

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 de sciences biologique de l'environnement

Spécialité Toxicologie Industrielles et Environnementale



جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

***Evaluation de la vulnérabilité à la
pollution des eaux souterraines dans la
région d'Aokas par la méthode COP***

Présenté par :

Sabrina BRAHAMI & Fadhila BOUSSADIA

Soutenu le : 27juin 2019

Devant le jury composé de :

Mr. Dadache Mohamed

MAA Président

Mr. Khemoudj Kaddour

MCB Encadreur

Mr. Saadali Riad

MAA Examineur

Année universitaire : 2018 /2019

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu, notre créateur de nous avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce modeste travail.

Nous adressons un grand remerciement à notre promoteur Mr KHEMMOUDJ, qui nous a fait l'honneur de diriger notre mémoire sur un sujet passionnant et nous a guidé tout au long de son élaboration. Nos sincères considération et remerciement s'adressent également à Mr Dadache M. d'avoir accepté de présider le jury et Mr Saadali R. pour avoir accepté d'examiner cet humble travail.

Comme nous sommes 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.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*A mes très chers parents pour leurs conseils, leurs sacrifices et surtout pour
Leurs soutiens tout au long de ma vie et que le Bon Dieu me les gardes.*

*A mes chers frères,
A tous les membres de ma famille,
A tous mes amis, tous mes professeurs,
A tout qui compulse ce modeste travail.
Et à ma chère binôme et sa famille.*

FADHILA

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*A mes très chers parents pour leurs conseils, leurs sacrifices et surtout pour
Leurs soutiens tout au long de ma vie et que le Bon Dieu me les gardes.*

*A mon cher et unique frère,
A tous les membres de ma famille,
A tous mes amis, tous mes professeurs,
A tout qui compulse ce modeste travail.
Et à ma chère binôme et sa famille.*

SABRINA

Table de matière

Remerciement	
Dédicace	
Table de matière	I
Liste des tableaux	IV
Liste des figures.....	V
Liste des abréviations	VII
I. Introduction	01

Synthèse bibliographique

II.1. La vulnérabilité	03
II.2. Les différents types de la vulnérabilité	03
II.3. Critères d'évaluation de la vulnérabilité	04
II.3.1. Le recouvrement de la surface du sol et du sous-sol	04
II.3.2. Critères relatifs à l'aquifère	04
II.3.3. Critère relatifs à la nature du polluant	04
II.4. Cartes de vulnérabilité et leurs intérêts	05
II.5. Bassin versant	07
II.5.1. Définition	07
II.5.2. Caractéristiques du bassin versant	08
II.6. Pollution	08
II.6.1. Définition de la pollution	08
II.6.2. Définition de la pollution des eaux souterraine	08
II.6.3. Les polluants présents dans les eaux souterraines	09

Matériel et méthode

III. Présentation de la région d'étude	10
III.1. Situation géographique	10
III.2. Présentation de la population	11
III.3. Géomorphologie	12
III.3.1. Les caractéristiques morphologiques du bassin versant d'Aokas	12
III.3.1.1. Réseau hydrographique	12
III.3.1.2. L'indice de Gravelius	14
III.3.1.3. Le rectangle équivalent	14
III.3.1.4. L'indice de pente	15
III.4. La géologie	17
III.5. La pédologie	18
III.6. La végétation	19
III.7. Climatologie	20
III.7.1. Climat	20
III.7.2. Les précipitations	20
III.7.3. La température	22
III.7.4. Les vents	23
III.7.5. L'humidité	24
III.7.6. Le diagramme Ombrothermique	25
III.8. Estimation des paramètres du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite .	26
III.9. Présentation et définition du karst	29
III.10. Présentation de la méthode COP	31
III.11. Présentation du logiciel Surfer	33

Résultat et discussion

IV- Résultats Et Discussion	34
IV-1- Critère O : Couches superposées	34
IV-2 : Critère C : Concentration de l'écoulement	37
IV-3-Critère P : Précipitation	39
IV-4-Discussion de la carte de vulnérabilité	40
IV.5. Sources de pollution dans la zone d'étude	43
IV.5.1.La pollution par les déchets solides	43
IV.5.2La pollution d'origine agricole	44
IV.5.3. La pollution industrielle	44
IV.5.4. La pollution par les eaux usées	45
IV.5.5. La pollution causée par les estivants	46
IV.5.6. La pollution atmosphérique	47
IV.6. Carte de risque	47
V. Conclusion	48
VI. Référence bibliographique	49

Liste des tableaux

Tableau I : Les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité	06
Tableau II : Nombre d'habitants dans la région d'étude(2018) (RGPH)	09
Tableau III : Classification de type de relief selon l'ORSTOM.....	16
Tableau IV : Moyennes mensuelles des précipitations en (mm) dans la région d'Aokas (2008-2017)(Station météorologique de Bejaia)	21
Tableau V : Température mensuelle moyenne de la zone d'étude (2008-2017) (Station météorologique de Bejaia).....	22
Tableau VI : Moyenne mensuelle du vent en m/s dans la région d'étude (2008-2017) (Station météorologique de Bejaia	23
Tableau VII : Moyenne mensuelle d'humidité relative%(2010-2014) (station Météorologique de Bejaia.....	24
Tableau VIII : Résultat de bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite.....	27
Tableau IX : Représente les valeurs de O_s	34
Tableau X : Représente les valeurs de O_1	34
Tableau XI : Répartition des degrés de vulnérabilité du paramètre O	35
Tableau XII : Répartition des degrés de vulnérabilité du paramètre C	38
Tableau XIII : Répartition des degrés de vulnérabilité du paramètre P	39
Tableau XIV : Répartition des degrés de vulnérabilité dans la région d'étude	41
Tableau XV : Assainissement au niveau de la commune d'Aokas (Direction d'environnement de Bejaia).....	45

Liste des figures

Figure01 : Bassin versant(Anonyme2017)	07
Figure02 : Localisation de la zone d'étude	10
Figure03 : Nombre d'habitants dans la zone d'étude	11
Figure04 : Carte des réseaux hydrographiques de la région d'Aokas	13
Figure05 : Carte géologique de la région d'Aokas	17
Figure 06 : La carte des sols de la région d'Aokas.....	18
Figure 07 : La carte de végétation de la région d'Aokas.....	19
Figure08 : Répartition mensuelle des précipitations au niveau de la zone d'étude.....	21
Figure 09 : Courbe des températures moyennes dans la zone d'étude.....	22
Figure 10 : Courbe des moyennes mensuelle du vent (2008-2017).....	23
Figure 11 : Courbe des moyennes mensuelle d'humidité relative(%)... ..	24
Figure 12. Diagramme Ombrothermique de la région d'étude	25
Figure13 : Schéma d'un Karst.....	30
Figure14 : Schéma de la méthode COP montrant la différenciation des facteurs C, O, P	32
Figure 15 : Carte de paramètre de la couche superposé « O »	37
Figure 16 : Carte de paramètre de la concentration d'écoulement « C »	38
Figure 17 : Carte de paramètre de précipitation « P »... ..	40
Figure 18 : Carte de degré de vulnérabilité dans la région d'étude par la méthode COP .	42
Figure 19 : Pourcentage de degrés de vulnérabilité de la région d'étude.....	42
Figure 20: Décharges sauvage au niveau de la commune d'Aokas	44
Figure 21 : photo de la structure des plages d'Aokas.....	46
Figure 22 : Carte de risque de la région d'Aokas.....	47

Liste des abréviations et Symboles

- BV : Bassin versant.

-C° : Degré Celsius.

-ETP : Evapotranspiration potentiel.

-ETR : Evapotranspiration réel.

-Km : Kilomètre.

-Km² : Kilomètre carré.

-mm : Millimètre.

-m/s : Mètre par seconde.

-P : Précipitation.

-R : Ruissellement.

RN : Route National

-RFU : Reserve facilement utilisable.

-RGPH : Répartition Général de la Population Humaine.

-T : Température.

-% : Pourcentage.

Introduction

Introduction :

Les eaux souterraines représentent une importante ressource exploitée pour la consommation humaine et pour l'utilisation dans les domaines agricoles et industriels.

Ces eaux sont souvent menacées par des polluants de différentes natures : biologique, chimique ou physique. La prévention contre la pollution des nappes constitue une étape importante en étudiant la vulnérabilité à la pollution des régions touchée par ce phénomène.

La notion de vulnérabilité à la pollution d'un aquifère est définie comme sa susceptibilité intrinsèque à la modification de la qualité et de la quantité d'eau souterraine dans l'espace et dans le temps, à cause de processus naturels et/ou de l'activité anthropique (**Civita, 1994**)

La vulnérabilité des nappes à la pollution 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**).

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

La méthode **DRASTIC**; (USA): Depth to water net Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography, Impact of the vadose and hydraulic Conductivity.

Cette méthode **DRASTIC** modifiée se base sur les paramètres relatifs uniquement à la zone non saturée, et ne prend pas en compte la perméabilité et la lithologie du substrat. (**sinan et al., 2000**).

Elle est utilisée pour l'évaluation et la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque verticale à la pollution des nappes par système paramétriques.

La méthode **GOD**; (pays bas): Groundwater occurrence Over-lying lithology, Depth to groundwater. Cette méthode a été appliqué à l'aquifère de torremolinos dans le sud de l'Espagne. (**Villa,1980**).

La méthode **EPIK** ; (suisse) : Epikarst, Protective cover, Infiltration conditions, Karst network. Cette méthode largement employée en suisse devenue obligatoire dans ce pays

Introduction

pour définir la vulnérabilité des bassins karstiques captés par 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 Zwanlens 1998**).

La méthode **RISK** : Roche aquifère condition d'infiltration, Sol et couverture protectrice, Karstification.

Cette méthode RISK est une méthode de cartographie multicritères de vulnérabilité des surfaces contribuant à la recharge de l'aquifère.

La méthode **COP** : Elle a été développée pour évaluer la vulnérabilité intrinsèque des aquifères carbonatés dans le cadre du programme Cost Action 620 de l'Union Européenne (**Vias et al., 2002, 2004**).

Les techniques d'évaluations de la vulnérabilité ont été développées par (Gogu et Dassaguess, 2000 ; Gogu et al 2003). Plusieurs méthodes d'étude de la vulnérabilité et d'évaluations ont été étudiées dans le monde par (Margat, 1968. Albinet&Margat, 1970. ; Foster&Hirata, 1988. ; Doerfliger&Zwahlen, 1998) ; En Algérie (Khemmoudj et al 2014). Dans la région de Bejaia des études de vulnérabilité à la pollution ont été étudiées par (Berkani et Bedhouche 2005 ; Zahir et Bensalem, 2014 ; Ait Hamoudi, 2010).

L'objectif de notre travail est d'évaluer et cartographier la vulnérabilité des nappes superficielles à la pollution des eaux souterraines dans la région d'Aokas (Bejaia-Algérie) par la méthode COP.

Le travail comporte quatre parties :

- Introduction ;
- Généralité ;
- Matériels et Méthodes ;
- Résultats et discussions ;
- Conclusion

Synthèse bibliographique

II.1. La vulnérabilité

Le terme vulnérabilité date des années 1960 et a été choisi afin de sensibiliser la pollution au fait que même si la notion d'eau souterraine est associée à une image de pureté, cette ressource n'en reste pas moins sensible aux agents extérieurs et susceptible d'être polluée.

Selon la nature et la structure des sols aquifères le concept de vulnérabilité pourra prendre des formes et des degrés variés de manière à mettre en évidence les capacités de résistances naturelles diverses des milieux (Margate, 1991).

D'après Albinet et Magat(1970), les cartes de vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine servent à montrer quelles sont les possibilités de pénétration et de propagation des polluants dans les aquifères en tenant compte de la nature des terrains rencontrés en surface et les conditions hydrogéologiques. Cependant, il n'existe aucune définition officielle de la vulnérabilité (Vrbas et Zaporozec, 1994) de même qu'il n'existe aucune technique standard d'estimation de la vulnérabilité des eaux souterraines, ce qui rend difficile la comparaison des diverses évaluations.

En effet, la notion de vulnérabilité des eaux souterraines n'est pas une propriété absolue mais un indicateur complexe (Maxe et Johnson, 1998) et le manque d'unicité dans la définition ou plutôt le manque d'acceptation d'une définition du terme «vulnérabilité des eaux souterraines» contribue à la complexité de cette notion.

II.2. Les différents types de la vulnérabilité

Dans la littérature on distingue deux types de vulnérabilité ; la vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique (Schnebelen et al, 2002).

- La vulnérabilité intrinsèque : est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui détermine la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines.
- 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 la propriété des polluants et leurs relations avec les divers composants la vulnérabilité intrinsèque.

Synthèse bibliographique

La distinction des deux types de vulnérabilité est nécessaire car d'une façon général ; elles ne se placent pas sur la même échelle d'investigation ; la vulnérabilité intrinsèque peut être considérée comme invariante dans le temps alors que la vulnérabilité spécifique (directement liée aux polluants éventuels) est évolutive et ne caractérise qu'un instant précis.

II.3. Critères d'évaluation de la vulnérabilité

D'après les études antécédente Margat, (1968) Parascandola, (1988) Daiy et Warre, (1994), on peut apprécier la vulnérabilité selon les critères suivants :

II.3.1. Le recouvrement de la surface du sol et du sous-sol

Ce critère est lié à la nature des constituants de surface et de leurs morphologie, on tient compte ensuite des caractéristiques du sol c'est-à-dire de la porosité, de la perméabilité, de la capacité d'échange cationique...etc.

La nature de la zone non saturée et son épaisseur représentent des éléments important en raison de leur rôle protecteur.

II.3.2. Critères relatifs à l'aquifère

Dans cette partie on s'intéresse à la géométrie de l'aquifère son étendue et à la profondeur du niveau statique viennent ensuite les paramètres hydrodynamiques (Transmissivité, Perméabilité...etc.).

En effet, la nature lithologique joue un rôle important ce qui influence directement la vitesse de propagation.

II.3.3. Critère relatifs à la nature du polluant

Ce dernier à un rôle prépondérant dans l'établissement des cartes de vulnérabilité spécifique, pour un polluant bien déterminé sous forme de carte locales.

Dans notre étude on s'intéresse à une carte de vulnérabilité d'ordre régional (intrinsèque).

En effet, à une telle échelle, il est difficile d'évaluer le comportement exact de chaque polluant en raison de leur nombre important et de la vaste hétérogénéité des formations, chaque polluant ayant un comportement spécifique vis-à-vis de la nature lithologique des terrains traversés.

En revanche deux critères importants peuvent être pris en considération :

- La relation nappe /rivière
- Le critère d'invasion marine.

II.4. Cartes de vulnérabilité et leurs intérêts

Elles correspondent à des cartes hydrogéologique thématique d'extensions régionales, leur échelle peut varier de 1/50000ème à 1/200000ème .Dans ce cas, quelques détails seront perdu ce qui implique une insertion d'études locales pour renforcer l'estimation de la vulnérabilité spécifique à une contamination donné ;

Ces cartes sont très utiles ; elles facilitent la prise de décision vis-à-vis de l'aménagement du territoire et de la gestion de la ressource en eau.

Synthèse bibliographique

Tableau I . Les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité

Acronyme / Nom de la méthode	Références	Type d'aquifère préconisé	Critères
<<COP>>	Vias J.M. et al 2002	Karst	C : Concentration du flux en distinguant la recharge par les pertes, avens O : Formation superficiel de la couverture P : Précipitation obtenue
<<DRASTIC>>	Aller et al 1987	Poreux	D : Profondeur de la nappe R : Recharge nette A : Nature lithologique de l'aquifère S : Type de sol T : Topographie des terrains I : Impact de la zone non saturée C : Conductivité hydraulique
<<EPIK>>	Zwahlen et al. 1996	Karst	E : Développement de l'Epikarst P : Epaisseur de la couverture protectrice I : Conditions d'infiltration K : Développement du réseau karstique
<<GOD>>	Foster, 1987	Poreux	G : Type de nappe O : Lithologie de la zone non saturée de l'aquifère D : Profondeur de la nappe
<<PI- méthode>>	Goldsheider N. et al 2002	Karst	P : Couverture protectrice I : Condition d'infiltration
<<RISKE>>	Peteler-G et al.2002	Karst	R : Roche aquifère I : Conditions d'infiltrations S : Sol et couverture protectrice

Synthèse bibliographique

			K : Karstification E : Epikarst
<<SINTACS> >	Civita, 1994	Poreux	S : Profondeur de la nappe I : Recharge efficace N : Lithologie de la zone non saturée T : Type de sol A : Type de l'aquifère C : Conductivité hydraulique S : Topographie

II.5. Bassin versant

II.5.1. Définition

Un bassin versant correspond à une surface d'alimentation d'un cours d'eau ou d'un lac. Le bassin versant se définit comme l'aire de collecte limitée par le contour à l'intérieur duquel se rassemblent les eaux précipitées ; à l'intérieur du même bassin, toutes les eaux reçues suivent du fait du relief, une pente naturelle et se concentrent vers un même point de sortie appelé exutoire.

Dans un bassin versant, l'eau se fraie sur des chemins et dans les sols. Elle prend en charge des particules, sédiments, matières organiques, produits chimiques...

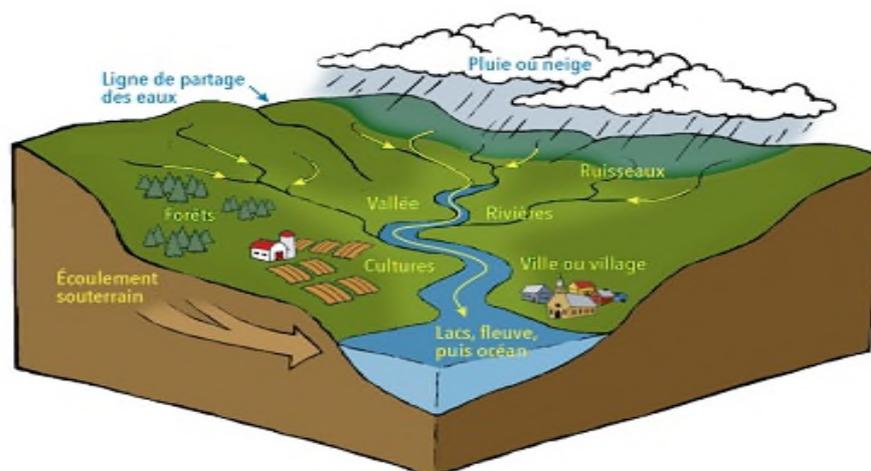


Figure01. Bassin versant(Anonyme)

II.5.2. Caractéristiques du bassin versant

Les principales caractéristiques d'un bassin versant sont :

- La courbe des niveaux de surface : c'est une indication du potentiel hydroélectrique du bassin.
- Le coefficient de forme : donne des indications préliminaires de l'onde d'avenue qui capable de générer.
- Le coefficient de branchement : il donne aussi des indications préliminaires sur le type d'onde d'avenue.

II.6. Pollution

II.6.1. Définition de la pollution

La pollution est une dégradation ou une alternation de l'environnement, en général liée à l'activité humaine par diffusion direct ou indirect de substances chimiques, physiques ou biologiques qui sont potentiellement toxiques pour les organismes vivants ou qui perturbent de manière plus ou moins importante le fonctionnement naturel des écosystèmes.

Outre ses effets sur la santé humaine et animale, elle peut avoir pour conséquences la migration ou l'extinction de certaines espèces qui sont incapables de s'adapter à l'évolution de leur milieu naturel.

II.6.2. Définition de la pollution des eaux souterraine

Les eaux souterraines sont dans la plupart des cas, de meilleure qualité que les eaux de surface car elles sont moins directement exposées aux polluants.

Cependant, si les polluants sont général plus discrètes, elles peuvent persister beaucoup plus longtemps et il est difficile de remédier à la contamination. Etant donné que les eaux souterraines sont souvent utilisées pour l'alimentation en eau potable, leur protection vis-à-vis des polluants est un enjeu majeur.

II.6.3. Les polluants présents dans les eaux souterraines

On peut distinguer les pollutions anthropiques, dues à des rejets de substances dans l'environnement, des contaminations naturelles, dues à des substances naturellement présentes dans les eaux.

En ce qui concerne les pollutions anthropique, on peut distinguer différentes sources qui se caractérisent par des substances et des modes de rejets différents.

Les principales sources sont l'agriculture, qui s'applique de manière diffuse sur le territoire, les industries qui sont à l'origine de rejets très diversifiés et souvent localisés et l'activité humaine domestique via les rejets d'eau usées ou les décharges.

Matériels
Et
Méthodes

III. Présentation de la région d'étude

III.1. Situation géographique

Aokas est une ville touristique en Algérie située sur le littoral méditerranéen ; wilaya de Bejaia .Il compte une population d'environ 17 131 habitants réguliers et près de 30 000 en saison estivale. Aokas bénéficie d'une situation stratégique de la wilaya de Bejaia directement connectée à la RN09 dont le littoral comprend environ 8Km.

L'agglomération d'Aokas est située à environ 25km du chef-lieu de la wilaya, limité du nord par la méditerranée, le sud par la commune de Tizi n Berbère, l'est par la commune de Souk Elthnin et l'ouest par la commune de Tichy ; La commune d'Aokas comprend :

- Une agglomération chef-lieu.
- Quatre agglomérations secondaires.
- Une zone éparsée composée de plusieurs hameaux et lieux dits.

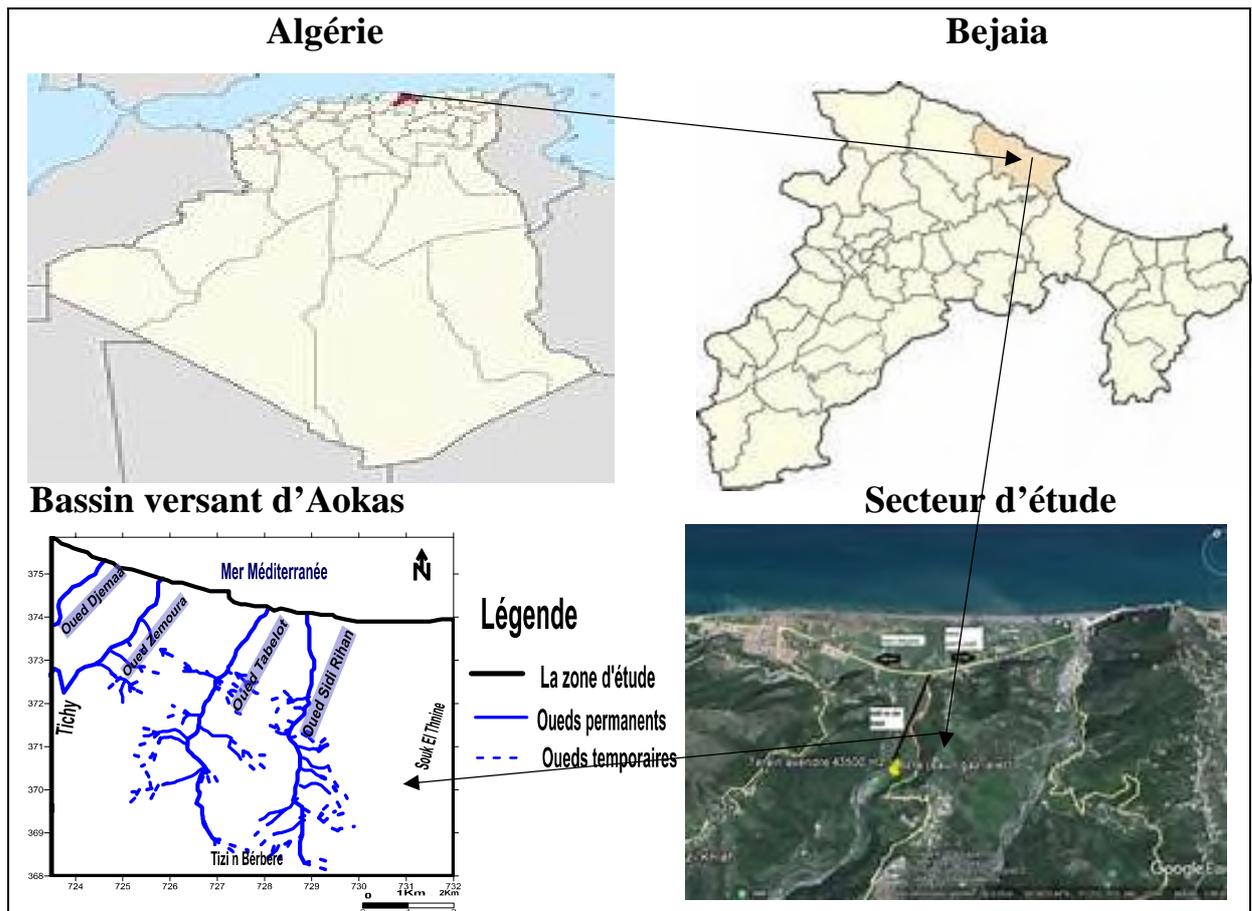


Figure02. Localisation de la zone d'étude

III.2. Présentation de la population

Le recensement de la population permet de connaître la diversité et l'évolution de la population d'une région. La population de la commune d'Aokas est estimée à la fin de l'année 2018 à 17 131 habitants. (Tableau II)

La population de la commune se concentre au chef-lieu et cela due à l'exode rural qui pousse les gens à s'installer au chef-lieu. (figure03)

L'impact de la population sur l'environnement n'est pas négligeable, car c'est la principale source de la pollution par l'injection des déchets ménagers, les eaux usées, les gaz,...etc.

Tableau II . Nombre d'habitants dans la région d'étude(2018) (RGPH)

Dispersion	Nombre d'habitant	Total
Agglomérations chef-lieu	7 793	17 131
Agglomération secondaire	6 800	
Zone éparses	2 538	

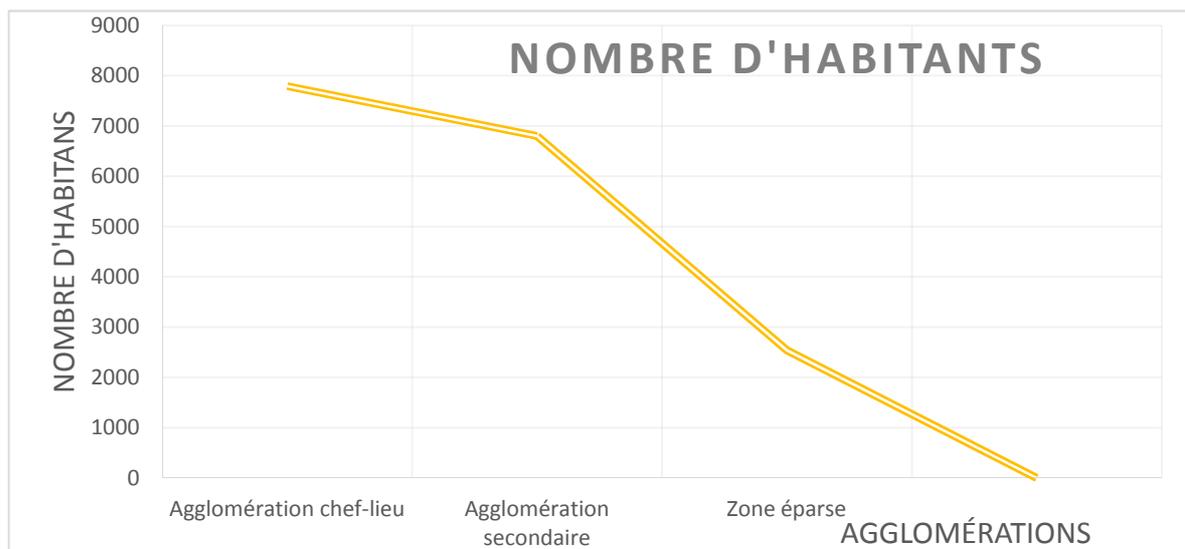


Figure03. Nombre d'habitants dans la zone d'étude

III.3. Géomorphologie

III.3.1. Les caractéristiques morphologiques du bassin versant d'Aokas

III.3.1.1. Réseau hydrographique

On désigne par un réseau hydrographique un ensemble hiérarchisé et structuré de chenaux qui assurent le drainage superficiel, permanent ou temporaire, d'un bassin versant ou d'une région donnée.

La hiérarchie du réseau hydrographique se manifeste par l'importance croissante de ses éléments, depuis les ramifications originelles de l'amont dépourvus de tributaire.

Le réseau hydrographique est d'autant plus dense que le climat est plus humide, que les pluies sont plus abondantes, les pentes plus fortes, les roches ou les formations superficielles moins perméables.

La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin versant est due à quatre facteurs principaux :

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

Le bassin versant d'Aokas contient quatre cours d'eau qui sont :

Oued Djemaa : située à l'ouest du bassin versant, sa longueur est égale à environ 2.3 km.

Oued Zemoura : situé à l'ouest du bassin versant, sa longueur est égale à environ 13.25 km.

Oued Tabelot : situé à l'est du bassin versant, sa longueur est égale à environ 22.3 km.

Oued Sidi Rihan : situé à l'est du bassin versant, sa longueur est égale à environ 28.6 km.
(figure04)

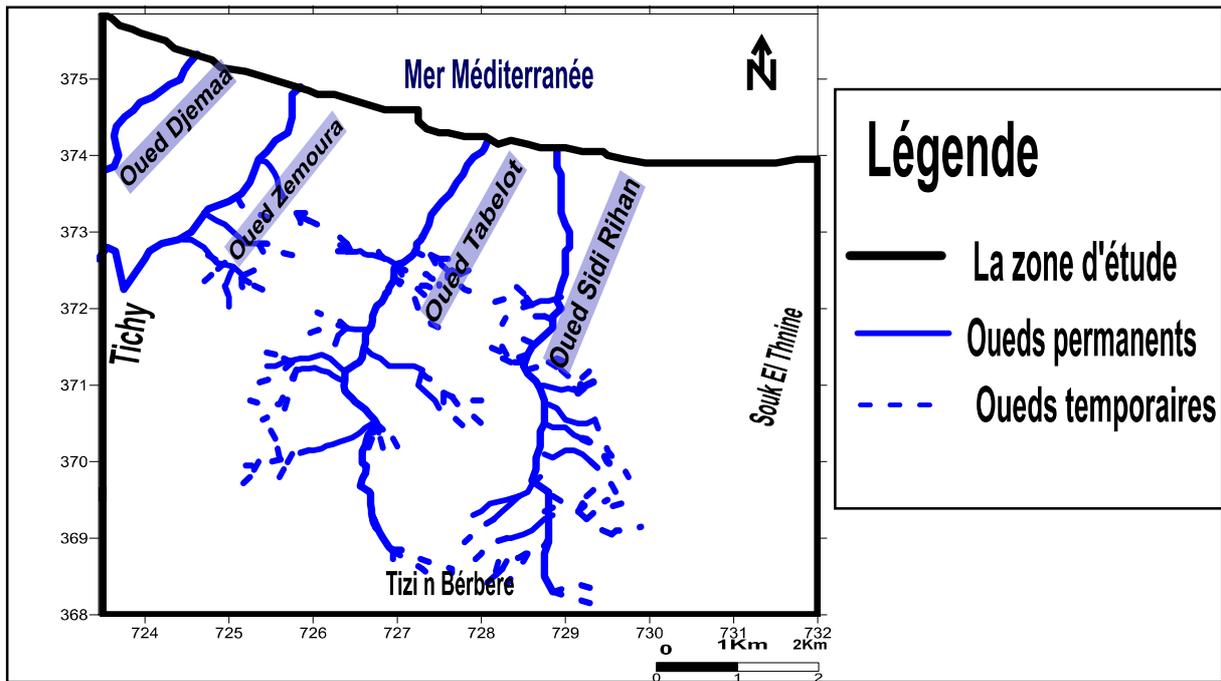


Figure04. Carte des réseaux hydrographiques de la région d'Aokas

○ **La densité de drainage :**

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

$$Dd = \frac{\sum L_i}{A}$$

Li : La longueur total des cours d'eau, L=66.45km

A : La surface du bassin versant, A=53.82km²

$Dd = 1.23 \text{ Km} / \text{km}^2$

III.3.1.2. L'indice de Gravelius

La transformation de la pluie en écoulement passe par l'intermédiaire du bassin versant. Ce dernier est défini comme la région qui reçoit les précipitations et, suite aux processus hydrologiques entraînant pertes et retards, les achemine jusqu'à un exutoire. (OMM, 1996).

Outre les conditions climatiques qui gouvernent le fonctionnement du bassin versant, ses caractéristiques physiques influencent le volume (en terme de bilan) et la répartition temporelle (en terme d'hydrogramme) des écoulements (Roche, 1963).

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

$$K_c = P / 2\sqrt{\pi A} = 0.28(P/\sqrt{A})$$

A : La surface du bassin versant, $A=53.82\text{km}^2$.

P : Le périmètre du bassin versant, $P=30.95\text{km}$.

$$K_c = 0.28(30.95/\sqrt{53.82})$$

$K_c=1.19$

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

III.3.1.3. Le rectangle équivalent

La notion du rectangle équivalent introduite par Roche (1963), permet de comparer facilement des bassins versants entre eux, en ce qui concerne l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement.

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

$$L = \sqrt{A} \frac{Kc}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2}\right)$$

A : La surface du bassin versant.

Kc : L'indice de compacité.

$$L=12.6Km$$

➤ L : La largeur du rectangle équivalent :

$$L = \sqrt{A} \frac{Kc}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2}\right)$$

$$l=6.85Km$$

III.3.1.4. L'indice de pente

La pente est un paramètre essentiel dans l'écoulement de l'eau dans les cours d'eau et plus généralement gravitaire, la pente est une caractéristique du bassin versant, son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente globale(Ig) qui est utilisé pour déterminer la dénivelée spécifique du bassin versant donné par la relation suivante :

$$I_g = D/L$$

- D : Dénivelée simple est donnée par la différence entre les altitudes ayant 5% et 95% de la surface du bassin versant ; $D = H_{5\%} - H_{95\%}$
- L : la longueur du rectangle équivalent par la formule suivante(L) : $L = 12.6Km$

$$D = 1270 - 130$$

$$D = 1140m$$

Donc :

$$I_g = 1140/12.6$$

$$I_g = 90.47 \text{ m / km}$$

Conclusion

Ds (Dénivelé spécifique) : paramètre de classification de bassin versant calculée par la formule suivante : $Ds = I_g \cdot \sqrt{A}$

$$Ds = 663.71$$

Selon la méthode de l'ORSTOM (tableau III) le bassin versant de la région d'étude est :
 $Ds = 663.71$

- Donc le relief est très fort.

Tableau III. Classification de type de relief selon l'ORSTOM

Classe	Type de relief	Ds
R1	Relief très faible	10
R2	Relief faible	10-25
R3	Relief assez faible	25-50
R4	Relief modéré	50-100
R5	Relief assez fort	100-250
R6	Relief fort	250-500
R7	Relief très fort	+500

III.4. La géologie

Le massif de cap Aokas est constitué par du calcaire d'âge jurassique inférieur (Leikine1971), de couleur gris sombre, à parraïne brune. Sa stratification rarement visible, montre à l'entrée Est du tunnel de la route actuelle. Il constitue l'ossature de la barrière montagneuse qui se prolonge vers le sud au-delà du Cap .Un facies calcarobréchique assez homogène et finement cimenté s'intercale dans les calcaires massifs gris-sombre. Ces calcaires à grains fins, montrent des structures lamellaires, soulignées par des nuances de la couleur grise (Bougdal, 2009). Ils correspondent probablement à une zone de faille très fracturée.

Sur le talus amont du tracé ancien de la RN09, à environ 150m au sud du tunnel, les marno-calcaire pélitique d'âge crétacé inférieur sont masqués en grande partie par une unité de calcaire jurassique chevauchante

Les formations quaternaires apparaissent à partir de l'entrée du village Tala Khaled jusqu'à l'entrée Est de la ville d'Aokas. Elles offrent une bonne qualité d'affleurement et sont représentées par des colluvions grossières constituées d'éléments hétérométriques, argileux et assez bien cimenté et des terrasses graveleuses marines, observées en plaquage le long de l'éperon rocheux qui domine la mer. (figure05)

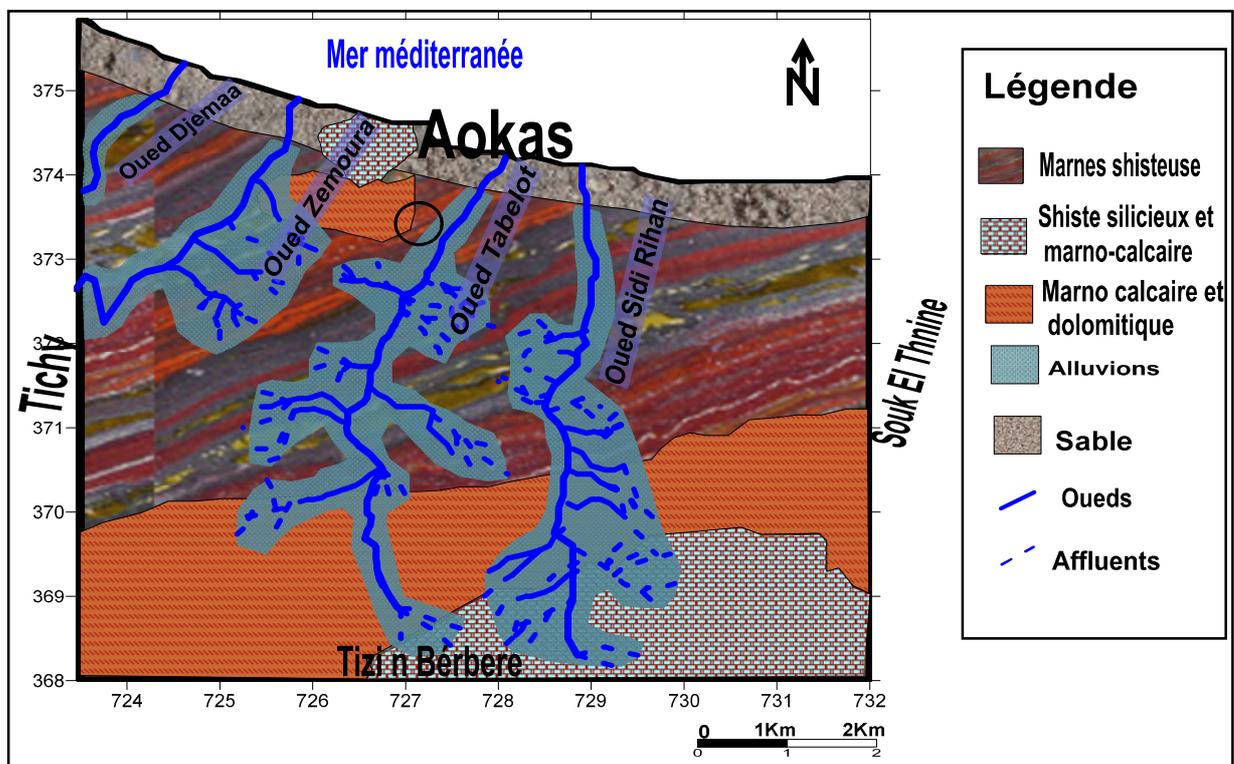


Figure05. Carte géologique de la région d'Aokas(Carte géologique Ziama)

III.5. La pédologie

La formation du sol résulte toujours de deux mécanismes concomitants, l'altération des couches les plus superficielles de la roche mère sur lesquelles s'accumulent progressivement de la matière organique morte, d'origine essentiellement végétale et qui, progressivement, se trouve minéralisée et humifiée par des microorganismes. Les sols s'épaississent donc au cours du temps, de façon à la fois centrifuge et centripète.

Les sols de la région d'Aokas sont formés de dunes de sable tout le long du littoral, et par des sols argileux limoneux dans la plaine d'Ashrit et sols argileux, dans la partie montagneuse. (figure 06).

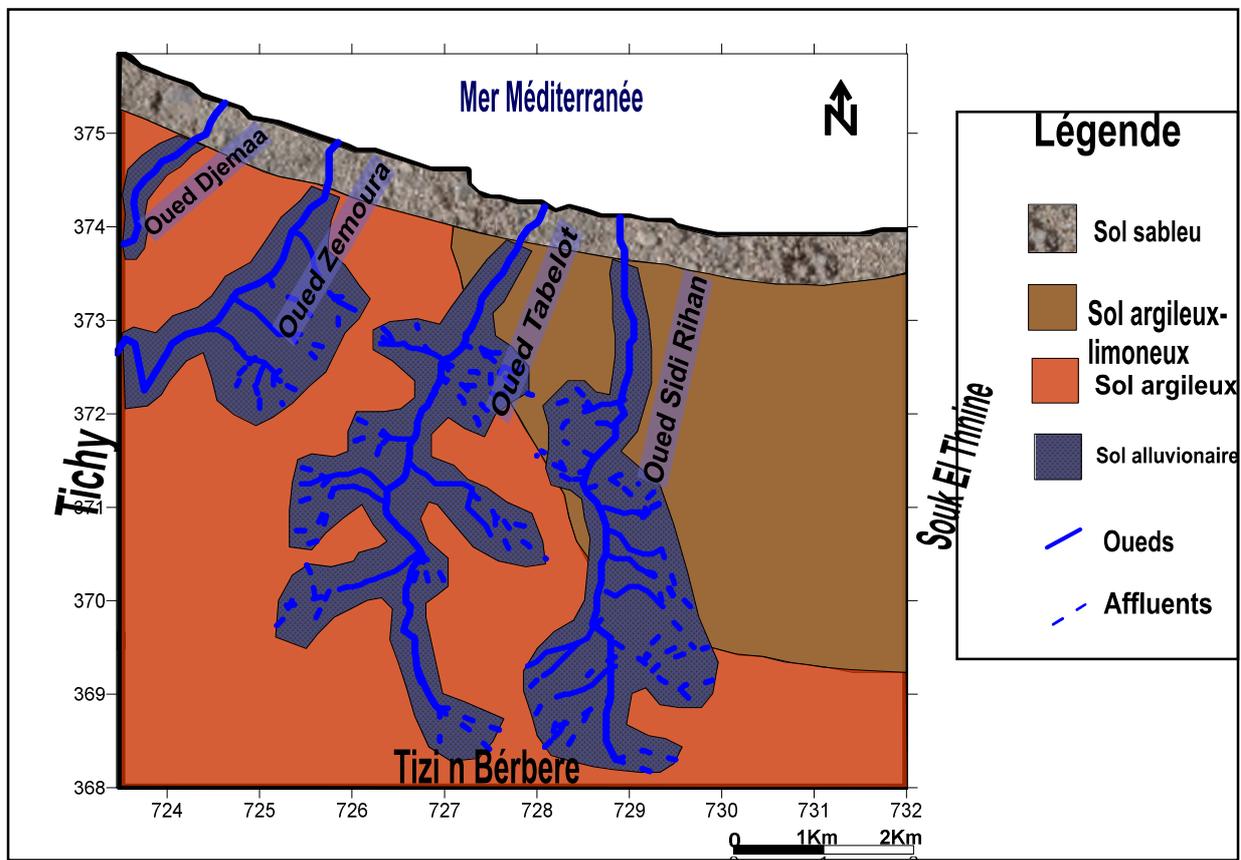


Figure 06. La carte des sols de la région d'Aokas.

III.6. La végétation

La végétation de la région d'Aokas est qualifiée d'un climat méditerranéen. Les forêts viennent d'ajouter son influence à celle de nature du sol pour conditionner la rapidité du ruissellement superficiel, le taux de l'évaporation et la capacité de rétention du bassin.

La végétation représentés par des formations de chaines liège et chênes vert, et des formations moyennes formées par de maquis (paysage dominant) représenté par une brousse à olivier-lentisque, Et des formations basses composées essentiellement d'espèces fourragères et des espèces herbacées, comme par exemple *Pinus maritimus*, *Erica arborea*...etc.

Par ailleurs, la zone montagneuse demeure une région de l'arboriculture notamment l'olivier et le figuier. (figure07)

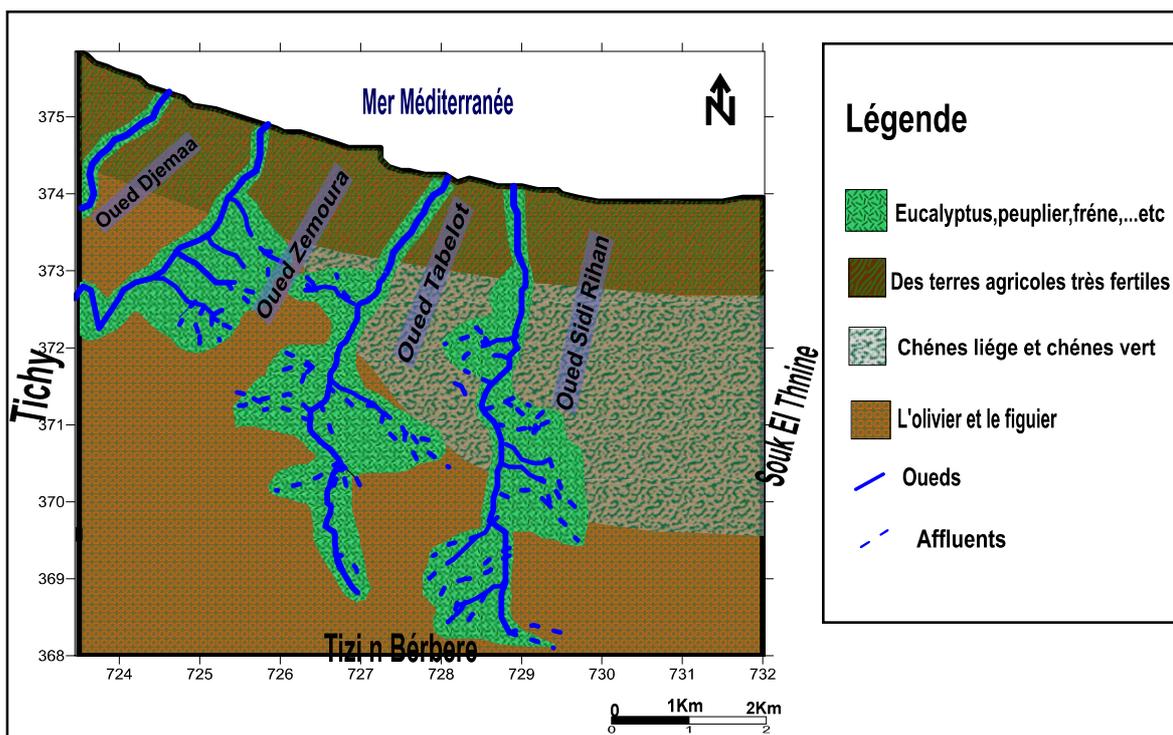


Figure 07. La carte de végétation de la région d'Aokas.

III.7. Climatologie

La climatologie est la science du climat. Elle s'appuie sur l'analyse de la distribution statistique de variable météorologique, principalement la température et les précipitations d'une région donnée.

Le climat est l'ensemble de conditions météorologique qui caractérise l'atmosphère ou un lieu donné. Parmi les facteurs climatiques qu'on peut distinguer. (Ramade, 1994)

- Les facteurs énergétiques, constitué par la lumière et les températures.
- Les facteurs hydrologiques (précipitation et hygrométrie). (Ramade, 1994)

Dans notre étude, les données climatiques utilisées sont recueillies auprès de la station météorologique de l'ONM située à l'aéroport de Bejaia. La période d'observation s'étale 10ans (2008-2017).

III.7.1. Climat

La wilaya de Bejaia se caractérise par un climat de méditerranéenne typique, pluvieux et doux en hiver, chaud et sec en été.

III.7.2. Les précipitations

Les précipitations constituent la principale entrée des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants ; Ce sont des eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, sous forme liquide (bruine, pluie, averse) ou bien solide (neige, grésil, grêle). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression.

A l'échelle mondiale, on peut classer les précipitations en plusieurs régimes pluviométriques. Ces régimes sont définis à partir des précipitations moyennes annuelles ou moyennes mensuelles.

La répartition des précipitations moyennes mensuelles de la région d'Aokas est reportée dans le tableau IV et la figure 07.

Matériels et méthodes

Tableau IV. Moyennes mensuelles des précipitations en (mm) dans la région d'Aokas (2008-2017) (Station météorologique de Bejaia)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Précipitation (mm)	58	66.5	110	89	113.2	116	93.8	55.6	46.56	17.7	3.02	18.71	788.09

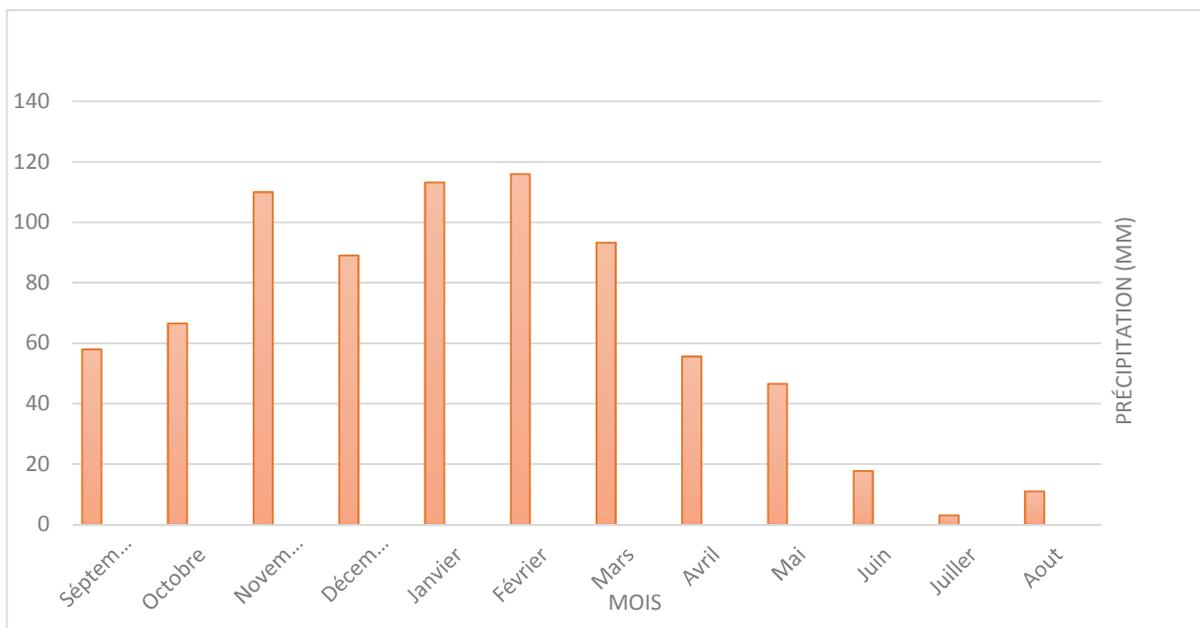


Figure08. Répartition mensuelle des précipitations au niveau de la zone d'étude (2008-2017) (Station météorologique de Bejaia)

Les valeurs des précipitations permettent de conclure que les quantités de précipitations moyennes mensuelles les plus élevées sont observées en mois de février (116mm), par contre, elles diminuent durant la période de mois de juillet (3.02mm), ainsi les précipitations annuelles à Aokas sont de l'ordre de 788.09mm/ans (Tableau IV, fig08).

III.7.3. La température

La température est un facteur clé qui a une influence sur la croissance et la survie des végétaux ainsi le fonctionnement du système racinaire. Elle contrôle les phénomènes métaboliques et conditionne la répartition des espèces et des communautés dans la biosphère.

Tableau V. Température mensuelle moyenne de la zone d'étude (2008-2017) (Station météorologique de Bejaia)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Température en °C	24.05	21.4	16.9	13.35	11.5	11.5	14.1	16.25	18.9	22.45	25.7	26.25

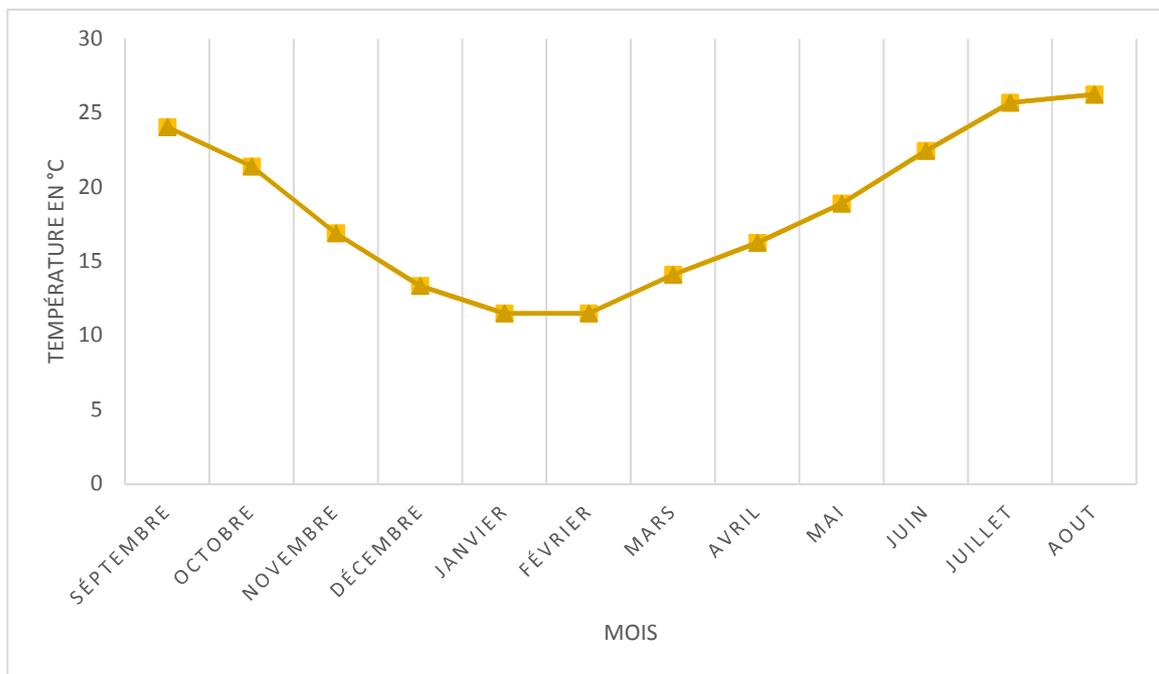


Figure 09. Courbe des températures moyennes dans la zone d'étude (2008-2017) (Station météorologique de Bejaia)

L'analyse des températures enregistrées montre que la valeur maximale est enregistrée en mois d'août (26.25°C) ainsi que la valeur minimale est enregistré en mois de janvier et février (11.5°C).(Fig.09) (TableauV).

III.7.4. Les vents

Le vent joue un rôle important dans l'environnement (cycle de l'eau, la végétation,...). Il consiste à réguler les différences de pression qui se créent à la suite de la dilatation et de la compression des masses d'air sous l'effet de la chaleur.

Les moyennes mensuelles des vitesses du vent de la région d'Aokas durant la période 2008-2017 sont reportées dans le tableau VI et la figure 10.

Tableau VI. Moyenne mensuelle du vent en m/s dans la région d'étude (2008-2017) (Station météorologique de Bejaia)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
V m/s	2.63	3.06	3.26	3.75	3.47	3.41	3.1	2.68	2.78	2.64	2.73	2.75

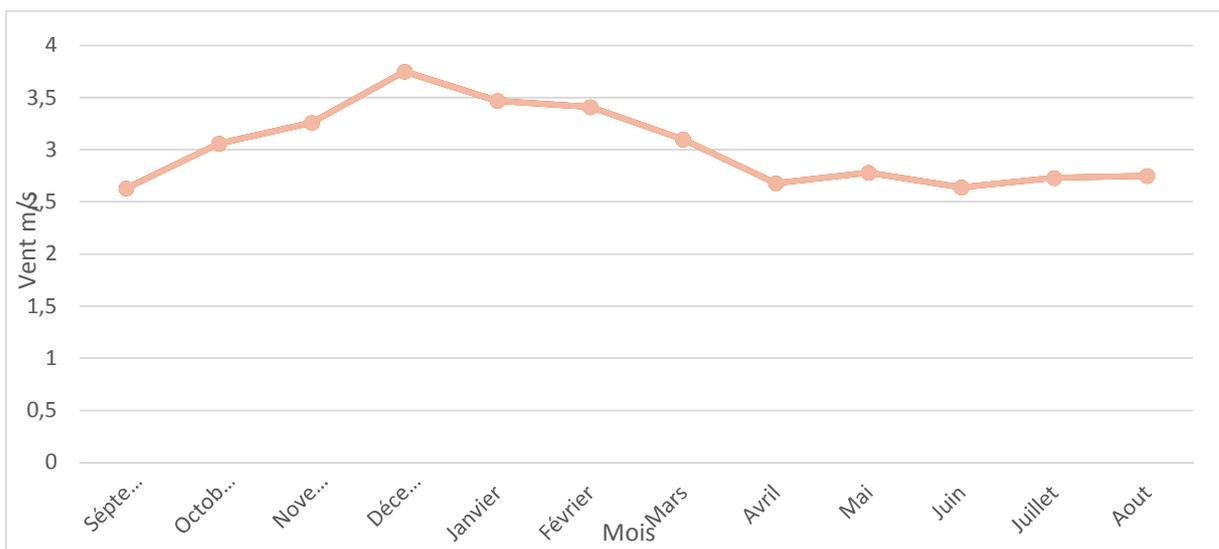


Figure 10. Courbe des moyennes mensuelle du vent (2008-2017) (Station météorologique de Bejaia)

La vitesse la plus faible a été enregistrée en mois de juin de l'ordre de 2.64m/s, contrairement en mois de décembre et janvier où les vents sont froids dont la valeur est environ 3.75m/s.

III.7.5. L'humidité

L'humidité de l'air correspond à la quantité de vapeur d'eau dans l'air par rapport à la capacité maximale que ce dernier peut en contenir. L'humidité s'exprime en pourcentage(%) et dépend de la température et de la pression.

Les moyennes mensuelles d'humidité relatives en pourcentage de la région d'Aokas durant la période 2008-2017 sont reportées dans le tableau VII et la figure11.

Tableau VII. Moyenne mensuelle d'humidité relative%(2008-2017) (station météorologique de bejaia)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Années
H%	76.9	76.7	75	77.3	77.8	77.1	77.4	78.6	78.9	78.1	75.6	76.4	77.15

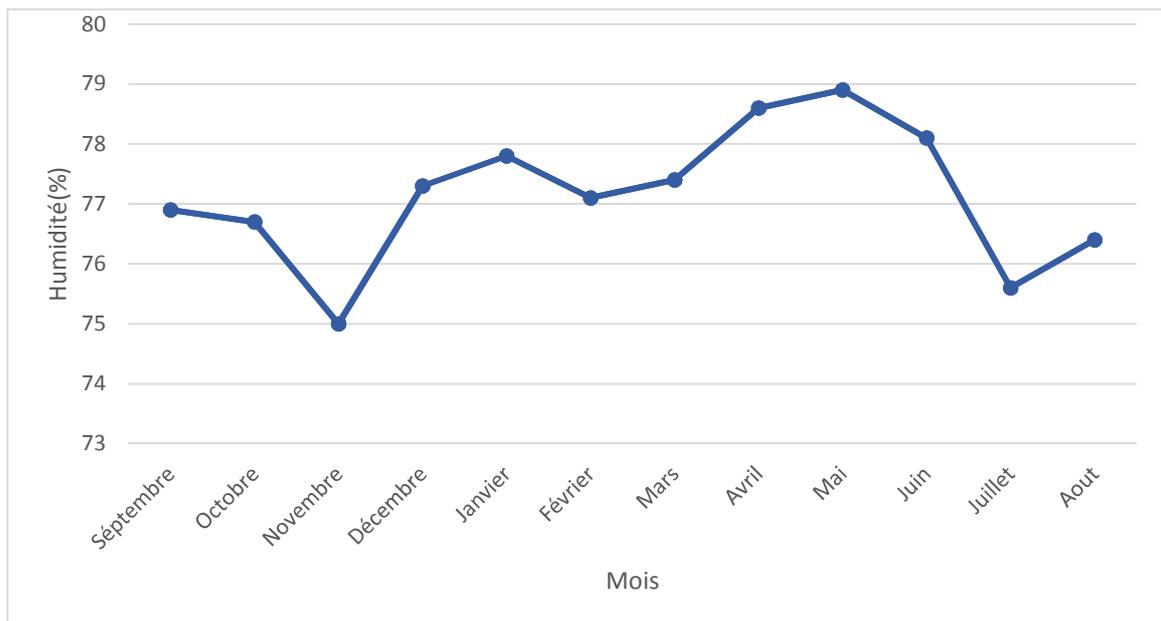


Figure 11. Courbe des moyennes mensuelle d'humidité relative(%) (2008-2017) (Station météorologique de Bejaia)

L'humidité présente dans l'atmosphère varie dans la région d'Aokas. Les valeurs moyennes d'humidité varient autour de 77.15%.

La hausse d'humidité est relative à la situation géographique de la région située au bord de la mer.

III.7.6. Le diagramme Ombrothermique

Le diagramme Ombrothermique est une représentation graphique des températures et quantité de précipitations moyennes mensuelles en un lieu donné, il permet de faire distinction entre la période humide et la période sèche.

A partir des données de température et de précipitation de la zone d'étude on a établi le diagramme Ombrothermique de Gausson qui montre :

- La période sèche est entre la fin du mois de Mai et la fin du mois d'Aout.
- La période humide est entre le moi de Septembre et le mois de Mai.(Fig.12)

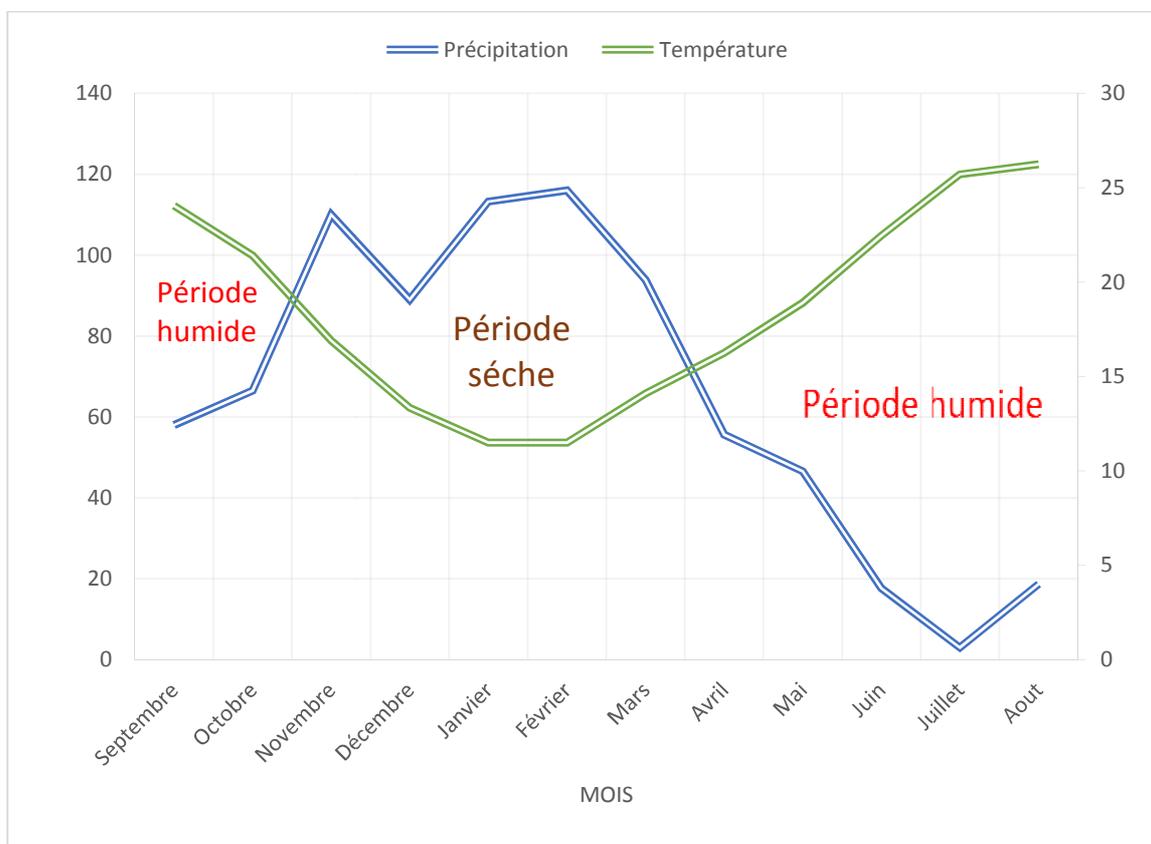


Figure 12. Diagramme Ombrothermique de la région d'étude (2008-2017) (Station météorologique de Bejaia)

III.8. Estimation des paramètres du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite

La formule de Thornthwaite permet de calculer l'évapotranspiration potentielle ou réelle en se basant sur les températures, les précipitations et les variations du stock en eau dans le sol.

➤ L'évapotranspiration potentielle

Selon Roche(1963) :l'ETP correspond à l'évaporation d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques.

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a$$

D'où : ETP : évapotranspiration potentiel mensuelle (mm)

T : Température moyennes annuelle en °C

I : Indice thermique mensuel

$$I = \sum_{i=1}^n i \quad ; \quad i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514}$$

a : exposant climatique donné par L. Serra en 1954.

$$a = 1,6 + \frac{1}{100} + 0,5$$

ETPc : évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée (mm)

$$ETPc = K \cdot ETP$$

K : facteur de correction

Matériels et méthodes

Tableau VIII. Résultat de bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
T°C	24.05	21.4	16.9	13.35	11.5	11.5	14.1	16.25	18.9	22.45	25.7	26.25	18.52
P	58	66.5	110	89	113.2	116	93.8	55.6	46.56	17.7	3.02	18.71	788.09
i	10.78	9.03	6.32	4.42	3.52	3.52	4.80	5.95	7.48	9.71	11.92	12.31	89.76
a	1.93												
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.87	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	
ETP	107.2	85.57	54.26	34.42	25.81	25.81	38.25	50.3	67.33	93.86	121.85	126.39	831.95
ETP_c	110.41	83	46.66	29.66	22.45	22.45	39.39	55.33	81.46	114.5	151.09	147.23	903.63
ETR	58	66.5	54.26	34.42	25.81	25.81	38.25	50.3	46.56	17.7	3.02	18.71	439.34

➤ Principe du calcul du bilan hydrique

-Si pour un mois $P > ETP$, $ETP = ETR$

L'excédent ($P - ETP$) est affecté en premier lieu à la RFU (si le sous-sol a un pouvoir d'infiltration levé, cet excédent va constituer la composante verticale de l'écoulement souterrain ou l'infiltration efficace vers la nappe), et si la RFU est complète cette quantité restituée ($P - ETP$) va éliminer l'écoulement.

-Si $P < ETP$, $P = ETR$

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

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

➤ Calcul de ruissellement

$$R=P^3/3(ETP)^2$$

$$R=235.72\text{mm}$$

➤ Evapotranspiration réel ETR

Elle correspond à l'évapotranspiration qui se produit pendant un intervalle de temps donné, elle correspond à l'évapotranspiration qui se produit pendant un intervalle de temps donné, dans des conditions réelles des teneurs en eau abondantes du sol. Ce paramètre est calculé par plusieurs méthodes empiriques prenant en compte les précipitations et températures. On a :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Ou : ETR : l'évapotranspiration réelle annuelle en (mm)

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm)

L : Constante dépend de la température

$$L=300+25T+0.05T^3$$

$$L=1080.6$$

T : Température moyenne annuelle en °C (T=18.52°C)

Donc ETR=440.25 mm /ans

➤ Calcul d'infiltration

Le calcul d'infiltration selon la méthode de Thornthwaite est basé sur la formule suivante :

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

R : Ruissellement

(E+I) : Ruissellement + infiltration

P : Précipitation mensuelle en mm

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

$$I=112.13\text{mm}$$

III.9. Présentation et définition du karst

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

Les roches carbonatées ou carbonates sont :

- des CALCAIRES constitués du minéral CALCITE (CaCO_3 du système cristallin rhomboédrique)
- de l'ARAGONITE (CaCO_3 du système orthorhombique),
- 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 constituant certaines concrétions : la MAGNESITE (MgCO_3), la SIDERITE (FeCO_3), la SMITHSONITE (ZnCO_3), ...

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

Le karst 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 local.

Le relief karstique de surface est appelé EXOKARST et sa composante souterraine, l'ENDOKARST est accessible grâce à la spéléologie. Sous la surface, on distingue l'EPIKARST, zone altérée, souvent détendue et fracturée, qui joue un rôle majeur dans le stockage de l'eau et le régime et la dynamique des écoulements.

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

Matériels et méthodes

La formation des concrétions dans les cavités est liée à la PRECIPITATION 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 : $2 \text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

Les principaux facteurs de la karstification sont :

- l'eau,
- la nature de la roche,
- le CO_2 ,
- le gradient hydraulique (différence d'altitude entre les points d'entrée et de sortie de l'eau dans le système). C'est le gradient hydraulique qui est le moteur des circulations souterraines et qui conditionne tout le fonctionnement du karst.

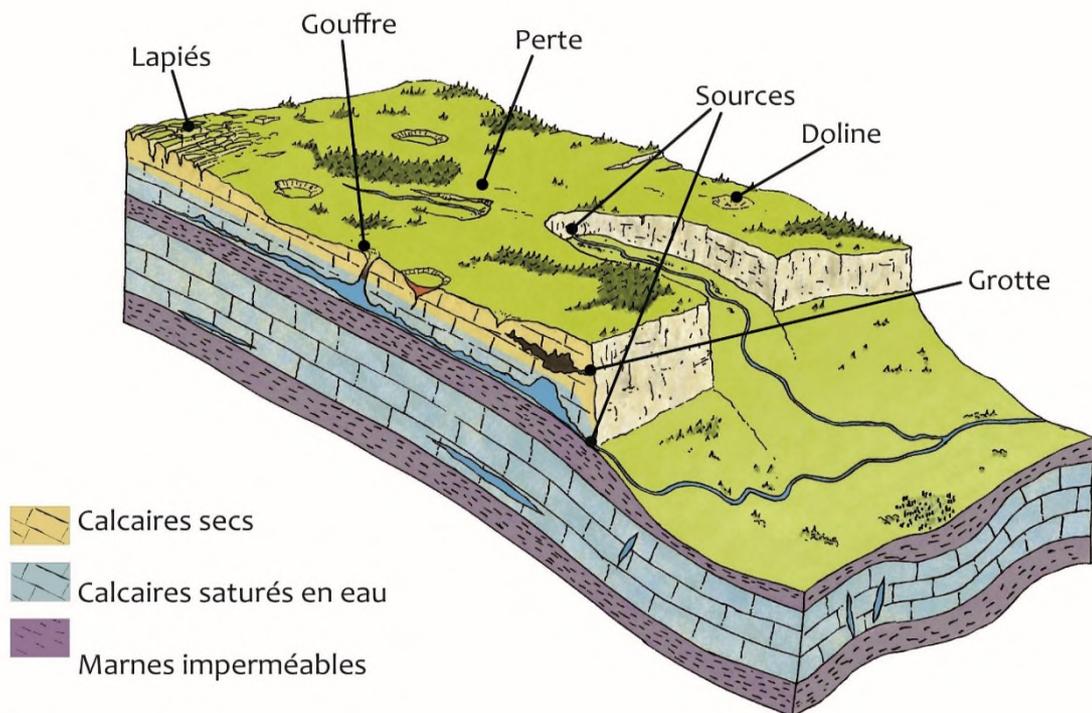


Figure13. Schéma représentatif d'un Karst(Futura-science)

III.10. Présentation de la méthode COP

La méthode «**COP**» a été développée pour évaluer la vulnérabilité intrinsèque des aquifères carbonatés dans le cadre du **programme COST Action 620 de l'Union Européenne** (Vias et al, 2002, 2004) (In Vias et al, 2006). L'acronyme COP correspond aux initiales des trois facteurs utilisés : concentration des flux, couches supérieures et précipitations. La base conceptuelle de cette méthode, en fonction de l'approche européenne (Daly et al. 2002; Goldscheider et Popes Cu 2004) (In Vias et al., 2006), est d'évaluer la protection naturelle des eaux souterraines, déterminé par les propriétés des couches situées au-dessus de la nappe aquifère ou ce qu'on appelle aussi zone de vadose ou zone non saturée; Cette méthode considère les caractéristiques du karst, comme la présence de dépressions en surface (facteur *C*) et l'étendue de leur bassin versant, ainsi que les formes du paysage karstique, sont des facteurs qui diminuent la protection naturelle apportée par les couches du dessus (facteur *O*). Le facteur *P* permet de considérer la variabilité spatiale et temporelle des précipitations, en tant qu'agent de transport de la contamination. Deux aquifères carbonatés du Sud de l'Espagne, la Sierra de Libar (un système à conduit) et Torre Molinos (un système d'écoulement diffus), ont été sélectionnés pour l'application et la validation de cette méthode, et les résultats ont été comparés avec trois méthodes assez utilisées sur d'autres aquifères dans le monde AVI, GOD et DRASTIC (Vias et al., 2006). Les comparaisons avec ces trois méthodes et les outils de validation (données hydrogéologues et tests de traçage) montrent les avantages de la méthode COP lors de l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines karstiques. (Vias et al. 2006). Les représentations numériques finale des facteurs *C*, *O* et *P* sont multipliées, parce que chacun d'eux est considéré avoir une influence sur la répartition de la vulnérabilité des aquifères karstiques.

Dans la méthode COP, les valeurs intrinsèques de la gamme de l'indice de vulnérabilité est entre 0 et 15 Suite à la proposition de Vrba et Zaporozec (1994) (In Vias et al. 2006), les valeurs de cet indice sont regroupées en cinq classes de vulnérabilité (très élevé, élevé, modéré, faible et très faible vulnérabilité)

Les valeurs de l'indice COP sont très influencées par la modification des valeurs pour le facteur *O*, ceci consiste à un reclassement de groupes et de leur vulnérabilité. Les classes extrêmes du facteur *O* ont été divisées et leurs valeurs ont été reclassées. Les

limites de l'intervalle pour le Très-Haut et les classes secondaires sont affectés principalement en fonction de l'influence du facteur C sur les roches carbonatées, et dans une moindre mesure sur celui du facteur P. Ceux de la classe très faible correspondent à des zones dans lesquelles le C et les facteurs de P ont peu d'influence sur la protection. Les classes modéré et faible correspondent à des zones où la protection potentielle est faible à moyenne, dans laquelle les facteurs C et P n'ont pas une influence déterminante sur la vulnérabilité. (Vias et al., 2006).

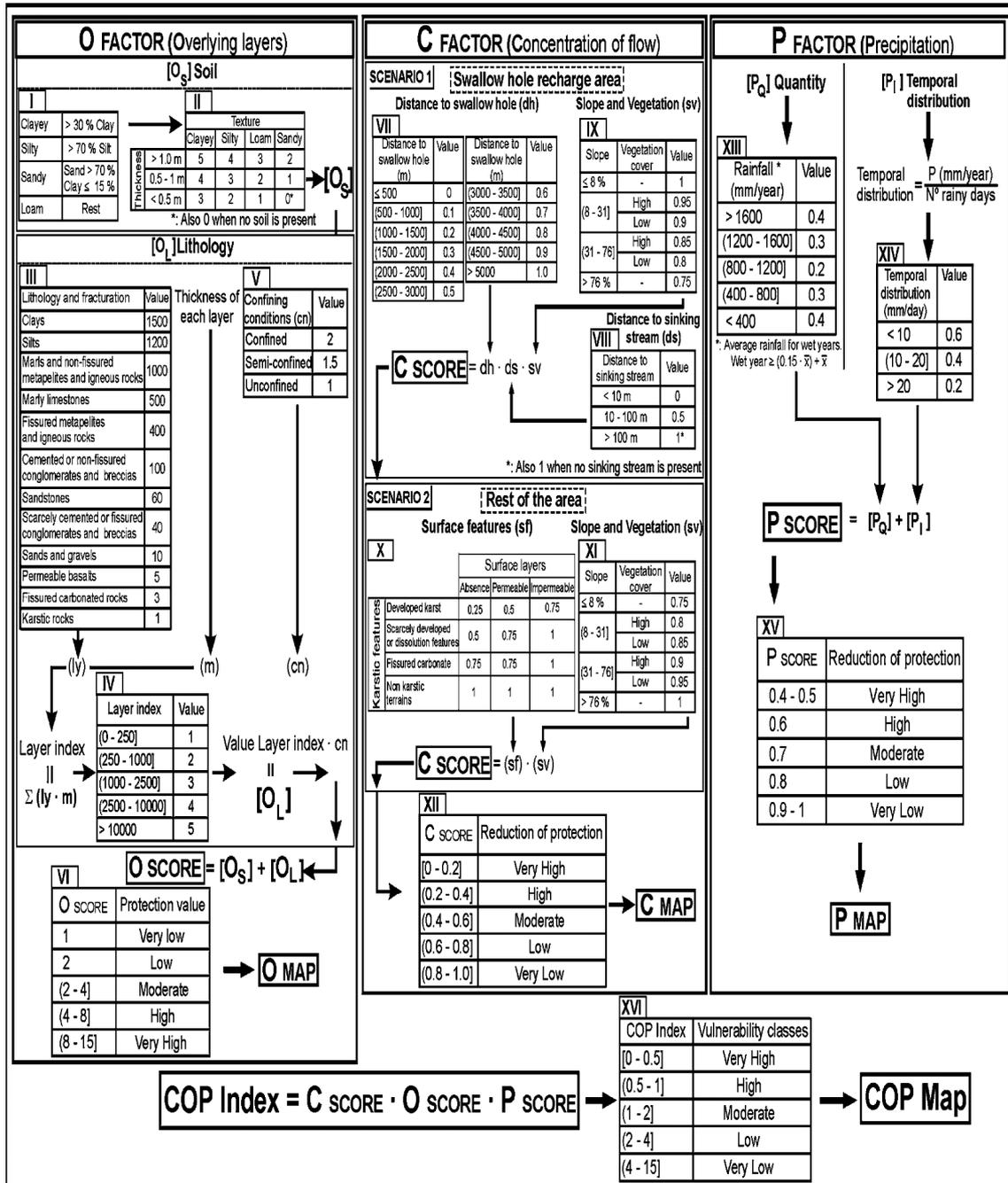


Figure 14. Schéma de la méthode COP montrant la différenciation des facteurs C, O et P

III.11.Présentation du 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).

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

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

Résultats
Et
Discussion

IV- Résultats Et Discussion

IV-1- Critère O : Couches superposées

Le facteur O prend en compte la protection fournie au aquifère par les propriétés physiques et l'épaisseur des couches au-dessus de la zone saturée.

Tableau IX. Représente les valeurs de Os

Texture	Argile	Silt	Limon	Sable
Epaisseur	4	3	2	1

Tableau X. Représente les valeurs de O₁

Nature lithologique	Valeur Ly	Valeur m	(Ly.m)	Valeur	Valeur Cn	O ₁ =(Ly.m).Cn
Silt	1200	1	1200	3	1	3
					1.5	4.5
					2	6
Calcaire marneux	500	1	500	2	1	2
					1.5	3
					2	4
Sable et gravier	10	1	10	1	1	1
					1.5	1.5
					2	2
Roche carbonée fissurée	3	1	3	1	1	1
					1.5	1.5
					2	2

O0 : Occupe la partie Nord-ouest, il est caractérisé par des calcaires marneux et des roches carbonées fissurées avec une intensité très élevé de Karstification. (O0=9)

O1 : Occupe la partie sud-ouest de la région, il est caractérisé par des calcaires et des Limons avec une intensité élevé de Karstification.(O1=6)

O2 : Occupe la partie littorale et autour des oueds, il est caractérisé par de moyennes propriétés d'aquifères. (O2=3.5)

O3 : Occupe le reste de la zone, il est caractérisé par de faible propriété d'aquifère. (O3=2) (Fig. 15) (Tableau XI)

Résultats et discussions

Tableau XI. Répartition des degrés de vulnérabilité du paramètre O

O_L	O_s	$O=O_L+O_s$	Degré de vulnérabilité
3	4	7	élevée
	3	6	élevée
	2	5	élevée
	1	4	Modérée
4.5	4	8.5	Très élevée
	3	7.5	élevée
	2	6.5	élevée
	1	5.5	élevée
6	4	10	Très élevée
	3	9	Très élevée
	2	8	élevée
	1	7	élevée
2	4	6	élevée
	3	5	élevée
	2	4	Modérée
	1	3	Modérée
3	4	7	élevée
	3	6	élevée
	2	5	élevée
	1	4	Modérée
4	4	8	élevée
	3	7	élevée
	2	6	élevée
	1	5	élevée
1	4	5	élevée
	3	4	Modérée
	2	3	Modérée
	1	2	Faible
1.5	4	5.5	élevée

Résultats et discussions

	3	4.5	élevée
	2	3.5	Modérée
	1	2.5	Modérée
2	4	6	élevée
	3	5	élevée
	2	4	Modérée
	1	3	Modérée
1	4	5	élevée
	3	4	Modérée
	2	3	Modérée
	1	2	Faible
1.5	4	5.5	élevée
	3	4.5	élevée
	2	3.5	Modérée
	1	2.5	Modérée
2	4	6	élevée
	3	5	élevée
	2	4	élevée
	1	3	Modérée

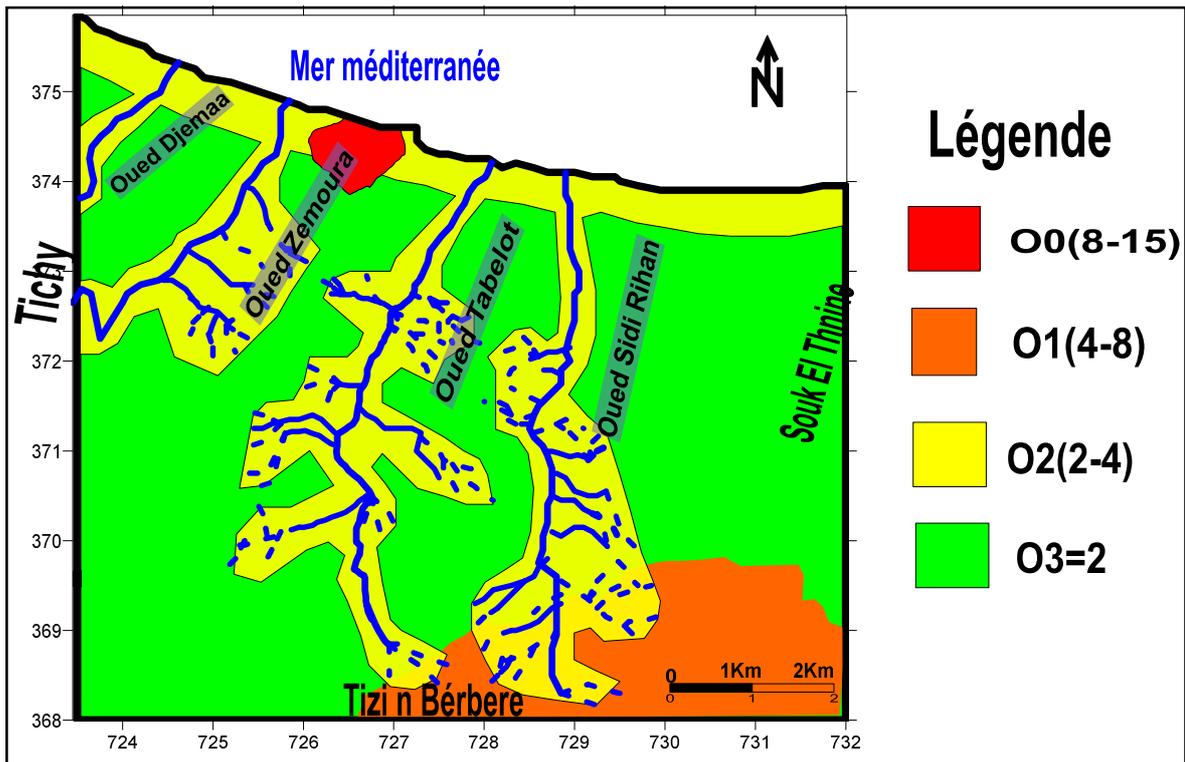


Figure 15. Carte de paramètre de la couche superposé « O »

IV-2 : Critère C : Concentration de l'écoulement

C0 : Occupe la partie littoral du nord-ouest de la région, il est caractérisé par aquifère plus au moins fissuré et un réseau karstique très bien développé (C0=0.37)

C1 : Occupe le sud de la région, il est caractérisé par un réseau karstique développé et connecté avec la surface (C1=0.47)

C2 : Occupe le littoral de la région et autours des oueds, il est caractérisé par un écoulement faible. (C2=0.69)

C3 : Occupe le reste de la région, il est caractérisé par un écoulement très faible. (C3=0.87) (Fig. 16) (Tableau XII)

Résultats et discussions

Tableau XII. Répartition des degrés de vulnérabilité du paramètre C

Sf	Sv	SF. Sv	Degrés de vulnérabilité
0.5	0.75	0.37	Elevée
	0.85	0.42	Modérée
	0.9	0.45	Modérée
1	0.75	0.75	Faible
	0.85	0.85	Très faible
	0.9	0.9	Très faible
0.75	0.75	0.56	Modérée
	0.85	0.64	Faible
	0.9	0.67	Faible

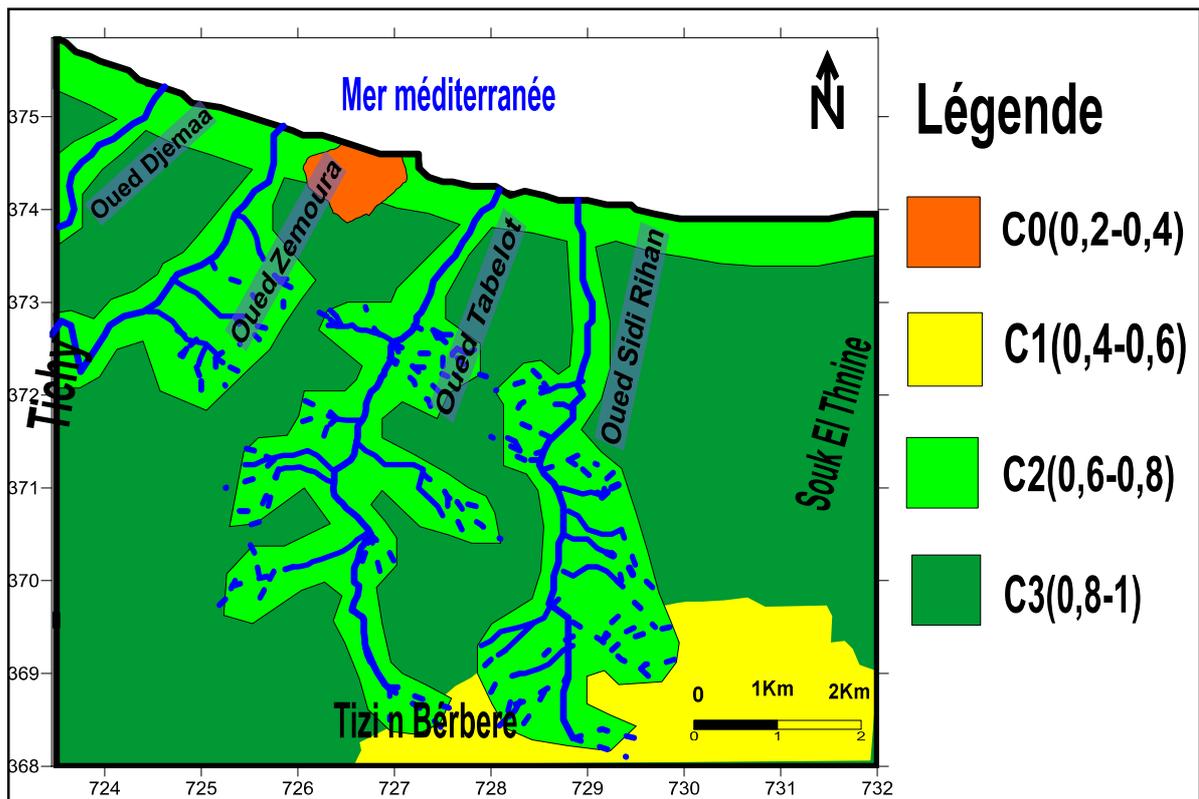


Figure 16. Carte de paramètre de la concentration d'écoulement « C »

IV-3-Critère P : Précipitation

Ce facteur inclut la qualité de précipitations et les facteurs qui influencent le taux d'infiltration. (Daly et al. (2002))

$$P_i = \frac{P}{N}$$

P : précipitation annuelle

N : Nombre de jours pluvieux

P=788.09

N=90

$P_Q = 0.3$

$P_i = 788.09/90$

$P_i = 8.75$

P_0 : Occupe toute la région, il est caractérisé par une précipitation très faible. (Fig. 17) (Tableau XIII)

Tableau XIII. Répartition des degrés de vulnérabilité du paramètre P

P_Q	P_i	$P = (P_i + P_Q)$	Degré de vulnérabilité
0.3	0.6	0.9	Très faible

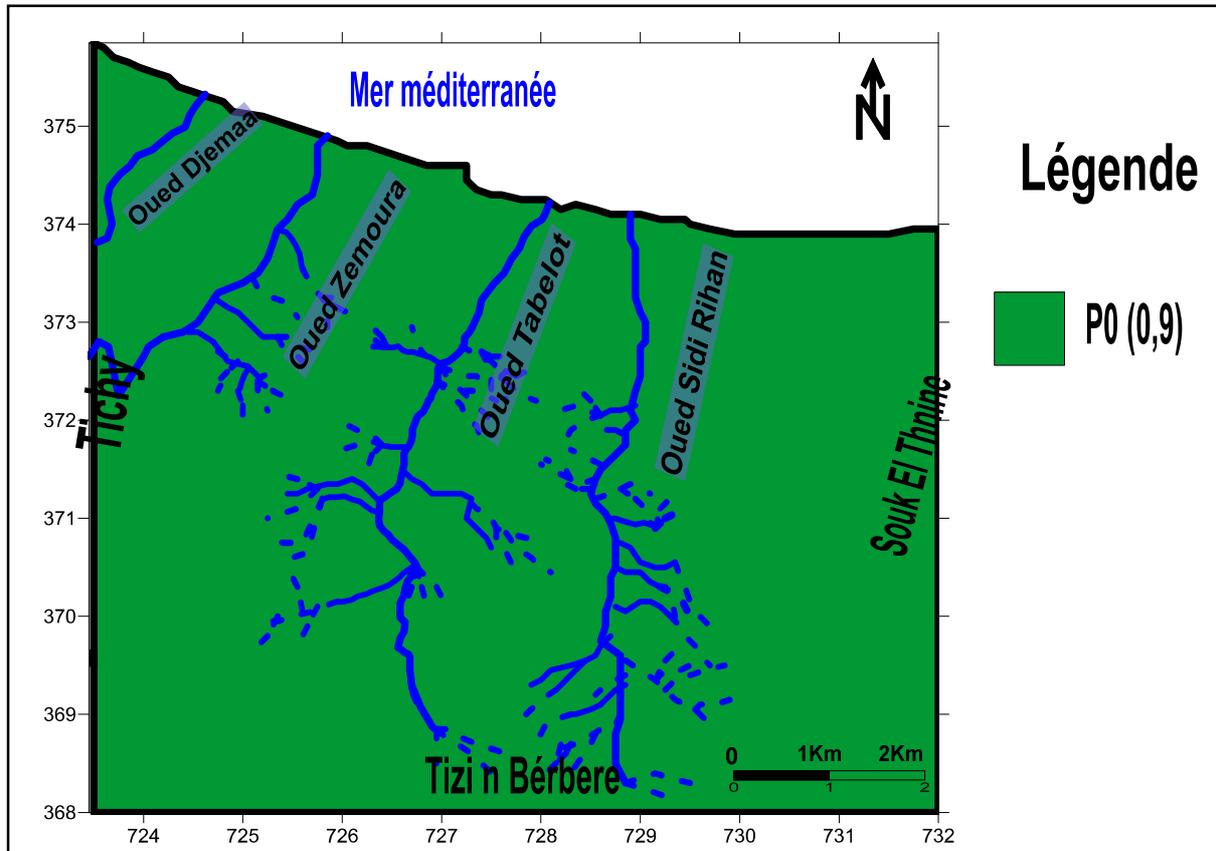


Figure 17. Carte de paramètre de précipitation « P »

IV-4-Discussion de la carte de vulnérabilité

Le calcul et la cartographie de la carte de la vulnérabilité à la pollution de la région d'Aokas a été réalisé par la méthode COP à l'aide du logiciel Surfer version 11.

Le calcul des indices de vulnérabilité par la méthode COP se fait directement par la multiplication de ses trois paramètres (Fig 14).

Le résultat de ce calcul est l'élaboration d'une carte de vulnérabilité.

➤ **Zone de vulnérabilité élevée**

Cette zone occupe la partie Nord-ouest d'Aokas.

➤ **Zone de vulnérabilité Modérée**

Cette zone occupe la partie sud.

Résultats et discussions

➤ Zone de vulnérabilité Faible

Cette zone occupe le littoral nord et autour des oueds.

➤ Zone de vulnérabilité Très faible

Cette zone occupe le reste de la région. (Fig. 18)(Tableau XIV)

Tableau XIV. Répartition des degrés de vulnérabilité dans la région d'étude

Facteur O	Facteur C	Facteur p	COP	Degré de vulnérabilité
9.17	0.37	0.9	3.05	Faible
	0.47		3.88	Faible
	0.68		5.6	Très faible
	0.69		5.69	Très faible
6	0.37		2	Modérée
	0.47		2.54	Faible
	0.68		4.6	Très faible
	0.69		3.73	Faible
3.4	0.37		1.13	Modérée
	0.47		1.44	Modérée
	0.68		2.08	Faible
	0.69		2.11	Faible
2	0.37		0.67	élevée
	0.47		0.85	élevée
	0.68		1.22	Modérée
	0.69		1.24	Modérée

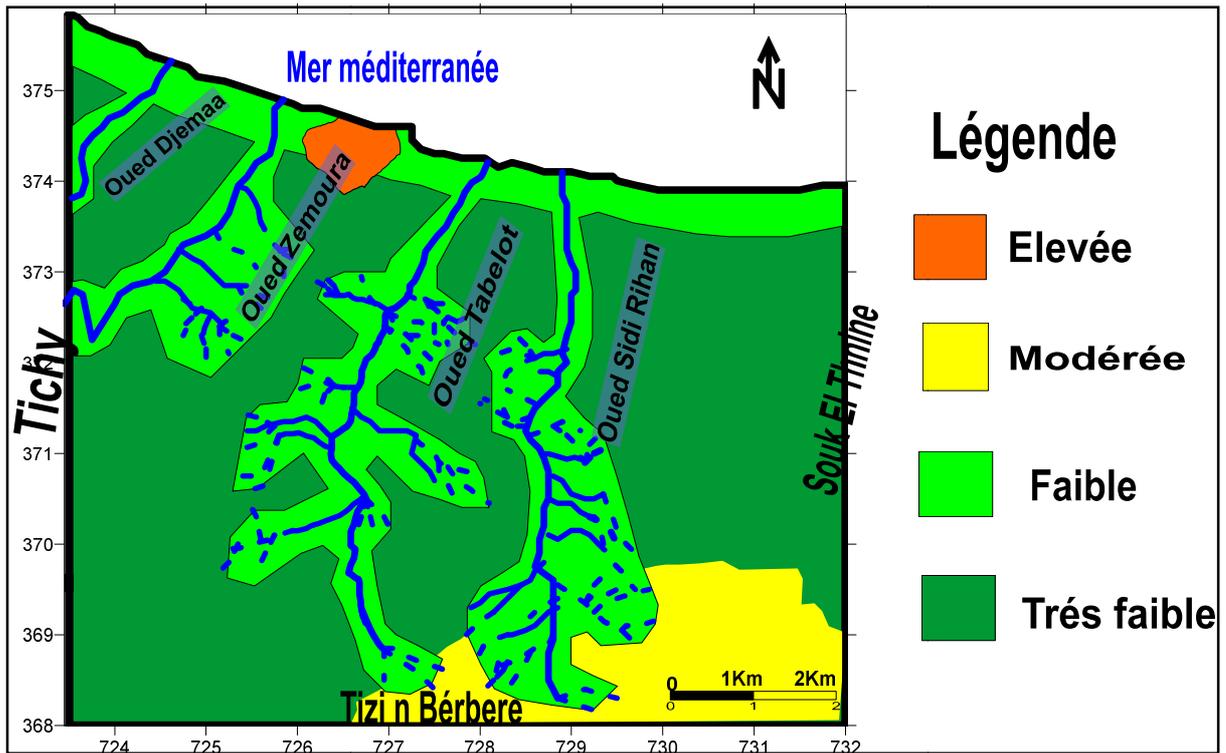


Figure 18. Carte de degré de vulnérabilité dans la région d'étude par la méthode COP

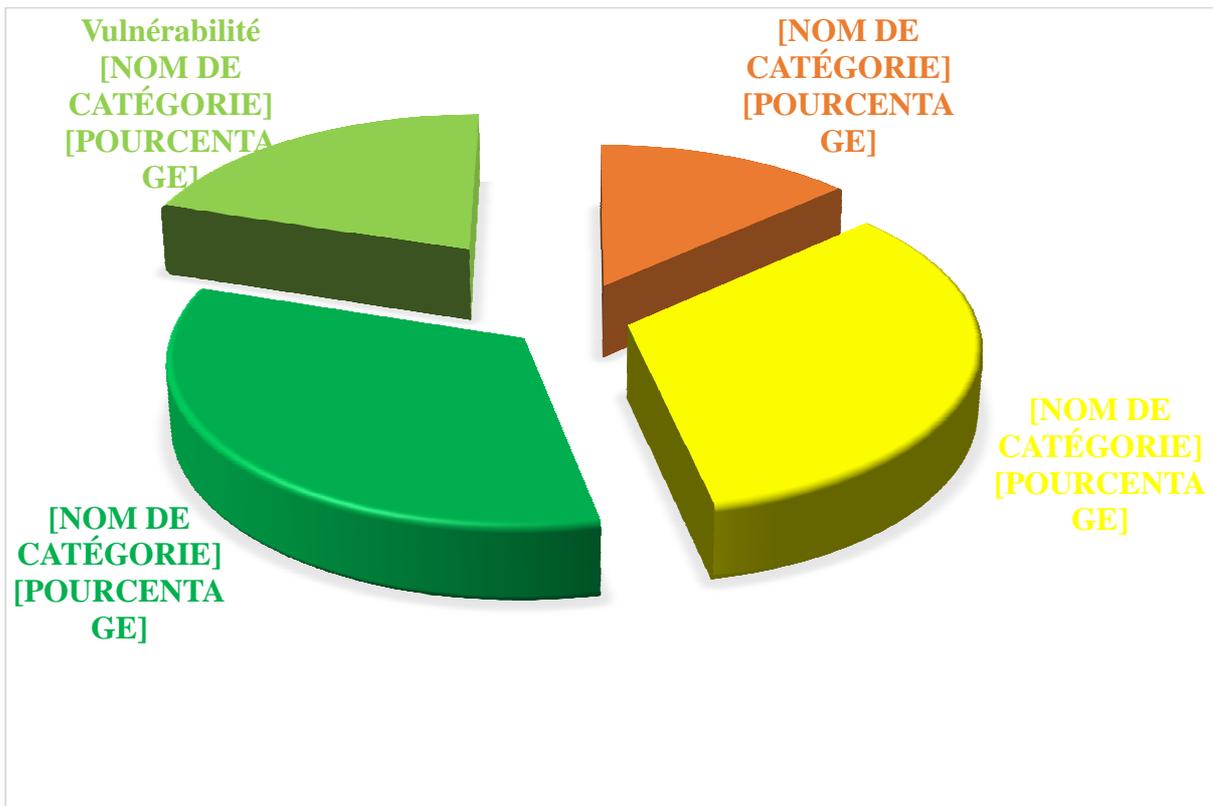


Figure 19. Pourcentage de degrés de vulnérabilité de la région d'étude

IV.5. Sources de pollution dans la zone d'étude

La pollution est la dégradation d'un milieu naturel par des substances extérieures, introduites de manière directe ou indirecte, la santé humaine, la qualité des écosystèmes et de la biodiversité aquatique ou terrestre peuvent être affectés et modifiés de façon durable par la pollution.

De nos jours, les principales causes de pollution proviennent d'en premier lieu de la production et de l'utilisation des diverses sources d'énergie, puis des activités industrielles, et de façon paradoxale mais néanmoins importante, de l'agriculture.

A chacune de ces causes fondamentales de pollution vont correspondre d'innombrables sources de dispersion des agents polluants. Ces derniers prennent place depuis l'amont (industries extractives) jusqu'à l'aval, c'est –dire jusqu'à l'usage domestique, lesquels peuvent jouer dans certains cas (matières organiques fermentescibles polluant les eaux par exemple). Ainsi, la consommation de substances chimiques commercialisées auprès du grand public intervient de façon non négligeable dans la contamination de l'environnement, sans oublier les masses considérables d'engrais et de pesticides dispersés dans l'espace rurale par les activités agricoles.

IV.5.1. La pollution par les déchets solides

Les déchets solides, qu'ils soient de papier, de carton ou en plastique, souillent nos plages, nos calanques comme ils souillent les rues de nos villes et les prairies de nos campagnes. Il y en a partout et sont la preuve d'un manquement grave de la part de nombreux individus au respect des éléments que sont la terre et l'eau, sources de la vie.

Les déchets de la région étudiée sont rejetés d'une manière anarchique dans la nature à cause d'absence d'une décharge contrôlée qui cause de sérieux problème de pollution de l'aire, des eaux superficielles et sous terraines ainsi l'esthétique du milieu.(Fig. 19)



Figure 20. Décharges sauvage au niveau de la commune d'Aokas(Mai2019)

NB : Présence de plusieurs décharges sauvage au niveau de la commune d'Aokas qui sont implantées à côté des cités résidentielles et aussi le long des oueds ce qui nuit à la santé publique.(Fig.20)

IV.5.2La pollution d'origine agricole

Cette sorte de pollution nous touche de plus en plus sous différentes formes et par différents biais, que ce soit dans l'eau, les sols, ou l'air. Depuis plus d'un demi-siècle les engrais chimiques et pesticides sont utilisés en quantité considérable par l'agriculture intensive. On retrouve des résidus de pesticides partout.

L'activité agricole occupe une place très importante de la commune d'Aokas dont sa superficie occupe 54,75% de la superficie totale. Elle occupe toute la zone de plaines littorales et en moindre intensité au niveau des replats des versants sud de la commune.

IV.5.3. La pollution industrielle

La pollution industrielle reste la plus célèbre et la plus dangereuse de toutes les formes de pollution, car ses conséquences touchent même les régions non industrialisé. Ce type de pollution s'aggrave et prend des proportions alarmantes, c'est pourquoi la communauté international s'active à trouver des solutions adéquates pour limiter ses dégâts et empêcher à la planète d'être endommagé.

Résultats et discussions

Le secteur de l'industrie d'Aokas est peu prononcé. Il s'agit de quelques entreprises privées comme : les huileries, les petits artisanats ballastière produisant des agrégats ; (Berkani, N. Bedhouche, O.2004-2005)

IV.5.4. La pollution par les eaux usées

Les eaux usées sont les eaux résiduaires d'une industrie ou d'une communauté, qui sont destinées à être rejetées après usage. Elles sont des eaux ayant perdu, par leur utilisation industrielle ou domestique, leur pureté initiale, et qui sont devenues impropres à d'autres utilisations de qualité. Les eaux usées, étant polluées en vue de l'élimination des polluants indésirables par passage dans une station d'épuration.

La situation d'assainissement au niveau de la commune d'Aokas se résume dans le tableau XV

Tableau XV. Assainissement au niveau de la commune d'Aokas (Direction d'environnement de Bejaia)

Nom de localité	Situation de l'assainissement
1- Chef-lieu de la commune	1-le réseau d'eau de chef-lieu de la commune est de type pseudo séparatif. Il aboutit vers deux stations de relevage qui refoulent ces eau vers une station d'épuration actuellement non fonctionnelle, les rejets finaux se font vers la mer. 2- le taux de raccordement est d'environ 90%.
2- Les villages situés sur les hauteurs.	Ils sont partiellement assainissent, les rejets se font vers des fosses septiques et quelques fois vers des ravins.
3- Localités Tala Khaled	-les réseaux de cette localité sont réalisés d'une manière anarchique, les rejets se font directement vers l'Oued Zitouna ou sont implantés des forages alimentant en eau potable, le chef-lieu Tichy et Tala-hamza.

IV.5.5. La pollution causée par les estivants

La commune d'Aokas est favorisée par un nombre important d'estivants chaque année. Parmi les avantages qui donne à cette région sa vocation touristique consiste dans :

- ✓ Son relief (mer, montagne, forêts)
- ✓ des lieux touristiques (grotte féerique, château de la comtesse)
- ✓ Des belles plages très fréquentées par les estivants
- ✓ Cinq hôtels (Sahel, Refuge, Sable d'Or, Roserie et hôtel du Cap)
- ✓ 17 campings familiaux



Figure 21. Photo de la structure des plages d'Aokas(Mai 2019)

IV.5.6. La pollution atmosphérique

La pollution de l'air en milieu urbain est générée par les transports, les industries et la production énergétique. Elle se manifeste par la présence de particule fine (les aérosols, et notamment de carbone) et de smog urbain (dont l'ozone troposphérique) bien visible.

La pollution atmosphérique s'aggrave presque partout dans le monde : les habitants de plus de 90% des villes respirant un air pollué, toxique pour leur santé cardiovasculaire et respiratoire.

Résultats et discussions

La commune d'Aokas est traversée par un axe routier très important (route nationale RN°9) ainsi les chemins communaux ce qui implique la présence d'un trafic routier élevé qui est la principale cause de la pollution atmosphérique par les gaz d'échappements.

IV.6. Carte de risque

La projection des sources de pollution sur la carte de vulnérabilité nous donne une carte de risque selon la formule suivante. (Fig. 22)

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

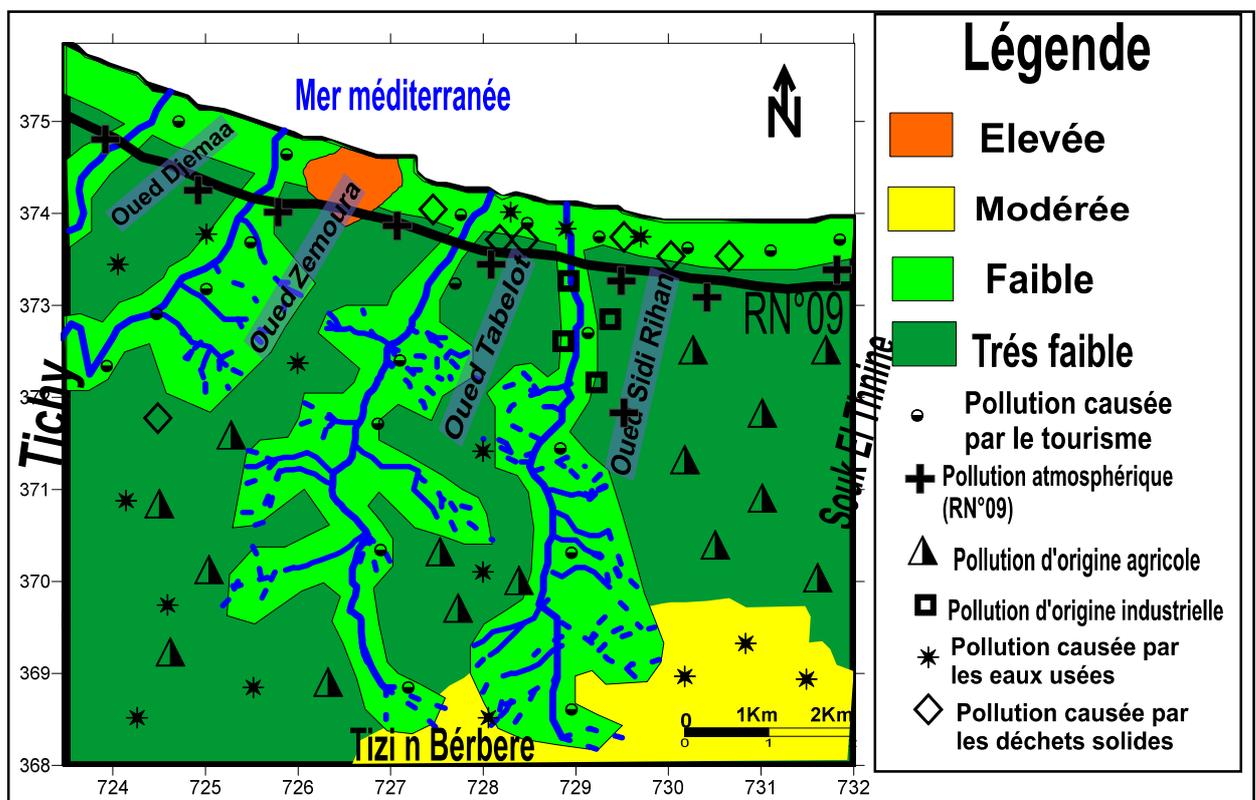


Figure 22. Carte de risque de la région d'Aokas

Conclusion

V. 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 potentiels.

Dans cette étude, nous avons évalué la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraine à partir de la méthode COP. L'application de cette méthode montre que la région est caractérisé par une vulnérabilité globale de forte à très faible.

Pour une meilleure sauvegarde de la santé publique de tout patrimoine naturelle de la région ainsi que la bonne qualité des eaux souterraines de bassin versant, nous proposons un certain nombre de recommandation :

- ❖ Eviter les décharges sauvages et anarchiques.
- ❖ Développement et application des méthodes pour contrôler l'évolution de la pollution.
- ❖ Sensibiliser les citoyens et les estivants à protéger l'environnement.
- ❖ Développer de nouvelle technologie de traitement de déchets et de faire un traitement des déchets solide dans la région d'Aokas.
- ❖ Eviter les rejets à ciel ouvert.
- ❖ Contrôler l'utilisation des engrais qui constituent un risque de contamination.
- ❖ Contrôler l'évolution de l'urbanisation dans le bassin versant.

Références bibliographiques

VI. Références bibliographiques

« A »

ALAIN.F.al., (2008). Généralité à la pollution potentielle de la nappe superficielle des eaux souterraines Ras jebel- Raf Raf.REVUE DES SCIENCES DE L'eau, Vol.21,Numéro 1, p.75-86.

ALAMY L. (1989), Méthodes existantes de cartographie de la vulnérabilité des aquifères. Pp 1-3.Ouest est.

ALBINET M.,MARGAT, J.(1970). Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eaux souterraine.(Mapping of groundwater vulnérabilité to pollution) Bulletin BRGM 2nd séries 3(4) : 13-22.

Aller L., Bennet T., Lehr R J H., Petty J., Hacket G. 1987. DRASTIC. A standardised system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic.

« 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 Bejaia.

BELKBIR.H., DEBBOU.F. , (2015), Evaluation de la vulnérabilité à la pollution de la commune d'Aokas par la méthode EPIK.Mémoire de fin de cycle. Département des sciences biologiques.UNIVERSIT2 De Bejaia, pp. 25-28.

BOUDJELIL.E. Et DJABRIA. , (2018).Etude de la vulnérabilité à la nappe superficielle de souk eltenin par la méthode de Galolit.Mémoire de fin de cycle, Département : Science biologique. Université de Bejaia, pp.34.

BOUGDAL R, 2009. « Doublement du tunnel de Cap Aokas , synthèse des données géologique et géotechniques »=7s Rapport géologique(Document interne).

Références bibliographiques

« C »

CASTANY G. 1982. Principe et méthode d'hydrogéologie .ED. Dunod. Paris France. 217p

CIVITA M. (1994). La carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento : Teoria e pratica PITAGORA (Editeurs), Bologna, 325p

« D »

DIMITRIOS.M. Et ELIAS. , (2018). Assessment of pollution Risk Mapping Methods in an Eastern Méditerranéen Catchment. Journal of Ecological Engineering, Vol.19, pp.57.

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT, 2008, « Schéma directeur de gestion des déchets solides urbains de la commune Aokas »

DOERFLIGER N,ZWAHLEN F, 1998, « practical guide, groundwater vulnerability mapping in karstic regions » hydrogeology journal, 13,555-564. Mémoire de magistère en géologie, Option : géochimie de surface et de l'environnement.

« E »

ES SAOUINI.H. (2015).Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines : aspect dynamique et application à l'aquifère de r'mel (larache, Maroc), thèse doctorat : Spécialité : Hydrogéologie, Université Abdelmalek Assaadi. Maroc, pp.19-20.

« M »

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

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

Références bibliographiques

« O »

OMM **Organisme Météorologique Mondiale.1996.** Guide des pratiques hydrologiques acquisitions et traitement des données, analyse, prévision et autre application. Publication OMM N°168. Genève. Suisse.

« R »

RAMADE, F(1994). Eléments d'écologie-écologie fondamentale. Edition Marc Graw-Hill, Paris. 397p.

ROCHE M, 1963 « HYDROGEOLOGIE DE SURFACE » GAUTHIER-VILLARS EDITER. Paris.

RGPH, 2018, Recensement global de la population par Habitat. P, Source : carte topographique de Ziam Au 1/50000 » feuille NJ-31 VI-3 .

« S »

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

SCHNEBELEN N, et al, (2002). « Gestion des Eaux Souterraine en Aquitaine-Année5. Etude Sectorielle-Protection de la nappe de l'Oligocène en région bordelaise Nouvelles connaissances hydrogéologique ».Cartographie de vulnérabilité aux pollutions Rapport BRGM/RP-51178-FR, 75p.

« V »

Vias.J.M. et al. , (2006). Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers : the COP method. Hydrogéologie Journal n°14, p 912-925

VRBA J., ZOPOROZEC A.1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability, in international contributions to hydrogeology.16, I. A. Hydrogeologists(Editeurs).311p.

Références bibliographiques

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

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

<https://www.futura-sciences.com>

Résumé

Ce mémoire de recherche prend en charge la question de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région d'Aokas.

L'étude de cette vulnérabilité à la pollution a été déterminée en se basant sur la méthode COP par l'application de ces trois paramètres : Formation superficielle de la couverture (O), Concentration de flux (C) et Précipitation (P).

La méthode COP pour caractériser la vulnérabilité des aquifères, particulièrement pour les systèmes karstiques, à trois paramètres et indices superposables. La cartographie de ces différents paramètres permet, après leur superposition, l'établissement de la carte de vulnérabilité. Cette méthode fait sortir quatre classes de vulnérabilité : élevée(13%), modérée(34%), faible(20%) et très faible(33%).

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

Mots clés : Eaux souterraines, Vulnérabilité, Carte de risque, Pollution, Cartographie, COP.

Abstract

This research paper deals with the issue of vulnerability to pollution of Groundwater of the Aokas region.

The study of this vulnerability to pollution was determined on the basis of the COP method by the application of these three parameters : Superficial formation of the cover (O), Concentration of flow (C) and precipitation (P).

The COP method to characterize the vulnerability of aquifers, particularly for Karstic systems, with three parameters and superimposable indices, the mapping of these various parameters allows, after their superposition, the establishment of the vulnerability map. This method breaks out four classes of vulnerability : high(13%), moderate(34%), low(20%) and very low(33%).

Exploitation of the vulnerability map contributed to the sustainable protection of resources the projection of pollution sources on the vulnerability map has given us the Risk map.

Key Word : Groundwater, vulnerability, Risk Map, Pollution, Cartography, COP.