

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

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des sciences biologiques de l'environnement  
Spécialité Toxicologie Industrielles et Environnementale



Réf : .....

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

**MASTER**

***Thème***

**Evaluation de la vulnérabilité du bassin  
versant d'Oued Agrioun par les méthodes  
SINTACS et COP**

Présenté par

**Aguenana Kahina & Adour Lynda**

Soutenu le : 30/06/2024, Devant le jury composé de :

Mr : <b>RAMDANE Zouhir</b>	Professeur	Président
Mr : <b>KHEMMOUDJ Kaddour</b>	MCA	Encadreur
Mme : <b>BETROUCHE Fatima</b>	MAB	Examineur
Mr : <b>IDIR Sofiane</b>	Doctorant	Co-encadreur

**Année universitaire : 2023 / 2024**

## **Remerciements**

*Au terme de notre travail, nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères Au bon Dieu pour la patience et la santé qui nous ont été utiles tout au long de notre parcours.*

*Il est agréable de remercier notre promoteur Mr KHEMMOUDJ Kaddour, et le Co-encadreur Mr IDIR Sofiane pour nous avoir assuré l'encadrement et le temps qu'ils nous ont consacré à la réalisation de ce mémoire.*

*Nous remercions également Mr RAMDANE Zouhir qui a bien voulu présider le jury ainsi que Mme BETROUCHE Fatima pour avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Enfin, on remercie profondément nos chers Parents pour leur soutien moral et matériel durant nos études ainsi que toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail et on remercie notre dieu de tout santé et la paix que nous a donné.*

## Dédicace

*Avec tous mes sentiments de respect, je dédie ce modeste travail accompagné  
d'un profond amour :*

*A mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de ma vie est mon  
bonheur, ma lune qui a allumé mon chemin, ma moitié maman, ta prière et ta  
bénédictioin m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

*A celui qui m'a fait une femme, à mon support dans ma vie, qui m'a supporté et  
m'a dirigé tout au long de mon parcours, mon père d'amour.*

*A ma grand-mère pour ses soutiens moraux et ses douaa.*

*A mon cher frère et à mes adorables sœurs vous êtes toujours dans mon cœur, je  
vous remercie d'être l'épaule sur laquelle je peux toujours compter.*

*A ma nièce Ritadj et mon neveu Amir je vous aime.*

*A ma chère binôme et copine Kahina, pour les bons moments passés ensemble,  
son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

*A ma meilleure amie Noura, pour notre amitié et notre complicité et surtout son  
aide, merci d'être à mes côtés.*

*A tous mes chers amis pour votre amitié précieuse, puisse dieu vous donner  
santé, bonheur, courage.*

*Enfin, j'offre mes bénédictions à tous ceux qui m'ont soutenu dans  
l'accomplissement de ce travail.*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

**Lynda**

## **Dédicace**

*Ce modeste travail est dédié spécialement :*

*A vous, mes parents, je dis merci d'avoir fait de moi celle que je suis aujourd'hui, aucune dédicace ne pourra exprimer mes respects, mes considérations et ma grande admiration pour vous. Puisse ce travail vous témoigne mon affection et mon profond amour.*

*A mes chères sœurs Thilleli et Manel, et à mon frère Aimad, qui je le sais ma réussite est très importante à leurs yeux, que dieu vous garde pour moi.*

*A mon adorable petite sœur Hana qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille, je t'aime.*

*A mon binôme, ma copine lynda, je la remercie énormément pour son soutien moral, sa patience, sa sympathie et sa compréhension durant toutes ces années.*

*A ma sœur et meilleur amie Manel, celle qui a su me soutenir et m'aider durant plusieurs années.*

*A tous mes amis, pour leurs encouragements et leurs amours.*

*A toute l'équipe de travail « Flamingo-décor », (Souhila, Anias, Islem), pour leurs encouragements.*

*A toute personne atteinte d'un diabète, ayez confiance en vous, avancez et réalisez vos rêves.*

*Pour finir, à vous chers lecteurs.*

***Kahina***

## Liste des figures

Figure 1 : schéma d'une nappe libre .....	3
Figure 2 : schéma d'une nappe captive .....	4
Figure 3 : schéma d'un bassin versant .....	9
Figure 4 : localisation relative de la zone d'étude.....	10
Figure 5 : Le diagramme de la méthode COP pour l'évaluation des facteurs C, O, P et de l'indice COP .....	20
Figure 6 : carte de la profondeur de la nappe phréatique .....	22
Figure 7 : carte de la recharge nette .....	23
Figure 8 : carte de la zone non saturé.....	24
Figure 9 : carte de la texture du sol .....	25
Figure 10 : carte de type d'aquifère .....	26
Figure 11 : carte de la conductivité .....	27
Figure 12 : carte de la pente .....	28
Figure 13 : carte de vulnérabilité de la méthode SINTACS .....	30
Figure 14 : carte de l'analyse du facteur C.....	31
Figure 15 : carte de l'analyse du facteur O .....	33
Figure 16 : carte de l'analyse du facteur P .....	35
Figure 17 : carte de vulnérabilité de la méthode COP .....	36

## Liste des tableaux

Tableau 1: Les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité.....	7
Tableau 2: somme des précipitations moyennes en mm de la région d'étude (2000/2022). ...	12
Tableau 3: température moyennes mensuelle corrigées de la région d'étude pour la période (2000/2022) .....	13
Tableau 4: les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative pour la période (2000/2022) .....	13
Tableau 5 : les valeurs moyennes mensuelles du vent relative pour la période (2000 /2022).	14
Tableau 6: Répartition de la population du bassin versant de l'oued Agrioun par commune (Annuaire statistique de la wilaya de Bejaia, 2012). .....	14
Tableau 7: Poids attribués aux différents paramètres dans les versions SINTACS.....	16
Tableau 8: Paramètre de la profondeur « S » .....	16
Tableau 9: Paramètre de l'infiltration «I » .....	16
Tableau 10: paramètre de la zone non saturé « N » .....	17
Tableau 11: paramètre de la texture du sol « T » .....	17
Tableau 12 : paramètre de type d'aquifère « A ».....	17
Tableau 13 : Paramètre de la conductivité hydrique « C » .....	17
Tableau 14 : paramètre de la topographie « S » .....	18
Tableau 15: indice SINTACS utilisé pour la cartographie de la vulnérabilité.....	18
Tableau 16: indice COP utilisé pour la cartographie de la vulnérabilité .....	19
Tableau 17: notation du paramètre (S).....	23
Tableau 18 : notation du paramètre (I).....	24
Tableau 19: notation du paramètre (N) .....	25
Tableau 20: notation du paramètre T .....	26
Tableau 21: notation du paramètre A .....	27
Tableau 22: notation du paramètre C .....	28
Tableau 23: notation du paramètre S.....	29
Tableau 24: représente le pourcentage de la surface de chaque Zone de vulnérabilité .....	31
Tableau 25: notation du facteur C .....	32
Tableau 26: notation du facteur O.....	33
Tableau 27: notation du facteur P .....	35
Tableau 28: représente le pourcentage de la surface de chaque Zone de vulnérabilité .....	36
Tableau 29: Surface des zones vulnérables.....	37

## TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	I
DEDICACE .....	II
LISTE DES TABLEAUX .....	IV
LISTE DES FIGURES.....	V
TABLE DES MATIERES.....	VI
Introduction .....	1

### CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIE

I. Généralité sur les eaux souterraines.....	3
I.1 Définition.....	3
I.2 Types de nappes.....	3
I.2.1 Nappe libre.....	3
I.2.2 Nappe captive : .....	4
I.3 Contamination des eaux souterraines .....	4
I.4 Pollution.....	5
I.4.1 Définition .....	5
I.4.2 Pollution des eaux souterraines.....	5
I.4.3 Sources de pollution des eaux souterraines .....	5
I.5 Vulnérabilité .....	6
I.5.1 Définition .....	6
I.5.2 Types de vulnérabilité.....	6
I.5.3 Méthodes et techniques de détermination de la vulnérabilité .....	6
I.5.4 But de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraine .....	8
I.6 Bassin versant.....	8
I.6.1 Définition .....	8
I.6.2 Caractéristiques d'un bassin versant.....	8

## **CHAPITRE II : MATÉRIEL et MÉTHODES**

Introduction .....	10
II. Caractéristique naturelle et morpho métrique du bassin versant de l’oued Agrioun .....	10
II.1 Situation géographique .....	10
II.1.1 Bassin versant d’oued Agrioun .....	10
II.1.2 Faune et flore.....	11
II.2 Les caractéristiques physico géographiques du bassin versant .....	12
II.2.1 Cadre climatologique .....	12
II.2.2 Précipitations .....	12
II.2.3 Températures .....	12
II.2.4 Humidité.....	13
II.2.5 Vent .....	13
II.3 Caractéristique socioéconomique .....	14
II.3.1 Population.....	14
II.4 Méthodes de vulnérabilité utilisée dans la région d’étude .....	15
II.4.1 Présentation de La méthode SINTACS.....	15
II.4.2 Présentation de La méthode COP.....	19
II.4.3 Système d’information géographique (SIG) .....	21

## **CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

III. Interprétations des paramètres et réalisation des cartes thématiques .....	22
III.1.1 Méthode SINTACS .....	22
III.1.2 Méthode COP.....	31
III.2 Comparaison de la vulnérabilité des deux méthodes.....	36
III.2.1 Analyse visuelle .....	36
III.2.2 Analyse statistique.....	37
Références .....	41

# **INTRODUCTION**

### Introduction

L'eau est une ressource naturelle précieuse et essentielle pour de multiples usages (domestiques, industriels et agricoles). Sa qualité est un facteur influençant l'état de santé et la mortalité à la fois chez l'homme et les animaux (**Sadat *et al.*, 2011**) et aussi impliquée dans de nombreuses fonctions physiologiques essentielles telles que la digestion, l'absorption, la thermorégulation et l'élimination des déchets, Sans cette matière simple et complexe en même temps, la vie sur terre n'aurait jamais existé donc c'est un élément noble qu'on doit protéger pour les générations futures (**Rabahi, 2020**).

Les eaux souterraines jouent un rôle crucial dans l'exploitation des ressources humaines et leur utilisation dans les secteurs agricoles et industriels. La contamination de ces eaux peut souvent être causée par des polluants de diverses natures : biologiques, chimiques ou physiques. Les scientifiques accordent de plus en plus d'importance à la prévention de la pollution des nappes, en particulier en étudiant la vulnérabilité des nappes souterraines. On peut définir la vulnérabilité d'un aquifère comme sa capacité à être altéré dans la qualité et la quantité d'eau souterraine, tant dans l'espace que dans le temps, en raison des processus naturels et/ou de l'activité humaine. (**Civita, 1994**).

Le concept de vulnérabilité a été initié en hydrogéologie par Margat dès la fin des années 60 pour caractériser le degré de protection naturelle des eaux souterraines contre toutes pollutions provenant de la surface du sol (**Daly *et al.*, 2002**)

Pour mieux comprendre la relation entre la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution et les conditions hydrologique, géologique et météorologie locale des aquifères, plusieurs méthodes d'évaluation de la vulnérabilité ont été créés, DRASTIC (**Aller *et al.*, 1987**), GOD (**Foster, 1987**) et SINTACS (**Civita et Mario, 1997**).

L'objectif de cette étude est d'évaluer la vulnérabilité par les méthodes SINTACS et COP et le risque de pollution des ressources en eaux souterraines des aquifères du bassin versant d'Oued Agrioun, Il est donc envisageable de déterminer les zones sensibles où une pollution peut avoir un impact grave sur une nappe, et d'établir les mesures à prendre pour préserver cette nappe.

Notre document il contient :

- Introduction.
- Chapitre I : synthèse bibliographique.
- Chapitre II : matériel et méthode.
- Chapitre III : résultats et discussion.
- Conclusion.

# **Synthèse bibliographique**

## I. Généralité sur les eaux souterraines

### I.1 Définition

L'origine des nappes phréatiques, qui représentent 22% des réserves d'eau douce, réside dans l'accumulation des infiltrations dans le sol, qui varient en fonction de la positivité et de la structure géologique du sol. Les eaux souterraines sont généralement protégées des sources de pollution, ce qui leur confère une excellente qualité physico-chimique et microbiologique par rapport aux eaux de surface (**Mebarki 1982**). Et elles sont potable sans traitement leur contenu minérale est très variable selon la nature du sous-sol et la profondeur de la nappe (**Eckenfelder & Vandevenne, 1982**). Elles restent jusqu'à présent les meilleures ressources en eau potable (**Margat, 1992**).

### I.2 Types de nappes

#### I.2.1 Nappe libre

Des formations sédimentaires, il s'agit de roches poreuses (sable, craie, calcaire) jadis déposées vastes couches, ces nappes sont dites libres parce que la surface supérieure de l'eau fluctue sans contrainte (Fig 1) ; il n'y pas de couches imperméable au toit du réservoir et la pluie efficace peut les alimenter par toute la surface (**Hadjoudj, 2008**).

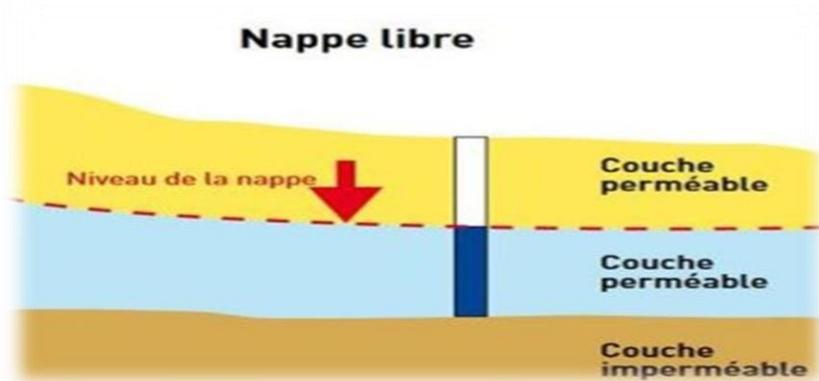
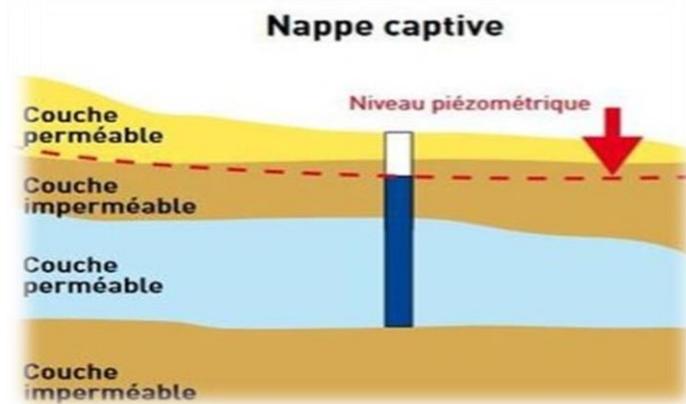


Figure 1 : schéma d'une nappe libre

### I.2.2 Nappe captive

Elles sont constituées presque des mêmes types de roche, confiné l'eau. Celle-ci est alors sous pression et peut jaillir dans des forages dits artésiens (Fig 2), les nappes captives sont souvent profondes, on peut alors les exploiter par des forages plus profonde (**Hadjoudj, 2008**).



**Figure 2 : schéma d'une nappe captive**

Les formations hydrogéologiques semi-perméables sont souvent présentes dans le toit ou le substratum de la nappe. Dans certaines conditions hydrodynamiques favorables, elles facilitent les échanges d'eau (ou de pression) avec la nappe superposée ou sous-jacente, également connue sous le nom de drainante. Ce processus nécessite une nappe semi-captive (**Castany, 1982**).

### I.3 Contamination des eaux souterraines

En milieu urbain ou industriel, les eaux souterraines sont de plus en plus exposées aux rejets volontaires d'effluents polluants, d'eaux usées ou d'eau de ruissellement pluvial. Il existe de nombreuses sources de contamination des eaux souterraines et elles sont associées à diverses activités :

1. Les rejets urbains résultants de la collecte et du traitement des eaux usées des Ménages, des locaux recevant du public, des commerces, ainsi que du ruissellement des eaux pluviales dans les zones urbaines, les dysfonctionnements de la collecte des eaux usées urbaines (mauvais branchements des particuliers, fuites et saturations des réseaux).
2. Les rejets agricoles résultants de la percolation des eaux de pluie dans les sols, de l'épandage de produits chimiques sur les sols (engrais, pesticides...).

3. Les rejets industriels dans le milieu naturel sans traitement : L'intensité de la contamination des eaux souterraines dépend de plusieurs paramètres notamment la nature des milieux traversés qui conditionne la vitesse d'infiltration.

## I.4 Pollution

### I.4.1 Définition

Le terme « pollution » peut être défini par la modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine à travers des effets directs ou indirects des niveaux de radiation de la constitution physico-chimique du milieu naturel, et de l'abondance des espèces vivantes.

Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou à travers des ressources agricoles, en eau et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives des milieux ou encore en enlaidissant la nature (**Koller, 2004**).

### I.4.2 Pollution des eaux souterraines

Selon les normes nationales ou internationales, l'eau souterraine est considérée comme polluée lorsqu'elle renferme des substances autres que celles liées à la structure naturelle des terrains où elle a séjourné, notamment lorsque les concentrations des composés dissous ou en suspension dépassent les niveaux maximums autorisés (**Lallemand-Barrès & Roux, 1988**).

### I.4.3 Sources de pollution des eaux souterraines

Différentes sources de pollution ont un impact de plus en plus négatif sur les eaux souterraines.

Ces substances peuvent provenir soit de la famille et/ou de l'environnement urbain, soit de l'industrie (microorganismes pathogènes, hydrocarbures, solvants organochlorés, etc.), soit de l'agriculture.

De nos jours, il est clair que les engrais chimiques jouent un rôle essentiel dans la contamination des nappes aquifères par les nitrates. De plus, il y a eu une hausse générale de la concentration en sulfates et en chlorures dans les eaux souterraines dans les pays industrialisés ces dernières années. Par ailleurs, la contamination des nappes phréatiques est renforcée par la percolation lente de nombreux contaminants provenant de décharges industrielles (**Ramade, 2012**).

## I.5 Vulnérabilité

### I.5.1 Définition

La vulnérabilité désigne la faculté de l'eau présente à la surface de pénétrer dans le milieu souterrain rempli d'eau. Selon l'idée que le milieu physique en relation avec la nappe d'eau souterraine offre une protection plus ou moins élevée contre les pollutions en fonction des caractéristiques du milieu.

L'utilisation de cette approche a abouti à la création d'un document cartographique qui permet de repérer les zones à forte vulnérabilité, c'est-à-dire les zones nécessitant des mesures de protection renforcées (**Bentekhici et al., 2018**).

### I.5.2 Types de vulnérabilité

- **Vulnérabilité intrinsèque**

Est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines. Cette vulnérabilité dépend de différents facteurs, notamment la nature du sol (pédologie), la pente du terrain, la nature et l'épaisseur de la zone non saturée (**Mardhel, 2006**).

- **Vulnérabilité spécifique**

Est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque (**Muet & Vier 2011**).

Il est essentiel de distinguer les deux types de vulnérabilité car, en général, elles ne sont pas étudiées de la même manière : la vulnérabilité intrinsèque peut être perçue comme inchangée dans le temps, tandis que la vulnérabilité spécifique (directement liée aux polluants éventuels) est évolutive et ne se limite qu'à un instant précis (**Schnebelen et al., 2002**).

### I.5.3 Méthodes et techniques de détermination de la vulnérabilité

- **Méthodes de cartographie à index**

Cette méthode repose sur la fusion de différentes cartes d'une région (sol, géologie, profondeur de la nappe, etc.), en attribuant un indice numérique ou une valeur à chaque paramètre (**Schnebelen et al., 2002**).

- **Modèles de simulation**

Ils visent à déterminer une solution numérique à des équations mathématiques qui illustrent les processus combinés qui régissent le transport de substances contaminants.

Dans cette catégorie, on retrouve les techniques utilisant des modèles de transport simples, ainsi que les solutions analytiques ou numériques pour des modèles de transport de contaminants à travers la zone non saturée, ainsi que des modèles couplés saturé-insaturé, multi phase, à deux ou trois dimensions. (Schnebelen *et al.*, 2002).

- **Méthodes statistiques**

Elles sont basées sur une variable qui dépend de la concentration en contaminant ou d'une probabilité de contamination. Ces méthodes intègrent des données sur la distribution des contaminants sur la zone d'étude et fournissent des caractéristiques sur les probabilités de contamination sur la zone d'étude. Elles donnent une image de la vulnérabilité spécifique de la nappe (Mardhel, 2006).

Les cartes de pollution sont généralement utilisées dans le contexte de la vulnérabilité spécifique grâce aux deux dernières méthodes (modèles de simulation et méthodes statistiques). Les techniques de cartographie basées sur l'index sont les plus fréquemment employées (Schnebelen *et al.*, 2002).

**Tableau 1: Les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité**

Acronyme / Nom de la Méthode	Références	Type d'aquifère Préconisé	Critères
<<COP>>	Vias J.M. <i>et al</i> 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 <i>et al</i> 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 <i>et al.</i> 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. <i>et al</i> 2002	Karst	P : Couverture protectrice I : Condition d'infiltration
<<RISKE>>	Peteler-G <i>et al.</i> 2002	Karst	R : Roche aquifère I : Conditions d'infiltrations S : Sol et couverture protectrice
<<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

#### I.5.4 But de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraine

Une étape cruciale dans la gestion des aquifères est la prévention de la pollution des nappes, à laquelle les scientifiques accordent de plus en plus d'attention, en particulier en étudiant la vulnérabilité des nappes d'eau souterraines à la pollution.

Cette recherche favorise une gestion plus efficace des ressources en eau et leur préservation. Elle permet également de déterminer les zones qui pourraient être contaminées par des activités humaines. Après avoir été repérées, les planificateurs et les utilisateurs de la terre peuvent prendre des mesures de prudence envers ces régions ( **Djafari, et Boudjelil 2018**).

### I.6 Bassin versant

#### I.6.1 Définition

Etant donné un réseau d'évacuation des eaux pluviales, naturel et ou artificiel, enterré et ou de surface, on appelle bassin versant l'ensemble constitué par ce réseau et les surfaces qui potentiellement contribuent à l'alimentation de ce réseau, par ruissellement de surface des eaux d'origine météorique ( **Thibault, 1997** )

#### I.6.2 Caractéristiques d'un bassin versant

Un bassin versant est caractérisé par trois composantes principales ( **Thibault, 1997** ) :

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

2. Son organisation qui peut être reliée à la structure du réseau, à la distribution surfacique des éléments de drainage ...etc.
3. Sa composition, les types de recouvrement de surface, et quelques grandeurs géométriques associées.



**Figure 3 : schéma d'un bassin versant**

# **Chapitre II**

## **Matériels Et Méthodes**

Introduction

Ce second chapitre est consacré à la présentation générale du bassin versant de la zone d'étude afin de donner les indications géographiques et topographique indispensables à la compréhension des mécanismes hydrogéologiques

II. Caractéristique naturelle et morfo métrique du bassin versant de l'oued Agrioun

II.1 Situation géographique

II.1.1 Bassin versant d'oued Agrioun

Géographiquement, le bassin versant de l'Oued Agrioun est situé à l'Est de l'Algérie à 300 Km d'Alger, dans la wilaya de Bejaia à environ 60km au sud-est du chef-lieu. L'oued Agrioun prend naissance dans le massif des Babors et le versant septentrional du Djebel Meghris. Il traverse vigoureusement les gorges de Kherrata et draine, plus en aval, la vallée Alluviale de Souk El Tenine avant de rejoindre la mer Méditerranée. Le bassin versant de l'Oued Agrioun constitue la confluence de trois principaux grands Oueds: Oued Beni Smail, Oued Boulzazen, et Oued Ighzer Ouftis (Hamdani, 2012).

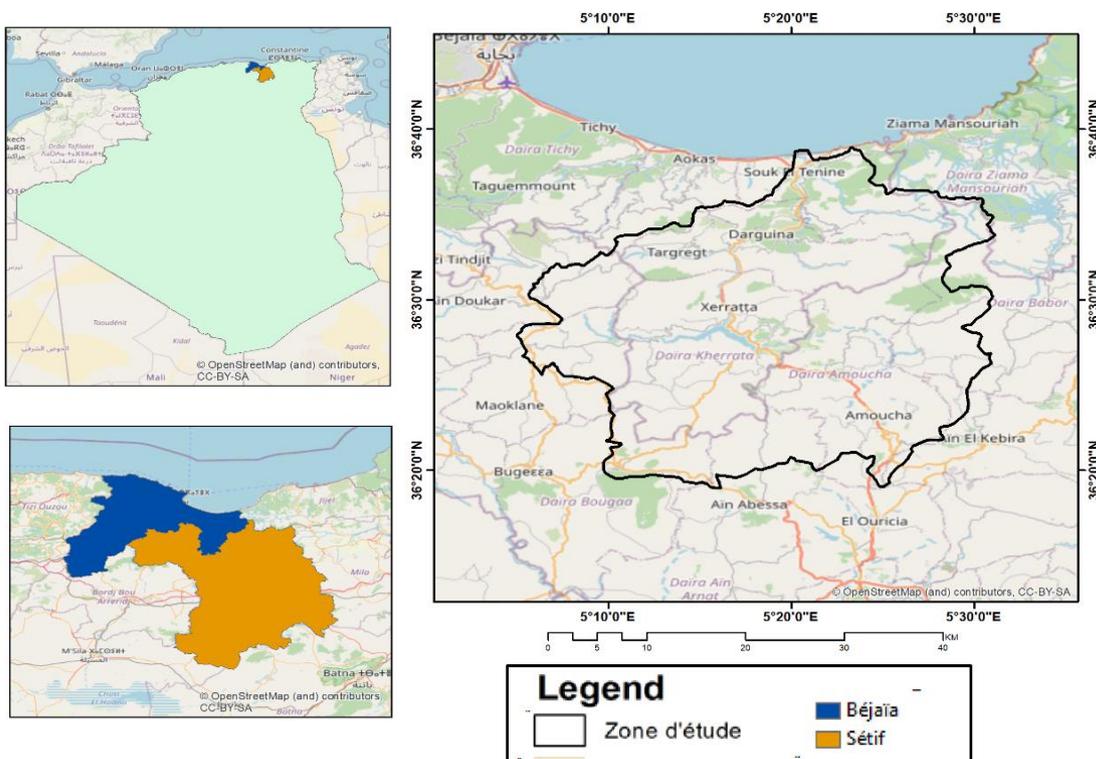


Figure 4 : localisation relative de la zone d'étude

### II.1.2 Faune et flore

#### ➤ Flore

##### ❖ La végétation forestière

La flore forestière comporte un certain nombre d'essences de premier ordre. Les feuillées sont plus nombreuses que les résineux.

Selon l'ordre proposé par Maire 1962, on peut trouver trois types de formations forestières :

- Formation forestière d'arbres résineux (Gymnospermes) :

-Le pin d'Alep (*Pinus halpensis*)

- Formation forestière d'Angiospermes à feuilles persistantes :

-Chêne liège (*Quercus suberis*)

-Olivier sauvage et lentisque (*Oleo lentiscus*)

- Formation forestière d'Angiospermes à feuilles Caduques :

-L'ormeaie-frêne (*Ulmo fraxinetum*)

-La peupleraie (*Populetum albae*) ou (peuplier blanc).

##### ❖ La végétation

Dans ce domaine on parlera des plantes et des arbustes qui se trouvent dans la région comme par exemple : le romarin, la lavande, le ciste blanc et le ciste de Montpellier ainsi que le genévrier et la bruyère qui est une espèce qui vient coloniser des sols acides (généralement après les incendies).

On note aussi la présence du Caroubier et l'Eucalyptus qui a des origines australiennes. Il a la capacité de changer son écorce après les incendies. Nous rencontrons également le rosier sauvage et le rosier des montagnes. Nous avons remarqué la présence d'une végétation caractérisant les lits de l'oued Agrioun comme les Joncs et les Roseaux.

#### ➤ Faune

La région est d'une richesse faunistique importante on trouve des mammifères comme les singes de type magot, porc épic qui existe dans toute la région de Bejaia ainsi que la perdrix, les lapins, les sangliers et certains oiseaux comme les cigognes et beaucoup d'autres types qui construisent leurs nids dans les arbres et les toits des maisons.

### II.2 Les caractéristiques physico géographiques du bassin versant

#### II.2.1 Cadre climatologique

Le climat est une combinaison des conditions naturelles d'un endroit spécifique. On peut distinguer différentes factrices climatiques tel que les facteurs énergétiques (lumière et température), les facteurs hydrologiques (précipitation et hygrométrie) et les facteurs mécaniques (le vent).

Nous examinerons dans cette partie les éléments climatiques du bassin versant d'Oued Agrioun.

#### II.2.2 Précipitations

Pour la grande partie du monde, les précipitations représentant un facteur important du climat elles constituent le phénomène physique qui décrit le transfert d'eau de la phase liquide (pluie) ou solide (neige et grêle) entre l'atmosphère et le sol. En plus de son influence sur les eaux de surface, la précipitation a une influence sur le volume d'eau emmagasinée, par conséquence, augmente le niveau piézométrique de la nappe. Elles sont caractérisées par trois principaux paramètres : leur volume, leur intensité, les mois et aussi les années (**Ramade, 1994**)

**Tableau 2: somme des précipitations moyennes en mm de la région d'étude (2000/2022).**

Mois	Jan	Fev	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
P (mm)	2456.19	1697.86	1895.0	1708.26	1249.52	319.26	124.03	422.73	1197.8	1374.6	2189/71	2224.8

D'après le tableau les précipitations minimales sont enregistrées durant le mois juillet, avec une valeur de 124.03 mm

Les précipitations maximales sont enregistrées durant le mois janvier avec une valeur de 2456.19 mm.

#### II.2.3 Températures

La température est un facteur important du climat ,influe sur le développement de la végétation et le fonctionnement du système racinaire et elle affecte les relation physiologiques entre les organes souterrains et les organes aériens (**Greco, 1966**). Les valeurs des températures minimales, moyennes et maximales mensuelles de la région d'étude sont représentées dans le tableau.

**Tableau 3: température moyennes mensuelle corrigées de la région d'étude pour la période (2000/2022)**

Mois	Jan	F	M	A	M	Ju	Jui	A	S	O	N	D	Somme
<b>T2M</b>	6.71	7.37	10.07	13.03	16.95	21.96	25.68	25.53	21.27	17.27	11.34	8.07	185.25
<b>T2M MAX</b>	21.53	24.4	29.86	30.47	36.11	40.31	41.86	42.44	38.88	35.4	28.05	22.21	391.52
<b>T2M MIN</b>	4.54	5.06	2.74	1.17	3.47	3.67	11.29	11.48	8.3	3.47	1.57	2.7	59.46

T2M Max : Température à 2 mètre maximale.

T2M Min : Température à 2 mètre minimale.

T2 M : Température à 2 mètres.

A partir du tableau, nous constatons que le mois d'Août est le mois le plus chaud avec une température maximale d'ordre de 42.44°C et que le mois le plus froid est le mois de Février avec une température minimale de l'ordre de 5.06°C.

### II.2.4 Humidité

L'humidité de l'air est la quantité de vapeur d'eau dans certain volume d'air, exprimé en g/m. l'air ne peut contenir qu'une quantité limitée de vapeur d'eau, la quantité pour laquelle on peut dire qu'il est saturé. Cette quantité est en fonction de la température .on exprime souvent l'humidité de l'air en pourcentage (**Bedhouche & Berkani, 2005**)

**Tableau 4: les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative pour la période (2000/2022)**

MOIS	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	M
<b>RH2M (%)</b>	81.12	77.85	74.5	72.0	67.99	59.33	52.27	54.48	66.46	69.04	76.72	81.06	69.35

Selon le tableau, on observe :

Janvier est le mois le plus humide avec des taux égale à 81.21%.

Le mois juillet représente le pourcentage le plus faible en termes d'humidité 52.27%.

### II.2.5 Vent

Le vent est un facteur important du climat, il a une action indirecte en activant l'évaporation, augmentant donc la sécheresse, et aussi lorsqu'il est violent en augmentant le refroidissement par circulation d'air.

**Tableau 5 : les valeurs moyennes mensuelles du vent relatif pour la période (2000 /2022)**

MOIS	J	F	M	A	M	JUI	J	A	S	O	N	D	MOY
V2M	0.82	0.8	0.74	0.67	0.62	0.6	0.68	0.75	0.75	0.78	0.87	0.83	0.74

**V2M** : vent à 2 mètres.

La vitesse du vent la plus faible a été enregistrée le mois de juin de l'ordre de 0.60km/h, contrairement à la période hivernale où les vents sont un peu plus froids durant les mois de novembre, décembre, janvier et février dont la vitesse varie de 0.80 et 0.87km/h.

### II.3 Caractéristique socioéconomique

#### II.3.1 Population

Le total de la population pour les huit communes appartenant à la limite du bassin versant est égal à 144607 habitants répartis sur une superficie de 488.72 km<sup>2</sup>. Cette population représente une densité d'environ 296 habitants/km<sup>2</sup>. Cette répartition est représentée dans le tableau 6.

**Tableau 6: Répartition de la population du bassin versant de l'oued Agrioun par commune (Annuaire statistique de la wilaya de Bejaia, 2012).**

	Population	Superficie (km <sup>2</sup> )	Densité
<b>Kherrata</b>	36 173	97,69	370
<b>Draa El-Gaid</b>	30 135	123,34	244
<b>Darguina</b>	14 587	82,53	177
<b>TaskrioutC</b>	16 647	31,06	536
<b>Souk El –Tenine</b>	14 485	26,28	551
<b>Melbou</b>	11 753	47,47	248
<b>Tamridjet</b>	8 676	53,27	163
<b>Ait Smail</b>	12 151	27,08	449
<b>Total</b>	144607	488.72	296

### II.4 Méthodes de vulnérabilité utilisée dans la région d'étude

#### II.4.1 Présentation de La méthode SINTACS

La méthode SINTACS est dérivée de la méthode DRASTIC. Elle a été développée en Italie, au début des années 1990, de manière à s'adapter à la cartographie à plus grande échelle compte tenu de la grande diversité hydrogéologique de l'Italie (**Petelet-Giraud *et al.*, 2000**).

Les paramètres de caractérisation de la vulnérabilité qui ont été retenus dans cette approche sont les mêmes que ceux de la méthode DRASTIC, soit en italien :

**S** : Soggiacenza (profondeur de la nappe) ;

**I** : Infiltrazione (infiltration) ;

**N** : Azionedel Non Saturo (fonction de la zone non saturée) ;

**T** : TipologiadellaCopertura (sol) ;

**A** : CarratteriIdrogeologici dell' Acquifero (caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère) ;

**C** : ConducibilitaIdraulica (conductivité hydraulique) ;

**S** : Acclivitàdella Superficie Topographica (pente moyenne de la surface topographique).

D'après (**Hamza *et al.*, 2007**), la spécificité de la méthode SINTACS par rapport à la méthode DRASTIC est qu'elle propose cinq scénarios différents de vulnérabilité :

❖ **Le scénario "impact normal"** correspond aux régions où les transformations sont rares, avec existence ou non de terres cultivées et une utilisation très faible de pesticides, de fertilisants et d'irrigation, et aux périmètres urbains très disperses.

❖ **Le scénario "impact sévère"** correspond aux régions où l'occupation des sols est intensive, avec des terres cultivées à forte utilisation de pesticides, de fertilisants et d'irrigation, aux implantations industrielles et urbaines denses, et aux dépôts liquides et solides de déchets.

Ces deux scénarios sont relatifs aux aquifères constitués par des sédiments non consolidés, localisés dans des aires à sols épais, avec une profondeur du plan d'eau qui n'est pas très élevée.

❖ **Le scénario " drainage important à partir d'un réseau superficiel "**, relatif aux aires où il y a une forte infiltration vers l'aquifère à partir d'un réseau superficiel d'eau.

❖ **Le scénario " terrain très karstifié "**, concernant les aires caractérisées par une forte karstification.

❖ **Le scénario " terrain fissuré "**, correspondant aux zones caractérisées par une forte fracturation.

Contrairement à cette dernière, la méthode SINTACS permet d'utiliser, en même temps et dans des cellules différentes, des facteurs de pondération variables selon les situations (Schnebelen *et al.*, 2002)

**Tableau 7: Poids attribués aux différents paramètres dans les versions SINTACS**

Scénario paramètre	Impact Normal	Impact Sévère	Drainage Important	Karst	Terrains Fissures
S	5	5	4	2	3
I	4	5	4	5	3
N	5	4	4	1	3
T	4	5	2	3	4
A	3	3	5	5	4
C	3	2	5	5	5
S	2	2	2	5	4

### II.4.1.1 Note attribuée à chaque paramètre de la méthode SINTACS

**Tableau 8: Paramètre de la profondeur « S »**

Intervalle	Note
>40	1
24-40	2
16-24	3
12-16	4
8-12	5
6-8	6
4-6	7
3-4	8
1.5-3	9
<1.5	10

**Tableau 9: Paramètre de l'infiltration « I »**

Intervalle	Note
<50	1
50-60	2
60-75	3
75-100	4
100-125	5
125-150	6
150-175	7
175-250	8
250-325	9

**Tableau 10: paramètre de la zone non saturé « N »**

Nature de la zone non saturée	Cote
Argile, limon	1
Roche métamorphiques fissurées	2
Crétacé inférieur (limon et argile)	3
Crétacé moyen (argile)	4
Crétacé supérieur	5
Dépôts alluviaux grossier	6
Eocène inférieur	7
Jurassique (sable fin)	8
Lias	9
Calcaire karstique	10

**Tableau 11: paramètre de la texture du sol « T »**

Type de sol	Cote
Argile	1
Roche mère	2
Roche calcaire	3
Sol alluviaux	4
Limon argilo-sableux	5
Sol insaturé	6
Argile sableuse	7
Sable	8
Sable propre	9
Gravier propre	10

**Tableau 12 : paramètre de type d'aquifère « A »**

Type d'aquifère	Cote
Argile	1
Roche métamorphique fissurée	2
Pierre	3
Roche pyroclastique	4
Séquence turbiditique	5
Alluvions moyennement fines	6
Complexe de sable	7
Dépôts alluviaux grossiers	8
Calcaires karstifié	9
Calcaire karstique	10

**Tableau 13 : Paramètre de la conductivité hydrique « C »**

Intervalle	Note
<0.1	1
0.1-0.43	2
0.43-0.86	4
0.86-4.32	5
4.32-8.64	6

8.64-43.2	7
43.2-86.4	8
86.4-432	9
432-864	10

**Tableau 14 : paramètre de la topographie « S »**

Intervalles	Cote
0-2	10
3-4	9
5-6	8
7-9	7
10-12	6
13-15	5
16-18	4
19-21	3
22-25	2
>26	1

**II.4.1.2 Système de cotation**

L'indice SINTACS est basé sur l'évolution des 7 paramètres proposés. Chaque paramètre se voit attribuer un poids relatif fixe d'une valeur comprise entre 1 et 5, correspondant à son importance dans le processus d'atténuation des polluants.

Le paramètre principal a un poids de 5. L'impact sur le devenir du contaminant reçoit un poids de 2.

Le niveau 1 correspond aux conditions les moins vulnérables, tandis que le niveau 10 reflète les conditions les plus propices à la contamination. L'indice SINTACS global est issu de la somme pondérée des indices partiels correspondant à chaque paramètre.

Indice SINTACS général est le suivant :

$$IS = (S*Sp) + (I*Ip) + (N*Np) + (T*Tp) + (A*Ap) + (C*Cp) + (S*Sp)$$

D'ou :

- S, I, N, T, A, C, S : Paramètres,
- Sp est le poids des côtes.

**Tableau 15: indice SINTACS utilisé pour la cartographie de la vulnérabilité**

Indice de vulnérabilité	Degré de vulnérabilité
< 105	Faible
105-186	Moyen
186-210	Elevé
>210	Très élevé

### II.4.2 Présentation de La méthode COP

Cette méthode a été élaborée dans le but d'être un outil pratique, est de décrire en détail les facteurs, leur caractérisation, leur indice et leur pondération. Elle a été élaborée dans le cadre de l'action COST 620 par le groupe d'hydrogéologie de l'université de Malaga (**Dörfliger et al., 2004**), financé par le ministère espagnol de la recherche et de la science.

On a analysé les facteurs C, O et P de l'approche européenne de cartographie de la vulnérabilité, en les classant en fonction des résultats des réflexions des groupes de travail et de leur combinaison et de leur pondération. On a établi et testé la définition des classes de vulnérabilité. Les cartes de vulnérabilité obtenues doivent toujours être examinées et validées en utilisant des essais de traçage artificiels et d'autres outils hydrogéologiques.

Cette méthode, avec 3 facteurs C, O et P, (**Dörfliger et al., 2004**) est une méthode de caractérisation de la ressource et non d'une source ou d'un captage.

Les 3 facteurs de la méthode « COP » sont :

- C – concentration du flux en distinguant la recharge par les pertes, (scenario A) du reste du bassin d'alimentation (scénario B).
- O – formation superficielles de couverture résultant du croisement entre épaisseur, nature de la couverture (sol et formation lithologiques).
- P – précipitation obtenue en croissant la notion de quantité et d'intensité.

L'indice COP est obtenu à partir de la relation suivante :

$$\text{COP indices} = (C)*(O)*(P)$$

**Tableau 16: indice COP utilisé pour la cartographie de la vulnérabilité**

Indice COP	Classe de vulnérabilité
0,0-0.5	Très haut
0,5-1,0	Haut
1.0-2.0	Modéré
2.0-4.0	Faible
4.0-15	Très faible

Le principe de cette méthode est expliqué dans la figure :

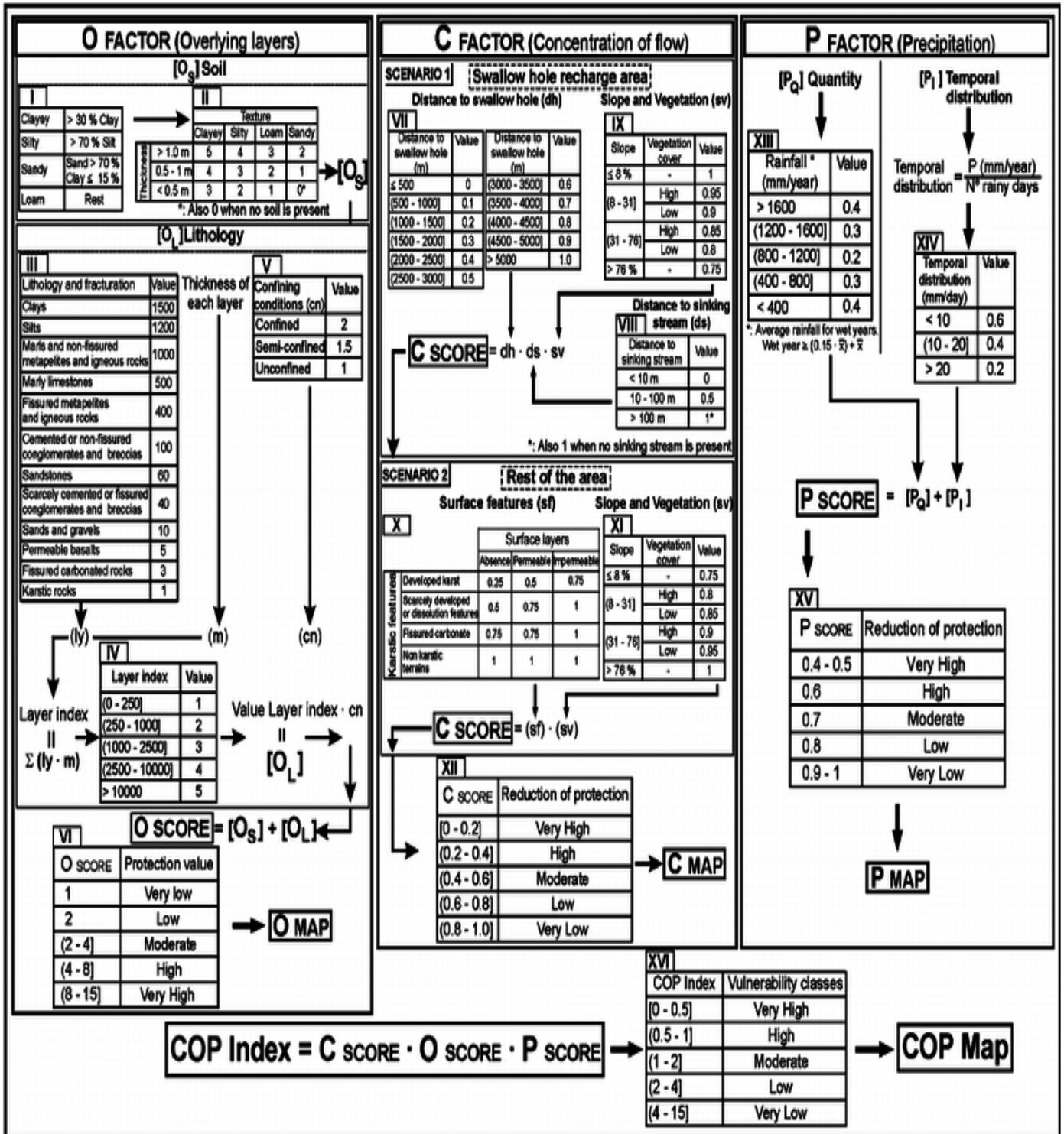


Figure 5 : Le diagramme de la méthode COP pour l'évaluation des facteurs C, O, P et de l'indice COP (Zwahlen, 2004).

### II.4.3 Système d'information géographique (SIG)

Afin d'évaluer les risques naturels on fait appel à des experts en raison de l'évolution des systèmes d'informations géographiques (SIG) et de technologie spatiale (télédétection), il est possible de mieux appréhender et d'exploiter les bassins versants de manière plus efficace. **(Brahim et al., 2016)**.

« Un SIG est un ensemble structuré de moyens informatiques, de logiciels, de données géographiques et d'employés qui peuvent prendre, stocker, mettre à jour, manipuler, analyser et présenter toutes sortes d'informations géographiquement référencées. **(Blomac, 1994)**.

Toutes les caractéristiques d'un système de gestion de bases de données (analyses statistiques, requêtes...) et s'applique dans un contexte géo référencé, pour la visualisation (sous la forme d'une image généralement assimilée à une carte) et l'analyse.

Burroughs 1986 distingue quatre fonctionnalités de base d'un SIG :

1. Saisir des données (numérisation) ;
2. Stocker des données (base de données graphique et tabulaire)
3. Analyser des données (requêtes, modélisations, simulations) ;
4. “ Sortir ” des données (cartes, tableaux, graphiques, exportation et transferts de fichiers).

Les potentialités des outils SIG et télédétection offrent un grand appui qui permet de générer les données descriptives du bassin. L'un des objectifs de la présente étude est de déterminer la vulnérabilité du bassin versant de l'Oued Agrioun à la pollution.

Le second objectif est l'élaboration des cartes de vulnérabilité en utilisant le logiciel ArcGIS desktop 10.8.1 (cartes des aquifères, carte des profondeurs, carte des pentes,...) et déterminer les zones à risques de contamination dans ce bassin **(Brahim et al., 2016)**.

**Résultats**  
**Et**  
**Discussion**

III. Interprétations des paramètres et réalisation des cartes thématiques

III.1.1 Méthode SINTACS

III.1.1.1 Paramètre de profondeur de la nappe (S)

La profondeur de la nappe phréatique est une mesure de la distance entre la surface du sol et le sommet de la nappe phréatique. Pour acquérir la profondeur du paramètre de couche de nappe phréatique, les bonnes données à différents endroits de la région d'étude ont été interpolées à l'aide de la méthode de pondération inverse de la distance (IDW) dans l'environnement SIG (ArcGIS desktop 10.8.1) (figure 6). Les résultats d'interpolation obtenus montrent que la profondeur de l'eau dans la zone varie de 0.85 à 31.99 mètres sous le niveau du sol.

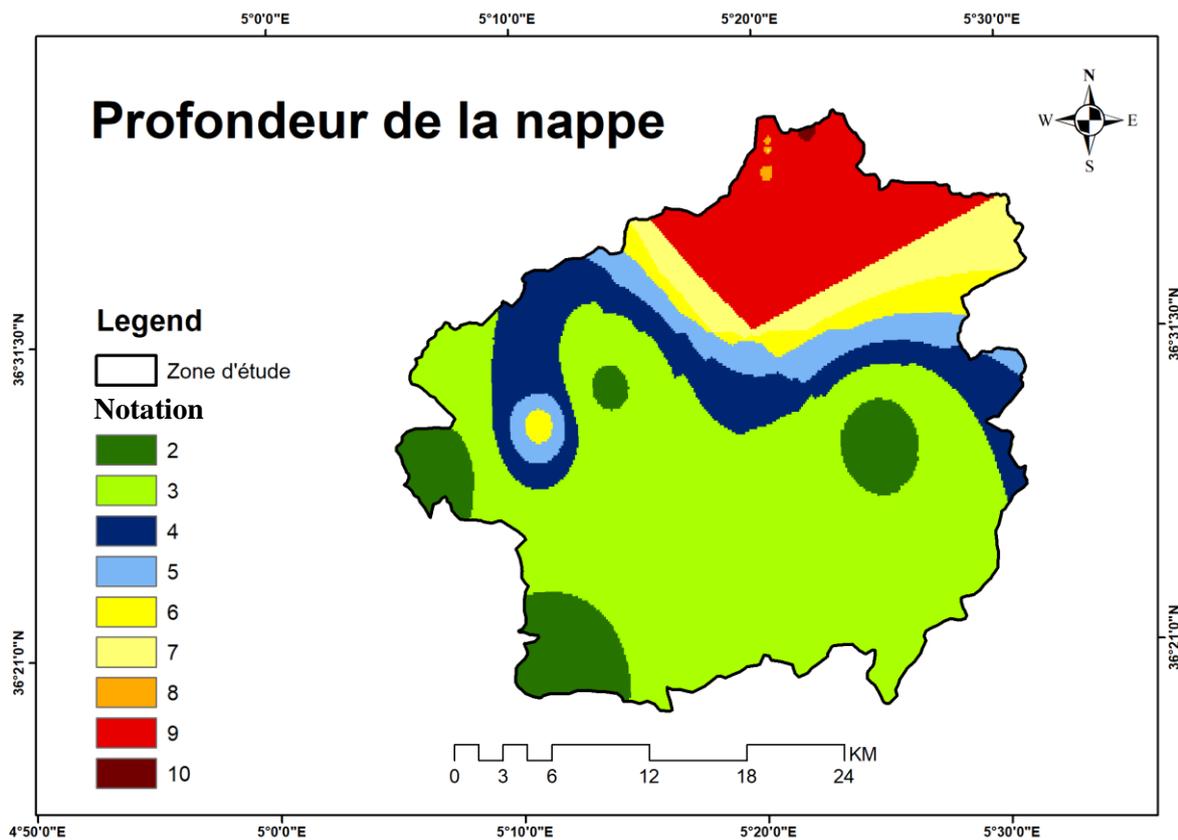


Figure 6 : carte de la profondeur de la nappe phréatique

Tableau 17: notation du paramètre (S)

Intervalles	Note
1-5	10
1.5-3	9
3-4	8
4-6	7
6-8	6
8-12	5
12-16	4
16-24	3
24-40	2

Selon le tableau référentiel, Plus la profondeur de la nappe phréatique par rapport au sol est faible, plus la menace de contamination par le polluant présent en surface est faible, compte tenu de son importance, le poids attribué à la profondeur de l'eau est de 5.

#### III.1.1.2 Recharge efficace (infiltration I)

L'infiltration (I) ou les conditions d'infiltration sont des événements dans lesquels les eaux souterraines s'infiltrent horizontalement, ce qui est influencé par la gravité avec des unités de mm/heure, La condition d'infiltration (I) est la capacité de laisser passer l'eau dans les cavités rocheuses. En termes de pollution, les conditions d'infiltration influencent l'absorption et l'écoulement de sources de polluants dans le sol pour pénétrer dans l'aquifère, donc on lui attribue le poids de 4.

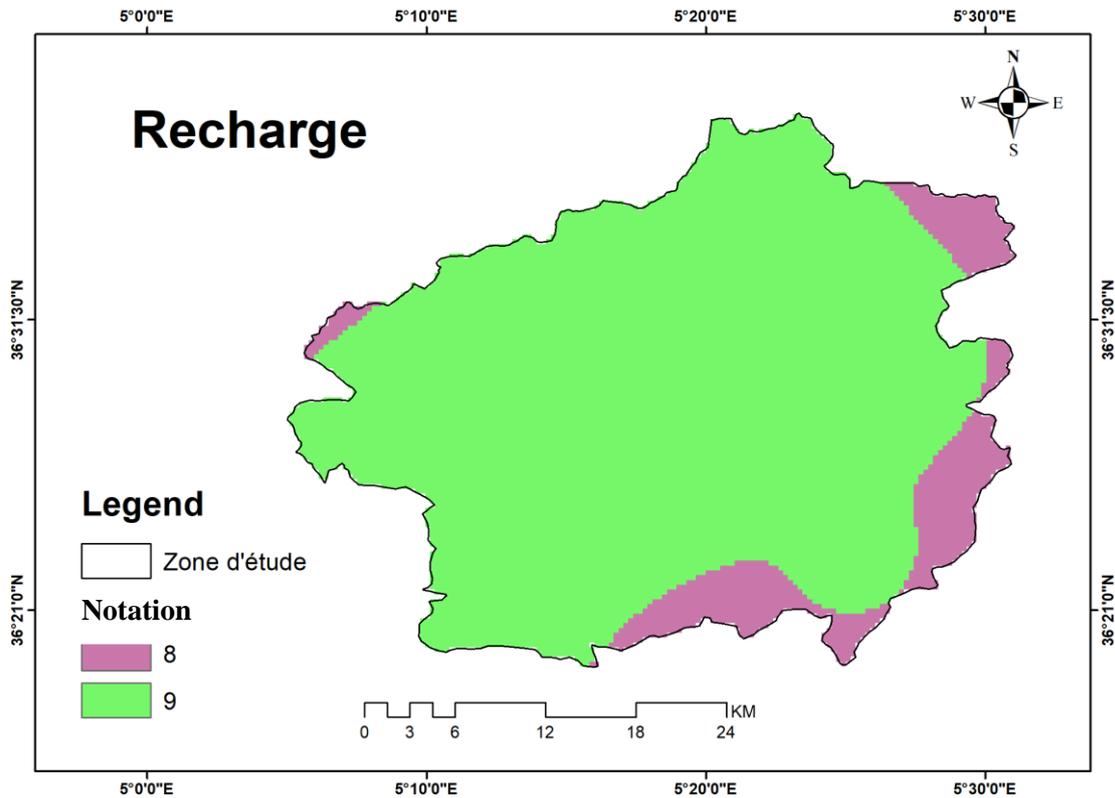


Figure 7 : carte de la recharge nette

Selon la carte de vulnérabilité, on distingue 2 zones de recharge à infiltration différente.

Tableau 18 : notation du paramètre (I)

Intervalles	NOTE
175-250	8
250-325	9

Selon le tableau référentiel, Plus la roche est poreuse, plus elle présente un potentiel de vulnérabilité élevé. Les conditions d'infiltration dans la susceptibilité à la pollution sont que si la capacité du sol à faire passer l'eau dans le sol est élevée, cela accélère le mouvement des polluants dans le système aquifère du sol.

### III.1.1.3 Lithologie de la zone non saturé (N)

La zone non saturée est la zone située au-dessus de la nappe phréatique et en dessous de l'horizon typique du sol. Sur la base de l'interprétation des données lithologiques de forage, le paramètre d'impact de la zone non saturée est évalué. L'un des facteurs les plus importants dans l'évaluation de la susceptibilité est le paramètre de zone insaturée et le poids qui lui est attribué est donc de 5 en fonction de son importance relative.

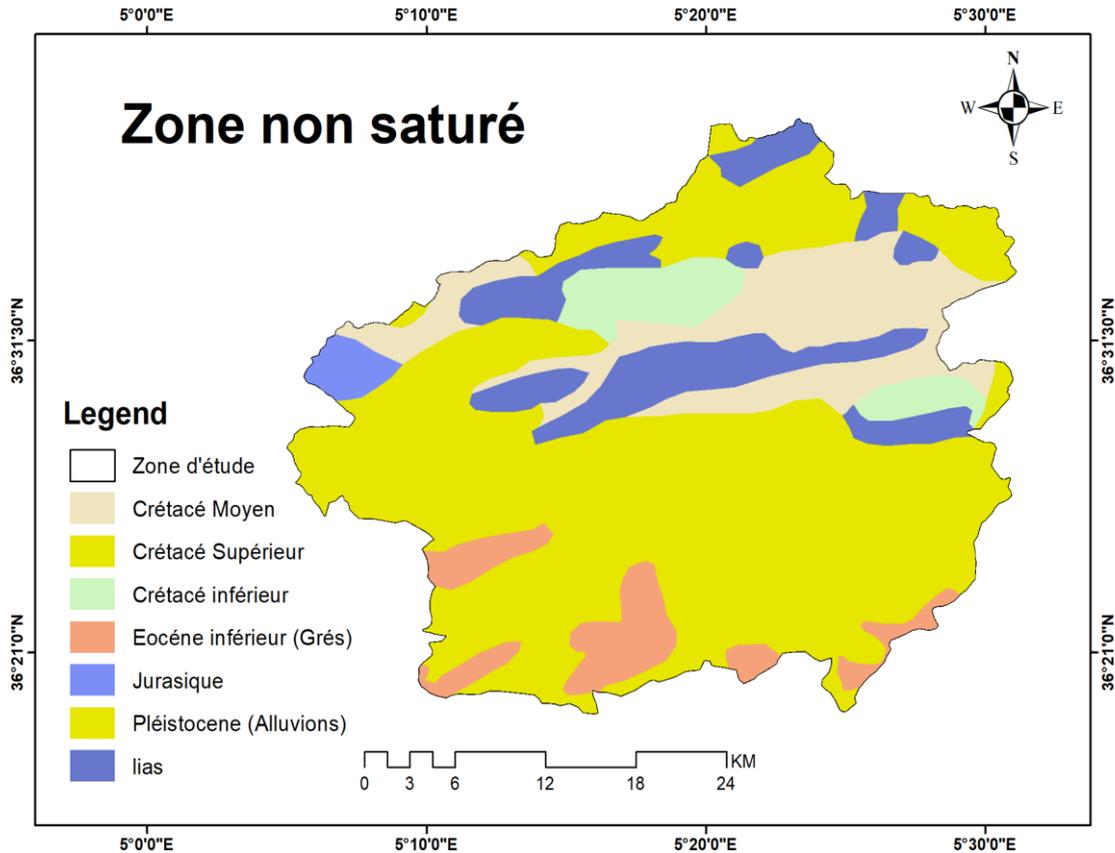


Figure 8 : carte de la zone non saturée

Tableau 19: notation du paramètre (N)

Zone non saturé	NOTE
Crétacé inférieur (limon et argile)	3
Crétacé moyen (argile)	4
Crétacé supérieur	5
Eocène inférieur	7
Jurassique (sable fin)	8
Lias	9

#### III.1.1.4 Texture du sol (T)

Il représente la couche supérieure de la zone non saturée (sol) et son influence sur la quantité d'eau qui s'infiltre à l'intérieur, Le sol affecte de manière significative la quantité de recharge pouvant pénétrer dans les eaux souterraines et, par conséquent, la facilité avec laquelle les contaminants peuvent se déplacer dans la zone non saturée.

Le sol de la zone d'étude est divisé en quatre groupes, comme indiqué sur la figure :

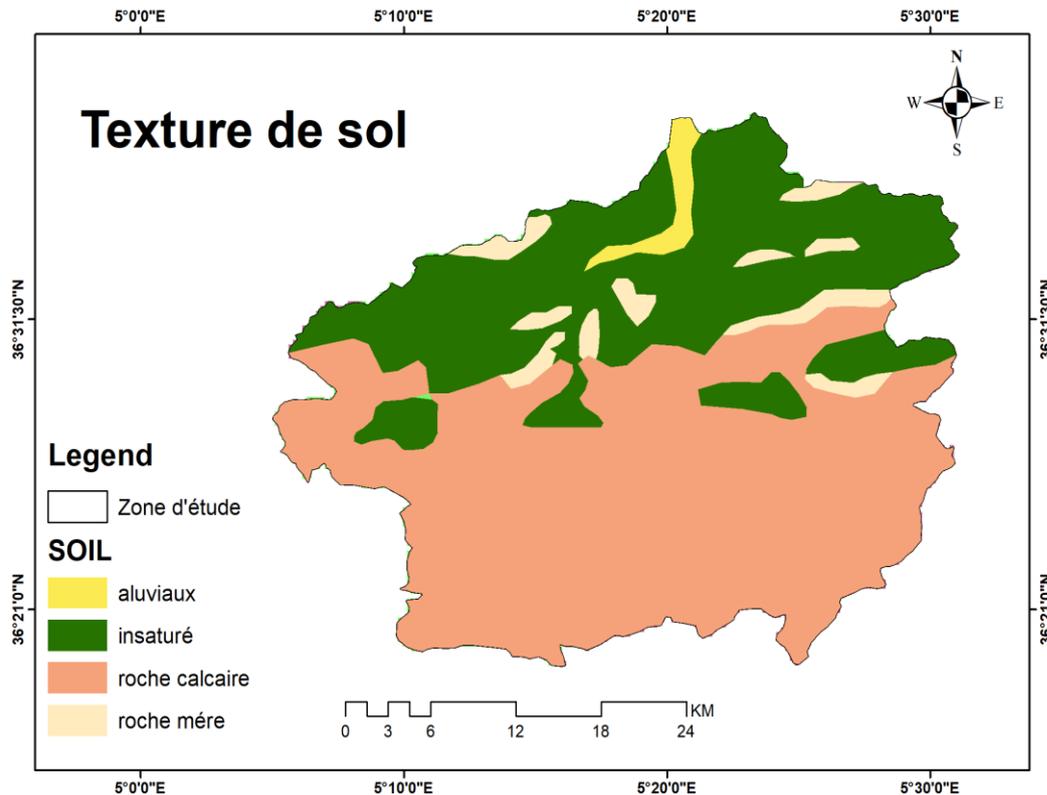


Figure 9 : carte de la texture du sol

Tableau 20: notation du paramètre T

Texture du sol	Note
Roche mère	2
Roche calcaire	3
Sol alluviaux	4
Sol insaturé	6

### III.1.1.5 Type d'aquifère (A)

Ce paramètre dépend des caractéristiques du matériau de la zone de saturation, telles que la porosité et la taille des particules, et indique le mouvement des polluants au sein de l'aquifère, Plus les particules de l'aquifère sont grossières, plus l'espace est grand, plus il est facile de déplacer l'eau à l'intérieur des trous. En conséquence, les particules grossières sont plus perméables et vulnérables.

La zone d'étude contient principalement sept types d'aquifères qui sont représentés dans la figure 10, tandis que sa classification est représentée dans le tableau 22.

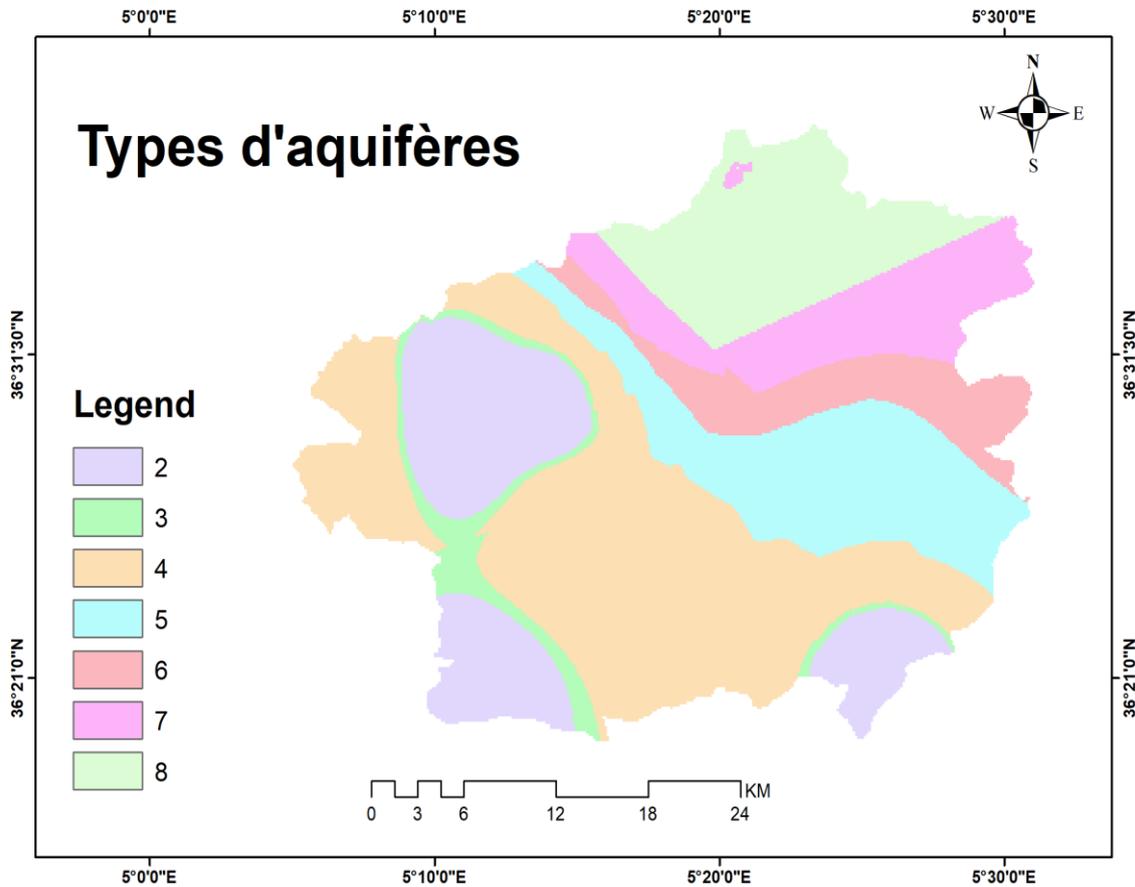


Figure 10 : carte de type d'aquifère

Tableau 21: notation du paramètre A

Type d'aquifère	Note
Roche métamorphique fissurées	2
Pierre	3
Roche pyroclastique	4
La roche	5
Alluvions fines	6
Sable	7
Conglomérat	8

### III.1.1.6 Conductivité hydraulique (C)

La conductivité hydraulique de l'aquifère est un indicateur de sa capacité de transport d'eau. Cette propriété contrôle la rapidité avec laquelle les eaux souterraines s'écouleront lorsqu'elles seront soumises à un gradient hydraulique particulier ; des niveaux de conductivité plus élevés correspondent souvent à une sensibilité élevée aux polluants.

La surface de conductivité hydraulique da la zone d'étude varie de 0.14/7 m/j et ne rentre que dans 4 plages de notation représentés dans la figure 11.

Tandis que sa classification est représentée dans le tableau 23.

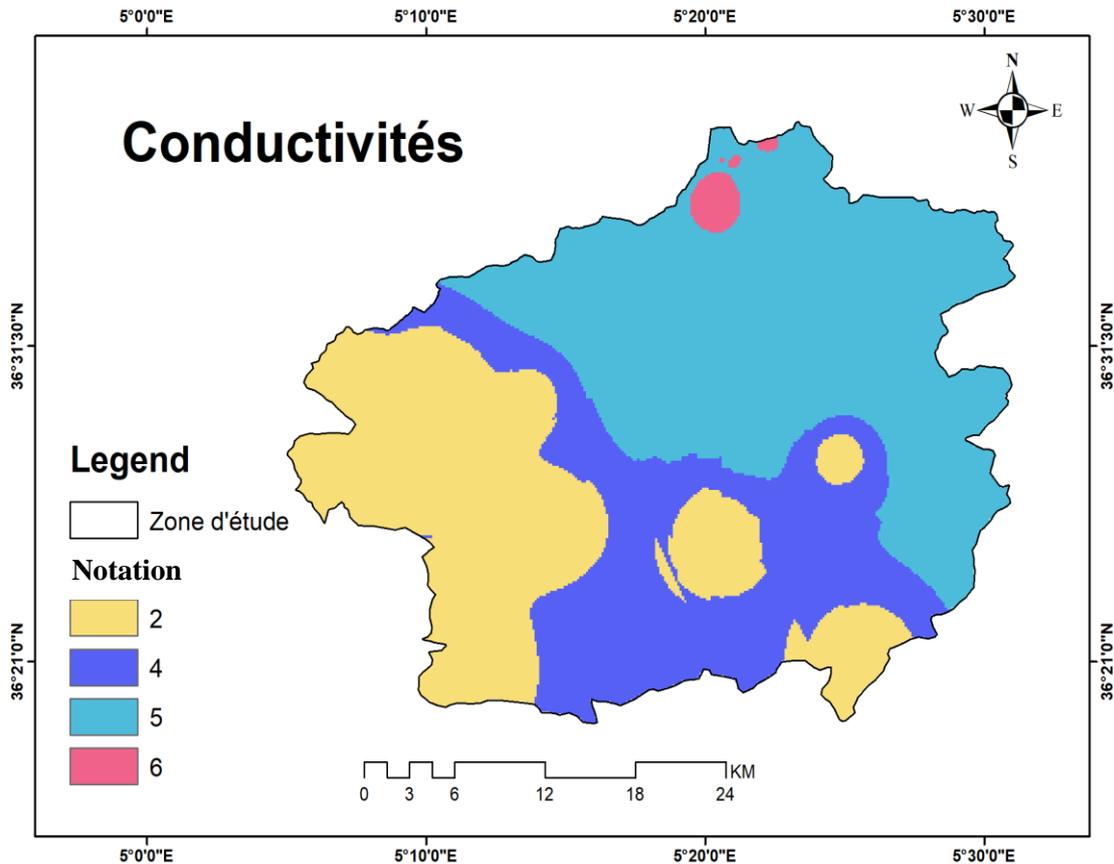


Figure 11 : carte de la conductivité

Tableau 22: notation du paramètre C

Intervalles	Notes
0.1-0.43	2
0.43-0.86	4
0.86-4.32	5
4.32-7	6

III.1.1.7 Topographie (S)

Le paramètre topographique du modèle SINTACS est en réalité la pente de la surface du sol, qui affecte le mouvement et la pénétration des contaminants, En termes d'évaluation de la vulnérabilité, la pente du lit ou la topographie influence si l'eau et les contaminants s'écouleront préférentiellement ou resteront à la surface pendant suffisamment de temps pour pénétrer.

On a peu divisé la région en 9 zones topographiques présentées dans la figure 12 :

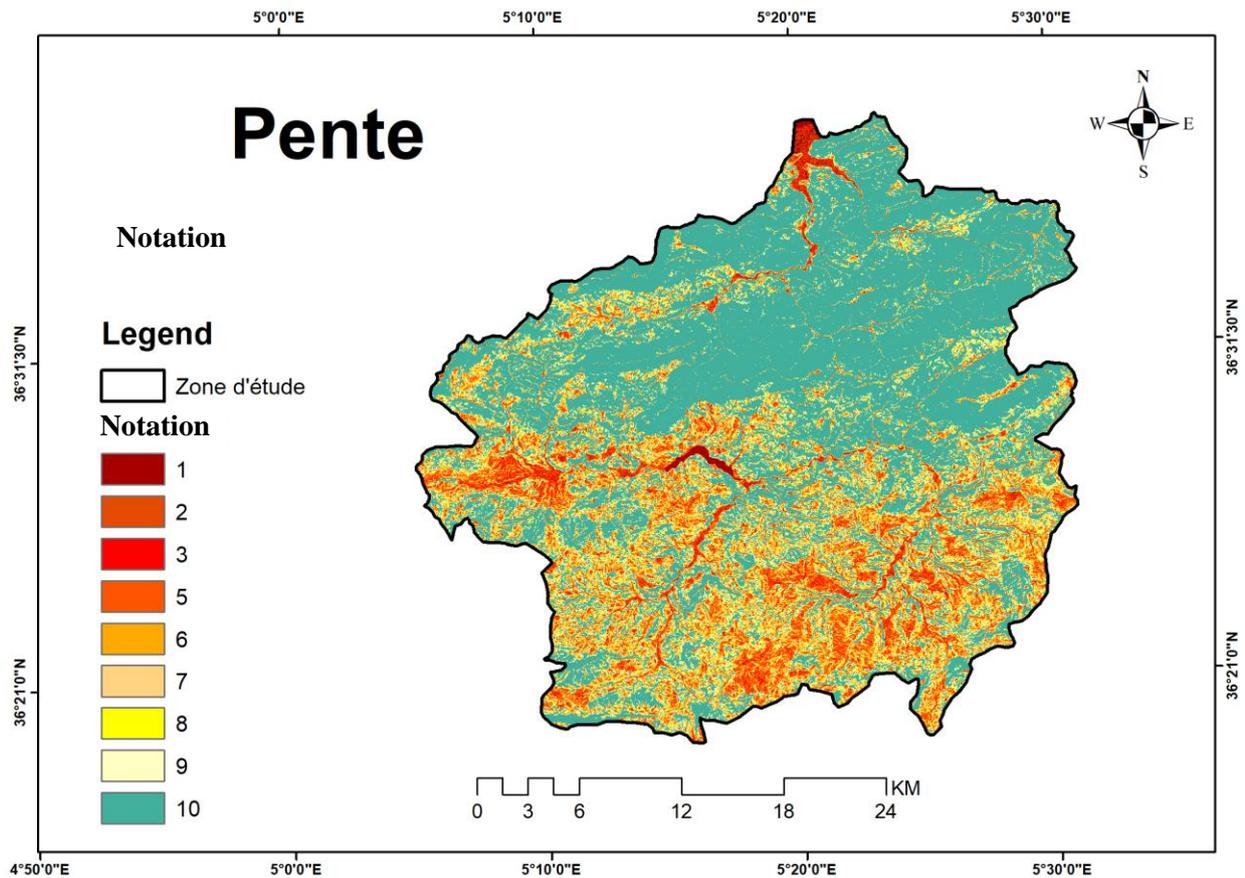


Figure 12 : carte de la pente

Tableau 23: Notation du paramètre S

Intervalle	Note
26-30	1
22-25	2
19-21	3
13-15	5
10-12	6
7-9	7
5-6	8
3-4	9
0-2	10

Quel que soit le faible gradient, la durée de contact du contaminant avec la surface du sol augmente, et par conséquent la possibilité de sa pénétration dans le sol augmente. En conséquence, la diminution de la pente de la surface du sol augmentera la vulnérabilité de l'aquifère.

III.1.1.8 Carte de vulnérabilité de la méthode « SINTACS » :

La cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la région de Oued Agrioun Ont été réalisés par la méthode SINTACS à l'aide du logiciel SIG.

Le calcul des indices de vulnérabilité selon la méthode SINTACS se fait directement Par un calcul d'addition appliqué sur les sept paramètres.

Le résultat de ce calcul est L'élaboration d'une nouvelle couche d'information qui représente la variation de l'indice de vulnérabilité générale dans la zone d'étude.

La superposition des sept cartes nous donne la carte de vulnérabilité finale suivante :

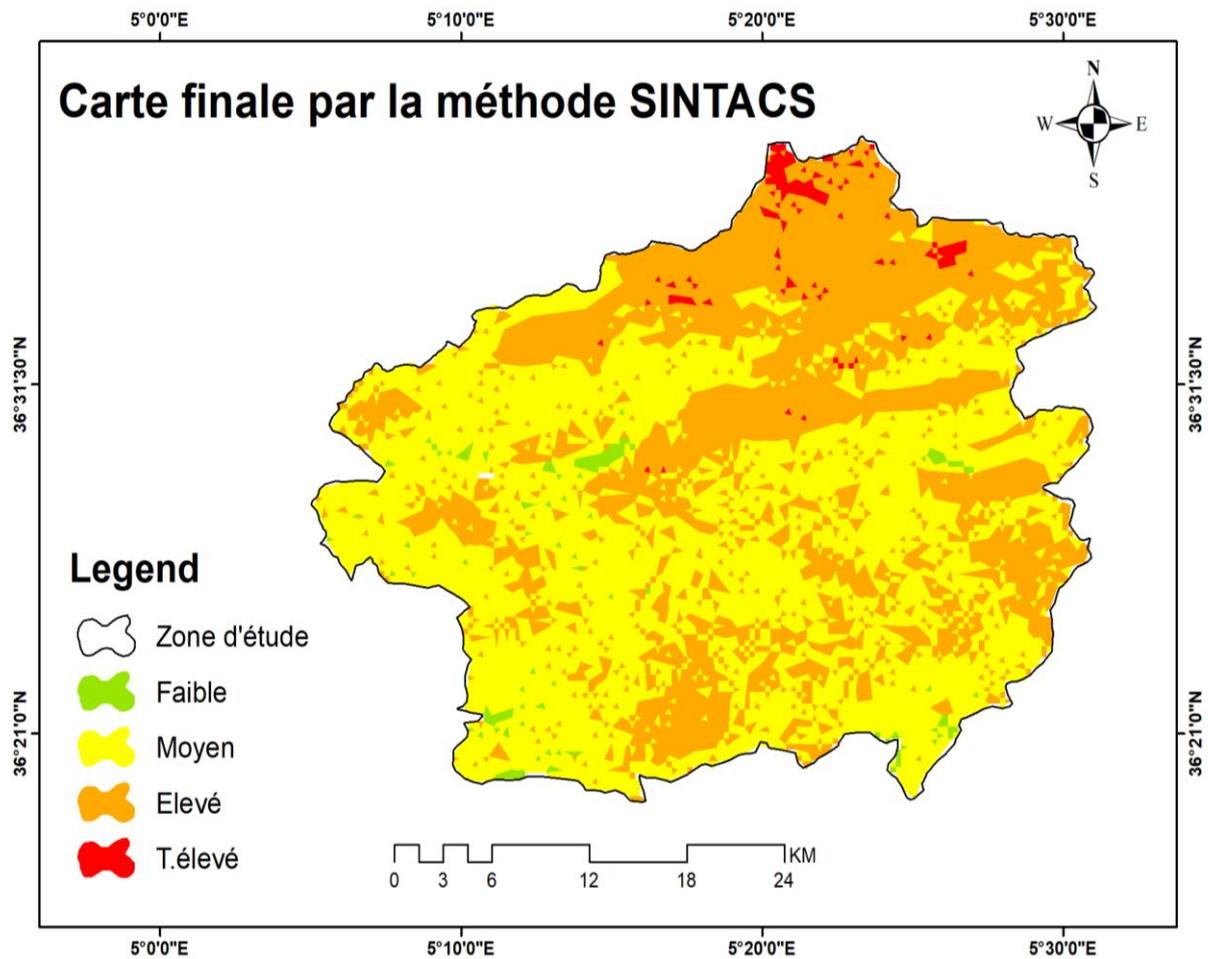


Figure 13 : carte de vulnérabilité de la méthode SINTACS

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

- Zone de vulnérabilité faible ;
- Zone de vulnérabilité moyenne ;
- Zone de vulnérabilité élevée ;
- Zone de vulnérabilité très élevée.

Tableau 24: représente le pourcentage de la surface de chaque Zone de vulnérabilité

Zone de vulnérabilité	Surface	Pourcentage
Vulnérabilité faible	9.76	1.05 %
Vulnérabilité moyenne	525.54	56.28 %
Vulnérabilité élevée	388.37	41.59 %
Vulnérabilité très élevée	10.13	1.08 %

### III.1.2 Méthode COP

#### III.1.2.1 Paramètre de la concentration du flux « C »

Le facteur C reflète les conditions de surface qui contrôlent l'écoulement de l'eau dans la zone d'infiltration, Il existe deux scénarios pour déterminer ce facteur, L'analyse du facteur C dans la zone d'étude s'est référée au deuxième scénario, avec un karst développé perméable et a donc obtenu une note de 0,5. La pente était < 8 % sans végétation (0.75) dans une partie de la région, et l'absence de roches carbonatées fissurées avec une note de 0.75, et en pente terrestre de 31 à 75 % avec une végétation élevée (0,9) dans une deuxième partie de la région, une troisième partie de la région a été classé en terrain non karstique imperméable et a donc obtenu une note de 1, la pente était > à 76 % sans végétation (1).

En fonction de la ou des pentes et de la végétation (v), notamment des caractéristiques de surface (caractéristiques karstiques (SF) et perméabilité), La valeur du facteur C dans le deuxième scénario est obtenue en multipliant toutes les valeurs des paramètres selon l'équation suivante :

$$\text{Facteur C} = \text{SF.SV.}$$

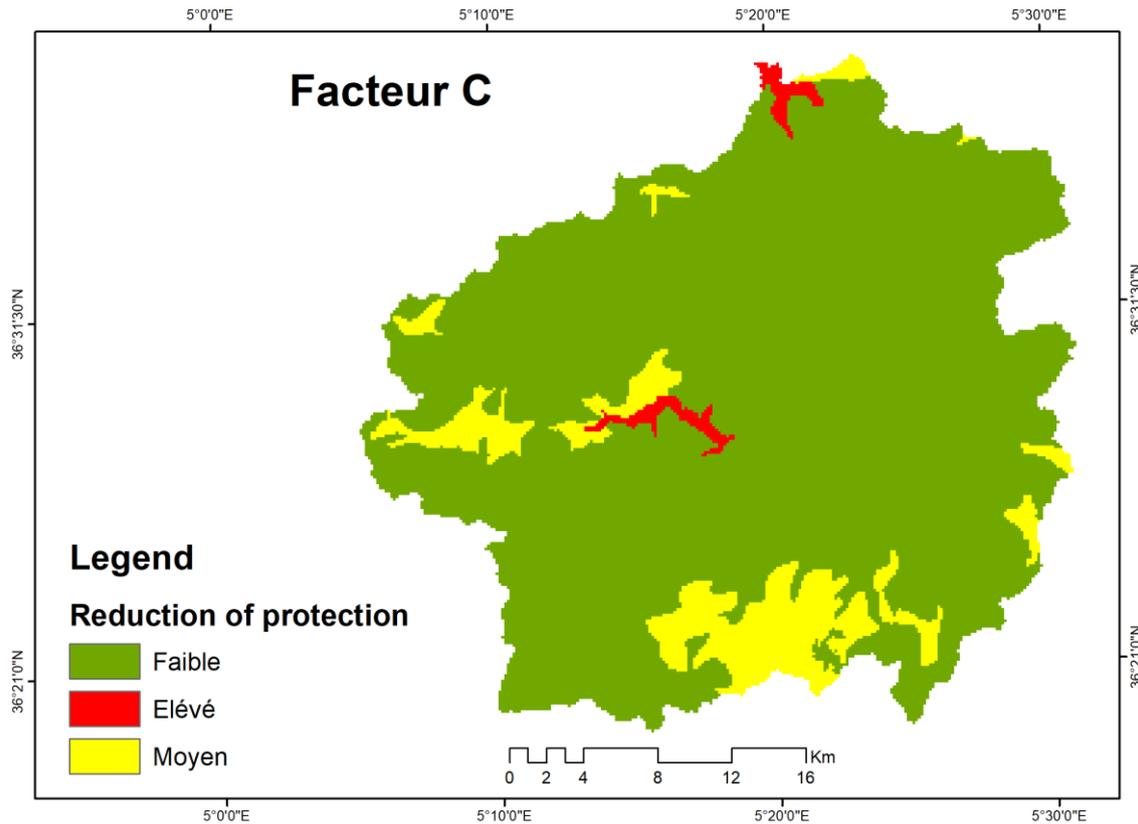


Figure 14 : Carte de l’analyse du facteur C

Tableau 25: notation du facteur C

C score	Réduction de la protection
0.6-0.8	Faible
0.4-0.6	Moyen
0.2-0.4	Elevé

Dans le domaine pertinent au scénario 2, le score estimé pour le facteur C entraîne une réduction de « faible », « moyen », « élevé », de la protection assurée par les couches situées au-dessus de la surface des eaux souterraines.

### III.1.2.2 Paramètre de la couche sous-jacente « O »

Le facteur O caractérise la protection naturelle apportée aux eaux souterraines par les couches situées au-dessus de la zone saturée. Il est évalué par deux sous-facteurs : le sous-facteur sol (OS) et le sous-facteur lithologie (OL). Les paramètres qui entrent en jeu dans l’évaluation du sous-facteur OS sont la texture et l’épaisseur du sol, constitué de limons d’épaisseurs < à 0,5 m et se voient attribuer la valeur 1 Les sols sableux d’épaisseurs < à 0.5 m

et se voient attribuer la valeur 0. Les sols limoneux d'épaisseurs < à 0,5 m et se voient attribuer la valeur de 2, et composée d'une couche d'argile d'épaisseur qui varie de 0.5 à 1 m, et est affectée de la valeur 4.

Le sous-facteur lithologique OL reflète la capacité d'atténuation de chaque couche de la zone insaturée. Trois paramètres contribuent à son évaluation : le type de roche et le degré de fracturation (ly), l'épaisseur de chaque couche (m) et le degré de confinement d'un aquifère (cn). Le sous-facteur OL est calculé selon l'équation suivante :

$$OL = [\{\Sigma (ly.m)\}. cn]$$

Enfin, le facteur O est calculé en additionnant les facteurs OL et OS selon l'équation suivante :

$$O = OL+OS$$

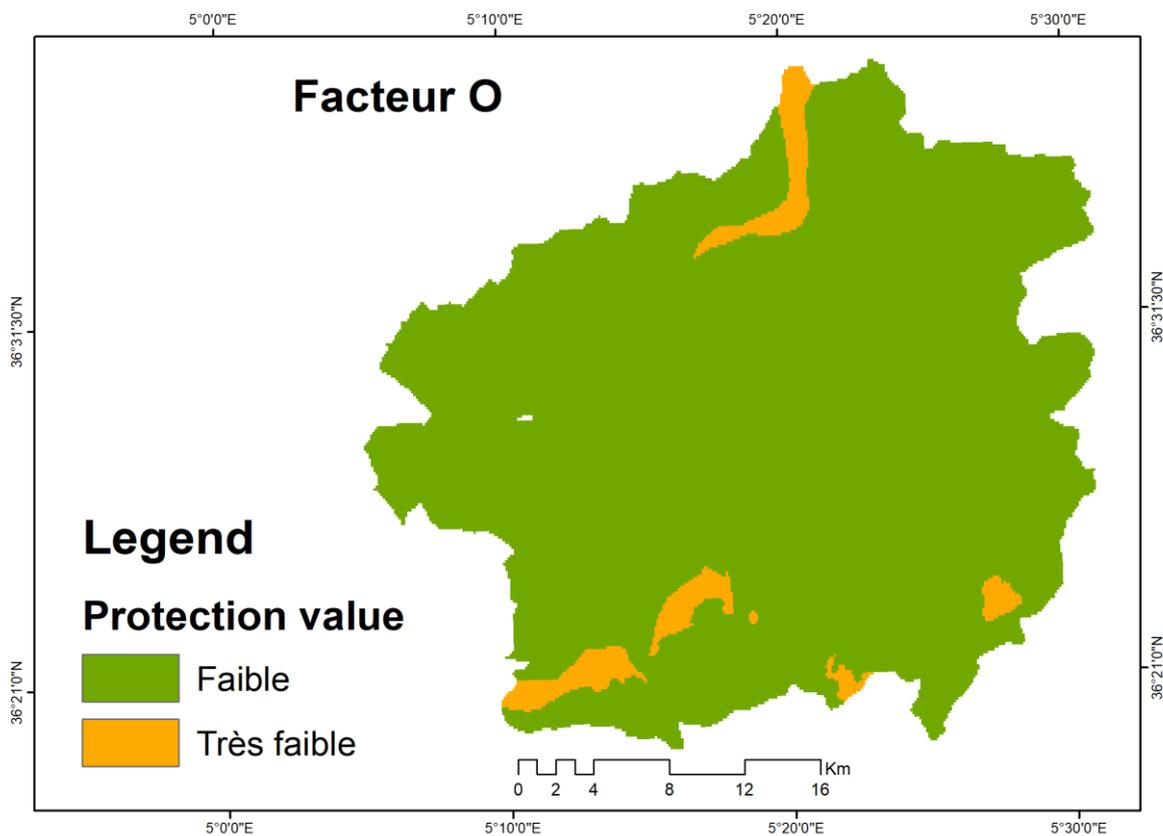


Figure 15 : carte de l'analyse du facteur O

Tableau 26: notation du facteur O

O score	Degré de protection
1	Très faible
2	Faible

La carte O est obtenue en superposant les cartes OS et OL et en additionnant leurs scores (figure 15). Cette carte représente la protection naturelle assurée à la fois par les sols sus-jacents et par les zones non saturées. Les valeurs les plus faibles du facteur O (vulnérabilité plus élevée) correspondent à des régions constituées d'affleurements de roches karstiques et où le sol est peu développé ou absent. Les régions à haute protection correspondent à des zones couvertes de sols ou à des zones présentant des lithologies peu perméables.

### III.1.2.3 Paramètre des précipitations « P »

Le facteur P est lié aux caractéristiques de la pluie ou des précipitations en tant qu'agent (eau) pour transporter les contaminants à travers la zone non saturée.

La principale signification du facteur P est qu'il s'agit d'un paramètre développé pour distinguer les zones avec différents degrés de précipitations. La valeur ou le score du facteur P est visible dans le tableau 28.

Le facteur P modifie la capacité de protection de l'aquifère en fonction de la quantité de précipitations (PQ) et de la distribution temporelle des précipitations (PI), comme on peut le voir dans les équations suivantes :

Distribution temporelle = précipitations (mm/an) /nombre. Des jours de pluie

$$\text{Facteur P} = [\text{PQ}] + [\text{PI}]$$

La plus grande capacité de l'agent de transport (l'eau) à transporter les contaminants vers l'aquifère implique une plus grande vulnérabilité.

L'analyse du facteur P montre que la valeur des précipitations annuelles calculée de 2002 à 2022 est de 680.96 mm/an, elle est donc classée entre (400-800) mm/an avec un score de 0,3. La distribution temporelle des précipitations est calculée en divisant la quantité de précipitations annuelles par le nombre total de jours de pluie, et le résultat est de 3.47 mm/jour, ce qui correspond au classement <10 avec un score de 0,6. Ces valeurs conduisent à un facteur P égal à 0,9. Cette valeur du facteur P reflète que la réduction du niveau de protection due aux précipitations est très faible, comme le montre la figure 16.

Le facteur P a été considéré comme homogène dans toute la zone d'étude en raison du manque d'autres stations météorologiques dans la région. Une valeur unique attribuée à ce paramètre, sur l'ensemble de la région étudiée.

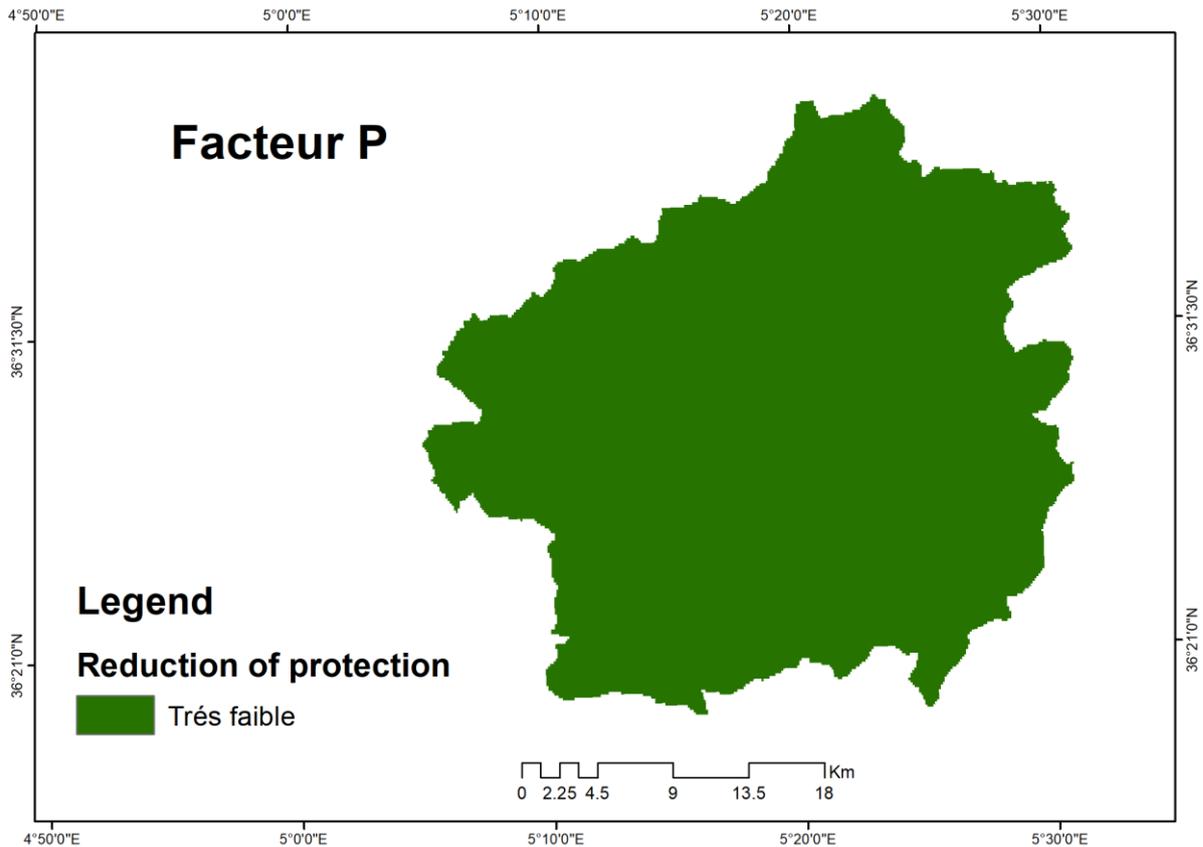


Figure 16 : carte de l'analyse du facteur P

Tableau 27: notation du facteur P

P score	Réduction de la protection
0.9	Très faible

### III.1.2.4 Carte de vulnérabilité de la méthode « COP »

Les trois facteurs ont été analysés et combinés à l'aide de la méthode de superposition dans Arc GIS, et les résultats des zones de vulnérabilité ont été obtenus. Les zones de vulnérabilité basées sur la méthode COP étaient de quatre classes à savoir élevée, très élevée, moyen et faible qui sont présentées dans la figure 17 et le tableau 26. La superficie de la zone de vulnérabilité classée comme élevée est de 3.87%, très élevée est de 0.33%, moyen est de 10.06% et faible est de 85.76% de la superficie totale.

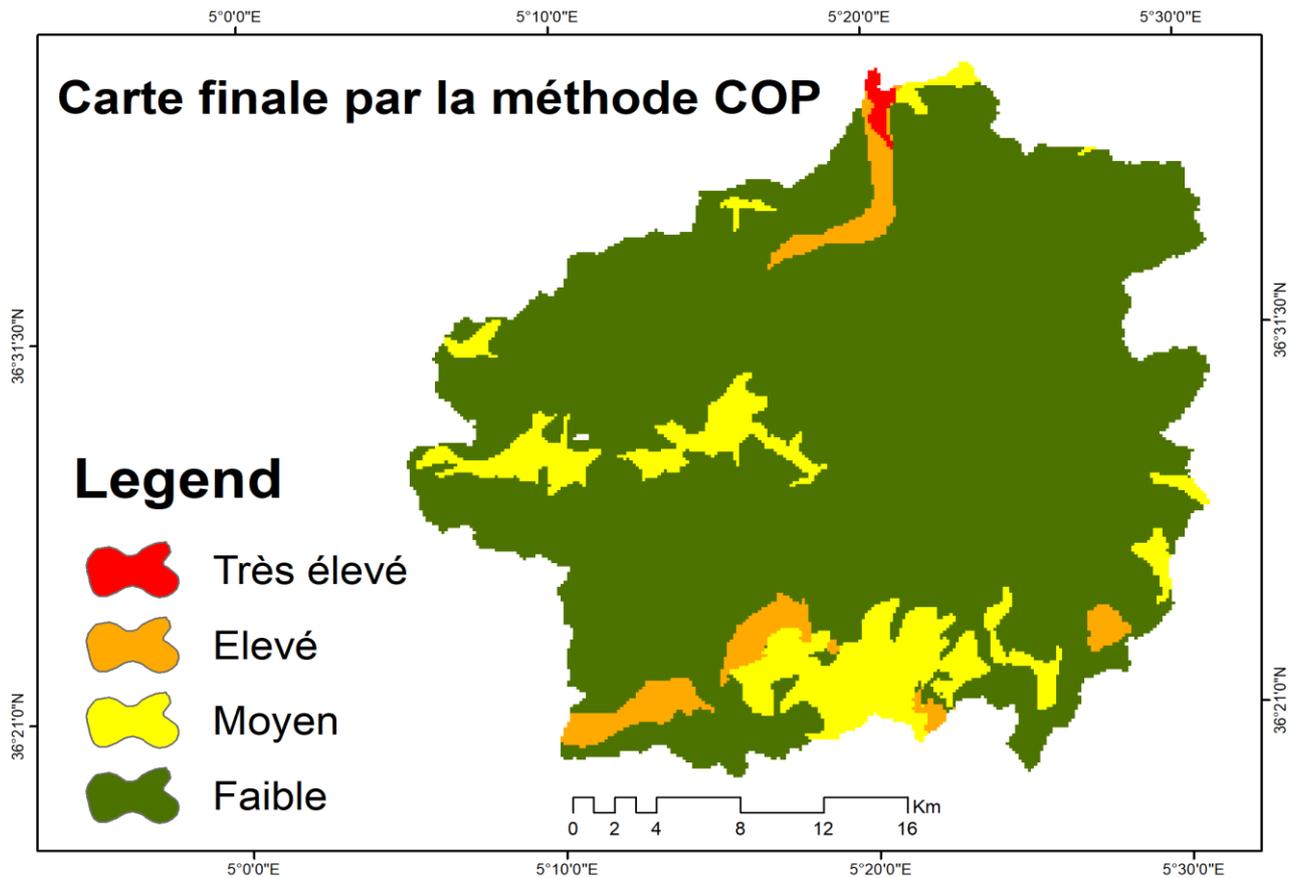


Figure 17 : carte de vulnérabilité de la méthode COP

Tableau 28: représente le pourcentage de la surface de chaque Zone de vulnérabilité

Zones de vulnérabilité	Surfaces	Pourcentage
Vulnérabilité faible	788.06	85.75 %
Vulnérabilité moyenne	92.45	10.06 %
Vulnérabilité élevée	35.53	3.87 %
Vulnérabilité très élevée	3.01	0.33 %

### III.2 Comparaison de la vulnérabilité des deux méthodes

#### III.2.1 Analyse visuelle

##### III.2.1.1 Zones de Haute Vulnérabilité

- **SINTACS** : Les zones de vulnérabilité très élevée (rouge) se trouvent principalement au nord-est de la zone d'étude.

- **COP** : Les zones de vulnérabilité très élevée (rouge) se trouvent également au nord-est, mais elles sont plus concentrées et moins étendues comparées à la carte SINTACS.

### III.2.1.2 Zones de Vulnérabilité Moyenne à Élevée

- **SINTACS** : Les zones de vulnérabilité élevée (orange) sont plus dispersées et couvrent une grande partie de la zone centrale et nord-est.
- **COP** : Les zones de vulnérabilité élevée (orange) sont également présentes mais sont plus localisées et moins étendues.

### III.2.1.3 Zones de Faible Vulnérabilité

- **SINTACS** : Les zones de vulnérabilité faible (vert clair) sont très peu représentées et se trouvent principalement au sud-ouest.
- **COP** : Les zones de vulnérabilité faible (vert foncé) couvrent une grande partie de la zone d'étude, surtout au centre et au sud.

### III.2.2 Analyse statistique

Les résultats de l'évaluation de la vulnérabilité à la pollution des ressources en eaux par les méthodes SINTACS et COP montrent des différences significatives dans la répartition des zones de vulnérabilité, le tableau suivant représente le pourcentage de la surface de chaque Zone de vulnérabilité.

**Tableau 29: Surface des zones vulnérables**

Type de vulnérabilité	SINTACS %	COP %
Vulnérabilité très élevée	1.08 %	0.33 %
Vulnérabilité élevée	41.59 %	3.87 %
Vulnérabilité moyenne	56.28 %	10.06 %
Vulnérabilité faible	1.05 %	85.75 %

Dans cette étude, nous avons évalué la vulnérabilité à la pollution à partir de deux méthodes qui sont : SINTACS et COP. Les résultats font ressortir 4 classes de vulnérabilité dans les deux méthodes : faible, moyenne, élevé et très élevé.

- La zone de vulnérabilité très élevée de la méthode SINTACS est presque identique à celle de la méthode COP

**1.08% ≥ 0.33%**

- La zone de vulnérabilité élevée de la méthode SINTACS est supérieure à celle de la méthode COP

**41.59 % > 3.87 %**

- La zone de vulnérabilité moyenne de la méthode SINTACS est supérieure à celle de la méthode COP

**56.28 % >10.06 %**

- La zone de vulnérabilité faible de la méthode SINTACS est inférieure à celle de la méthode COP

**1.05 % < 85.75 %**

On peut observer que la méthode COP attribue une plus grande proportion de la surface à la vulnérabilité très élevée (85.74%) par rapport à la méthode SINTACS (1.05%). En revanche, la méthode SINTACS montre une plus grande proportion de la surface dans la catégorie de vulnérabilité moyenne (56.28%) par rapport à la méthode COP (3.86%).

Ces différences soulignent l'importance de choisir la méthode d'évaluation de la vulnérabilité appropriée en fonction des objectifs de l'étude et des caractéristiques spécifiques du site étudié. Les résultats de l'évaluation de la vulnérabilité à la pollution des ressources en eaux peuvent être utilisés de plusieurs manières pour améliorer la gestion de ces ressources :

1. **Identification des Zones Sensibles** : En identifiant les zones présentant une vulnérabilité élevée ou très élevée à la pollution, les autorités et les gestionnaires peuvent concentrer leurs efforts de surveillance et de protection sur ces zones pour prévenir les risques de contamination.
2. **Planification des Actions de Protection** : Les résultats permettent de prioriser les actions de protection et de restauration des écosystèmes aquatiques dans les zones les plus vulnérables, contribuant ainsi à préserver la qualité de l'eau et la biodiversité.
3. **Développement de Programmes de Sensibilisation** : Les données sur la vulnérabilité peuvent servir de base pour sensibiliser les populations locales, les industries et les agriculteurs aux enjeux de la pollution de l'eau et promouvoir des pratiques plus durables.
4. **Suivi et Évaluation** : Les résultats de l'évaluation initiale peuvent être utilisés comme référence pour suivre l'évolution de la vulnérabilité au fil du temps et évaluer l'efficacité des mesures prises pour réduire la pollution des ressources en eaux.

# CONCLUSION

### Conclusion

Au cours de cette recherche, nous avons présenté la vulnérabilité ainsi que la pollution et leurs différents types dans cette région d'étude.

Nous avons présenté la zone d'étude d'Oued Agrioun et leur situation géographique, la population et leur faune et flore ainsi que leurs caractéristiques morphométriques et climatologique et les méthodes utilisées pour étudier la vulnérabilité des eaux souterraine dans cette région réalisée dans la synthèse bibliographique et matérielles et méthodes.

Dans les résultats et discussions on a étudié les différentes cartes de vulnérabilité obtenues de chaque méthode.

La fin de ce travail se fait par l'étude de la cartographie de la vulnérabilité et les risques de pollution des eaux souterraines. La cartographie est une méthodologie qui est devenue nécessaire afin d'assurer la gestion qualitative des ressources en eau en relation avec les diverses activités humaines.

Dans cette étude, nous avons évalué la vulnérabilité à la pollution à partir de deux méthodes qui sont : SINTACS et COP. Les résultats font ressortir 4 classes de vulnérabilité dans les deux méthodes : très élevée, élevé, moyenne et faible répartie de manière différente dans les deux méthodes.

L'analyse de la carte de vulnérabilité finale selon le modèle SINTACS, montre que les zones de vulnérabilité très élevée, occupent 1.08% de l'oued et se localisent essentiellement au niveau nord et Est, le centre et une partie du sud-ouest et Est est occupé par le degré de vulnérabilité faible qui représente 1.05% de la surface totale.

Les degrés de vulnérabilité (moyenne et élevé) occupent presque toute la zone d'étude qui représente 56.28 et 41.59 % de la surface totale.

L'application de la méthode COP nous a donné presque les mêmes résultats que la méthode SINTACS avec 4 zones de vulnérabilité aussi répartie de manière différente, une zone à faible vulnérabilité qui occupe la majorité de la zone d'étude avec une valeur de 85.75 %, une vulnérabilité moyenne est répartie dans plusieurs partie du bassin avec une valeur de 10.06%, les zones à vulnérabilité élevé se localisent au nord et dans certaines parties au sud du bassin avec une valeur de 41.59 % et la vulnérabilité très élevé est situé principalement au nord du bassin versant avec une valeur de 1.08%.

Les cartes de vulnérabilité établies pour les eaux souterraines de l'oued Agrioun en utilisant le système d'information géographique (SIG), nous a fourni, efficacement des informations sur les zones potentiellement exposées à la pollution.

Ces cartes sont un outil très important pour identifier la priorité des zones cibles et les méthodes appropriées pour la gestion, la surveillance et la protection des eaux souterraines du Bassin versant de l'oud Agrioun.

# RÉFÉRENCES

### Références

#### B

- Bedhouche, O., & Berkani, N. (2005). *La vulnerability to pollution of the region of Aokas* (Doctoral dissertation, Thèse engineer thesis in ecology and environment unpublished, University of A Mira of Bejaia).
- Bentekhici, N., Benkesmia, Y., Berrichi, F., & Bellal, S. A. (2018). Évaluation des risques de la pollution des eaux et vulnérabilité de la nappe alluviale à l'aide des données spatiales. Cas de la plaine de Sidi Bel Abbès (Nord-Ouest Algérien). *Revue des sciences de l'eau*, 31(1), 43-59.
- Brahim, B., Larbi, B., Abdallah, D., & Driss, S. (2016). Utilisation du sig dans l'analyse morphométrique et la priorisation des sous-bassins versants de oued inaouene (Nord-Est du maroc). *European Scientific Journal*, 12(6), 283-306.

#### C

- Castany, G. (1982). *Principes et méthodes de l'hydrogéologie*. Bordas.
- Civita, M. (1994). *Le Carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: Teoria & Pratica* (pp. 325-325). PITAGORA EDITRICE,

#### D

- Daly, D., Dassargues, A., Drew, D., Dunne, S., Goldscheider, N., Neale, S., Popescu, I., & Zwahlen, F. (2002). Main concepts of the "European approach" to karst-groundwater-vulnerability assessment and mapping. *Hydrogeology Journal*, 10, 340-345.
- Dörfliger, N., Jauffret, D., & Loubier, S. (2004). Cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques en Franche-Comté. *Rapport: BRGM RP-53576-FR, Paris, Francia*.

### E

Eckenfelder, W. W., & Vandevenne, L. (1982). *Gestion des eaux usées urbaines et industrielles : Caractérisation, techniques d'épuration, aspects économiques*. Technique et Documentation Lavoisier.

### G

Greco, J. (1966). *L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie*. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire.

### H

Hadjoudj, O. (2008). *Pollution des nappes aquifères de la mitidja par les nitrates* (Doctoral dissertation, Alger).

Hamdani, A. (2012). *Evolution géomorphologique et morpho dynamique du bassin versant de l'Oued Agrioun à l'amont du barrage d'Ighil Amda (Région de Kherrata)*. <https://www.pnst.cerist.dz/detail.php?id=75126>

Hamza, M. H., Added, A., Frances, A., & Rodriguez, R. (2007). *Validity of the vulnerability methods DRASTIC, SINTACS and SI applied to the study of nitrate pollution in the phreatic aquifer of Metline-Ras Jebel-Raf Raf (northeastern Tunisia)*  
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20083087610>

### K

Khemmoudj, K. (encadreur), Djafari, A. K., & Boudjelil, E. (2018). *Etude de la vulnérabilité à la pollution de la nappe superficielle de Souk El Tenine par la méthode GALDIT*.  
<http://172.17.1.105:8080/xmlui/handle/123456789/11100>

Koller, E. (2004). *Traitement des pollutions industrielles : Eau, air, déchets, sols, boues*. Dunod Paris, France. <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=16162487>

### L

Lallemand-Barrès, A., & Roux, J.-C. (1988). Guide méthodologique d'établissement des périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine. *Manuels et méthodes-Bureau de recherches géologiques et minières*, 19. <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=7157944>

### M

Mardhel, V. (2006). Carte de vulnérabilité intrinsèque simplifiée des eaux souterraines de la région aquitaine. *Rapport final Eds. BRGM/RP*.

Margat, J. (1992). *L'eau dans le bassin méditerranéen : Situation et prospective*.

Mebarki, A. (1982). *Le bassin du Kebir Rhumel, Ressources en eaux et aménagement en Algérie* [PhD Thesis]. Thèse doctorat 3ème cycle, Université de Nancy II, 303p.

MUET, F., & Vier, E. (2011). *Stratégies de protection des ressources karstiques utilisées pour l'eau potable*. Corse.

Mustapha, A., Aris, A. Z., Juahir, H., & Ramli, M. F. (2012). *Surface water quality contamination source assessment and physicochemical characterization at the...*

### P

Petelet-Giraud, E., Dörfliger, N., & Crochet, P. (2000). RISKE : Méthode d'évaluation multicritère de la cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques. Application aux systèmes des Fontanilles et Cent-Fonts (Hérault, Sud de la France). *Hydrogéologie (Orléans)*, 4, 71-88.

### R

Ramade, F. (1994). *Éléments d'écologie. Écologie fondamentale. 2ème édition. Ediscience. Masson, Paris (France).*

Ramade, F. (2012). *Éléments d'écologie-7e éd.-Écologie appliquée. Hachette.*

### S

Sadat, A. W., N'goran, E. B. Z., Siaka, S., & Parinet, B. (2011). Intérêt de l'analyse multidimensionnelle pour l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un système lacustre tropical: Cas des lacs de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 38, 2573-2585.

Schnebelen, N., Platel, J. P., Le Nindre, Y., & Baudry, D. (2002). Gestion des eaux souterraines en Aquitaine Année 5. *Opération sectorielle. Protection de la nappe de l'Oligocène en région bordelaise [Water management in Aquitaine 5. Sectorial operation. Oligocene aquifer protection in the Bordeaux region]. Rapport, BRGM, Orléans, France.* <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-51178-FR.pdf>

### T

Thibault, S. M. J. (1997). Bassin versant. *Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement*, 116.

### Z

Zwahlen, F. (2004). *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers.* [https://www.researchgate.net/profile/Pablo-Gavilan/publication/333973507\\_Mapping\\_Methods\\_The\\_COP\\_method/links/5d10a1dd299bf1547c7960bd/Mapping-Methods-The-COP-method.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Pablo-Gavilan/publication/333973507_Mapping_Methods_The_COP_method/links/5d10a1dd299bf1547c7960bd/Mapping-Methods-The-COP-method.pdf)

## Résumé

La possibilité que des contaminants s'infiltrent et se diffusent dans le système d'eau souterraine est appelée vulnérabilité des eaux souterraines. Lorsque les eaux souterraines sont polluées, il est très difficile de les traiter/nettoyer.

Cette étude vise à évaluer et cartographier la vulnérabilité du bassin versant de l'Oued Agrioun situé à l'Est de l'Algérie à 300km d'Alger, dans la wilaya de Bejaia, l'aide des modèles SINTACS et COP et à comparer leur efficacité entre eux. Pour évaluer le contexte hydrogéologique et évaluer la vulnérabilité de l'aquifère, chaque modèle comprend respectivement sept et trois paramètres environnementaux.

Les ensembles de données de paramètres sont évalués dans un environnement de système d'information géographique (SIG) pour obtenir l'indice de vulnérabilité, L'indice est classé en quatre classes qui présentent une vulnérabilité faible à très élevée. La superficie sous la classe faible pour SINTACS et COP est respectivement de 1.05 % et 85.75 %, pour la classe à moyenne vulnérabilité elle est respectivement de 56.28% et 10.06%, pour la classe de vulnérabilité élevée elle est respectivement de 41.59 % et 3.87 %, tandis que pour la classe hautement vulnérable elle est respectivement de 1.08 % et 0.33 % de la superficie totale.

Selon les résultats obtenus, Des mesures doivent donc être prises pour évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines afin de planifier efficacement leur conservation et leur gestion.

**Mots clés :** COP, Eaux souterraines, Oued Agrioun, SIG, SINTACS, Vulnérabilité.

## ABSTRACT

Groundwater vulnerability refers to the potential for contaminants to infiltrate and diffuse into the groundwater system when polluted groundwater is very difficult to treat/clean up.

This study aims to assess and map the vulnerability of the Oued Agrioun catchment, located in eastern Algeria, 300km from Algiers, in the wilaya of Bejaia, using the SINTACS and COP models and to compare their effectiveness with each other. Each model includes seven and three environmental parameters to assess the hydrogeological context and evaluate aquifer vulnerability, respectively.

The parameter datasets are evaluated in a Geographic Information System (GIS) environment to obtain the vulnerability index. The index is classified into four classes, ranging from low to very high vulnerability. The area under the low vulnerability class for SINTACS and COP is 1.05% and 85.75%, respectively; for the medium vulnerability class, it is 56.28% and 10.06%, respectively; for the high vulnerability class, it is 41.59% and 3.87%, respectively; while for the high vulnerability class, it is 1.08% and 0.33% respectively of the total area.

The results suggest that measures must be taken to assess groundwater's vulnerability to effectively plan its conservation and management.

**Key words:** Groundwater, Vulnerability, Oued Agrioun, SINTACS, COP, GIS.