

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

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques de l'Environnement
Option : Toxicologie Industrielle Et Environnementale



Réf:.....

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

MASTER

Thème

**Etude comparative de la vulnérabilité à la
pollution des eaux souterraines par la méthode
DRASTIC et SINTACS de la plaine d'Amizour
(Béjaia)**

Présenté par :
BOUDJEMIL Farida & KASMI Thinhinane
Soutenu le : 22 Septembre 2020

Devant le jury composé de :

Mr. BENHAMICHE Nadir	MCA	Président
Mr. SAADALI Riad	MCB	Encadreur
Mr. KHEMMOUDJ kaddour	MCA	Examineur

Année universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENTS

*On tien avant tout à remercier **ALLAH** le tout puissant, le tout miséricordieux qui, grâce à sa protection et sa bienveillance, il nous a permis d'acquérir le savoir et d'arriver à ce niveau*

Dieu merci

Nos remerciements vont à :

*Monsieur **SAADALI** qui nous a guidé et soutenu tout au long de la réalisation de notre mémoire, en nous prodiguant de fructueux conseils et nous faisant bénéficier de son savoir et de son expérience.*

*Monsieur **BENHAMICHE** pour avoir accepté de nous honorer en tant que président de jury.*

*Monsieur **KHEMMOUDJ** pour avoir accepté de nous honorer en tant qu'examineur de jury.*

*Un autre grand merci va à **l'université A.MIRA** , en particulier à tous les enseignants de la faculté des sciences de la nature et de la vie pour tout le savoir qu'ils ont su nous transmettre durant nos années d'études .*

Enfin, on remercier tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail aux êtres qui sont les plus chers au monde

À mes chers parents,

*Pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,
Que dieu vous protège et vous prête une longue et heureuse vie que ce travail soit le témoignage profond de mon amour*

À mes chères sœurs et leurs maries,

Pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral

*À mes chers frères **Bachir et Massi,**
ma chère grand-mère, et ma belle sœur*

À mes nièces et neveux

*À mon cher **Zakaria***

*À toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,
Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués.
Merci d'être toujours là pour moi.*

À tous mes chères amies de près et de loin

*À mon binôme **Farida,** et à toute la promotion Toxicologie Industrielle et Environnementale (2019-2020)*

Thinhinane

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance

À ma mère

Tu m'as donné la vie, la tendresse, et le courage pour réussir. Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte.

À mon père

L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et de mon respect.

À mes très chers frères, je citerai en particulier mon frère, mon idole

SMAIL pour tout ces conseils et son soutien inconditionnel dans les moments importants de ma vie et de ses encouragements m'ont permis d'aller de l'avant et d'atteindre mes objectifs

À mes très chères sœurs et belles sœurs

À mes neveux et nièces

À mon très cher neveu **AKSIL**

À mon meilleur ami **NONOR**

À mes meilleures amies **TAOUS, HANANE** et **AICHA**

À mon binôme **THINHINANE** et à toute sa famille

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

FARIDA

Table des matières

Remercîment	
Dédicaces	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction.....	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
I.1. Pollution	3
I.1.1. Définition de la pollution.....	3
I.1.2. Types de pollution.....	3
I.1.2.1. Pollution de type naturelle	3
I.1.2.2. Pollution de type urbaine.....	3
I.1.2.3. Pollution de type industrielle.....	4
I.1.2.4. Pollution de type agricole.....	5
I.2. Les nappes des eaux souterraines.....	5
I.3. Les eaux de surface.....	6
I.4. Relation eaux surface-eaux souterraines	6
I.5. Vulnérabilité	7
I.5.1. Définition.....	7
I.5.2. Différents types de vulnérabilité	7
I.5.2.1. La vulnérabilité intrinsèque	7
I.5.2.2. La vulnérabilité spécifique	8
I.5.3. Les différentes méthodes d'évaluation la vulnérabilité des eaux souterraines..	8
I.5.3.1. Les méthodes de cartographie à index	8
I.5.3.2. Les modèles de simulation	8
I.5.3.3. Les méthodes statistiques	8
Chapitre II : Matériels et Méthodes	
II.1. Présentation de la zone d'étude.....	11
II.1.1. Situation géographique	11
II.1.1.1. Situation régionale	11
II.1.1.2. Situation géographique de la plaine d'Amizour	11

II.1.2. Caractéristique physique de la région d'étude	12
II.1.2.1. La Géomorphologie	12
II.1.2.2. La géologie.....	13
II.1.2.2.1. Géologie régionale	13
II.1.2.2.1.1. Le domaine interne	13
II.1.2.2.1.1.1. Le socle Kabyle.....	14
II.1.2.2.1.1.2. La dorsale Kabyle.....	14
II.1.2.2.1.2. Domaine des flyschs.....	14
II.1.2.2.1.3. Le domaine externe.....	14
II.1.2.2.2. La géologie locale.....	15
II.1.2.3. Pédologie.....	16
II.1.2.4. Profil en long des cours d'eau	17
II.2. Méthode de prélèvement et échantillonnage.....	19
II.2.1. Lieux et date de prélèvement	20
II.2.2. Matériels utilisés pour la réalisation de notre travail.....	21
II.3. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraine à la pollution (DRASTIC et SINTACS).....	21
II.3.1. Méthode DRASTIC	21
II.3.2. Méthode SINTACS.....	23
II.3.2.1. Système de cotation.....	25
II.3.2.2. Interprétation de l'indice finale de la méthode SINTACS.....	26
II.4. Présentation du logiciel Surfer	27

Chapitre III. Résultats et discussions

III.1. Aperçu climatologique.....	28
III.1.1. Les précipitations.....	28
III.1.1.1. Pluviométrie moyenne interannuelle.....	28
III.1.1.2. Pluviométries moyennes saisonnières.....	29
III.1.1.3. Précipitations annuelles	30
III.1.2. Les températures	32
III.1.2.1. Diagramme Ombrothermique	33
III.1.2.2. Indice d'aridité de De Martonne.....	34
III.1.2.3. Quotient pluviothermique ou climagramme d'Emberger.....	34
III.1.3. Le bilan hydrique.....	35

III.1.3.1. Évapotranspiration	36
III.1.3.2. Ruissellement (R)	38
III.1.3.3. Infiltration (I).....	38
III.1.3.4. Interprétation du bilan hydrique.....	40
III.1.4. Conclusion.....	41
III.2. Interprétation de la carte piézométrique.....	41
III.3.Résultats des analyses physiques des eaux de surface et les eaux souterraines.	43
III.4. Discussions des analyses des paramètres.....	44
III.4.1. Le potentiel hydrogène (pH).....	44
III.4.2. Conductivité électrique (CE).....	45
III.4.3. Total des solides dissous (TDS)	46
III.4.4. La salinité	47
III.4.5. L'oxygène dissous	48
III.5. Interprétations des paramètres et réalisation des cartes thématiques.....	49
III.5.1. Méthode DRASTIC	49
III.5.1.1. Paramètre profondeur de la nappe « D »	49
III.5.1.2. Paramètre de la recharge efficace de l'aquifère « R » :	50
III.5.1.3. Paramètre de la nature des aquifères « A ».....	51
III.5.1.4. Paramètre type du sol « S ».....	51
III.5.1.5. Paramètre topographique « T ».....	52
III.5.1.6. Paramètre impact de la zone non saturée « I »	53
III.5.1.7. Paramètre conductivité hydraulique « C ».....	54
III.5.2. Méthode SINTACS	55
III.5.2.1. Paramètre de profondeur « S »	55
III.5.2.2. Paramètre d'Infiltration « I ».....	56
III.5.2.3. Paramètre de la zone non saturée « N »	57
III.5.2.4. Paramètre de Texture de sol « T »	58
III.5.2.5. Paramètre de Type d'aquifère « A »	69
III.5.2.6. Paramètre de la Conductivité « C ».....	60
III.5.2.7. Paramètre Topographie « S ».....	61
III.5.3. La vulnérabilité de la méthode DRASTIC et SINTACS.....	62
III.5.3.1. La carte de vulnérabilité de DRASTIC.....	62
III.5.3.2. La carte de vulnérabilité de SINTACS.....	64

III.5.3.3. Comparaison de la vulnérabilité de deux méthodes.....	66
Conclusion générale	68
Références bibliographiques	
Annexes	
Résumé	

Liste des figures

Figure 1. Schéma représentatif de la nappe libre et de la nappe captive. (Adaptée d'EC, 2013).....	6
Figure 1. Schéma représentatif des échanges entre les nappes souterraines et les cours d'eau (Winter et al., 1998)	7
Figure 3. Situation géographique de la plaine.....	12
Figure 4. Le sous bassin de la Soummam et ses affluents (Amizour et El kseur) (INC, 1987)	13
Figure 5. Carte lithologique de la plaine d'Amizour (Hassissene, 2000)	16
Figure 6. Le déblai des puits dans la plaine d'Amizour (Février 2020)	17
Figure 7. Profils en long des principaux cours d'eau.....	18
Figure 8. Photographie de l'Oued Soummam et l'Oued El kseur.....	19
Figure 9. Carte de localisation des points de prélèvement	19
Figure 10. Figure 10. Illustration de source des eaux de surfaces et souterraine de la plaine d'Amizour (Février 2020).....	20
Figure 11. Matériels utilisés durant la sortie sur le terrain.....	21
Figure 12. Interface du logiciel Surfer (version 11).	27
Figure 13. Histogramme des Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (P) de la station de Bejaia (1980-2019).....	29
Figure 14. Présentation graphique des précipitations saisonnières moyennes de la station de Bejaia (1980-2019).....	30
Figure 15. Évolution de la pluviométrie annuelle (période : 1980/2019).....	32
Figure 16. Histogramme des températures moyennes mensuelles (T) de la station de Bejaia (1980-2019).....	33
Figure 17. Digramme Ombro-thermique de la station de Bejaia (1980-2019).....	33
Figure 18. Situation de la station de Bejaia sur le climagramme D'EMBERGER.	35
Figure 19. Représentation graphique du bilan hydrique de C.W. Thornthwaite. Station de Bejaia (1980-2019).....	40
Figure 20. Carte piézométrique de la nappe d'Amizour (Février 2020).	42
Figure 21. Carte de répartition spatiale de pH des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Février 2020).....	44
Figure 22. Carte de répartition spatiale de conductivité des eaux souterraines de la plaine.....	45

Figure 23. Carte de répartition spatiale de TDS des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Février 2020).....	46
Figure 24. Carte de répartition spatiale de la salinité des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Février 2020).....	47
Figure 25. Carte de répartition spatiale de l'oxygène dissous des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Février 2020).....	48
Figure 26. Carte du paramètre profondeur de la nappe « D » de la plaine d'Amizour (Février 2020).....	49
Figure 27. Carte du paramètre recharge nette « R » de la plaine d'Amizour.....	50
Figure 28. Carte du paramètre nature de l'Aquifère « A » de la plaine d'Amizour.....	51
Figure 29. Carte du paramètre type du sol « S » de la plaine d'Amizour.....	52
Figure 30. Carte du paramètre topographie « T » de la plaine d'Amizour.....	53
Figure 31. Carte du paramètre impact de la zone non saturée « I » de la plaine d'Amizour.....	54
Figure 32. Carte du paramètre conductivité hydraulique « C » de la plaine d'Amizour.....	55
Figure 33. Carte du Paramètre profondeur des nappes « S » de la plaine d'Amizour (Février 2020).....	56
Figure 34. Carte du Paramètre d'Infiltration « I » de la plaine d'Amizour.....	57
Figure 35. Carte du Paramètre de zone non saturée « N » de la plaine d'Amizour.....	58
Figure 36. Carte du Paramètre de Texture de sol « T » de la plaine d'Amizour.....	59
Figure 37. Carte du Paramètre de Type d'aquifère « A » de la plaine d'Amizour.....	60
Figure 38. Carte du Paramètre de la Conductivité « C » de la plaine d'Amizour.....	61
Figure 39. Carte du Paramètre de la Topographie « S » de la plaine d'Amizour.....	62
Figure 40. Carte de vulnérabilité à la pollution de la plaine d'Amizour par la méthode DRASTIC.....	63
Figure 41. Pourcentage de vulnérabilité à la pollution de la plaine d'Amizour par la méthode DRASTIC.....	63
Figure 42. Carte de vulnérabilité à la pollution de la plaine d'Amizour par la méthode SINTACS.....	65
Figure 43. Pourcentage de vulnérabilité à la pollution de la plaine d'Amizour. Par la méthode SINTACS.....	65
Figure 44. Carte de risque de la plaine d'Amizour (Février 2020).....	67

Liste des tableaux

Tableau I. Les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines (Mardhel, 2010).....	9
Tableau II. L'intérêt hydrogéologique des formations lithologiques de la plaine (Bouguettaya et Bendjedi, 2019).....	16
Tableau III. Des cotations accordées aux paramètres de la méthode DRASTIC. (Lallemand-Barrés, 1994).....	22
Tableau IV. Indices du degré de vulnérabilité.....	23
Tableau V. Poids attribués aux paramètres SINTACS dans les différents scénarios de la méthode (Hamza et al, 2008).....	24
Tableau VI. Cotes attribuées à chaque paramètre de la méthode SINTACS (Zair et Bensalem, 2014).....	25
Tableau VII. Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode SINTACS (Hamza et al, 2008).....	26
Tableau VIII. Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (P) de la station de Bejaia (1980-2019).....	29
Tableau IX. Précipitations saisonnières moyennes de la station de Bejaia (1980-2019).....	30
Tableau X. Le coefficient pluviométrique C_p (période : 1980/2019).....	31
Tableau XI. Températures moyennes mensuelles interannuelles (T) de la station de Bejaia (1980-2019).....	32
Tableau XII. Les différents macroclimats selon De Martonne.....	34
Tableau XIII. Calcul de Q2 de la région de Bejaia.....	35
Tableau XIV. Résultats de l'évapotranspiration de de la station de Bejaia (1980-2019) par la formule (C.W.Thorthwaite 1948).....	37
Tableau XV. Résultats de l'évapotranspiration réelle par la formule « Turc » de de la station de Bejaia (1980-2019).....	37

Tableau XVI. Résultats du ruissellement par la formule de Tixeront-Berkaloff pour la station de Bejaia (1980-2019).....	38
Tableau XVII. Estimation de l'infiltration par la méthode de Thornthwaite pour la station de Bejaia (1980-2019).....	39
Tableau XVIII. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Bejaia (1980-2019).....	39
Tableau XIX. Résultats des analyses physiques des eaux souterraines et de surface.....	43
Tableau XX. Indices de la profondeur «D».....	49
Tableau XXI. Indices de la recharge « R ».....	50
Tableau XXII. Indice de la nature des aquifères « A ».....	51
Tableau XXIII. Indice de type de sol « S ».....	51
Tableau XXIV. Indice de la topographie « T ».....	52
Tableau XXV. Indice de la zone non saturée « I ».....	53
Tableau XXVI. Indice de la conductivité « C ».....	54
Tableau XXVII. L'indice partiel du paramètre « S ».....	55
Tableau XXVIII. L'indice partiel du paramètre « I ».....	56
Tableau XXIX. Indices de la zone non saturée « N ».....	57
Tableau XXX. Indice partiel de paramètre « T ».....	58
Tableau XXXI. Indices de type d'aquifère « A ».....	59
Tableau XXXII. L'indice partiel du paramètre « C ».....	60
Tableau XXXIII. Indice partiel du paramètre « S ».....	61
Tableau XXXIV. Comparaison entre les deux méthodes.....	66

Liste des abréviations

CE : Conductivité électrique.

C° : Degrés Celsius.

DA : déficit agricole.

DO : oxygène dissous.

ETP : Evapotranspiration Potentielle.

ETR : Evapotranspiration Réel.

Exc : Excédent.

m : Mètre.

Max : Maximum.

min : minimum.

Moy : Moyenne.

P : Précipitation.

pH : Potentiel Hydrogène.

R : Ruissellement.

RFU : Réserve Facilement Utilisable.

Sal : salinité.

SIG : Système d'Information géographique

T : Température.

TDS : Total des solides dissous.

INTRODUCTION

L'eau est un élément précieux indispensable à la vie, cette ressource naturelle recouvre les trois quarts de notre planète (**Nehme, 2014**), avec seulement 2.5% d'eau douce.

Dans plusieurs parties du monde, les populations exploitent l'eau souterraine comme elles exploiteraient une mine, c'est-à-dire jusqu'à épuisement de la ressource. Dans ces cas-là, la solution consiste souvent à recourir à des transferts coûteux de gros volumes d'eau sur des grandes distances qui entraînent des gaspillages d'eau et des surcoûts importants (**Margat, 2008**).

La qualité naturelle des eaux souterraines peut être altérée par l'activité humaine ou par les divers éléments dont l'eau se charge au contact des terrains qu'elle rencontre. La détérioration de la qualité de l'eau est appréciée par les mesures des paramètres physico-chimiques (**Beauchamp, 2006**).

La nappe de la plaine d'Amizour est menacée par plusieurs causes : les rejets industriels qui l'entourent, présence des décharges sauvages, les rejets domestiques, l'intensification des activités agricoles par l'utilisation des pesticides et des fongicides. La plaine d'Amizour connaît actuellement une pollution multiple due aux rejets liquides non traités (urbains et industriels) vers l'oued Soummam.

La zone d'étude connaît une intensification des pratiques agricoles, qui a un effet positif sur les rendements agricoles, mais l'utilisation intensive des pesticides va dégrader la qualité des eaux et des sols.

La protection et la préservation de la qualité de l'eau souterraine est de plus en plus importantes du fait que cette ressource, une fois contaminée, devient inappropriée pour la consommation (**Jourda et al., 2007**).

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 des processus naturels et/ou de l'activité anthropique (**Civita, 1994**).

D'après **Albinet et Margat (1970)**, le rôle des cartes de vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine est de 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.

Le but de l'étude de vulnérabilité est d'appréhender quelles zones sont potentiellement vulnérables à la contamination depuis la surface, mais pas de prédire et de caractériser les concentrations des contaminants dans l'eau souterraine. Le risque de pollution ne dépend pas

seulement de la vulnérabilité du milieu, mais également de l'existence réelle et significative d'une charge polluante à la surface du sol (**Margane, 2003**).

L'objectif de cette étude consiste à évaluer la vulnérabilité à la pollution des ressources en eau souterraine des aquifères de la plaine d'Amizour. Plusieurs méthodes ont été développées pour l'évaluation de la vulnérabilité des aquifères. Il s'agit des méthodes DRASTIC, SINTACS, GOD, EPIK...etc.

Pour une meilleure appréciation de cette vulnérabilité, deux méthodes seront adoptées au cours de cette étude, Il s'agit des méthodes DRASTIC et SINTACS du fait du nombre important de paramètres qu'elles possèdent.

Ce mémoire est articulé en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique de la vulnérabilité et différentes sources de pollution des eaux souterraines.

Le deuxième chapitre consiste à décrire la zone d'étude et de présenter la méthodologie du travail que nous avons utilisé.

Le troisième chapitre est consacré à présenter les résultats et la discussion et on terminera par la conclusion générale.

Chapitre I

Synthèse Bibliographique

I.1. Pollution

I.1.1. Définition de la pollution:

La pollution peut être définie comme étant la libération dans l'environnement de toute substance, de toute énergie ou de tout organisme susceptibles d'avoir sur lui des effets nocifs immédiats ou à long terme. À l'origine, on qualifiait de pollution les saletés inesthétiques ou les dommages visibles causés à l'environnement par le rejet inconsidéré de substances diverses (**Howard et Regier, 2006**).

La pollution de l'eau est causée par la décharge d'énergie ou de matières qui dégradent la qualité de l'eau pour les humains, la faune et la flore. La pollution affecte les sources d'eau intérieures comme les lacs, les rivières et les eaux souterraines, ainsi que les eaux maritimes côtières (**Anthony, 2006**).

I.1.2. Types de pollution:

Dans le monde entier, les aquifères sont confrontés à un risque croissant de pollution avec l'urbanisation, le développement industriel, les activités agricoles.

I.1.2.1. Pollution de type naturelle :

Parmi les pollutions d'origine naturelle, une double distinction ; d'abord la pollution physique, ensuite les pollutions biologiques et biochimiques. La pollution naturelle physique est celle qui résulte de l'entraînement en suspension d'éléments minéraux menus : sable fin, limons, argiles, lors de pluies violentes ou de crues abondantes. Les pollutions naturelles biologiques et biochimiques ont une origine commune : les manifestations de la vie, végétale et animale.

Tous les êtres vivants abandonnent des éléments organiques. Ces résidus sont abandonnés sur le sol ou bien sont enfouis dans le sol ou bien encore sont entraînés par le ruissellement et ils finissent par gagner les cours d'Eau superficiels ou les circulations aquifères souterraines, après avoir subi des modifications physiques, chimiques ou biologiques (**Chartier, 1974**).

I.1.2.2. Pollution de type urbaine:

L'urbanisation et son impact environnemental est une problématique majeure dans notre civilisation industrielle en perpétuelle croissance. L'eau souterraine est ainsi une des nombreuses ressources naturelles qui est systématiquement menacée par le développement urbain et les activités polluantes qui y sont associées (**Ducommun, 2010**).

La forte concentration de population dans des zones localisées augmente considérablement la charge de la pollution, due aux rejets d'eaux usées et d'élimination des déchets solides et donc les risques de pollution des eaux souterraines. Les populations urbaines génèrent d'énormes

volumes d'eaux usées et rejettent de grandes quantités de déchets solides et liquides tous les jours contenant des matières plastiques, des produits chimiques, de la graisse et de l'huile, des métaux, verre, papier, déchets organiques (**Vaessen et Brentführer, 2015**).

Les risques de pollution apparaissent à la construction des réseaux routiers puis à leur exploitation (salage en hiver, hydrocarbures, métaux lourds libérés par les véhicules, substances dangereuses échappées par accident...). En ville, on trouve, en plus des polluants de la voirie, la contamination possible des nappes par les eaux usées (raccordement incomplet ou défectueux, mauvais état des réseaux, surcharge ou mauvais fonctionnement des Stations d'épuration, en particulier absence de traitement tertiaire).

L'imperméabilisation des surfaces (routes, rues, parkings, toits) produit une forte quantité d'eau de ruissellement chargée en produits polluants divers (hydrocarbures, déjections d'animaux...) (**Beauchamp, 2006**).

On distingue deux types d'eaux usées domestiques : les eaux de lavage ou eaux ménagères, qui proviennent des salles de bain et des cuisines et qui sont généralement chargées de graisses, de débris organiques, de détergents, de solvants; les eaux vannes, qui viennent des toilettes et sont chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

Dans le cas d'un assainissement, collectif ou individuel, défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux vannes et les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergents, solvants, antibiotiques, micro-organismes...). Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçue ou mal dimensionnée, les stations d'épuration urbaines surchargées... Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme (centre d'enfouissement technique) libèrent également des lixiviats riches en polluants. (**Beauchamp, 2006**).

I.1.2.3. Pollution de type industrielle:

L'industrie moderne est apparue dans le monde il y a deux siècles environ.

L'accroissement des déchets solides et liquides est étroitement lié à ce développement économique. En effet, ce dernier entraîne des impacts négatifs sur l'environnement et l'économie de beaucoup de pays. La biodisponibilité, toxicité et mobilité de métaux lourds dans les sols sont en grande partie déterminées par leur distribution cinétique entre phase liquide et solide et entre autres les composants de la phase solide (**Han et al., 2001**).

Les activités humaines telles que les effluents industriels et municipaux ont alors augmenté le flux de métaux lourds dans les eaux souterraines et de surface (**Khelfaoui et al., 2012**).

Aujourd'hui, la mauvaise gestion des sites industriels a pour conséquences des problèmes de santé publique et d'aménagement du territoire (**Lemière et al., 2001**).

Les polluants d'origine industrielle sont très variés selon le type d'activité: substances organiques banales, produits organiques de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux, métaux lourds, Un cas particulier est celui des exploitations minières. L'extraction des granulats en plaine alluviale met en contact l'eau de la nappe avec les polluants éventuels (**Beauchamp, 2006**).

Les eaux industrielles des industries alimentaires, des industries des cuirs et peaux, des industries textiles, etc. contiennent des matières en suspension très fermentescibles qui nécessitent un traitement biologique pour pallier un développement microbien intense et la raréfaction de l'Oxygène (**Chartier, 1974**).

I.1.2.4. Pollution de type agricole :

La pollution par des produits d'origine agricole affecte les eaux superficielles et les eaux souterraines ; elle s'accuse, d'ailleurs, avec l'emploi généralisé et intensif des engrais chimiques et des pesticides. Les engrais chimiques (les principaux étant les nitrates, les chlorures de potassium, les phosphates et les superphosphates), polluent les nappes par entraînement partiel lors de l'infiltration des pluies et des eaux d'arrosage (**Chartier, 1974**).

L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes détruit la vie dans les rivières et rend impropres à la consommation humaine, et parfois animale, les eaux superficielles et souterraines (**Beauchamp, 2006**).

I.2. Les nappes des eaux souterraines:

Une nappe est l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique (**Margat et Castany, 1977**).

Les nappes d'eau souterraines peuvent être de différents types : les nappes libres et les nappes captives.

- Les nappes libres : sont les premières nappes rencontrées dans un sous sol perméable. Elles comprennent la nappe phréatique peu profonde atteinte par les puits et forages de particuliers.
- Les nappes captives : Dans les nappes captives, la pression est supérieure à la pression atmosphérique, la surface piézométrique est donc située au-dessus du toit de la nappe.

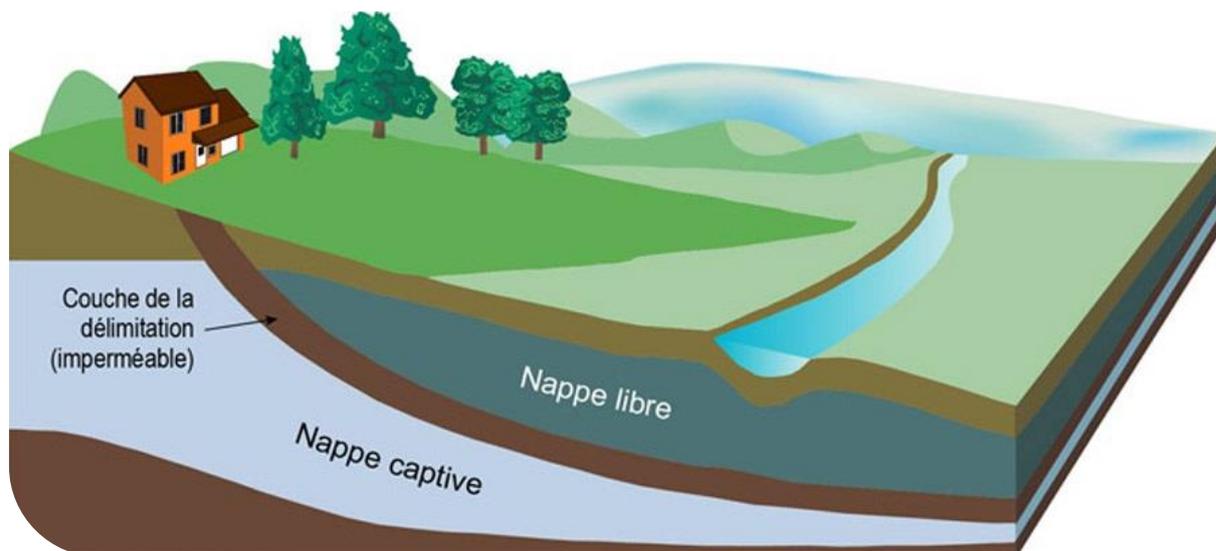


Figure 1. Schéma représentatif de la nappe libre et de la nappe captive.

(Adaptée d'EC, 2013)

I.3. Les eaux de surface :

L'eau de surface est de l'eau qui s'accumule sur le sol ou dans un cours d'eau, dans le lit d'une rivière, d'un lac, d'une zone humide, d'une mer ou d'un océan. Son degré de pollution est mesuré par la qualité de l'eau recueillie.

La pollution d'une eau superficielle est la dégradation de sa qualité en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Les effets indésirables de ce phénomène sur les organismes vivants ont fait l'objet de nombreux travaux (Kpoda *et al.*, 2013).

Cette pollution provient de plusieurs sources d'origine anthropique (Mekhalif, 2009) les principales sont :

- Urbaines (activités domestiques ; eaux d'égout, eaux de cuisine...)
- Agricoles (engrais, pesticides)
- Industrielles (agroalimentaire, chimie-pharmacie, pétrochimie, raffinage...).

I.4. Relation eaux surface-eaux souterraines :

Eaux souterraines et eaux de surface sont deux états de la ressource en eau, deux phases du cycle de l'eau. Elles présentent des relations et une interdépendance hydrologique si étroite qu'en fait toutes deux constituent une ressource unique. (Castany, 1965)

La relation nappe-rivière se définit comme un échange d'eau dans un sens ou dans l'autre entre une nappe d'eau souterraine et un cours d'eau. Suivant le niveau de la ligne d'eau, et les saisons, la nappe alimente le cours d'eau ou est alimentée par celui-ci notamment lors des inondations (Vernoux *et al.*, en 2011).

Pour les eaux souterraines, il a été mis en évidence la présence, sous les alluvions, d'un réservoir s'étalant de Tazmalt à Sidi-Aich et de Sidi-Aich à Bejaia. L'alimentation des deux nappes se fait par l'oued Sahel, l'oued Soummam, leurs affluents et les précipitations ainsi que les affluents miocènes. En ce qui concerne les ressources superficielles, le bassin-versant de l'oued Soummam est entaillé de nombreux cours d'eaux, dont le principal est l'oued Soummam avec des débits qui montrent de grandes irrégularités inter mensuelles et saisonnières. À son embouchure, il présente un apport annuel moyen de 733 m³/an (**Mouni et al., 2009**).

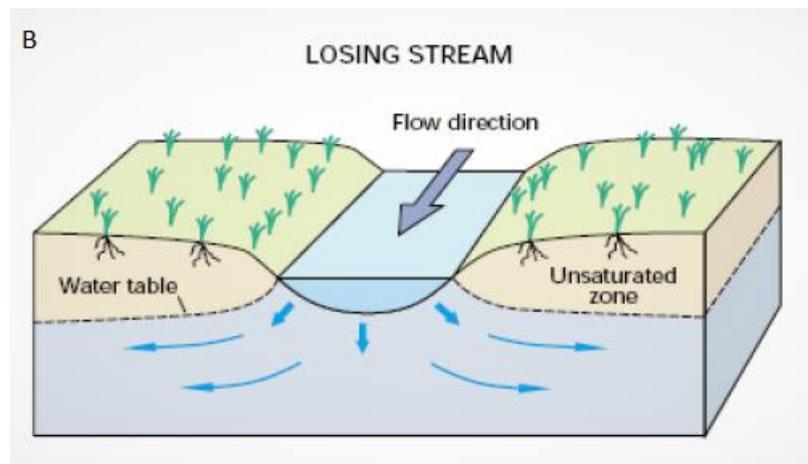


Figure 2. Schéma représentatif des échanges entre les nappes souterraines et les cours d'eau (**Winter et al., 1998**).

I.5. Vulnérabilité :

I.5.1. Définition :

La vulnérabilité est représentée par la capacité donnée à l'eau située en surface de rejoindre le milieu souterrain saturé en eau. La notion de vulnérabilité repose sur l'idée que le milieu physique en relation avec la nappe d'eau souterraine procure un degré plus ou moins élevé de protection vis-à-vis des pollutions suivant les caractéristiques de ce milieu (**Schnebelen et al., 2002**).

I.5.2. Différents types de vulnérabilité :

En 1993, le comité des techniques pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines du National Research Council (US) différenciait deux principaux types de vulnérabilité (**Schnebelen et al., 2002**) :

I.5.2.1. La vulnérabilité intrinsèque : est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines (**Mardhel et Gravier , 2006**).

Est liée aux attributs hydrologiques, géologiques et hydrogéologiques d'une unité spatiale. Elle est indépendante du type et de la durée de la contamination potentielle (indépendante du scénario de contamination). Le résultat est une carte de vulnérabilité intrinsèque, basée uniquement sur les propriétés du sol et du sous-sol de l'unité spatiale (**Ducommun, 2010**)

I.5.2.2. La vulnérabilité spécifique : est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque (**Mardhel et Gravier, 2006**).

I.5.3. Les différentes méthodes d'évaluation la vulnérabilité des eaux souterraines :

Il existe trois grandes catégories de méthodes permettant de caractériser la vulnérabilité des eaux souterraines :

I.5.3.1. Les méthodes de cartographie à index :

Elles sont basées sur la combinaison de plusieurs cartes illustrant chacune un paramètre (sols, géologie, hydrogéologie, ...).

Le principe consiste à (**Wanko, 2016**):

- ✓ sélectionner des critères/paramètres considérés représentatifs pour illustrer la vulnérabilité des eaux souterraines,
- ✓ subdiviser chaque critère en intervalles discrétisés et hiérarchisés,
- ✓ attribuer une valeur à chaque intervalle, reflétant le degré de sensibilité relatif à une contamination.

I.5.3.2. Les modèles de simulation : ils consistent à trouver une solution numérique à des équations mathématiques représentant le processus de transfert de contaminants (**Schnebelen et al., 2002**). Ils donnent une image de vulnérabilité spécifique de la nappe.

I.5.3.3. Les 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 et Gravier, 2006**).

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I. Les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines (Mardhel, 2010).

Méthodes	Auteurs	Définitions	Critères
DRASTIC	Aller <i>et al.</i> , 1987	a été mise au point par l'EPA (Environmental Protection Agency) aux Etats-Unis en 1985 ; afin d'estimer le potentiel de pollution des eaux souterraines (Schnebelen <i>et al.</i> , 2002). Elle permet d'évaluer la vulnérabilité verticale en se basant sur sept critères.	D : distance à la nappe. R : Recharge A : nature de la zone saturée S : nature du sol T : topographie, pente en % I : nature de la zone non saturée C : perméabilité de l'aquifère
SINTACS	Civita., 1991	Elle est dérivée de la méthode DRASTIC, 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 <i>et al.</i> , 2000).	S : profondeur de la nappe I : infiltration N : fonction de la zone non saturée T : type de sol A : type de l'aquifère C :conductivité hydraulique S : topographie
EPIK	Doerfliger <i>et al.</i> , 1996	C'est la première méthode dédiée spécifiquement aux aquifères karstiques sensus-stricto. La méthode est systématique puisqu'elle propose une analyse détaillée du bassin d'alimentation de la source karstique découpé en un maillage régulier.	E :Epikarst P :couverture protectrice: sol I :conditions d'infiltration K :développement du réseau karstique
RISKE	Petelet G <i>et al.</i> , 2000	Cette méthode s'inspire de la méthode suisse EPIK en raison de sa spécificité karstique. Elle permet de calculer l'indice global de vulnérabilité (Ig) en chaque maille de la zone d'étude.	R : Roche aquifère I : Infiltration S : Sol K : Karstification, E : Epikarst
GOD	Foster., 1987	elle présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée.	G : Type de nappe O : Type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques D : Profondeur de la nappe
PI	Goldsheider <i>et al.</i> , 2002	La méthode PI se base sur l'estimation de la fonction protectrice (P) des couches sus-jacentes à l'aquifère et les conditions d'infiltration (I) de l'eau dans le système.	P : couverture protectrice I : condition d'infiltration
DISCO	Pochon <i>et Zwahlen</i> ,	La méthode a pour but de définir les zones de protection en tenant	DIS : discontinuité CO :couverture

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

	2003	compte de l'hétérogénéité du milieu. Elle est basée sur une évaluation de la vulnérabilité intrinsèque prenant en considération les facteurs géologiques et hydrogéologiques conditionnant le fonctionnement de l'aquifère fissuré et le transport des polluants.	protectrice
GALDIT	Michaud et al. 2003	est une approche de cartographie à index simple d'utilisation, elle nécessite peu de données. La détermination de l'indice de vulnérabilité des eaux souterraines par rapport à l'intrusion saline est fondée sur la combinaison de six paramètres pouvant influencer l'intrusion marine potentielle (al Karkouri et al, 2014).	<p>G : Type d'aquifère.</p> <p>A : La conductivité hydraulique de la couche aquifère</p> <p>L : La Profondeur de la nappe en dessous du niveau de la mer</p> <p>D : Distance du rivage</p> <p>I : l'impact de l'intrusion d'eau de mer</p> <p>T :L'épaisseur de la couche aquifère.</p>

Chapitre II

Matériels Et Méthodes

II. Présentation de la zone d'étude :

II.1. Situation géographique :

II.1.1. Situation régionale :

Amizour, ou Oued Amizour ou Ighzer Oumizour ou même Colmar, commune et daïra de la wilaya de Bejaia.

Amizour s'étend sur 109.36 km², totalise plus de 40256 habitants au dernier recensement de l'année 2018, réparties sur 75 villages, dont les plus peuplés sont ceux de Boukhalfa et Ighil Ialouanene en plus de la ville d'Amizour. Elle arrive en troisième position après Bejaïa et Akbou. la région d'Amizour est située à 25 km au Sud-ouest de Bejaïa en léger retrait des voies de communication reliant Béjaïa, Jijel, et Alger, et est traversée par la RN75, et à 232 km à l'Est d'Alger, coordonnées 36° 39'N ,4° 54'E.

Amizour est limitée coté:

- Nord-ouest par la commune d'El Kseur ;
- Nord-est par la commune de Oued-Ghir et Tala Hamza ;
- Sud par la commune de Barbacha ;
- Est par la commune de Boukhelifa ;
- Ouest par la commune de Semaoun.

Le territoire de la commune d'Amizour est caractérisé par deux chaînes de montagnes bien distinctes au-dessous de qu'elles sont accrochées un grand nombre de villages.

La première chaîne se situe dans l'Est d'Amizour. Elle suit la route nationale desservant Amizour à Bejaia.

La deuxième chaîne forme la partie Ouest. Elle est constituée de sommets aplatis. Au-dessous de ces montagnes, une vaste plaine très fertile, s'étale au côté de l'Oued Soummam.

II.1.2. Situation géographique de la plaine d'Amizour :

La plaine d'Amizour se situe sur la rive droite de la Soummam, limitée par les montagnes de Barbacha et le massif d'Oued Amizour au Nord-ouest, et par la commune d'Oued Ghir, Tala Hamza au Nord-est, et par les deux communes de Boukhelifa et Semaoun respectivement à l'Est et l'Ouest. Son territoire est divisé en deux parties : l'une est située sur une plaine et l'autre en zone montagneuse. Cette dernière occupe plus de 75 % du territoire de la commune (Fig.3).

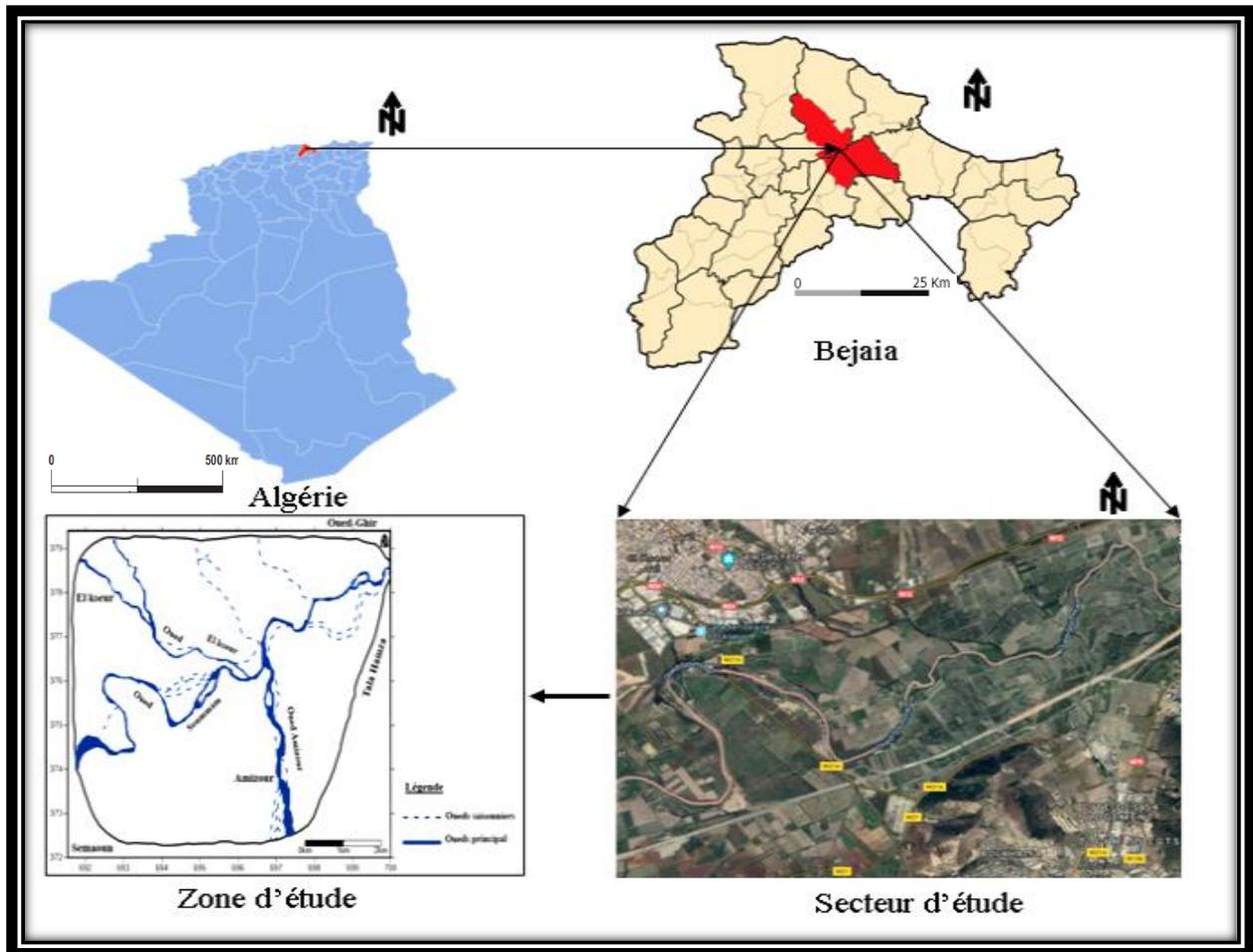


Figure 3. Situation géographique de la plaine.

II.2. Caractéristique physique de la région d'étude :

II.2.1. La Géomorphologie :

Par simplification, la description de la répartition des sols se fait en fonction de leur position géomorphologique et de la géologie sur laquelle ils reposent. Un découpage géomorphologique simplifié permet de distinguer les plateaux ; les pentes; les vallées (**ISL et CALLIGEE, 2007**).

Les indices morpho métriques ont été les toutes premières mesures créées en géomorphologie pour comparer les caractéristiques morphologiques des bassins versants et pour quantifier leur comportement hydrologique potentiel (**Douvinet et al., 2008**).

Le bassin versant de la Soummam est caractérisé par un relief hétérogène à dominance montagneuse. Il peut être subdivisé en trois principales unités géomorphologiques bien distinctes ; le plateau de Bouira, le plateau de Sétif et la vallée du Sahel-Soummam (**Ider, 2004**).

La vallée de la Soummam est caractérisée par trois ensembles géomorphologiques (Zerourou, 1990) : L'ensemble géomorphologique septentrional, L'ensemble méridional et l'ensemble géomorphologique comprenant la plaine de l'oued Soummam, les vallées de ces principaux affluents et les reliefs intermédiaires bordant la plaine (Fig.4).

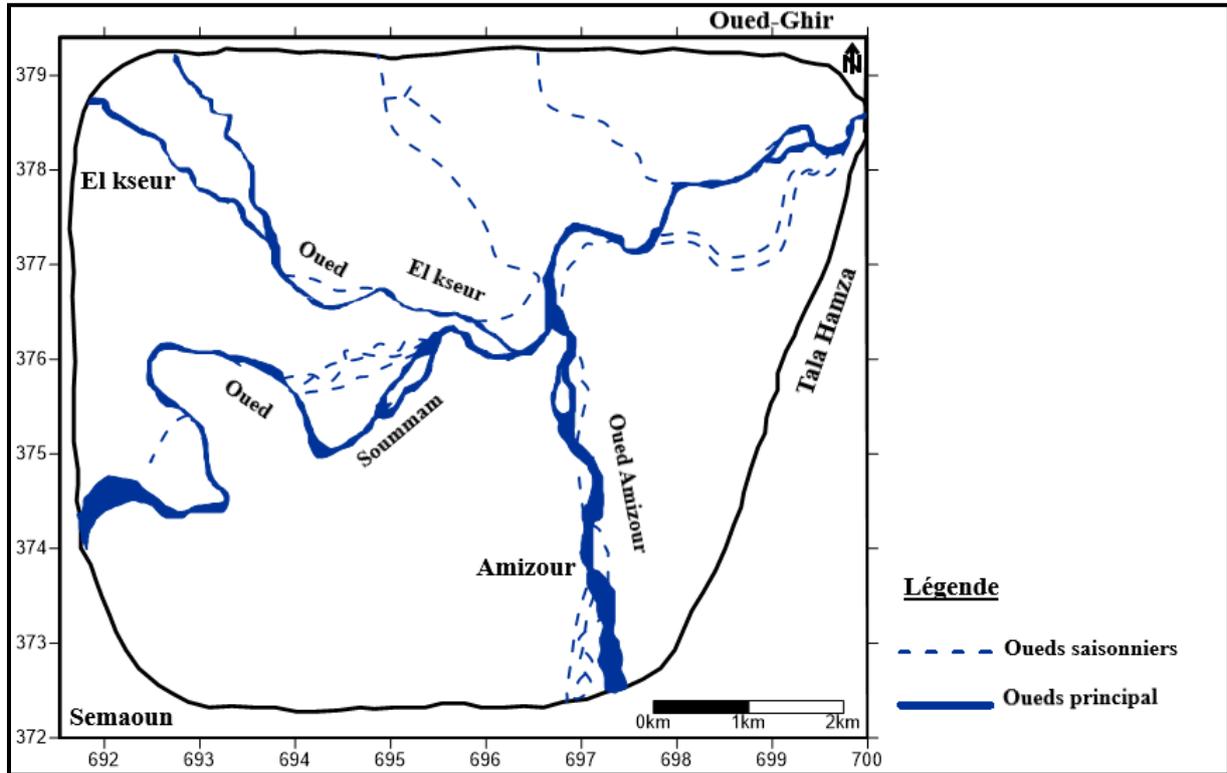


Figure 4. Le sous bassin de la Soummam et ses affluents (Amizour et El kseur) (INC, 1987).

II.2.2. La géologie :

II.2.2.1. Géologie régionale :

La chaîne alpine d'Algérie orientale est constituée par la superposition de plusieurs types de série hétéropiques, définissables en général du Trias au Priabonien parfois adhérentes à un socle paléozoïque ou ancien (Vila, 1980). Dans ce dernier cas, il est de nature cristallophyllienne complexe.

La chaîne alpine d'Algérie est caractérisée par des structures en nappes à vergence sud dominante. Ces nappes sont issues de trois domaines paléogéographiques avec du nord vers le Sud (Belmedrek, 2001) :

II.2.2.1.1. Le domaine interne : Il regroupe les massifs Kabyles à matériel antécambrien et paléozoïque, c'est le socle Kabyle, et une couverture calcaire qui constitue la chaîne calcaire de (Glangeaud, 1932) appelée par la suite « Dorsale Kabyle » par (Raoult, 1974).

II.2.2.1.1.1. Le socle Kabyle : Une grande partie du socle affleure en Petite Kabylie. Il est caractérisé par des terrains métamorphiques de nature variée (**Vila, 1980**). Il comprend à sa base, des gneiss à intercalations de marbres et d'amphibolites, sur lesquels se déposent des phyllades et des porphyroïdes ocellés (**Wildi, 1983**). Les formations du socle Kabyle au Nord du Sidi Marouf et du Kef Derdja sont en contact anormal avec les flyschs.

II.2.2.1.1.2. La dorsale Kabyle : Appelée aussi la chaîne calcaire, elle se situe (**Raoult, 1974 ; Bouillin, 1977**) au Sud du socle Kabyle formant leur couverture. Elle est caractérisée par ses formations surtout carbonatées dont l'âge allant du permo-trias au lutétien (**Bouillin, 1977**) et recouvert par des terrains grésos-micacés d'âge priabonien à oligocène supérieur.

- **Dorsale interne** : Sur un substratum constitué de phyllades et de rares affleurements paléozoïques, existent un Permo-Trias gréseux, rouge, un Lias carbonaté, un Jurassique supérieur et un Crétacé carbonaté et noduleux comportant d'importantes lacunes et d'épaisseur réduite, un Tertiaire transgressif d'abord néritique jusqu'au Lutétien, puis un Oligo-Miocène gréseux et micacé.
- **Dorsale Médiane** Elle correspond à une série condensée continue du Crétacé inférieur à l'Eocène avec des faciès marneux et calcaréo-marneux pélagiques. Son substratum est analogue à celui de la dorsale interne.
- **Dorsale externe** Définie par un Lias particulier souvent à Ammonites et Rhychonelles puis par des séries conglomératiques du Dogger – Malm se terminant par des Radiolaires, gréseuses du Crétacé inférieur et conglomératiques du Sénonien au Lutétien. La Dorsale correspond à un ensemble de lames et d'écailles empilés qui sont chevauchés par le socle Kabyle (**Raoult, 1974 ; Vila, 1980**).

II.2.2.1.2. Domaine des flyschs : Par rapport aux zones externes, les flyschs occupent une position allochtone et reposent en différents modes sur les zones internes (**Vila, 1980**). Les travaux de **Gélard et Raoult (1969)** ont permis de signaler deux grands types de flysch gréseux, respectivement, le flysch maurétanien, et le flysch massylien. A ces deux types de flyschs s'ajoute le flysch Numidien.

II.2.2.1.3. Le domaine externe : Ce sont des formations définies par **Vila (1980)** comme étant des séries épaisses à dominante marneuse issues du sillon tellien. Les phases tectoniques tertiaires (**Wildi, 1983**) ont fractionné les séries telliennes en trois grandes entités, agencées du Nord vers le Sud (**Vila, 1980**) comme suite :

- **Les séries ultra-telliennes** : Elles comportent un crétacé marneux et micritique clair, sur lesquels se dépose l'éocène à trois termes : marnes sombres à boules jaunes, calcaires à silex noirs et des marnes sombres.
- **Les séries telliennes** :(sens strict). Elles comprennent globalement, un Jurassique essentiellement carbonaté, suivi par des marnes pélitiques gréseuses d'âge Crétacé inférieur, qui, deviennent exclusivement marneuses et marno-calcaires jusqu'à l'Eocène supérieur.
- **Les séries péni-telliennes** : Le terme péni-tellien a été créé pour désigner une série allochtone du versant nord du Djebel Zouaoui, dans le massif du Chettaba, près de Constantine (**Vila, 1980**). Les séries présentent (**Wildi, 1983**), du Lias au Sénonien supérieur, des alternances de faciès telliens typiques et de faciès rappelant ceux des domaines néritiques sétifiens ou constantinois.

II.2.2.2. La géologie locale :

La vallée de la Soummam présente une grande complexité due à la superposition d'ensembles géologiques appartenant à deux domaines (interne et externe) qui caractérisent la géologie du Nord Algérien (**Maza et al., 2008**).

Le bassin versant de l'oued Soummam est dans ses grandes lignes constitué, sur la rive gauche, par de l'oligocène traversé par des formations du crétacé inférieur ; du miocène inférieur apparaît dans la partie aval, en bordure de l'oued de terrasses alluviales importantes tapissent en générale pied des pentes sauf dans la région de Sidi-Aïch où le crétacé apparaît jusque dans le lit.

La rive droite est en majeur parti formé de crétacé inférieur moyen et supérieur ; les terrasses alluviales sont beaucoup plus restreintes (**Mouni et al., 2009**).

Le massif volcano-plutonique de Oued Amizour fait partie des roches magmatiques tertiaires du pourtour méditerranéen ou plus précisément des Maghrébides. Il se situe entre deux grands domaines géologiques du Nord algérien. Le domaine interne au Nord représenté par le socle kabyle et les flyschs allochtones et le domaine externe au Sud, représenté par les unités telliennes (**Abderrahmane et Benali, 2011**).

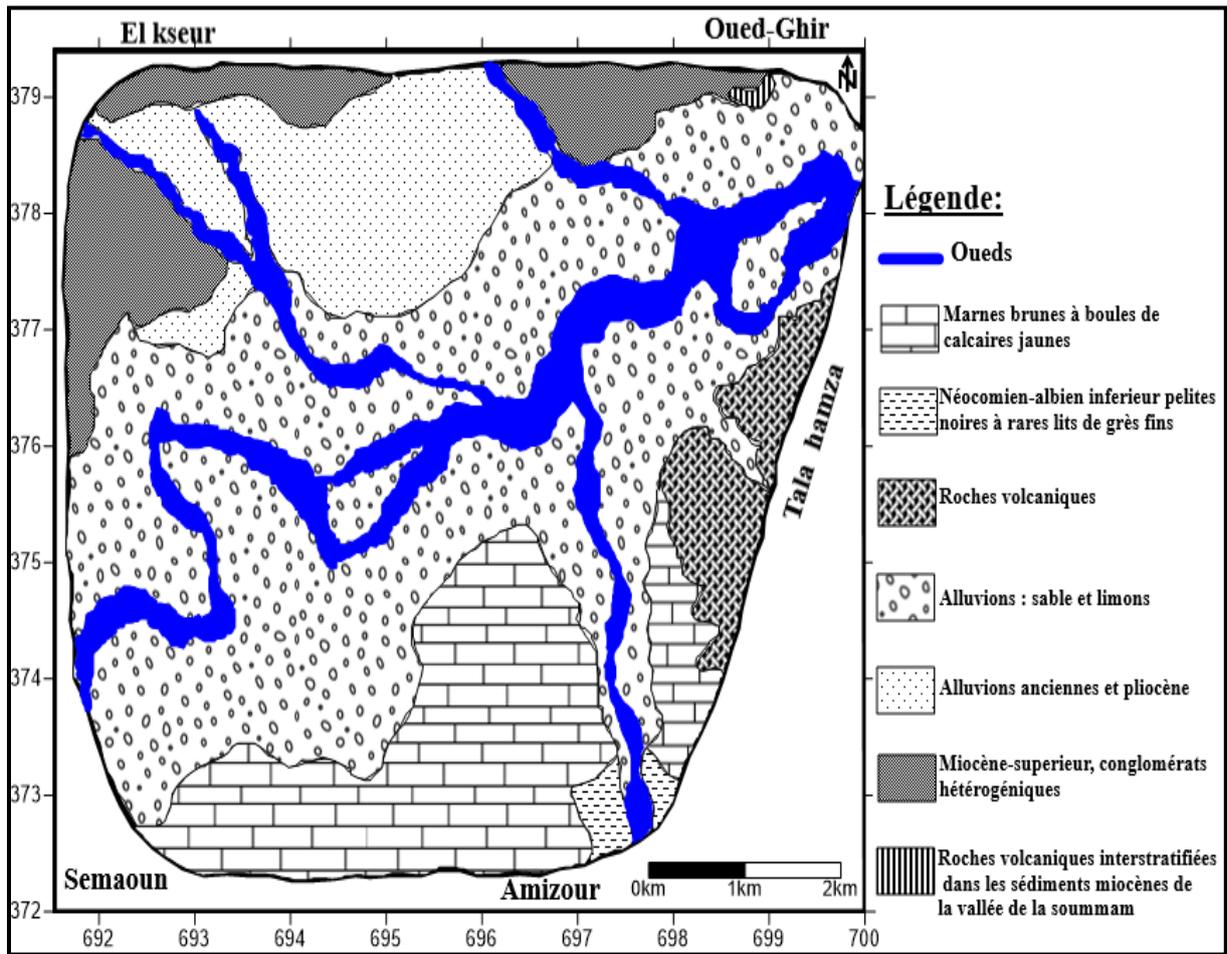


Figure 5. Carte géologique de la plaine d’Amizour (Hassissene, 2000).

II.2.3. Pédologie

La vallée de la Soummam (Fig.5) est composée d’alluvions d’une formation constituée de galets et de graviers le plus souvent gréseux et de sable attribué au miocène. Le miocène grossier atteint 10 à 15 m d’épaisseurs à Ilmatten, 10 à 25 m dans la région d’El Kseur à laquelle appartient la zone étudiée (Coyen et Bellier, 1973).

Dans la zone amont à Sidi Aïch et à oued Amizour, la nappe est libre ou semi captive, dans la zone avale à l’embouchure d’oued Amizour, la nappe est mise en charge par des limons dont l’épaisseur croit d’amont en aval (Dahdouh et Boussekine, 2012).

Tableau II. L’intérêt hydrogéologique des formations lithologiques de la plaine (Bouguetaya et Bendjedi, 2019).

Location	La zone étudiée	Nord et sud de terrain
Formation	Sable, limons et gravier	Milieu argileux et grès
Epaisseur	+10 m	+15 m
Intérêt hydrogéologique	Perméable	Semi-perméable



Figure 6. Le déblai des puits dans la plaine d'Amizour (Février 2020).

II.2.4. Profil en long des cours d'eau :

La Pente moyenne du cours d'eau principal détermine si les cours d'eaux sont en phase érosive ou sédimentaire.

Le profil en long d'un cours d'eau permet de définir sa pente moyenne.

Le profil en long est donné par le graphique de la distance en fonction du dénivelé (**Léopold et al., 1995**).

D'après le profil en long les Figure 7 et 8 qui montre des pentes moyennes au niveau des principaux oueds (Soummam, El kseur et Amizour). On observe que ces pentes diminuent progressivement de l'amont pour se réduire au niveau de la plaine (**Bouguettaya et Bendjedi, 2019**).

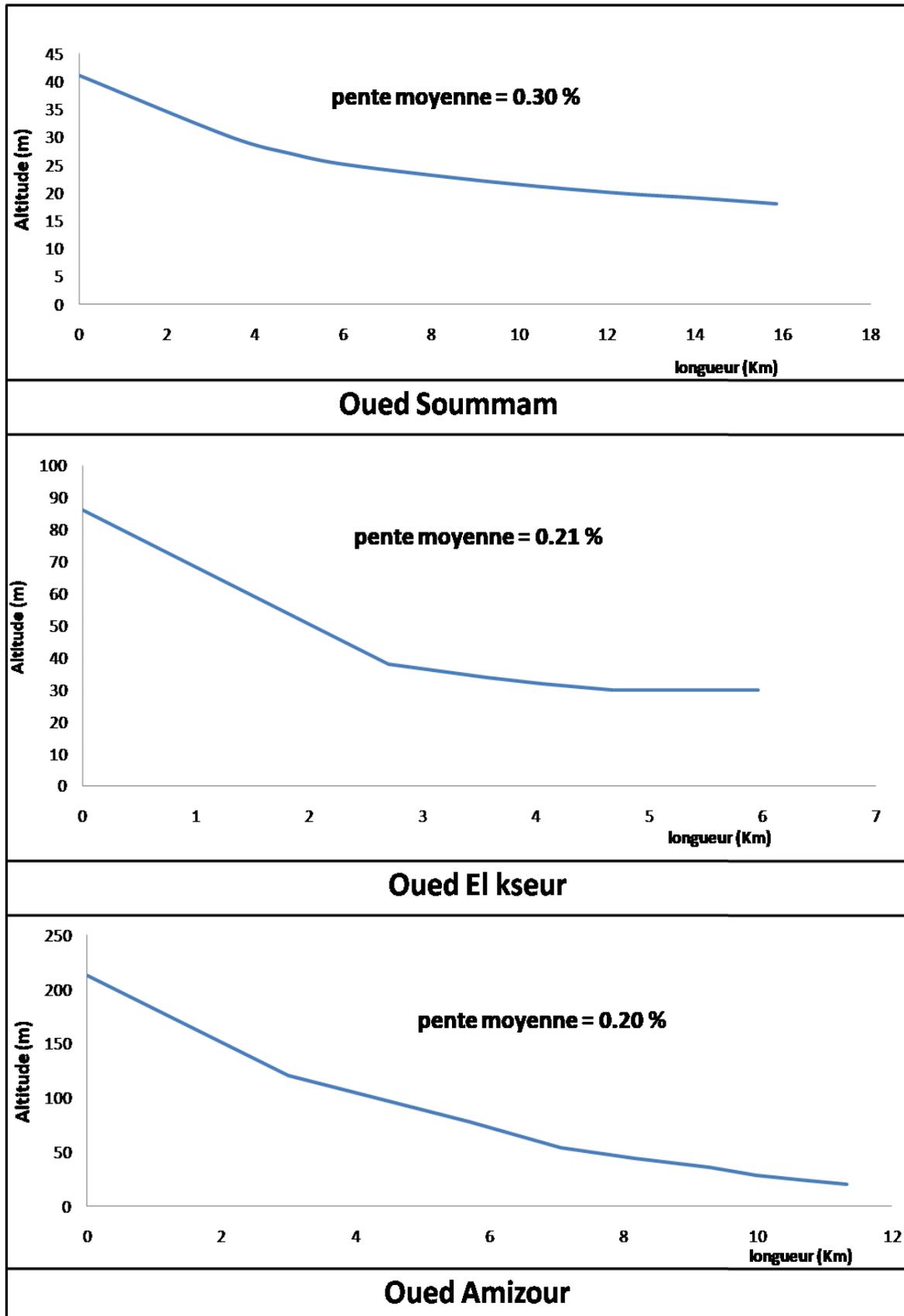


Figure 7. Profils en long des principaux cours d'eau (Bouguettaya et Bendjedi, 2019).

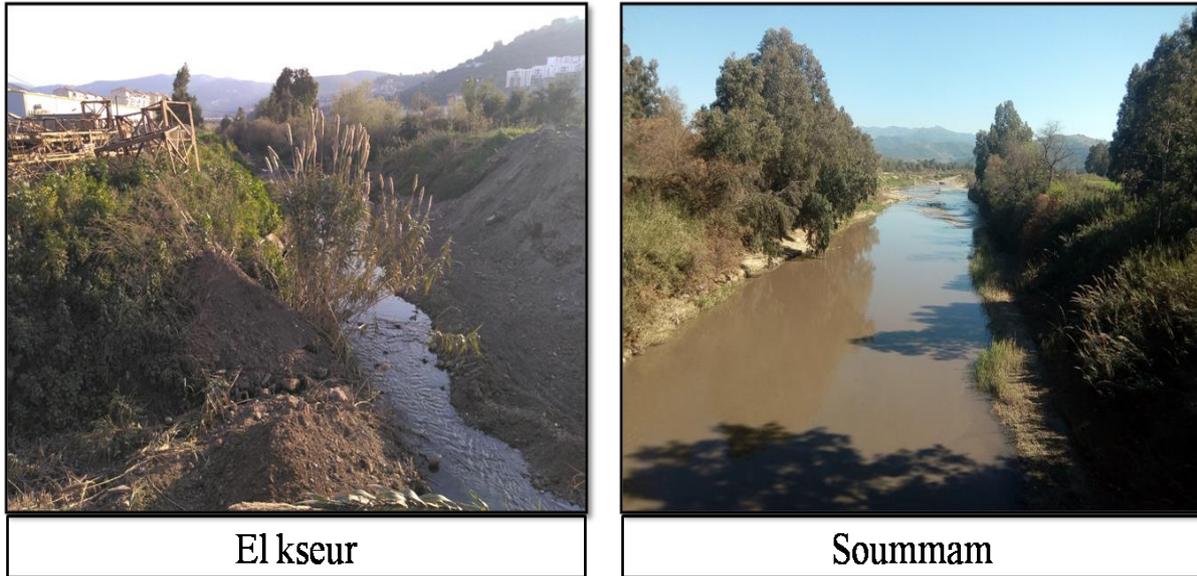


Figure 8. Photographie de l'Oued Soummam et l'Oued El kseur.

II.2. Méthode de prélèvement et échantillonnage :

Pour évaluer la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraine dans la plaine d'Amizour nous avons prélevé 36 échantillons d'eau dans différents site de la plaine d'étude (Fig.9)

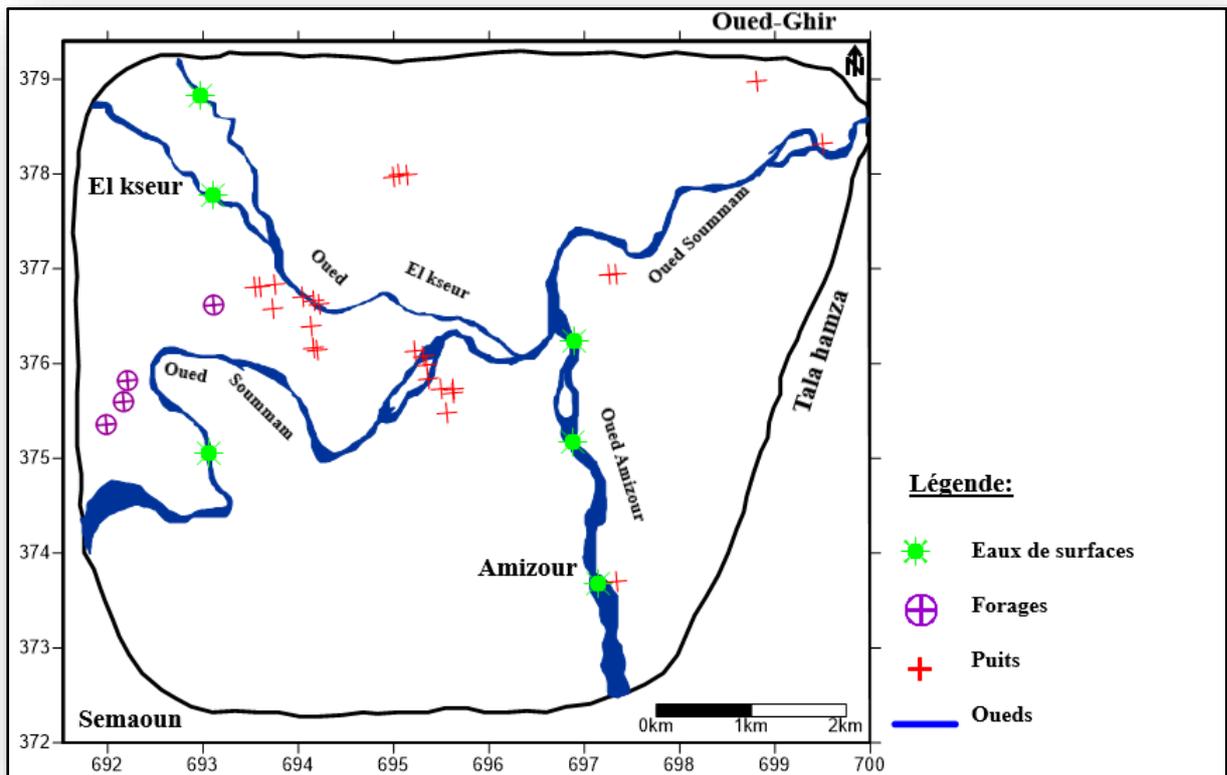


Figure 9. Carte de localisation des points de prélèvement.

II.2.1. Lieux et date de prélèvement :

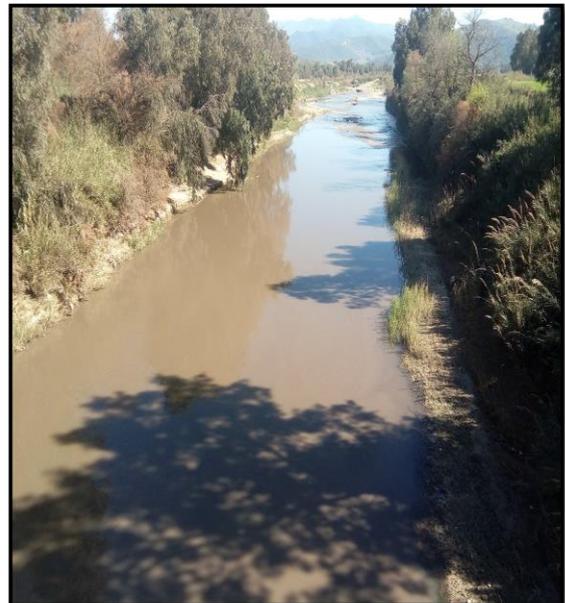
Le choix du site de prélèvement des échantillons a reposé, sur la facilité d'accès, l'origine et la répartition des points d'eau dans la plaine. Cette partie à été consacrée pour les analyses physico-chimiques (ph, salinité, conductivité, oxygène dissous, TDS)

Nous avons prélevé 30 échantillons pour les eaux souterraines (26 puits et 4 forages).et 6 échantillons pour les eaux de surfaces (Oued Soummam, Oued Amizour, Oued El kseur) (Fig.10)

La campagne de prélèvements d'échantillons a été effectuée à la période des hautes eaux le 21 février 2020.



Amizour



Soummam

Figure 10. Illustration de source des eaux de surfaces et souterraine de la plaine d'Amizour (Février 2020)

II.2.2. Matériels utilisés pour la réalisation de notre travail:

- ✓ Un GPS (Global Positionnement System) : pour prendre des coordonnées des points de prélèvement.
- ✓ Un multi-paramètre de terrain : pour déterminer les paramètres physico-chimique
- ✓ Un appareil photo numérique pour prise de différents vue.
- ✓ Des flacons.
- ✓ Un récipient.



GPS



multi-paramètre

Figure 11. Matériels utilisés durant la sortie sur le terrain.

II.3. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraine à la pollution (DRASTIC et SINTACS):

II.3.1. Méthode DRASTIC :

C'est une méthode d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines, qui prend en compte la majeure partie des facteurs hydrogéologiques qui influencent et contrôlent l'écoulement des eaux souterraines indépendamment du type de polluant (Mohamed, 2001).

La méthode DRASTIC est une approche empirique qui repose sur les hypothèses suivantes : le territoire d'application couvre plus de 0,4 km², le contaminant se propage dans le milieu à partir de la surface du sol par infiltration des précipitations et le type de contaminant

MATERIELS ET METHODES

n'intervient pas sur le degré de vulnérabilité. La méthode est basée sur l'évaluation de sept paramètres :

- Depth of water (**D**): profondeur du plan d'eau.
- Net Recharge (**R**): recharge efficace de l'aquifère.
- Aquifer media (**A**): lithologie de l'aquifère.
- Soil media (**S**): type de sol.
- Topography (**T**): pente topographique du terrain.
- Impact of Vadose Zone (**I**): impact de la zone vadose (zone non saturée).
- Hydraulic Conductivity of the aquifer (**C**): conductivité hydraulique de l'aquifère.

Pour chaque paramètre, la plage de valeurs possibles est subdivisée en différents intervalles et une cote est attribuée à chacun d'eux.

Un indice de vulnérabilité (IDRASTIC) est alors calculé en additionnant la contribution des sept paramètres, pondérée selon l'importance de chacun de ces paramètres dans l'évaluation de la vulnérabilité, à l'aide de l'équation :

$$ID = DpDc + RpRc + ApAc + SpSc + TpTc + IpIc + CpCc$$

Avec :

D, R, A, S, T, I, et C les sept paramètres de la méthode DRASTIC, p étant le poids du paramètre et c la cote associée. (Tab.III)

Les valeurs de l'indice DRASTIC obtenues représentent la mesure de la vulnérabilité hydrogéologique de l'aquifère, Les valeurs obtenues sont regroupées, selon **Aller et al. (1987)**, en cinq classes dont chacune correspond à un degré de vulnérabilité (Tabl.III).

Tableau III. Des cotations accordées aux paramètres de la méthode DRASTIC.
(Lallemand-Barrés, 1994)

Profondeur de la nappe « D » (m)		Recharge nette « R »	
Intervalles	Côtes	Intervalles	Côtes
0 – 1,5	10	25,5	9
1,5 – 4,5	09	17,5-25,5	8
4,5 – 9	07	10-17,5	6
9 – 15	05	5-10	3
15 – 23	03	0-5	1
23 – 31	02		
> 31	01		
Poids : 05		Poids : 4	
Nature de la zone saturée « A »		Type du sol « S »	
Nature du milieu aquifère	Côtes	Nature du sol	Côtes
Calcaire karstique	10	Peu épais ou absent	10

MATERIELS ET METHODES

Basalte	9	Gravier	10
Sable et gravier	8	Sables	9
Calcaire massifs	6	Argiles, agrégats	7
Grès massifs	6	Limon sableux	6
Métamorphique altérée	4	Limon	5
Métamorphique	3	Limon siliceux	4
Shale massif	2	Limon argileux	3
		Argiles non agrégée	1
Poids : 3		Poids : 2	
Topographie « T » (%)		Impact de la zone non saturée « I »	
Intervalles	Côtes	Nature de la zone non saturée	Côtes
0-2	10	Calcaire karstique	10
2-6	9	Sable et gravier	09
6-12	5	Sable et gravier avec silt et argile	08
12-18	3	Grès	06
18	1	Calcaire	06
		Silt /argile	01
Poids : 1		Poids : 5	
Conductivité hydraulique «C»			
Intervalles		Côtes	
9,4 m/s		10	
(4,7-9,4) m/s		8	
32,9 -4,7 m/s		6	
14,7 -32,9 m/s		4	
4,7-14,7 m/s		2	
4,7 -4,7 m/s		1	
Poids : 3			

Tableau IV. Indices du degré de vulnérabilité.

L'indice DRASTIC	Degrée de vulnérabilité
23-83	Très faible
84-113	Faible
114-144	Moyen
145-174	Elevé
175-226	Très élevé

II.3.2. Méthode SINTACS:

La méthode SINTACS, développée par Civita (1994) (**Hamza, et Al., 2007**), est la version italienne de la méthode DRASTIC : c'est une adaptation de cette méthode aux conditions méditerranéennes. Cette méthode de vulnérabilité verticale intrinsèque prend en considération les mêmes paramètres que la méthode DRASTIC. Un poids compris entre 1 et 5 est attribué à

MATERIELS ET METHODES

chacun d'eux, chaque paramètre est classé en plusieurs classes, dont chacune est associée à une cote variant de 1 à 10.

L'acronyme SINTACS correspond aux initiales des sept facteurs suivant :

- S : Soggiacenza (profondeur de la nappe)
- I : Infiltrazione (infiltration)
- N : Azionedel Non Saturo (zone non saturée)
- T : TipologiadellaCopertura (texture de sol)
- A : CarratteriIdrogeologici dell' Acquifero (type d'aquifère)
- C : ConducibilitaIdraulica (conductivité)
- S : Acclivitàdella Superficie Topographica (topographie du sol)

La spécificité de cette méthode par rapport à la méthode DRASTIC est qu'elle propose cinq scénarios différents de vulnérabilité :

- Scénario « Impact Normal » : scénario relatif aux aquifères constitués par des sédiments non consolidés avec une profondeur de la nappe qui n'est pas très élevée, localisés dans des aires à sols épais. Les zones relatives à ce scénario correspondent aux régions stables, de point de vue occupation des sols, avec existence ou non de terres cultivées, une utilisation faible de pesticides, de fertilisants et d'irrigation, et des périmètres urbains très dispersés;
- Scénario « Impact Sévère » : et correspond aux mêmes types d'aquifères soumis à une occupation des sols intensive, avec des terres cultivées à forte utilisation de pesticides, de fertilisants d'irrigation, des implantations industrielles et urbaines denses, et des dépôts liquides et solides de déchets;
- Scénario « Drainage important à partir d'un réseau superficiel » : scénario relatif aux aires où il y a une forte infiltration vers l'aquifère à partir d'un réseau superficiel d'eau.
- Scénario « Terrain très karstifié »;
- Scénario « Terrain fissuré ».

Les poids attribués aux différents paramètres dans les différentes versions SINTACS sont présentés dans le Tableau V.

Tableau V. Poids attribués aux paramètres SINTACS dans les différents scénarios de la méthode (Hamza et al, 2008).

Scénario	Impacte normal	Impacte sévère	Drainage important	Terrain très karstifié	Terrain fissuré
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.3.2.1. Système de cotation

L'indice SINTACS est basé sur l'évolution des 7 paramètres suscités. Chaque paramètre est assigné d'un poids relatif fixe dont la valeur, compris entre 1 et 5, correspond à son importance dans le processus d'atténuation des substances contaminants. Un paramètre prépondérant se voit assigner un poids de 5 alors qu'un paramètre ayant moins d'impact sur le devenir d'un contaminant est assigné d'un poids de 2 (Tab.VI). Une cote 1 correspond aux conditions de moindre vulnérabilité alors qu'une cote de 10 reflète les conditions les plus propices à la contamination. Un indice SINTACS partiel propre à chaque paramètre est alors déduit en multipliant sa cote par son poids relatif.

$$\text{Indice partiel} = \text{poids} * \text{cote}$$

L'indice SINTACS global résulte de la somme pondérée des indices partiels correspondant à chaque paramètre.

Indice SINTACS général est le suivant :

$$\text{IS} = (\text{Sc.Sp}) + (\text{Ic.Ip}) + (\text{Nc.Np}) + (\text{Tc.Tp}) + (\text{Ac.Ap}) + (\text{Cc.Cp}) + (\text{Sc.Sp})$$

D'où :

S, I, N, T, A, C, S : Paramètres,

c : Cote du paramètre considéré,

Sc : Est la cote du paramètre S et Sp est son poids.

Tableau VI. Cotes attribuées à chaque paramètre de la méthode SINTACS (Zair et Bensalem, 2014)

Profondeur des nappes « S » (m)		Infiltration « I »	
Intervalles	Côtes	Intervalles	Côtes
41.47 – 100	10	0 – 30	01
24.3 – 41.47	9	31 – 50	02
16.5 – 24.3	8	50 – 80	03
10.8 – 16.5	7	81 -100	04
8.2 – 10.8	6	101 – 120	05
5.6 – 8.2	5	121 – 150	06
3.9 – 5.6	4	151 – 180	07
2.6 – 3.9	3	181 – 210	08
1.3 – 2.6	2	211 – 250	09
0 -1.3	1	251 – 300	10

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Zone non saturée « N »		Texture du sol « T »	
Nature de la zone	Côtes	Nature de sol	Côtes
Dépôt alluviale grossier	8 – 9	Sol à faible épaisseur ou absent	9.8-10
Calcaire karstique	9 – 10	Gravier pur	9.7-10
Dolomie fracturée (fissurée)	4 – 7	Sable pur	8.9-9.5
Moyen à fin alluvion	6 – 8	Sol sableux	8-8.5
Calcaire fracturé	9 – 6	Schiste sableux	6.2-7
Complexe sableux	7 – 8	Sableux terreux	5.5-6
Grés – conglomérats	4 – 9	Limon-schiste-sable	4.5-5.2
Roches plutonique fissuré	2 – 4	Sol limoneux	3.5-4.2
Séquence turbiditique fissurée (Flysch)	5 – 8	Limono-terreux	3-4
Roche volcanique fissurée	8 – 10	Limoneux argileux	6-8
Type d'aquifère « A »		Conductivité « C »	
Nature d'aquifère	Côtes	Rang	Côtes
Alluvion grossier	8-9	Gravier	10
Karstique	9-10	Conglomérat	6-9
Dolomie fracture	4-7	Grés	7-4
Alluvion d'un amont	6-8	Sol marneux	4-2
Sable complexe	7-9	Sol terreux	3-2
Grés, conglomérat	4-9		
Flysch (séquence turbiditique)	5-8		
Marne, argile	1-3		
Topographie « S »%			
Intervalles		Côte	
0-5		10	
6-10		8	
11-20		5	
21-30		3	
>100		1	

II.3.2.2. Interprétation de l'indice finale de la méthode SINTACS

L'indice SINTACS général d'un site donné permet d'exprimer son degré de vulnérabilité. Mais, l'appréciation de cet indice numérique de vulnérabilité n'est possible que par l'analyse comparative entre différents sites ou unités hydrogéologiques.

Tableau VII. Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode SINTACS (Hamza et al, 2008)

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Faible	<106
Moyen	106 – 186
Elevé	187 – 210
Très élevé	>210

L'application de ce Tableau XVIII consiste à comparer la valeur indicielle de chaque zone par le degré de vulnérabilité indiqué dans le tableau précédent. Les cartes obtenues permettent de visualiser le degré relatif de vulnérabilité d'un secteur de la zone étudiée. Le potentiel de pollution augmente dans le même sens que l'indice.

II.4. Présentation du logiciel Surfer :

Le logiciel Surfer conçu par Golden Software, permet de réaliser des cartes à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) en coordonnées Lambert Le logiciel permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières des points x, y, et z, afin de les ordonner (Alami, 2011).

Ces grilles peuvent être importées depuis plusieurs sources pour produire différents types de cartes, incluant des contours, des vecteurs, des images ainsi que des cartes superficielles. 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.

La variété de méthodes d'interpolation disponibles permet différentes interprétations des données et de choisir la méthode la plus appropriée aux besoins de l'utilisateur. Les fichiers de grilles eux-mêmes peuvent être édités, combinés, filtrés, coupés et transformés mathématiquement (Baali et al., 2012).

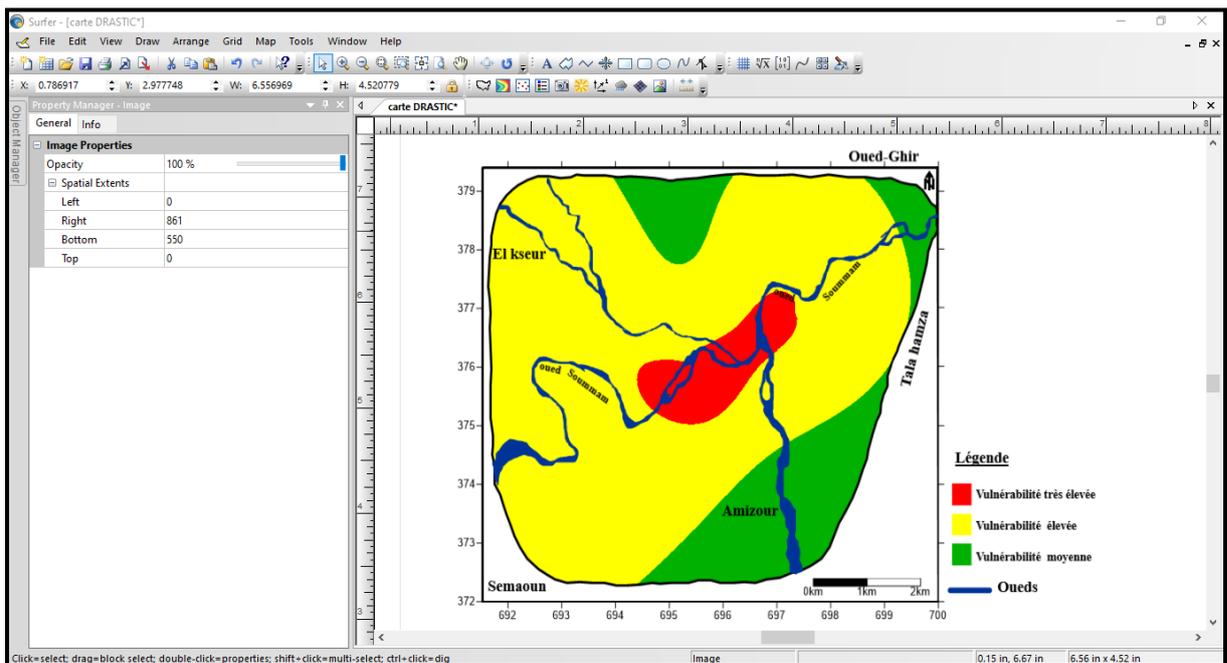


Figure 12. Interface du logiciel Surfer (version 11).

Chapitre III

Résultats Et Discussions

III.1. Aperçu climatologique :

Le territoire de la vallée de la Soummam est caractérisé par un climat de type méditerranéen. Du littoral vers les zones d'intérieur, trois étages bioclimatiques ont été distingués ;

- Etage Humide, sur le bassin versant nord avec des précipitations supérieures à 900 mm par an.
- Etage sub-humide entre El Kseur et Sidi Aich, avec une pluviométrie moyenne de 600 à 900 mm par an.
- Etage semi-aride, le long de la vallée de Sidi Aich à Tazmalt, avec une pluviométrie relativement faible allant de 400 à 600 mm par an et des températures légèrement plus élevées allant de 26 à 30°C (**Benhamiche, 1997**).

Les vents dominants sont des vents du nord-ouest (marins) qui s'engouffrent facilement dans la vallée (**Viziter et Gauf, 1987**).

Pour réaliser cette étude climatologique on a utilisé des données provenant de la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Bejaia, tels que les Précipitations, la température.

III.1.1. Les précipitations

Pour la grande partie du monde, les précipitations représentent un facteur important du climat, elles constituent le phénomène physique qui décrit le transfère 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, augmentant 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**).

Les pluies sont irrégulièrement répartie à la fois dans le temps et dans l'espace (**Zeroug, 2012**).

Les données pluviométriques utilisées proviennent de la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Bejaia (DHW- BEJAIA), sur une période (1980-2019).

III.1.1.1. Pluviométrie moyenne interannuelle :

les précipitations se caractérisent par des intensités, une durée et une fréquence très différentes Selon la situation géologique et la saison. Les pluies peuvent être de très fortes intensités, ou alors être très faibles et persister plusieurs jours durant.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau VIII. Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (P) de la station de Bejaia (1980-2019)

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUL	AUT	Totale
P (mm)	47,38	73,71	101,59	139,69	126,09	95,74	85,27	60,15	44,60	12,97	4,86	12,94	804,99

D'après le Tableau VIII la moyenne annuelle des précipitations de la période 1980-2019 à Bejaia est de 804.99 mm, La majeure partie des précipitations tombe entre les mois d'Octobre à Avril avec un maximum en Décembre et Janvier avec respectivement 139.69 – 126.09 mm.

Les précipitations diminuent fortement durant la période de juin à aout.

La valeur minimale est enregistrée au mois de juillet avec 4.86 mm.

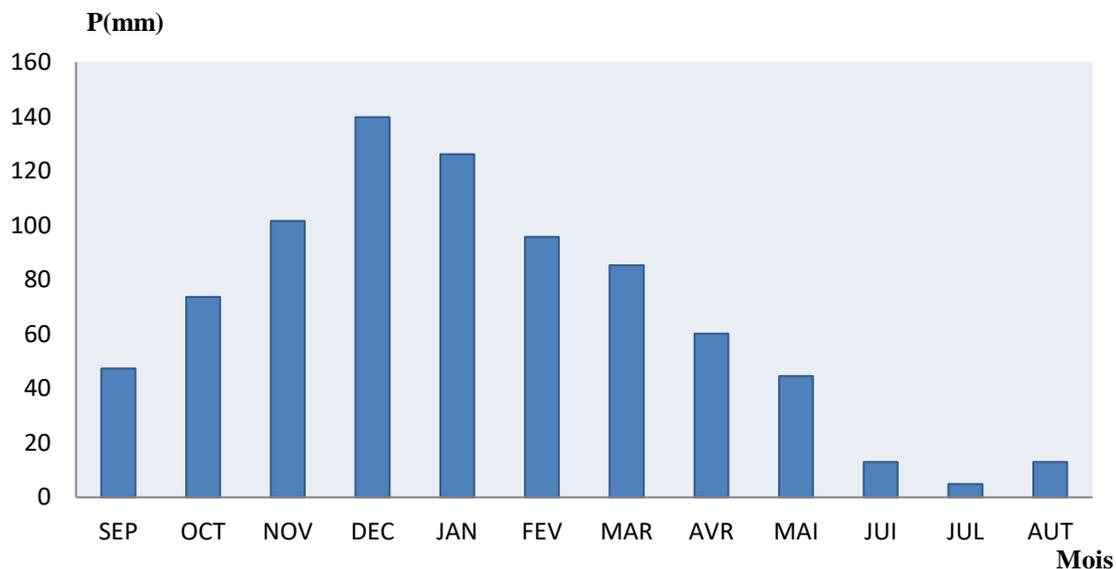


Figure 13. Histogramme des Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (P) de la station de Bejaia (1980-2019)

A partir de l'histogramme des précipitations moyennes mensuelles (Fig.13) établi sur une période de 39ans (1980- 2019) nous avons pu déduire que le mois de décembre est le plus pluvieux et le mois d'avril le plus arrosé, le mois de Juillet étant le mois le plus sec

III.1.1.2. Pluviométries moyennes saisonnières :

Le Tableau IX et la Figure 14 montrent que la distribution saisonnière de la précipitation est principalement concentrée sur les trois saisons l'Automne, l'Hiver et le Printemps.

Il est à remarquer que la saison la plus sèche est l'été avec un taux de précipitation de 4 % lui succède l'Automne ensuite le Printemps et la saison la plus pluvieuse étant l'hiver avec un taux de précipitations de 45 %.

Tableau IX. Précipitations saisonnières moyennes de la station de Bejaia (1980-2019)

Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aut
Précipitations saisonnières moyennes (mm)	222,68			361,52			190,01			30,78		

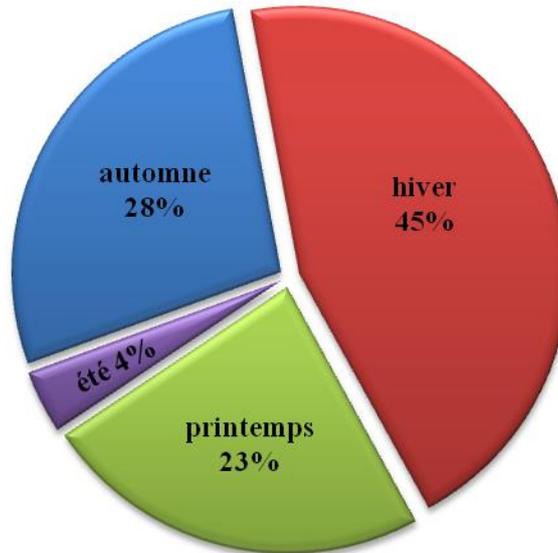


Figure 14. Présentation graphique des précipitations saisonnières moyennes de la station de Bejaia (1980-2019)

III.1.1.3. Précipitations annuelles :

Dès que la moyenne annuelle des précipitations est déterminée et la variabilité des débits annuels de la région est déterminé par sommation des moyennes mensuelles. La discrimination des années excédentaires et des années déficitaires est alors faite grâce à des paramètres pluviométriques, tel que: le coefficient pluviométrique (C_p), le calcul de ce dernier est basé sur la formule suivant :

$C_p = P/P_{moy}$	Où :	C_p : coefficient pluviométrique.
		P : pluviométrie annuelle de l'année (mm).
		P_{moy} : pluviométrie moyenne interannuelle (mm).

- Si $C_p > 1$ → l'année est dite excédentaire (AE)
- Si $C_p < 1$ → l'année est dite déficitaire (AD)

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau X. Le coefficient pluviométrique Cp (période : 1980/2019)

années	P	P interannuelles	Cp	>1 ou 1<
1980/1981	958,1	804,99	1,19020112	AE
1981/1982	815,7	804,99	1,01330451	AE
1982/1983	599,9	804,99	0,74522665	AD
1983/1984	788,7	804,99	0,97976372	AD
1984/1985	1024,4	804,99	1,27256239	AE
1985/1986	768,8	804,99	0,95504292	AD
1986/1987	988,1	804,99	1,22746866	AE
1987/1988	685,6	804,99	0,8516876	AD
1988/1989	811,6	804,99	1,00821128	AE
1989/1990	537,32	804,99	0,66748655	AD
1990/1991	835,8	804,99	1,03827377	AE
1991/1992	891,2	804,99	1,1070945	AE
1992/1993	693	804,99	0,86088026	AD
1993/1994	452,7	804,99	0,56236723	AD
1994/1995	844,6	804,99	1,04920558	AE
1995/1996	799,3	804,99	0,99293159	AD
1996/1997	432,44	804,99	0,53719922	AD
1997/1998	907,12	804,99	1,12687114	AE
1998/1999	789,1	804,99	0,98026062	AD
1999/2000	588,9	804,99	0,73156188	AD
2000/2001	593,91	804,99	0,73778556	AD
2001/2002	640,93	804,99	0,79619623	AD
2002/2003	1229,3	804,99	1,52709972	AE
2003/2004	822,6	804,99	1,02187605	AE
2004/2005	903,3	804,99	1,12212574	AE
2005/2006	785	804,99	0,97516739	AD
2006/2007	578,5	804,99	0,71864247	AD
2007/2008	921,5	804,99	1,14473472	AE
2008/2009	978,8	804,99	1,21591573	AE
2009/2010	895,1	804,99	1,11193928	AE
2010/2011	846,1	804,99	1,05106896	AE
2011/2012	1143,2	804,99	1,42014187	AE
2012/2013	932,9	804,99	1,15889638	AE
2013/2014	780,1	804,99	0,96908036	AD
2014/2015	937	804,99	1,16398961	AE
2015/2016	839,35	804,99	1,04268376	AE
2016/2017	609,8	804,99	0,75752494	AD
2017/2018	988	804,99	1,22734444	AE
2018/2019	712,4	804,99	0,88497994	AD

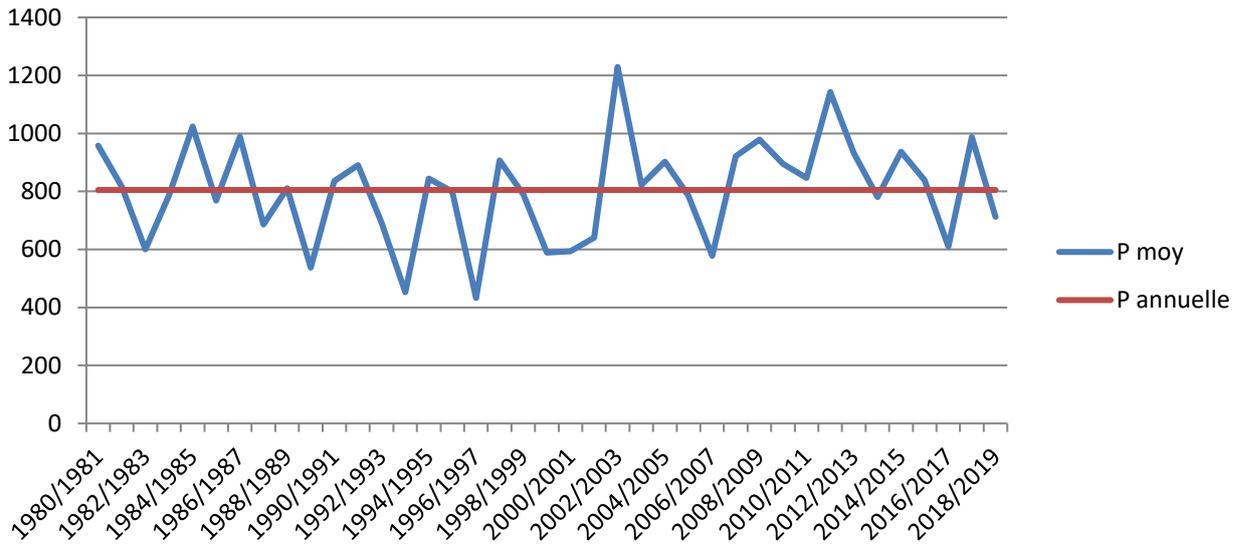


Figure 15. Évolution de la pluviométrie annuelle (période : 1980/2019).

L’application de l’analyse de la série pluviométrique de la station de Bejaia dans le temps a permis de donner une meilleure précision des années normales par rapport aux années déficitaires et excédentaires. Ainsi, comme indiqué dans le Tableau V et la Figure 15, on distingue sur 39 années d’observation, 18 années sèche et déficitaires et 21 années humides et excédentaires.

III.1.2. Les températures :

La température est l’un des facteurs climatiques les plus importants dans l’estimation et le calcul de l’évaporation et de la évapotranspiration afin d’établir le bilan hydrique.

Les températures moyennes mensuelles relevées sur 39ans de 1980-2019 sont représentées dans le Tableau XI qui illustre les valeurs des températures moyennes mensuelles (T moy) en °C pour la station de bejaia et la Figure 16 montre la représentation graphique des températures.

Il en résulte que, la moyenne des températures varie entre les deux valeurs extrêmes 12.06 - 25.88°C, la température minimale s’enregistre au mois de Janvier (le mois le plus froid) avec une valeur de 12,06 °C, et la température maximale est atteinte au mois d’Août (le mois le plus chaud) avec une valeur de 26,21°C

Tableau XI. Températures moyennes mensuelles interannuelles (T) de la station de Bejaia (1980-2019)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou
T (°c)	23.80	20.79	16.45	13.16	12.06	12.24	13.94	15.88	18.55	22.13	25.16	25.88

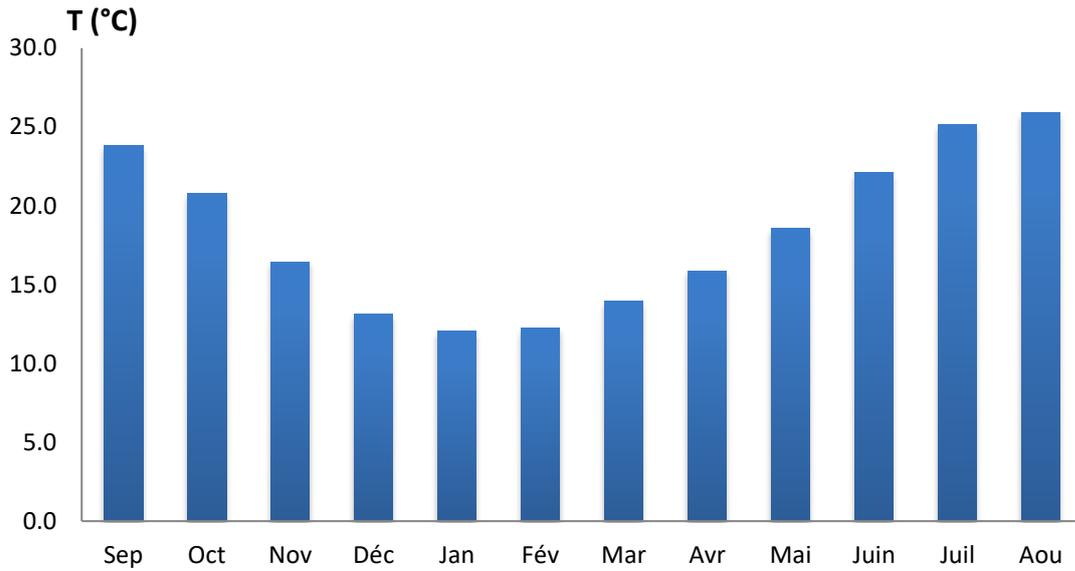


Figure 16. Histogramme des températures moyennes mensuelles (T) de la station de Bejaia (1980-2019)

III.1.2.1. Diagramme Ombrothermique :

Selon Bagnouls et Gausson, (1953), un mois est dit biologiquement sec si, "le total mensuel des précipitations exprimées en millimètres (mm) est égal ou inférieur au double de la température moyenne, exprimée en degrés centigrades" ; cette formule permet de construire des diagrammes ombrothermique traduisant la durée de la période sèche d'après les interactions des deux courbes (Kaabache, 1990).

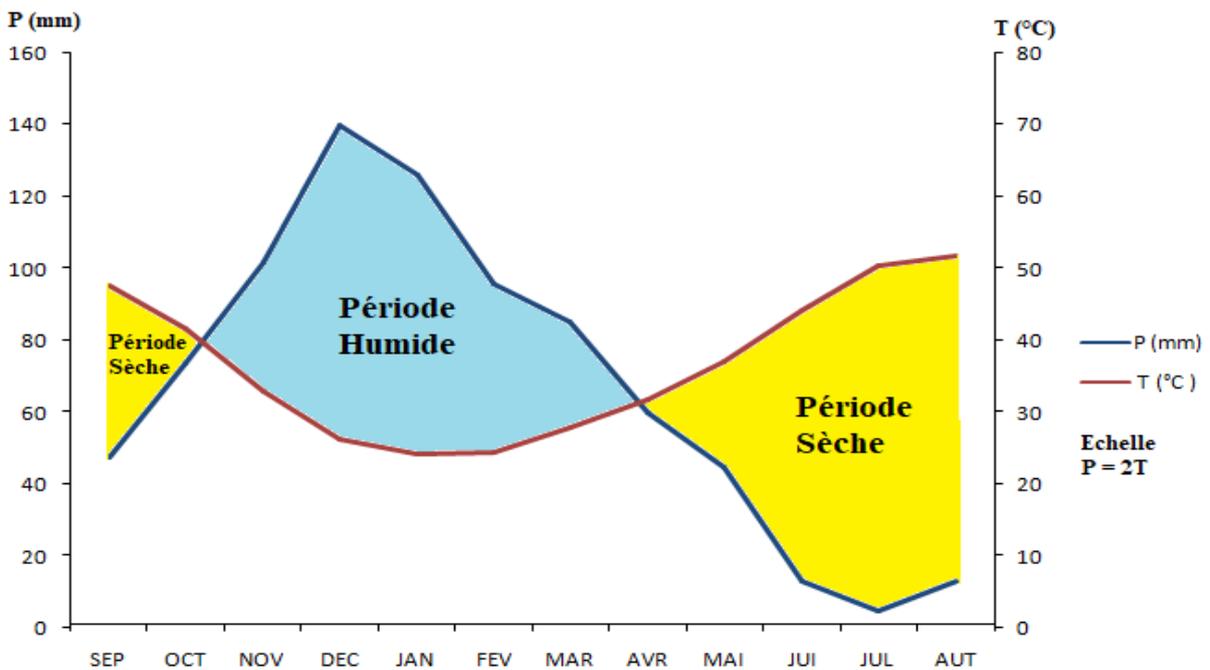


Figure 17. Diagramme Ombro-thermique de la station de Bejaia (1980-2019)

Le diagramme ombrothermique sur 39 ans (1980-2019) (Fig.17), montre qu'il y a une alternance de deux périodes l'une humide et l'autre sèche.

-La période sèche dure 05 mois de Mai à Septembre.

-La période humide dure 07 mois d'Octobre à Avril.

III.1.2.2. Indice d'aridité de De Martonne:

De Martonne (1926) a défini l'aridité du climat à l'échelle annuelle par le quotient :

$$I = P / T + 10$$

Où : **P** : précipitations moyennes interannuelles (mm)

T : températures moyennes interannuelles (°C)

I : indice d'aridité

L'aridité augmente quand la valeur de l'indice diminue. Une faible aridité correspondant à des pluies abondantes et/ou des températures basses .au niveau mondial, De Martonne a proposé six grands types de macroclimats (**Lebourgeois et Piedallu, 2005**), sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau XII. Les différents macroclimats selon De Martonne

Valeur de I	Type de climat
< 5	Aridité absolue
5 à 10	désert (aride)
10 à 20	semi-aride
20 à 30	semi-humide
30 à 40	Humide
> 40	Humide

Après nos calculs avec les données suivant : **P=804,99 mm** et **T= 18,34°C**

L'indice d'aridité pour la station de Bejaia pour la période (1980-2019) est égal à **28,40**.

Ce qui correspond à un climat semi-humide.

III.1.2.3. Quotient pluviothermique ou climagramme d'Emberger:

EMBERGER précise 5 étages bioclimatiques : humide, sub-humide, aride, semi-aride, et saharien, et 4 variantes thermiques :

A hiver froid $m < 0^{\circ}\text{c}$,

A hiver frais $0 < m < 3^{\circ}\text{c}$,

A hiver doux ou tempéré $3 < m < 5^{\circ}\text{c}$,

A hiver chaud $m < 7^{\circ}\text{c}$.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

La méthode consiste à calculer le coefficient d'EMBERGER simplifié par STEWART (1972) (Djebaili , 1984).

$$Q_2 = 3,43 \cdot P / (M - m)$$

Où : Q_2 : quotient pluviométrique

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

M :températures moyennes des maximales du mois le plus chaud.

m : températures moyennes des minimales du mois le plus froid.

Tableau XIII. Calcul de Q_2 de la région de Bejaia.

P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q ₂
804,99	30,33	7,48	120.84

$$Q_2 = 3,43 \times 408,9 / (30,33 - 7,48) \rightarrow Q_2 = 120,84.$$

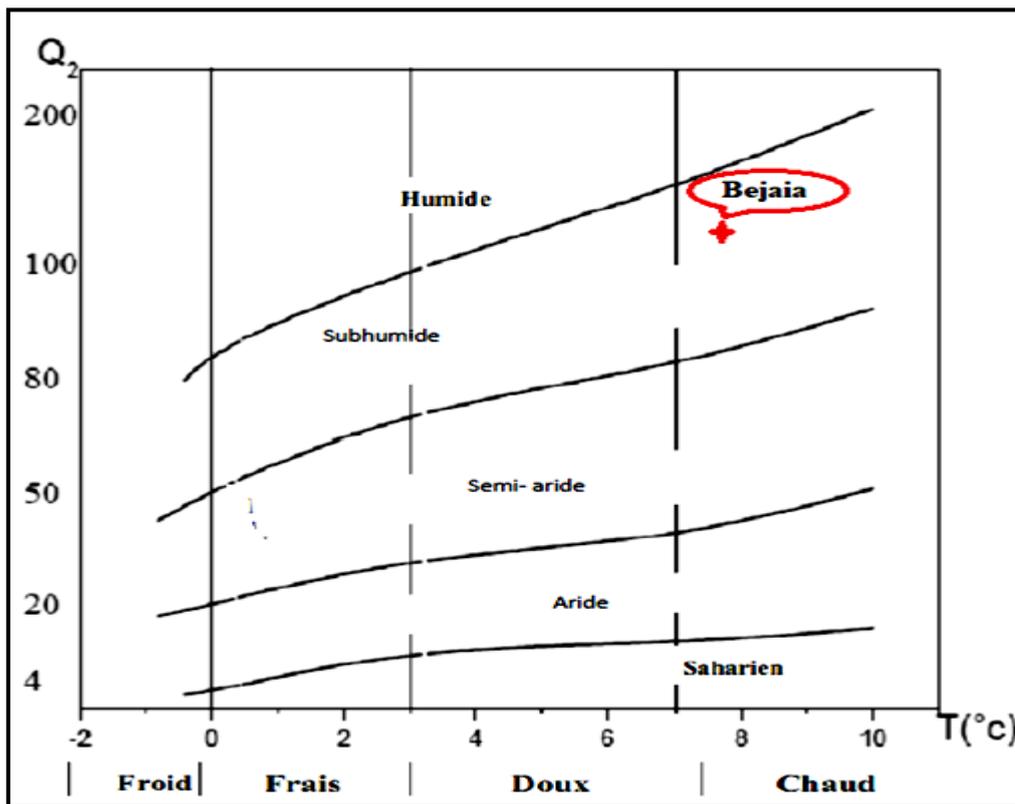


Figure 18. Situation de la station de Bejaia sur le climagramme D'EMBERGER.

III.1.3. Le bilan hydrique :

La détermination des paramètres climatiques tels que les précipitations, les températures, l'évapotranspiration potentielle ou réelle est nécessaire pour déterminer le bilan hydrique qui

permet l'estimation de la lame d'eau écoulee ou infiltrée, expliquant ainsi les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux superficielles et souterraines.

L'estimation du bilan hydrique peut se faire par l'application de la formule suivante

(Castany, 1982) :

$$P = ETR + R + I$$

Où : **P** : Précipitation moyenne annuelle en (mm),
R : Ruissellement en (mm),
I : Infiltration moyenne en (mm),
ETR : Evapotranspiration réelle.

III.1.3.1. Évapotranspiration :

L'évapotranspiration (ET) est une combinaison de deux processus : l'évaporation et la transpiration. L'évaporation (E), est générée par tout type de surface aquatique. La transpiration (T), est d'origine végétale.

L'évapotranspiration peut être définie comme la perte d'eau par le sol et la surface des plantes, exprimée généralement en mm/jour (Mjeira, 2015.)

On distingue l'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle; la première est l'eau susceptible d'être perdue dans les mêmes conditions quand elle n'est plus facteur limitant alors que la seconde est l'eau réellement dissipée dans l'atmosphère sous forme de vapeur (Bouchet, 1963)

L'évaporation potentielle et réelle varient considérablement selon les écosystèmes et parfois selon les saisons, dont en : Milieu tempéré ; Milieu aride ; Milieu urbain ; Milieu cultivé (éventuellement irrigué et/ou drainé...)

❖ Évapotranspiration potentielle (ETP):

Valeur maximale d'ET pour un climat donné, en fonction des caractéristiques énergétiques et dynamiques de l'atmosphère (suffisamment d'eau pour satisfaire la demande évaporatoire).

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentiel selon **GW.Thorntwaite (1944)** tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle.

$$ETP = 16 \left(\frac{10t}{I} \right) a \cdot K$$

Où : **ETP** : Evapotranspirations potentielle mensuelle en (mm).
a : indice lié à la température.
t : Température moyenne mensuelle en (°C).
I : La somme des indices mensuels de l'année.
K : Facteur correctif intégrant la durée d'insolation et la température.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Avec :

$a = 0.016 I + 0.5$	$i=(t / 5)^{1.514}$	$I=\sum i.$
---------------------	---------------------	-------------

Les résultats des calculs sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau XIV. Résultats de l'évapotranspiration de de la station de Bejaia (1980-2019) par la formule (C.W.Thorthwaite 1948)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Total
moy T	23,8	20,79	16,45	13,16	12,06	12,24	13,94	15,88	18,55	12,13	25,16	25,88	18.34
I	10,6	8,65	6,07	4,33	3,79	3,88	4,72	5,75	7,28	3,83	11,55	12,05	82,51
K	1	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	12,32
ETP	110,	83,44	48,31	30,31	27,77	27,88	42,81	57,95	84,58	39,36	150,9	148,6	852,05

Le pouvoir évaporant de l'atmosphère atteint des valeurs maximales pendant la période sèche en mois de juillet (150.95 mm) et aout (148,65 mm) .En période froide l 'ETP décroît progressivement et atteint des valeurs faibles en mois janvier (27.78 mm) et février (27.89 mm).

❖ Évapotranspiration réelle (ETR):

Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement (ETR) la somme de l'évaporation et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie.

Calcul de l'ETR par la formule de Turc

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2}$$

Où : ETR : Evapotranspiration réelle en (mm).

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

T : température moyenne annuelle en °C.

L : pouvoir évaporant.

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

Tableau XV. Résultats de l'évapotranspiration réelle par la formule « Turc » de de la station de Bejaia (1980-2019).

Facteur	p(mm)	T(°C)	L	ETR (mm)
Bejaia	804,99	18,34	1066,94	664,11

Dans le cas de la formule de Turc la valeur de l'ETR est supérieure à la valeur de l'ETP donc la valeur de l'infiltration est négative. Et c'est pour cela Nous suivons la formule de C.W.Thornthwaite, où on distingue deux principaux cas :

1^{er} cas : Si $P - ETP > 0$, ($P > ETP$) \implies dans ce cas $ETR = ETP$.

2^{ème} cas : Si $P - ETP < 0$, ($P < ETP$), ce cas est encore subdivisé en deux cas :

❖ Si : $P + RFU > ETP \implies ETR = ETP$.

❖ Si : $P + RFU < ETP \implies ETR = P + RFU$.

III.1.3.2. Ruissellement (R) :

Le ruissellement correspondant à la part des précipitations qui s'écoule directement sur le sol lors des précipitations. Il ne peut être déterminé avec précision car il dépend de la nature du sol, de la pente et aussi de la végétation. Cependant, Il peut donc être connu d'une façon générale par des méthodes empiriques qui donnent une valeur approchée. Elle est calculée à partir de la formule de Tixeront-Berkaloff (d'après Romant Chink).

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

Où : **R**: Ruissellement (mm)

P: Précipitations moyennes annuelles (mm).

ETP: Evapotranspiration potentielle (mm/an).

Tableau XVI. Résultats du ruissellement par la formule de **Tixeront-Berkaloff** pour la station de Bejaia (1980-2019).

Station \ Paramètre	P (mm)	R (mm)
Bejaia	804,99	200,96

III.1.3.3. Infiltration (I):

L'infiltration représente la quantité d'eau absorbée par le sol et le sous-sol pour constituer les eaux souterraines et les écoulements souterrains, elle est calculée à partir de la formule du bilan hydrologique :

$$P = ETR + R + I \implies I = P - ETR - R$$

Avec :

P : Précipitation annuelle moyenne en (mm)

I : Infiltration en (mm)

R : Ruissellement en (mm)

ETR : Evapotranspiration réelle de Thornthwaite en (mm)

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau XVII. Estimation de l'infiltration par la méthode de Thornthwaite pour la station de Bejaia (1980-2019).

Station \ Paramètre	P (mm)	R (mm)	ETR (mm)	I (mm)
Bejaia	804,99	200,96	531,48	72,55

Les données de notre étude nous ont permis de dresser le bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite (1948) qui fait ressortir les quatre paramètres que sont l'évapotranspiration réelle et potentielle, l'excédent et le déficit agricole.

Tableau XVIII. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Bejaia (1980-2019).

mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	total
T (C°)	23,80	20,79	16,45	13,16	12,06	12,24	13,94	15,88	18,55	22,13	25,16	25,88	18,34
I	10,61	8,65	6,07	4,33	3,79	3,88	4,72	5,75	7,28	9,51	11,55	12,05	88,19
K	1	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	12,32
P (mm)	47,38	73,71	101,59	139,69	126,09	95,74	85,27	60,15	44,6	12,97	4,86	12,94	804,99
ETP	110,01	83,43	48,31	30,31	27,77	27,88	42,80	57,95	84,58	117,57	150,94	148,64	930,19
ETR	47,38	73,71	48,31	30,31	27,77	27,88	42,8	57,95	84,58	72,99	4,86	12,94	531,48
RFU	0	0	53,28	100	100	100	100	100	60,02	0	0	0	-
DA	62,63	9,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,58	146,08	135,70	398,71
EXC	0	0	0	62,56	98,29	67,86	42,47	2,2	0	0	0	0	273,38

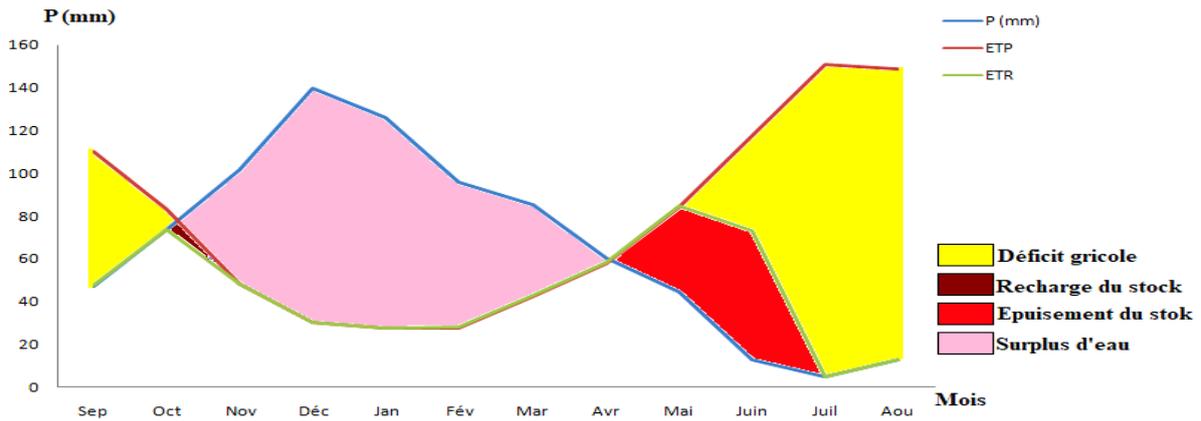


Figure 19. Représentation graphique du bilan hydrique de C.W. Thornthwaite. Station de Bejaia (1980-2019).

III.1.3.4. Interprétation du bilan hydrique

L'établissement du bilan hydrique (Tabl.XVIII et Fig.19) nous permet de connaître les différents paramètres (ETP, ETR, RFU, Def, Exc) qui nous aide à comprendre le fonctionnement des systèmes hydrauliques de surface. Les résultats du bilan hydrique de la station illustrée dans les tableaux et les graphismes précédents, permettent les observations suivantes :

- La station reçoit des précipitations moyennes annuelles de 804,99 mm
- La température moyenne annuelle est de l'ordre de 18,34°C observé au niveau de la station de Bejaia.
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) : atteint le maximum au mois de Juillet (150,94mm) et le minimum au mois de Janvier (27,77mm), alors que le total est de l'ordre de 930,19mm.
- L'évapotranspiration réelle (ETR) : le total est de l'ordre de 531,48 mm.
- La reconstitution de la réserve facilement utilisable (RFU) s'effectue au mois de Novembre et atteint son maximum (100 mm) au mois de Décembre jusqu'au mois d'Avril à partir duquel, il y a un surplus d'eau accompagné par un ruissellement et quand elle a tendance à diminuer et au point qu'il sera carrément vide au mois de Juin, il y aura un épuisement du stock et par conséquent un déficit agricole s'étalant jusqu'au mois d'Octobre, d'où une moyenne annuelle de 398,71 mm.
- L'excédent annuel est de l'ordre de 273,38 mm.

III.1.4. Conclusion

L'analyse des données climatiques d'une série d'observation de 39 ans montre que le climat de la région d'étude est de type méditerranéen (hiver froid et été chaud). La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 804,99 mm. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 18,34°C.

L'étude du bilan hydrique a permis de ressortir Les résultats suivants :

- L'évapotranspiration potentielle annuelle est d'ordre de 930,19 mm.
- L'évapotranspiration réelle est d'ordre de 531,48 mm.
- L'infiltration est d'ordre de 72,55 mm.
- Le ruissèlement est d'ordre de 200,96 mm.
- La réserve facilement utilisable (RFU), commence à se reconstituer à partir du mois de Novembre, pour atteindre son maximum 100 mm jusqu'à avril, c'est dans cette période apparaît un excédent de l'ordre de 273.38 mm. A partir du mois de Juin, la RFU s'est épuisée et reste nulle jusqu'au mois d'Octobre, période qui traduit un déficit agricole, c'est la saison durant laquelle on irrigue, les agricultures puisent de l'eau des oueds souvent pollués et font contaminer leurs cultures et aussi les eaux souterraines.

III.2. Interprétation de la carte piézométrique:

D'après la carte piézométrique, établie sur la base des données collectées durant le mois de février 2020 (Fig.20) pour la plaine d'Amizour en tenant compte du niveau piézométrique de tous les puits. L'écoulement de la nappe se fait du Sud-ouest vers le Nord-est conformément au sens d'écoulement des eaux superficielles (l'Oued Soummam), Toutes les lignes de courant tendent vers l'oued où ce dernier draine la nappe ce qui explique la relation entre l'Oued Soummam et la nappe. Les isopiézes sont serrées dans la partie Nord, traduisant une zone d'alimentation. Le rapprochement des courbes isopiézes donne un gradient hydraulique plus au moins fort. Dans la partie Ouest et Sud de la zone d'étude, les courbes isopiézes deviennent espacées ce qui traduit un faible gradient hydraulique.

D'une façon générale, on note que l'écoulement de la nappe se fait des bordures vers le centre de la plaine. Donc, l'écoulement principal de la nappe est convergent d'amont en aval.

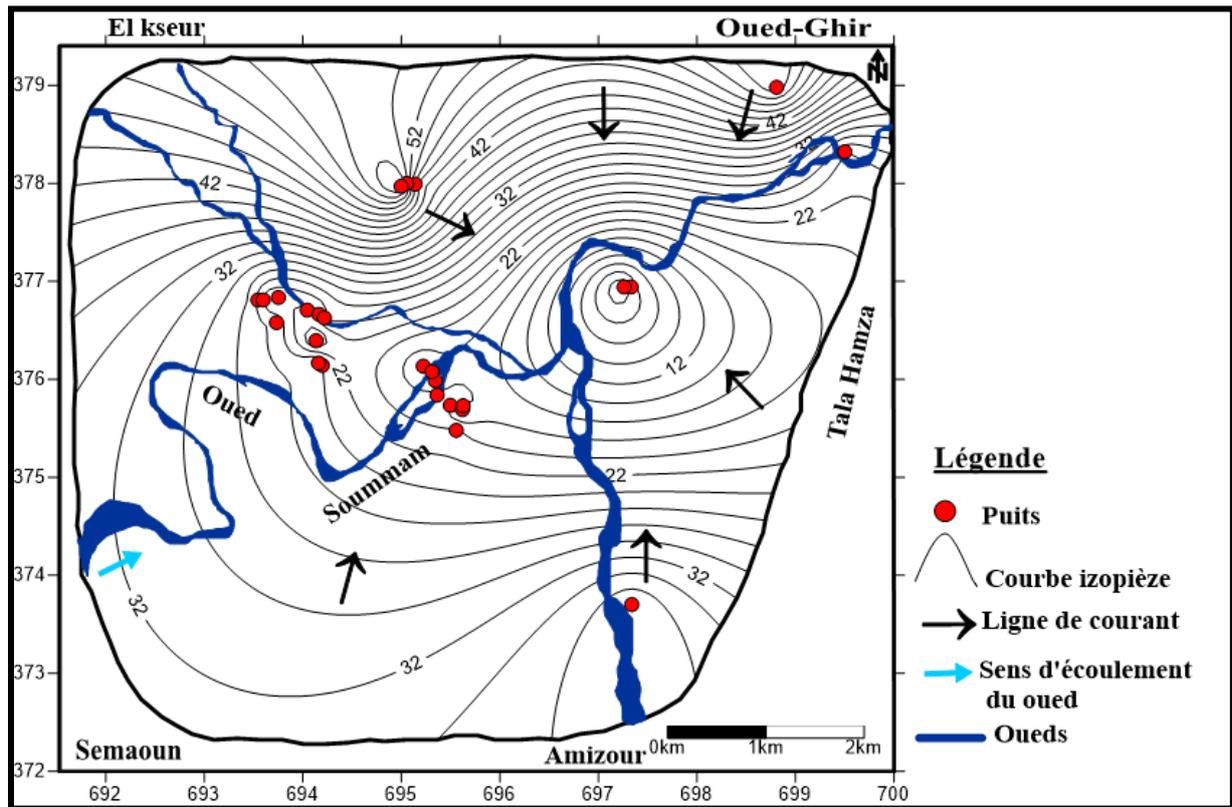


Figure 20. Carte piézométrique de la nappe d'Amizour (Février 2020).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.3. Résultats des analyses physiques des eaux de surface et les eaux souterraines :

Tableau XIX. Résultats des analyses physiques des eaux souterraines et de surface.

	pH	DO	CE	Sal	TDS
Unité	-	Mg/l	µS/cm	Psu	Mg/l
Normes (JORA, 2014)	6.5 - 9	5	2800	5	1.2
P1	6.94	6.84	2060	1.06	1.03
P2	7.03	6.51	2090	1.08	1.045
P3	8.11	4.67	3538	1.87	1.767
P4	6.85	5.17	2381	1.23	1.19
P5	6.74	5.46	2559	1.33	1.279
P6	6.73	5.38	2471	1.28	1.235
P7	7.25	4.53	5150	2.8	2.586
P8	6.85	3.83	2342	1.21	1.171
P9	6.75	5.39	5647	3.08	2.826
P10	6.6	5.64	5548	3.02	2.773
P11	7.04	4.74	5449	2.96	2.723
P12	7.5	5.8	3383	1.78	1.69
P13	7.08	3.88	4228	2.26	2.115
P14	6.93	4.64	5324	2.89	2.661
P15	6.81	5.36	4425	2.37	2.213
P16	7.1	4.7	4820	2.6	2.41
P17	6.93	4.45	6257	3.42	3.126
P18	8.57	5.54	5684	3.09	2.841
P19	6.91	4.05	5834	3.18	2.915
P20	6.7	6.17	5370	2.92	2.687
P21	7.28	3.32	754	0.37	0.377
P22	6.95	6.12	2548	1.34	1.292
P23	6.69	5.68	2598	1.35	1.298
P24	7.02	6.95	2495	1.29	1.247
P25	7.03	6.54	1893	0.97	0.946
P26	7.2	5.72	846	0.42	0.423
F1	6.66	4.82	4884	2.67	2.448
F2	6.67	2.75	5812	3.17	2.906
F3	6.74	5.84	5813	3.17	2.906
F4	6.69	4.66	5627	3.06	2.813
Normes (JORA, 2014)	6.5 - 9	<7	2800	5	1.2
O1	6.84	6.3	5240	2.84	2.62
O2	7.16	5.57	2187	1.13	1.0897
O3	6.99	3.13	1763	0.92	0.897
O4	6.85	0.69	1763	0.9	0.881
O5	6.81	2.2	1790	0.91	0.895
O6	6.55	3.6	7988	4.46	3.997

O1, O2: oued El kseur / **O3, O4, O5:** oued Amizour / **O6:** oued Soummam

III.4. Discussions des analyses des paramètres :

III.4.1. Le potentiel hydrogène (pH):

Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (Dussart, 1966 ; Bermond et Vuichard, 1973).

C'est un élément important pour la détermination de la qualité de l'eau (Mihoubi, 2008).

Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par un multi paramètre.

Les mesurées du pH au niveau de la plaine sont comprises entre 6,55 et 8,11. Le pH est compris entre 6,85 et 8.11 dans la partie Nord et sud ainsi que le centre de la plaine et entre 6,55 et 6,85 dans la partie Ouest (Fig.21). Le pH est surtout lié à la composition des sols que l'eau a traversés, donc d'après les résultats le sol est calcaire. Le pH au niveau de la zone d'étude semble être provenant des aquifères carbonatés.

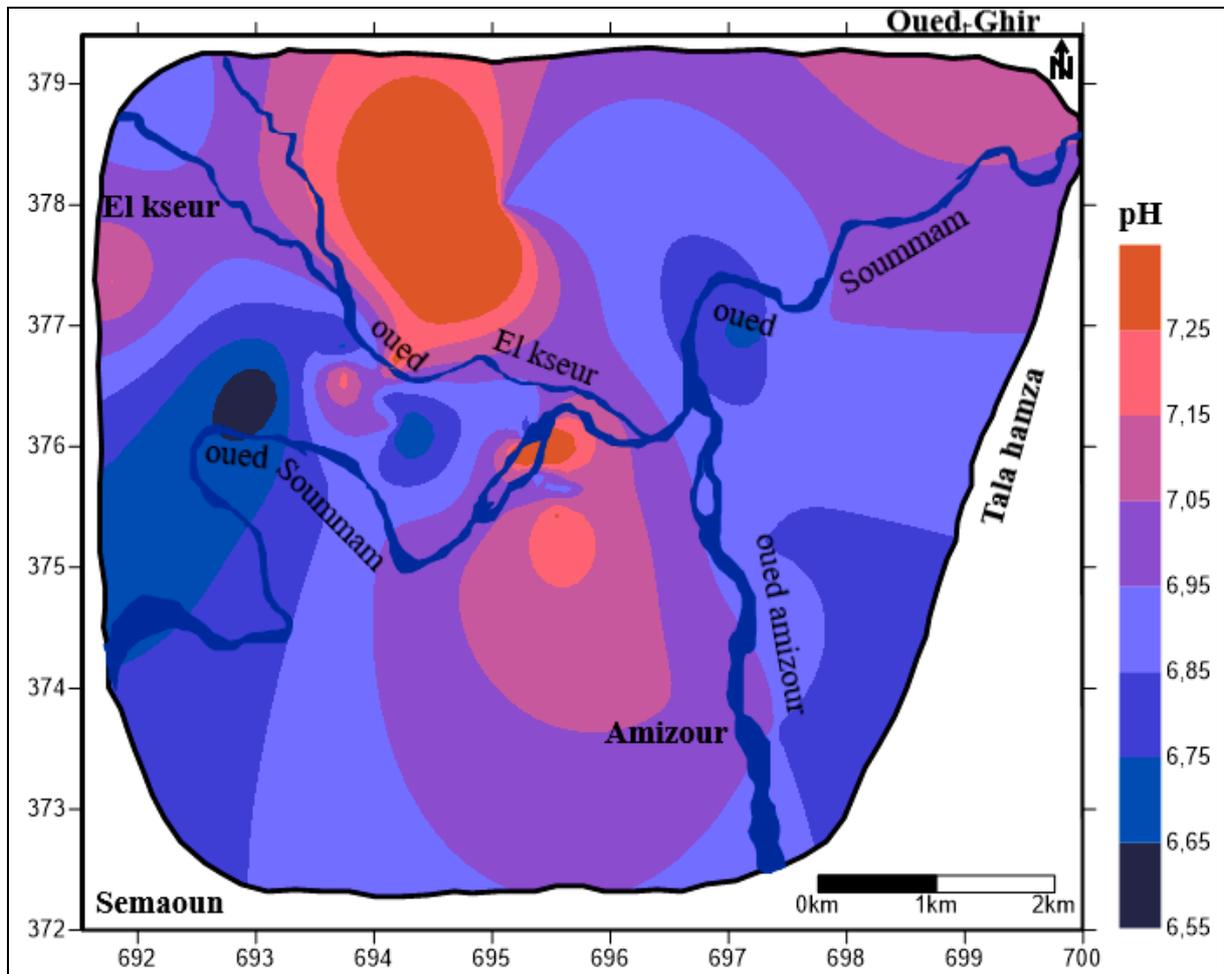


Figure 21. Carte de répartition spatiale de pH des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Février 2020).

III.4.2. Conductivité électrique :

La conductivité électrique (CE) est un paramètre physique qui indique la minéralisation globale d'une eau. Elle est liée à la quantité des sels minéraux dans les eaux souterraines (NAJIB, 2014). La conductivité électrique des eaux a été classée selon le degré de minéralisation comme proposé par Rodier(1996) cité par Zourhi et Carlier (2002). Cette classification a été également utilisée par Ahoussi(2008), Soro(2010), Kouassi et al., (2010):

- si $100 < CE < 250 \mu\text{S/cm}$, eau faiblement minéralisée.
- si $250 < CE < 500 \mu\text{S/cm}$, eau peu minéralisée (sols schisteux, volcaniques, granitiques).
- si $500 < CE < 1000 \mu\text{S/cm}$, eau minéralisée (sols calcaires, marneux).
- si $1000 < CE < 3000 \mu\text{S/cm}$, eau fortement minéralisée (sols gypseux, eaux salées).
- si $3000 \mu\text{S/cm} < CE$, eau de mer.

Dans la zone d'étude, la CE des eaux souterraines varient entre $754 \mu\text{S/cm}$ (P21) et $6257 \mu\text{S/cm}$ (P17) ; avec une moyenne de $3927.66 \mu\text{S/cm}$. Pour les eaux superficielles nous avons enregistré des valeurs qui varient de $1763 \mu\text{S/cm}$ (O1, Amizour) et $7988 \mu\text{S/cm}$ (oued Soummam) ; avec une moyenne de $3460.16 \mu\text{S/cm}$ (Fig.22) A partir des deux moyennes on peut dire que les eaux souterraines ont la capacité à conduire le courant électrique plus que les eaux de surface.

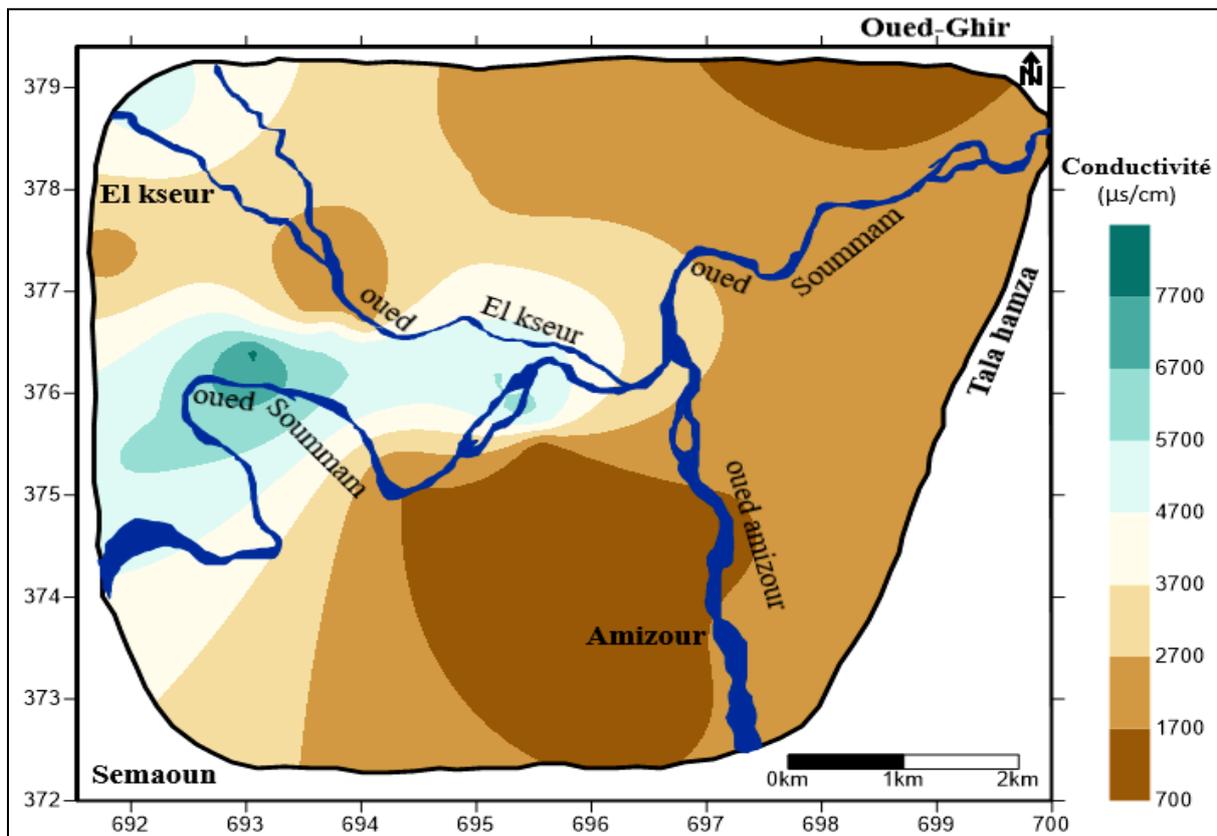


Figure 22. Carte de répartition spatiale de conductivité des eaux souterraines de la plaine

III.4.3. Total des solides dissous (TDS) :

Représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques. Ces minéraux peuvent provenir aussi bien de source naturelle que d'activités humaines. Les eaux de ruissellement agricole et urbaines peuvent provoquer un surplus de minéraux dans les cours d'eau (Mehounou et al., 2016)

Dans la zone d'étude, le TDS des eaux souterraines varie entre 0.37 g/l (P21) et 3.12 g/l (P17) avec une moyenne de 1.93 g/l. Pour les eaux de superficielle nous avons enregistré des valeurs qui varient de 0.88 g/l (O2, Amizour) et 3.99 g/l (O6, oued Soummam), avec une moyenne de 1.73 g/l (Fig.23)

A partir des deux moyennes nous avons constaté une différence serait probablement, le fait de fertilisants utilisés dans la zone de production et qui sont ruisselés vers les cours d'eau.

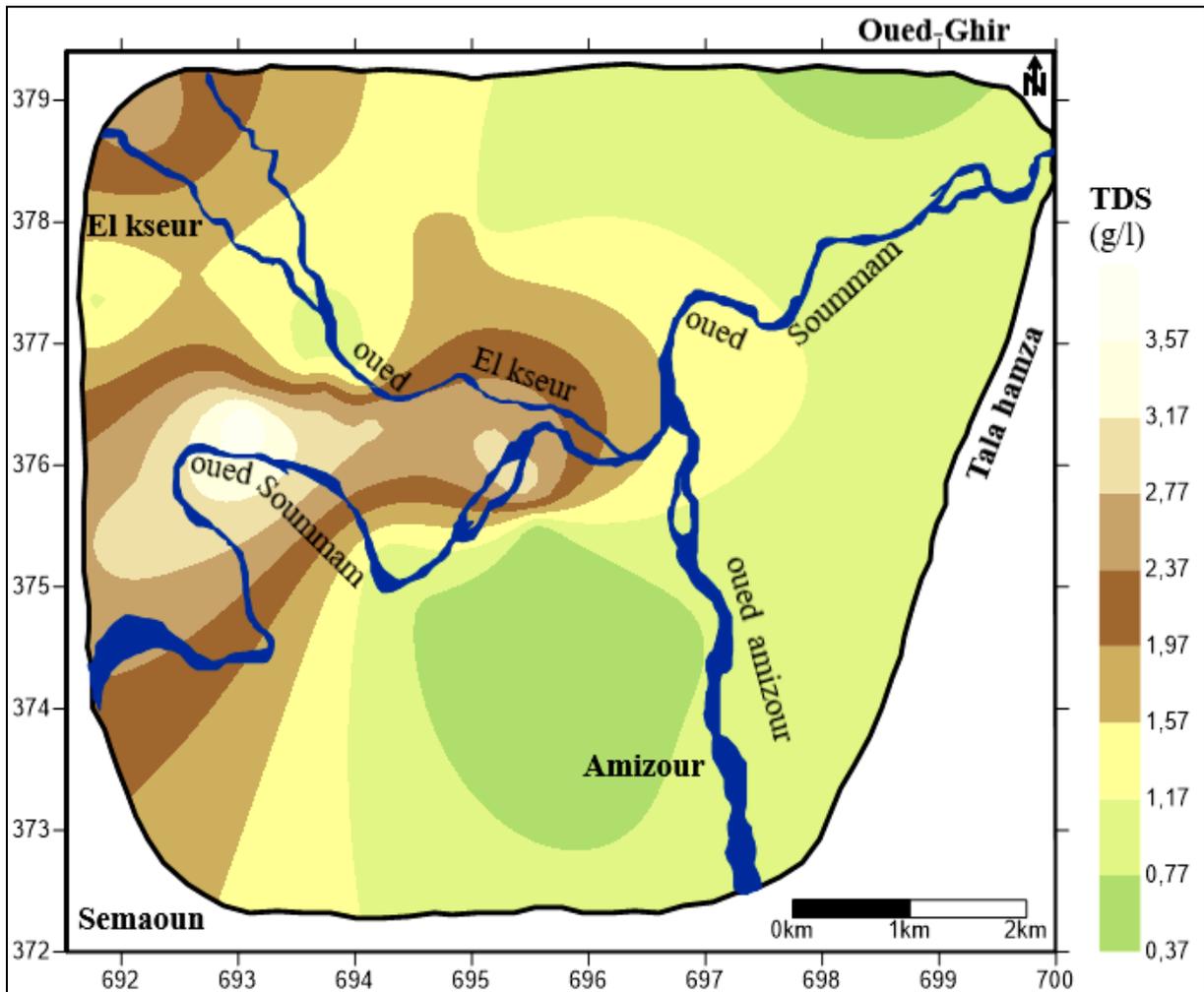


Figure 23. Carte de répartition spatiale de TDS des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Février 2020).

III.4.4. La salinité :

La minéralisation est la teneur en sels dissous dans l'eau. Elle représente l'ensemble des sels déterminés et est exprimée en mg/l. Elle est en relation directe avec la conductivité (Mihoubi, 2008).

Les valeurs de la salinité de notre eau analysée varient généralement entre 0,35 et 2,8 (Ups), Les valeurs les plus élevés sont remarqués dans la partie ouest de la zone d'étude (Fig.24).

Les fortes valeurs de salinité enregistrées peuvent être dues aux rejets des eaux usées domestique ou industrielles.

Selon AYERS et WESTCOT (1988) quand les eaux d'irrigation sont chargées en sels, ces derniers s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture.

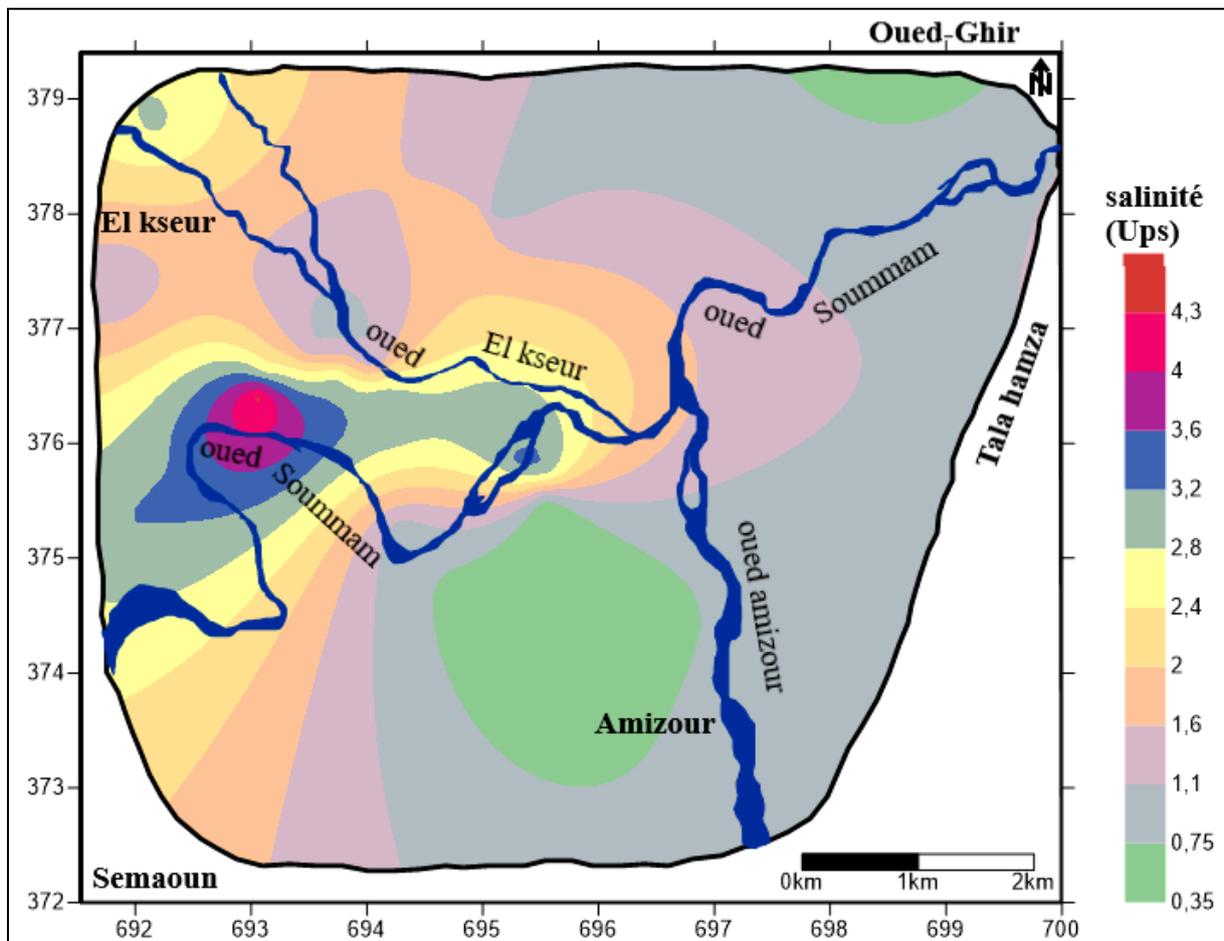


Figure 24. Carte de répartition spatiale de la salinité des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Février 2020).

III.4.5. L'oxygène dissous :

L'oxygène dissous disponible est limité par la solubilité de l'oxygène (max 9 mg/l à 20°C) qui décroît avec la température et la présence de polluants dans les cours d'eau (Rodier, 1996). L'oxygène dissous est un paramètre important à prendre en considération, car il renseigne sur l'état du puits et d'autre part il favorise la croissance des micro-organismes qui dégradent la matière organique. Les teneurs d'oxygène dissous obtenues oscillent entre 0,69 et 5,19 mg/l au milieu et la partie sud de la plaine, et elles sont comprises entre 5.19 et 6,95 mg/l dans la partie nord de la zone d'étude (Fig.25). Une faible teneur en oxygène dissous est synonyme d'une forte charge polluante ou d'une température élevée de l'eau. Paramètre important de l'écologie des milieux aquatiques (Rodier, 1996). En général, les valeurs faibles de l'oxygénées dissous favorisent le développement des germes pathogènes.

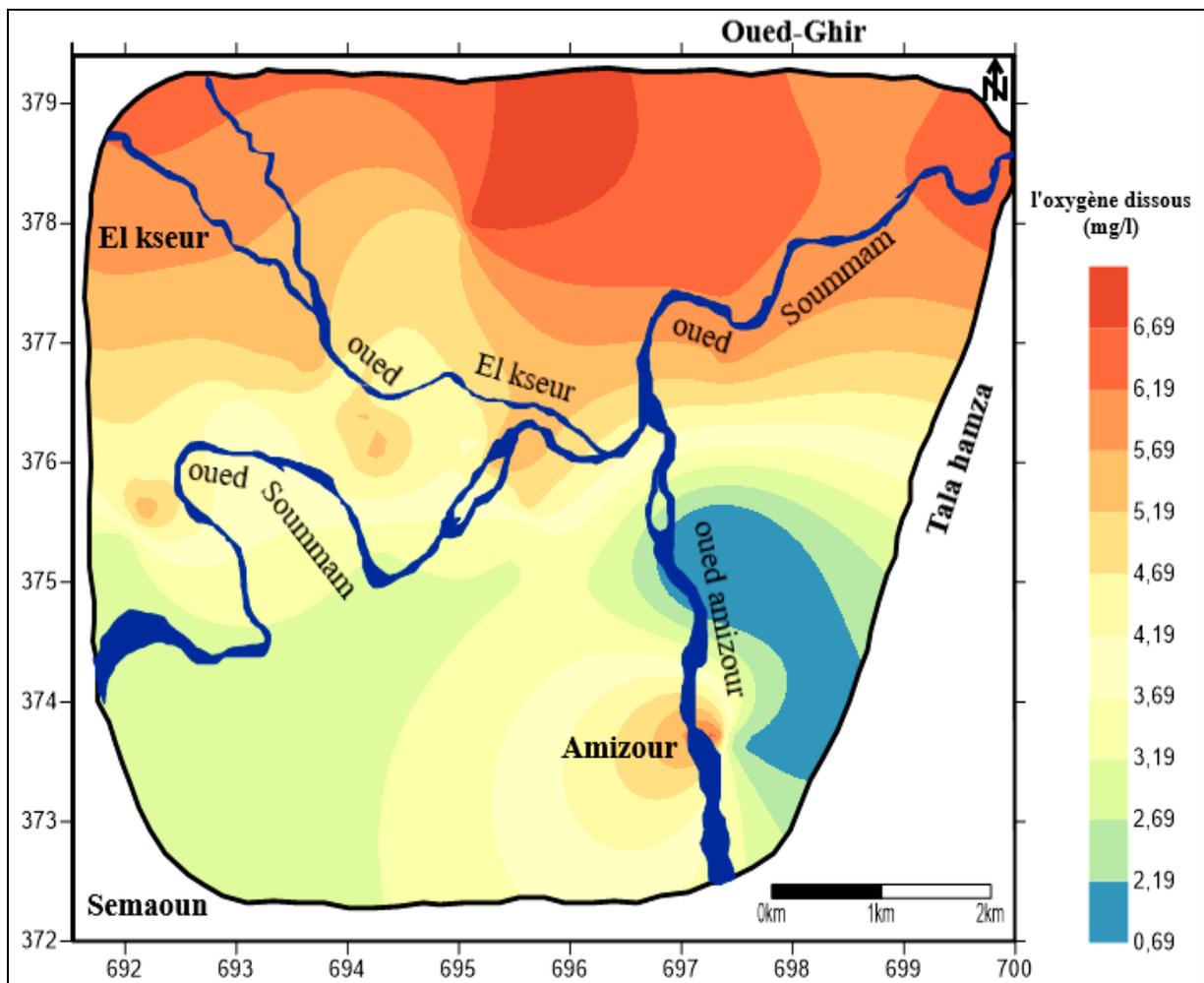


Figure 25. Carte de répartition spatiale de l'oxygène dissous des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Février 2020).

III.5. Interprétations des paramètres et réalisation des cartes thématiques :

III.5.1. Méthode DRASTIC :

III.5.1.1. Paramètre profondeur de la nappe « D » :

L'évaluation de ce paramètre a été faite à partir des valeurs relevées directement au niveau des coupes des puits. Ces valeurs ont été classées selon les fourchettes établies dans les tables des systèmes de cotation DRASTIC (Tab.XX). Les données sont représentées sur l'ensemble de la région comme le montre la carte en (Fig.26).

Tableau XX. Indices de la profondeur «D».

Intervalles	Cotes	Poids	Indices
0 – 1.5	10	5	50
1.5 – 4.5	9	5	45
4.5 – 9	7	5	35
9 – 15	5	5	25

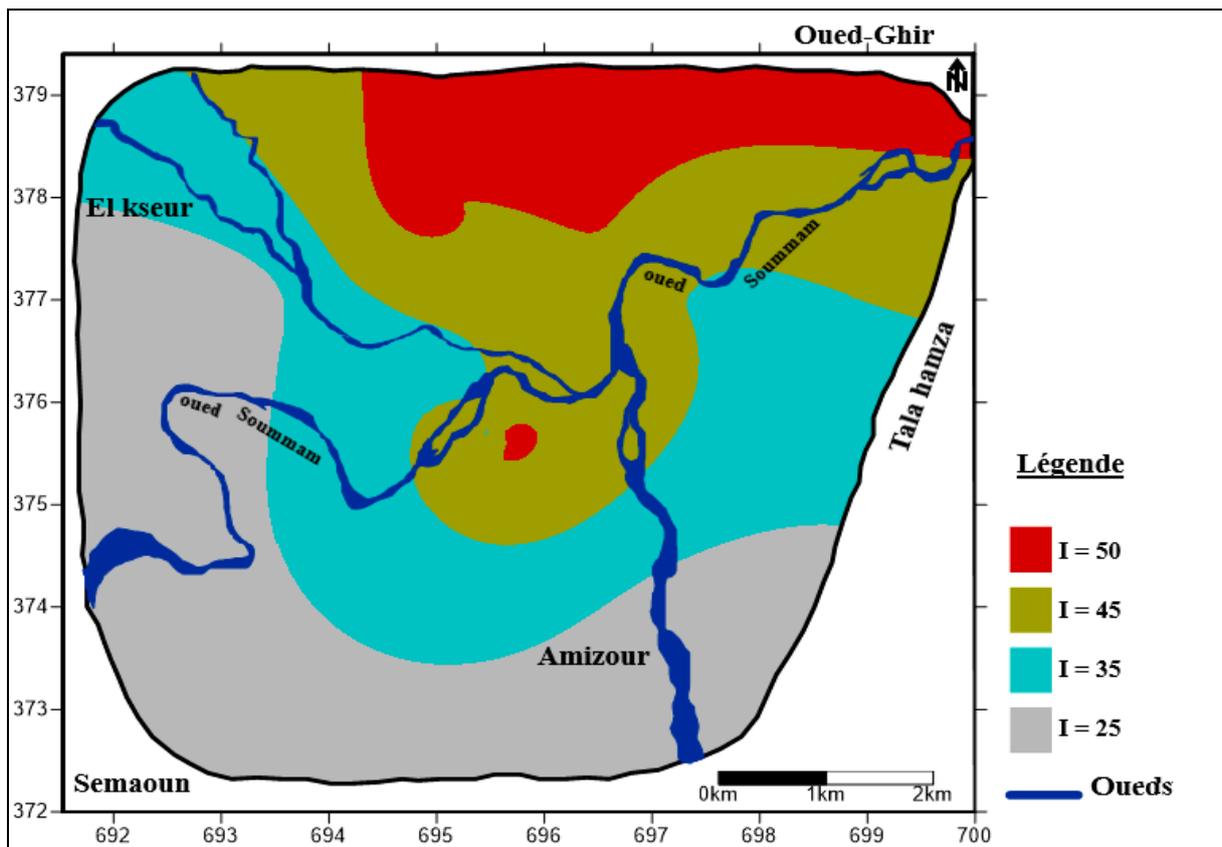


Figure 26. Carte du paramètre profondeur de la nappe « D » de la plaine d'Amizour (Février 2020)

III.5.1.2. Paramètre de la recharge efficace de l'aquifère « R » :

L'évaluation de ce paramètre a été faite à partir des résultats de bilans hydriques établis par plusieurs auteurs (Thornthwaite et Turc.....etc). La carte du paramètre "Recharge nette", ainsi obtenue (Figure 27), montre deux classes d'indices partiels (Tableau XXI)

Tableau XXI. Indices de la recharge « R »

Intervalles	Cotes	Poids	Indices
0 – 5	1	4	4
5 – 10	3	4	12

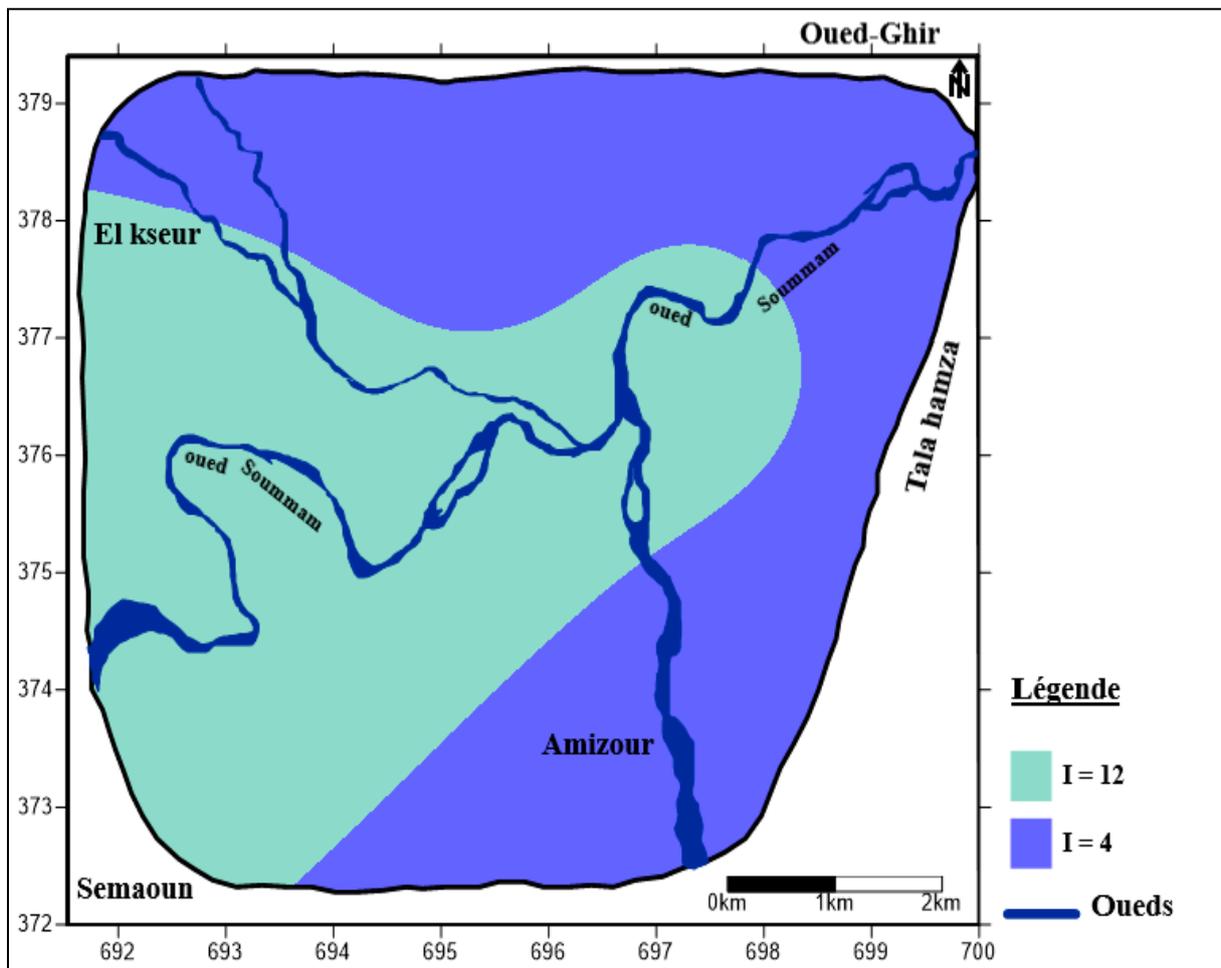


Figure 27. Carte du paramètre recharge nette « R » de la plaine d'Amizour.

III.5.1.3. Paramètre de la nature des aquifères « A » :

L'indice partiel de ce paramètre a fait sortir deux zones importantes : sables et graviers avec un indice de 24, les grés massifs avec un indice de 18 (Tab.XXII). Les données sont représentées sur l'ensemble de la région comme le montre la carte en (Fig.28).

Tableau XXII. Indice de la nature des aquifères « A ».

Intervalles	Cotes	Poids	Indices
Sables et graviers	8	3	24
Grés	6	3	18

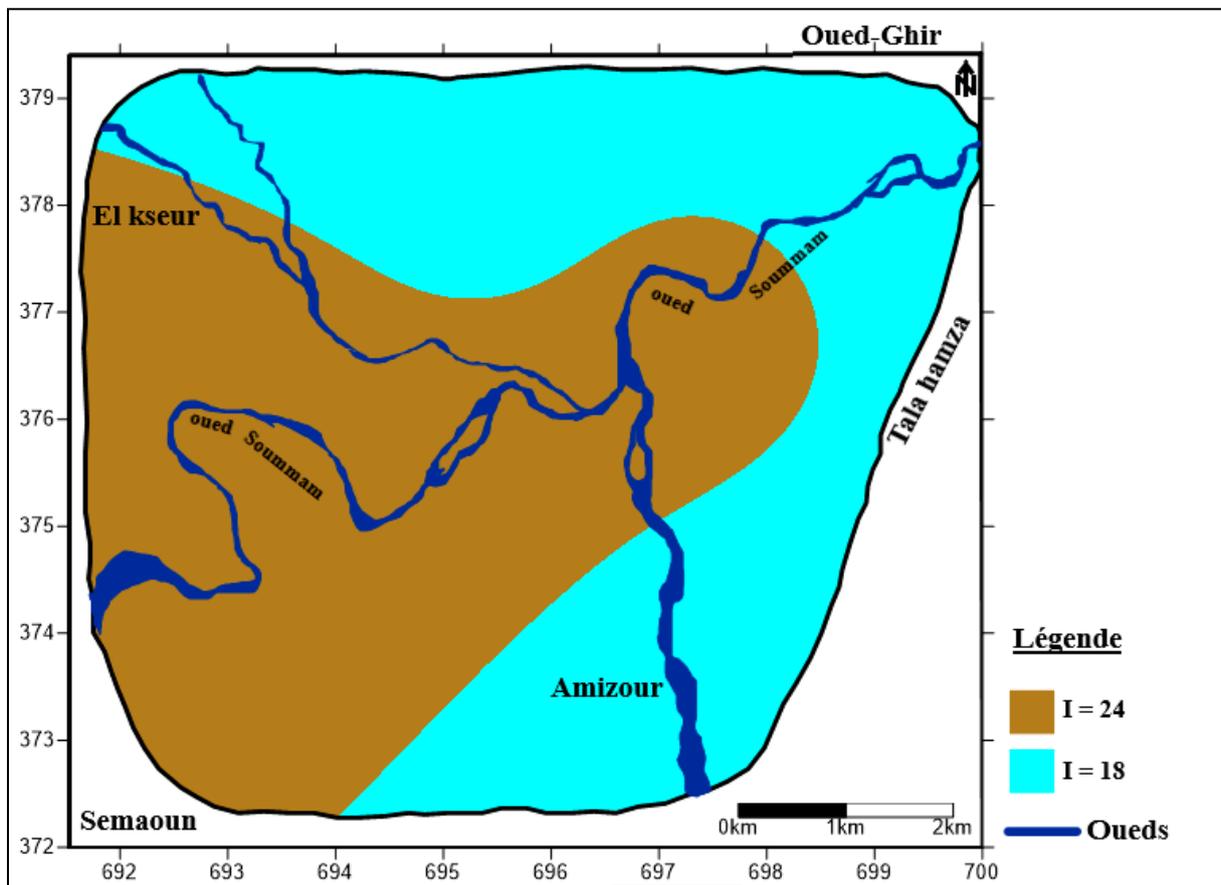


Figure 28. Carte du paramètre nature de l'Aquifère « A » de la plaine d'Amizour.

III.5.1.4. Paramètre type du sol « S » :

L'étude pédologique de la région nous donne deux indices partiels :

Sable et gravier avec un indice 18, le sol limoneux argileux avec un indice 6 (Tab.XXIII, Fig.29).

Tableau XXIII. Indice de type de sol « S »

Nature du sol	Cotes	Poids	Indices
Sable et gravier	9	2	18
Limon argileux	3	2	6

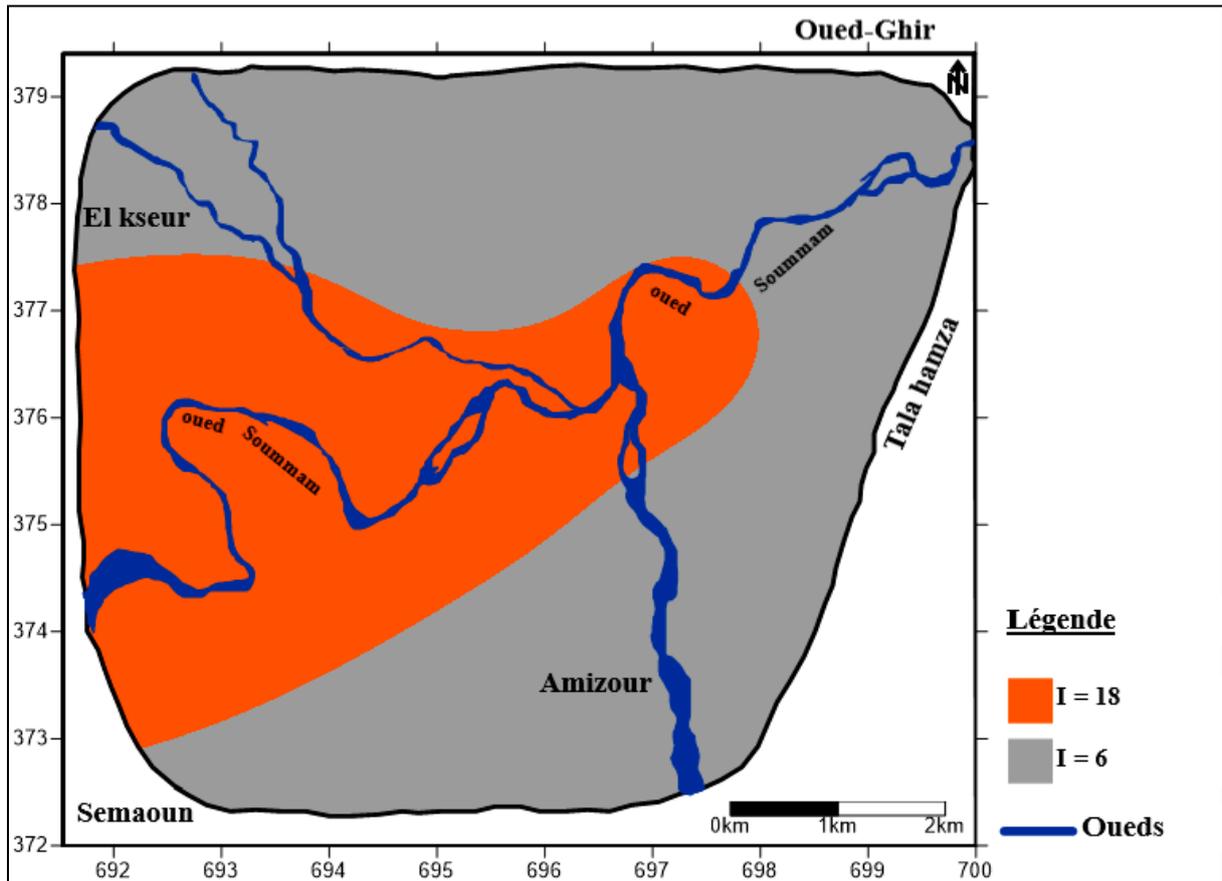


Figure 29. Carte du paramètre type du sol « S » de la plaine d’Amizour.

III.5.1.5. Paramètre topographique « T » :

D’après la carte topographique (Fig.30) nous avons pu faire ressortir une seule plage de pente (0 – 2 %).

Tableau XXIV. Indice de la topographie « T ».

Intervalles	Cotes	Poids	Indices
0 – 2 %	10	1	10

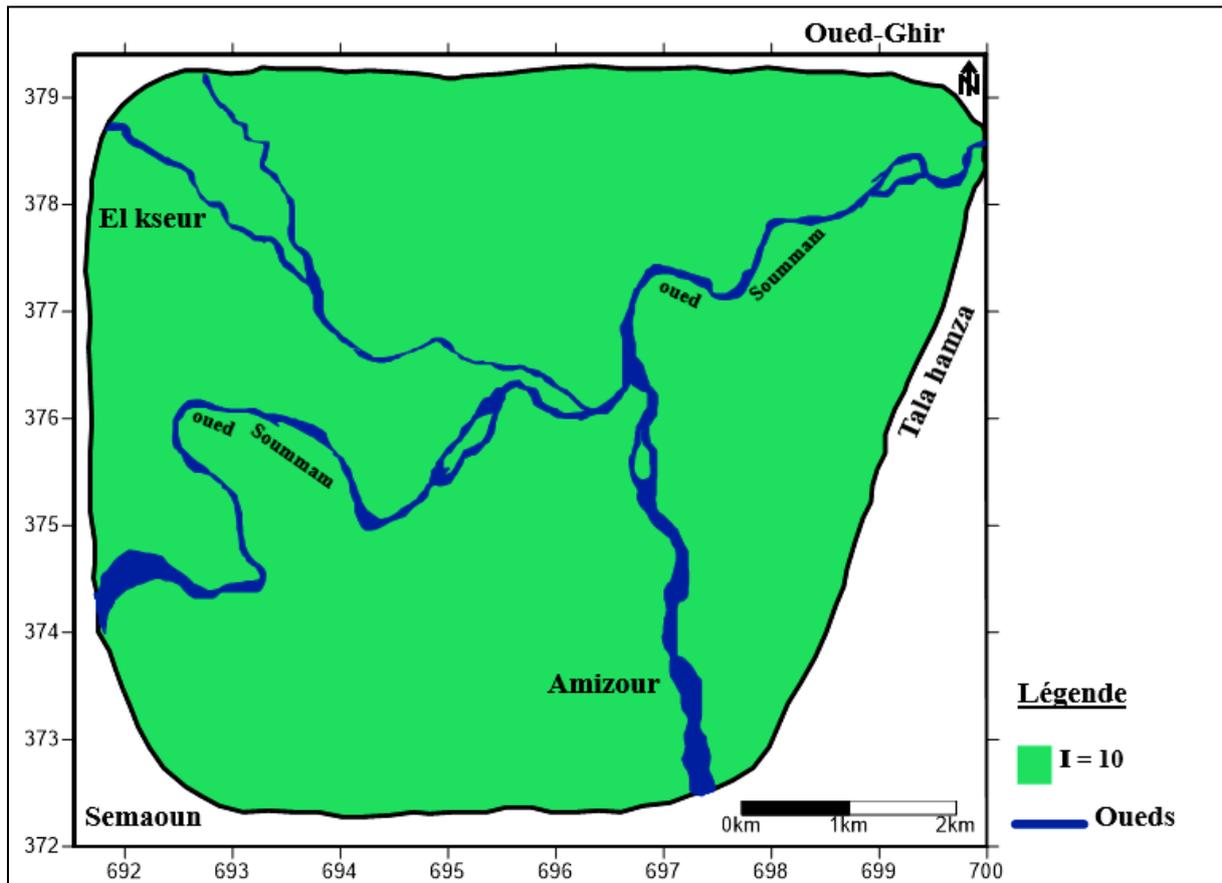


Figure 30. Carte du paramètre topographie « T » de la plaine d’Amizour.

III.5.1.6. Paramètre impact de la zone non saturée « I » :

On rencontre deux classes (Tab.XXV, Fig.31) :

La zone non saturée dans la plaine est classée en :

- La première : les gravier et sables ont un indice 40.
- La deuxième : Les grés ont un indice 30.

Tableau XXV. Indice de la zone non saturée « I »

Nature de la zone non saturée	Cotes	Poids	Indices
Sable et gravier	9	5	45
Grés	6	5	30

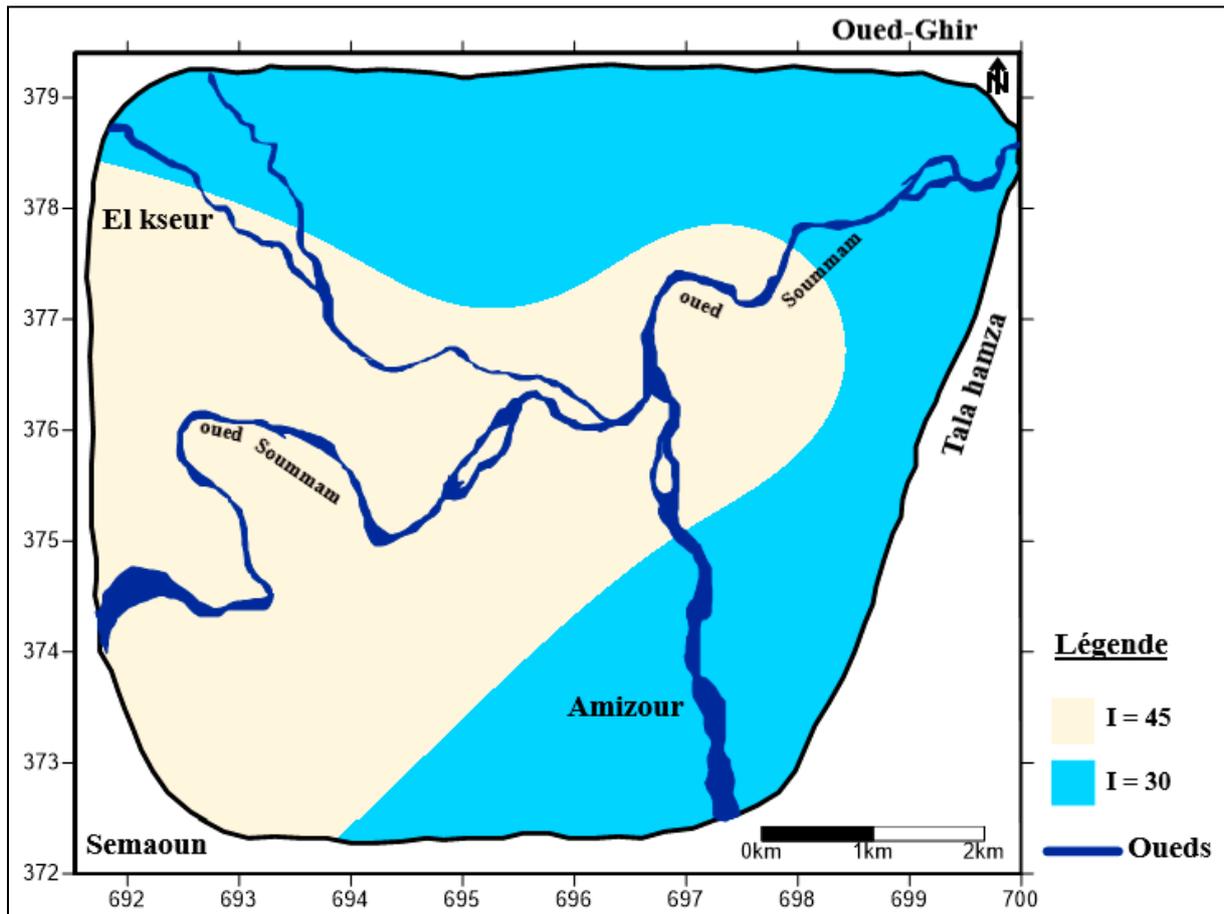


Figure 31. Carte du paramètre impact de la zone non saturée « I » de la plaine d’Amizour.

III.5.1.7. Paramètre conductivité hydraulique « C »:

La variation de la conductivité hydraulique de la nappe permet de distinguer deux classes qui sont présentées sur le tableau suivant.

Tableau XXVI. Indice de la conductivité « C »

Conductivité hydraulique « C »	Cotes	Poids	Indices
$> 9,44.10^{-4}$	10	3	30
$4,7-9,4 .10^{-4}m/s$	8	3	24

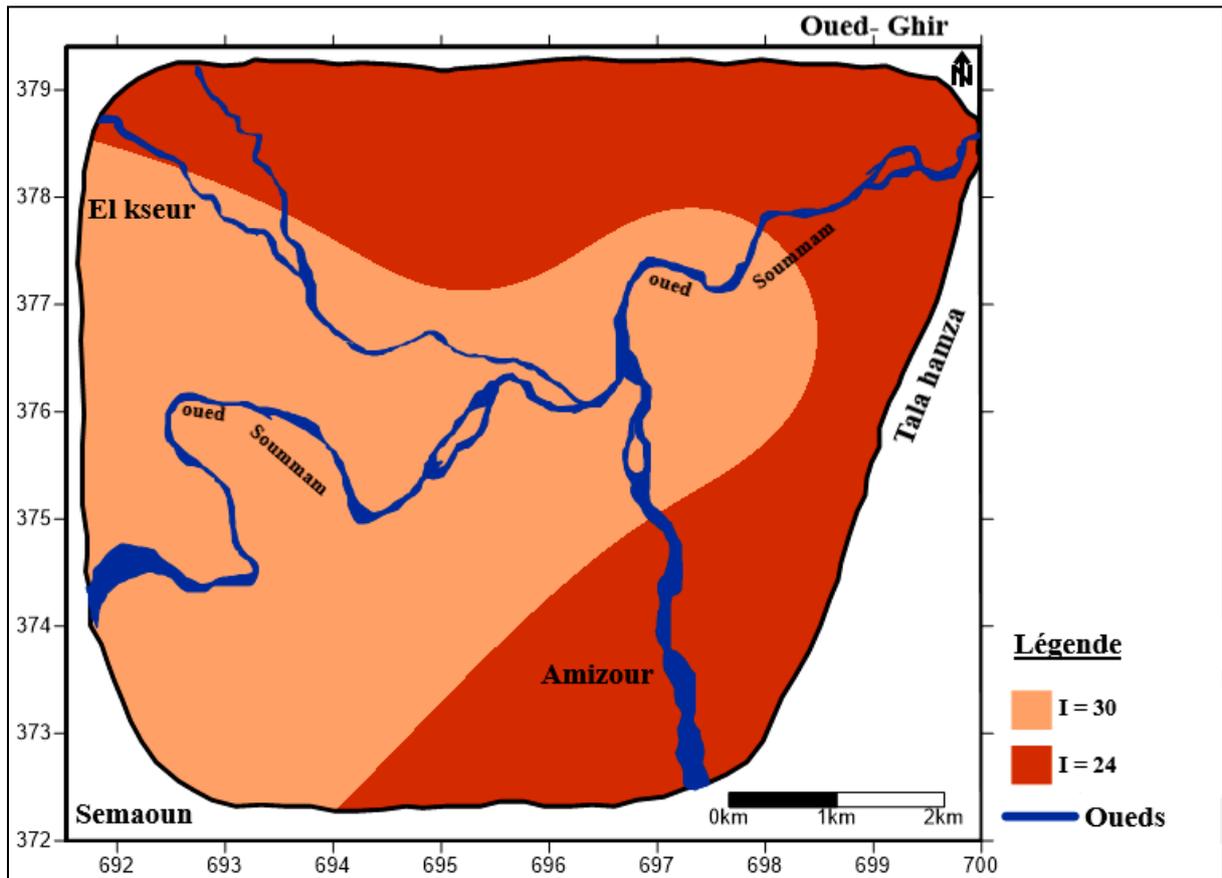


Figure 32. Carte du paramètre conductivité hydraulique « C » de la plaine d’Amizour.

III.5.2. Méthode SINTACS :

III.5.2.1. Paramètre de profondeur « S » :

L’évolution de ce paramètre a été faite à partir des valeurs relevées au niveau des coupes des puits (période hautes eaux). Ces valeurs ont été classées selon le système de cotation SINTACS.

En vue d’élaborer une carte de vulnérabilité prenant en compte les fluctuations naturelles et le forçage anthropique de la nappe. La définition des classes de la profondeur de la nappe (S), les classes ainsi retenues pour le paramètre (S) sont récapitulées dans le (Tabl.XXVII).

Les données sont représentées sur l’ensemble de la région comme le montre la carte en (Fig.32).

Tableau XXVII. L’indice partiel du paramètre « S ».

Intervalles (m)	Cotes	Poids	Indices
0 – 1.3	10	5	50
1.3 – 2.6	9	5	45
2.6 – 3.9	8	5	40

RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.9 – 5.6	7	5	35
5.6 – 8.2	6	5	30
8.2 – 10.8	5	5	25

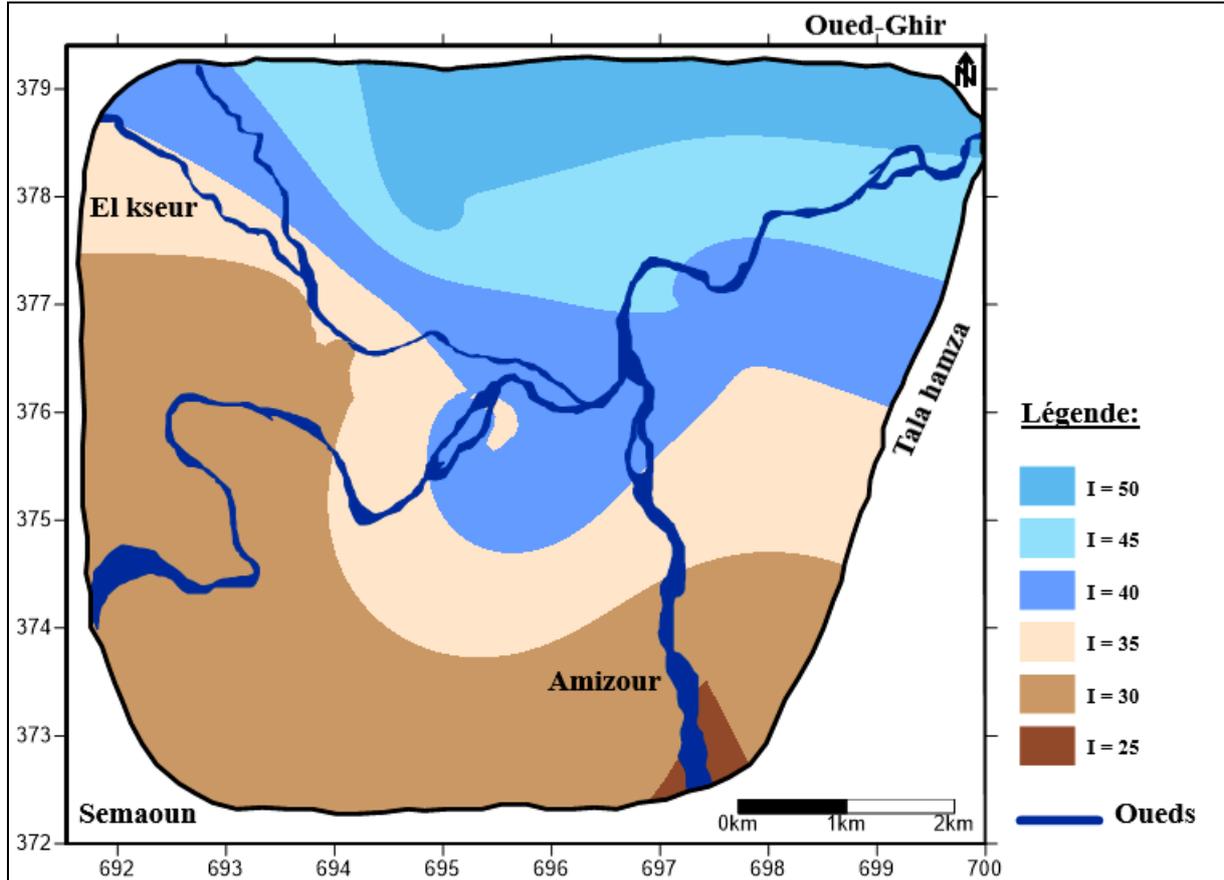


Figure 33. Carte du Paramètre profondeur des nappes « S » de la plaine d’Amizour
(Février 2020)

III.5.2.2. Paramètre d’Infiltration « I »

Les deux indices partiels nous ont fait ressortir 2 zones où leurs impact est normal qui ont un indice de vulnérabilité partielle de 8 et de 12. (Tab.XXVIII, Fig.33).

Tableau XXVIII. L’indice partiel du paramètre « I »

Intervalles (mm)	Cotes	Poids	Indices
31 - 50	2	4	8
50 - 80	3	4	12

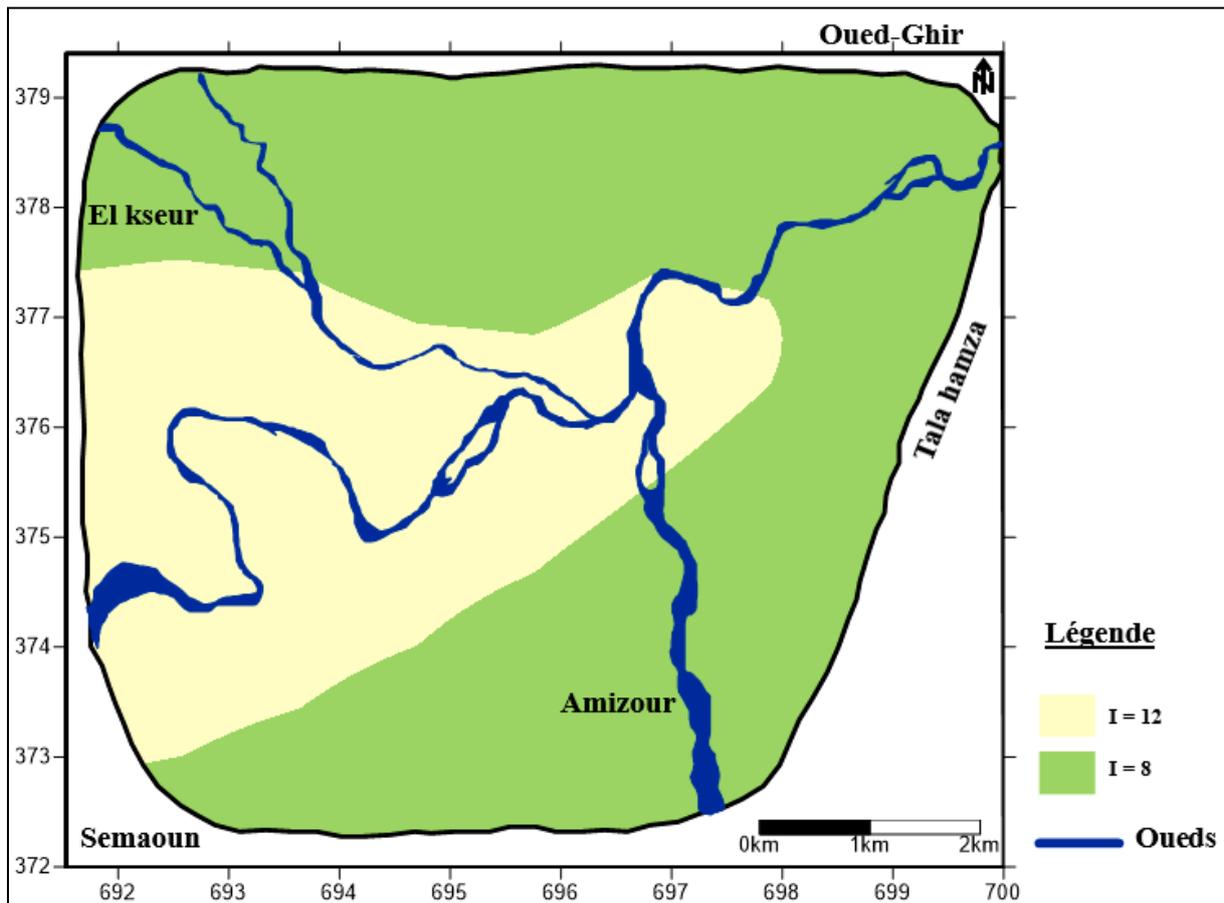


Figure 34. Carte du Paramètre d’Infiltration « I » de la plaine d’Amizour.

III.5.2.3. Paramètre de la zone non saturée « N » :

L’impact de la zone non saturée est considéré comme étant un paramètre très important par la méthode SINTACS .Puisque la nature et l’épaisseur de la zone comprise entre la surface du sol et l’aquifère, contrôlent la vulnérabilité à la pollution des réservoirs. Composé de deux zones. qui Sont récapitulées dans le (Tab.XXIX). Et la carte des indices (N) est représentée dans la (Fig.34).

Tableau XXIX. Indices de la zone non saturée « N »

Nature de la zone	Cote	Poids	Indices
Dépôt alluvial grossier	8	5	40
Grés-conglomérats	7	5	35

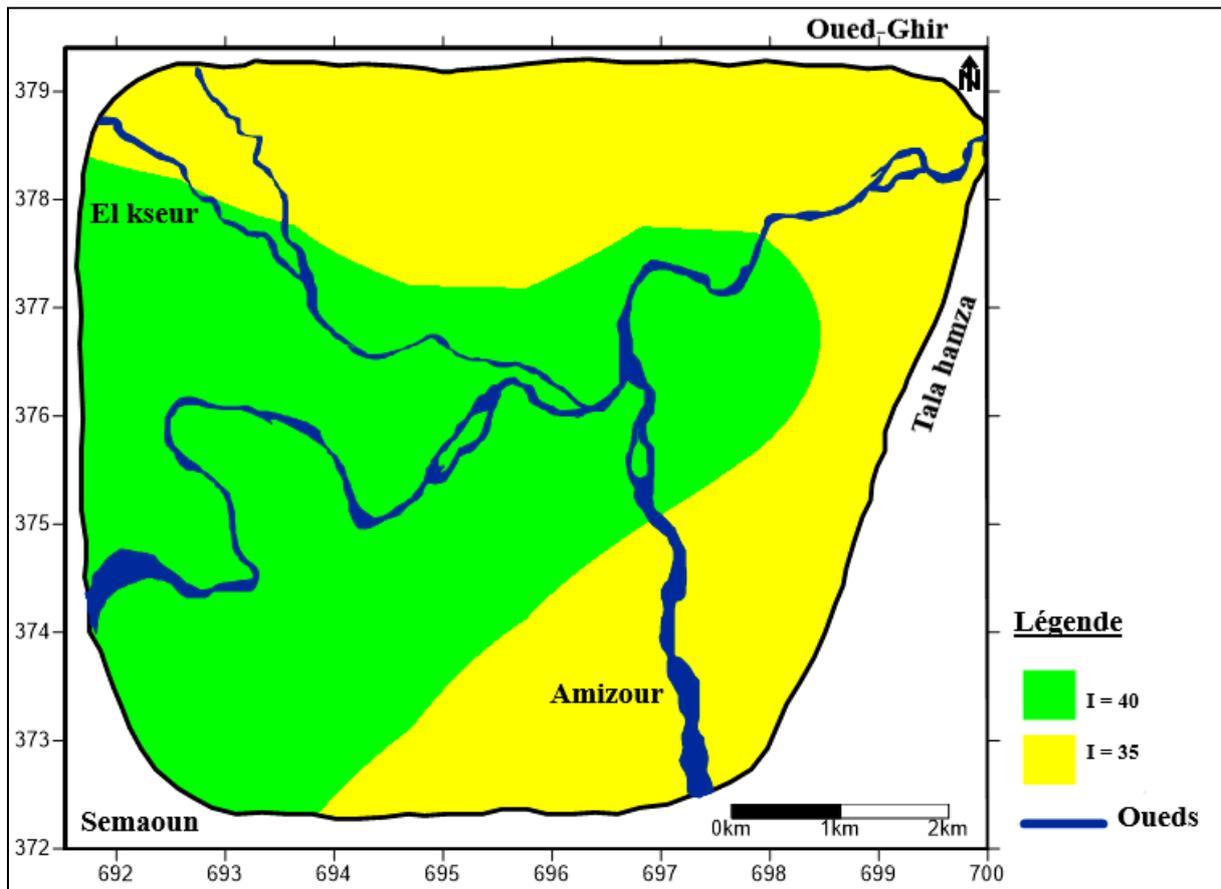


Figure 35. Carte du Paramètre de zone non saturée « N » de la plaine d'Amizour.

III.5.2.4. Paramètre de Texture de sol « T » :

Le sol a un impact sur l'eau qui s'infiltre à travers le sol pour atteindre les eaux souterraines et donc la migration verticale des polluants à travers la zone non saturée.

Selon l'analyse de la carte pédologique du sol de la plaine, nous avons pu faire ressortir deux types de sols : sol alluvionnaire avec un indice de vulnérabilité 38,8 et sol Limoneux argileux marqué par l'indice 28 (Tab.XXX, Fig.35).

Tableau XXX. Indice partiel de paramètre « T ».

Nature du sol	Cote	Poids	Indices
Gravier et sable	9.7	4	38.8
Limoneux argileux	7	4	28

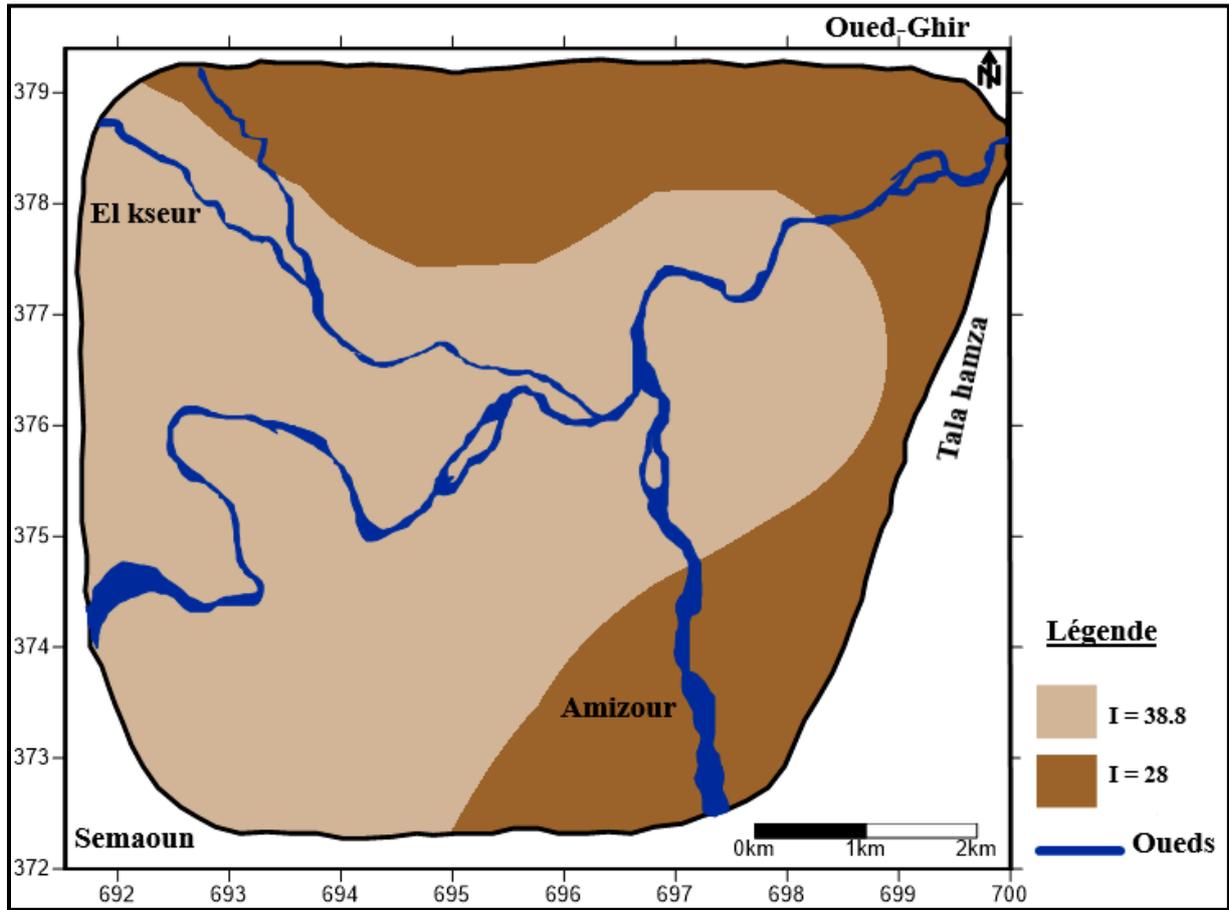


Figure 36. Carte du Paramètre de Texture de sol « T » de la plaine d’Amizour.

III.5.2.5. Paramètre de Type d’aquifère « A »

Le calcul de l’indice partiel pour ce paramètre a fait ressortir deux zones, les Alluvion grossier avec un indice 24, les Grés-conglomérats avec un indice 21. (Tab.XXXI, Fig.36).

Tableau XXXI. Indices de type d’aquifère « A »

Nature d’aquifère	Cote	Poids	Indices
Alluvion grossier	8	3	24
Grés-conglomérats	7	3	21

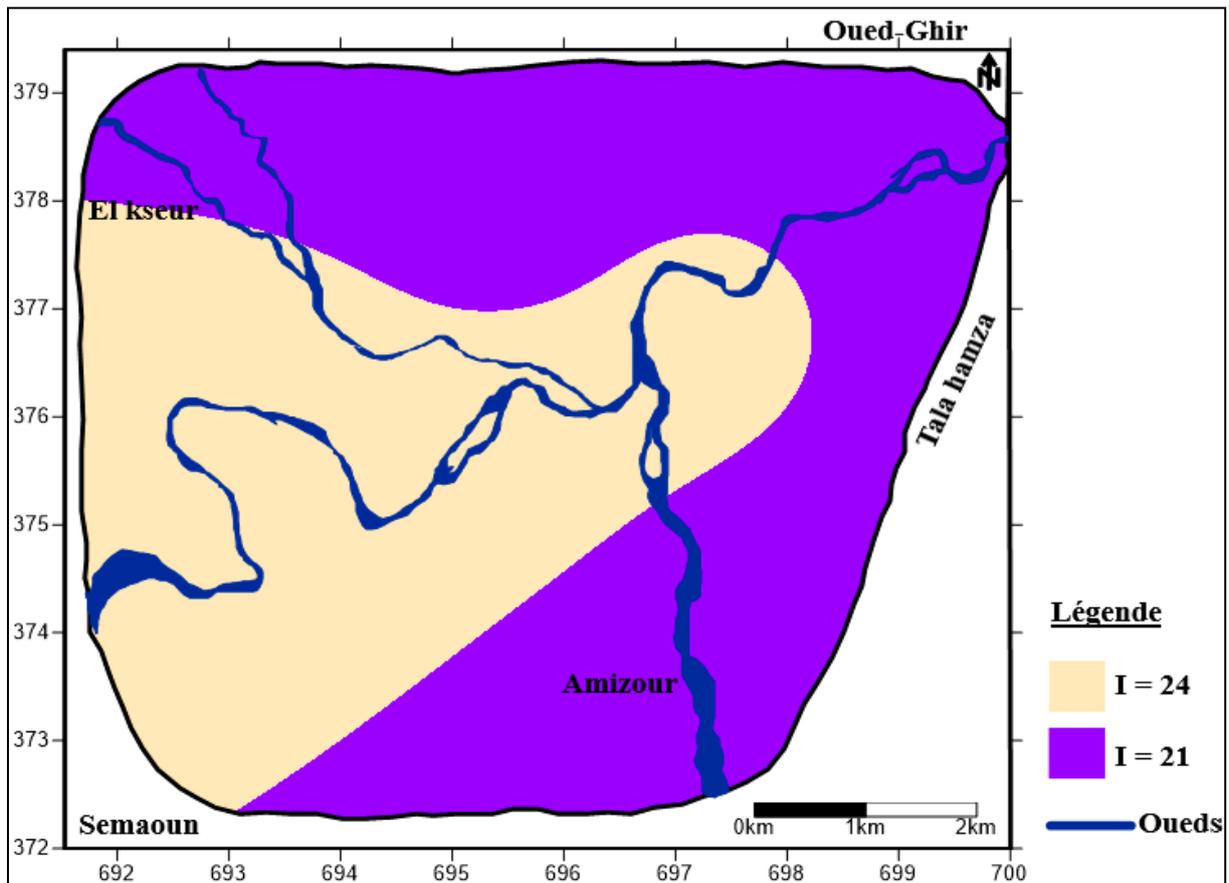


Figure 37. Carte du Paramètre de Type d'aquifère « A » de la plaine d'Amizour.

III.5.2.6. Paramètre de la Conductivité « C »

Le calcul de l'indice partielle pour ce paramètre a fait sortir 02 zones; les alluvions (gravier) avec un indice 30 et la zone grés dont l'indice est de 21.

Tableau XXXII. L'indice partiel du paramètre « C »

Conductivité « C »	Cotes	Poids	Indices
Gravier	10	3	30
Grés	7	3	21

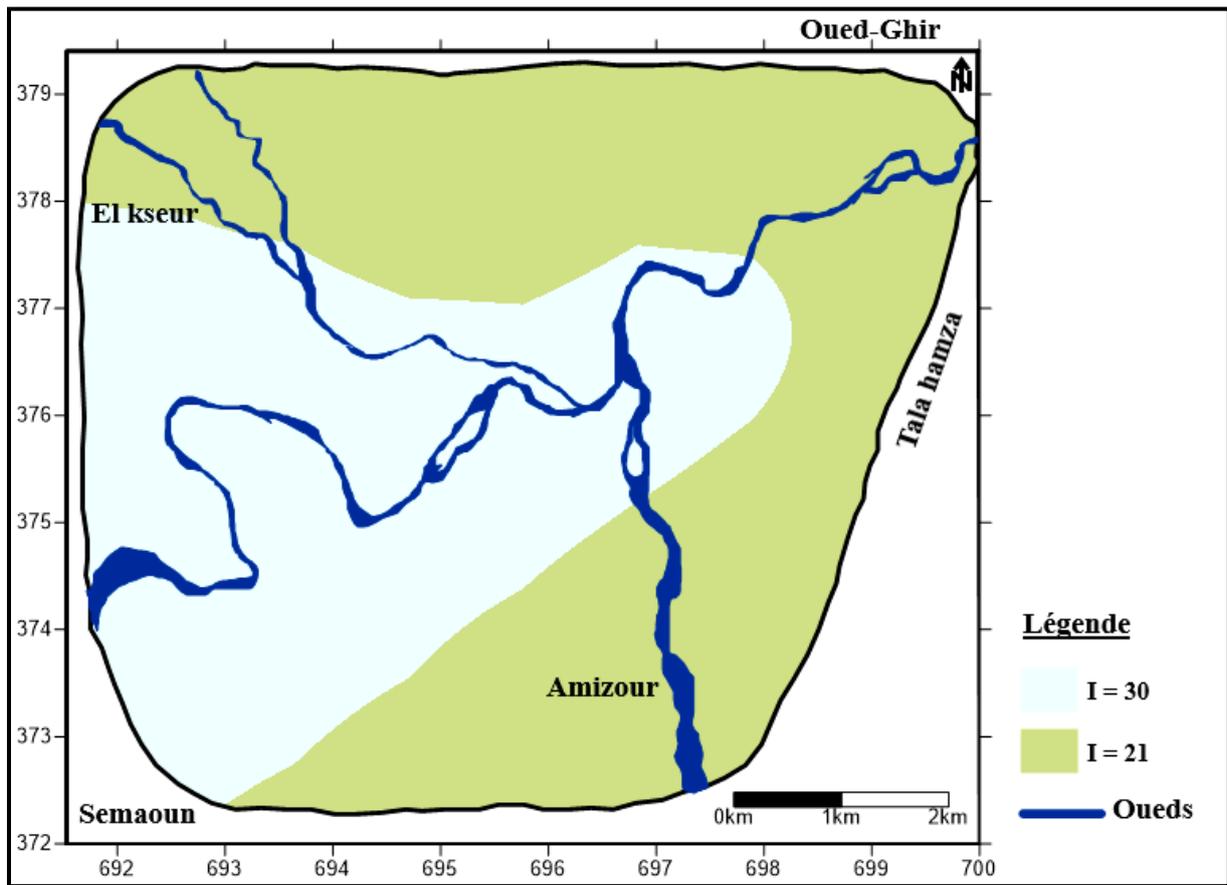


Figure 38. Carte du Paramètre de la Conductivité « C » de la plaine d’Amizour.

III.5.2.7. Paramètre Topographie « S »

Le degré de la pente détermine la puissance d’infiltration des eaux de ruissellement. la pente indique si l’eau va ruisseler à la surface, ou si elle va s’infiltrer dans le sol.

L’examen de la carte topographique de la zone d’étude fait ressortir une seule plage de pente (0– 5%)

Tableau XXXIII. Indice partiel du paramètre « S »

Intervalles	Cotes	Poids	Indices
0 – 5	10	2	20

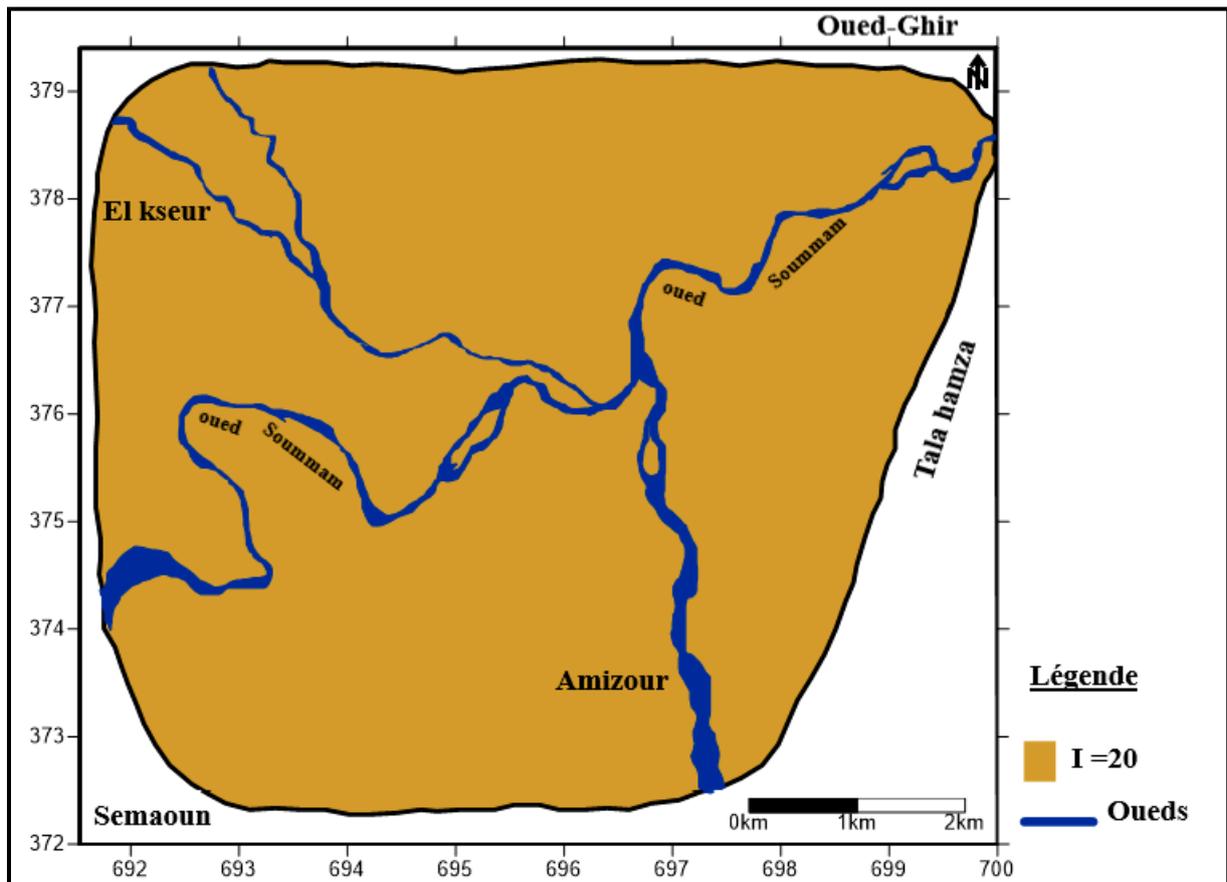


Figure 39. Carte du Paramètre de la Topographie « S » de la plaine d'Amizour

III.5.3. La vulnérabilité de la méthode DRASTIC et SINTACS

III.5.3.1. La carte de vulnérabilité de DRASTIC :

Le calcul et la cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la plaine d'Amizour ont été réalisés par la méthode DRASTIC et à l'aide du logiciel Surfer version 11. La superposition des sept cartes thématiques établies et l'application de l'équation de l'indice DRASTIC général nous a permis de tracer la carte finale de vulnérabilité. (Figure 39).

Avec :

$$ID = (Dp.Dc)+(Rp.Rc)+(Ap.Ac)+(Sp.Sc)+(Tp.Tc)+(Cp.Cc)$$

La carte nous a permis de déterminer les différentes zones vulnérables à la pollution dans la plaine d'Amizour qui sont :

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

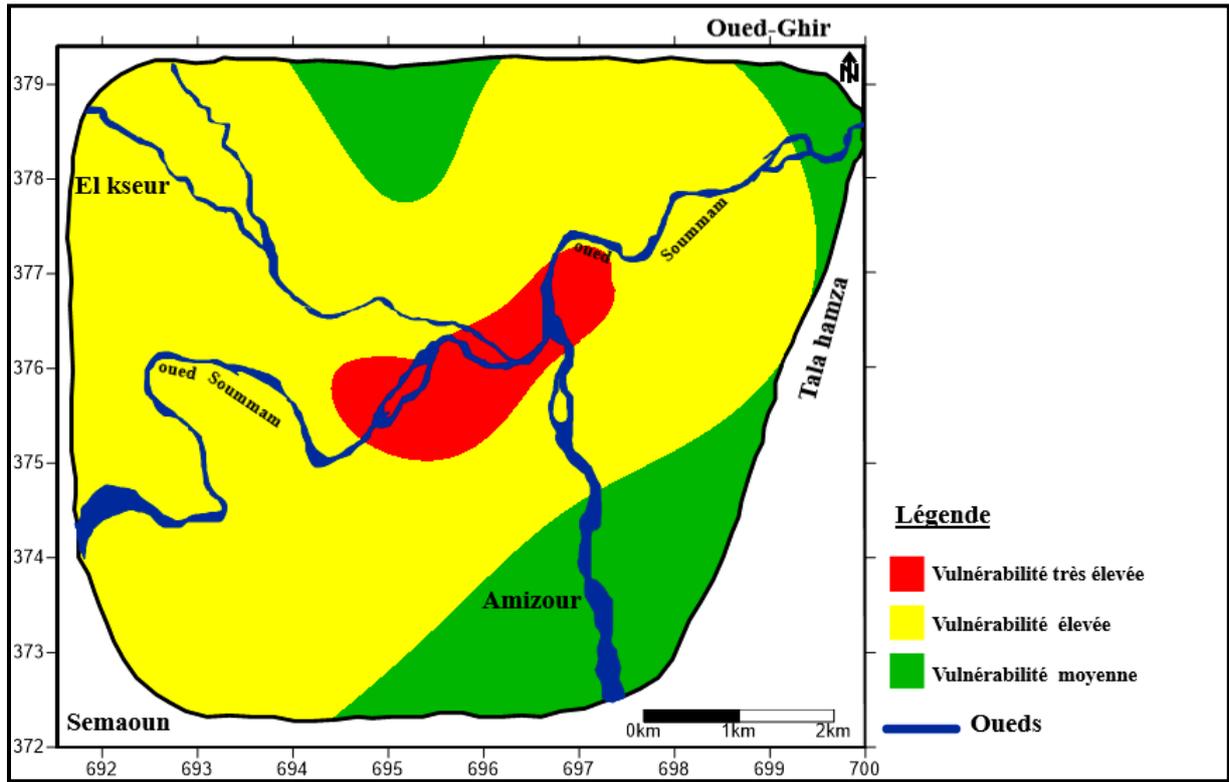


Figure 40. Carte de vulnérabilité à la pollution de la plaine d'Amizour par la méthode DRASTIC.

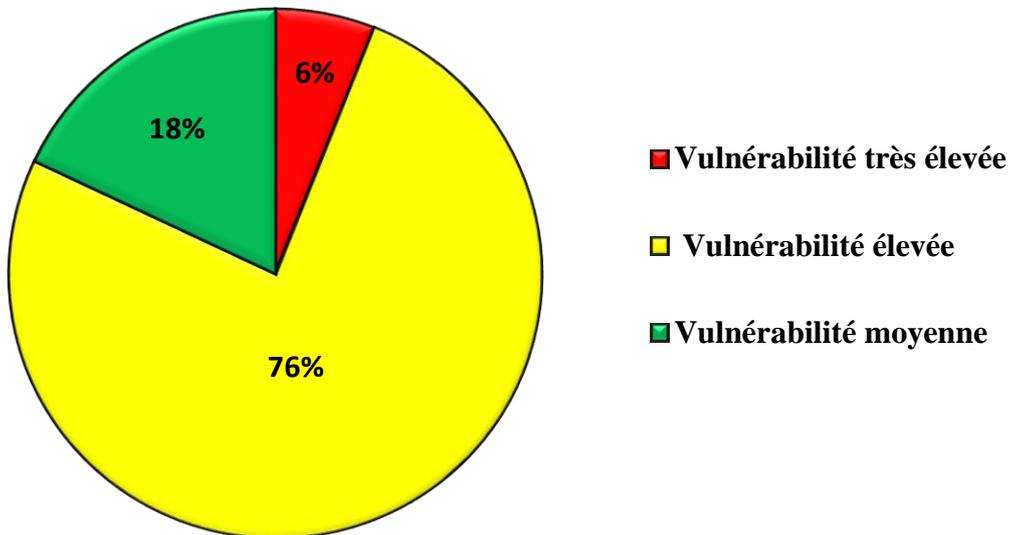


Figure 41. Pourcentage de vulnérabilité à la pollution de la plaine d'Amizour par la méthode DRASTIC.

La zone de vulnérabilité moyenne occupe presque 18% de la superficie de la zone d'étude. Cette classe traduit une vulnérabilité moyenne à la pollution qui peut être expliquée par son altitude et l'influence du type du sol qui se manifeste par la présence des argiles et des grés, qui sont des formations semi perméables ce qui ne permet pas le passage facile des polluants.

La zone de vulnérabilité élevée couvre 76% de la surface totale et se localise dans le centre de la plaine en raison de la nature des formations lithologiques perméables constituées du sable, gravier et galet. Ces terrains sont exposés à une forte pollution due aux eaux usées urbaines et industrielles déversées et transportées par l'Oued Soummam et ces affluents (Amizour, El kseur).

La zone de vulnérabilité très élevée est localisée en plein centre de la zone précédente représente 6% de la surface totale. Ce degré de vulnérabilité peut s'expliquer par le type du sol et à faible profondeur, qui peuvent augmenter le processus de propagation de polluant vers l'aquifère. Cette zone est connue par l'exploitation intensive des engrais et l'usage des pesticides dans les terrains agricoles.

III.5.3.2. La carte de vulnérabilité de SINTACS :

La superposition des sept cartes thématiques établies et l'application de l'équation de l'indice SINTACS général nous a permis de tracer la carte finale de vulnérabilité. (Figure 41)

Avec :

$$IS = (Sc.Sp) + (Ic.Ip) + (Nc.Np) + (Tc.Tp) + (Ac.Ap) + (Cc.Cp) + (Sc.Sp).$$

L'analyse de la carte finale est classée en deux catégories selon le degré de vulnérabilité (moyen et élevé).

La grande partie de la plaine est caractérisée par un degré de vulnérabilité élevé qui couvre 67% de la surface totale. Il est spatialisé dans les secteurs où le type d'aquifère est constitué de sable, gravier et galet, ces formations sont perméables.

La partie nord et sud de la plaine est affectée à un degré de vulnérabilité moyen, et qui représente 33% de la surface totale de la plaine, observée généralement dans les secteurs où le sol est composé d'argile et de gré, qui présentent des formations semi-perméables.

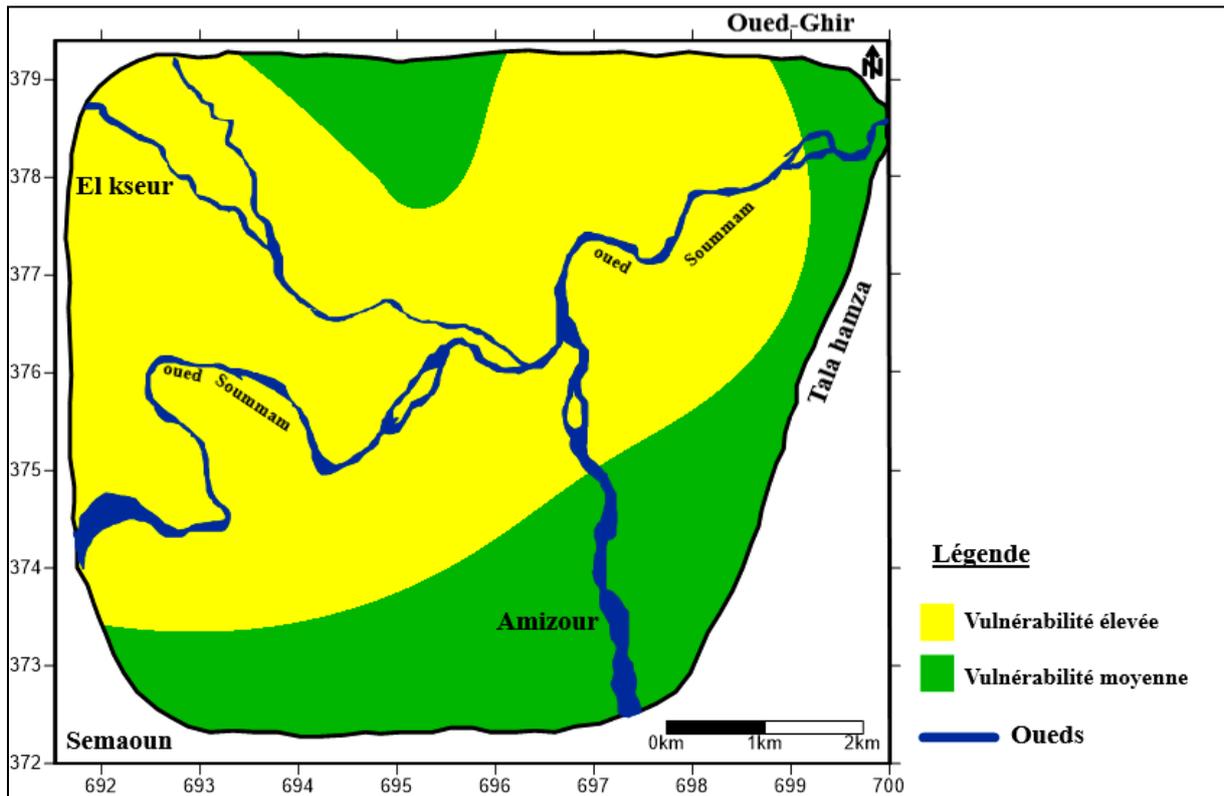


Figure 42. Carte de vulnérabilité à la pollution de la plaine d'Amizour par la méthode SINTACS.

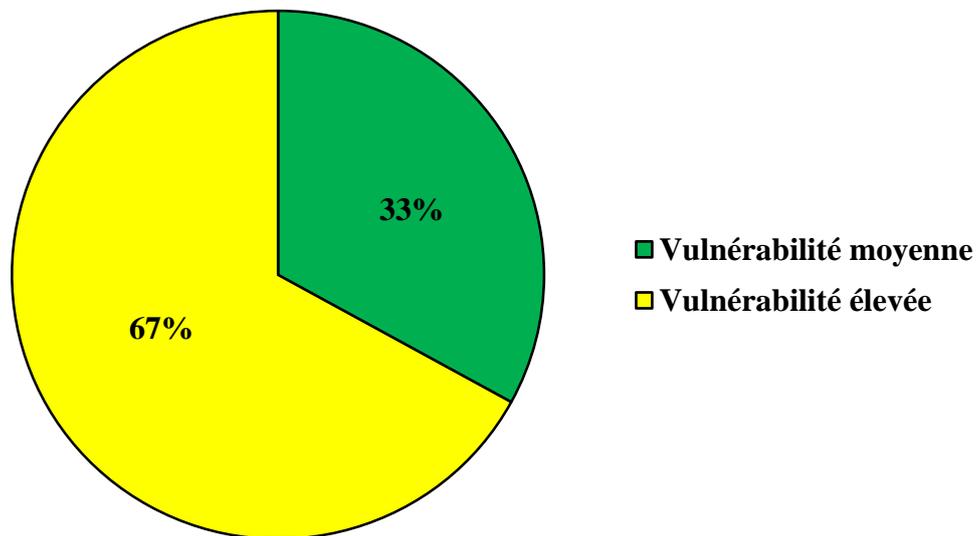


Figure 43. Pourcentage de vulnérabilité à la pollution de la plaine d'Amizour. Par la méthode SINTACS.

III.5.3.3. Comparaison de la vulnérabilité de deux méthodes:

En comparant les deux cartes de vulnérabilité (Tab.XXXIV), on peut très clairement constater un changement relativement faible de l'indice de vulnérabilité, avec une similarité des degrés de vulnérabilité faible et moyen et une ressemblance spatiale.

Tableau XXXIV. Comparaison entre les deux méthodes.

Type de vulnérabilité	DRASTIC %	SINTACS %
Vulnérabilité très élevée	6 %	Absence de zone
Vulnérabilité élevée	76 %	67 %
Vulnérabilité moyenne	18 %	33 %

Les deux méthodes donnent des résultats relativement proches. Les classes au niveau de la méthode DRASTIC sont sensiblement identiques à celles observées au niveau de la méthode SINTACS, la faible différence obtenue entre les deux zones sauf au niveau de la classe de vulnérabilité très élevée.

La classe de vulnérabilité la plus importante est la classe élevée suivie de la classe Vulnérabilité moyenne.

Dans les deux méthodes la zone de vulnérabilité élevée occupe une grande partie de la zone d'étude et la zone de vulnérabilité moyenne occupe la partie nord et sud de la zone d'étude où le type de sol est généralement constitué de grès. Quant à la zone de vulnérabilité très élevée fait ressortir la zone très menacée par la pollution, elle couvre une très petite zone observée en plein centre de la plaine d'Amizour pour la méthode DRASTIC et on remarque son absence dans la méthode SINTACS, La présence de vulnérabilités très élevée pourrait se justifier par la présence de faibles profondeurs de la nappe.

III.6. Carte de risque :

La présence des sources de pollution dans la région d'étude (la décharge sauvage ;la zone industrielle et la pollution agricole) a une vulnérabilité importante, a un impacte sévère sur la biodiversité , l' environnement et la santé publique.

La projection des sources de pollution sur la carte de vulnérabilité, nous donne une carte de risque selon la formule suivante (Fig.43).

Risque = Carte de vulnérabilité X aléa

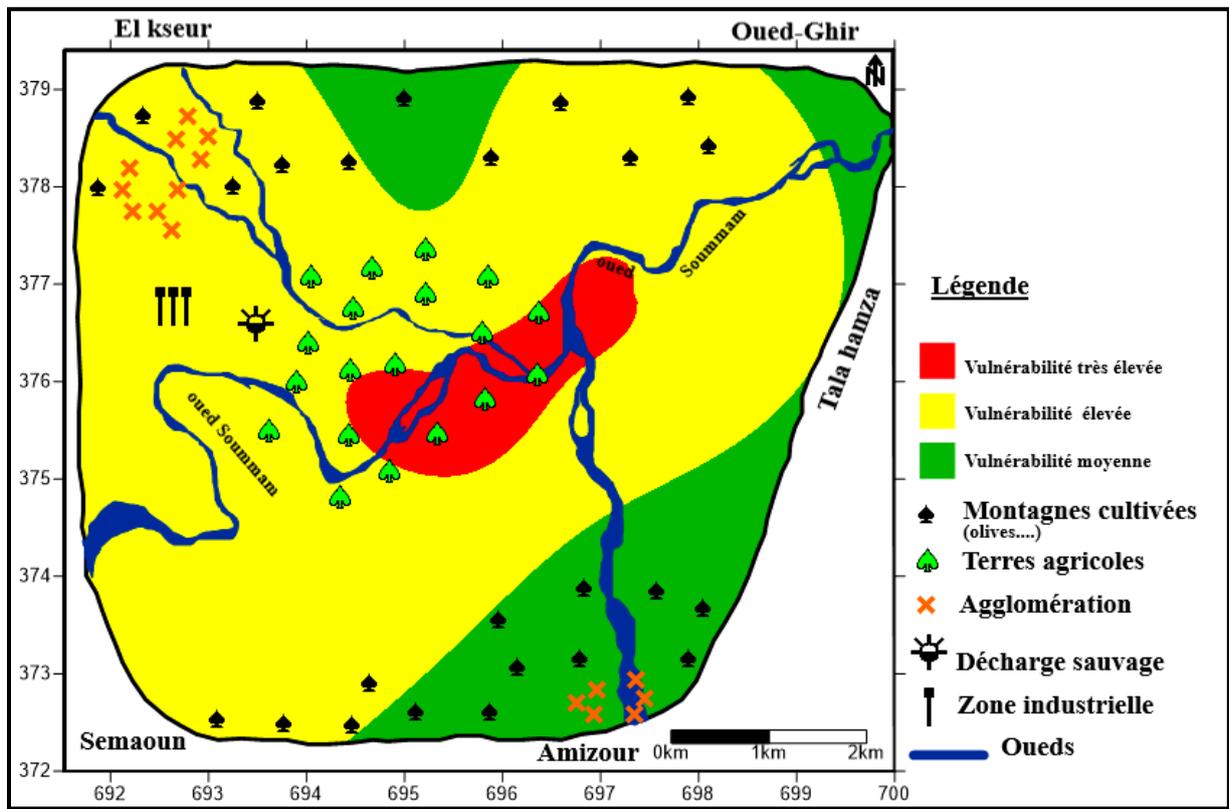


Figure 44. Carte de risque de la plaine d'Amizour (Février 2020).

Conclusion Générale

Conclusion

Dans cette étude, nous avons évalué la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines à partir de deux méthodes que sont les DRASTIC et SINTACS ; et présenté les caractéristiques physiques et climatiques de la plaine d'Amizour.

L'outil hydroclimatologie montre que le climat de la région d'étude est de type méditerranéen (hiver froid et été chaud). La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 804,99 mm. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 18,34°C.

L'analyse et l'interprétation des données hydrogéologiques de la zone d'étude montre deux types d'aquifères : des alluvions grossier qui se situent au centre de la plaine près des cours d'eau, et des grés-conglomérats au Nord et Sud de la plaine.

L'application des méthodes DRASTIC et SINTACS a permis d'estimer les indices de la vulnérabilité à la pollution de la nappe de la plaine d'Amizour. Cette vulnérabilité se réduit du centre de la plaine vers les bordures Nord et Sud. L'analyse des deux cartes de vulnérabilité résultant de l'application des deux méthodes DRASTIC et SINTACS a fait ressortir 3 classes de vulnérabilité dans la méthode DRASTIC et 2 classes pour la méthode SINTACS, ce qui laisse à penser que les deux cartes de vulnérabilité sont relativement proches avec quelques exceptions dans les mêmes zones.

L'analyse de la carte de vulnérabilité finale selon le modèle DRASTIC, montre que les zones de vulnérabilité moyenne occupent 18% de la plaine et se localisent au niveau Nord et Sud. Le centre de la plaine alluviale est occupé par des degrés de vulnérabilité (élevée et très élevée) et qui représentent 76 et 6 % de la surface totale de la plaine, Ces deux classes couvrent les zones où l'aquifère est constitué des alluvions.

L'application de la méthode SINTACS nous a donné presque les mêmes résultats que la méthode DRASTIC, la seule différence est une infime partie au cœur de la plaine, DRASTIC la considère comme vulnérabilité très élevée.

La méthode SINTACS a définie deux zones de vulnérabilité de degré élevée et moyenne, tel qu'elles sont citée ci-dessous :

- Les zones à vulnérabilité élevées représentées par des nappes des alluvions.
- Les zones à vulnérabilité moyenne par Les nappes de grés et les conglomérats.

Les analyses des cartes ont montré que les conditions physiques de l'aquifère et la Profondeur des eaux souterraines sont les variables les plus sensibles et qui montrent une grande influence.

Les cartes de vulnérabilité établies pour les eaux souterraines de la plaine d'Amizour 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 de la plaine d'Amizour.

Recommandations :

Dans le but de gestion et de protection de la qualité des eaux souterraines, et de réduire les risques dus à la pollution on peut énoncer un certain nombre de suggestions qu'il faut prendre en considération :

- Réalisation et exploitation de la carte de vulnérabilité à la pollution de la région d'Amizour.
- Réalisation d'un micro piézomètre destiné à des études hydrogéologiques (suivi quantitatif et qualitatif des eaux souterraines).
- La mise en place des méthodes d'entretien des puits pour empêcher les puits d'offrir aux eaux de surface et aux contaminants des voies d'accès directes aux eaux souterraines.
- Interdire les rejets directs d'eaux usées (domestiques, agricoles, industrielles) dans les Oueds.
- Privilégier le traitement des eaux usées par la mise en place d'un réseau d'égouttage et de stations d'épuration.
- Contrôler les décharges publiques par l'installation des centres de tri et des centres d'enfouissements techniques et réhabilitation des décharges sauvages.
- Sensibiliser les agriculteurs sur les conséquences de l'utilisation des engrais qui constituent un risque de contamination.
- Création des cartes de risque périodique contre l'éventuelle contamination des aquifères.
- Etablir un suivi hydrochimique des eaux souterraines et de surfaces.

Références Bibliographiques

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

- Abderrahmane, H. et Benali, H. (2011).** Gîtologie et géochimie des minéralisations liées aux roches magmatiques d'Oued Amizour (thèse de magistère). 86p.
- Ahoussi, KE. (2008).** Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville. Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire. 270 p.
- Albinet, M. et Margat, J. (1970).** Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. (Mapping of groundwater vulnerability to pollution) Bulletin BRGM 2nd series 3(4): 13-22.
- Aller, L. ; Bennett, T. ; Lehr, J H.; Petty, J et Hackett, G. (1987).** DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings. U.S.Environmental Protection Agency (EPA), Ada, Oklahoma, USA. 609p.
- Anthony, H.j. Dorcey. (2006).** Pollution de l'eau. L'Encyclopédie Canadienne.
- Baali, F. (2012).**Cartographie sous le logiciel surfer de la pluviométrie de la région Provence alpes cote d'Azur entre 1967 et 1997 et de la température du département du département des Alpes maritimes entre 1971 et 1990 .Projet d'ingénierie. Ecole polytechnique de l'Université de Nice –Sophia Antipolis. 21p.
- Beauchamp, J. (2006).** Qualité et Pollution des Eaux Souterraines. Université de Picardie Jules-Verne.
- Belmedrek, S. (2001).** Granulométrie et minéraux lourds des sables dunaires et de plage des secteurs de Oued Zhour et de Béni Bélaid (Jijel, Algérie nord-orientale).102p.
- Benhamiche, N. (1997).** Modélisation de la relation pluie-relief en vue de la cartographie par krigeage : cas du bassin versant de la Soummam. Thèse de Magister en Sciences Agro. Opt. Aménagement et mise en valeur. INA, Alger, 158p+annexes.
- Bermond, R. et Vuichard, R. (1973).** Les paramètres de la qualité des eaux. Documentation Française, Paris, 179p.
- Bouchet, R J. (1963).** Evapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle et production agricole.AM. Agro., 1963, 5, p. 743-824.
- Bouillin, J P. (1977).** Géologie alpine de la petite kabylie dans les régions de Collo et d'El Milia. Thèse de doctorat d'état, université de Paris VI (Pierre et Marie Curie), 511p.
- Bouguettaya, S. et Bendjedi, S. (2019).** Détermination des paramètres physique et évaluation de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la plaine d'Amizour

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

(Bejaia).Mémoire de master en science biologique de l'environnement. Université d'A Mira de Bejaia.

Castany, G. (1965). Unicité des eaux de surface et des eaux souterraines, principe fondamental de la mise en valeur des ressources hydrologiques, Hydrological Sciences Journal, 10 : 3, pp.22-30.

Castany, G. (1982). Principes et méthode de l'hydrogéologie, Dunod-édit., Paris 236p.

Chartier Marcel, M. (Avril-Juin 1974). Les types de pollutions de l'eau. In: Norois. n°82, pp. 183-193.

Coyne et Bellier. (1973). Etude de la régularisation de la Soummam. Bureau d'ingénieurs Conseils Paris. Université Louis Pasteur Centre de géographie appliqué Strasbourg. pp87, 124.

Dahdouh, A. et Boussekine, R. (2012). Caractérisation granulométrique, minéralogique et géochimique des sédiments estuariens de l'oued Soummam. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Ecologie et Environnement. Université d'A Mira de Bejaia. 86p.

Djebaili, S. (1984). Steppe Algérienne, phytosociologie et écologie. Thèse Doct. .Univ. Sc. Tech. De Languedoc Montpellier, OPU, Alger. 177 p.

Douvinet, J. ; Delahaye, D. et Langlois, P. (2008). Modélisation de la dynamique hydrologique potentielle d'un bassin versant et mesure de son efficacité structurelle. Cybergéo, 412p.

Ducommun, R. (2010). Estimation et cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines en milieu urbain. Thèse. Université de Neuchâtel.310p.

Dussart, B. (1966). Limnologie : Etude des eaux continentales. Gauthier-Villars, Ed., Paris. 704p.

Gélard, J P. (1969). Le flysch à base schisto-gréseuse de la bordure méridionale et orientale du massif de Chellata; le flysch maurétanien (Grande-Kabylie, Algérie). Bull. Soc. Geol. Fr., 676-686.

Glangeand, L. (1932). Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger, thèse Paris série N° 32, 751p.

GREPP, DIREN, DRAF Etude réalisée par ISL et CALLIGEE. (2007). Zonage de la vulnérabilité des masses d'eau de la région Picardie à la pollution des eaux par les produits phytosanitaires. Méthode de caractérisation de la vulnérabilité intrinsèque et actuelle des masses d'eaux superficielles et souterraines de la région Picardie. 26 p.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

- Hamza, M. ; Added, A. ; Frances, B. et Rodriguez, R. (2008).** Validity of the vulnerability methods DRASTIC, SINTACS and SI applied to the study of nitrate pollution in the phréatic aquifer of meteline –Ras Jebel –RafRaf (Northeastern Tunisia) ; Géosciences de surface (hydrologie- hydrogéologie) ; volume 339.,
- Han, F X. ; Hargreaves, J. ; Kingery, W L. ; Huggett, D B et Schlenk, D K. (2001).** Accumulation, distribution and toxicity of copper in soils of catfish pond receiving periodic copper sulfate applications. J. Environ. Qual., Vol. 30, 912-919.
- Hassissene M. (2000).** Laboratoire d'Ecologie et Environnement, Université de Bejaia, Algérie.
- Howard R, et Regier, H. (2006).** Pollution .l'Encyclopédie Canadienne.
- Ider, K. (2004).** Modélisation hydrodynamique d'un cours d'eau. Application à l'Oued Soummam. Thèse de Magistère en Hydraulique, Ecole Nationale Polytechnique, Algérie, 109p.
- Institut National de Cartographie. (1987).**
- JORA, (Journal Officiel de la République Algérienne). (2011).** Décret exécutif n° 11125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif, qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers: Bir-Mourad Raïs, Alger, Algérie, PP: 7-25.
- Jourda, J P. ; Kouame, K J. ; Adja, Mg. ; Deh, S K. ; Anani, A T. ; Effini, A T. et Biemi, J. (2007).** Evaluation du degré de protection des eaux souterraines : vulnérabilité à la pollution de la nappe de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire) par la méthode DRASTIC. 18p.
- Kaabeche, M. (1990).** Les groupements végétaux de la région de Bou Saada (Algérie). Essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb. These Doct., Univ. Paris-Sud. 94p.
- Khelfaoui, H. ; Chaffai, H. ; Hani, A. et Laouar, R. (2012).** Impact des rejets industriels sur les eaux de la région de Berrahal (Nord Est algérien), Rev.Sci. Technol., Synthèse, n°25, pp.71-81.
- Kouassi, AM. ; Yao, KA. ; Ahoussi, KE. ; Seki, CL. ; Yao, NA. et Kouassi, KI. (2010).** Apports des méthodes statistiques et hydrochimiques à la caractérisation des eaux des aquifères fissurés de la région du N'zi-Comoé (Centre-Est de la Côte d'Ivoire). International Journal of Biological and Chemical Sciences, 4(5): 1816-1838.
- Kpoda NW, Sorgho H, Poda J-N, et al. (2013).** Endémie bilharzienne à Schistosoma mansoni à la vallée du Kou : caractérisation du système de transmission et impact socioéconomique. Comptes Rendus Biologies. 336:284–288.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

- Lallemand-Barrés, A. (1994).** Normalisation des critères d'établissement des cartes de vulnérabilité aux pollutions, étude documentaire préliminaire. 16p.
- Lebourgeois, F. et Piedallu, C. (2005).** Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière à partir d'indices bioclimatiques. Rev. For. Fr. LVII – 4: 331-356.
- Lemière, B. ; Seguin, J J. ; Le Guern, C. ; Guyonnet, D. ; Baranger, Ph. ; Darmendrail, D. et Conil, P. (2001).** Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. Doc. BRGM 300, 121p.
- Léopold, L B. ; Wolman, J P. et Miller, M G. (1995).** Fluvial process in Geomorphology. Dover Publications, New-York ., ISBN 0-486-68588-8. 522 p.
- Mardhel, V. (2010).** Les outils SIG pour une meilleure compréhension des eaux souterraines. géosciences pour une terre durable. 124p.
- Mardhel, V. et Gravier, A. (2006).** Carte de vulnérabilité simplifiée des eaux souterraines du bassin Loire Bretagne. 90p.
- Margane, A. (2003).** Management and protection and sustainable use of groundwater and soil resources in the Arab region, guideline for groundwater vulne rability mapping and ri sk assessment for susceptibility of groundwater resources to contamination. Vol. 4. Project no. 1996.21 89.7
- Margat, G. ; et Castany, J. (1977).**Dictionnaire français d'hydrogéologie, B.R.G.M., Service Géologique National, 249 p.
- Margat, J. (2008).**les eaux souterraine dans le monde. BRGM. Sol et sous-sol. 35p.
- Maza, M. ; Hamdi, L. et Saou, H. (2008).** Présentation de la géologie de la basse Soummam, recueil du séminaire international Bejaia-Rouen, contribution à la connaissance de la ressource en eau du bassin versant de la Soummam, université de Bejaia,26,27et 28 Octobre 2008, 250p.
- Mehounou, J P. ; Josse, RG. ; Dossou-Yovo, P. ; Senou, S F. et Toklo, R M. (2016).** Caractérisation physico-chimique et microbiologique des eaux souterraines et superficielles dans la zone de production cotonnière d'Aplahoué. J. Appl. Biosci. 103 :9841 – 9853.
- Mekhalif, F. (2009).** Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement. Mémoire de Magister. Université de Skikda (Algérie), 139 p.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

- Mihoubi, N. (2008).** Fonctionnement et gestion hydrogéologique et hydrologique des ressources en eau du bassin de Hammam Grouz. Thèse de magister, université Mentouri, Constantine, 244p.
- Mjejra, M. (2015).** Etude de l'évapotranspiration dans le bassin versant de Medjerda (en Tunisie).apport de la télédétection satellitaire et des Systèmes d'Information Géographiques,TUNIS. 299p.
- Mohamed, R M. (2001).** Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El Madher, Nord-Est algérien, selon la méthode DRASTIC. Sciences et changement planétaires / sécheresse, vol. 12, n°2, pp. 95-101.
- Mouni, L. ; Merabet, D. ; Arkoub ; H. et Moussaceb, K. (2009).** Étude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'oued Soummam (Algérie). Sècheresse, vol.20, n° 4, p.360 – 366.
- Najib, S. (2014).** Étude de l'évolution de la salinisation de l'aquifère de la Chaouia côtière (Azemmour- BirJdid, Maroc) : climatologie, hydrogéologie, hydrochimie et tomographie électrique. Thèse de doctorat univ. ChouaïbDoukkali Maroc, 287pp.
- Nehme, N. (2014).** Evaluation de la qualité de l'eau du bassin inférieur de la rivière de Litani Liban: approche environnementale. Thèse de Doctorat. Université de Lorraine.France. 242p.
- Petelet Girau, E., Doerfliger, N. et Crochet, P. (2000).** RISKE: Méthode d'évaluation multicritère de la cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques. Aplications aux systèmes des Fontanilles et Cent- Fonts (Hérault, France). Hydrogéologie, 4, 71–88.
- Ramade, F. (1994).** Eléments d'écologie (écologie fondamentale).2^e édition. Edi. Science International, Paris . pp64, 65, 79-82,373.
- Raoult, J F. (1974).** Géologie de centre de la chaîne numidique (nord de Constantine, Algérie) thèse, Paris, 163 p.
- Rodier, J. (1996).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Paris : Dunod ; 8^e édition.
- Schnebelen, N. ; Patel, JP. ; Lenindre, Y. ; Baudry, D. ; hoarau, A. ; Dufour, P. et Benhammouda, S. (2002).** Gestion des eaux souterraines en Aquitaine année 5.opération sectorielle. Protection de la nappe BRGM/RP-51178-FR.
- Soro, G. (2010).** Évaluation quantitative et qualitative des ressources en eaux souterraines dans la région des lacs (centre de la côte d'ivoire): Hydrogéologie et hydrochimie des aquifères discontinus du district de Yamoussoukro et du département de Tiebissou. Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, p.257.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

- Vaessen, V. et Brentführer, R. (2015).** Integration of groundwater management into transboundary basin organizations in Africa. Training manual by AGW-Net, BGR, IWMI, CapNet, ANBO, & IGRAC. - BGR; 219 p.
- Vernoux, J F. ; Lions, J. ; Petelet-Giraud, E. ; Seguin, J J. ; Stollsteiner, P. et Lalot, E. (2011).** Contribution à la caractérisation des relations entre eau souterraine, eau de surface et écosystèmes terrestres associés en lien avec la DCE, rapport BRGM/RP-57044-FR, 207 p.
- Vila, J M. (1980).** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de doctorat d'état, université Pierre et Marie Curie – Paris VI, 663p.
- Viziter, V. et Gauf, F. (1987).** Etude d'approvisionnement en eau potable et industrielle des agglomérations du couloir Akbou-Bejaia à partir du Barrage Tichi-Haf. Rapport de synthèse de la collecte des données. Bejaia.
- Wanko, A. (2016).** Gestion des eaux souterraines - Définitions et concepts.
- Wildi, W. (1983).** La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : Structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. Rev . Géol. dyn. Géogr. Phys., vol.24, fasc. 3, pp. 201-297.
- Winter, T. C., Harvey, J. W., Franke, O. L., and Alley, W. M. (1998).** Ground Water and Surface Water: A Single Resource, U.S. Geol. Surv. Circular 1139.
- Zair, S. et Bensalem, I. (2014).** Etude de la vulnérabilité a la pollution de la baie de Bejaia par les méthodes DRASTIC et SINTACS. Mémoire de master en science biologique de l'environnement. Université d'A Mira de Bejaia. 107p
- Zerourou, M. (1990).** Contribution a l'étude hydrogéologique de la vallée de la basse Soummam (Wilaya de Bejaia). Mémoire d'ingénieur d'état en hydrogéologie. Université des sciences de la technologie HOUARI BOUMEDIENE, 119p.
- Zerroug, Kh. (2012).** Elaboration d'un système d'information géographique (flore) dans la Wilaya de Sétif. Mém. Mag. Uni. Ferhat Abbas. Sétif. P 18-25.
- Zourhi, L. et Carlier, E. (2002).** Caractérisation hydrochimique d'une nappe côtière, Maroc. Journal of environment hydrology, 9(4): 1-7.

Sites web :

- Eau de surface.** AquaPortail. [En ligne]. <https://www.aquaportail.com/definition-6139-eau-de-surface.html>. Consulté 14 août 2020.
- ENVIRONNEMENT CANADA, « Les eaux souterraines ». (2013).** [En ligne]. <https://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr&n=300688DC-1>. consultée le 8 avril 2020.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

Nappes libres et captives - SAGE Born et Buch. [En ligne]. <https://www.sage-born-et-buch.fr/Portrait-du-territoire/Les-ressources-en-eau/Les-nappes-superficielles-et-souterraines/Nappes-libres-et-captives> .Consulté 14 avril 2020.

Annexes

ANNEXE 1.

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

D	R	A	S	T	I	C	somme
45	4	18	6	10	30	24	137
50	4	18	6	10	30	24	142
50	4	18	6	10	30	24	142
25	12	24	18	10	45	30	164
35	12	24	18	10	45	30	174
35	12	24	18	10	45	30	174
35	12	24	18	10	45	30	174
35	12	24	18	10	45	30	174
35	12	24	18	10	45	30	174
35	12	24	18	10	45	30	174
35	12	24	18	10	45	30	174
35	12	24	18	10	45	30	174
35	12	24	18	10	45	30	174
35	12	24	18	10	45	30	174
35	12	24	18	10	45	30	174
45	12	24	18	10	45	30	184
45	12	24	18	10	45	30	184
45	12	24	18	10	45	30	184
45	12	24	18	10	45	30	184
35	12	24	18	10	45	30	174
35	12	24	18	10	45	30	174
45	12	24	18	10	45	30	184
35	12	24	18	10	45	30	174
45	12	24	18	10	45	30	184
45	4	18	6	10	30	24	137
25	4	18	6	10	30	24	117
50	4	18	6	10	30	24	142

ANNEXE 2.

Indice SINTACS général = (Sc.Sp)+(Ic.Ip)+(Nc.Np)+(Tc.Tp)+(Ac.Ap)+(Cc.Cp)+(Sc.Sp)

S	I	N	T	A	C	S	SOMME
45	8	35	28	21	21	20	178
50	8	35	28	21	21	20	183
50	8	35	28	21	21	20	183
25	12	40	38,8	24	30	20	189,8
25	12	40	38,8	24	30	20	189,8
30	12	40	38,8	24	30	20	194,8
30	12	40	38,8	24	30	20	194,8
30	12	40	38,8	24	30	20	194,8
30	12	40	38,8	24	30	20	194,8
30	12	40	38,8	24	30	20	194,8
30	12	40	38,8	24	30	20	194,8
30	12	40	38,8	24	30	20	194,8
30	12	40	38,8	24	30	20	194,8
30	12	40	38,8	24	30	20	194,8
30	12	40	38,8	24	30	20	194,8
30	12	40	38,8	24	30	20	194,8
40	12	40	38,8	24	30	20	204,8
35	12	40	38,8	24	30	20	199,8
40	12	40	38,8	24	30	20	204,8
35	12	40	38,8	24	30	20	199,8
35	12	40	38,8	24	30	20	199,8
35	12	40	38,8	24	30	20	199,8
40	12	40	38,8	24	30	20	204,8
35	12	40	38,8	24	30	20	199,8
40	12	40	38,8	24	30	20	204,8
45	8	35	28	21	21	20	178
25	8	35	28	21	21	20	158
50	8	35	28	21	21	20	183

Résumé :

La présente étude traite la vulnérabilité et les risques de pollution de la nappe de la plaine d'Amizour (Algérie), menacée par plusieurs origines de pollution (industries, agricoles, décharges sauvages, etc.), qui sont apparus dans la région, sans aucune mesure de protection de l'environnement prévue.

L'étude de cette vulnérabilité à la pollution a été réalisée selon deux méthodes (DRASTIC et SINTACS) et les résultats ont été comparés et évalués. Les cartes de vulnérabilité montrent une similarité de degrés de vulnérabilité Elevé et Moyen.

La majeure partie de la plaine est affectée à un degré de vulnérabilité élevé de 76% pour DRASTIC et de 67% pour SINTACS, ce degré est justifié par la faible profondeur des eaux souterraines et le type d'aquifère. Un degré de vulnérabilité Moyen des eaux souterraines est présent dans la partie Nord et Sud de la plaine de l'ordre de 18% pour DRASTIC et de l'ordre de 33% pour SINTACS, pour la zone de vulnérabilité très élevée 6% est observé en plein centre de la plaine d'Amizour par la méthode DRASTIC.

La superposition de la carte de vulnérabilité avec la carte des sources de pollution pour réaliser la carte de risque nous a permis de préciser les zones à haut risque de contamination pour les eaux souterraines.

Mots clés : Vulnérabilité, DRASTIC, SINTACS, Eaux souterraines, Amizour.

Abstract:

The present study deals with the vulnerability and the risks of pollution of the aquifer of the Amizour plain (Algeria), threatened by several sources of pollution (industries, agriculture, illegal dumping, etc.), which have appeared in the region, without any planned environmental protection measures.

The study of this vulnerability to pollution was carried out using two methods (DRASTIC and SINTACS) and the results were compared and evaluated. The vulnerability maps show a similarity in the degrees of vulnerability High and Medium.

Most of the plain is affected by a high degree of vulnerability of 76% for DRASTIC and 67% for SINTACS, this degree is justified by the shallow depth of the groundwater and the type of aquifer. An average degree of groundwater vulnerability is present in the northern and southern part of the plain of around 18% for DRASTIC and around 33% for SINTACS, for the area of very high vulnerability 6% is observed in the center of the Amizour plain by the DRASTIC method.

Superimposing the vulnerability map with the pollution sources map to produce the risk map allowed us to specify the areas at high risk of groundwater contamination.

Keywords: Vulnerability, DRASTIC, SINTACS, Groundwater, Amizour.