

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

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



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

MASTER

Thème

**Etude de la vulnérabilité des eaux
souterraines à la pollution au niveau de la
commune d'Aokas par la méthode RISK.**

Présenté par :

ARAB Lynda & FELKAOUI Donia

Soutenu le : 12 Juin 2016

Devant le jury composé de :

M. BALLA EL-Hacene	MCA	Président
M. KHEMMOUDJ Kaddour	MCB	Encadreur
M. LARACHI Nassim	MAA	Examineur

Année universitaire : 2015 / 2016

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté afin de terminer ce modeste travail.

Nous adressons un grand remerciement à notre promoteur M.KHEMMOUDJ Kaddour, qui nous a fait honneur de diriger notre mémoire sur un sujet passionnant et nous a guidé tout au long d'un semestre par son élaboration.

Nous remercions également M. BALA EL-Hacen d'avoir accepté de présider le jury et M. LAARACHI Nacim d'avoir accepté d'examiner cet humble travail.

Nous tenons à exprimer nos reconnaissances et notre sincère gratitude à ceux d'APC d'AOKAS particulièrement M. BRAHAMI Zahir (Etablissement Public de Santé et de Proximité) et M^e SAIDI Karima (Bureau d'Hygiène Communal).

Comme nous sommes très ravis de saisir l'occasion de remercier tous les enseignants, qui ont guidé nos pas vers un avenir brillant. Ainsi qu'à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Lynda et Donia

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A la mémoire de mon père

A ma mère

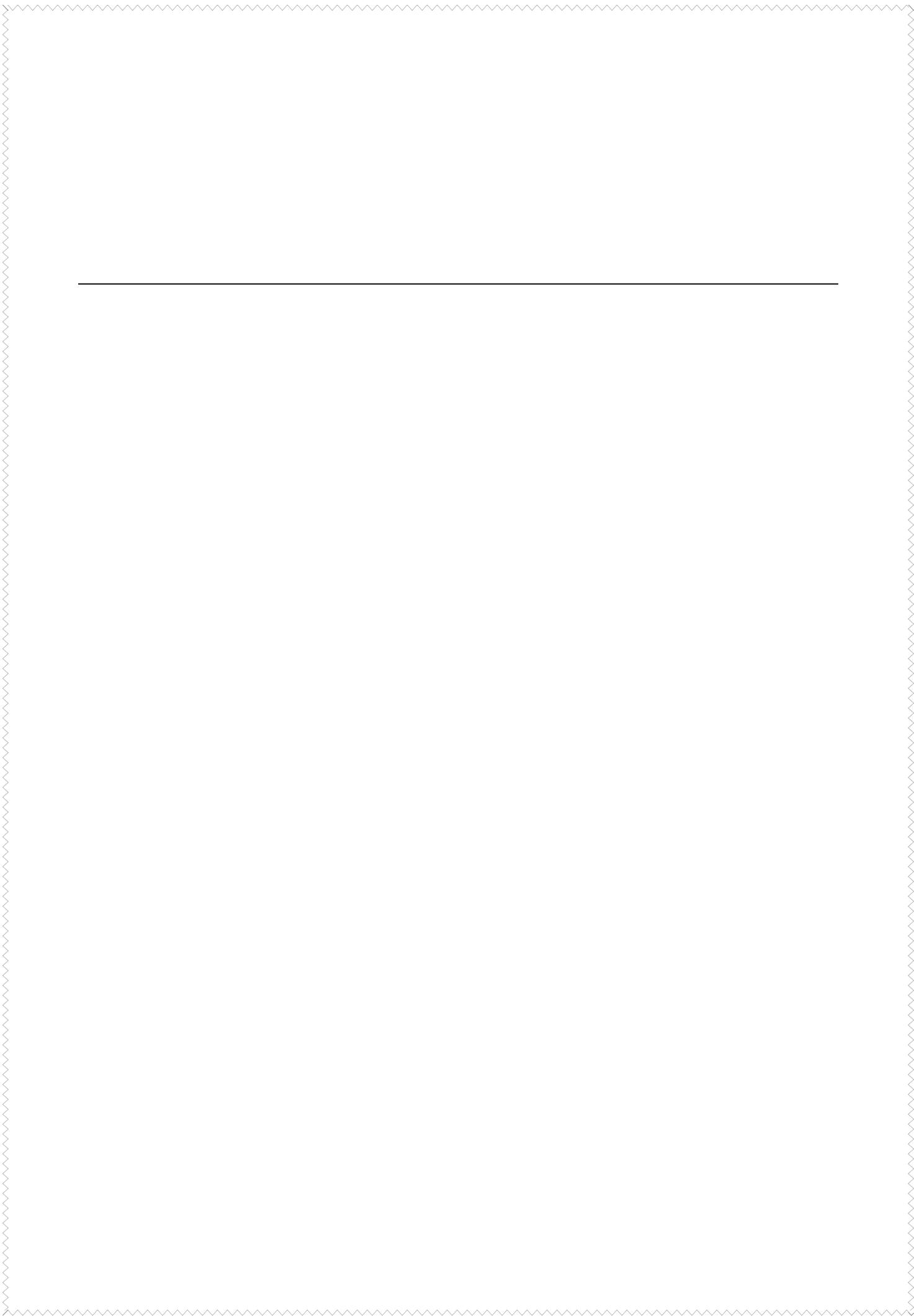
A mes frères

A mes sœurs

A mon ami KENDIL Lotfi et à toute sa famille

Sans oublier tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

LYNDA



Dédicaces

Je dédie ce travail

À la mémoire de mon très chère oncle, à qui je dois tout, tant le souvenir de ses conseils, et de ses encouragements m'ont permis d'aller de l'avant.

Je remercie toute ma famille pour son soutien et son affection au cours de mes études... Je citerai en particulier ma mère et mon père, pour leurs conseils et leurs soutien inconditionnel dans les moments importants de ma vie et de ses encouragements m'ont permis d'aller de l'avant et d'atteindre les objectifs qu'on s'est fixé ensemble, pour leurs confiance permanente. Merci pour tout.

À mes frères NASROU et SLIMAN à mes sœurs LEILA et KHAOULA auxquels je souhaite beaucoup de réussite.

Je ne peux pas oublier de remercier chaleureusement mes très chères amies, CHERIFA, RADHIA, OUISSAM CHAHOU, HASSIBA, RYMA, khalo RYAD et pour l'ambiance cordiale et l'aide qu'ILs m'ont apporté à tout moment. Je leurs souhaite, à tous, bonne continuation et beaucoup de réussite.

Notre promoteur M khemmoudj K et ma binôme LYNDIA

DONIA

Table des matières

I- Introduction.....	1
II- Matériel et méthodes.....	4
II-1- Matériel.....	5
II-1-1- Situation géographique.....	5
II-1-2- Population.....	6
A- Présentation de la population.....	6
B- Évaluation de la population.....	7
C- Répartition de la population.....	7
II-1-3- Couvert végétal.....	7
II-1-4- Réseau hydrographique.....	9
II-1-5- Hydroclimatologie.....	10
A- Précipitations.....	10
B- Température.....	12
C- Vent.....	13
D- Humidité.....	14
II-1-6- Pédologie.....	15
II-1-7- Géologie.....	16
II-1-8- Hydrogéologie.....	18
A- Présentation d'un aquifère.....	18
B- Présentation d'un karst.....	19

II-2- Présentation de la méthode RISK.....	21
II-2-1- Les méthodes multicritères.....	21
II-2-2- La méthode RISK.....	22
A- Critère R : Roche aquifère.....	23
B- Critère I : Conditions d'infiltration.....	24
C- Critère S : Sol et couverture protectrice.....	25
D- Critère K : Karstification.....	27
E- Indice global de vulnérabilité Ig.....	27
III- Résultats et discussion.....	28
III-1- Critère R : Roche.....	29
III-2- Critère I : Conditions d'infiltration.....	30
III-3- Critère S : Sol.....	31
III-4- Critère K : Karstification.....	32
III-5- Calcul de l'indice global de vulnérabilité Ig.....	33
III-6- Discussion de la carte de vulnérabilité.....	35
III-7- Sources de pollution.....	36
III-8- Conséquences de la pollution.....	39
IV- Conclusion et recommandations.....	40
V-Références bibliographiques.....	42
VI-Annexes	

Liste des Tableaux

N°	Titre	Page
I	Répartition de la population de la région d'Aokas.	7
II	Précipitations mensuelles moyennes (1984-2014).	11
III	Pluviosité moyenne saisonnière en mm.	11
IV	Température annuelle moyenne en C°(1984-2014).	12
V	Moyennes mensuelles du Vent (1997-2012).	13
VI	Moyennes mensuelles d'humidité relative en % (2010-2014).	14
VII	Nature de la roche aquifère.	23
VIII	Conditions d'infiltration.	24
IX	Texture des Sols.	25
X	Épaisseur des Sols.	25
XI	Nature des Sols.	26
XII	Karstification.	27
XIII	Catégories de vulnérabilité (modèle).	27
XIV	Calcul de l'indice global de vulnérabilité Ig.	33
XV	Catégories de vulnérabilité.	34
XVI	Sources de pollution au niveau de la région d'Aokas.	36

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Situation de la commune d'Aokas.	6
02	Carte de végétation de la région d'Aokas.	8
03	Histogramme des précipitations.	11
04	Variations saisonnières des précipitations.	12
05	Courbe des températures (station d'Oued Marsa).	13
06	Courbe des moyennes mensuelles du vent.	13
07	Courbe des moyennes mensuelles d'humidité relative en%.	14
08	Carte des types des sols de la région d'Aokas.	15
09	Carte géologique de la région d'Aokas.	17
10	Schéma d'un karst.	20
11	Carte de critère R (Roche).	29
12	Carte de critère I (Conditions d'infiltration).	30
13	Carte de critère S (Sol).	31
14	Carte de critère K (karstification).	32
15	Carte de vulnérabilité finale par méthode RISK.	35
16	Photo d'une décharge publique de la région d'Aokas.	37
17	Carte de RISK.	38

Introduction

I. Introduction

Les eaux souterraines sont considérées comme l'une des sources les plus importantes pour l'approvisionnement en eau potable du fait de leur grande capacité de stockage ainsi que de leur faible exposition aux polluants contrairement aux eaux de surface. 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.

Pour leur meilleure gestion la prévention contre ces polluants apparait 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.

- La vulnérabilité des nappes à la pollution comme leur sensibilité aux différents facteurs de contamination à partir de la surface du sol, C'est l'étude des possibilités de la propagation des polluants dans l'espace souterrain, lié à l'autoépuration naturelle du sol, donc à la présence des conditions indispensables à son action, elle est favorisée par la circulation de l'eau. **(Castany, 1982).**

-Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité les plus utilisées sont les suivantes :

D.R.A.S.T.I.C (U.S.A): **D**epth to water, **n**et **R**echarge, **A**quifer media, **S**oil media, **T**opography, **I**mpact of the vadose and hydraulic **C**onductivity.

G.O .D. (pays-bas): **G**roundwater occurrence, **O**verlying lithology, **D**epth to groundwater.

Cette méthode a été appliqué à l'aquifère de torremolinos dans le sud de l'Espagne. **(Villa, 1980).**

E.P.I.K. (Suisse): **E**pikarst, **P**rotective cover, **I**nfiltration conditions, **K**arst network. Cette méthode largement employée en suisse est devenue obligatoire dans ce pays pour définir la vulnérabilité des bassins karstiques captés pour l'AEP suite à la loi fédérale sur la protection des eaux de 1991.La méthode a été testée sur le site de St-Limier le Jur Suisse. **(Doerfliger et Zwahlen, 1998).**

R.I.S.K.E.2. Évolution de R.I.S.K.E. (France): **R**oche, **I**nfiltration, **S**ol, **K**arstification, **E**pikarst.

R.I.S.K. : Roche aquifère, condition d'Infiltration, Sol et couverture protectrice, Karstification

La méthode RISK est une méthode de cartographie multicritères de vulnérabilité des surfaces contribuant à la recharge de l'aquifère. Elle fournit une cartographie hiérarchisée en 5 classes de vulnérabilité.

Plusieurs méthodes d'étude et d'évaluation de la vulnérabilité ont été étudiées au monde par (Margat, 1968 ; Albinet, 1970; Doerfliger et Wahlen, 1998). Et en Algérie par (Khemmoudj ,2009). Dans la région de Bejaïa des études de vulnérabilité à la pollution ont été faites par (Bedhouche et Berkani, 2005; Belkebir et Debbou, 2015).

Dans notre travail nous présentons une méthode d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité et des risques de pollution des eaux souterraines.

L'objectif de notre travail ; Est d'établir une carte de vulnérabilité de la région d'Aokas (Bejaïa-Algérie), par la méthode R.I.S.K.

Le travail est structuré de quatre parties : la première partie c'est la synthèse bibliographique ; qui englobe l'introduction et quelques généralités sur le thème, la seconde partie c'est la partie matériel et méthodes où on a présenté la région d'étude, le matériel utilisé et la méthode utilisée. La troisième partie c'est la partie de résultats et discussion et enfin on a conclu le travail par une conclusion et quelques recommandations.

Matériel

Et

Méthodes

II. Matériel et méthodes

II.1. Matériel

➤ Présentation des BLN :

1-Introduction des coordonnées (x,y)

2-Réalisation de la carte : un fois les coordonnées (x,y) sont utilisables dans le worksheet, on passe à l'étape gride (crid) 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.

➤ Présentation générale de la région d'étude (d'Aokas)

II.1.1. Situation géographique

Aokas est une ville algérienne de la wilaya de Bejaïa (la région de Kabylie).Elle est située sur le littoral méditerranéen, à l'Est de Bejaïa, dans le golfe de Bejaïa.

La ville d'Aokas a pour coordonnées géographiques Latitude : 36° 37' 60'' nord
Longitude : 5° 15' Est.

La commune d'Aokas est limitée au :

-Nord : par la Mer méditerranéenne

-Sud : par la commune de Tizi N'Berber

-Est : par la commune de Souk EL-Tenine

-Ouest : par la commune de Tichy. (Fig. 1).

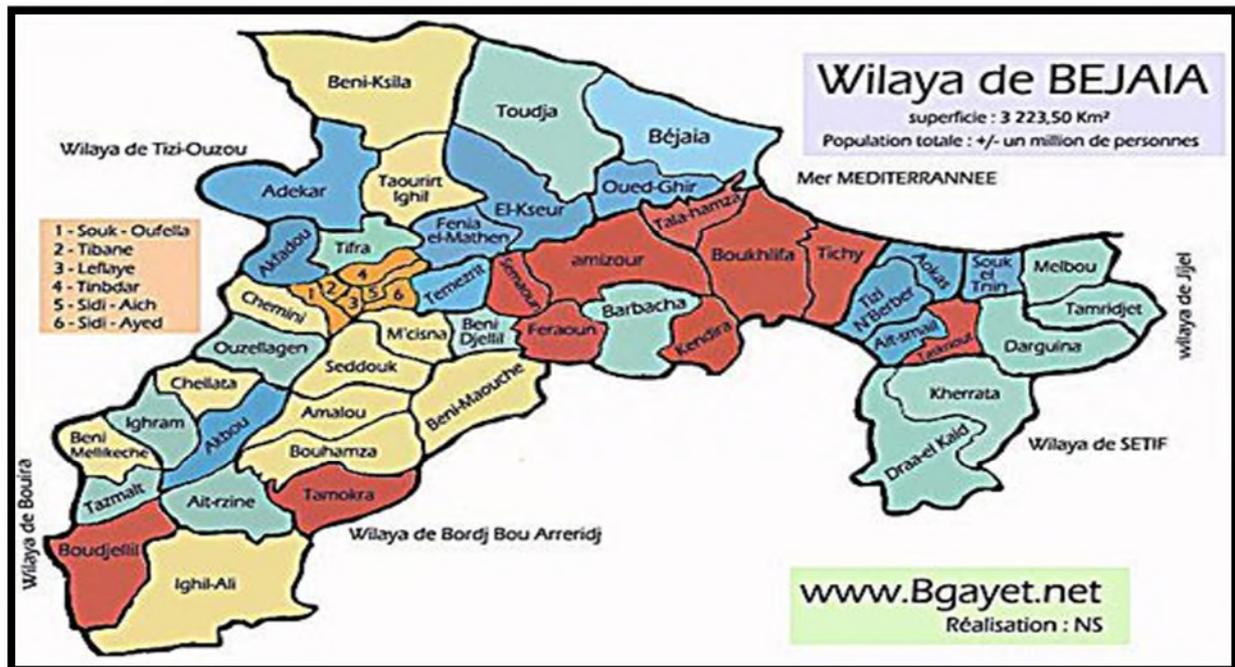


Figure N°1: Situation de la commune d'Aokas.

Aokas dispose d'un patrimoine touristique riche et diversifié. En plus de ses vastes plages qui s'étendent sur des kilomètres et dont certaines, celles qui sont situées juste au bas et à l'Est de la ville, sont accessibles via une forêt (d'eucalyptus), Aokas est aussi connue par sa grotte féerique découverte en 1962 par une société franco-italienne au cours du tunnel qui donne accès à cette ville par l'ouest sur la Route Nationale n° 9, à 25 km de la ville de Bejaïa.

II.1.2. Population

A. Présentation de la population

Aokas couvre une superficie de 2787 hectares soit 27,87 km², et compte 15 989 habitants depuis le dernier recensement de la population.

La densité de la population est de 573,7 habitants /km² sur la ville.

Outre son chef-lieu Aokas-ville, la commune d'Aokas est composée des localités suivantes : Aït Aïssa, Akkar, Mesbah, Tizi-Djarmana, Ansa, Alliauane, Tabellout, Tikherrobine, Amerzague, Tala-Khaled, Laazib, Tidelsines, Iouarirènes, Tala-khelifa, Aguamoune, Tarmout, Hersous, El-Anser. (**Bedhouche et Berkani, 2005**).

B. Évaluation de la population

La commune d'Aokas compte principalement le chef-lieu et des agglomérations secondaires telles que : Aït-Aïssa et tala-Khaled ainsi que les hameaux, les différents recensements global de population par habitat ont montré combien la croissance est galopante.

C. Répartition de la population

La population de la région d'Aokas est répartie selon le tableau suivant :

Tableau N°I : Répartition de la population de la région d'Aokas

Agglomération	Répartition en %
Chef-lieu	35.32
AGG secondaire	14.73
Zones épars	49.94

II.1.3. Couvert végétal

La végétation de la région d'Aokas est de type méditerranéen, constituée de formation haute représentée par les forêts, et des formations moyennes formées par des garrigues et de maquis. Et enfin de formation basse composée essentiellement d'espèces fourragères et des espèces herbacées. , comme *Pinus alpeensis*, *Pinus maritimus*, *Populs alba*, *Erica arborea*, *Olea europaea*, *Myrtus communis*, *Ficus cerica*... (Fig. 2).

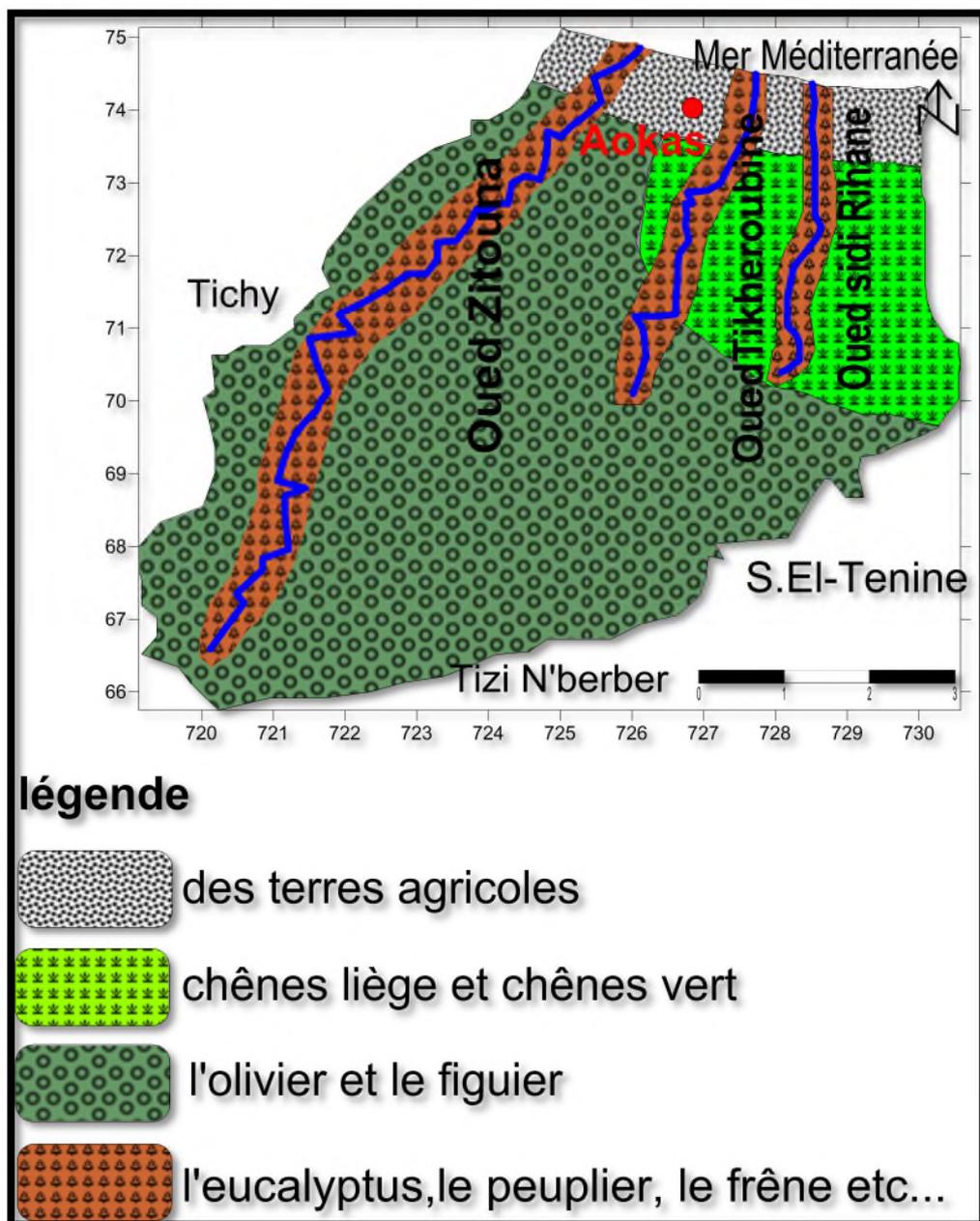


Figure N°2: Carte de végétation de la région d'Aokas.

II.1.4. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique (ou réseau de drainage) se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels permanents ou temporaires qui participent à l'écoulement. Il est l'une des caractéristiques les plus importantes du bassin. L'intensité et la répartition du ruissellement sont en fonction de la longueur et de la densité du réseau.

La densité du drainage : Est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

$$D_d = \sum_{i=1}^n L_i / A$$

D_d : densité de drainage (km/km²)

L_i : longueur totale de tous les cours d'eau d'ordre i (km) ; est égal à 194.9km

A : surface du bassin versant (km²). Est égale à 78.55 km²

Application :

$D_d = 2.48$ km. Ceci traduit une bonne perméabilité.

Les eaux de surface sont peu importantes dans la commune d'Aokas en raison de l'infiltration des eaux de ruissellement déversées qui s'effectue rapidement au contact de la plaine alluviale.

Les oueds qui méritent d'être cités pour leur écoulement quasi-permanent sont :

-Oued Sidi-Rihane à l'Est.

-Oued Zitouna à l'Ouest.

-Oued Tikharoubine au centre de la commune.

L'étude morphologique de la région a permis de déterminer les caractéristiques physiologiques de sous bassin versant. La forme allongée horizontalement favorise l'écoulement des eaux superficielles. L'altitude est moyenne à faible, ce qui reflète un relief modéré dont les valeurs sont comprises entre 0 à 1 395m. Ce qui induit à une faible vitesse d'écoulement.

Ces caractéristiques physiographiques doivent se compléter par une connaissance dans le domaine (Couvert végétal, pédologie, Géologie,...). Pour mieux cerner les modalités des écoulements superficiels et souterrains à l'intérieur de la région d'étude. **(Bedhouche et Berkani, 2005)**.

II.1.5. Hydroclimatologie

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.

A. Précipitations

➤ Définition

Les précipitations sont les résultats de refroidissement de l'air humide provoquant la condensation de vapeur d'eau.

Le climat méditerranéen est caractérisé par l'inégalité de la répartition des précipitations au cours de l'année, qui se différencie dans son intensité, fréquence, d'où l'apparition de quatre saisons différentes. **(Belkbir et Debbou, 2015)**.

➤ Précipitations moyennes

Les moyennes mensuelles, nous donnent une idée sur la répartition des précipitations tout au long de l'année.

-L'analyse du tableau ci-dessous nous montre, la période pluvieuse est celle comprise entre le mois d'octobre et le mois de mars, avec un maximum au mois de janvier (181mm). Ainsi que les jours de pluie sont compris entre 11 à 18 par mois.

-par contre la période chaude est comprise entre le mois d'avril et le mois de septembre, avec un minimum de précipitations au mois de juillet (6mm). Ainsi que les jours de pluie sont compris entre 3 à 9 jours par mois.

Les précipitations annuelles à Aokas (Oued Marsa) sont de l'ordre de 1105 mm/an, Ainsi que le total des jours de pluie atteint 118 jours par an. (Tableau II).

Tableau N°II : Précipitations mensuelles moyennes

Mois	Jan	Fer	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Pluie en mm	181	120	115	83	56	44	06	11	76	106	150	157	1105
Jours de p.	13	18	13	09	08	08	08	03	07	11	11	12	118

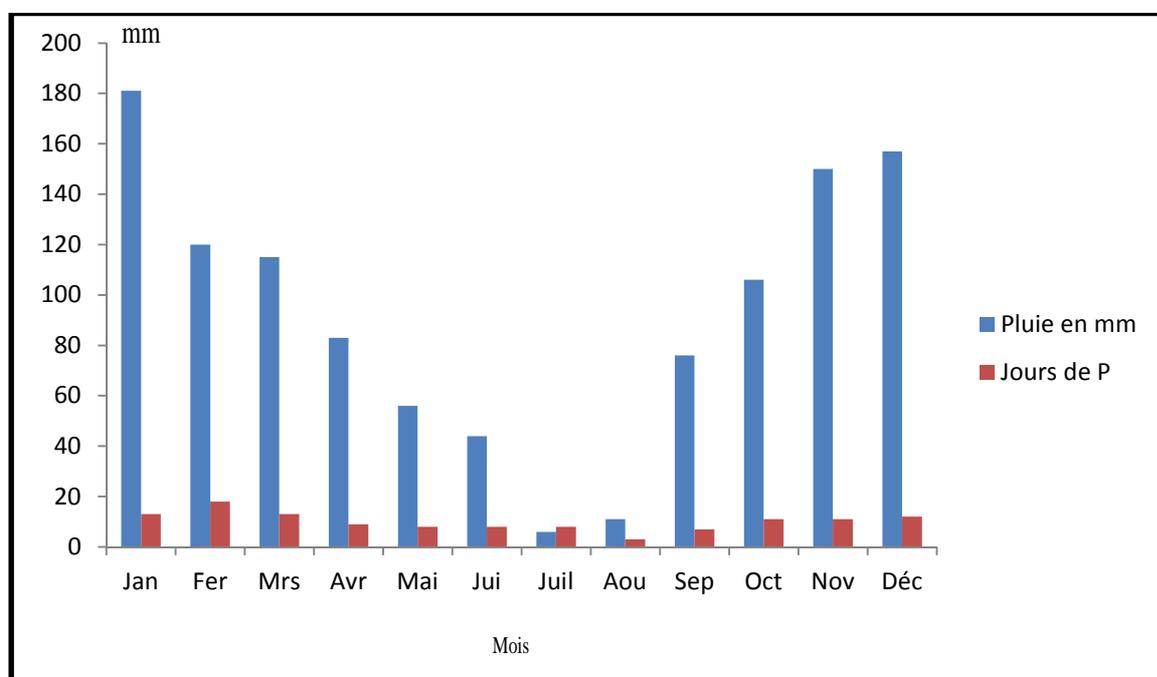


Figure N°3 : Histogramme des précipitations.

Tableau N°III : Pluviosité moyenne saisonnière en mm

Saisons	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Année
P en mm	458	254	61	332	1105

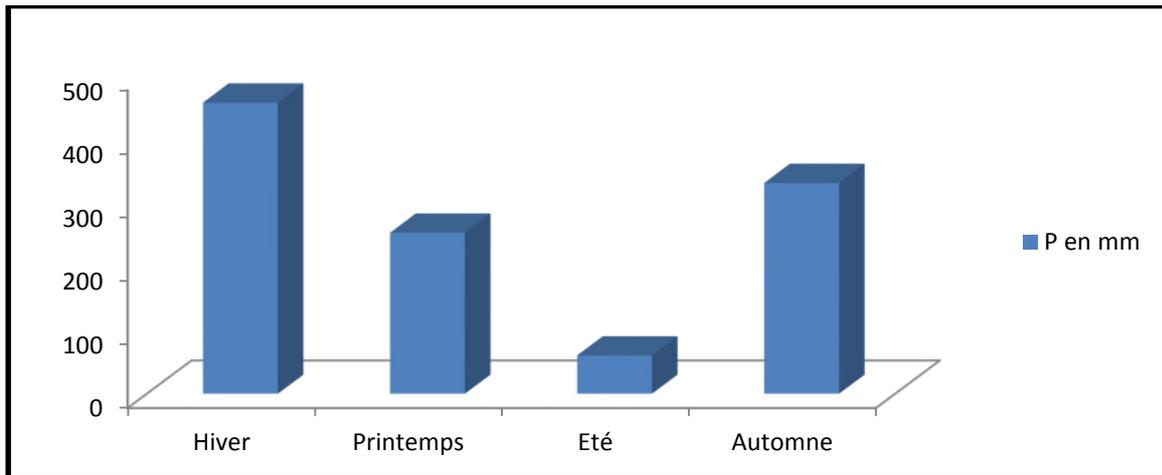


Figure N°4 : Variations saisonnières des précipitations.

B. Température

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère. (Ramade, 2003).

Tableau N°IV : Température annuelle moyenne en C°

Mois	Jan	Fer	Mrs	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
M	15	16.6	18.9	21.4	24	27.7	31.4	32	30.3	24.7	19.4	15.9	23.1
m	7.3	7.6	8.9	11.2	13.6	17.1	19.8	20.1	17.8	14.5	11.4	8	13.1
(M+m)/2	11.15	12.1	13.9	16.3	18.8	22.4	25.6	26.05	24.05	19.6	15.4	11.95	18.1

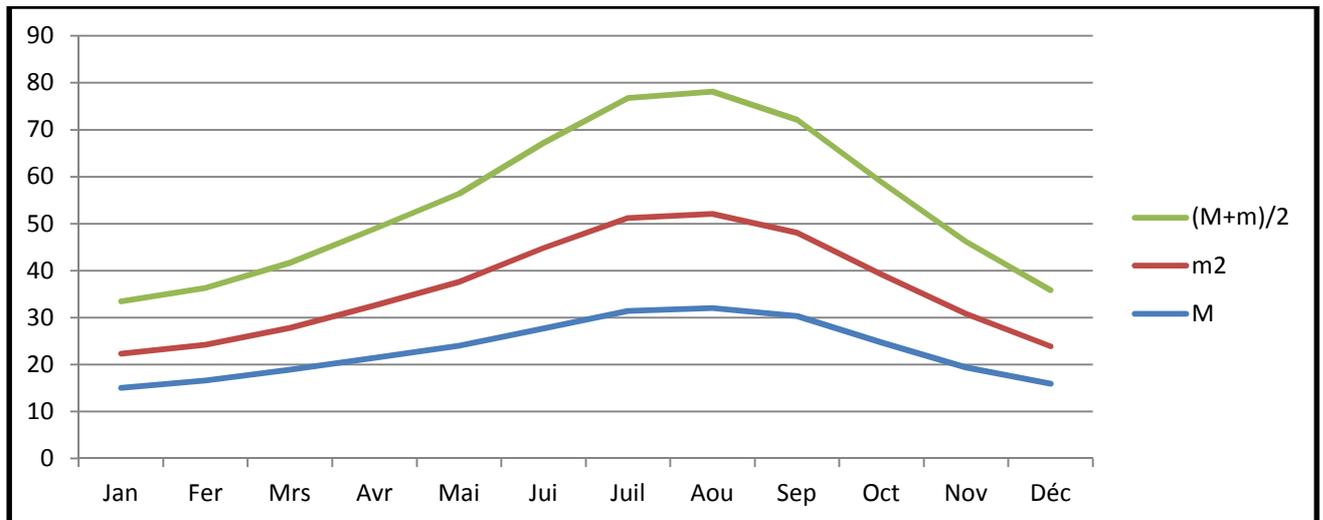


Figure N°5 : Courbe des températures (Station d'Oued Marsa).

C. Vent

Le vent est un facteur écologique qui est souvent sous-estimé dans l'étude du fonctionnement des écosystèmes, Il joue un rôle important dans le cycle de l'eau.

Tableau N° V: Moyennes mensuelles du vent (1997-2012)

mois	Jan	Fer	Mrs	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Vm/s	3.9	3.7	3.5	3.3	3.1	3.1	3.1	3.3	3.1	3.3	3.7	3.9

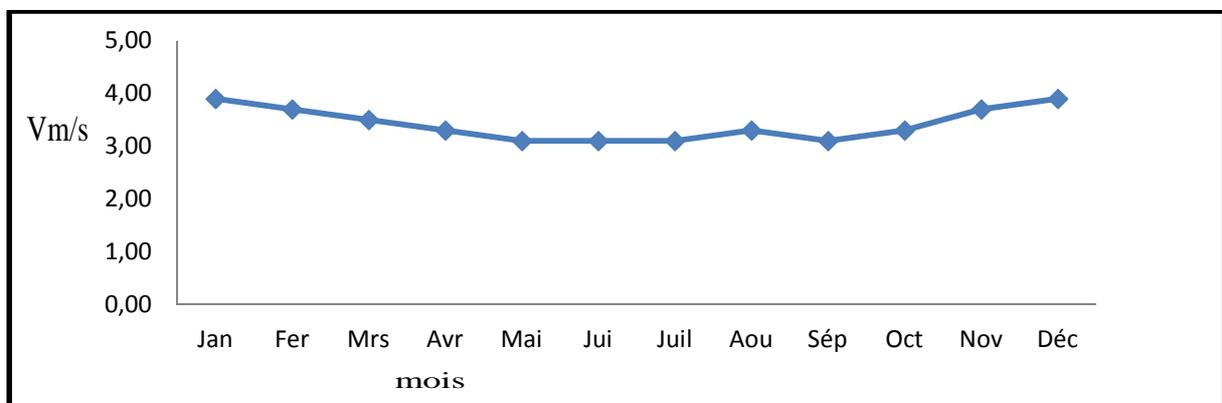


Figure N°6 : Courbe des moyennes mensuelles du vent.

D. Humidité

L'humidité de l'air est la quantité de vapeur d'eau contenue dans certain volume d'air, exprimé en g/m^3 . L'air ne peut contenir qu'une quantité limite de vapeur d'eau, quantité pour la qu'elle on peut dire qu'il est saturé. Cette quantité est en fonction de la température, on exprime souvent l'humidité de l'air en % par rapport à l'humidité. (Berkani et Bedhouche, 2005).

La hausse de l'humidité est due à la situation géographique de la région qui se trouve au bord de la mer. (Station météorologique de Bejaia).

Tableau N°VI: Moyennes mensuelles d'humidité relative % (2010-2014)

mois	Jan	Fer	Mrs	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
H%	78	79	79.4	80.8	80.2	79.4	77.6	77	78.2	76.6	78	77.2	78.45

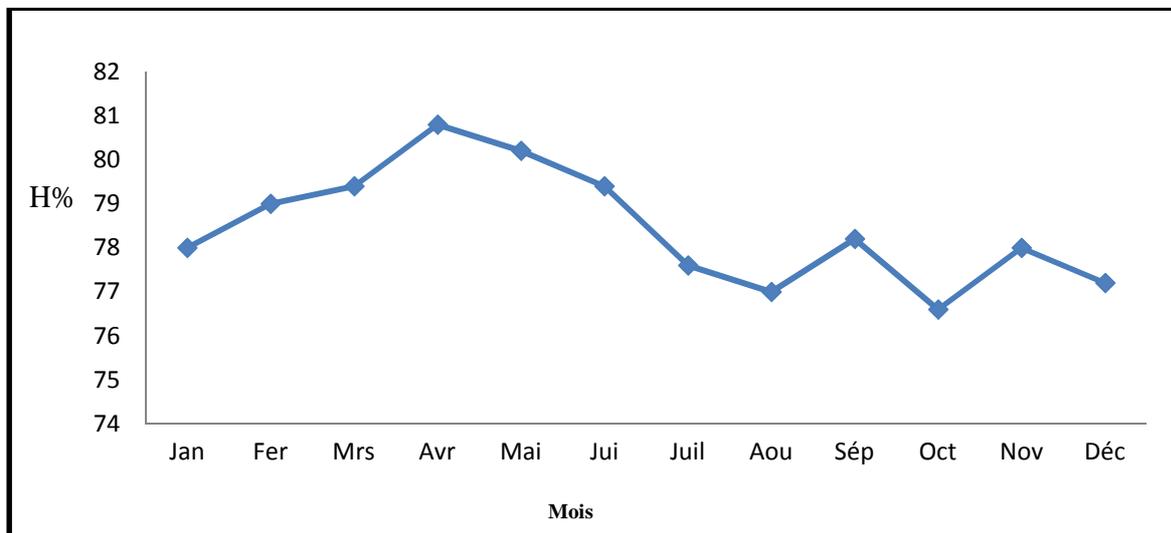


Figure N°7 : Courbe des moyennes mensuelles d'humidité relative en%.

II.1.6. Pédologie

➤ Définition

La pédologie est la science ayant pour but d'étudier la pédogenèse des sous-sols rocheux, les particules les caractéristique et la taxonomie des sols.

➤ Classification des sols : on peut les classer par diamètre décroissant comme le suivant :

- Les graviers et Caillaux (>2mm)
- Les sables (20um-0.2mm)
- Les limons (2um-20um)
- L'argile granulométrique (<2um).

Pour la région d'Aokas son sol est formé des dunes de sable tout au long du littoral et par des sols argileux pente dans la partie montagneuse. Et sol argileux limoneux dans la plaine d'Aschirt. (Fig. 8).

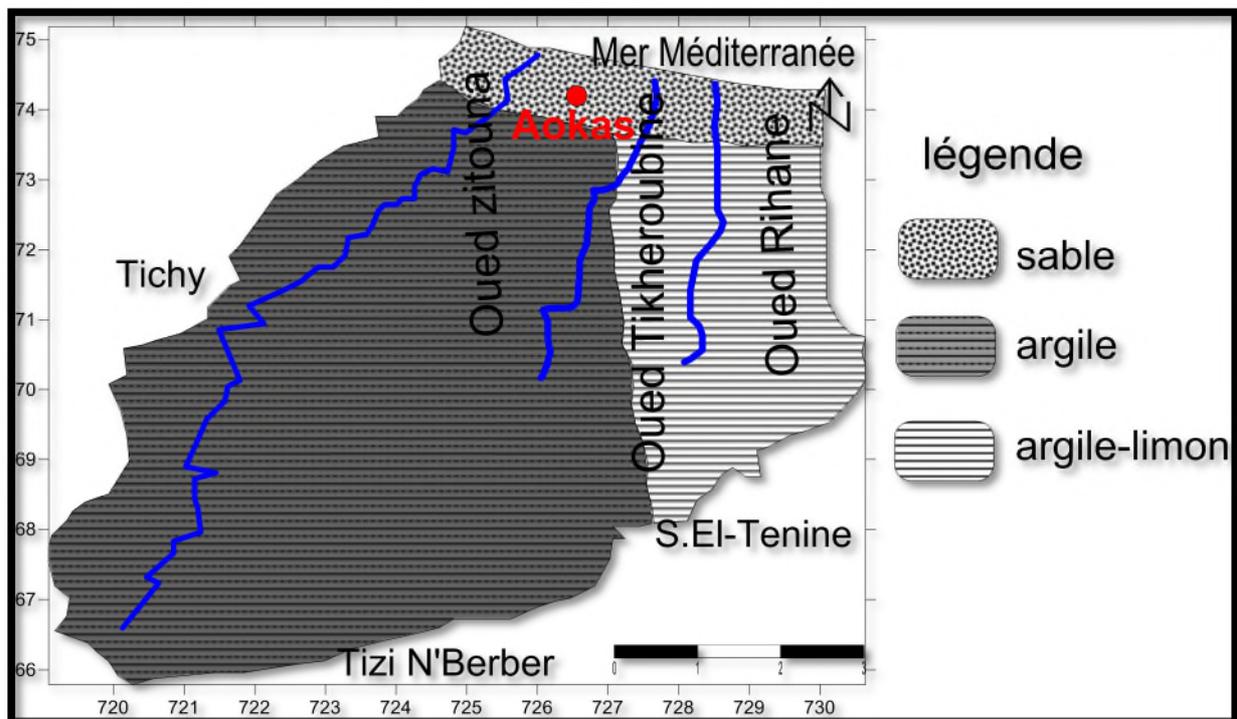


Figure N°8: Carte des types des sols de la région d'Aokas.

II.1.7. Géologie

Le massif de cap Aokas est constitué par du calcaire d'âge jurassique inférieur de couleur grise sombre, à patine brune. Sa stratification rarement visible, montre à l'entrée de l'Est du tunnel des directions respectives N50° et N60°E et des pendages de 70°NW et 90°. Il constitue l'ossature de la barrière montagneuse qui se prolonge vers le sud au-delà du Cap. Un faciès calcarobréchique assez homogène et finement cimenté s'intercale dans les calcaires massifs gris sombres. Ce faciès se rapproche des unités telliennes, crétacées qui sont connues dans la chaîne des Babors. Les formations quaternaires apparaissent à partir de l'entrée du village Tala Khaled jusqu'à l'entrée Est de la ville d'Aokas.

Le massif traversé est affecté par une faille majeure, verticale et subméridienne (N010) à valeur décrochant sénestre observée sur le talus amont de l'ancienne route. Le prolongement de cette faille vers le nord coïncide avec la paroi de la falaise verticale très haute qui délimite le tunnel à son entrée Est. Elle est caractérisée par une zone de brèche, épaisse de plusieurs mètres. **(Bougdal, 2009).**

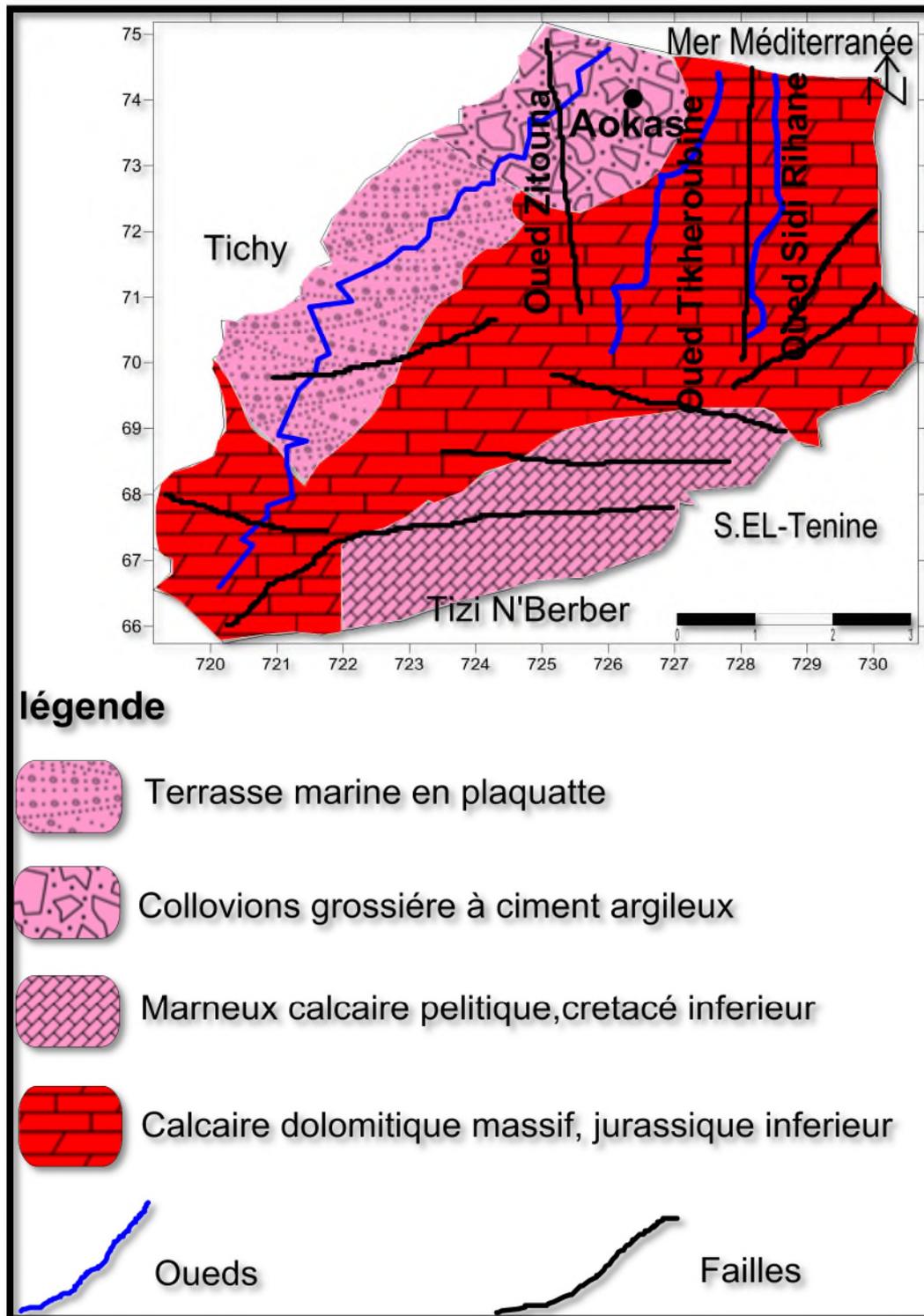


Figure N°9 : Carte géologique de la région d'Aokas.

II.1.8. Hydrogéologie

A. Présentation d'un aquifère

Un aquifère est une formation hydrogéologie perméable permettant l'écoulement significatif d'une nappe d'eau souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables, par des moyens économiques. C'est un système hydrologique, hydrodynamique.

Il est identifié par cinq ensembles :

- Un réservoir.
- Des processus internes ou mécanismes hydrodynamiques, hydrochimiques et hydrogéologiques.
- Une séquence du cycle de l'eau.
- La variabilité dans l'espace de ces caractéristiques (contexte géologique).
- Des conditions de temps (aquifère est comparable à un gisement minier, dont le minéral l'eau est plus ou moins renouvelable).

Dans la région d'Aokas il existe deux types d'aquifères; un aquifère d'une nappe libre dans les alluvions et un aquifère karstique dans les formations carbonatés (calcaire), qui dominant la région. (Fig. 9).

B. Présentation d'un karst

Le mot karst désigne un ensemble de reliefs superficiels et souterrains, façonnés par l'eau dans des roches carbonatées. Dans les formations karstiques l'érosion des roches par l'eau se fait essentiellement par dissolution.

Les roches carbonatées sont :

- des calcaires constitués de la calcite (CaCO_3).
- d'aragonite (CaCO_3).
- des dolomies constituées d'au moins 50% du minéral dolomite ($\text{Ca, Mg} (\text{CO}_3)_2$) et de calcite.

Il existe d'autres formes de carbonates moins fréquents constituent certaines concrétions : la magnésite (MgCO_3), la sidérite (Fe CO_3), la smithsonite (Zn CO_3).

Les roches calcaires peuvent contenir des argiles. Une roche calcaire contenant entre 50% et 35% d'argile est appelée MARNE. Le calcium peut aussi se cristalliser sous forme de gypse ($\text{CaSO}_4 2\text{H}_2\text{O}$).

Le karstique se caractérise par : D'abord le fait que les écoulements se font de manière essentiellement souterraine dès que l'on est au dessus du niveau de base locale.

La formation des cavités du karst est liée à la dissolution des roches carbonatées par l'eau chargée en acide carbonique (CO_2). La dissolution est d'autant plus active que l'eau est enrichie en CO_2 . Les eaux souterraines sont souvent fortement enrichies en acide carbonique et autres acides organiques, notamment les acides humiques produits par l'activité racinaire lors de leur percolation dans le sol. Le CO_2 dissout dans l'eau s'hydrate et forme l'acide carbonique qui se dissocie en ions H^+ et HCO_3^- , puis en ion carbonate CO_3^{2-} .

$$\text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+}$$

La formation des concrétions dans les cavités est liée à la précipitation des carbonates : des eaux circulant dans les roches calcaires du karst se chargent d'ions HCO_3^- et Ca^{2+} en solution. Quand ces eaux émergent dans une cavité, elles relâchent vers l'atmosphère un peu de CO_2 . Cette perte de CO_2 déplace l'équilibre des carbonates et entraîne un précipité de CaCO_3 (carbonate de calcium) selon la réaction chimique :

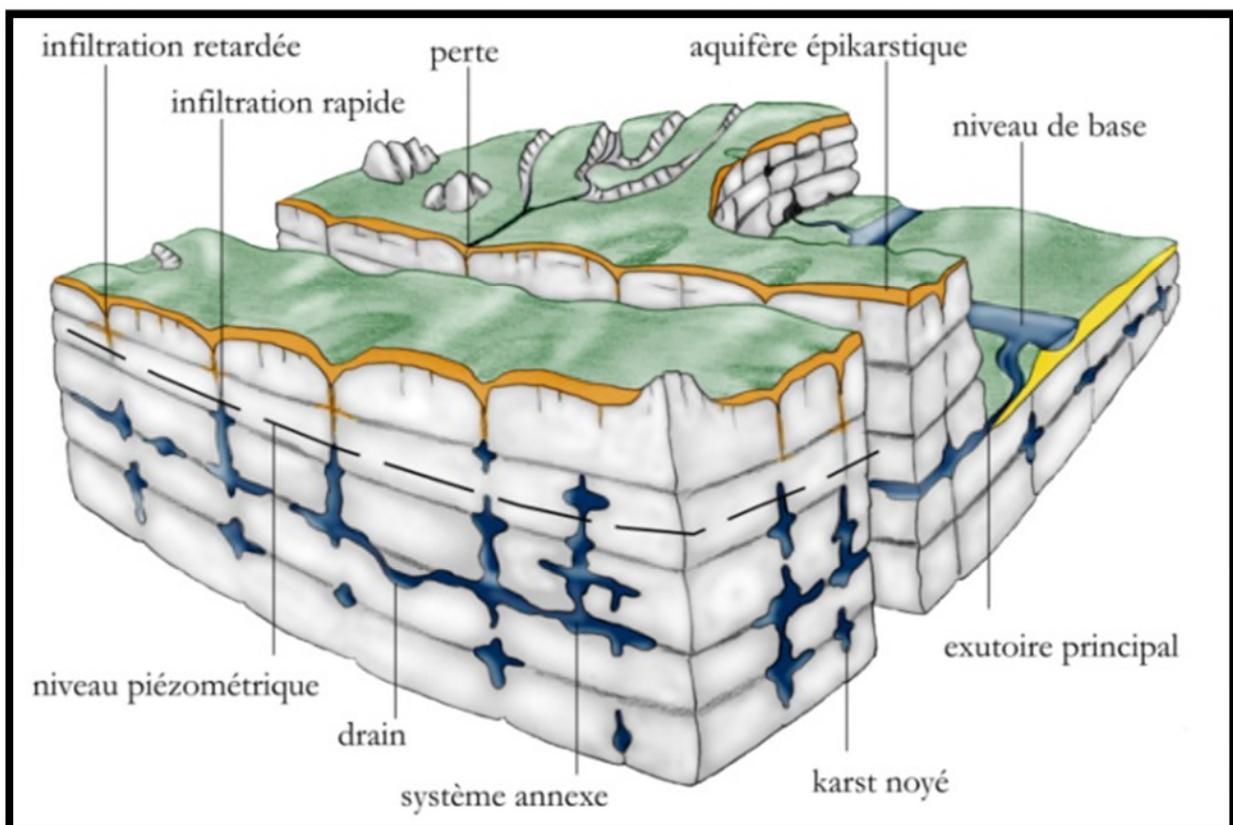


Figure N°10: Schéma d'un karst.

II.2. Présentation de la méthode RISK

II.2.1. Les méthodes multicritères

Les méthodes multicritères permettent d'apprécier la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques en fonction de leurs caractéristiques de structures et leur fonctionnement. Globalement, elles reposent toutes sur un modèle conceptuel hydrogéologique similaire :

La méthode **EPIK** (Suisse) de N. Dörfliger, élaborée en 1996 se base les critères :

Epikarst, couverture **p**rotectrice, **I**nfiltration et réseau **K**arstique ;

Les méthodes **RISKE** et **RISKE2** (Anglo-saxonne) se basent sur les critères : **R**éservoir aquifère, **I**nfiltration, **S**ol, **K**arstification, et **E**pikarst. **RISKE2** prend en compte les phénomènes exo-karstiques tels que les dolines, avens et pertes ;

La méthode **RISK** élaborée par le DIREN de Franche-Comté et le BRGN se base sur les critères : **R**éservoir aquifère, **I**nfiltration, **S**ol et **K**arstification. Elle s'inspire des méthodes **EPIK** et **RISKE** ;

La méthode **PaPRIKa**, élaborée par le BRGM, est une évolution de la méthode **RISKE2** afin de distinguer les critères associés à la structure, des critères associés au fonctionnement hydrogéologique. Elle signifie «Protection des aquifères karstiques basée sur la **P**rotection, le **R**éservoir, l'**I**nfiltration et le degré de **K**arstification». Elle se base donc dans un premier temps sur les critères : couverture **P**rotectrice, **R**éservoir souterrain, **I**nfiltration, degrés de **K**arstification. Dans un deuxième temps, le critère Infiltration est modifié avec la notion de vitesse de transfert au sein de l'aquifère permettant d'obtenir une carte de vulnérabilité du captage pouvant servir à la délimitation des périmètres de protection.

II.2.2. La méthode RISK

La méthode RISK est une méthode multicritère de cartographie intrinsèque d'un aquifère karstique. Elle prend en compte quatre critères :

- La roche aquifère (R)
- Les conditions d'infiltration (I)
- La couverture protectrice ou sol (S)
- La karstification (K)

Chaque critère est réparti en différentes classes, de 0 à 4, du moins vulnérable au plus vulnérable. Un facteur de pondération est attribué à chaque critère. Il traduira l'importance relative des critères entre eux.

La méthode est mise en œuvre selon 5 étapes principales pour cartographier la vulnérabilité globale :

- Cartographie de chaque critère ;
- Discrétisation des cartes ;
- Calcul de la vulnérabilité globale V_g en chaque maille ;
- Reclassification de l'indice V_g ;
- Etape de vérification.

La méthodologie de la méthode RISK est décrite dans le guide du BRGM de janvier 2005. **(Agence de l'eau, 2013).**

A. Critère R : Roche aquifère

Il traduit la nature des formations géologiques et la fracturation de ces formations. Ces paramètres ont une grande influence sur le type de circulations souterraines, et donc sur la vitesse de transfert d'un polluant dans l'aquifère. (Tableau VII).

Tableau N°VII: Nature de la Roche aquifère

Critère R : Nature de la Roche aquifère		
Critère	Caractéristiques	Indice
R₀	Marnes (35-65% de minéraux argileux) – Faibles propriétés aquifères	0
R₁	Marnes – Calcaires (35-65% de minéraux argileux) – faibles écoulements	1
R₂	Calcaires avec intercalation de niveaux marneux, % de minéraux argileux. < 10-25%	2
R₃	Calcaires massifs et/ou dolomites avec bancs épais sans fractures, calcaire en bancs minces avec fractures (fracturation homogène), écoulements souterrains faciles et rapides	3
R₄	Calcaires massifs et/ou dolomites avec une forte intensité de fracturation et de karstification, écoulements souterrains faciles et rapides, contamination rapide	4

Dans le bassin versant d'une perte, les indices liés à la nature de la roche ont été inversés. En effet, plus la roche est imperméable (argileuse) plus les eaux de surface vont ruisseler rapidement vers la perte. Au lieu d'être un facteur de protection de l'aquifère, la nature imperméable de la roche est-un facteur de plus grande vulnérabilité.

B. Critère I : Conditions d'infiltration

Les conditions d'infiltration de l'eau dans les aquifères karstiques sont très importantes dans la détermination de la vulnérabilité de l'aquifère. Elles tiennent compte de la pente (accélération du ruissellement) et de la présence de pertes (communication très rapide entre une perte et l'exutoire du réseau karstique). (Tableau: VIII).

Tableau N°VIII : Condition d'infiltration

Critère I : Conditions d'infiltration		
Critère	Caractéristiques	Indice
I₀	Pente très forte >50%	0
I₁	Pente forte 15-50%	1
I₂	Pente modérée 5-15% et vallées sèches	2
I₃	Faible pente 0-5% et lapiez	3
I₄	Pertes actives et leur bassin versant, accidents tectoniques (failles majeures et alignement de dolines)	4

➤ Remarque sur l'épikarst

Le critère I prend en compte la morphologie de l'épikarst en s'intéressant à la présence de «vallées sèches», «dolines» et «lapiez». Dans la méthode RISK, l'épikarst joue un rôle d'accélérateur de l'infiltration. Sa présence augmente la vulnérabilité.

À l'inverse, dans certain cas, l'épikarst a un rôle de protection vis-à-vis de l'aquifère. En effet, une nappe perchée peut se former dans l'épikarst et donner naissance à des sources temporaires. Dans ce cas, il joue un rôle de tampon et ralenti les infiltrations vers l'aquifère profond. Ce phénomène est connu dans la région des causses, par exemple, où localement des puits exploitent cette nappe. Dans le Jura, ce phénomène est absent ou marginal. C'est pourquoi il a été considéré que l'épikarst ne jouait jamais un rôle protecteur.

C. Critère S : Sol et couverture protectrice

Les formations recouvrant les roches aquifères ont un rôle essentiel par rapport à la vulnérabilité d'un aquifère. Le critère S dépend de la présence ou non d'une «couverture protectrice» entre le sol et la roche (moraines par exemple), des données disponibles sur l'épaisseur du sol, sa texture (cailloux, matrice...), sa composition (argiles, limons).

➤ Détermination des classes de nature du sol

Trois classes de nature de sol sont définies, en fonction de la texture du sol (argileuse, limoneuse ou sableuse) et en fonction de la proportion de cailloux. (Tableaux: IX).

Tableau N°IX : Texture des sols

		Texture		
		1 (argiles)	2 (limons)	3(sables)
Cailloux	1(0-15%)	1	1	2
	2(15-60%)	1	2	3
	3(>60%)	2	3	3

Tableau N°X : Epaisseur des sols

		Nature du sol			
		Inconnue	1	2	3
Épaisseur	1(>100 cm)	S1	S1	S2	S3
	2(20-100 cm)	S2	S2	S3	S4
	3(0-20cm)	S3	S3	S4	S4
	4 nulle	S4	S4	S4	S4

Lorsque la couverture protectrice est supérieure à 5m, alors la vulnérabilité du sol est S0 (très faible vulnérabilité). Dans les bassins versant des pertes, le critère S a été classé dans l'ordre inverse du reste de la zone. En effet, dans ces zones, plus les sols sont imperméables, plus les écoulements se font rapidement vers la perte et le milieu souterrain et plus l'aquifère est vulnérable. Pour permettre de prendre en compte cette différence, le Tableau : XI de la méthode PaPRIKa a été utilisé.

Tableau N°XI : Nature des sols

État de surface dans les bassins versants des pertes	
S1	Sols caractérisés par de fortes perméabilités : graviers et conglomérats non cimentés.
S2	Sols caractérisés par des perméabilités moyennes : arènes granitiques, sables, calcaires.
S3	Sols caractérisés par des perméabilités faibles : grès peu fissurés, conglomérats cimentés, roches magmatiques et métamorphiques saines.
S4	Sols caractérisés par des perméabilités très faible : argiles, marnes, zones de cours d'eau pérenne ou temporaire.

La nature des sols a été renseignée à partir de l'étude «Référentiel Régional Agronomique de Franche-Comté, sensibilité et aptitude du milieu à l'épandage», programmes 1996 à 1999, réalisé avec l'aide de la Région Franche-Comté et de l'Union Européenne. Cette étude est disponible sous la forme d'une cartographie au 1/100 000^{ème} répartie en 25 planches A3.

Sur ces cartes sont représentées les limites des différents types de sols avec la numérotation de référence qui renvoie aux fiches types. Les sols sont regroupés en classes d'aptitude à l'épandage.

Les forêts ne sont pas prises en compte dans cette cartographie, la pédologie de ces secteurs a été renseignée à partir d'une clé de détermination qui repose sur des critères géographiques, topographiques et de faciès géologique (roche mère).

D. Critère K : Karstification

Le critère de karstification évalue le développement du réseau karstique. Dans le bassin versant hydrologique de perte, l'indice K choisi est 4 car on considère que les écoulements de surface se font aisément tout comme dans un réseau karstique très bien développé. (Tableau: XII).

Tableau N°XII : Karstification

Critère K : Karstification		
Caractéristiques		Indice
K₀	Aquifère plus ou moins fissuré	0
K₁	Aquifère fissuré mais sans karstification	1
K₂	Réseau karstique peu développé ou mal connecté avec la surface	2
K₃	Réseau karstique bien développé et plus ou moins connecté avec la surface	3
K₄	Réseau karstique très bien développé et connecté avec la surface	4

E. Indice global de vulnérabilité Ig

L'indice global de vulnérabilité est calculé à partir de la formule suivante :

$$I_g = 0,15R + 0,4I + 0,25S + 0,2K. \text{ (R, I, S et K correspondent à la valeur des critères indexés).}$$

La vulnérabilité est alors re-classifiée en 5 catégories (Tableau: XIII).

Tableau N°XIII : Catégories de vulnérabilité (modèle)

Reclassification Ig	Indice	Vulnérabilité
3.2 - 4	4	Très élevés
2.4 - 3.19	3	Élevée
1.6 - 2.39	2	Modérée
0.8 - 1.59	1	Faible
0 - 0.79	0	Très faible

Résultats
Et
Discussion

III. Résultats et discussion

III.1. Critère R : Roche

R0 : occupe la partie littorale et au Sud, il est caractérisé par des marnes (35-65% de minéraux argileux) et de faibles propriétés d'aquifères. (**R0 = 0**).

R1 : occupe la partie Sud -ouest, il est caractérisé par des marnes, calcaire (05-35% de minéraux argileux), avec faibles écoulements. (**R1= 1**).

R2 : occupe la partie Nord -ouest, il est caractérisé par des calcaires avec intercalation de niveaux marneux,% de minéraux argileux <10-25%. (**R2 = 2**)

R4 : occupe le reste de la zone, il est caractérisé par des calcaires massifs et / ou dolomites avec une forte intensité de fracturation et de karstification, écoulements souterrains faciles et rapides, contamination rapide. (**R4 = 4**). (Fig. 11).

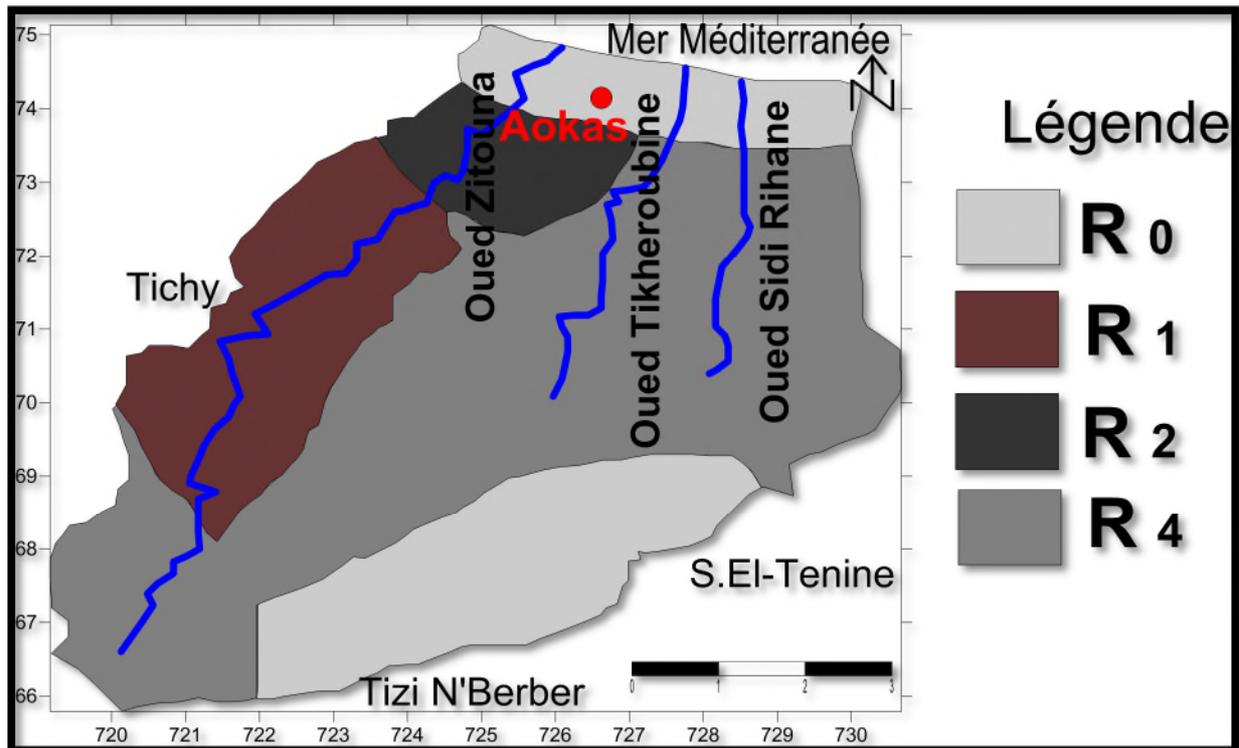


Figure N°11: Carte de critère R (Roche).

III.2. Critère I : Conditions d'infiltration

I1 : occupe la partie Ouest de la région, il est caractérisé par une pente forte 15-50 %.

(I1 = 1).

I2 : occupe la partie Sud, il est caractérisé par une pente modérée 5-15 % et des vallées sèches. **(I2 = 2).**

I3 : occupe la partie littorale, il est caractérisé par une faible pente 0-5 % et lapiez.

(I3 = 3).

I4 : occupe le reste de la zone, il caractérisée par pertes actives et leur bassin versant, accidents tectoniques : failles majeures et alignement de dolines. **(I4 = 4).** (Fig.12).

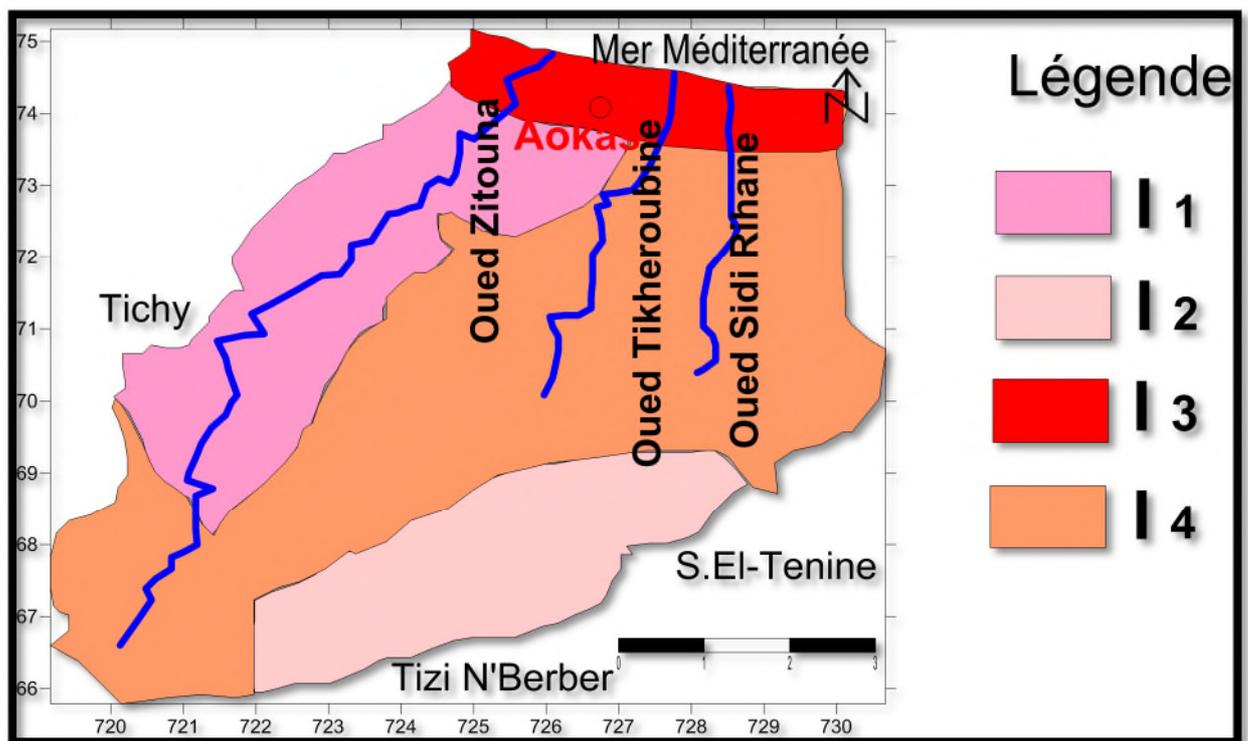


Figure N°12 : Carte de critère I (conditions d'infiltration).

III.3. Critère S : Sol

S1 : occupe le littoral de la région, ses sols caractérisés par de fortes perméabilités : graviers et conglomérats non cimentés. (**S1 = 1**).

S2 : occupe la partie Est, ses sols caractérisés par des perméabilités moyennes : arènes granitiques, sables, calcaires. (**S2 = 2**).

S3 : occupe le centre de la région, ses sol caractérisés par des perméabilités faibles : grès peu fissurés, conglomérats cimentés, roches magmatiques et métamorphiques saines. (**S3 = 3**).

S4 : occupe le reste de la région, ses sols caractérisés par des perméabilités très faibles : argiles, marnes, zones de cours d'eau pérenne ou temporaire. (**S4 = 4**). (Fig. 13).

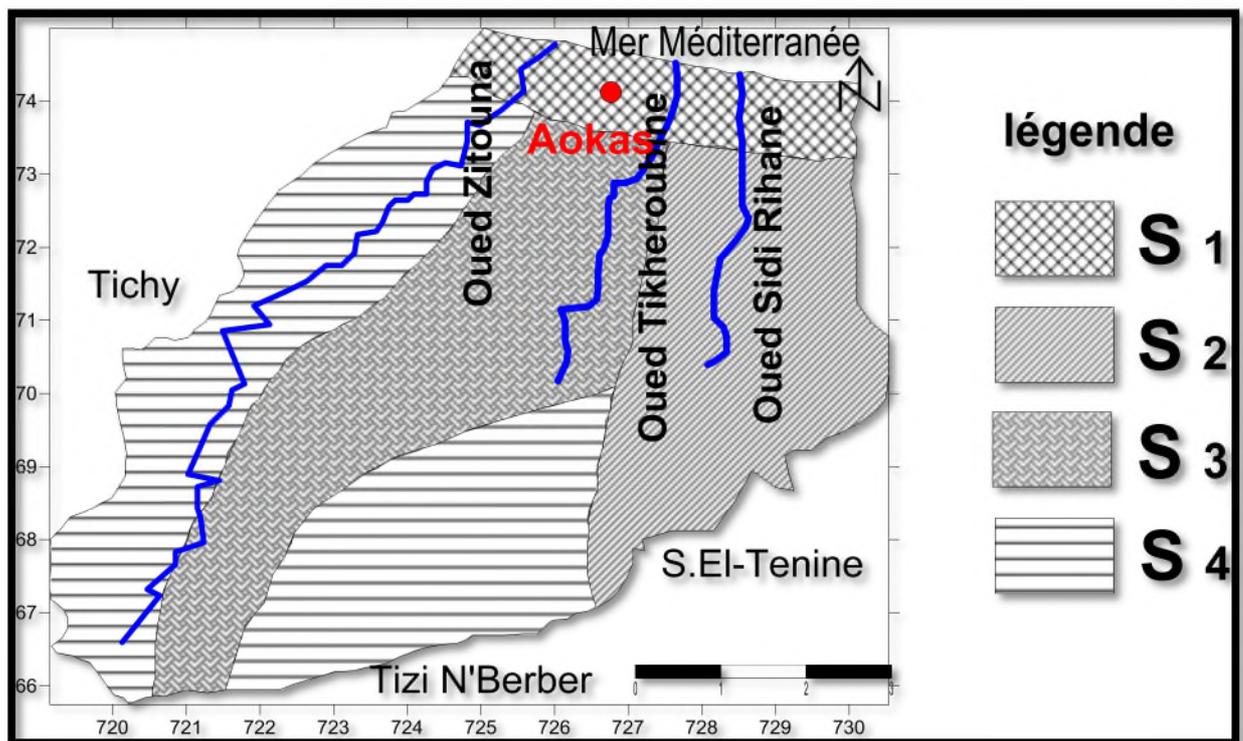


Figure N°13: Carte de critère S (Sol)

III.4. Critère K : Karstification

K0 : occupe l'Ouest de la région, il est caractérisé par aquifère plus ou moins fissuré. (**K0 = 0**).

K1 : occupe la partie Est de la région, il est caractérisé par aquifère fissuré mais sans karstification. (**K1 = 1**).

K4 : occupe le Sud de la région, il est caractérisé par un réseau karstique très bien développé et connecté avec la surface. (**K4 = 4**). (Fig. 14).

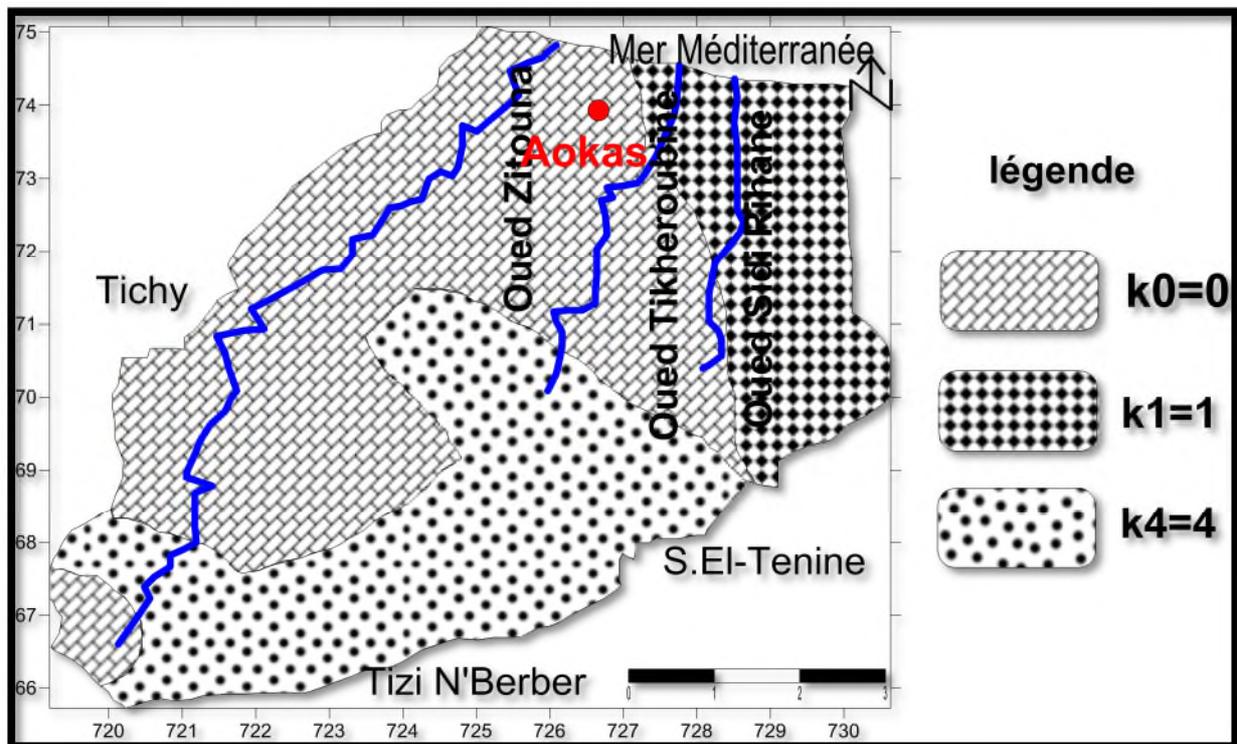


Figure N°14 : Carte de critère k (karstification).

III.5. Calcul de l'indice global de vulnérabilité Ig

La superposition des quatre cartes précédant établies et l'application de la relation pour calcul de l'indice global de vulnérabilité nous donnent la carte de vulnérabilité finale par la méthode RISK. (Tableau : XIV et Fig. 15).

$$I_g = 0.15R + 0.4I + 0.25S + 0.2K.$$

Tableau N°XIV: Calcul de l'indice global de vulnérabilité Ig

Zones	$I_g = 0.15R + 0.4I + 0.25S + 0.2K$	Degrés vulnérabilité
1	$0.15R_0 + 0.4I_3 + 0.25S_1 + 0.2K_0 = 1.45$	Faible
2	$0.15R_0 + 0.4I_3 + 0.25S_1 + 0.2K_1 = 1.65$	Modérée
3	$0.15R_0 + 0.4I_2 + 0.25S_2 + 0.2K_4 = 2.1$	Modérée
4	$0.15R_0 + 0.4I_2 + 0.25S_4 + 0.2K_4 = 2.6$	Élevée
5	$0.15R_1 + 0.4I_1 + 0.25S_3 + 0.2K_0 = 1.3$	Faible
6	$0.15R_1 + 0.4I_1 + 0.25S_4 + 0.2K_0 = 1.55$	Faible
7	$0.15R_2 + 0.4I_1 + 0.25S_3 + 0.2K_0 = 1.45$	Faible
8	$0.15R_2 + 0.4I_1 + 0.25S_4 + 0.2K_0 = 1.7$	Modérée
9	$0.15R_4 + 0.4I_4 + 0.25S_2 + 0.2K_0 = 2.7$	Élevée
10	$0.15R_4 + 0.4I_4 + 0.25S_2 + 0.2K_1 = 2.9$	Élevée
11	$0.15R_4 + 0.4I_4 + 0.25S_2 + 0.2K_4 = 3.5$	Très Élevée
12	$0.15R_4 + 0.4I_4 + 0.25S_3 + 0.2K_4 = 2.95$	Élevée
13	$0.15R_4 + 0.4I_4 + 0.25S_3 + 0.2K_1 = 3.15$	Élevée
14	$0.15R_4 + 0.4I_4 + 0.25S_3 + 0.2K_4 = 3.75$	Très Élevée
15	$0.15R_4 + 0.4I_4 + 0.25S_4 + 0.2K_0 = 3.2$	Très Élevée
16	$0.15R_4 + 0.4I_4 + 0.25S_4 + 0.2K_1 = 3.4$	Très Élevée
17	$0.15R_4 + 0.4I_4 + 0.25S_4 + 0.2K_4 = 4$	Très Élevée

Tableau N°XV: Catégories de vulnérabilité

Reclassification Ig	Indice	Vulnérabilité
3.2 – 4	4	Très élevée
2.6 -3.15	3	Élevée
1.65 - 2.1	2	Modérée
1.3 -1.55	1	Faible

Ce tableau nous permet de déterminer quatre zones de vulnérabilité à la pollution dans la région d'Aokas

- Zone de vulnérabilité très élevée.
- Zone de vulnérabilité élevée.
- Zone de vulnérabilité modérée.
- Zone de vulnérabilité faible.

La comparaison entre le tableau au dessus et le tableau modèle de catégories de vulnérabilité montre qu'on est à peu près dans la même plage d'indice globale de vulnérabilité (Ig). (Tableau XIII et XV).

III.6. Discussion de la carte de vulnérabilité

1) **Zone de vulnérabilité très élevée :**

Cette zone occupe le centre et Sud-ouest d'Aokas.

2) **Zone de vulnérabilité élevée :**

Cette zone occupe les territoires Est et Sud d'Aokas.

3) **Zone de vulnérabilité modérée :**

Cette zone occupe le littoral Est et une partie Sud-est et une autre Nord-ouest d'Aokas.

4) **Zone de vulnérabilité faible :**

Cette zone occupe la partie Ouest et une partie Nord-ouest d'Aokas. (Fig. 15).

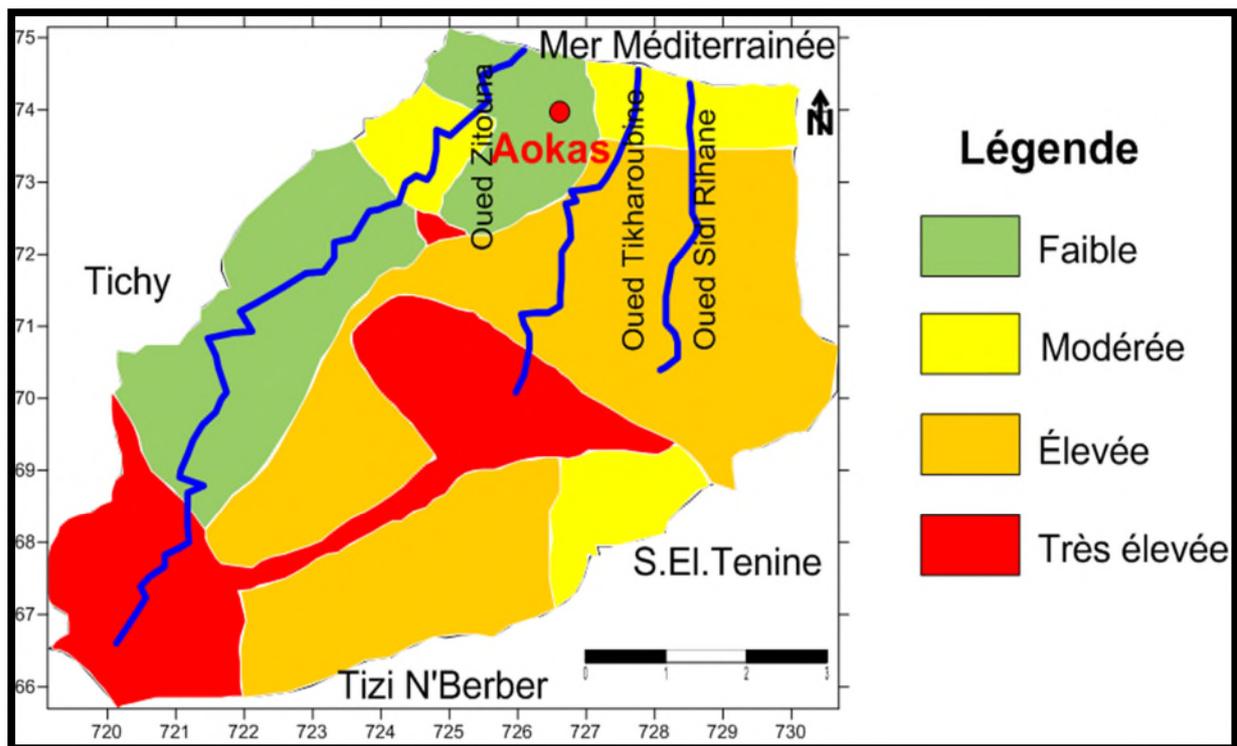


Figure N°15 : Carte de vulnérabilité finale par méthode RISK.

III.7. Sources de pollution

Bien que d'usage banal à l'heure actuelle, le terme pollution recouvre des exceptions fortes diverses et qualifie une multitude d'actions qui dégradent d'une façon ou d'une autre le milieu naturel. Certe le vocable désigne sans ambiguïté les effets des innombrables composés toxiques rejetés par l'homme dans l'environnement. Cependant, il s'applique également à d'autres altérations du milieu de nature physique ou chimique qui sans être nocives par elles mêmes pour la santé humaine, sont susceptibles de provoquer des perturbations écologiques d'ampleur catastrophiques. (Ladjini, 2003).

La contamination peut provenir de diverses sources qui sont nombreuses et d'autant plus difficiles à cerner que leur nature, leur intensité, leurs effets sont changeants, dans le temps comme dans l'espace. (Tableau: XVI).

Tableau N° XVI : Sources de polltuion au niveau de la région d'Aokas

Sources de Pollution	Exemples
-Industrie	-Huilerie,matériaux de construction.
-Agriculture	-Elevage, produits phytosanitaires (nitrates).
-Déchets Solides	-Résidus alimentaires, papiers, plastique...
-Tourisme	-Décharges sauvages.
-Route nationale N°9.	-Monoxyde de carbone (CO), les particules en suspension (PS), les oxydes de l'azote (NO, NO ₂ , NO _x), les métaux lourds.
-Les eaux usées	-Matières organiques, matières inhibitrices, matières en suspension.



Figure N°16 : Photo d'une décharge publique de la région d'Aokas.

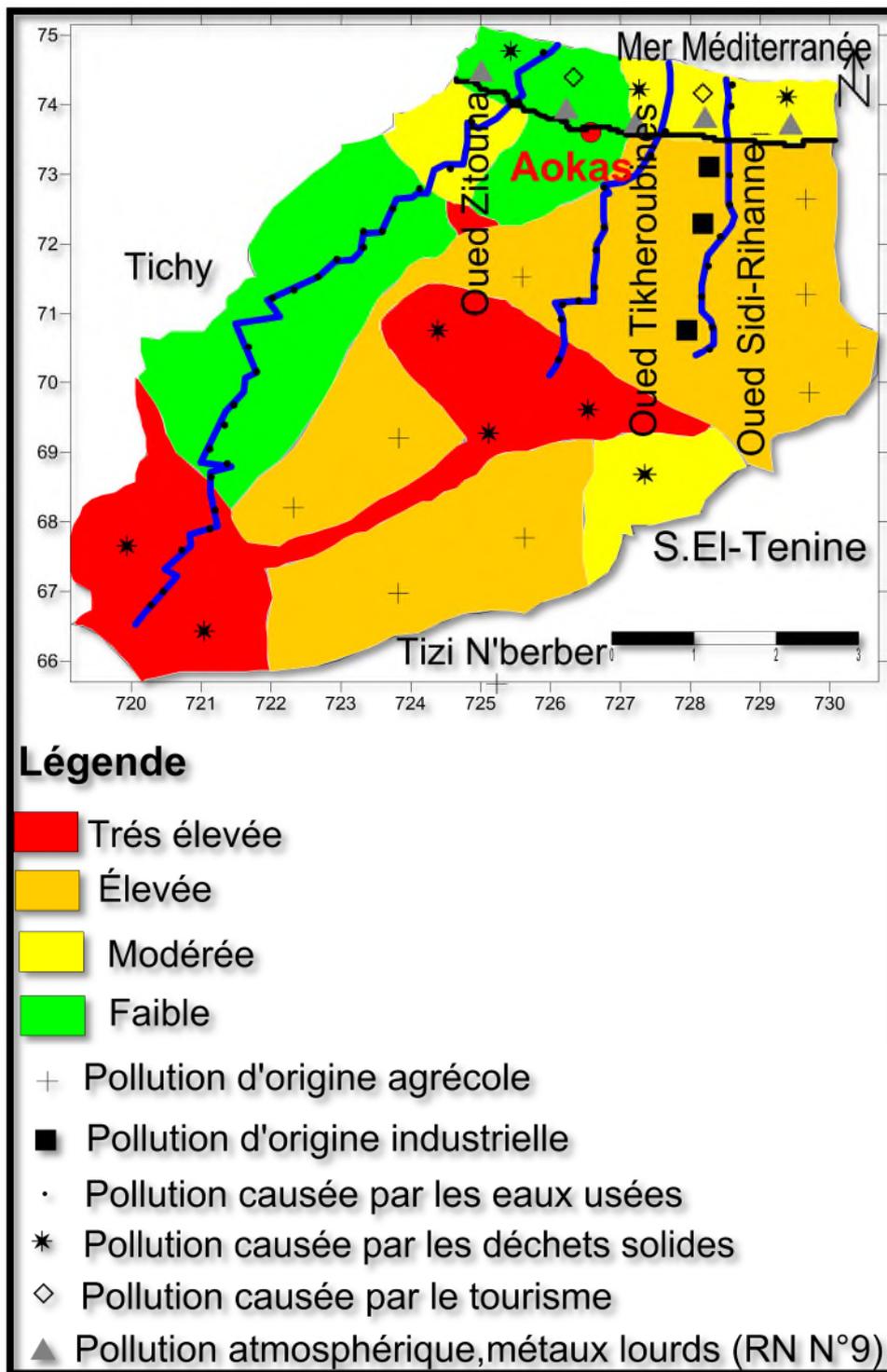


Figure N°17 : Carte de RISK.

III.8. Conséquences de la pollution

-Conséquences de l'augmentation de débit des eaux usées sur l'environnement et sur la santé :

Les rejets des eaux usées de la localité de Tala-khaled se font directement vers Oued Zitouna, d'où le risque de contamination de Chef-lieu.

L'alimentation en eau potable de la localité Tala-khaled se fait directement du forage vers le réseau sans aucun traitement.

-Conséquences sanitaires:

Ces conséquences qui sont liées à la santé humaine, peuvent être liées à l'ingestion d'eau, de boisson,... Mais aussi par un simple contact avec le milieu aquatique (cas de nombreux parasites).

-Conséquences écologiques :

Les conséquences écologiques de la pollution se manifestent principalement par :

- La présence de produits toxiques
- La modification physique du milieu récepteur
- La présence de bactéries ou de virus pathogènes

-Conséquences esthétiques :

Ces conséquences ne touchent pas à la santé humaines, ni à la santé du milieu, mais elles perturbent l'image du milieu (papiers, bouteilles,...sur les plages).

Conclusion

Et

Recommandations

IV. 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 carte de vulnérabilité établie montre quatre classes de vulnérabilité : Faible, modérée, élevée et très élevée. Cette carte de vulnérabilité et la carte de risque ; permettent d'orienter les organismes intéressés pour assurer une gestion durable de la ressource en eau souterraine de la région d'Aokas.

➤ Recommandations

Pour protéger et sauvegarder la bonne qualité des eaux souterraines de la région d'Aokas, nous recommandons ce qui suit :

- Contrôle d'évaluation de la pollution industrielle.
- Etude de la diffusion des nitrates issus des produits phytosanitaires utilisés dans la région.
- 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.
- Créer des stations d'incinération des déchets solides.
- Assainissement des eaux usées vers des bassins de décantation.
- Aménagement de la région sur la base de la carte de vulnérabilité et la carte RISK.

Références
bibliographiques

V. Références bibliographiques

A

ADOUR, G. (2007). Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines de la partie sud du causse de gramat. Mémoire de master en sciences de l'univers, Université de Pierre et Marie Curie, Ecole des Mines de Paris et Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et de Forêts.

Agence de l'eau. (2013). Identification des ressources karstiques majeures pour l'AEP en vue de leur protection sur une partie du massif du jura. pp.1-15.

ALBINET M. (1970). Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraines. Bulletin BRGM 2^{ème} série, section 3N°4.

AMHARREF, M. ET BERNOUSSI, A. (2007). Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines. Laboratoire de modélisation des phénomènes physiques et risques naturels (MPPRN), Faculté des sciences et techniques, BP 416-Tanger Maroc.

B

BEDHOUCHE O. ET BERKANI N. (2005). La vulnérabilité à la pollution de la région d'Aokas. Thèse d'ingénieur d'état en écologie et environnement non publié, Université d'A. Mira de Bejaïa.

BELKACEMI, M. (2015). Statistiques sur l'environnement. Collections statistiques n° 177, pp.9-24.

BELKEBIRE H. ET DEBBOU F. (2015). Evaluation de la vulnérabilité à la pollution de la région d'Aokas par la méthode EPIK. Mémoire de master en sciences environnementales non publié, Université d'A. Mira de Bejaïa.

BELKEBIRE H. ET DEBBOU F. (2015). Evaluation de la vulnérabilité à la pollution de la région d'Aokas par la méthode EPIK. Mémoire de master en sciences environnementales non publié, Université d'A. Mira de B

BIEMI, J. et al. , (2010). Application des méthodes DRASTIC ET SI pour l'étude de la vulnérabilité à la pollution par les nitrates (NO_3^-). Université de Cocody, Côte d'Ivoire. pp.1677-1692.

BOUCENNA, F. (2009). Cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité à la pollution d'une nappe souterraine cas de la plaine alluviale de l'oued Djendjen. Mémoire de magister en hydrologie environnementale et modélisation, Université de BADJI MOKHTAR d'ANNABA.

BOUGDA R. (2009). Doublement du tunnel de cap Aokas, synthèse des données géographiques et géotechniques = 7s Rapport géologique (Document interne).

BOUZIDI, A. et al. , (2003). Eaux souterraines. Vecteur environnement, Vol.36, n° 5, pp.68-80.

D

DIBI, B. et al. , (2013). Evaluation de la vulnérabilité à la pollution des aquifères des formations altérites à partir des méthodes DRASTIC ET SYNTCS : Cas de la ville de M'Bahiakro, Centre de la Côte d'Ivoire. ISSN 2028-9324 Vol.2, n° 2, pp.464-476.

DOERFLIGER N. ET ZWAHLEN F. (1998). Cartographie de vulnérabilité en régions karstiques (EPIK), publié par l'office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEP), application aux zones de protection des eaux souterraines. Université de Neuchâtel, Centre d'hydrogéologie.

G

GAAMOUNE, S. (2010). Le rôle des biofilms d'algues dans les traitements biologiques des eaux. Thèse de magister en sciences biologiques, Université de FARHAT Abbas de Sétif.

GANGBAZO, G. (2004). La gestion intégrée de l'eau par bassin versant : Concepts et application. Edition de Marie-Guyart, Québec-51p.

GIROUX, I. (2003). Contamination de l'eau souterraine par les pesticides et les nitrates dans les régions en culture de pommes de terre, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'environnement, Québec, envirodoq n° ENV/2003/0233,23 page et 3 annexes.

GUYONNET, D. (1998). Approche mathématique de l'impact des sites contaminés sur les eaux souterraines dans un contexte d'analyse de risque. Thèse de doctorat en Génie Civil, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.

H

HAOUCHINE, A. (2012). Assessment of Risk and Uncertainty Related to Coastal aquifer Management in Algeria. Laboratory of Geo-Environment and Water Resources-Faculty of Earth Sciences, University of Sciences and Technology Hoari Boumediene USTHB Alger/Algérie.

J

JOURDAJ, P. et al. , (2016). Evaluation du degré de protection des eaux souterraines. Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE), UFR des Sciences de la Terre et de Ressources Minières, 22 BP 582 Abidjan 22, côte d'Ivoire.

K

KHEMMOUDJ, K. (2009). Dynamique des systèmes et stratégie d'aménagement et gestion de la ressource en eau en zone semi aride : Cas de la région d'El-EULMA (Wilaya de Sétif). Thèse de doctorat en sciences de la terre, Université de BADJI MOKHTAR d'ANNABA.

L

LASTANY G. (1982). Principe et méthode de l'hydrogéologie Dunod Université.238p.

M

MARGAT J. (1968). Vulnérabilité des nappes d'eau souterraines à la pollution, base de la cartographie, rapport 68.SGL.168.HYD.BRGM. Orléons, France.

MARGAT, J. (2001). Exploitation et utilisation des eaux souterraines dans le monde. Edition d'UNESCO ET BRGM, Paris-52p.

MINA, A. et al. , (2007). Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines : Application à la plaine du Gharb (Maroc). Revue des sciences de l'eau, Vlo.20, n° 2, pp.185-199.

MOHAMED, R. (2001). Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El-Madher, Nord- Est algérien selon la méthode DRASTIC. Sciences et changement planétaires/Sécheresse, Vol.12, n° 2, pp. 95-101.

N

NGUYEN-Thé, D. (2003). Pollution des eaux souterraines sur la commune d'Ancerville. Rapport. Brgm/RP-52670-FR, 29p.

R

RAMADE, F. (2003). Eléments d'écologie-Ecologie fondamentale. Dunod, Paris.

V

VILLA J. (1980).La chaine alpine d'Algérie orientale et les couffins Algéros-Tunisiens. Thèse de Doctorat SC-Nat, Université de Pierre et Marie Curie, Paris VI France.665p.

[http://fr.wikipedia.org/w/index.php.Aokas.](http://fr.wikipedia.org/w/index.php.Aokas)

[http://fr.wikipedia.org/w/index.php.pédologie.](http://fr.wikipedia.org/w/index.php.pédologie)

Annexes

Résumé

La pollution constitue un risque permanent de limitation des ressources en eaux souterraines. L'urbanisation croissante et le développement économique contribuent à la dégradation quantitative et qualitative des eaux souterraines.

La protection et la préservation de ces ressources sont une nécessité de premier ordre. Ainsi, la cartographie de la vulnérabilité environnementale des nappes à la pollution se présente comme un outil efficace pour limiter et contrôler les risques de dégradation de la qualité de ces eaux.

La méthode de cartographie RISK (Roche, Infiltration, Sol, Karstification); représente la meilleure méthode pour résoudre les principaux problèmes dans l'étude de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution.

Cette méthode est appliquée à la région d'Aokas. La carte de vulnérabilité établie montre quatre classes de vulnérabilité : Faible, modérée, élevée et très élevée. La superposition de cette dernière avec la carte des sources de pollution a permis de préciser les zones à haut risque de contamination pour les eaux souterraines.

Mots clés : Eaux souterraines, pollution, vulnérabilité, cartographie, RISK.

Abstract

The pollution constitutes a permanent risk of ground water resource limitation. The increasing urbanization and the economic development contribute to the quantitative and qualitative ground water deterioration.

The protection and the preservation of these resources are a first class necessity. Thus, the cartography of environmental vulnerability to the pollution of the aquifers was considered as an efficient tool to limit and to control the quality degradation risk of these waters.

The cartography method RISK represents the better method to solve the main problems in the vulnerability survey of ground water pollution.

This method is applied to the water table of Aokas. The constructed map of vulnerability shows four classes: Weak, average, elevated and very elevated vulnerability. The superposition of the vulnerability map to the pollution sources map permitted to specify the zones with a high ground water contamination risk.

Key word: Ground water, pollution, vulnerability, mapping, RISK.

Questionnaire

Questions	Oui	Non
1-Existe-il des zones industrielles à Aokas ?		x
2-Le tissu urbain d'Aokas est continu ?	x	
3-Les décharges d'Aokas sont très bien organisées ?		x
4-Existe-il une station d'incinération des déchets solides à Aokas ?		x
5-Existe-il une protection pour les points d'eaux d'Aokas ?	x	
6-Pour les eaux usées, il ya une vérification des rejets de station d'épuration ?	x	
7-Pour les chantiers, causent-ils vraiment de la pollution à Aokas ?	x	
8-Et pour le tourisme, cause vraiment de la pollution à Aokas ?	x	

Annexes

Conclusion

Et

Recommandations

Introduction

Matériel

Et

Méthodes

*Références
bibliographiques*

Résultats
Et
Discussion

