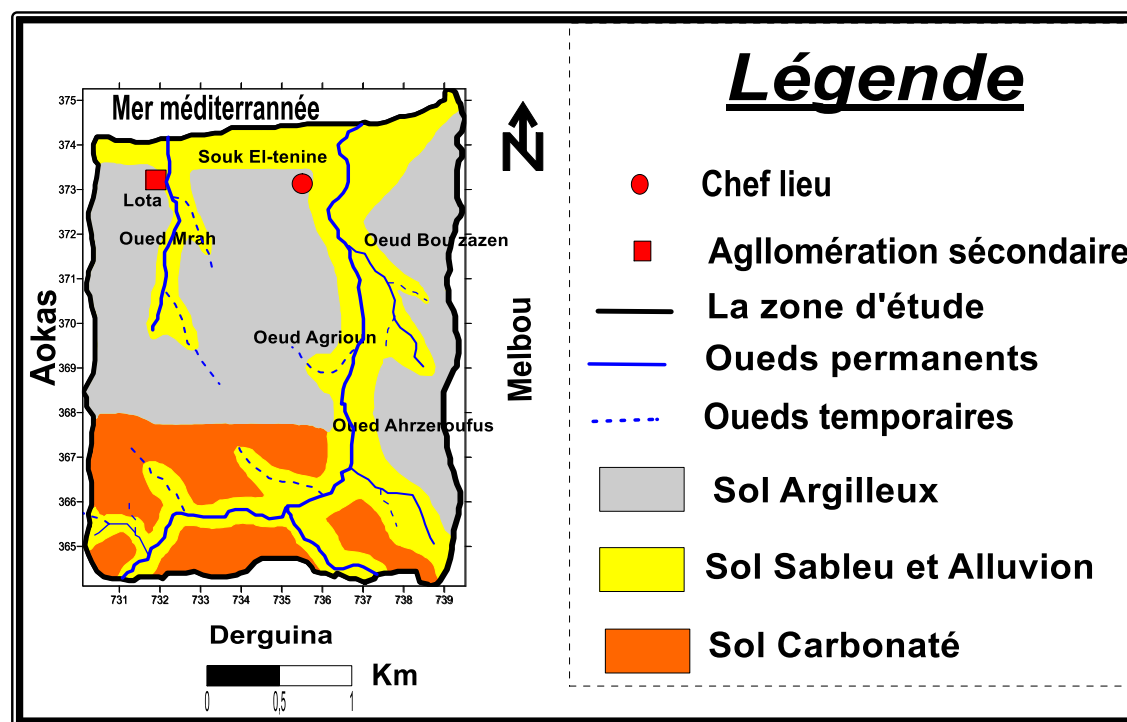


Figure 13 : Carte du sol de la région d'étude.

I-6-Réseaux hydrographique :

Le réseau hydrographique est caractérisé par la présence des oueds à écoulement permanent dont les principaux, Oued Agrioun, Oued Bouzaazen, Oued Aharzeroufus et Oued Marh (Fig 14).

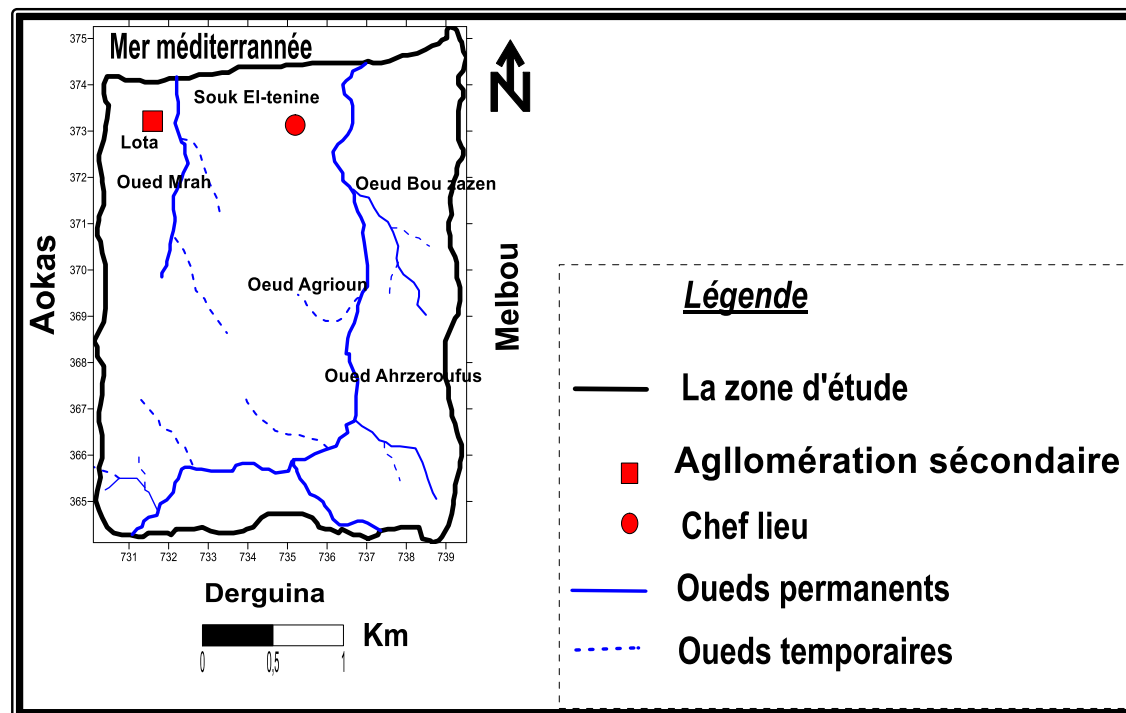


Figure 14 : La carte du réseaux hydrographique de la région d'étude.

I-7-la géologie :

Du cap d'Aokas à Souk El Tenine, l'intérieur longe le flan nord du synclinal d'oued Marsa. Le crétacé supérieur y est schisteux avec quelques bancs marno-calcaires lenticulaires. Sur le flan sud du synclinal. Il est transgressif sur les schistes albo-aptiens.

L'anticlinal du djebel Imoulentaour qui limite au sud le synclinal d'Oued Marsa montre son flanc nord renversé sur le crétacé. De la route on 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. (Derguini N. et Adrar H. 2004).

D'après la carte géologique (Fig 15) de Souk El Tenine à Kherata, l'itinéraire recoupe successivement :

- 1- Le traie de Souk El Tenine.
- 2- La terminaison de Djebel Imoulentaour.
- 3- Le synclinal de Beni Smail.
- 4- Le massif de Kherata.

Les terrains rencontrés sont :

1-Alluvions actuelles : Alluvions récentes et cônes de déjection de l'oued Aguerioun, ces alluvions sont rencontrées le long de l'oued.

2-plage est d'une actuelle : Elle s'étend tout le long du littoral de la commune.

3-Alluvions marécageux : les cordons dunaires s'étendent de cap Aokas aux falaises de Béni Seghoual.

4-Alluvions récents et cône de déjection : de oued Agrioun et des oueds côtiers à régime torrentiel.

5-Plage marines : de 15 m et au-dessous formant cordon littoral de golfe de bougie formée de cailloutis de sables et grés contient très peu de fossiles.

6-Cénomaniien : cette assise débute par des marnes noires et marno-calcaire à bélemnopsis ultimes.

7-Albien : Se présente sous forme de schiste siliceux et quartzites noires et brunes.

8-Calcaires à silex (suessonien) : calcaires à silex .calcaires blancs bien lités et marno-calcaire riche en silex. Des argiles schisteuses noires à lits glauconieux se trouvent parfois entre les calcaires à silex et les mornes schisteuses.

9- jurassique :

a. Lias inférieur : Dolomies et calcaires dolomitique souvent bréchoides, en quelques points calcaires en plaquettes.

B. lias moyen : Dolomies et calcaires dolomitiques, calcaires massifs et calcaires en grands bancs, des nodules siliceux se montrant dans les parties supérieures.

C. lias supérieur : Calcaires marneux en petits bancs régulier intercalés par des marnes schisteux et marneux calcaire.

10-Lias calcaire et dolomique : La série crétacée qui comprend toutes les subdivisions reconnues dans, l'Atlas Tellien occupe une très grande surface sur cette feuille. Il est très important de noter ici la présence de conglomérats parfois puissants inter-stratifiés, dans les schistes et marno-calcaire à ammonites.

11- Dolomies, calcaires dolomitiques : Calcaires massif est calcaires en gros bancs, modes nodules siliceux se montrent dans les petites supérieurs.

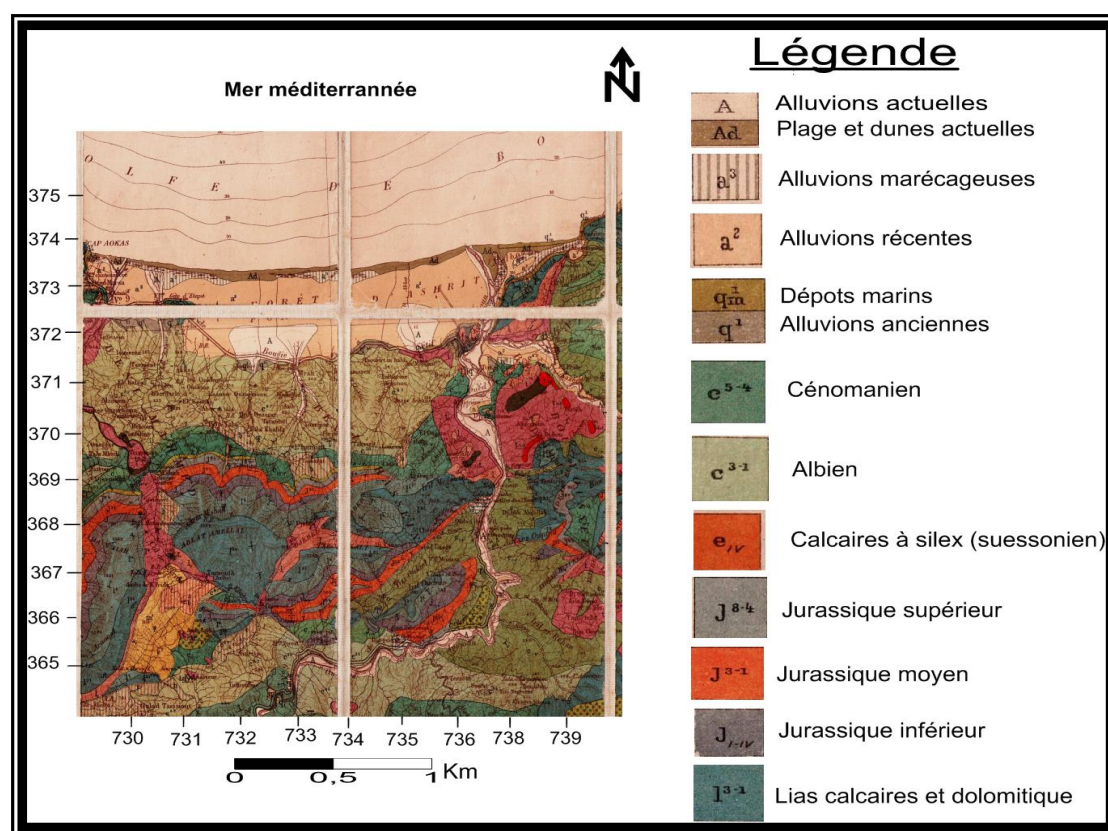


Figure 15 : Carte géologique de la région d'étude

(Extraie de la carte géologique ZIAMA échelle 1/500000)

I-8-Hydrogéologie

Selon les études hydrogéologiques des plaines côtières de Bejaia faite par la direction des études de milieux et de la recherche hydraulique (DEMRH) en 1975 et selon les forages réalisés dans la plaine ; on distingue deux types d'aquifères :

1- Aquifère des dunes côtières.

2- Aquifère des alluvions du quaternaire.

Une étude géophysique a été réalisée par la direction d'hydraulique afin de mettre en évidence les deux aquifère.

I-8-1-Description des formations aquifères :

I-8-1-1-Les formations dunaires :

Elles forment un cordon dunaire représenté essentiellement par des sables anciens d'épaisseur importante d'après géophysique. En conséquence, elles constituent un réservoir en l'eau non négligeable, mais leur contact avec la mer par le biseau salé nécessite une exploitation réglementée.

I-8-1-2-La formation aquifère des alluvions :

C'est la formation la plus importante du point de vue hydrogéologique. Elle est constituée de sables, graviers et galets avec de passages parfois d'argile ou de marne.

I-8-2-Alimentation de la nappe superficielle :

L'alimentation de la nappe regroupe l'ensemble de volume qui entre dans le système aquifère de la région avec le concoure :

-la recharge de la nappe via l'apport de précipitation,

-la recharge par les oueds, c'est -à -dire l'inter action eau de surface eaux souterraine.

.

I-8-3-Décharge de la nappe : La décharge de la nappe fait par :

-Prélèvement par pompage.

-Drainage verticale vers les formations sous-jacentes.

-L'évapotranspiration.

I-9-La piézométrie :

La synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique est la carte piézométrique, elle présente à une date donnée la fluctuation des eaux.

La carte piézométrique a été établie à partir des mesures de niveaux piézométriques que nous avons effectuées sur le terrain. Fig 16

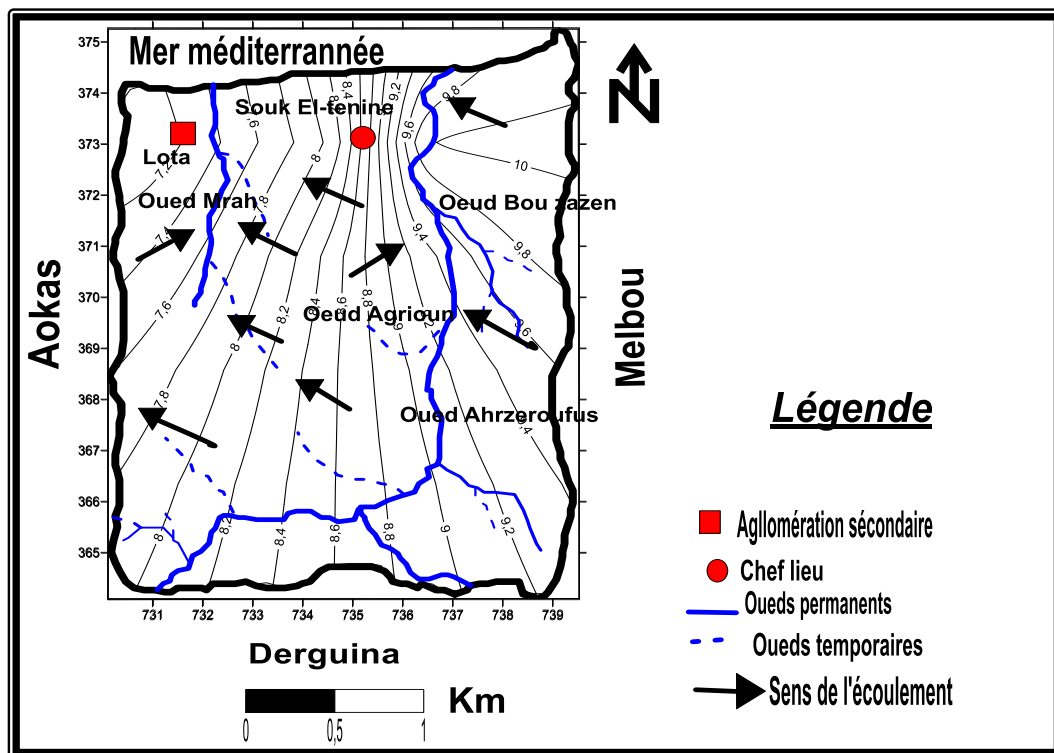


Figure 16 : Carte piézométrique

❖ Interprétation de la carte piézométrique :

Le niveau piézométrique diminue de l'Est à l'Ouest, ce qu'indique le sens de l'écoulement des eaux de l'eau dans la nappe est drainé par les oueds. Les eaux souterraines à un sens Sud-Est et Nord-Est.

I-10-Sources de pollution :

Actuellement, la région étudiée reçoit 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, le mécanisme de pollution des eaux souterraines est un processus évolutif dans l'espace et dans le temps, difficilement maîtrisable.

I-10-1-pollution 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 ci-dessus :

Tableau 07 : Répartition des terres agricoles. (Direction de l'environnement de Bejaïa 2008)

Nature du terrain	(Ha)	(%)
Superficie agricole utile	1595	60,69
Forêts	890	33,86
Terres improductives	102	3,88
Pacages et parcours	41	1,56
Total	2626	100

La superficie agricole utile au niveau de la commune est de 1595 ha, environ 60,69 % de la superficie totale, ce qui signifie une grande pratique des cultures et l'élevage et parallèlement d'utilisation des engrais chimiques et pesticides qui influencent fortement sur la qualité des eaux souterraines.

I-10-2-Pollutoin industrie:

Les industries sont toujours ces aspects productifs et économiques importants pour satisfaire les besoins de la population, mais ils ont des effets néfastes préjudiciables et impacts non négligeables sur la santé, les entreprises à titre industrie

sont un peu partout sur le territoire de Souk El Tenine qui génèrent des rejets solides qui destinés vers la décharge non contrôlée et des rejets liquides qui sont acheminés directement vers les oueds surtout oued Agrioun et quelques vers le réseau d'assainissement ou bien vers bassin de décantation, on trouve :

-Industries chimique et plastique : Fabrication de matière plastique.

-Industries agroalimentaires : Représentées par les entreprises d'élevage et la vente volailles, exemple : GAZAL.

-Matériaux de constructions : Matériels mécaniques et électriques pour fabrication des matériaux tels que béton et parpaing et carrelages.

-Industries diverses :

- Imprimerie ou atelier de reproduction graphique sur tout support tel que le papier, carton.

- Atelier de réparation et d'entretien de véhicules et d'engins à moteurs.

- Les lavages et dégraissage.

- Les huileries.

I-10-3-La pollution urbaine :

I-10-3-1-Décharge publique non contrôlée :

Une décharge intercommunale (Souk El Tenine et Malbou) brute non contrôlée, située sur la rive gauche d'oued Agriou qui occupe une surface de 4 Hectares contribue avec un taux élevé à la pollution de la région. Les lixiviats et la matière organique en décomposition s'infiltreront vers la nappe qui ou bien avec lessivage rejoindra l'oued après la mer.



Figure 17 : La décharge de Souk El Tenine (Mai 2018).

I-10-3-2-Réseau d'assainissement :

Le réseau d'assainissement de la commune de Souk el tenine a été une problématique pour une longue durée vu son implantation et sa planification anarchique et son versement direct sur l'Oued Agrioun, aussi une présence des fosses septique sans aucune étude ou traitement provoque la présence de pollution. Jusqu'au en 2013 où la commune à commencer d'utilisation et l'exploitation de la station d'épuration qui il reçoit d'environ 50% de réseau d'assainissement communale, Est le reste rejeter vers les oueds ou bien vers les fosses.

I-11-Les prélèvements :

Le prélèvement de l'eau se fait dans 4 puits, oued Agrioun, fourrage et une source, après avoir le remplissage deux bouteilles de 1.5 litre à chaque point d'échantillonnage nous avons mis ces bouteilles dans la glacière pour avoir des résultats fiables. Les dates de prélèvements pour les métaux lourds en 15-04-2018 et pour analyses physico-chimique et microbiologique en 25-04-2018.

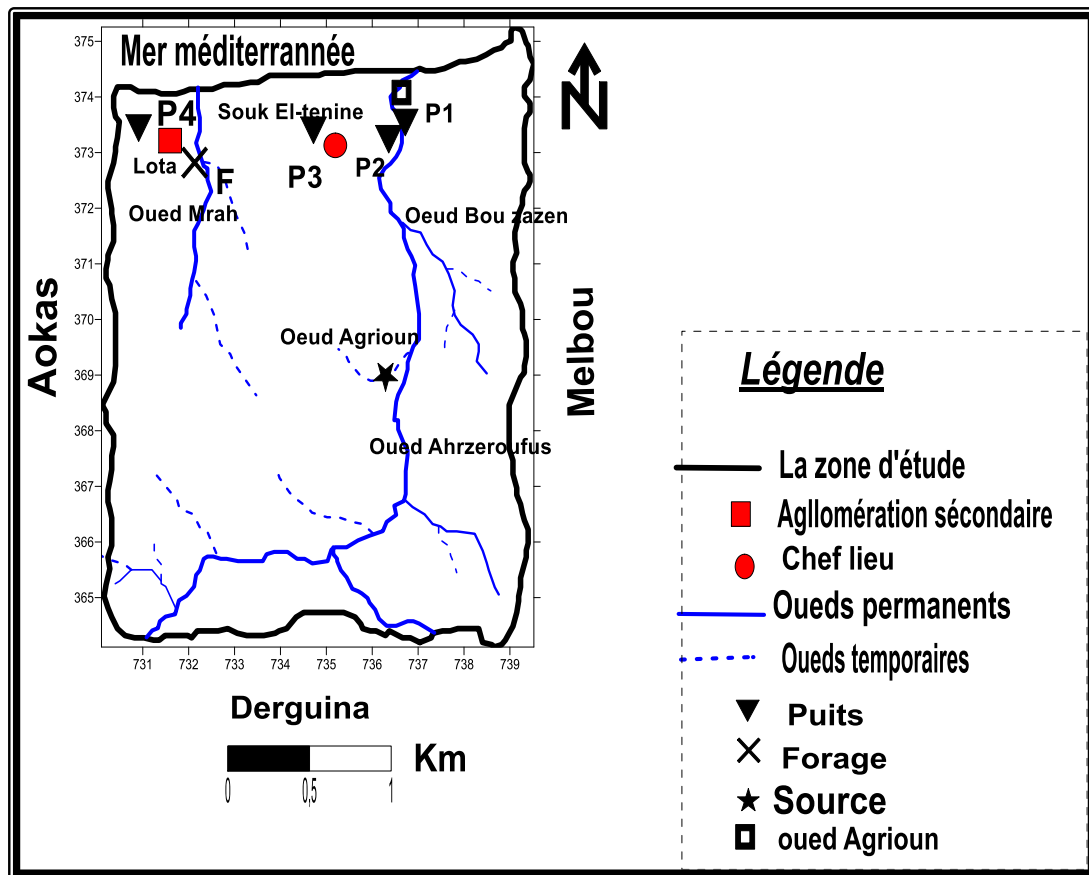


Figure 18 : présentation les sites d'échantillonnage.

I-12-Présentation de matérielles utilisées :

I-12-1-Logiciel surfer :

Le logiciel Surfer permet de réaliser des cartes à partir d'un modèle numérique de terrain en coordonnées Lambert 93. Et de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières des points x, y, et z, afin de les ordonner. Surfer contient plusieurs options cartographiques qui permettent de produire une carte représentant le mieux possible les données utilisées. La carte peut être améliorée en affichant les points de données, en combinant plusieurs cartes ou en ajoutant des dessins ou des annotations (Samul W. 2016).

-Introduction des coordonnées (x, y) ;

- Réalisation de la carte : une fois les coordonnées (x, y) sont utilisables dans le worksheet, on passe à l'étape grille (grid) et on trace la carte map.

Le même principe pour l'ensemble des cartes

- Le surfer (11) conduit les commandes suivant :

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.

I-12-2-Logiciel diagramme :

Ce logiciel nous a permis d'analyser nos données physico-chimiques et en faire ressortir plus d'informations en peu de temps. C'est un logiciel d'hydrochimie qui facilite l'exploitation des données d'analyse d'eau. On l'a utilisé pour l'établissement des diagrammes : piper, Schoeller-Berkloff, Stabler et SAR.

I-12-3-Multi –paramètre :

C'est un appareil de mesure des paramètres sur le terrain, ces paramètres sont le Ph, température, salinité, teneur de dissolution saline (TDS) et conductivité ; nous avons utilisés le multi-paramètre de types Ex stik II.



Figure 19 : Photo de multi-paramètre de terrain.

I-12-4-Le GPS (Global Positioning System):

Le système GPS (Global Positioning System) est un système basé sur une constellation de 24 satellites d'observation de la terre émettant en permanence des signaux datés vers le globe et sur un réseau de stations de surveillance de ces satellites au sol. Le GPS a pour rôle de fournir via un récepteur approprié des données spatio-temporelles (latitude, longitude, élévation,..) de navigation quel que soit la position géographique sur le globe terrestre. Localisation est possible si au moins quatre satellites sont visibles avec la possibilité de déterminer quatre inconnues : les trois coordonnées spatiales, ainsi que le temps (**Tatso. 2011**).



Figure 20 : Photo de GPS de terrain.

II-Méthode :**II-1-Méthode GALDIT :**

L'analyse de la vulnérabilité d'un aquifère par rapport à l'intrusion saline est un cas particulier à la fois de la vulnérabilité spécifique et de la vulnérabilité intrinsèque, d'une certaine manière. Des critères de salinisation doivent être pris en compte en plus des critères relatifs à la vulnérabilité intrinsèque. Dans ce sens, il s'agit d'une vulnérabilité spécifique. En termes de méthode de cartographie à index la méthode GALDIT est la seule méthode dédiée à la vulnérabilité des aquifères côtiers par rapport à l'intrusion saline (**Dorfliger N. et al, 2011**).

II-1-1-Définition de la méthode GALDIT :

La méthode GALDIT est une méthode de cartographie de la vulnérabilité des aquifères côtiers, dédiée aux risques d'intrusion saline. Elle a été initialement développée par Chachadi et Lobo-Ferreira en 2001. La méthode a été notamment appliquée dans la région côtière de Goa en Inde et d'Algarve au Portugal (**Dorfliger N. et al, 2011**).

La méthode GALDIT, méthode spécifique pour caractériser la vulnérabilité des aquifères côtiers. Elle utilise six paramètres :

- ❖ Le type d'aquifère : confiné ou non confiné (**G**roundwater Occurrence) ;
- ❖ La conductivité hydraulique de l'aquifère (**A**quifer Hydraulic Conductivity) ;
- ❖ La profondeur de la nappe en dessous du niveau de la mer, (Height of Groundwater **L**evel below Sea Level);
- ❖ La distance par rapport au rivage (**D**istance from the Shore) ;
- ❖ L'impact de l'intrusion saline présente dans la zone d'étude (**I**mpact of existing status of seawater intrusion in the area);
- ❖ L'épaisseur de la nappe phréatique (**T**hickness of the aquifer).

Les six variables forment l'acronyme « GALDIT ».

Le principe de la méthode GALDIT prévoit trois parties significatives: le poids (ou importance), le rang, et la classe. Chaque facteur GALDIT est évalué en respectant l'autre; ceci dans le but de déterminer le rôle relatif de chaque facteur :

-Le poids (ou l'importance) : varie de 1 à 4. Les facteurs les plus importants ont une valeur de 4, et le moins significatif correspond à 1. Ceci indique que le paramètre a peu d'influence sur le processus d'intrusion saline.

-Le rang : variant entre 2,5 et 10, selon les conditions locales. Les valeurs élevées correspondent à une forte vulnérabilité.

-La classe : montre le lien entre les caractéristiques hydrogéologiques locales et la valeur du paramètre.

II-1-2-Description des paramètres de GALDIT :**1-paramètre G (Type d'aquifère) :**

Le paramètre G type d'aquifère a une influence sur le degré d'avancement de l'eau de mer dans la nappe, généralement les eaux souterraines se circulent dans des couches géologiques et celles-ci peuvent être confinées (captives), non confinées (libres), ou semi confinées (semi captives). Par exemple une nappe phréatique libre, sous des conditions naturelles, sera plus affectée par l'intrusion de l'eau de mer qu'un aquifère confiné (Saliha N. 2014).

2-paramètre A (La conductivité hydraulique de l'aquifère) :

Exprime la facilité du matériel aquifère à laisser s'écouler l'eau. Ce paramètre est utilisé pour mesurer le taux de courant d'eau dans la nappe aquifère. C'est le résultat de la communication des pores (porosité efficace) dans les sédiments et les fractures dans les roches consolidés. Le mouvement de l'eau de mer vers la terre est influencé par la conductivité hydraulique : pour une conductivité plus élevée, l'intrusion de l'eau de mer serait plus significative. Des couches d'argile ou des digues présentes parallèlement à la côte agiraient comme un mur à l'intrusion de l'eau de mer. (Niazi S. 2007)

3-Paramètre L (L'altitude de la nappe par rapport au niveau de la mer) :

Le niveau des eaux souterraines par rapport à l'altitude moyenne de la mer est un facteur très important dans l'évaluation de l'intrusion d'eau de mer dans une région par ce qu'il détermine la possibilité de la pression hydraulique pour faire reculer le front de mer (Saliha N. 2014).

4-Paramètre D (La distance par rapport au rivage) :

L'impact de l'intrusion d'eau de mer diminue généralement quand déplacer au rivage vers l'intérieur perpendiculairement. Ce paramètre a été estimé d'après trois distances (500 m, 750 m et 1000 m) perpendiculaire à la ligne de côte et les rivières. L'évaluation maximale de 10 est adoptée pour la distance inférieur que 500 m de la côte, alors que le minime (2.5) est distribué pour tout ce plus haut que 1000 m. Les valeurs de 7.5 et 5 sont données, respectivement, avec les distances de 500 à 750 m et de 750 à 1000 m (Adrian N. et al, 2012).

5-paramètre I (L'impact de l'intrusion saline présente dans la zone) :

La concentration du chlorure de nappe définit l'ampleur d'intrusion de mer. La concentration du chlorure dans la gamme de 120 à 3260 mg/l est indicative d'intrusion de mer. Les présents résultats infèrent que la nappe aquifère l'eau est contaminée avec eau salée comme Cl^- , l'ion le plus abondant d'eau salée, est dans les plus hautes proportions. Le HCO_3^- est l'ion le plus dominant d'aquifère frais se produit dans les petites quantités dans eau salée généralement.

La proportion $\text{Cl}^- / (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^-)$ est un critère pour identifier l'ampleur d'intrusion de l'eau de mer dans le les nappes aquifères côtières et peut être utilisé si les données de l'analyse chimique est disponible (Satishkumar V. et al, 2016).

6-Paramètre T (L'épaisseur de la nappe phréatique ou l'épaisseur saturée d'un aquifère) :

L'épaisseur de l'aquifère ou de la zone saturée d'un aquifère joue un rôle important dans l'extension et l'ampleur de l'intrusion côtières. Il a été clairement démontré que plus l'épaisseur de l'aquifère est importante, plus l'extension de l'intrusion saline devrait être importante et inversement (Dorfiger N. et al, 2011).

II-2-Indice GALDIT :

L'indice GALDIT est basé sur trois termes importants ; les valeurs de poids variant entre 1 et 4, les valeurs de rang variant entre 2,5 et 10 et les classes sont attribuées.

$$\text{Indice GALDIT} = \sum_{i=1}^6 P_i R_i / \sum_{i=1}^6 P_i$$

- P_i est le poids accordé (1 à 4) à chaque paramètre i.

- R_i est le rang ou la nation accordée à chaque paramètre (2,5 à 10).

Tableau 08 : les classes de la vulnérabilité par l'indice GALDIT

Classe de vulnérabilité	Indic GALDIT
Vulnérabilité fort	> 7,5
Vulnérabilité moyenne	5-7,5
Vulnérabilité faible	< 5

Tableau 09 : Synthèse des poids et rangs de la méthode GALDIT.

Paramètre	poids	Rangs			
		Très faible 2.5	Faible 5	Moyen 7.5	Elevé 10
G : type d'aquifère	1	Contraint barrière imperméable	Semi- captif	Libre	Captif
A: conductivité hydraulique (m/s)	3	<5	5-10	10-40	> 40
L : altitude de la nappe (m)	4	>2	1.5-2	1-1.5	<1
D : distance de la côte (m)	4	>1000	750-1000	500-750	<500
I : impact de l'intrusion saline (ppm)- concentration chlorures	1	<1	1-1.5	1.5-2	>2
T : épaisseur de l'aquifère (m)	2	<100	100-250	250-1000	>1000

Chapitre III

Résultats et discussions

I-Résultats et discussions de la méthode GALDIT :

Après avoir effectué des mesures sur le terrain et au laboratoire, nous avons intéressés à la détermination des cartes de la vulnérabilité à la pollution de la nappe, et donner une idée sur le contexte physico-chimique et le degré de contamination bactériologique des eaux souterraine de la région.

I-1-Paramètre (G) le type d'aquifère :

Dans notre zone d'étude, l'aquifère est de type libre (non confiné) dans toute la zone d'étude, elle correspond au poids 1 et de rang 7.5. Tableau (09), donc c'est une d'une classe moyenne (Fig 21).

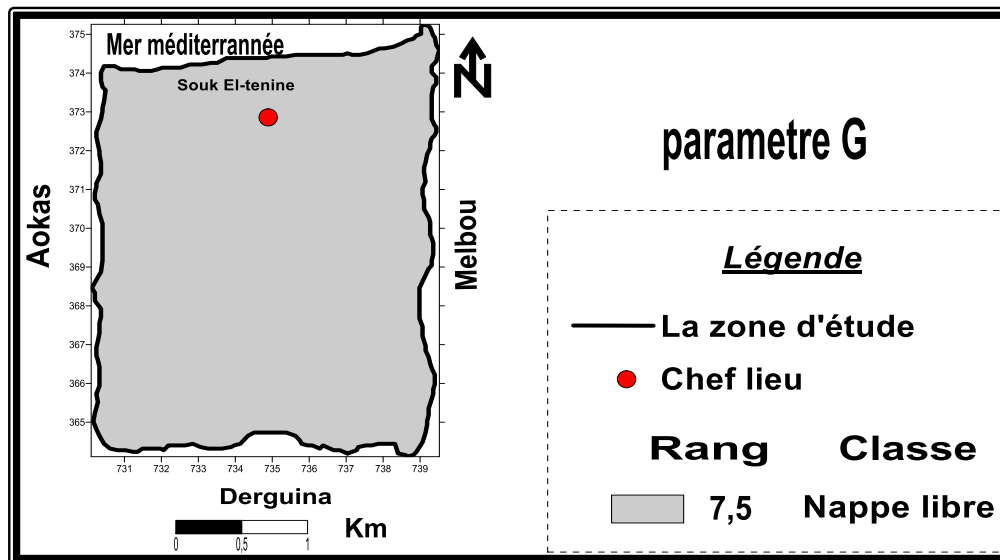


Figure 21 : Représentation du paramètre G dans l'aquifère.

I-2- Paramètre (A) la conductivité hydraulique de l'aquifère :

On s'est basé sur des données des essais de pompage réalisées par la direction d'hydrauliques de Bejaia en 2017 pour estimer la conductivité hydraulique de l'aquifère de la zone d'étude. Pour notre aquifère les interprétations des essais de pompage montrant une valeur de transmissivité égale à $1.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et l'épaisseur de l'aquifère égale à 44.8 m. d'après la formule : $T = K.e$ (e : épaisseur de l'aquifère mouillé en m, K : la perméabilité en (m/s). On peut calculer la valeur de perméabilité (K).

$$K = T / e \longleftrightarrow K = 1.4 \times 10^{-3} / 44.8 = 3,14 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

D'après la valeur de K On constats que le rang égale 2.5 et le poids égale à 3, alors il s'agit d'une classe faible (Fig 22). Voire le tableau (09).

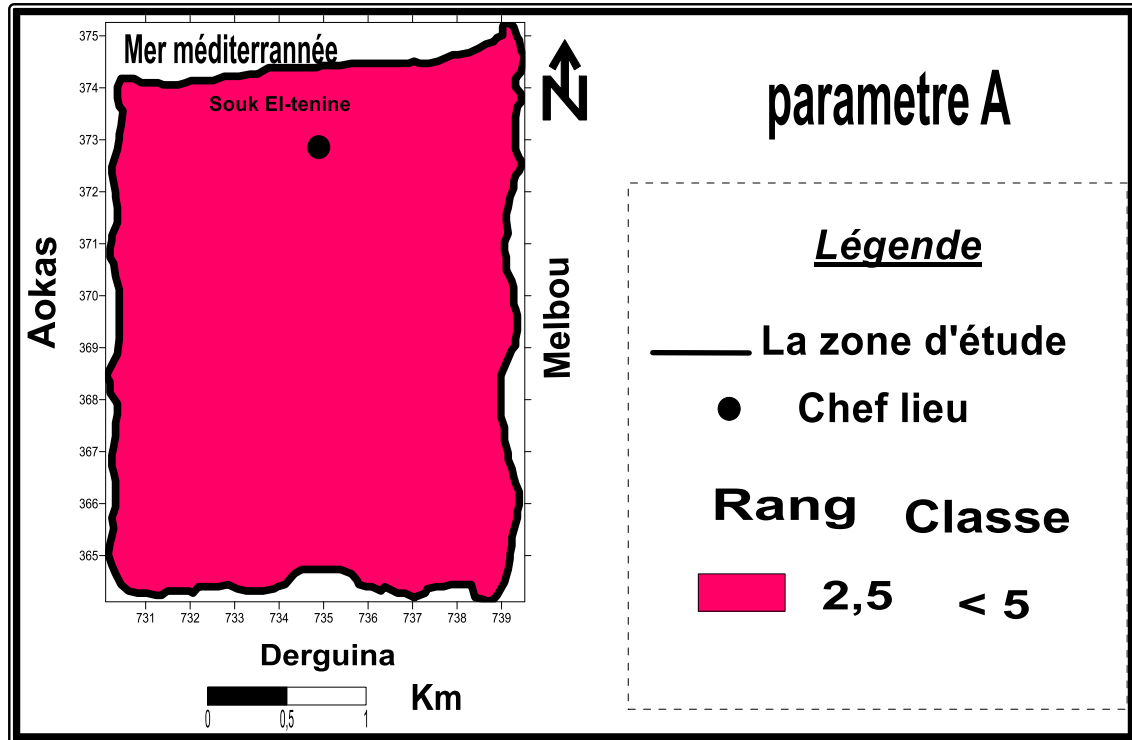


Figure 22 : Représentation du paramètre A dans l'aquifère.

I-3- Paramètre (L) L'altitude de la nappe par rapport au niveau de la mer :

L'altitude est calculée par la différence de niveau des points côtés de terrain et le niveau piézométrique de l'aquifère. L'altitude de la nappe fluctue entre 07 et 10 m. donc le poids 4 avec un rang 2.5. Tableau (09). Donc il s'agit d'une classe très faible (Fig 23).

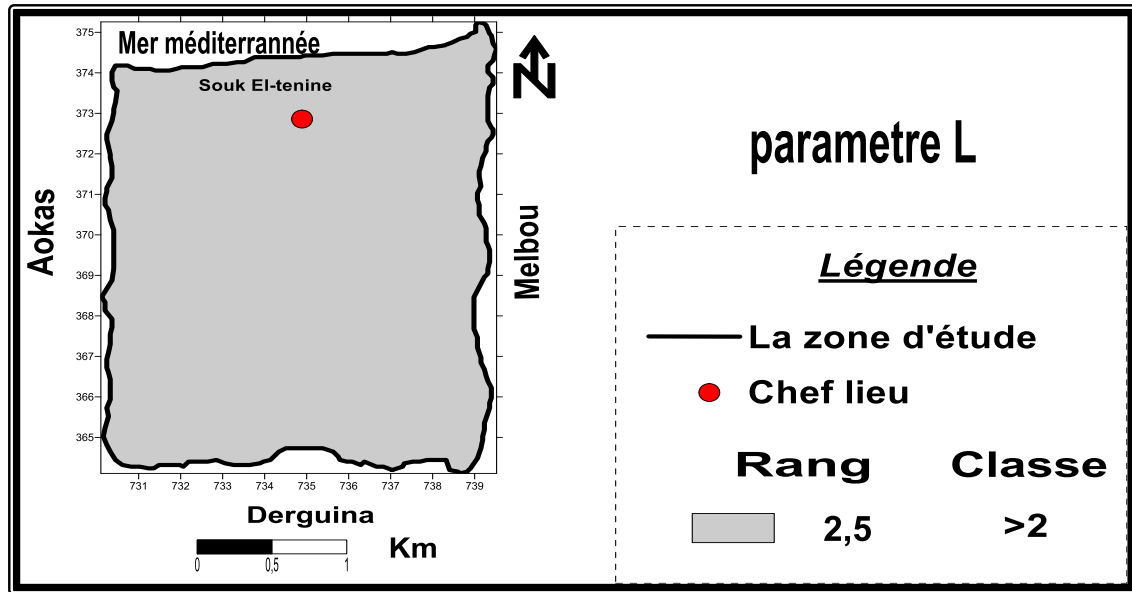


Figure 23: Représentation du paramètre L dans l'aquifère.

I-4-Paramètre (D) La distance par rapport au rivage :

Ce paramètre a été estimé suivant quatre distances perpendiculaires à la ligne de côte qui possédant le même poids qui est 4, mais les rangs change, à (<500 m) avec un rang de 10 il s'agit d'une classe élevé, (500-750 m) avec un rang de 7.5 c'est une classe moyenne, (750-1000 m) avec un rang de 5 c'est une classe faible et à (>1000 m) avec un rang de 2,5 il s'agit d'une classe très faible (Fig 24). Tableau (09).

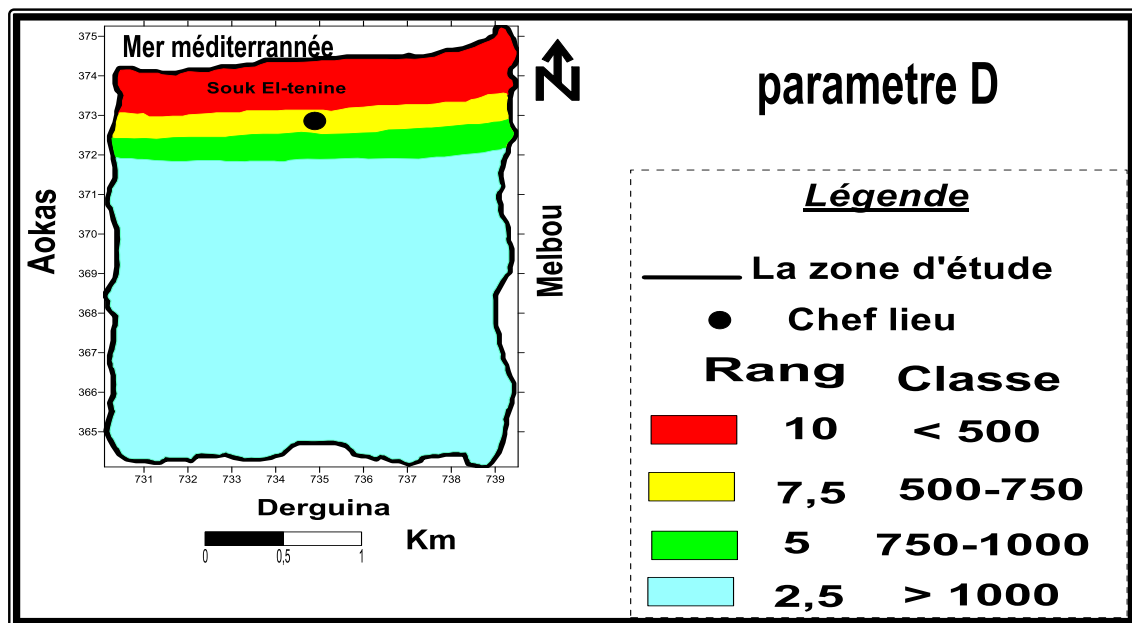


Figure 24 : Représentation du paramètre D dans l'aquifère.

I-5-paramètre (I) L’impact de l’intrusion saline présente dans la zone :

Pour déterminer l’impact de l’intrusion saline nous avons utilisées le rapport suivant : $(Cl^- / [HCO_3^- + CO_3^{2-}])$. Après avoir calculé ce rapport pour chaque point d’échantillonnage on a trouvé les valeurs < 1 donc il s’agit de rangs 2.5 et de poids 1. Tableau (09). Et d’une classe très faible. (Fig 25).

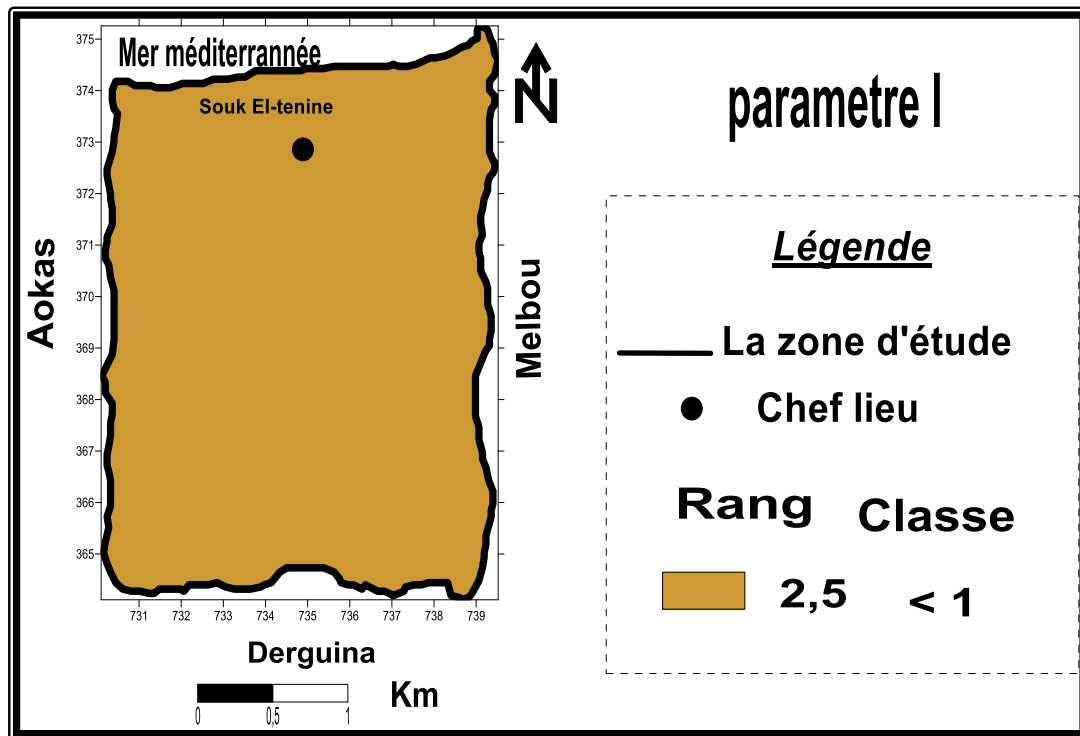


Figure 25 : Représentation du paramètre I dans l’aquifère.

I-6-Paramètre (T) L’épaisseur de la nappe phréatique ou l’épaisseur saturée d’un aquifère :

L’épaisseur de la nappe a été estimée par la coupe géophysique de la zone d’étude, d’après cette coupe on a trouvé que la nappe est divisé en deux partie, la première partie est de 7 m du la côte enivrant 1.75 km vers l’intérieure, et la deuxième partie 5 m dans 1.75 km jusqu’à l’extrémité de la nappe. L’épaisseur de la nappe est < 100 donc il s’agit d’un poids de 1 et un rang de 2.5. Tableau (09). Et d’une classe très faible (Fig 26).

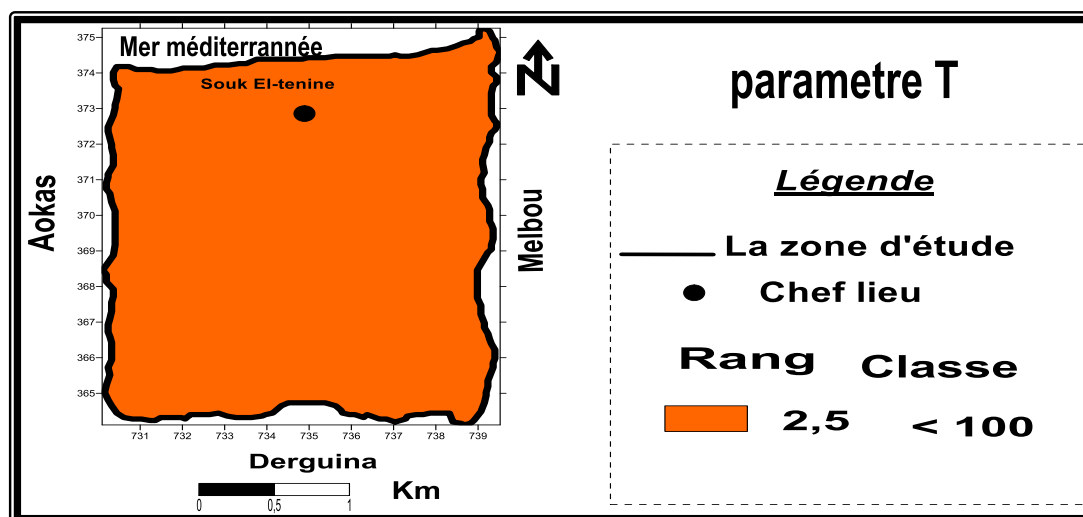


Figure 26 : Représentation du paramètre T dans l’aquifère.

I-7-Indice GALDIT :

Calcul des indices GALDIT :

- Indice GALDIT = $\sum_{i=1}^6 P_i R_i / \sum_{i=1}^6 P_i$

Tableau 10 : Calcul des indices de GALDIT pour chaque paramètre.

$\sum_{i=1}^6 P_i R_i / \sum_{i=1}^6 P_i$	Indice GALDIT
$(1 \times 7.5) + (3 \times 2.5) + (4 \times 2.5) + (4 \times 2.5) + (1 \times 2.5) + (2 \times 2.5) / (1 + 3 + 4 + 4 + 1 + 2)$	4,83
$(1 \times 7.5) + (3 \times 2.5) + (4 \times 2.5) + (4 \times 5) + (1 \times 2.5) + (2 \times 2.5) / (1 + 3 + 4 + 4 + 1 + 2)$	4,23
$(1 \times 7.5) + (3 \times 2.5) + (4 \times 2.5) + (4 \times 7.5) + (1 \times 2.5) + (2 \times 2.5) / (1 + 3 + 4 + 4 + 1 + 2)$	3,56
$(1 \times 7.5) + (3 \times 2.5) + (4 \times 2.5) + (4 \times 10) + (1 \times 2.5) + (2 \times 2.5) / (1 + 3 + 4 + 4 + 1 + 2)$	2,9

Après avoir calculé les indices de GALDIT, On trouve qui il est < 5 alors si possible d'identifier des régions qui sont susceptibles d'être affectées par une intrusion saline.

L'indice de GALDIT montre une faible vulnérabilité sur tout le secteur de la nappe donc l'impact de l'intrusion marine est nul durant la période des hautes eaux.

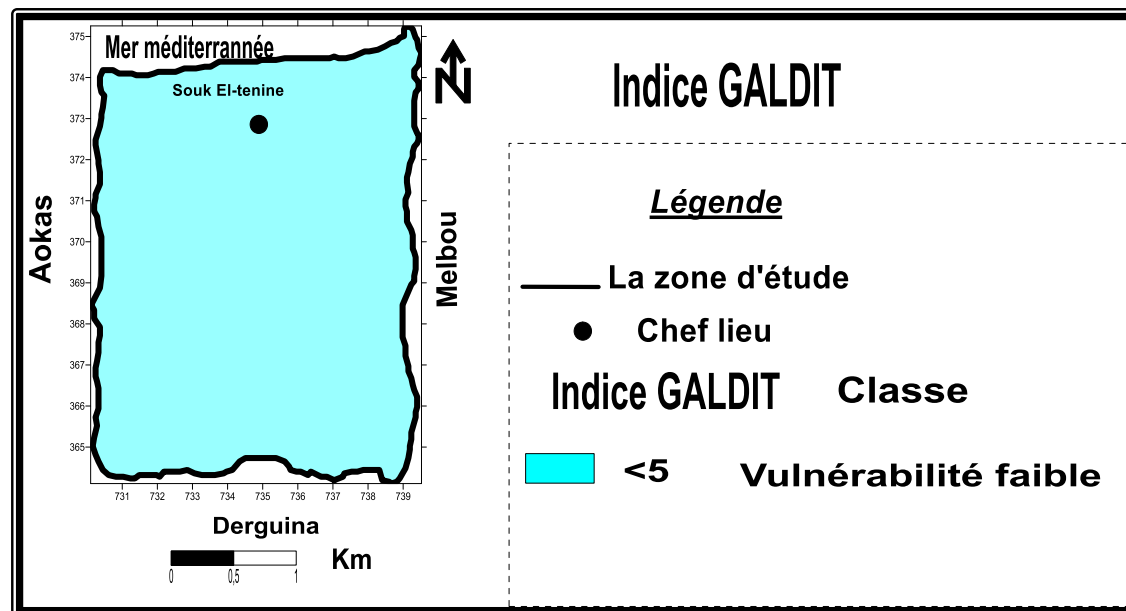


Figure 27 : indice de GALDIT.

II-Résultats et discussions des paramètres physico- chimiques :

Les mesures physico-chimiques in situ et les prélèvements d'eau sont conditionnés par la répartition des puits dans la zone d'étude.

II-1-Paramètre physique :

II-1-1- Température :

La carte montre que la température augmente dans l'Est vers l'Ouest elle varie entre 18 C° dans (P1) et 25 C° dans (P4), plusieurs facteurs peuvent expliquer sa variation : la température de l'air du jour d'échantillonnage et de mesure ainsi que l'heure de prélèvement (les échanges de chaleur), la profondeur de l'aquifère.

L'OMS ne recommande aucune valeur précise pour la température de l'eau, tant qu'elle n'a pas d'incidence directe sur la santé humaine. La température maximale

de l'eau alimentaire est de 25 C° selon les normes algériennes, ce qui fait que tous nos échantillons sont conformes aux normes.

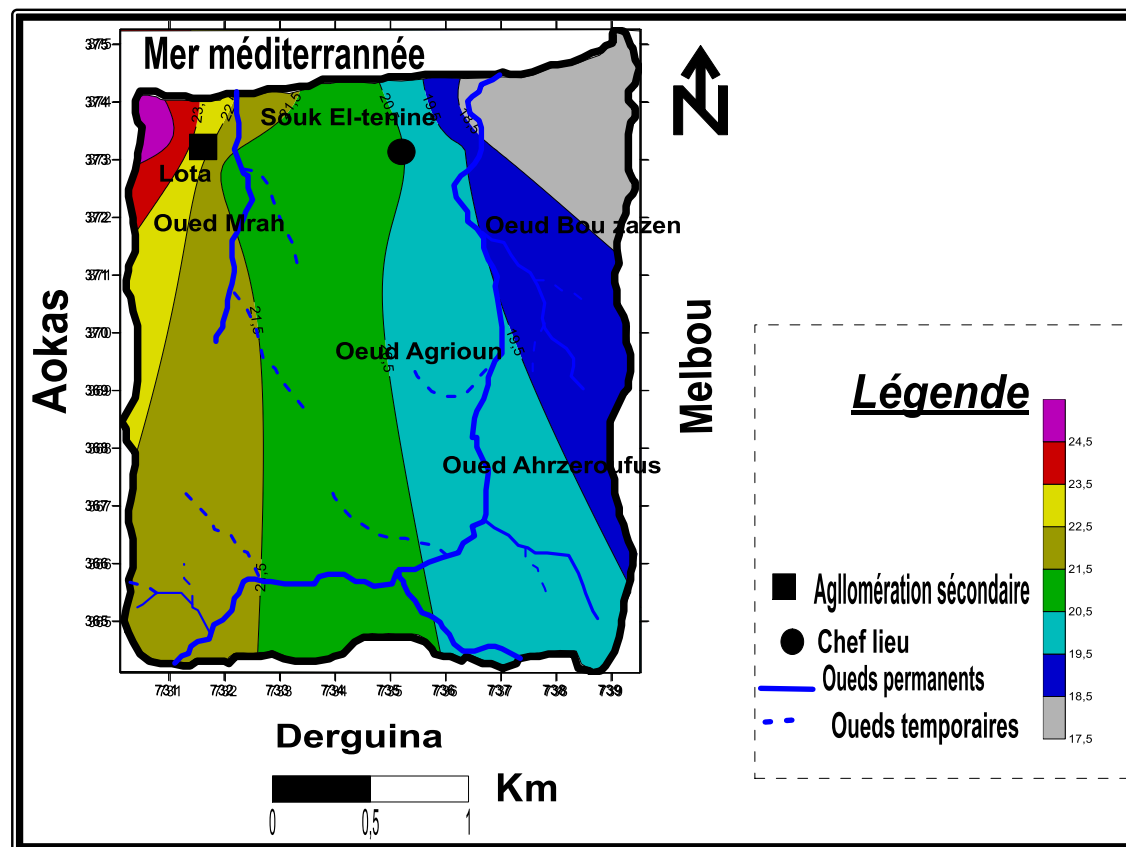


Figure 28 : Carte de température.

II-1-2-la conductivité :

La carte montre que la conductivité augmente généralement dans le sens d'écoulement elle varie entre 311 $\mu\text{s/cm}$ dans (P4) et 791 $\mu\text{s/cm}$ dans (F). Cette variation est liée aux facteurs suivants : le lessivage des formations traversées en particulier les terrains carbonatés et les terrains triasiques. La concentration du travail agricole et l'utilisation non rationnelle des engrais et des pesticides.

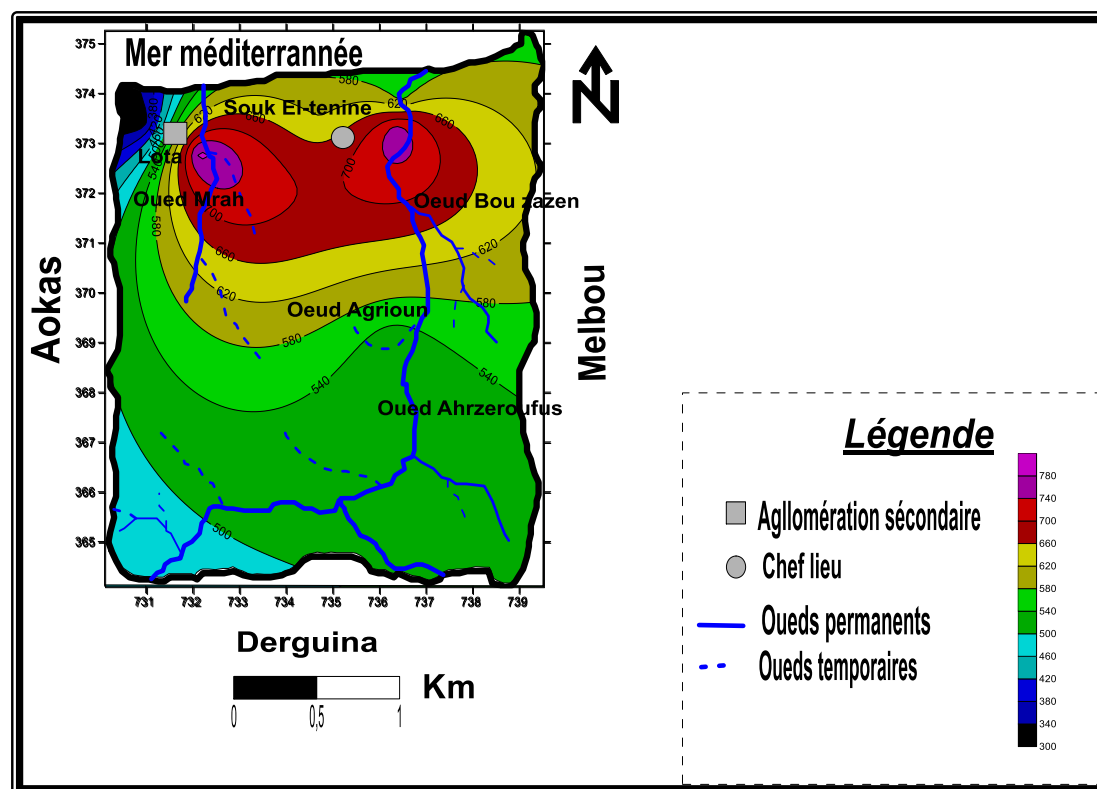


Figure 29 : Carte de conductivité.

II-1-3-La Teneur en sels dissous (TDS) :

TDS ou minéralisation totale est la masse totale des minéraux dissous (anions et cations) et non dissous (la silice). Elle est en fonction de la géologie des terrains traversés et de la pollution anthropique. Les valeurs enregistrées pour échantillons oscillent entre 194 et 472 mg/l elles sont conformes à la norme recommandée par l'OMS qui définit une teneur limite de 1000 mg/l dans une eau destinée à la consommation humaine et cela pour des considérations gustatives.

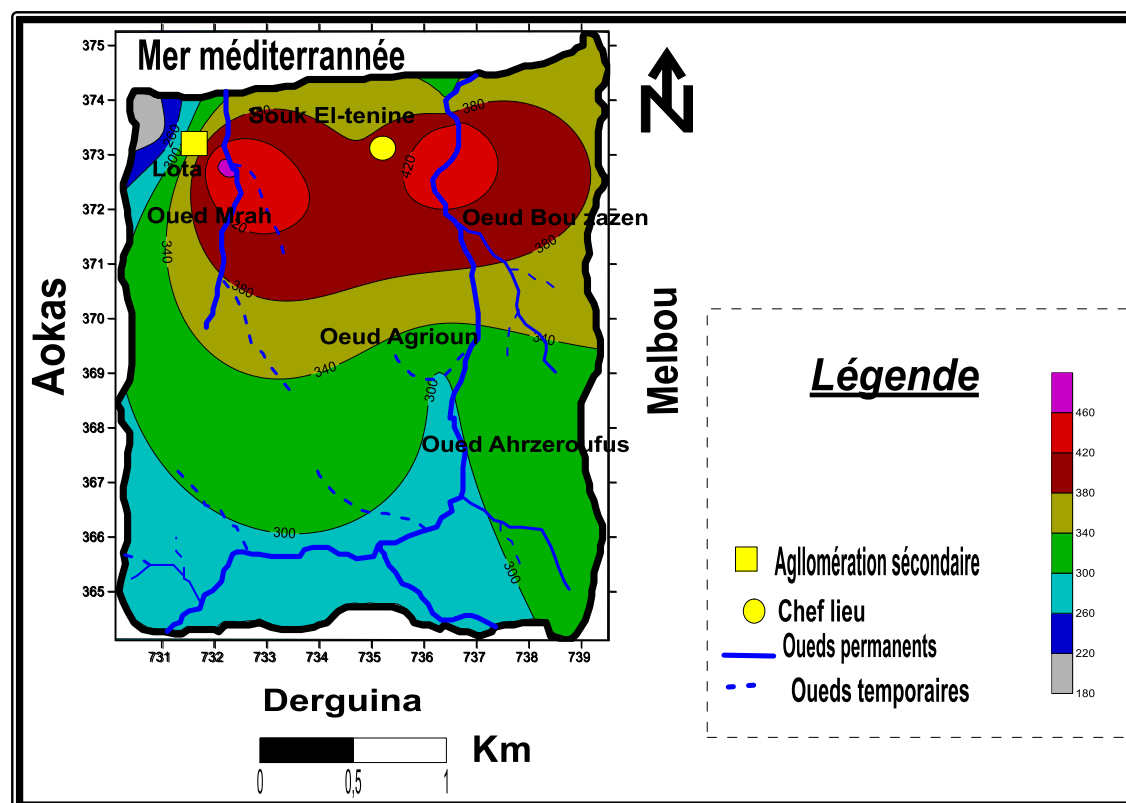


Figure 30 : Carte de TDS.

II-1-4-La Salinité :

La salinité est la teneur en sels dissous dans l'eau, elle varie entre 263 mg/l et 391 mg/l dans toute la région étudiée.

Cette carte nous montre deux zones de fortes valeurs de salinités dans la plaine l'une au Nord-Est avec une valeur de 391 mg/l et l'autre au centre avec une valeur 355 mg/l, elles seraient dues à la géologie ou à une origine anthropique (activités agricole, eaux usées, etc.) .la zone la moins saline est (S) avec une valeur de 263 mg/l.

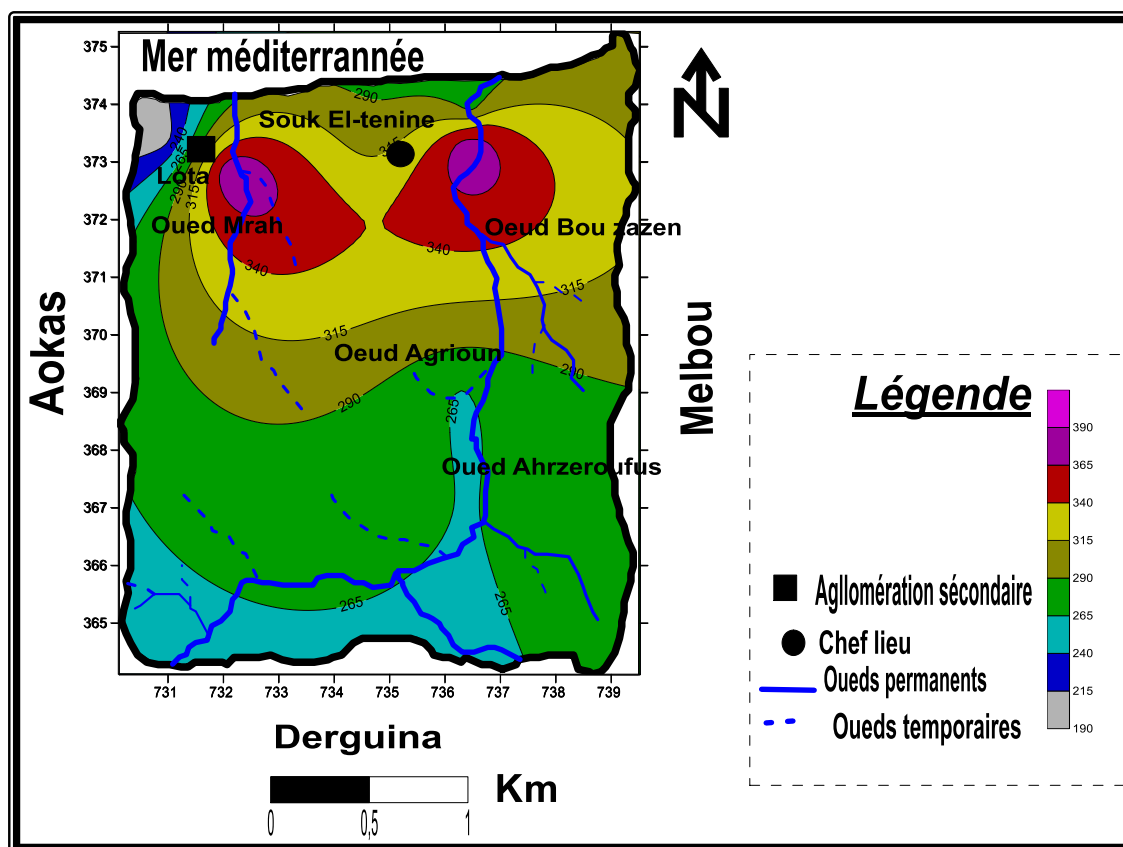


Figure 31 : Carte de salinité.

II-1-5-potentiels d'hydrogène (pH) :

Le pH est une mesure de la concentration en ions H^+ contenus dans une eau. Il représente chimiquement, l'acidité ou l'alcalinité d'une solution ou d'un liquide. Il dépend de l'origine de l'eau et de la géologie des terrains traversés par celle-ci.

A partir des résultats obtenus, on constate que les eaux de la région de Souk El Tenine ont un pH qui varie entre 7.96 et 8.25 ; ce sont des eaux à bases faibles, elles sont donc incrustantes. Ces valeurs sont conformes aux normes de l'OMS.

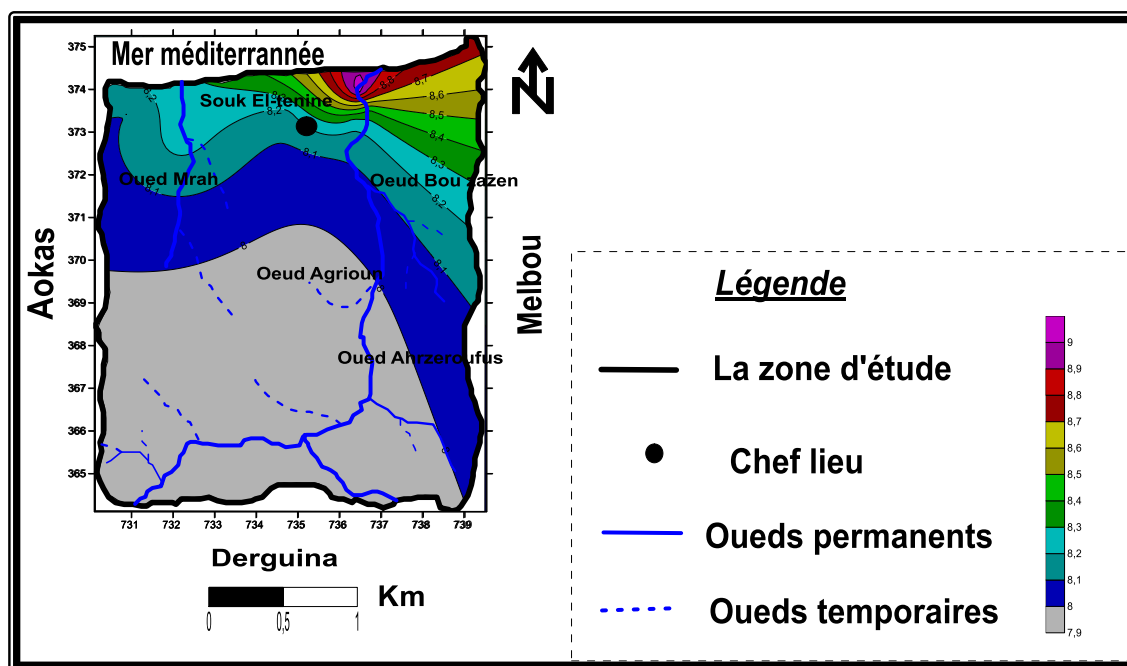


Figure 32 : Carte potentiels d'hydrogène (pH).

II-2-paramètres chimique :

II-2-1-Classification de Piper :

L'interprétation des résultats d'analyses du diagramme de piper (Fig 32) pour la période d'observation a permis d'avoir une idée sur les facies hydrochimiques des eaux de la nappe alluviale. On constate que :

- On a deux groupes d'eau selon l'anion prédominant : un on n'a pas d'anions prédominants (P2, P3). un autre où le bicarbonatée domine (P1, F, P4, S).
- Le facies hydrochimique chloruré sulfaté calcique et magnésien et facies hydrochimique bicarbonaté calcique et magnésien caractérisent les eaux de la région à l'exception pour les eaux de source il est bicarbonaté calcique. **Fig 33.**

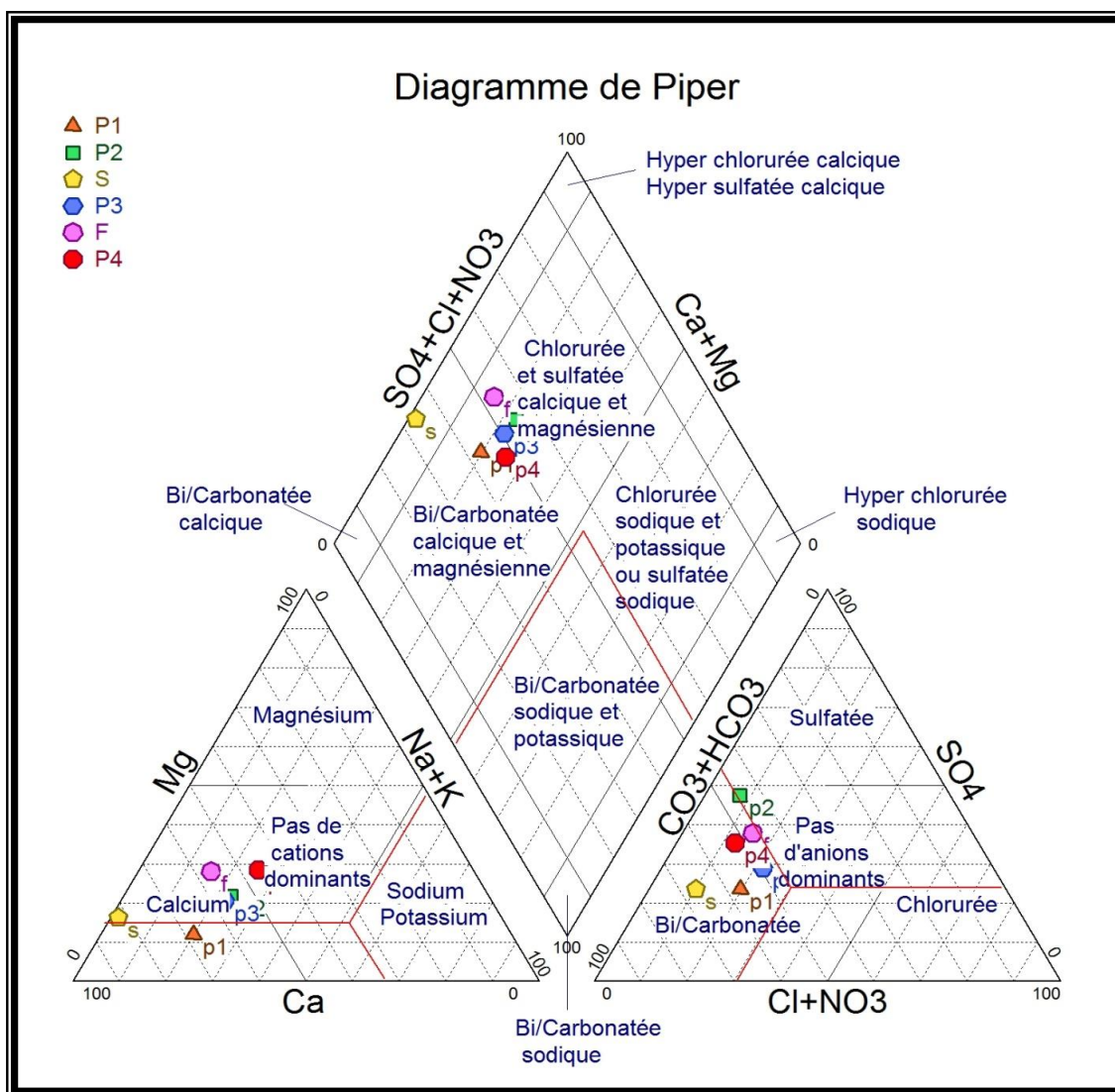


Figure 33 : Classification de Piper.

II-2-2-Diagramme de Wilcox :

Les résultats qui on' a obtenu après avoir comparé les teneurs des échantillons en terme de quantité de sodium et la conductivité, on constats que la qualité d'eau de (F) est de bonne qualité et excellente dans (P1, P2, P3, P4, S).

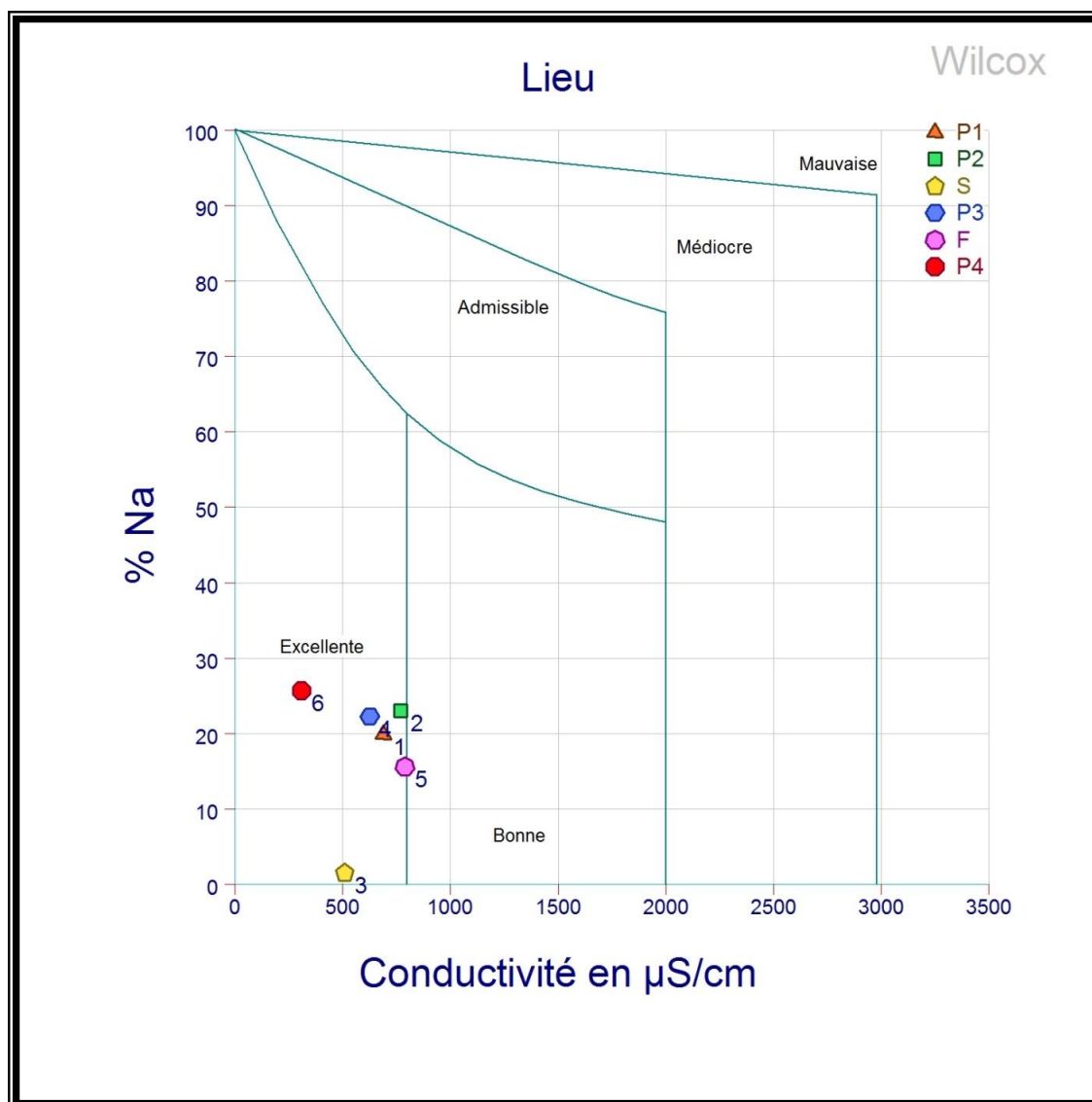


Figure 34 : Comparaison entre Na (%) et la conductivité (µs /cm)

III-Résultats et discussion des métaux lourds :

Les métaux lourds peuvent être associés aux sédiments par lessivage, la migration de ces polluants atteint les eaux souterraines par advection, dispersion et convection. Les métaux lourds peuvent avoir une origine due à des décharges publics (résidus solides et liquides) ou par des pesticides.

❖ Interprétation des résultats des métaux lourds :

Les résultats de tableau montrant que les trois métaux lourds se trouvent en état de trace dans tous les points d'échantillonnage.

Tableau 11 : Résultats des métaux lourds.

Les points	Cu (µg/l)	Cd (µg/l)	Pb (µg/l)
P1	0.0851	0.0278	0.0117
P4	0.0671	0.0274	0.0119
OA	0.0771	0.0281	0.0128
F	0.0851	0.0282	0.0128
S	0.0697	0.0278	0.0119
OMS	2	3	10

IV-Résultats et discussions les analyses microbiologique :

L'eau contient une multitude de micro-organisme issus de l'activité biologique naturelle pour ceux-ci certains ont la caractéristique d'être pathogène pour l'homme qui peut toucher la santé humaine d'une manière directe au indirecte. Dans notre cas nous avons effectués six échantillons quatre puits, un fourrage et une source d'eau. Apres avoir analyser les échantillons au niveau de L'ADE (Bejaia).

IV-1-Analyse des résultats par rapport au nombre de colonie et type de bactérie à chaque point :

- ✓ Après avoir analysé les résultats de tableau (12) en observant l'absence totale des coliforme au des E-coli ainsi que les streptocoques dans tous nos points d'échantillonnage.
- ✓ Dans P1 et P3 le nombre des clostridium est indénombrable.
- ✓ En trouve dans P2 le nombre de clostridium est 03 UFC.

- ✓ Le nombre de clostridium dans les points S, F et P4 est 01 UFC.

L'intérêt de la recherche des clostridium est controversé pour mettre en évidence une contamination fécale. La présence des clostridiums sulfato-réducteurs et marqué, autorisé tout au plus des doutes sur une pollution fécale. Mais par contre ils peuvent être témoin d'une contamination organique dangereuse.

Tableau 12 : Résultat d'analyse microbiologique.

Les points	Nombre de Collinée et type de bactérie			
	Coliforme Totaux	E-coli	Streptocoque	clostridium(ASR)
P1	Absence	Absence	Absence	Indénombrable
P2	Absence	Absence	Absence	03 UFC
S	Absence	Absence	Absence	01 UFC
P3	Absence	Absence	Absence	Indénombrable
F	Absence	Absence	Absence	01 UFC
P4	Absence	Absence	Absence	01 UFC

IV-2-Analyse des résultats par rapport aux germes et leur température :

- ✓ Les germes qui se trouve dans (P1, P2 et P3) a des températures différents 37 C° et 22 C° perpétuellement, on à observer que le nombre de colonie est indénombrable.
- ✓ Les germes qui se trouvent dans le point (S) à 37 C° est de 10 colonies. Et a 22 C° est de 40 colonies.
- ✓ L'absence totale du germe dans le point (F) dans les deux cas de température.
- ✓ Les germes qui se trouvent dans le point P4 à 37 C° et de 25 colonies, et à 22 C° est de 30 colonies.

Ces germes sont souvent à l'origine des graves maladies qui se propagent surtout en période estivale (diarrhée), aussi ces germes pathogènes elle peut provoquer des risques de contamination des nappes d'eau et les risques sanitaire.

Tableau 13 : détermination de nombre des germes totaux à 37 C° et 22 C°.

bactérie	Points	Température	Nombre (colonie)
Germe totaux	P1	37 C°	Indénombrable
		22 C°	Indénombrable
Germe totaux	P2	37 C°	Indénombrable
		22 C°	Indénombrable
Germe totaux	S	37 C°	10
		22 C°	40
Germe totaux	P3	37 C°	Indénombrable
		22 C°	Indénombrable
Germe totaux	F	37 C°	Absence
		22 C°	Absence
Germe totaux	P4	37 C°	25
		22 C°	30

Conclusion

Conclusion :

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 apparaît donc nécessaire et incontournable, car ce type de carte permet d'identifier très facilement les zones à risque de pollution 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.

La présente étude, qui a porté sur la région de Souk El Thenine a abouti aux conclusions suivantes :

Sur le plan géographique, la zone d'étude fait partie des plaines côtières de Bejaia. Elle occupe un endroit stratégique du point de vue agricole, et touristique. C'est l'un des régions les plus arrosées de l'Algérie caractérisée par un climat subhumide et se trouve dans une zone hydrogéologique des montagnes plissées du littoral méditerranée.

L'étude géologique de la région a montré que toute la région est entièrement recouverte d'un matériel alluvionnaire du remplissage quaternaires étant constitué de limons, d'argile, de sables, de graviers, et constituées aussi par des formations marneuses et schisteuses du crétacé et des calcaire et dolomies du jurassique.

De point de hydrogéologique la nappe est libre et à partie de l'étude piézométrique ces eaux s'écoulent généralement du Est vers le Ouest avec quelques variations locale au niveau des oueds.

L'application de la méthode GALDIT dans la région de Souk El Tenine nous montre l'impact de l'intrusion marine est faible, vis-à-vis les conditions et la réalisation des prélèvements des échantillons durant la période des hautes eaux, ce qui explique que l'aquifère est saturée. En période des basses eaux le phénomène du biseau salé (intrusion marine) peut prendre place dans la nappe.

Conclusion et recommandations et perspectives

Les résultats d'analyse physico-chimiques des échantillons nous montrent clairement que les eaux de la plaine de Souk El Tenine présente des minéralisations moyennes, elle montre aussi que la majorité des eaux ont des teneurs conformes aux normes algériennes de potabilité pour tous les éléments.

Les analyses bactériologiques indiquent l'absence totale des bactéries (E. coli, coliforme, streptocoque), ça explique l'absence d'une contamination fécale. La présence des bactéries de type clostridium due au contact directe des puits avec ces bactérie qui sont sous forme des spores dans l'atmosphère et c'est dernies trouve un milieu favorable dans les puits pour vivre. Donc on peut dire que l'eau de la zone d'étude est consumable mais pour rendre l'eau plus potable, il faut faire des traitements.

Nos résultats indiquent que les concentrations des métaux lourds étudiés (Pb, Cu, Cd) dans la zone d'étude sont à l'état de trace ça explique que la nappe n'était pas contaminé par ces dernière.

On conclut donc que notre zone d'étude n'est pas réellement confrontée à un problème de salinité due à l'intrusion marine et avec une faible vulnérabilité à la pollution dans la période des hautes eaux, ce qui veut dire qu'on peut avoir une bonne gestion des ressources en eau.

Recommandations et perspectives :

Pour protéger et sauvegarder la bonne qualité des eaux souterraines de la région de Souk El Tenine nous recommandons ce qui suit :

- Contrôle d'évaluation de la pollution industrielle.
- Evaluation des métaux lourds issus des déchets solides dans l'environnement (eau et sol).
- Eviter les rejets à ciel ouvert.
- Eviter les décharges anarchiques et sauvages.
- Eliminer et interdire les décharges publiques dans le voisinage des oueds.
- Etablir un périmètre de protection pour les points d'eaux.
- Contrôler l'utilisation des engrais qui constituent un risque de contamination.
- Assainissement des eaux usées vers des bassins de décantation.

Références bibliographique :

Adrian G. Luliana G. B. Saliha N. Mehdi K. 2012. Application of the method galdit for the cartography of groundwaters vulnerability: aquifer of chaouia coast (Morocco). Researchgate: N° 266738370, p 83.

Anctil F. Rousselle J. et Lauzon N. 2012. Hydrologie: Cheminement de l'eau, 2^{ème}éd. Québec, p. 126.

Collin J. 2004. Les Eaux Souterraines. Connaissances et Gestion. HERMANN.Paris

Banton O. et Bangoy L. 2010. Hydrogéologie : Multiscience Environnemental des Eaux Souterraines. Qubec, p 9.

Belkerir H. et Debbou F. 2015. Evaluation de la vulnérabilité à la pollution de la commune d'aokas par la méthode EPIK. Mémoire de fin d'étude en sciences de l'environnement. Université de bejaia, p. 3.

Berbache M. 2015. Ecohyrobiologie de la zone hyporhéique d'oued agrioune (région de Souk El Tenine). Mémoire de fin d'étude en Sciences de l'Environnement. Université de Béjaïa, pp. 5-6.

Chaden M. 2014. Evaluation de la qualité de l'eau du bassin supérieur de la rivière du Litani, Liban : approche hydrogéochimique. Thèse de doctorat en Géosciences. Université de Lorraine, pp. 57-58.

Charikh M. 2015. Estimation et cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines en milieu aride : application à la cuvette de Ouargla. Mémoire de fin d'étude en Sciences Biologiques. Université Kasdi Merbah. Ouargla. p8.

Derguini N. et Adrar H. 2004. La vulnérabilité a la pollution de la commune de Souk El Tenine. Mémoire de fin d'étude en Ecologie et Environnement. Université de Bejaia. p. 30.

Djedi H. et Traor T. 2016, Etude comparative de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution de la commune de Souk El Tenine par les méthodes DRASTIC et GOD. Mémoire de fin d'étude en Santé et Environnement. Université de Béjaïa, pp. 6-12-15.

Dorfiger N. et al. 2011, Montée du niveau marin induite par le changement climatique, conséquences sur l'intrusion saline dans les aquifères côtiers en métropole. France. pp. 35-37-44.

Es Saouini H. 2015. Vulnérabilité a la pollution des eaux souterraines : aspect dynamique et application à l'aquifère de r'mel (Iarache, Maroc). Thèse doctorat : Spécialité : Hydrogéologie, Université Abdelmalek Assaadi. Maroc, pp.19-20.

Gilli E. Mangan F. Mudry J. 2008. Hydrogéologie : objectifs, méthodes, applications, 2^{ème}éd. Paris, Dunod, pp. 22-23.

Handré M. 2003. Hydrologie : première édition collection gérée l'environnement, Lousanne, p. 26.

Kaid Rassou K. 2009. Etude des interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface dans le bassin côtier d'Oualidia. Thèse doctorat en Hydrogéologie. Université Cadi Ayyad Marrakech Maroc. p. 127.

Niazi S. 2007. Evaluation des impacts des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer sur le littoral de Tétoun (Méditerranée occidentale du Maroc : vulnérabilité et adaptation. Thèse de doctorat d'état, discipline : Géoscience de l'environnement. Maroc. pp. 163-154.

Saliha N. 2014. Etude de l'évolution de la salinisation de l'aquifère de la Chaouia (Azemmour – Bir Jdid, Maroc). Climatologie, hydrogéologie, hydrochimie et tomographie. Maroc. pp. 144-146.

Satishkumar V. Sankaran S. Taufiquewarsi. Amarender B. Ratnakar Dhakate. 2016. Mapping of Salinity Ingress Using Galdit Model for Sirkali Coastal Region : A Case Study. Scientific Research publishing. N°: 526-536. P. 531.

Si Ahmed A. et Yahiaoui N. 2017. Etude de la vulnérabilité à la pollution de la région de Boulimat par la méthode SNTACS. Mémoire de fin d'étude en Sciences Biologiques. Université de Bejaia. p. 7.

Tatso R. 2011. Intégration d'un observatoire urbain sur Google Maps : Cas des infrastructures de la santé de la ville de Douala Cameroun, Thèse de doctorat, Académie Internet. p. 78.

Vaessen V. et Brentführer R. 2015. L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique - un manuel de formation produit par AGW-Net, BGR, IWMI, Cap, Net, RAOB, et IGRAC. p. 8.

Vincent W. Uhl et al. 2009. Exploitation des eaux souterraines : Concepts de base pour l'élargissement des Programmes d'hydraulique du CRS. p. 10.

Wichda S. 2016. Tutoriel d'utilisation de logiciel surfre 11, université de Maroura. p. 03.

Zidani A. et Sahki D. 2017. Invasion salina au niveau de la nappe côtière Lota – Souk EL Tenine. Mémoire de fin d'étude en Hydrologie Appliquée. Université de Setif. pp. 8-52.

Annexe

Annexe I : Inventaire des points d'eau.

Numéro	Nom	type	X (km)	Y (km)	Altitude (m)	remarques	utilisations
1	P1	puits	736 ,72	373,54	12	Couvert, non équipé	irrigation
2	P2	puits	736,36	373,24	9	Couvert, équipé	irrigation
3	S	Source	737,29	368,99	109	équipé	alimentation
4	P3	puits	734,72	373,40	10	Non Couvert, non équipé	irrigation
5	F	forage	732,13	372,82	8	Couvert, bien équipé	alimentation
6	P4	puits	730,91	373,44	7	Non Couvert non équipé	Alimentation irrigation
7	OA	oued	736,47	373,97	7		

Annexe II-1-Le résultats des analyses physiques.

Point d'eau	PH	T C°	Turbidité SNTU	conductivité	Salinité (mg / l)	TDS (mg / l)	Dureté (mg / l)	Observation
P1	8,4	18	0,606	690	355	427	400	Conforme aux normes
P2	8,25	19,5	2,51	788	382	453	500	Conforme aux normes
S	7,92	20	0,724	512	263	298	360	Conforme aux normes
P3	8,15	21,1	2,03	626	300	372	380	Conforme aux normes
F	8,25	21	13	791	391	472	420	Conforme aux normes
P4	8,1	25	0,480	311	158	194	260	Conforme aux normes

Annexe II-2-Le résultats des analyses chimique.

Point d'eau	TAC (mg/l)	Ca⁺⁺ (mg/l)	Mg⁺⁺ (mg/l)	Na⁺ (mg/l)	Co₃⁻ (mg/l)	K⁺ (mg/l)	HCO₃⁻ (mg/l)	Cl⁻ (mg/l)	SO₄⁻ (mg/l)	NH₄⁻ (mg/l)	NH₂⁻ (mg/l)
P1	336	136	14,5	40	3,324	1,3	409,92	82,5	133,95	0,032	0,009
P2	254	144	34	60	1,853	15	309,88	29,46	255,95	0,046	0,17
S	276	120	14,5	2	1,052	0,1	336,72	29,46	93,64	0,033	0,008
P3	226	112	24,2	49	1,358	2	275,75	70,71	126,6	0,1	0,037
F	282	112	33,9	35	2,127	1,5	344,04	64,82	217,6	0,08	0,014
P4	204	64	34	40	1,190	2	248,88	29,46	132,5	0,05	0,01

Annexe III-1-Température moyenne mensuelle en (c°) pour la période (2008-2017) station de Bejaia Aéroport.

Mois Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel
2008	12	12	13	16	19	22	26	26	24	20	14	11	17,91
2009	12	11	13	15	20	23	27	27	23	19	16	14	18,33
2010	12	13	14	16	18	20	25	25	23	19	15	13	17,75
2011	11	11	14	17	19	22	26	26	24	20	16	12	18,16
2012	10	8	13	16	19	20	25	31	23	20	17	12	17,83
2013	11	10	15	16	17	20	24	25	23	23	15	12	17,58
2014	13	13	13	17	18	22	24	26	25	21	18	12	18,5
2015	11	11	13	16	20	22	26	27	24	21	15	13	18,25
2016	13	14	13	16	18	22	26	25	24	22	17	13	18,58
2017	10	13	14	16	20	24	26	27	24	19	15	12	18,33
Moy	11,5	11,6	13,5	16,1	18,8	21,7	25,5	26,5	23,7	20,2	15,8	12,4	18,12

Annexe III-2-Précipitation moyenne mensuelle (ml) pour la période (2008-2017) station de Bejaia Aéroport.

Mois Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel
2008	7	20	120	37	66	7	3	4	144	61	131	73	56,08
2009	237	66	63	86	54	1	4	15	190	40	129	133	84,83
2010	53	55	107	44	57	38	1	6	39	135	162	70	63,91
2011	55	139	35	74	82	34	0	0	8	159	68	117	64,25
2012	90	322	71	92	10	3	1	86	66	55	105	56	79,75
2013	134	187	79	55	105	3	11	69	45	36	186	57	80,58
2014	85	64	133	16	9	66	1	2	6	77	9	196	55,33
2015	122	145	71	33	20	2	6	5	24	41	50	0	43,25
2016	61	111	195	48	62	13	0,2	0	39	23	46	45	53,6
2017	288	51	64	71	0,6	10	3	0,1	19	38	214	143	75,14
Moy	113,2	116	93,8	55,6	46,56	17,7	3,02	18,71	58	66,5	110	89	65,67

Annexe III-3-Humidité relative en (%) pour la période (2008-2017) station de Bejaia Aéroport.

Mois Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel
2008	77	77	78	73	80	77	75	77	75	79	77	80	77,08
2009	81	76	79	80	77	74	72	79	81	79	75	74	77,25
2010	75	73	79	84	78	81	79	80	77	78	77	67	77,33
2011	81	82	80	82	83	83	75	77	79	77	78	82	79,91
2012	82	85	83	78	80	77	76	72	79	77	68	79	78
2013	79	80	74	81	81	77	82	79	84	78	80	80	79,58
2014	73	75	81	75	79	79	76	77	72	73	69	78	75,58
2015	78	75	79	77	75	76	74	77	74	76	82	75	76,5
2016	76	72	67	80	78	79	74	74	76	74	7731	80	75,08
2017	76	76	74	76	78	78	73	72	72	76		78	75,16
Moy	77,8	77,1	77,4	78,6	78,9	78,1	75,6	76,4	76,9	76,7	75	77,3	77,15

Annexe III-4-Vitesse de vent en (m/s) pour la période (2008-2017) station de Bejaia Aéroport.

Mois Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel
2008	3,2	3,2	3,8	3,2	2,5	2,6	2,7	2,6	2,5	2,9	3,4	3,3	2,99
2009	3,2	3,2	3,1	2,7	2,9	3,4	3,7	3,3	3,2	3,4	4,5	4,8	3,45
2010	4,1	4,6	3,6	2,7	3,3	2,8	2,9	3,2	2,6	4	3,6	5,1	3,54
2011	3,4	3,8	3,5	3	2,9	2,6	2,8	3	2,9	3,5	2,9	2,8	3,06
2012	3	3,3	2,4	2,8	2,8	2,6	2,9	2,8	2,5	2,8	2,8	3	2,80
2013	3,5	3,3	3,4	2,5	3,3	2,5	2,1	2,4	2,1	2,5	3	3,3	2,82
2014	3,4	2,9	3,3	2,8	2,6	2,8	2,8	2,9	2,9	3,1	3,2	4	3,05
2015	4,5	3,2	2	2,3	2,5	2	1,9	2,8	2,2	2,5	2,2	2,2	2,44
2016	1,8	2,4	2	1,1	1,6	1,8	2,2	2,4	1,8	2,1	2,4	4,4	2,16
2017	4,6	4,2	3,9	3,7	3,4	3,3	3,3	3,1	3,6	3,8	4,6	4,5	3,83
Moy	3,47	3,41	3,1	2,68	2,78	2,64	2,73	2,75	2,63	3,06	3,23	3,74	3,01

Annexe IV-1- Quelques normes Algérienne de qualité de l'eau potable pour les Paramètres physiques. (Source ADE)

Paramètre physique	Unité	Norme algérienne
pH	--	6.5-9
Conductivité à 25°C	µS /cm	2800
Température	C°	25
Turbidité	NTU	5
Salinité	%	--
TDS	mg/l	--

Annexe IV-2- Quelques normes Algérienne de qualité de l'eau potable pour les Paramètres chimique. (Source ADE)

Paramètre Chimique	Unité	Norme algérienne
Calcium Ca ⁺⁺	mg/l	200
Magnésium Mg ⁺⁺	mg/l	150
Sodium Na ⁺	mg/l	200
Potassium K ⁺	mg/l	12
Chlorures Cl ⁻	mg/l	500
Sulfate SO ₄ ²⁻	mg/l	400
Bicarbonate HCO ₃ ⁻	mg/l	--
Carbonate CO ₃ ⁻	mg/l	--
Dureté	mg/l CaCO ₃	500
Titre alcalin complet (TAC)	mg/l CaCO ₃	500

Annexe IV-3- Quelques normes Algérienne de qualité de l'eau potable pour les Paramètres de pollution. (Source ADE)

Paramètre de pollution	Unité	Norme Algérienne
Ammonium NH_4^+	mg/l	0.5
Nitrite NH_2^-	mg/l	0.2
Nitrate NO_3^-	mg/l	50
Phosphate P	mg/l	0.5

Annexe IV-4- Quelques normes Algérienne de qualité de l'eau potable pour les Paramètres Bactériologique. (Source ADE)

Paramètre Bactériologique	Unité	Norme Algérienne
Germes totaux à 37°C	UFC/ml	10
Germes totaux à 22°C	UFC/ml	100
Coliformes totaux	UFC/ 100ml	0
E.Coli	UFC/ 100ml	0
Streptocoques fécaux	UFC/100ml	0
Clostridium sulf-red	UFC/ 5L	0
Vibrions typhi	UFC/ 5L	0

Résumé

Les zones côtières sont généralement un lieu de concentration de différentes activités anthropiques : la forte urbanisation, l'industrialisation, l'agriculture maraîchère et l'activité touristique. Les aquifères côtiers se trouvent par conséquent souvent confrontés à des exploitations abusives pour répondre à des besoins en eau très élevés et se trouvent exposés à des problèmes de pollution ; Il s'agit de phénomènes d'avancée du biseau salé dans les terres en cas de mauvaise gestion quantitative des nappes.

La combinaison des outils, géologiques, géophysiques, hydrogéologiques, piézométriques, et hydrochimiques, ainsi que l'utilisation des méthodes de cartographie a la vulnérabilité, méthode GALDIT cas de notre travail.

Par ces différentes approches utilisées, nous avons démontré qu'il n'y pas d'invasion saline au niveau de la région étudiée.

Mots-clés : nappe côtière, invasion saline, vulnérabilité, pollution.

Summary

The inshore zones are generally a place of different activities anthropiques concentration: the strong urbanization, the industrialization, the market agriculture and the tourist activity. The aquiferous inshore are therefore often confronted to the abusive exploitations to answer to needs in water very elevated and are expositions to problems of pollution. It is about phenomena of advanced of the bevel salted in earths in case of bad quantitative management of tablecloths.

The combination of tools, geological, geophysical, hydrogéologiques, piézométriques, and hydrochimiques, as well as the use of cartography methods has the vulnerability, method GALDIT case of our work.

By these different used approaches we demonstrated that him there not of saline invasion at the level of the studied region.

Words - key: inshore tablecloth, saline invasion, vulnerability, pollution.