

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

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de sciences biologique de l'environnement
Option : Ecologie et Environnement



Réf :.....

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

MASTER

Thème

**Détermination des paramètres physiques et évaluation de
la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de
la plaine d'Amizour (Béjaia)**

Présenté par :

Bouguettaya Sarra & Bendjedi Sabrina

Soutenu le : **27 Juin 2019**

Devant le jury composé de :

M. Dadach Mohammed	MAA	Président
M. Sadalli Riad	MAA	Encadreur
Mme. Kherfallah Tassadit	MAA	Examinatrice

Année universitaire : 2018 / 2019

Remerciements

Parfois les paroles font défaut pour exprimer une situation, on pense que c'est notre cas aujourd'hui, car quoi qu'on puisse dire pour rendre hommage à tous ceux qui nous ont aidé à réaliser ce mémoire, on ne saurait le faire.

Toutefois, on tient à exprimer,

Toute notre gratitude au seigneur le tout puissant de nous avoir pourvu de courage et de volonté pour arriver au terme de ce modeste travail, qui j'espère sera une contribution qui enrichira toute recherche future

Comme, nous tenons à manifester toute notre reconnaissance à notre encadreur de mémoire, Monsieur **Saadali Riad**, on le remercie de nous 'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

On lui adresse nos sincères remerciements pour son intervention, sa patience, ses paroles encourageantes, ses conseils ainsi que sa sympathie et sa compréhension.

Nos remerciements vont également aux membres de jury : **Mr Dadach** et **Mme kherfallah**

Nous remercions vivement **Mr Mourad** technicien au Laboratoire de recherche Ecologie et environnement et tout le personnel du laboratoire de Génie des procédés de l'université de Béjaia, pour leurs précieuses aides et leurs disponibilités.

Nous remercions toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté de faire partie de notre travail, et plus particulièrement à **Mr Bendjedi Karim** qui était un accompagnateur formidable. Sans omettre **Mr Ais Laziz** de la commune d'Amizour qui durant notre sortie sur terrain nous a été d'une très grande utilité.

À tous ces intervenants, nous présentons nos remerciements, notre respect et notre gratitude.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à ma grand-mère, mes parents **B Saad,bendjedi*M* qui m'ont toujours soutenu et encouragé malgré des hauts et des bas en sachant que quoi que je fasse, je n'arriverai jamais à leur rendre ne serai ce qu'une goûte des océans d'amour et de Bonheur qu'ils m'ont donnés Durant toutes mes années d'études ;... Merci beaucoup.

Spécial dédicace aussi à ma sœur *Karima*, Mon frère *Hecan* et sa femme *et ses filles lamiss, wafa, wissam*. et aussi à mes frères *abdelhafid, karim, sami*.

A khalty et sa fille sara.

A mon mari Nagli Antar et à toute sa famille.

A tous mes amis, aida, saida,laila,, a mes collègues d'étude en M2 Environnement.

A ma binôme Sarra bouguettaya et sa famille.

Sabrina

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mon petit trésor **Boguettaya Hako**, pour son amour inconditionnel et sa présence qui illumine ma vie.

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A ma camarade Sabrina qui été une agréable partenaire à collaborer avec et à toute sa famille.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infallible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Sarra

Sommaire

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

I. Introduction	1
II. Synthèse bibliographique	3
II.1. la pollution	3
II.2. Les types de pollution	3
II.2.1. Pollution d'origine urbaine	3
II.2.2. Pollution d'origine agricole	4
II.2.3. Pollution d'origine industrielle	4
II.3. Les nappes souterraines	5
II.4. Aperçu physico-géologique du site de l'oued Soummam	6
II.4.1. Relation hydraulique Oued-Nappe	7
II.5. La vulnérabilité	7
II.5.1. Différents types de vulnérabilité	8
II.5.1.1. La vulnérabilité intrinsèque	8
II.5.1.2. La vulnérabilité spécifique	8
II.6. Les différentes méthodes d'évaluation la vulnérabilité des eaux souterraines	9
II.7. les différents compartiments de la vulnérabilité	10
III. Matériels et Méthodes	11
III.1. Présentation de la zone d'étude	11
III.1.1. situation géographique	11
III.1.1.1. Situation régionale	11
III.1.1.2. Situation Géographique de la plaine d'Amizour	11
III.2. Aperçu géomorphologique et géologique	12
III.2.1. La géomorphologie de la plaine	12
III.2.2. Cadre géologique	15
III.2.2.1. Géologie régionale	15
III.2.2.1.1. Le domaine interne	15
III.2.2.1.1.1. Socle Kabyle	16
III.2.2.1.1.2. La dorsale Kabyle	16
III.2.2.1.1.2.1. Dorsale interne	16
III.2.2.1.1.2.2. Dorsale Médiane	16
III.2.2.1.1.2.3. Dorsale externe	16
III.2.2.1.3. Domaine des Flyschs	16
III.2.2.2. géologie locale	17
III.2.2.3. Lithologie de la zone d'étude	18
III.2.2.4. L'intérêt hydrogéologique des formations lithologiques de la plaine	20

d'Amizour	
III .3.Etude climatologique	20
III.3.1.Etude climatique	20
III.3 .1.1. Les précipitations	21
A). Variations spatio-temporelles des pluies	21
B). Précipitations moyennes saisonnières	22
C). Précipitations annuelles	23
III.3.1.2. Les températures	25
III.3.1.2.1. Diagramme pluvio-thermique	26
III.3.1.3.Le bilan hydrique	28
III .3.1.3.1. Détermination des paramètres du bilan	29
a. Evapotranspiration	29
1 - Evapotranspiration potentielle (ETP)	29
2- Evapotranspiration réelle (ETR)	30
b).Ruissellement (R)	31
c). Infiltration (I)	31
III.3.1.4. Interprétation du bilan de C.W.Thornthwaite	33
III.3.1.5.Conclusion	33
III.4. Interprétation de la carte piézométrique	34
III.5. Matériels et Méthodes utilisés	35
III.5.1. Lieux et dates de prélèvement	36
III.5.2. Matériels utilisés	38
III.5.2.1. Paramètres physiques	38
III.5.2.1.1. Présentation du matériel	39
A)- Multi-paramètre	39
B)- GPS	39
III .5.2.1.2. Méthodes d'échantillonnage	40
III.6.2.2. Les métaux lourds	41
III.6.2.2.1. Matériels utilisés	41
III.6.2.2.2. Méthodes d'échantillonnage et de stockage	42
III.6.2.2.3. Dosage des métaux lourds par spectrométrie d'absorption atomique (SAA)	42
III.6.2.2.3.1. Principe du SAA	43
III.6.2.3. Vulnérabilité de GOD	43
III.6.2.3.1. Matériels utilisés	43
III.6 .2.3.1.1.Présentation du logiciel Surfer .11	43
III.6.2.3.1.2. Présentation de la méthode GOD	44
IV. Résultats et Discussions	47
IV.1.Résultats	47
IV.1 .1.Les eaux de surface	47

IV. 1.2.Les eaux souterraines	47
IV.2.Discussions	48
IV.2.1.Les paramètres physiques	48
IV.2.1.1.La Température (T)	48
IV.2.1.2. Le potentiel hydrogène (pH)	49
IV.2.1.3. La conductivité électrique	50
IV.2.1.4. Le TDS (total des solides dissous)	51
IV.2.1.5. La Salinité	52
IV.2.1.6. L'oxygène dissous	53
IV.2.2.la vulnérabilité	55
IV.2.2.1. Indice de type de l'aquifère (G)	55
IV.2.2.2. Indice de lithologie de la nappe (O)	56
IV.2.2.3. Indice de la profondeur de la nappe(D)	57
IV.2.2.4.L'indice de GOD	58
IV.2.2.5. Conclusion	61
IV.2.3.la pollution des eaux souterraines par les métaux lourds ETM	61
IV.2.3.1. Le Cadmium (Cd)	61
IV.2.3.2.Le Zinc (Zn)	63
IV.2.3.3.Le Plomb (Pb)	64
IV.2.3.4. Conclusion	65
IV.2.4. Carte de risque	65
V. Conclusion générale	67

Liste des figures

Fig.1. schéma représentatif des trois types de nappes.	6
Fig.2. Identification des sources de rejets dans l'oued soummam.	7
Fig.3. schéma modifié conceptuel représentant les étapes qui déterminent le degré de vulnérabilité des ressources en eau.	10
Fig.4. Situation géographique de la plaine d'Amizour.	12
Fig.5. Le sous bassin du Soummam et ses affluents (Amizour et El Kseur).	13
Fig. 6. Profils en long des principaux cours d'eau.	14
Fig.7. photographie des Oueds Soummam et Amizour (Avril 2019).	15
Fig.8: carte géologique de la vallée du Soummam (M. Hassissene, 2000).	17
Fig.9. Carte lithologique de la plaine d'Amizour (d'après Hassissene 2000).	19
Fig.10. le déblai d'un puits dans la plaine d'Amizour (avril 2019).	19
Fig.11. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles dans La station de Bejaia (1986-2017).	22
Fig.12. Histogramme des précipitations moyennes saisonnières à la station de Bejaia.	23
Fig.13. Variation des précipitations annuelles (1986-2017).	25
Fig.14. Variation des températures moyennes mensuelles de la station de Béjaia (1986-2017).	26
Fig.15. Situation de la région d'étude sur le climato gramme d'EMBERGER.	27
Fig.16. Diagramme pluvio-thermique de la station de Béjaia (Période 1986-2017).	28
Fig.17. Représentation graphique du Bilan de Thornthwaite à la station de Bejaia (1986-2017).	33
Fig. 18. Carte piézométrique de la nappe d'Amizour période des hautes eaux (Avril 2019).	35
Fig. 19. Carte de localisation des points de prélèvements.	36
Fig. 20. Illustrations de quelques sources des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Avril 2019).	37
Fig. 21. Sources des eaux de surface dans la plaine d'Oued Soummam et Oued Amizour(Avril 2019).	37
Fig. 22. Matériels utilisés pour la mesure des paramètres physiques.	38
Fig.23. illustration du multi paramètre en marche.	39
Fig.24. illustration du GPS avec le convertisseur des coordonnées de Lambert (Nord Algérie).	40
Fig.25. Les méthodes d'échantillonnage de la plaine d'Amizour (Avril 2019).	41
Fig. 26. Matériel utilise pour les analyses des Métaux lourds.	41
Fig.27. SAA enflamme du laboratoire de Génie des procédés.	43
Fig.28. Interface du logiciel Surfer.	44
Fig. 29. Estimation de la vulnérabilité d'un aquifère par la méthode de GOD (d'après Foster, 1987) : Cas de la nappe aquifère de Amizour.	45
Fig30. la répartition spatiale de la température des eaux souterraines dans la plaine d'Amizour (Avril 2019).	49
Fig. 31. Carte de pH des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Avril 2019).	50
Fig.32. carte de la conductivité des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Avril 2019).	51
Fig.33. Carte de TDS des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Avril 2019).	52
Fig.34. la répartition spatiale de la salinité des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Avril 2019).	53

Fig.35. carte d'oxygène dissous des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Avril 2019).	54
Fig.36. le type de l'aquifère de la plaine d'Amizour (G).	56
Fig.37. carte de la lithologie de l'aquifère de la plaine d'Amizour(O).	57
Fig.38. carte de profondeur de la nappe d'Amizour(D) (Avril 2019).	58
Fig.39. la Carte d'occupation du sol de la plaine d'Amizour.	59
Fig.40. carte de vulnérabilité par GOD de la plaine d'Amizour.	60
Fig. 41 . Pourcentage de degré de la vulnérabilité de la plaine d'amizour.	60
Fig.42. Carte des concentrations du Cadmium (Cd) des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Avril 2019).	62
Fig.43. Carte des concentrations du Zinc (Zn) des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Avril 2019).	63
Fig.44. Carte des concentrations du Plomb (Pb) des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Avril 2019).	64
Fig.45. Carte de risque périodique de la plaine d'Amizour (Avril 2019).	66

Liste des tableaux

Tab.1. Les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines.	9
Tab.2. Intérêt hydrogéologique de la formation lithologique.	20
Tab.3. Coordonnées des stations pluviométriques dans la région de Bejaia.	21
Tab.4. Pluies moyennes mensuelles et annuelles dans la station de Béjaia (1986 -2017).	21
Tab.5. Répartition saisonnière des précipitations dans les stations de mesure (1986-2017).	22
Tab.6. le coefficient pluviométrique CP (période:1986-2017).	24
Tab.7. Températures moyennes mensuelles (en °C) (période 1986-2017).	26
Tab. 8. Résultats de l'Evapotranspiration par la formule « C.W.Thorthwaite (1948) » pour la station de Bejaia.	29
Tab.9. Résultats de l'Evapotranspiration réelle par la formule « Truc » pour la station de Bejaia.	30
Tab.10. Résultats du ruissellement par la formule de «TixerontBerkaloff» pour la station de Bejaia (1986-2017).	31
Tab.11. Résultats de l'infiltration par l'équation du bilan hydrique pour la station de Béjaia (1986-2017).	32
Tab.12 .Bilan de C.W.Thornthwaite de la station de Bejaia (1986-2017).	32
Tab.13. Intervalles des valeurs de l'indice GOD et classes correspondantes.	46
Tab.14. Résultats des analyses physiques et des ETM au niveau des eaux de surface.	47
Tab.15. Résultats des analyses physiques et des ETM au niveau des eaux souterraines.	47

Liste des abréviations

%: pourcentage.

C°: degrés Celsius.

JORA : Journal Officiel de la Republique Algerienne 2011.

Max: maximal.

Min: minimal.

Moy: moyenne

P: Précipitation

T: Température.

ETP: Evapotranspiration potentielle.

ETR: Evapotranspiration réelle

R: Ruissèlement.

Ups : Unité par salinité.

Sal: Salinité.

DO: Oxygène dessous.

TDS: Taux de solide dissous.

pH: Potentiel d'hydrogène.

ETM : éléments trace métallique.

SAA: Spectrométrie d'absorption atomique

Zn: Zinc.

Cd : Cadmium.

Pb : Plomb.

AD : Année déficitaire.

AE : Année excédentaire.

ZN : zone saturée.

ZNS : zone non saturée.

Introduction générale

I. Introduction :

L'Algérie est le plus grands pays du continent africain avec une superficie de 2,390 millions de Km². Néanmoins, la répartition déséquilibrée des populations et des activités (2/3 de la population habitant au nord du pays), des conditions naturelles contrastées, des ressources en sols et en eaux limitées, fragiles et inégalement réparties, prédisposent le territoire à différents facteurs de vulnérabilité (**Mouni.,2014**) .

Malgré sa réputation de pays méditerranéen du fait de sa façade littorale de 1200 km, l'Algérie est très fortement marquée par son aridité et dispose d'un plafond annuel de 11,5 milliards de m³ d'eau ce qui nous classe déjà parmi les pays qui se situent en dessous du seuil de pénurie de la disponibilité de cette substance vitale, fixé internationalement à 1000 m³/an/habitant. (**Belkhiri et al.,2014**).

Sur les différents travaux traités au niveau de l'estuaire de l'oued Soummam, on trouve plusieurs auteurs (**Khemmoudj ; Mouni ; Belkhiri ...**) qui ont étudié les eaux superficielles (**Maane., 2010**). Cependant, ce site demeure un manque d'informations en termes d'estimation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination dans les zones agricoles avoisinantes, et c'est dans ce contexte que nous avons choisis de travailler sur cette thématique.

La contamination des eaux souterraines dans les zones agricoles est devenue aujourd'hui une préoccupation mondiale, et ce qui limite sa disponibilité est le fait qu'elle est une ressource pour l'irrigation des cultures.

La nécessité de classer les sources de contamination, et de définir les conditions de protection des eaux souterraines se sont fait sentir dans les années 1960 quand (**Vladimirskij.,1960**) suggéra le développement d'une méthode, précurseur des cartes de vulnérabilité, permettant la construction de cartes de potentiel de contamination des eaux souterraines (**Margat et Albinet.,1970**), le terme vulnérabilité date des années 1960 et a été choisi afin de sensibiliser la population au fait que même si la notion d'eau souterraine est associée à une image de pureté, cette ressource n'en reste pas moins sensible aux agents extérieurs et susceptible d'être polluée (**Murat., 2000**).

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

D'après **Albinet et Margat., 1970**. Les cartes de vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine servent à montrer quelles sont les possibilités de pénétration et de propagation des polluants dans les aquifères en tenant compte de la nature des terrains rencontrés en surface et les conditions hydrogéologiques.

Cependant, il n'existe aucune définition officielle de la vulnérabilité (**Vrba et Zaporozec., 1994**) de même qu'il n'existe aucune technique standard d'estimation de la vulnérabilité des eaux souterraines, ce qui rend difficile la comparaison des diverses évaluations.

En effet, la notion de vulnérabilité des eaux souterraines n'est pas une propriété absolue mais un indicateur complexe (**Maxe et Johansson., 1998**).

La plaine d'Amizour est connue par une pollution multiple, Parmi les cas de pollution figurée la nappe d'Amizour : les rejets industriels et domestique, l'utilisation intensives des pesticides et fongicides, les décharges sauvages....etc

Dans cette étude on va utiliser la méthode de GOD, cette méthode empirique a été conçue en Angleterre par **Foster., 1987**, elle est basée sur l'évaluation des facteurs hydrogéologiques, et on va comparer la vulnérabilité avec les indices de pollution des eaux souterraines (ETM), les résultats peuvent être présentés sous forme d'une carte de risque.

Notre objectif est d'établir une carte de risque pour pouvoir évaluer les risques et proposer les recommandations pertinentes.

Notre travail comporte trois chapitres :

Le premier chapitre a été consacré pour la synthèse bibliographique sur la vulnérabilité et la pollution des eaux souterraines, le deuxième chapitre a été consacré pour le matériels et méthodes, présente une description de la zone d'étude et regroupe les différentes techniques utilisées dans ce travail. Le troisième chapitre, résultats et discussion dans lequel nous avons interpréter et évaluer les résultats obtenues.

On termine par conclusion et des perspectives de recherche.

II.1. La pollution :

On appelle pollution une dégradation ou une altération de l'environnement, en général liée à l'activité humaine par diffusion directe ou indirecte de substances chimiques, physiques ou biologiques qui sont potentiellement toxiques pour les organismes vivants ou qui perturbent de manière plus ou moins importante le fonctionnement naturel des écosystèmes. Outre ses effets sur la santé humaine et animale, elle peut avoir pour conséquences la migration ou l'extinction de certaines espèces qui sont incapables de s'adapter à l'évolution de leur milieu naturel.

II.2. Les types de pollution : Il faut distinguer trois types de facteurs polluants qui contribuent directement ou indirectement à l'altération des eaux souterraines :

II.2.1. Pollution d'origine urbaine :

La production des eaux usées urbaines dans le pays (l'Algérie) est estimée à environ 500 millions de m³/an, comme pour l'alimentation en eau potable, la quasi-totalité de la population agglomérée (urbaine et rurale) est raccordée au réseau public d'assainissement, il faut ajouter à cela les rejets d'eaux usées des unités industrielles raccordés aux réseaux d'égouts communaux.

Actuellement, la capacité de traitement des eaux usées pour épuration du pays a atteint environ 5 millions de m³ soit 10 % des rejets produits, toutefois, il faut noter que 50% des stations d'épuration se situeraient au niveau des bassins telliens où se trouvent l'essentiel des ressources en eaux de surface. Les stations d'épurations sont sensées apporter une amélioration substantielle de l'hygiène publique et de la protection des ressources hydriques, nonobstant, elles sont malheureusement non opérationnelles pour la majorité (**G de MARSILY., 1981**) Cette situation se répercute gravement sur l'environnement et notamment sur la qualité des eaux superficielles. En effet, des tronçons importants d'oueds sont déjà pollués (oueds Tafna, Mekerra, Chélif, Soummam, Seybouse).

En Algérie la quantité de déchets ménagers produite annuellement est estimée à 5,2 millions de tonnes et un algérien produit quotidiennement en moyenne 0,5 kg de déchets solides. Par ailleurs, la production en eaux usées urbaines est d'environ 500 millions de m³ par an, cette quantité d'eau usée est très élevée comparée au nombre de stations d'épuration opérationnelles à travers le pays.

Les eaux domestiques, elles même divisées en eaux de vannes qui comprennent les eaux des diverses toilettes et eaux ménagères qui englobent les autres eaux, notamment celles

qui résultent des lavages. Les matières directement liées aux excréctions humaines sont en nature et en qualité relativement constantes. Elles fluctuent peu vis à vis des différents états de développement des populations concernées, avec cependant une tendance vers un enrichissement en matières azotées et en graisses pour les niveaux de vie les plus élevés (VIZITERV, GAUFF.,1987) .

En effet, la plupart des centres urbains situés le long de la vallée de la Soummam déversent leurs eaux usées directement dans l'oued et ce, sans aucun traitement (à l'exception de certaines collectivités qui possèdent leurs bassins de décantation (C.CLINCKX.,1973).

Afin de faire face à cette pollution d'origine urbaine, il est prévu 05 stations d'épuration d'eaux usées urbaines le long de la Soummam (COYEN, BELLIER, 1973).

Tazmalt : 30 000 eq /Hab Q = 6400 m³/J

Akbou : 80 000 eq /Hab Q = 19 200 m³/J

Sidi-Aich : 40 000 eq /Hab Q = 6400 m³/J

El Kseur : 30 000 eq /Hab Q = 6400 m³/J

Amizour : 30 000 eq /Hab Q = 6400 m³/J

II.2.2.Pollution d'origine agricole :

L'épandage des cultures agricoles nourrit le sol de doses massives d'engrais chimiques. Le trio azote, phosphate et potassium (NPK) est la base de tous ces produits. Sols et eaux souterraines sont exposés à ces dosages massifs qui modifient leur milieu et rendent l'eau non potable.

Une carte thématique sur la qualité des eaux superficielles (1997) indique l'existence d'importantes quantités de ces produits liés essentiellement à l'activité agricole.

Ceci explique les phénomènes d'eutrophisations, à savoir l'enrichissement d'une eau en sels minéraux (nitrates et phosphates notamment), entraînant des déséquilibres écologiques comme la prolifération de la végétation aquatique ou l'appauvrissement en oxygène (G de MARSILY., 1981).

II.2.3.Pollution d'origine industrielle :

Sans nul doute que l'industrialisation a concouru d'une manière directe à la pollution de l'environnement tant par ses rejets gazeux que par ses déchets chimiques et organiques partout dans le monde, et l'Algérie n'en fait pas exception, pire encore, étant un pays tiers- mondistes qui a récemment recouvert son indépendance, et donc peu soucieux d'abimer son environnement que de préserver son état naturel, et par voie de conséquence,

dans l'anarchie et l'absence d'application des lois protectrices du milieu naturel que naquit l'industrie algérienne.

C'est cette anomie qui a conduit à la contamination des eaux superficielles et au rétrécissement des terres agricoles.

Pour cela des études ont été faites dans le but de mettre en lumière le problème de pollution de l'eau des oueds dans le pays et d'en donner des solutions adéquates. Parmi ces études nous citons celle réalisée par un groupe de chercheur de l'université de Sétif portant sur la pollution des eaux superficielles dans un climat semi-aride (la région de Sétif ; Algérie), spécifiquement Oued Bou- Sellam.

Les polluants pouvant affecter la qualité d'eau ont été subdivisés en 03 catégories d'après ces chercheurs : pollution biologique traduite par une forte contamination bactériologique, due aux rejets des abattoirs, des laiteries et sucreries ; la pollution d'origine physique est due essentiellement aux eaux chaudes déversées par les industries utilisant l'eau pour le réchauffage, ce qui provoque l'augmentation brutale de la température de l'oued, engendrant des modifications directes sur la flore, car la variation de température est un paramètre écologique. Pollution d'origine chimique causée essentiellement par les déversements de métaux. Le plomb et ses dérivés alkyles, utilisés comme adjuvants dans les moteurs automobiles, sont les plus répandus des polluants. Outre le plomb, on citera la présence du Zinc, du chrome, du Nickel et du cadmium.

Les analyses physico-chimiques réalisées, ont montré que l'oued Boussellam est affecté par une pollution d'origine chimique et surtout organique et cela est dû essentiellement aux rejets des établissements industriels et principalement celui déversé par l'ENPEC (**PERRIER., 1964**).

II.3. Les nappes souterraines :

Une nappe souterraine est une masse d'eau contenue dans les interstices ou fissures du sous-sol. On distingue deux types de nappes : libres ou phréatiques et captives et semi captive (Fig.1). Les nappes captives sont piégées sous des formations géologiques imperméables. Le niveau des nappes peut varier en fonction des infiltrations et des prélèvements d'eau.

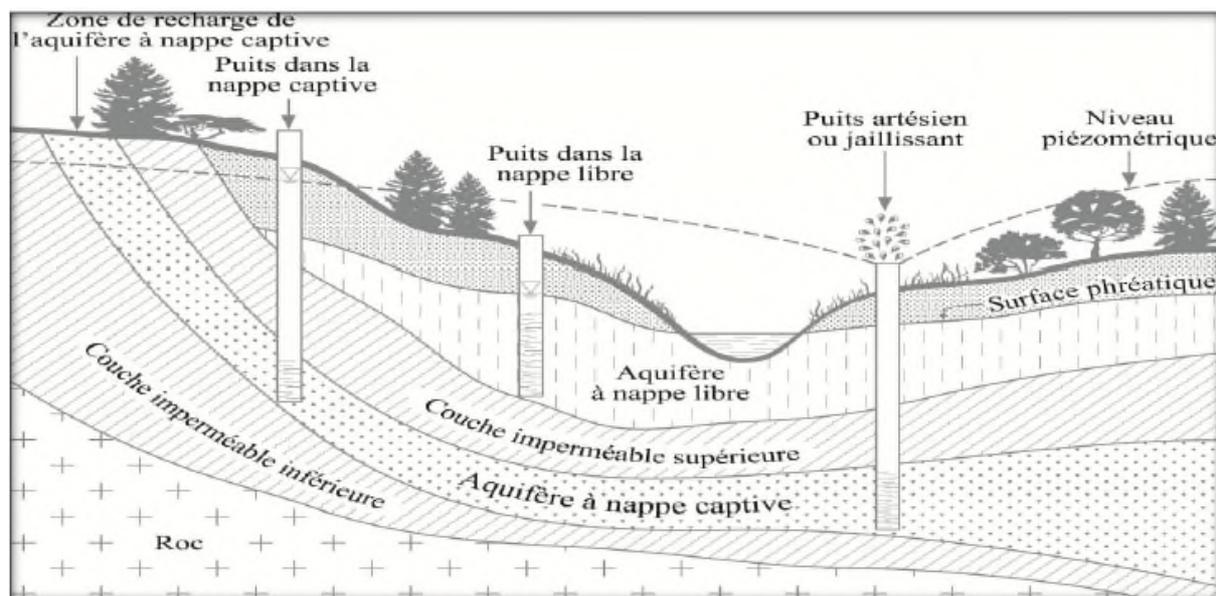


Fig.1.schéma représentatif des trois types de nappes (Jean Rousselle, Nicolas Lauzon., 2005).

II.4. Aperçu physico-géologique du site de l'oued Soummam :

La basse vallée de la Soummam (Nord-est algérien) est confrontée à un problème majeur, en l'occurrence, une exploitation intensive de la nappe surtout en période d'étiage.

L'oued Soummam qui serpente la vallée à travers plusieurs villages de la Wilaya de Béjaïa et qui est malheureusement utilisé par certaines communes comme « fosse septique » et il est devenu de nos jours un très bon réceptacle des eaux usées tant industrielles que d'eaux usées domestiques, et additivement à cela, même les décharges sauvages investissent la vallée. (Mouni .,2004).

Troisième fleuve d'Algérie, situé à la charnière de la petite et de la grande Kabylie le versant sud est plus irrégulier et creusé par des oueds (Seddouk, Imoula, Amassine, Amizour), le champ d'inondation est large (1 à 1,5 km) jusqu'à l'oued Amassine (qui se jette dans la Soummam (à 2 km en amont d'El-kseur). (Belkhiri et al., 2014).

En outre, les conditions climatiques jouent dans le même sens, ce climat nuit à la végétation et la rend fragile.

La couverture végétale, par l'interception, par la fourniture de matière organique aux sols, par l'obstacle mécanique qu'elle oppose à l'impact des gouttes de pluie et à l'écoulement des filets d'eau, est le principal élément antagoniste de la nature du relief (Giusti.,2012)

II.4.1. Relation hydraulique Oued-Nappe :

La relation hydraulique entre l'oued Soummam et la nappe alluviale est étudiée à partir de deux séries de jaugeages différentiels exécutés en période d'étiage, par le service Hydrologie de la D.E.M.R.H (1971/1972) et des coupes hydrogéologiques longitudinales.

L'analyse de ces données et l'examen de la figure2 montrent :

- une diminution systématique de débit entre Sidi-Aich et El-kseur, cette diminution ne peut être attribuée qu'à la somme de l'infiltration de l'oued vers la nappe et des prélèvements directs dans l'oued dont la partie à cet endroit, la nappe est libre.
- une augmentation des débits de l'oued entre El-kseur et l'embouchure (Bejaia).

Cette augmentation est due à l'épaississement du recouvrement argileux et limoneux de surface de lit de l'oued qui isole complètement les alluvions aquifères de l'oued Soummam. Dans cette partie la nappe est drainée par l'oued (C.CLINCKX.,1973).

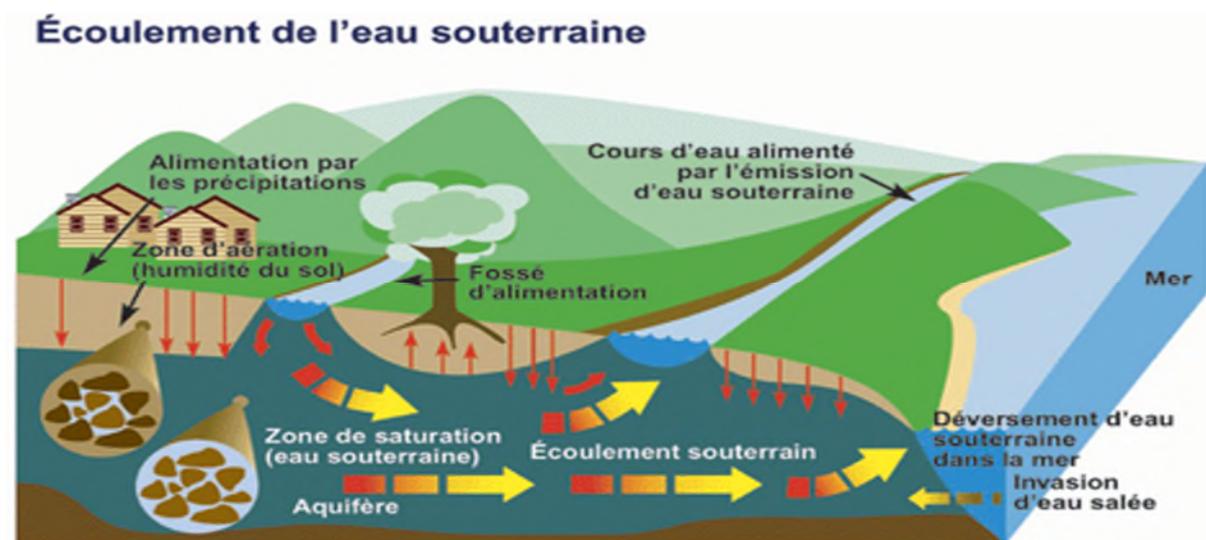


Fig.2. Identification des sources de rejets dans l'eau Souterrain (Source anonyme 1).

II.5. La vulnérabilité :

Est le caractère de ce qui est précaire, de ce qui peut être attaqué, endommagé et blessé.

Le terme vulnérabilité traduit la fragilité ou la sensibilité d'un système face à une menace externe, pollutions, événements socio-économique, aléas climatiques, etc. Ce terme a été historiquement usité depuis les années 1950, notamment, dans les domaines des sciences humaines, de la protection sociale et de la médecine (Essaouini., 2015).

II.5.1. Différents types de vulnérabilité :

Les études de la vulnérabilité font généralement la distinction entre deux notions : Vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique. La distinction des deux types de Vulnérabilité est nécessaire car, d'une façon générale, elles ne se placent pas sur la même Échelle d'investigation : la vulnérabilité intrinsèque peut être considérée comme invariante Dans le temps alors que la vulnérabilité spécifique (directement liée aux polluants éventuels) est évolutive et ne caractérise qu'un instant précis (**Mardhel et al., 2005**).

II.5.1.1. La vulnérabilité intrinsèque :

est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel (nature géologique, hydrogéologique du sous-sol, profondeur de la surface libre et drainage de surface) qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines (industrielle, urbain, agricole) (**Albinet et Margat., 1970 ; Mardhel et al., 2005**).

Plusieurs définitions peuvent convenir à cette notion :

C'est l'aptitude d'un aquifère à absorber ou à diffuser un polluant transporté par l'eau (**Civita., 1990**). C'est la facilité qu'offre un terrain à la pénétration jusqu'à la nappe d'eau souterraine, d'une contamination provenant de la surface du sol.

Cette notion ne fait intervenir que des conditions hydrogéologiques du site sans tenir compte des propriétés d'un éventuel contaminant. (**Aubre., 1992**).

II.5.1.2. 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 al., 2005**).

D'après **Aubre., 1992**, il s'agit de l'évaluation du danger de contaminer les eaux souterraines.

La notion générale de vulnérabilité peut s'expliquer par le fait que si un aquifère nécessite un degré majeur de protection par rapport à un polluant répandu à la surface, l'installation d'infrastructures ou d'activités humaines, sources de pollution, constituent alors un degré majeur de risque (**Bencini et al., 1995**).

Ce type d'étude vise à évaluer l'impact d'activité à l'échelle locale.

Les cartes de vulnérabilité sont basées sur l'existence de processus d'atténuation des contaminants à l'intérieur des sols et matériaux constituant les diverses unités du sous-sol (**Vrba et Zaporozec., 1994**).

II.6. Les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines :

Tab.1 montre les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines.

Tab. 1. Les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines.

Méthodes	Auteurs	Critères
GOD	Foster, 1987	G : Type de nappe O : Lithologie de la zone non saturée de l'aquifère D: Profondeur de la nappe
DRASTIC	Aller et al, 1987	D : Profondeur de la nappe R : Recharge nette A : Nature lithologique de l'aquifère S: Type de sol T: Topographie des terrains I : Impact de la zone non saturée C : Conductivité hydraulique
EPIK	Zwahlen et al, 1996	E: Développement de l'Epikarst, P: Epaisseur de la couverture Protectrice I: Conditions d'Infiltration K : Développement du réseau Karstique
RISKE	Petelet-G et al, 2000	R: Roche aquifère I: Conditions d'infiltrations S: Sol et couverture protectrice K : karstification E : Epikarst
PI	Goldsheider et al, 2002	P : Couverture Protectrice I : Conditions d'Infiltration
SINTACS	Citiva, 1994	S : Profondeur de la nappe I : Recharge efficace N : Lithologie de la zone non saturée T : Type de sol A : Type de l'aquifère C : Conductivité hydraulique S : Topographie

II. 7.les différents compartiments de la vulnérabilité : Fig.3 montre les étapes de la vulnérabilité et le risque d'un système aquifère.

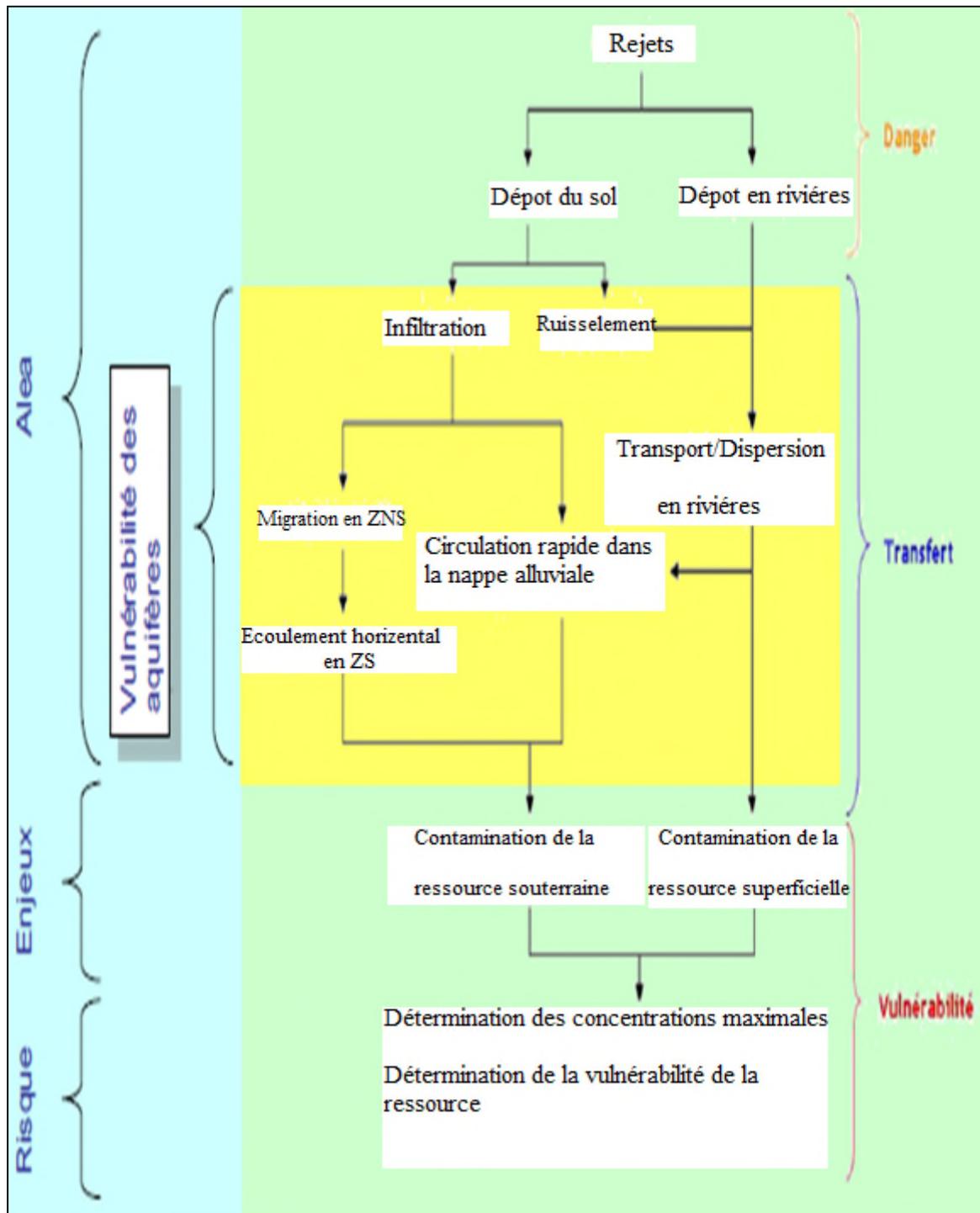


Fig.3. schéma modifié conceptuel représentant les étapes qui déterminent le degré de vulnérabilité des ressources en eau. (vincent mardhel.,2004).

III. Matériels et Méthodes :

III.1. Présentation de la zone d'étude :

III.1.1. situation géographique :

III.1.1.1. Situation régionale :

La région d'Amizour est située à 24 km au sud-ouest de Bejaia et à 232 km à l'est d'Alger. Est entre 36°39'N, 4° 54'E. Elle s'étend sur une superficie de 109,36 km², et sa population est de 37562 habitants environ, soit une densité de 343ha /km². La commune se situe sur la basse vallée de la Soummam limitée par les montagnes de BARBACHA et le massif d'OUED AMIZOUR. Elle est limitée par la commune d'el kseur au Nord-Ouest, la commune d'oued-Ghir et Tala Hamza au Nord-est, la commune de Barbacha au sud, la commune de Boukhelif à l'Est, la commune de Semaoun à l'ouest. **(Site internet officiel de la commune d'Amizour)**

Son territoire est divisé en deux parties, une partie est située en plaine et l'autre en zone montagneuse, cette dernière occupe plus de 75% de territoire de la commune. Pour la première partie qui est la plaine, Elle est située sur la basse vallée de la Soummam d'Oued-Amacine et oued Amizour, cette plaine est presque totalement mise en valeur et renferme un potentiel hydro agricole très important. La seconde partie en zone montagneuse, est constituée de formation schisteuse qui comporte l'essentiel du peuplement humain, compte tenu de son relief et de sa vocation purement agricole, notamment l'arboriculture (olivier, figuier etc. ...). Elle est située dans les montagnes d'Ighil Bekaa et Azrou n'Bechar.

III .1.1.2. Situation Géographique de la plaine d'Amizour :

La plaine d'Amizour a une superficie d'environ 27,24 Km² (Fig.4). Située sur la basse vallée de la Soummam limitée par les montagnes de Barbacha et le massif d'Oued Amizour. Elle est limitée par la commune d'El-Kseur au nord-ouest, par la commune d'Oued-Ghir et Tala-Hamza au nord-est, par la commune de Barbacha au sud, la commune de Boukhelif à l'Est, par la commune de Semaoun à l'ouest. Est divisé en deux parties, une partie est située en plaine et l'autre en zone montagneuse.

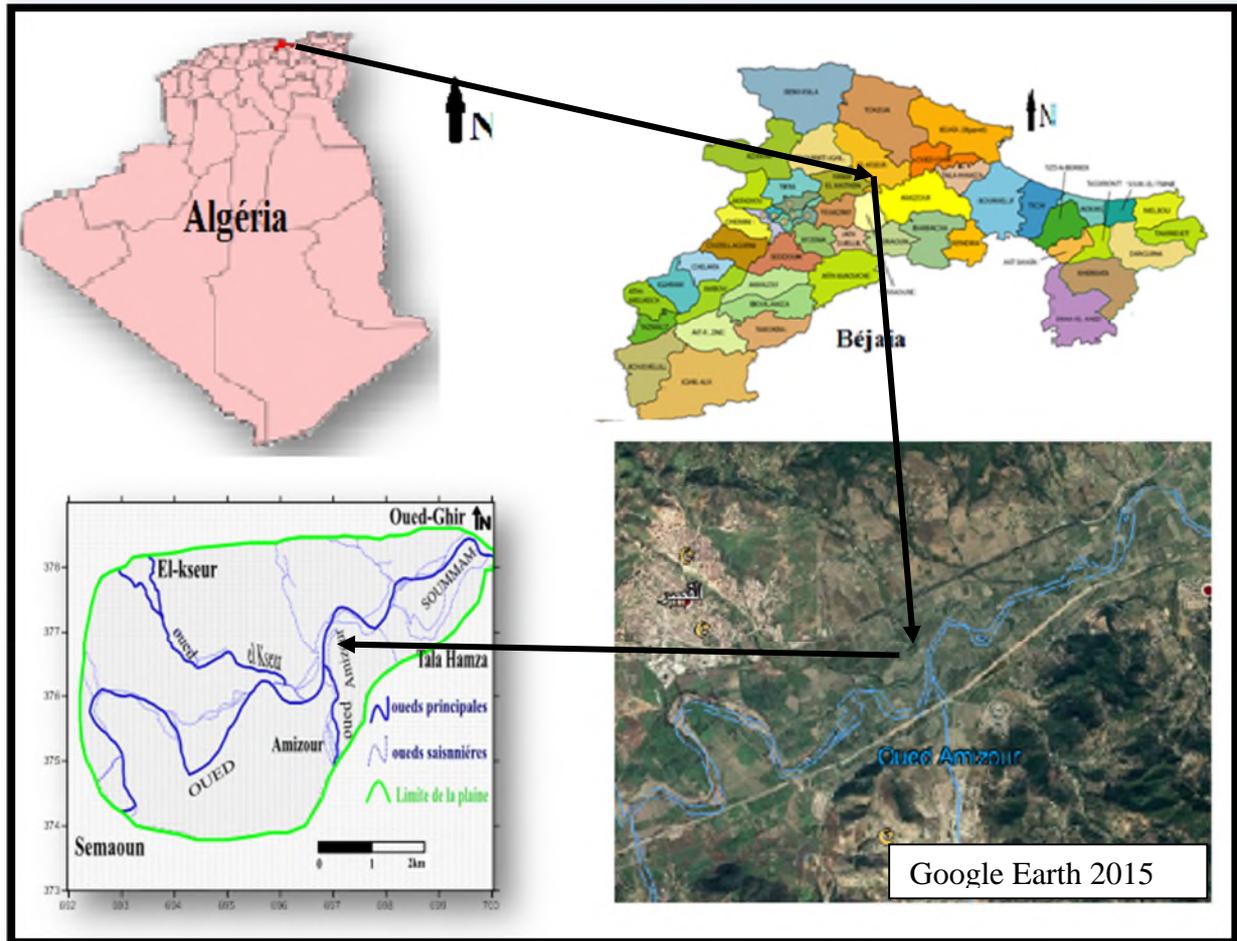


Fig.4. Situation géographique de la plaine d'Amizour.

III.2. Aperçu géomorphologique et géologique :

III.2.1. La géomorphologie de la plaine :

La géomorphologie fait partie de l'hydrologie, cette dernière est définie comme une science consacrée à l'étude des eaux terrestres (existence, circulation, distribution, propriétés physico-chimiques de l'eau...etc).

En relation avec l'environnement et les êres vivants. En bref, le domaine de l'hydrologie couvre toute l'histoire de l'eau sur terre. Cette définition, au sens le plus large, diffère d'un auteur à l'autre. (L.Belloulou. ,2004).

Pour mieux comprendre le comportement hydrologique du sous bassin versant des Oueds (Soummam, Amizour, El Kseur), il est impératif de procéder à une analyse minutieuse des différents éléments morpho métriques surtout la pente qui représente un paramètre important pour identifier la forme de terrain reliefs ou plaines. (Boucenna et al., 2003).

Les Oueds (Soummam, Amizour, El kseur) drainant la partie centrale de la plaine(Fig.5).

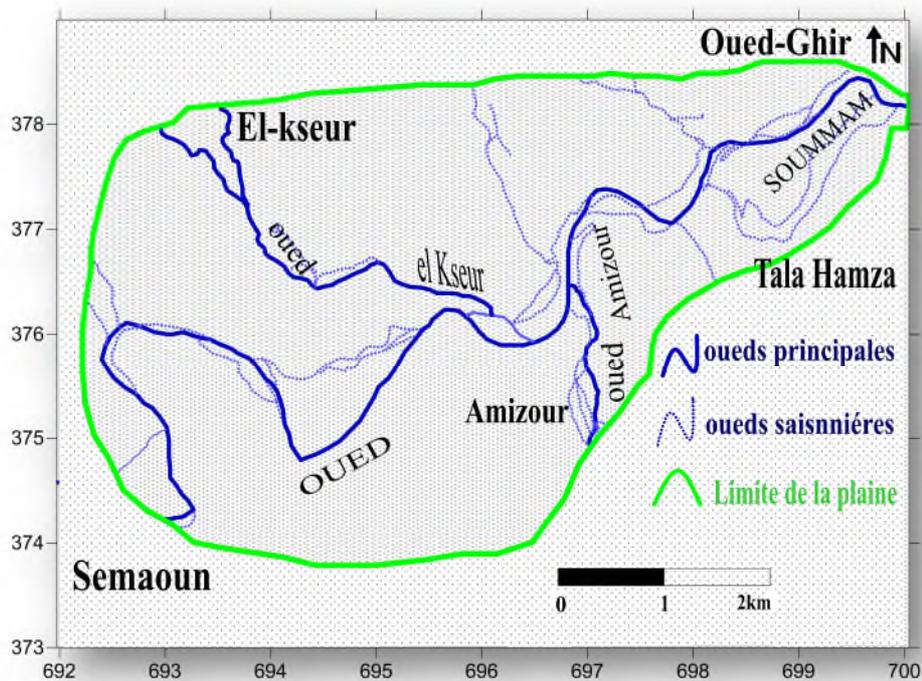


Fig.5.Le sous bassin de la Soummam et ses affluents (Amizour et El Kseur).

Les profils longitudinaux (Fig.6) et (Fig.7) des principaux cours d'eau (Soummam, Oued Amizour et oued El Kseur) montrent des pentes moyennes en amont (pentes supérieures à 200 m/km ou 20%). Ces pentes décroissent progressivement pour se réduire à quelques mètres par kilomètre au niveau de l'exutoire de la plaine.

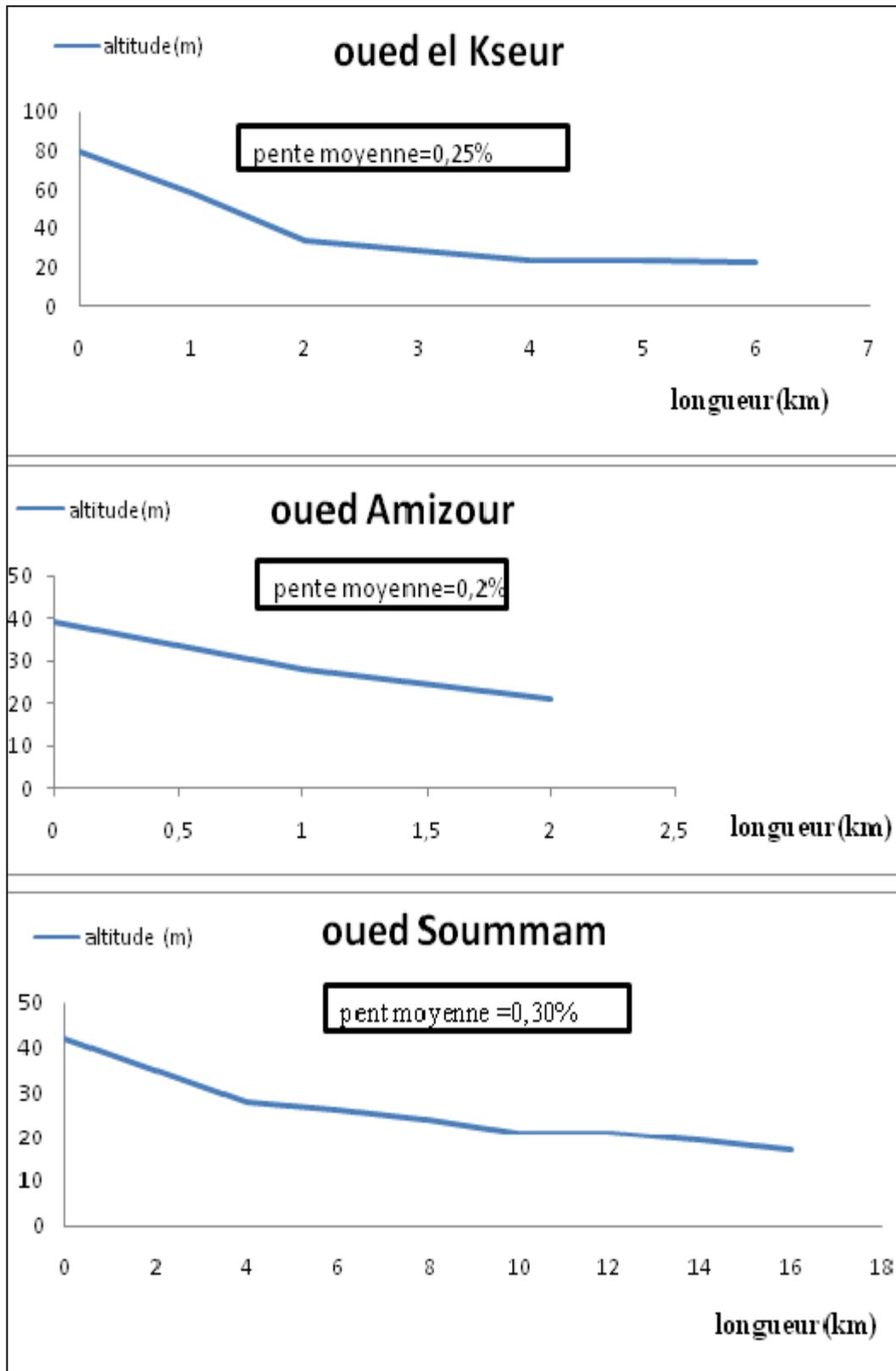


Fig. 6. Profils en long des principaux cours d'eau.



Fig.7.photo de Oued Soummam et Amizour (Avril 2019).

III.2.2.Cadre géologique :

Le cadre géologique d'un bassin versant conditionne les écoulements des eaux souterraines et des eaux superficielles. Nous voulons montrer ici la complexité géologique des diverses formations lithologiques qui contribuent à expliquer la nature des réservoirs, des zones imperméables et des zones en voie dissolution.

III.2.2.1.Géologie régionale :

Sous le nom de Kabylie, on comprend une vaste région très montagneuse qui s'étend sur une partie des départements d'Alger et de Constantine, depuis l'extrémité de la plaine de la Mitidja, à l'Ouest, jusqu'au la région de Collo, à l'Est, sur une étendue de plus de 300 kilomètres.

La chaîne alpine de l'Algérie du Nord est subdivisée en trois domaines paléogéographiques principaux.

III.2.2.1.1.Le domaine interne :

Appelé aussi socle kabyle ou Kabylie, est composé de massifs cristallophylliens métamorphiques (gneiss, marbres, amphibolites, micaschistes et schistes) et d'un ensemble sédimentaire paléozoïque (Ordovicien à Carbonifère) peu métamorphique. Ce socle affleure d'ouest en est dans les massifs du Chenoua (à l'ouest d'Alger), de Grande Kabylie et de Petite Kabylie (entre Jijel et Skikda).

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 (**L. Glangeaud., 1932**) appelée par la suite « Dorsale Kabyle » par (**J. F. Raoult ., 1974**).

III.2.2.1.1.1. Socle Kabyle :

On le rencontre dans deux séries d'affleurement : au Nord, les massifs de grandes et petites Kabylie, plus au Sud, le substratum de la Dorsale. Il comprendrait les termes suivants :

- ✓ Un ensemble cristal profond appartenant de quartzites, granulites (**Bouillin et al ., 1976**).
- ✓ Des gneiss présentant des intercalations de quartzites, d'amphibolites et des marbres.
- ✓ Des phyllades ayant subi un métamorphisme de basse pression avec une zone inférieure à biotite et une zone supérieure à chlorite.
- ✓ Un ensemble essentiellement sédimentaire paléozoïque débutant au Cambrien (**Bandélot et Géry ., 1979**) et atteignant le Carbonifère.

III.2.2.1.1.2. La dorsale Kabyle :

Elle a été étudiée en détail dans sa partie orientale par (**J. F. Raoult ., 1974**) et (**J.M. Vila .,1980**).C'est une zone étroite et discontinue qui caractérise l'axe interne de l'orogène nord-algérien : elle est subdivisée en trois unités :

III.2.2.1.2.1. Dorsale interne :

Sur un substratum constitué de phyllades et de rares affleurements paléozoïques, existent un Permien-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.

III.2.2.1.2.2. Dorsale Médiane :

Elle correspond à une série condensée continue du Crétacé inférieur à l'Eocène avec des faciès marneux et calcaire-marneux pélagiques. Son substratum est analogue à celui de la dorsale interne.

III.2.2.1.2.3. Dorsale externe :

Définie par un Lias particulier souvent à Ammonites et Rhynchonelles puis par des séries Conglomératiques 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.

III.2.2.1.3. Domaine des Flyschs :

La complexité structurale de la zone des flyschs ainsi que la pauvreté de celle-ci en fossiles, ils ont été pendant longtemps mal connus. (**J .F. Raoult ., 1969**) distingue :

- ✓ Les flyschs de type « Guerrouch » (Tithonique- Crétacé inférieur), ou flyschs mauritaniens.
- ✓ Les flyschs «schisto-quartzeux », (flyschsalbo-aptiens de (Glangeaud ., 1932), ou flyschs massyliens.
- ✓ La nappe numidienne.

III.2.2.2. géologie locale :

Sur la base de la carte géologique de la vallée de la Soummam (Fig.8), cette dernière présente une plaine formée par des dépôts alluvionnaires anciens et actuels sur le lit majeur de l’oued Soummam. De part et d’autre de cette plaine, on note un substrat siliceux sur tout le versant exposé au nord et un substrat calcaire dominant la majeure partie du versant exposé au sud, avec une zone marno-argileuse (mio-pliocène) s’étendant d’El Kseur à Sidi Aïch. A la périphérie de cette plaine, on note des ensembles pétrographiques ; siliceux pour le massif d’Akfadou et du Djurdjura, calcaire pour les djebels Gouraya-Arbalou et la chaîne des Babors dans sa partie méridionale (Dahdouh A et all ., 2012).

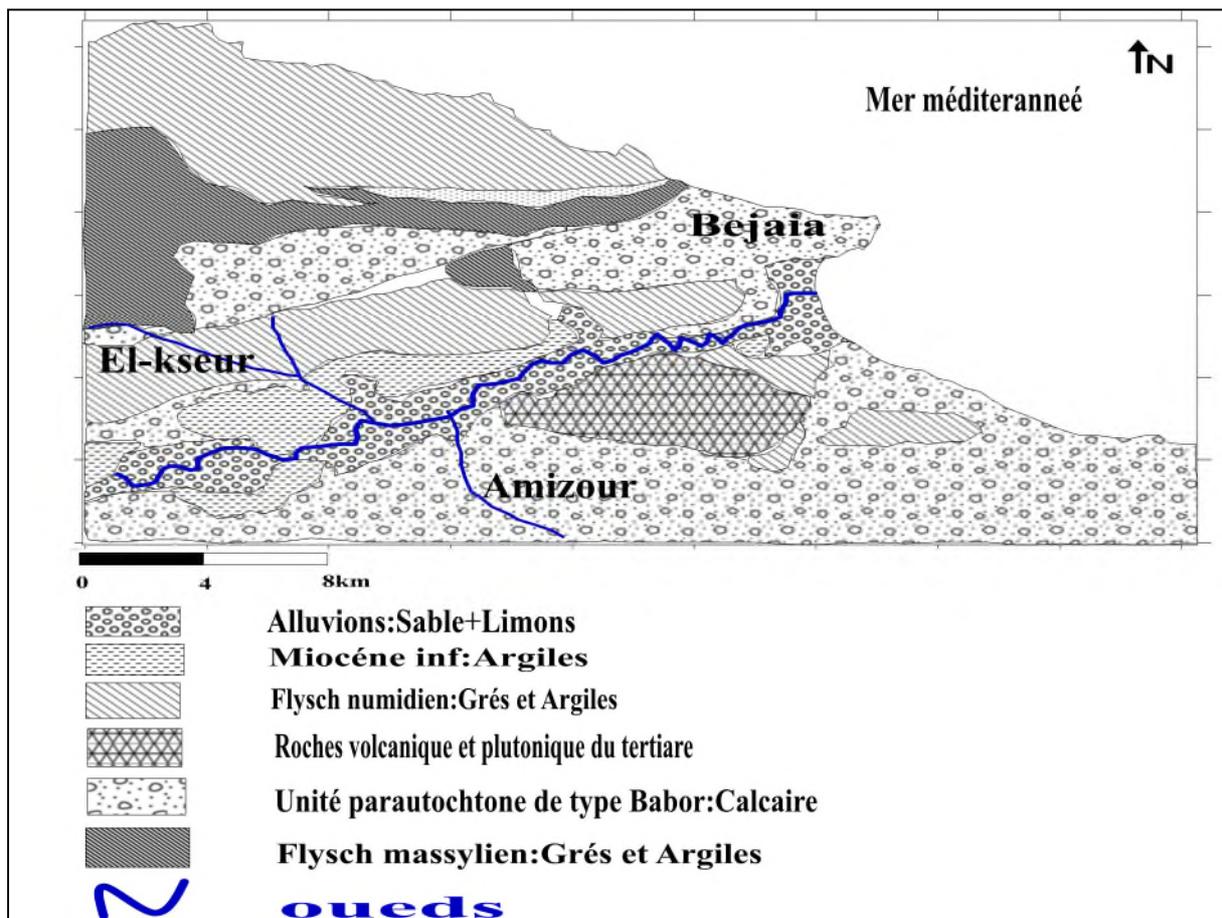


Fig.8 : carte géologique de la vallée du Soummam (M. Hassissene, 2000).

Au niveau de la plaine, on distingue un substrat formé par des dépôts alluvionnaires Anciens et actuels sur le lit majeur de l'oued Soummam. Les études antérieures de **(Coyne et Bellier., 1973)** et de **(Bennabi ., 1985)** ont mis en évidence quatre (4) niveaux de terrasses alluviales différenciées, plus par leur position topographique par rapport au lit de l'oued que par un critère d'âge ;

- **Alluvions anciennes de la première terrasse :** Cette terrasse présente une grande extension en rive gauche de l'oued où elle occupe la majeure partie de la plaine alluviale. Elle est surtout bien représentée dans les régions d'Ighzer Amokrane, d'Azib et de Tazmalt. Les pentes y sont accentuées parfois jusqu'à 10 %. On y trouve des niveaux d'argiles, de galets, de graviers et d'argiles graveleuses.
- **Alluvions de la deuxième terrasse :** Cette terrasse est pratiquement absente au niveau de la rive droite ; en rive gauche, par contre, elle forme des niveaux assez continus avec des épaisseurs parfois supérieures à 10 m. Elle est bien représentée dans la région d'Ighzer Amokrane, d'Azib et de Tazmalt. Elle est constituée de niveaux de graviers argileux, galets et sables. Les pentes y sont plus faibles que pour la première terrasse, ne dépassant pas quelques degrés.
- **Alluvions de la troisième terrasse :** Cette terrasse est dissymétrique et discontinue sur les deux rives. Elle forme des lambeaux dont les épaisseurs varient de 1 à 10 m.
- **Alluvions récentes de la quatrième terrasse :** Elle est constituée par les alluvions actuelles ou récentes avec des galets et des limons et des sables. Elle occupe le lit d'inondation de l'oued. Cette terrasse présente une faible pente correspond au niveau zéro.

III.2 .2.3. Lithologie de la zone d'étude :

La plaine d'Amizour (Fig.9) est composée d'alluvions d'une formation constituée de galets et de graviers et des sables surtout dans le milieu de terrain, l'épaisseur de cette formation plus de 10 m selon le déblai des puits excitant actuellement (Fig.10) et l'argile et le grès dans la partie sud et la partie Nord ,l'épaisseur de cette dernière de 15 à 25 m dans la région d'El Kseur et dans la région d'Amizour environ 20 m.

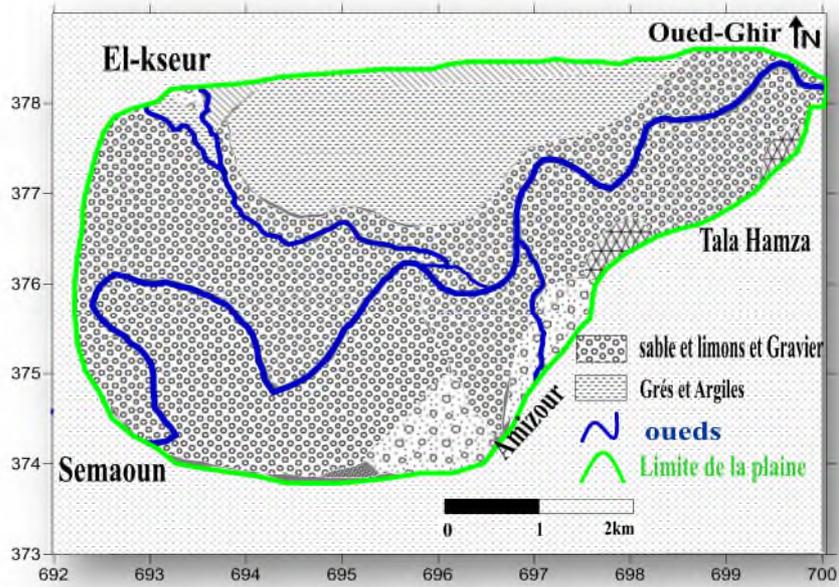


Fig.9. Carte lithologique de la plaine d’Amizour (d’après Hassissene 2000).



Fig.10. photos de déblai d’un puits dans la plaine d’Amizour (avril 2019).

III.2.2.4.L'intérêt hydrogéologique des formations lithologiques de la plaine d'Amizour :

Tab.2 .Intérêt hydrogéologique de la formation lithologique.

location	Formation	épaisseur	Intérêt hydrogéologique
Milieu de terrain	Sable et limons et gravier	+10m	Réservoir d'eau souterraine important
Nord et Sud de terrain	Terrain argileux +Grés	+15 m	Intérêt hydrogéologie faible

III .3.Etude climatologique :

III.3.1.Etude climatique :

Amizour est classée troisième commune en matière de superficie, après celle d'Akbou et de Bejaia avec une surface de 109,36 Km².

La commune se situe sur la base vallée de la Soummam limitée par les montagnes de Barbacha et le massif d'Oued Amizour.

Elle est limitée par la commune d'El-Kseur au Nord-Ouest, par la commune d'Oued-Ghir Tala-Hamza au Nord-Est, par la commune de Boukhelifa à l'Est et par la commune de Semaoun à l'ouest.

Son territoire est divisé en deux parties, une partie est située en plaine (sur laquelle on va travailler) et l'autre en zone montagneuse, Cette dernière occupe plus de 75 % de territoire de la commune. Pour la première partie qui est la plaine, Elle est située sur la base vallée de la Soummam de Oued-Amacine et Oued Amizour, cette plaine est presque totalement mise en valeur compte tenu de sa position géographique qui est très intéressante, et qui renferme un potentiel hydro agricole très important, elle est considérée comme vallée à forte potentialité agricole à Béjaïa, les étés sont chauds, lourds, secs et dégagés dans l'ensemble et les hivers sont longs et frisquets. Au cours de l'année, la température varie généralement de 8 °C à 29 °C et est rarement inférieure à 5 °C ou supérieure à 32 °C.

L'étude climatologique nécessite la connaissance des éléments climatiques tels que: les précipitations, la température, dont les données sont collectées à la station de Bejaia.

Les coordonnées géographiques de la station météorologique de Bejaia sont représentées dans le tableau suivant:

Tab.3. Coordonnées des stations pluviométriques dans la région de Bejaia.

station	Z (m)	Latitude	Longitude
Bejaia	1.75	E 05' 06''	N 36' 43''

III.3 .1.1. Les précipitations :

Les précipitations, facteur important du climat, conditionnent le comportement hydraulique des cours d’eaux et les variations des niveaux des nappes souterraines (Kezzar S et al.,2016). Elle constitue donc l’élément fondamental du bilan hydrologique, dans cette optique, les caractéristiques pluviométriques de la zone d’étude sont tirées d’une chronique de 31 d’années d’observations à la station de Bejaia (1986-2017).

A). Variations spatio-temporelles des pluies :

La pluviosité dans cette région se caractérise par une forte intensité des précipitations en hiver et d’une diminution des amplitudes pluviométriques en été. Plusieurs facteurs interférents pour donner un paysage présentant un climat à fort contraste entre le nord et le sud de la zone d’étude dont les principaux sont l’importance du volume montagneux à proximité de la mer, le relief très compartimenté et la position par rapport aux vents.

Tab. 4 .Pluies moyennes mensuelles et annuelles dans la station de Béjaia (1986 -2017).

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil.	Août	Totale
Prc m, oy	61,95	68,02	103,25	128,59	113,1	93,36	71,63	70,07	41,36	17,71	5,77	9,25	784,06

Les lois de l’éloignement de la mer, l’orographie et l’exposition des versants aux vents humides justifient les variations du module pluviométrique d’une zone à l’autre. Plus des 3/4 des pluies annuelles tombées sur la région sont enregistrées durant la période pluvieuse allant d’Octobre à Mai.

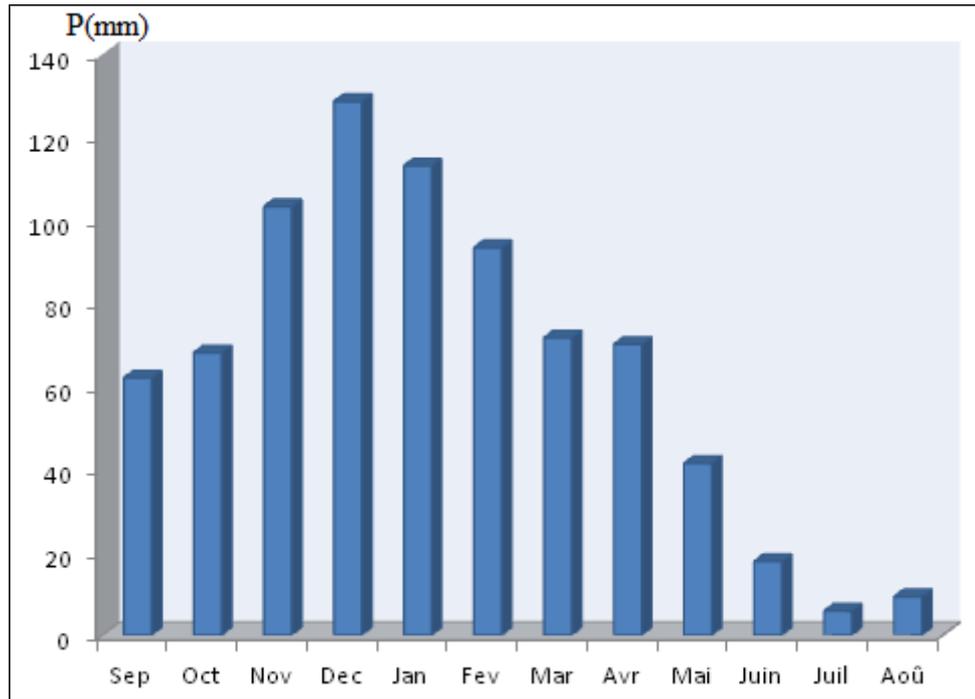


Fig.11. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles dans La station de Bejaia (1986-2017).

D’après la (Fig .11) Les précipitations atteignent leur maximum au mois de Décembre avec une hauteur de 128.59 mm et leur minimum au mois de Juillet avec 5.77 mm.

B). Précipitations moyennes saisonnières :

Les précipitations moyennes saisonnières nous a permet de déterminer la distribution de la lame d'eau précipité durant une année et selon les quatre saisons (Tab.5).

Tab.5 .Répartition saisonnière des précipitations dans les stations de mesure (1986-2017).

Saisons Mois	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Totale	
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A		
Stations	P (mm)	P (%)	P (mm)	P (%)	P (mm)	P (%)	P (mm)	P (%)	P (mm)	P (%)	P (mm)	P (%)	P (mm)	P (%)
Béjaia	233.22	30	335.05	43	183.06	23	32.73	4	784.06	100				

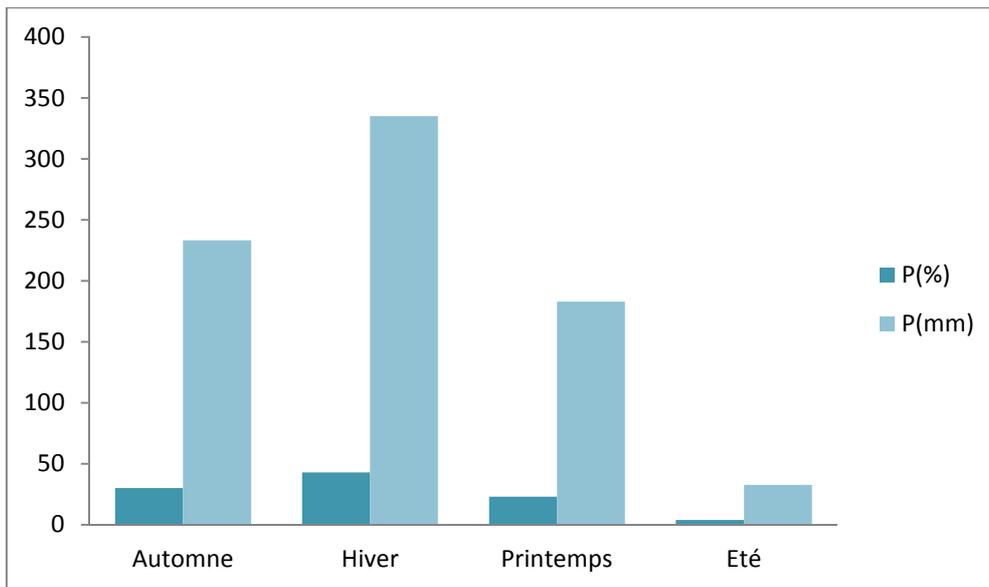


Fig.12. Histogramme des précipitations moyennes saisonnières à la station de Bejaia.

A partir la (Fig.12) on constate que la saison la plus pluvieuse est L'hiver, par contre la saison la plus sèche est L'été (un climat méditerranéen).

C). Précipitations annuelles :

Les données pluviométriques sont souvent disponibles sous forme d'échantillons très longs qui ne sont pas convenables à une interprétation immédiate. Il est par conséquent nécessaire de caractériser les informations collectées par un certain nombre de paramètres, notamment : la moyenne arithmétique (P_{moy}), le coefficient pluviométrique (C_p), ce dernier calculé comme suit : $C_p = P/P_{moy}$

CP : coefficient pluviométrique.

P : Pluviométrie annuelle de l'année en (mm).

P moy : Pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

Le coefficient C_p , permet de distinguer les années déficitaires et les années excédentaires.

- Une année est dite excédentaire (AE) si : $CP > 1$.
- Elle est par contre déficitaire (AD) si : $CP < 1$.

Tab.6. le coefficient pluviométrique CP (période:1986-2017).

Année	Totale	Moyenne	Cp	>1 ou <1
1986/1987	988,1	784,06	1,26023519	AE
1987/1988	685,6	784,06	0,87442288	AD
1988/1989	811,6	784,06	1,03512486	AE
1989/1990	537,32	784,06	0,6853047	AD
1990/1991	835,8	784,06	1,06598985	AE
1991/1992	891,2	784,06	1,13664771	AE
1992/1993	693	784,06	0,88386093	AD
1993/1994	452,7	784,06	0,57737928	AD
1994/1995	844,6	784,06	1,07721348	AE
1995/1996	799,3	784,06	1,01943729	AE
1996/1997	432,44	784,06	0,55153942	AD
1997/1998	907,12	784,06	1,15695227	AE
1998/1999	789,1	784,06	1,00642808	AE
1999/2000	588,9	784,06	0,75109048	AD
2000/2001	593,91	784,06	0,75748029	AD
2001/2002	640,93	784,06	0,8174502	AD
2002/2003	1267,4	784,06	1,61645792	AE
2003/2004	941,3	784,06	1,20054588	AE
2004/2005	805,1	784,06	1,02683468	AE
2005/2006	764,47	784,06	0,97501467	AD
2006/2007	570,7	784,06	0,72787797	AD
2007/2008	858,4	784,06	1,09481417	AE
2008/2009	935	784,06	1,19251078	AE
2009/2010	853	784,06	1,08792694	AE
2010/2011	840,58	784,06	1,07208632	AE
2011/2012	1146,84	784,06	1,46269418	AE
2012/2013	1183,37	784,06	1,509285	AE
2013/2014	690,29	784,06	0,88040456	AD
2014/2015	750,05	784,06	0,95662322	AD
2015/2016	648,2	784,06	0,82672244	AD
2016/2017	559,58	784,06	0,71369538	AD

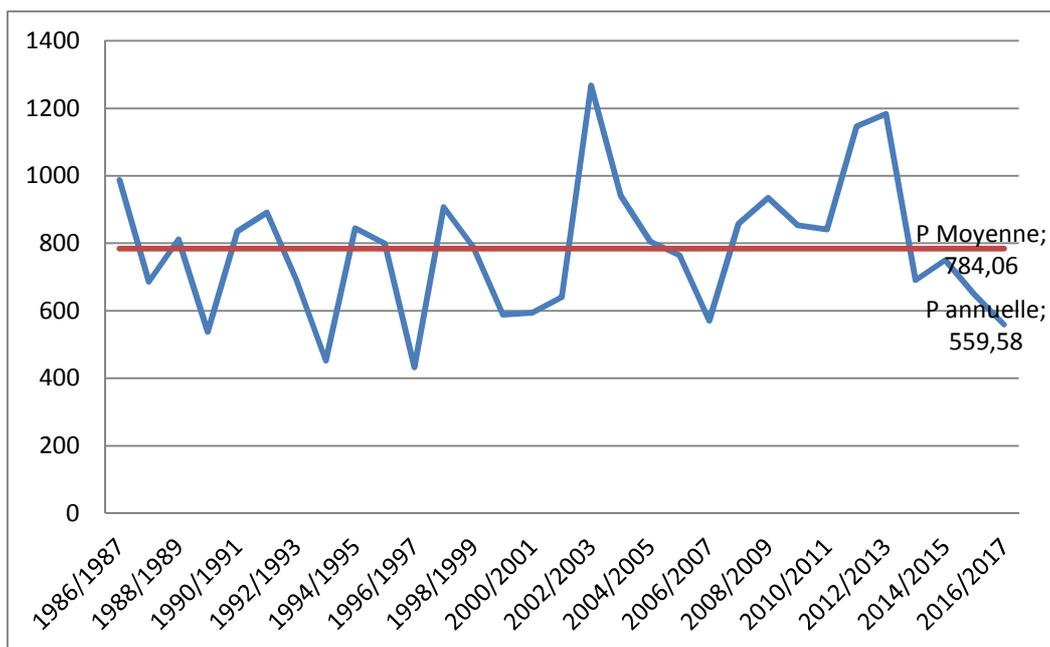


Fig.13. Variation des précipitations annuelles (1986-2017).

D'après le Tab.6 et la courbe (Fig.13) on peut constater que les pluies annuelles se répartissent de façon irrégulière aussi bien dans le temps (entre les années sèches et humides), et on constate que 14 années déficitaires et 17 années excédentaires pour la station de Béjaia.

III.3.1.2. Les températures :

La région d'Oued Amizour est située dans la partie Nord de la vallée de la Soummam dans le secteur compris entre la ville d'Oued Amizour et la rive occidentale du golfe de Béjaia, subit les influences de la mer Méditerranée. Elle est caractérisée par des forts écarts thermiques ; plus particulièrement entre les minima et les maxima absolus divisant ainsi l'année en une saison froide et une saison chaude bien distinctes.

En se basant sur les observations enregistrées aux stations de Béjaia, la saison froide s'étale de novembre à avril où l'on enregistre les minima les plus bas atteignant, la valeur la plus basse au mois de Janvier (12.15°C) puis viennent les mois de Février (12.29°C) et Décembre (13.28°C). La saison chaude est comprise entre Juin et Septembre pour la région d'étude (Fig. 14) et (Tab.7). Elle est caractérisée par des moyennes maximales dépassant les 28°C aux mois de Juillet, Août et Septembre. En effet, la région d'Amizour, de par sa situation géographique, est caractérisée par un climat méditerranéen faisant opposer un hiver pluvieux et humide à un été sec et chaud.

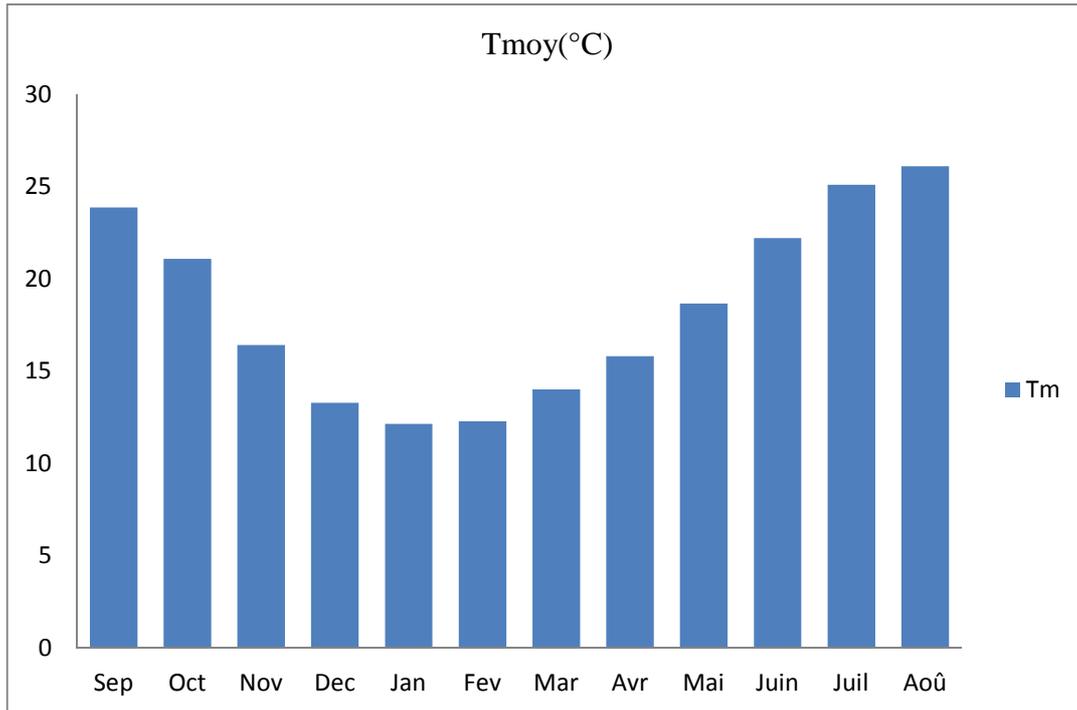


Fig.14. Variation des températures moyennes mensuelles de la station de Béjaia (1986-2017).

Tab.7. Températures moyennes mensuelles (en °C) (période 1986-2017).

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou
Béjaia	23,87	21,08	16,42	13,3	12,15	12,3	14,01	16	18,66	22,21	25,10	26,11

III.3.1.2.1. Diagramme pluvio-thermique :

On l'établi en combinant les températures et les précipitations moyennes mensuelles correspondant à la même période d'observation condition que P soit égale à T. Ce diagramme il permet de déterminer les saisons sèches et humides, tel qu'il est mentionné.

❖ L'indice d'aridité de "de Martonne" :

$$A = P / (T + 10)$$

Avec

P : précipitation moyennes annuelles (mm).

T : températures moyennes annuelles (mm).

A : indice d'aridité annuelle.

Tel que:

- * $A > 30$: climat humide.
- * $20 < A < 30$: climat tempéré.
- * $10 < A < 20$: climat semi-aride.
- * $7.5 < A < 10$: climat steppique.
- * $05 < A < 7.5$: climat désertique.
- * $A < 05$: climat hyperaride.

$$A = 784,06 / (18,41 + 10)$$

$$A = 27,59$$

* $20 < A < 30$: climat tempéré.

Pour la station de Bejaia et durant la période d'observation allant de 1986/1987 à 2016/2017, avec ($P = 784,06$ mm) et ($T = 18,41$ °C) on trouve une valeur de $A = 27,59$ ce qui correspond à un climat "Tempéré"(Subhumide).

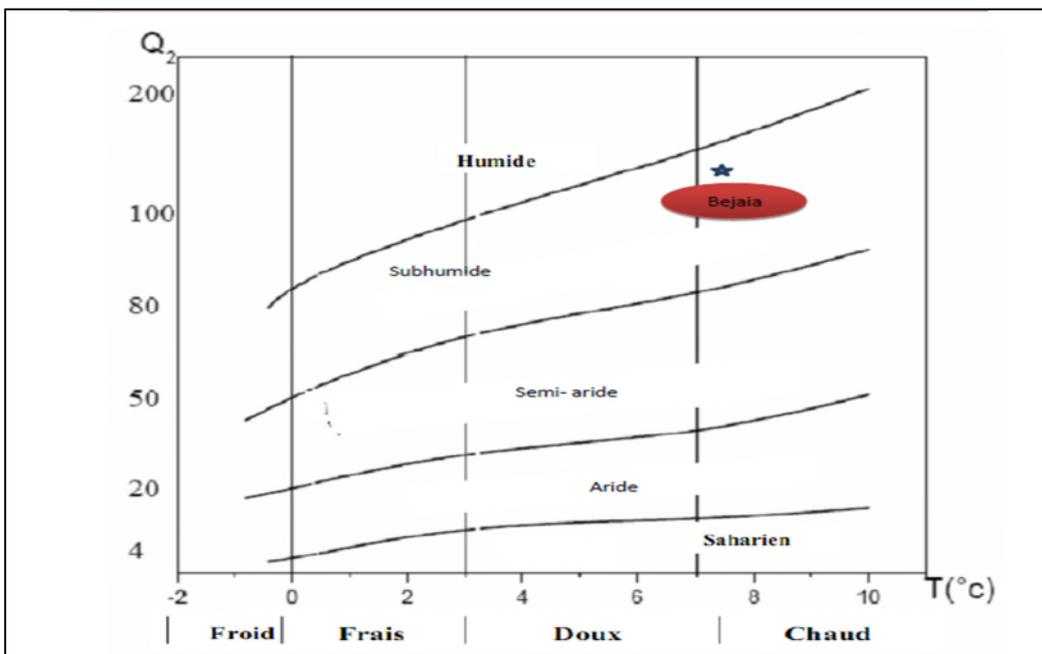


Fig.15. Situation de la région d'étude sur le climato gramme d'EMBERGER(Sersoub ., 2012).

A partir le diagramme Ember-thermique $p=f(2T)$ (Fig.16) on constate que :

Une saison humide et froide qui s'étale du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Mai, et une saison sèche et chaude, elle s'étend du mois de Juin jusqu'au mois de Septembre.

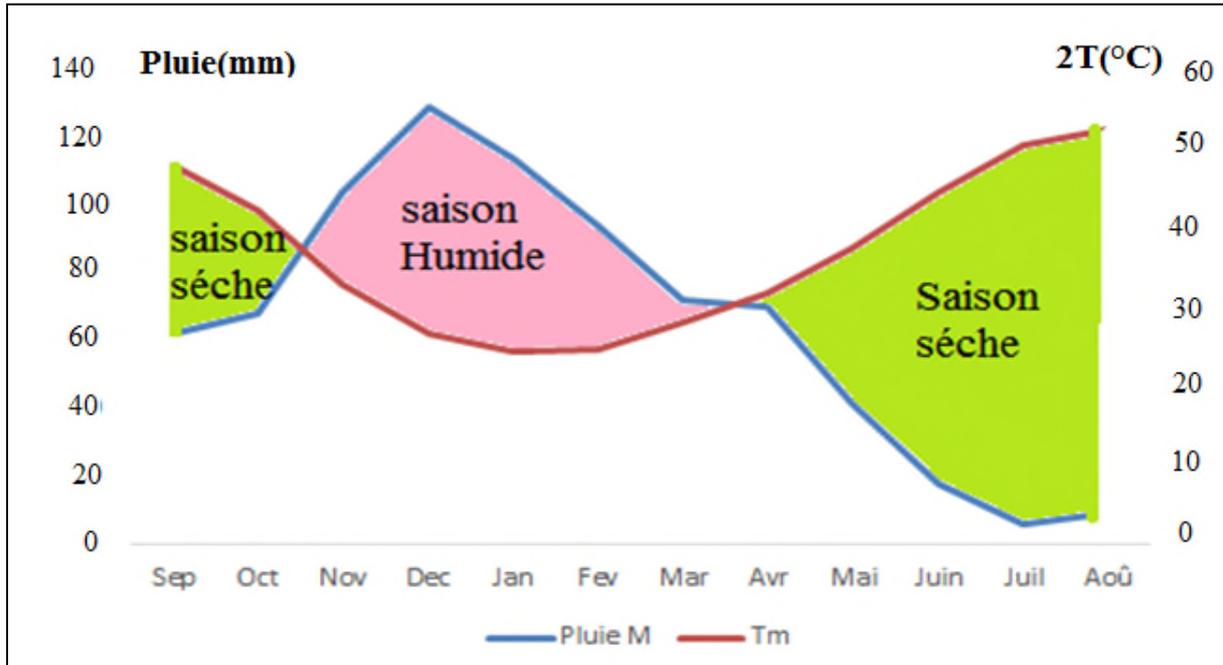


Fig.16. Diagramme d'ombrothermique de la station de Béjaia (Période 1986-2017).

III.3.1.3. Le bilan hydrique :

L'établissement du bilan d'eau d'une région a pour but la connaissance de la répartition plus ou moins grossière des précipitations entre les composantes suivantes : L'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration.

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en (mm).

R : Ruissellement moyen annuel en (mm).

I : Infiltration en (mm).

III .3.1.3.1. Détermination des paramètres du bilan :

a. Evapotranspiration :

L'évapotranspiration est l'ensemble des phénomènes d'évaporation et de transpiration. Le principal facteur régissant l'évaporation est la radiation solaire.

Le terme évapotranspiration englobe deux types :

1 - Evapotranspiration potentielle (ETP) :

C'est la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée et pendant une période bien définie en considérant des apports d'eau suffisants. Elle est estimée par la formule de « C.W.Thornthwaite » proposée en 1948 est basée essentiellement sur les températures de l'air :

$$ETP = 16 (10t / I)^a .K$$

Avec:

$$a = 0, 016 I + 0, 5 \quad I = \Sigma i. \quad i=(t / 5)^{1.514}$$

ETP: Evapotranspiration potentielle mensuelle en (mm).

t: Température moyenne mensuelle en (°C).

i : Indice thermique mensuel.

I : La somme des indices mensuels de l'année.

K : Facteur correctif intégrant la durée d'insolation et la température.

Tab. 8. Résultats de l'Evapotranspiration par la formule « **C.W.Thorthwaite** (1948) » pour la station de Bejaia(1987-2017).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Totale
I	11	8,84	6,05	4,39	3,84	3,9	4,76	5,71	7,35	9,56	11,51	12,21	88,79
K	1	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	12,35
ETP (mm)	110	81,7	44,84	28,1	25,44	25,39	39,6	53,3	80,7	113,6	146,1	147,3	896,1

2- Evapotranspiration réelle (ETR) :

Elle correspond à l'évapotranspiration qui se produit pendant un intervalle de temps donné, dans des conditions réelles des teneurs en eau abondantes du sol. Ce paramètre est calculé par plusieurs méthodes empiriques prenant en compte les précipitations et les températures (**H.Djenadi et al., 2018**).

Calcul de l'ETR par la formule de Turc :

$$ETR \text{ (mm/an)} = P / (0,9 + P^2/L^2)^{1/2}$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle en (mm).

$$L = 0,05T^3 + 25 T + 300$$

P = Précipitations moyenne annuelle en mm.

T = température moyenne annuelle en °C.

L = pouvoir évaporant.

Tab. 9. Résultats de l'Evapotranspiration réelle par la formule « **Truc** » pour La station de Bejaia (1987-2017).

facteur	P (mm)	T(c°)	L	ETR (mm)
Bejaia	784,06	18,41	1072,23	658,87

Dans ce cas, la formule de « **Truc** » ne peut pas être suivie car la valeur de l'ETR (658 ,87) est supérieure à la valeur de l'ETP(784,06) et la valeur de l'infiltration est négative. Nous suivons donc la formule de « **C.W.Thornthwaite** (1948) ».

Selon **C.W.Thornthwaite** : L'estimation de l'ETR en (mm) par cette méthode est liée au volume de précipitations. Se présenter par trois cas :

❖ **1^{er} cas : P ≥ ETP => ETR = ETP :**

L'excédent (P – ETP) est affecté en premier lieu à la RFU (si le sous-sol a un pouvoir d'infiltration élevé, cet excédent va constituer la composante verticale de l'écoulement souterrain ou l'infiltration efficace vers la nappe), et si la RFU est complète, cette quantité restituée (P –ETP) va alimenter l'écoulement (**H.Djenadi et all, 2018**).

❖ **2ème cas : $P < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$:**

Dans ce cas, la RFU (réserve facilement utilisable) va s'épuiser jusqu'à satisfaction de l'ETP.

❖ **3ème cas : $P < ETP$ et $RFU = 0 \Rightarrow ETR = P$:**

Il y aura donc un déficit agricole (DA) représenté par la quantité d'eau qui doit être apportée pour l'irrigation.

Cette valeur permet de déterminer la valeur de l'ETR pour la station de Bejaia par la méthode de Thornthwaite. Généralement la méthode de Thornthwaite la plus utilisable dans les régions humides).

Bejaia = 520,72 mm/an.

b).Ruissellement (R) :

Le ruissellement de surface est la quantité d'eau, qui au cours d'une précipitation échappe à l'infiltration et l'évapotranspiration. Il est calculé par la formule de « TixerontBerkaloff » :

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

Avec :

R : Ruissellement en (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle en (mm).

Tab. 10. Résultats du ruissellement par la formule de «TixerontBerkaloff» pour La station de Bejaia (1986-2017).

paramètre station	P (mm)	R (mm)
Bejaia	784,06	200,1

c). Infiltration (I) :

Est la quantité d'eau franchissant la surface du sol. Elle renouvelle les réserves d'eaux souterraines et entretient le débit de l'écoulement souterrain des sorties après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous-sol (**G. Castany 1982**).

Elle est déduite de l'équation fondamentale du bilan hydrique :

$$P = ETR + R + I \Rightarrow I = P - (R + ETR)$$

Avec :

I : L'infiltration en (mm).

R : Ruissellement en (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETR : Evapotranspiration annuelle en (mm) selon la méthode de "C.W.Thornthwaite".

Tab. 11. Résultats de l'infiltration par l'équation du bilan hydrique pour la station de Béjaia (1986-2017)

paramètre station	P (mm)	R (mm)	ETR (mm)	I (mm)
Bejaia	784,06	200,1	520,72	63,24

En admettant que la réserve facilement utilisable est égale à 100 mm (saturation), les résultats précédemment obtenus nous ont permis d'établir le bilan hydrique, la synthèse finale de l'étude climatique .Le tableau suivant résume le bilan de C.W.Thornthwaite.

Tab. 12. Bilan de C.W.Thornthwaite de la station de Bejaia (1986-2017).

Mois	T(c°)	K	I	ETP (mm)	P (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF	EXC
Sep	23,87	1,03	10,67	110,16	61,95	0	61,95	48,21	0
Oct	21,08	0,97	8,84	81,71	68,02	0	68,02	13,69	0
Nov	16,42	0,86	6,05	44,84	103,25	58,41	44,84	0	0
Dec	13,28	0,81	4,39	28,1	128,59	100	28,1	0	58,9
Jan	12,15	0,87	3,84	25,44	113,1	100	25,44	0	87,66
Fév	12,29	0,85	3,9	25,39	93,36	100	25,39	0	67,97
Mar	14,01	1,03	4,76	39,59	71,63	100	39,59	0	32,04
Avr	15,81	1,1	5,71	53,3	70,07	100	53,3	0	16,7
Mai	18,66	1,21	7,35	80,65	41,36	60,71	80,65	0	0
Juin	22,21	1,22	9,56	113,61	17,71	0	78,42	35,19	0
Juil	25,1	1,24	11,51	146,05	5,77	0	5,77	140,28	0
Aou	26,11	1,16	12,21	147,32	9,25	0	9,25	138,07	0
Totale	220,99	12,35	88,79	896,16	784,06	-	520,72	375,44	263,27

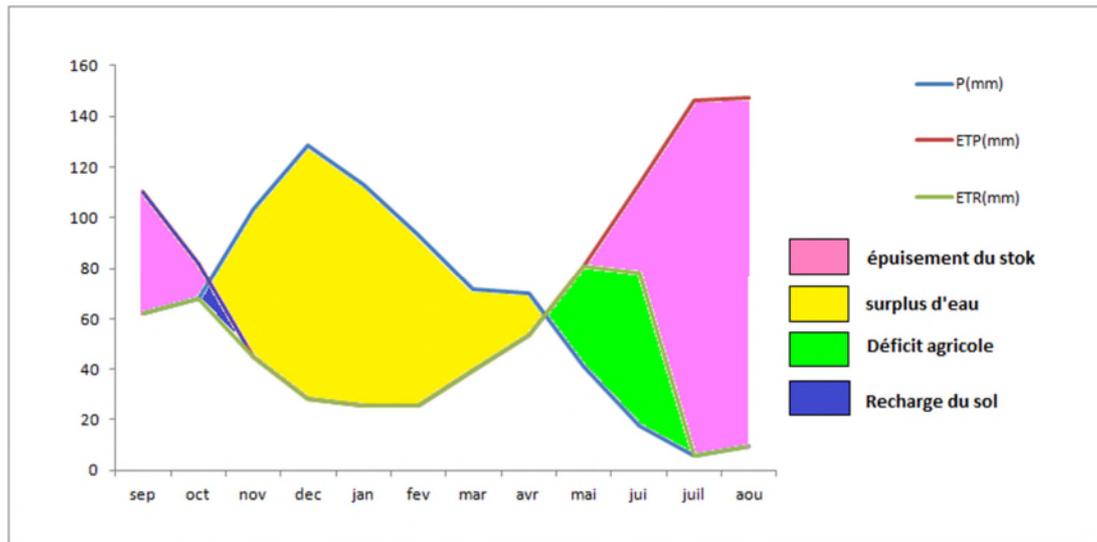


Fig.17. Représentation graphique du Bilan de Thornthwaite à la station de Bejaia (1986-2017).

III.3.1.4. Interprétation du bilan de C.W.Thornthwaite :

Le bilan d'eau établi par la formule de Thornthwaite a montré que l'ETP annuelle atteint son maximum au mois d'août (146,32 mm) et son minimum au mois de Février (25,39mm) enregistrés respectivement à la station de Bejaia.

La reconstitution de la réserve du sol s'effectue entre les mois de Décembre et Avril.

La réserve du sol atteint son maximum à partir des mois de Janvier et février.

Elle commence à s'épuiser à partir du mois de Mai pour se vider complètement au mois de Mai ou de Juin. L'écoulement commence à apparaître entre Janvier et février et se poursuit jusqu'au mois d'Avril à Mai, avec un maximum au mois de Janvier (87,86 mm).

On doit enfin noter que la région d'étude se démarque, selon l'état de la réserve maximale facilement utilisable, par un déficit agricole l'ordre de 376mm/an. Ce déficit s'étale du mois de Mai au mois d'novembre. Le maximum de l'ordre de 140,28mm est observé au mois de juillet.

III.3.1.5. Conclusion :

La région de Bejaia constitue une grande partie de l'ensemble régional de l'Algérie, subit les influences de la mer Méditerranée. Elle est caractérisée par des forts écarts thermiques; plus particulièrement entre les minimas et les maximas absolus divisant ainsi l'année en une saison froide et une saison chaude bien distinctes, La variation de la température durant l'année se fait d'une manière progressive avec une moyenne de 18,41°C.

La pluviosité dans cette région se caractérise par une forte intensité des précipitations en hiver et d'une diminution des amplitudes pluviométriques en été. Plusieurs facteurs interfèrent pour donner un paysage présentant un climat à fort contraste entre le nord et le sud de la zone d'étude dont les principaux sont l'importance du volume montagneux à proximité de la mer, le relief très compartimenté et la position par rapport aux vents humides du nord ; région d'étude est typiquement tempérée de type méditerranéen (Hiver froid et Eté chaud). La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 784,06 mm/an.

Le bilan hydrique et l'estimation de ses paramètres, nous ont permis de ressortir les résultats suivants :

- Une évapotranspiration réelle de l'ordre 520,71 mm/an.
- Une infiltration de 63,24 mm/an. Un ruissellement de 200,1 mm/an
- Le déficit des précipitations pour satisfaire l'évapotranspiration potentielle (ETP) est de l'ordre de 896,16 mm/an réparti du mois de Juin jusqu'au mois D'Octobre, ce qui donne une idée sur l'irrigation nécessaire des terres agricoles durant cette période.

III.4. Interprétation de la carte piézométrique :

La carte piézométrique a été établie pour la plaine d'amizour en tenant compte du niveau piézométrique de tous les puits (Fig.18). L'interprétation de cette dernière montre une seule zone principale au milieu de terrain, les courbes iso pièzes concentrique sous forme un cône de dépression, toutes les lignes de courant tendent vers le milieu de la plaine, ce qui explique la relation entre l'Oued Soummam et la nappe où ce dernier draine la nappe avec un gradient hydraulique faible au milieu de terrain où les courbes iso pièzes sont trop serrées (Saadali R.,2007) (Hautes eaux). La partie Nord se démarque par des courbes plus ou moins espacées indiquant des gradients hydraulique moyennes et un domaine relativement moins perméable, par contre la partie Est le sens d'écoulement vers l'aval du Soummam où le niveau piézométrique moins altitude.

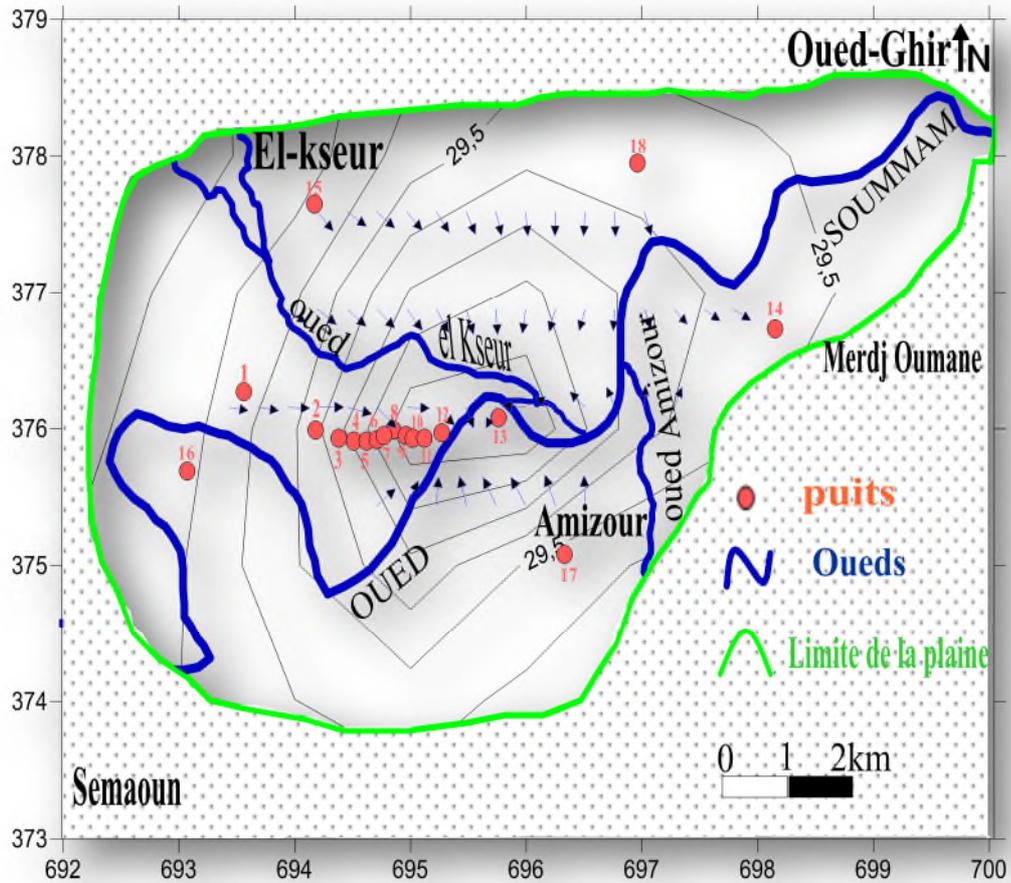


Fig. 18. Carte piézométrique de la nappe d'Amizour période des hautes eaux (Avril 2019).

III.5. Matériels et Méthodes utilisées :

Pour l'étude de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraine dans la plaine d'Amizour et afin d'apprécier l'impact des effluents urbains et agricoles et industriels sur les eaux, une campagne de Prélèvement a été réalisé au cours de cette étude, durant la période du mois d'Avril 2019 (période des hautes eaux). Les treize (13) points d'eau (11 points pour les eaux souterraines et 02 points pour les eaux de surface) sont répartis selon la disponibilité des puits (Fig.19) dans la zone d'étude, et tout ça pour le but d'établir des cartes périodique de contrôle ou de surveillance sur la qualité des eaux souterraines.

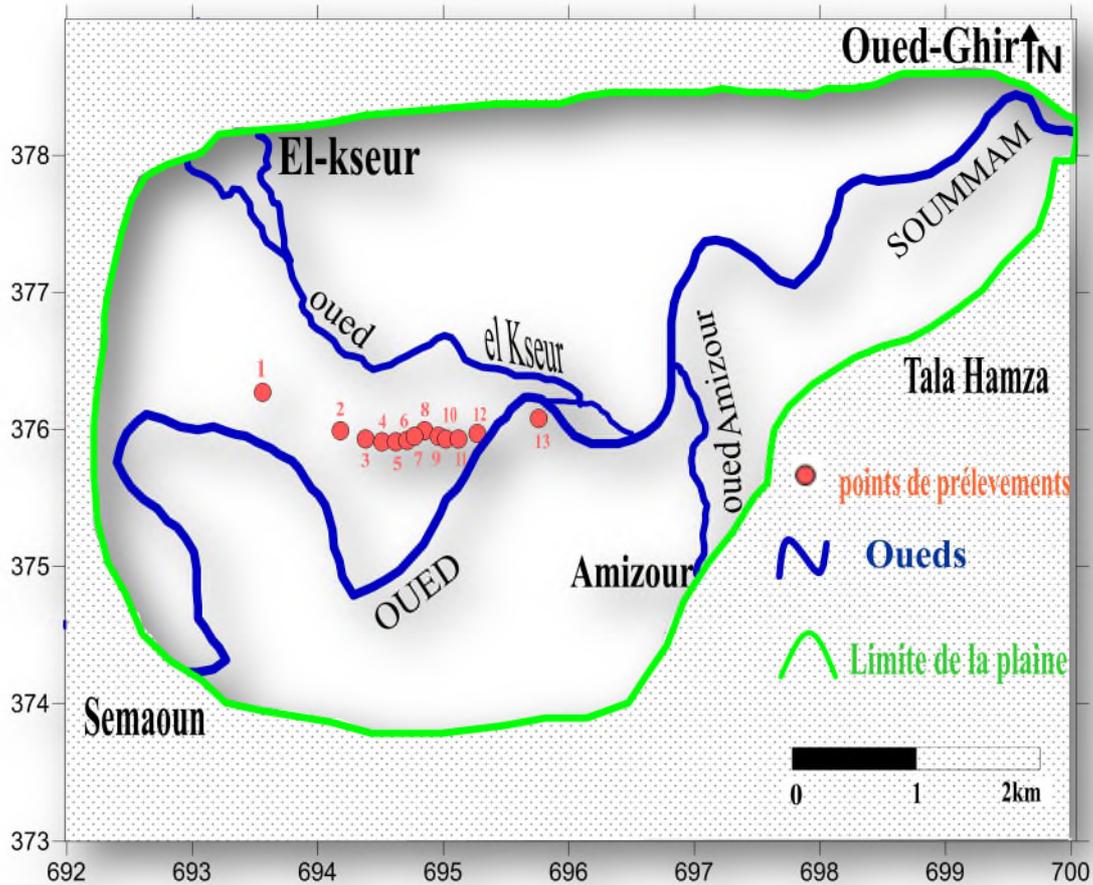


Fig. 19. Carte de localisation des points de prélèvements.

III.5.1. Lieux et dates de prélèvement :

Cette partie a été consacrée, à la présentation des matériels et méthodes utilisés pour les analyses des paramètres physiques (pH, T, Conductivité, Oxygène dissous, salinité et TDS) et quelques métaux lourds (Zn, Pb, Cd), le choix des sites d'échantillonnage a été fait selon l'origine et la répartition des points d'eau dans la région d'étude (Fig.20) et (Fig.21). La campagne de prélèvements d'échantillons a été effectuée durant la période des hautes eaux 25Avril 2019.



Fig. 20. Illustrations de quelques sources des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Avril 2019).



Fig. 21. Sources des eaux de surface dans la plaine d'Oued Soummam et Oued Amizour (Avril 2019).

III.5.2. Matériels utilisés :**III.5.2.1. Paramètres physiques :**

Le matériel suivant a été nécessaire pour la réalisation du travail :

- Un multi-paramètre de terrain.
- Un GPS.
- des flacons.
- Un récipient de l'échantillon.
- Un appareil photo.
- Sonde de niveau d'eau graduée.



Fig. 22. Matériels utilisés pour la mesure des paramètres physiques.

III.5.2.1.1. Présentation du matériel :

A)- Multi-paramètre :

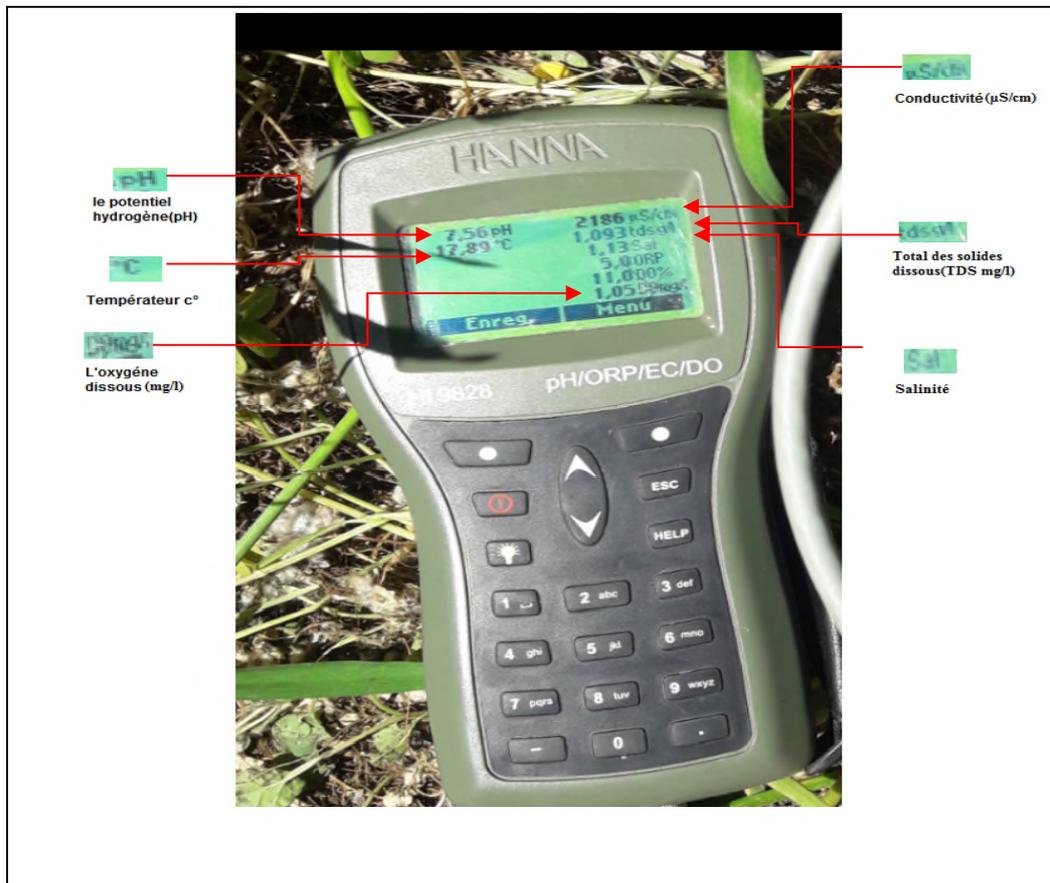


Fig.23. illustration du multi paramètre en marche.

B)- GPS :

Le système GPS (Global Positioning System) GPS Gamin **GPSMAP 76CSx** est un system basé sur une constellation de 24 satellites d'observation de la terre émettant en permanence des signaux datés vers le globe et sur un réseau de stations de surveillance de ces satellites au sol. Le GPS a pour rôle de fournir via un récepteur approprié des données spatio-temporelles (latitude, longitude, élévation,..) de navigation quel que soit la position géographique sur le globe terrestre (Tatso, 2011).



Transformation de coordonnées en ligne

<p>Long = <input type="text"/> ° <input type="text"/> ' <input type="text"/> "</p> <p>Lat = <input type="text"/> ° <input type="text"/> ' <input type="text"/> "</p> <p>h = <input type="text" value="0.000"/> m</p> <p><input type="text" value="Algerie"/></p> <p><input type="text" value="WGS 84"/></p>	<input type="button" value="→"/>	<p>x (E) = <input type="text"/> m</p> <p>y (N) = <input type="text"/> m</p> <p>h = <input type="text" value="0.000"/> m</p> <p><input type="text" value="Algerie"/></p> <p><input type="text" value="Projection Lambert - Sud Alg"/></p>
---	----------------------------------	--

Fig.24. illustration du GPS avec le convertisseur des coordonnées de Lambert (Nord Algérie).

III .5.2.1.2. Méthodes d'échantillonnage :

Les prélèvements des échantillons ont été effectués dans la période des hautes eaux (avril 2019). On a fait les mesures dans chaque puits et les deux oueds par la méthode ci-dessous (Fig. 25.).



Fig.25. Les méthodes d'échantillonnage de la plaine d'Amizour (Avril 2019).

III.6.2.2. Les métaux lourds :

III.6.2.2.1. Matériels utilisés :

- Tubes à essais +seringues de 5ml.
- Seringues Filtres de 0,22 μm .
- Refroidisseur.
- Centrifugeuse.
- La spectromètre



Fig. 26. Matériel utilise pour les analyses des Métaux lourds.

III.6.2.2.2. Méthodes d'échantillonnage et de stockage:

Le prélèvement d'un échantillon est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée, c'est pour cette raison que nous avons respecté les recommandations dictées par **Rodier., 2000** et nous avons procédé comme suit :

- Les échantillons pour le laboratoire doivent être prélevés de préférence dans des flacons en verre ou des flacons en polyéthylène pour les analyses physico-chimiques.
- Les bouteilles utilisées pour l'échantillonnage doivent être rincées au moins trois fois avec de l'eau à prélever pour les analyses physico-chimiques.
- Les bouteilles doivent être remplies à ras pour les analyses physico-chimiques et bouchées avec précaution.
- Les bouteilles sont désignées par une étiquette ou est indiquée l'origine de l'échantillon.

Les échantillons sont mis au réfrigérateur après leurs conservations.

III.6.2.2.3. Dosage des métaux lourds par spectrométrie d'absorption atomique (SAA) :

Les trois métaux ont été analysés (le Zinc, le plomb et le Cadmium) avec SAA(Fig.27) au niveau du laboratoire du Génie des procédés (Université de Bejaia).



Fig.27. SAA enflamme du laboratoire de Génie des procédés.

III.6.2.2.3.1. Principe du SAA :

L'absorption de lumière par les atomes fournit un puissant instrument analytique à la fois pour l'analyse quantitative et qualitative. La spectroscopie d'absorption atomique (SAA) est basée sur le principe que les atomes libres peuvent absorber la lumière d'une certaine longueur d'ondes (Futura Science. ;Mai2019).

III.6.2.3. Vulnérabilité de GOD :**III.6.2.3.1. Matériels utilisés :**

- La Carte topographiques : Oued Amizour N° 1-2 (1 /25000).
- La Carte géologique de la vallée du Soummam (M. Hassissene, 2000).
- Logiciel Surfer.11.

III.6 .2.3.2.Présentation du logiciel Surfer .11:

Le logiciel Surfer.11 conçu par Golden Software, nous permet de réaliser des modèles Numériques de terrain (MNT) issus des données qu'on a récoltés sur le terrain via de GPS ou bien on se basant sur les cartes déjà préétablie (carte topographique, Géologique....etc). Le principe de Surfer est de crée des grilles qui vont interpoler les données irrégulières de nos points x, y, z afin de les ordonnées.

C'est à partir de ces grilles qu'on pourra créer plusieurs types de cartes: base maps, contour maps, 3D surface, l'interface du Surfer ci-dessous (Fig.28).

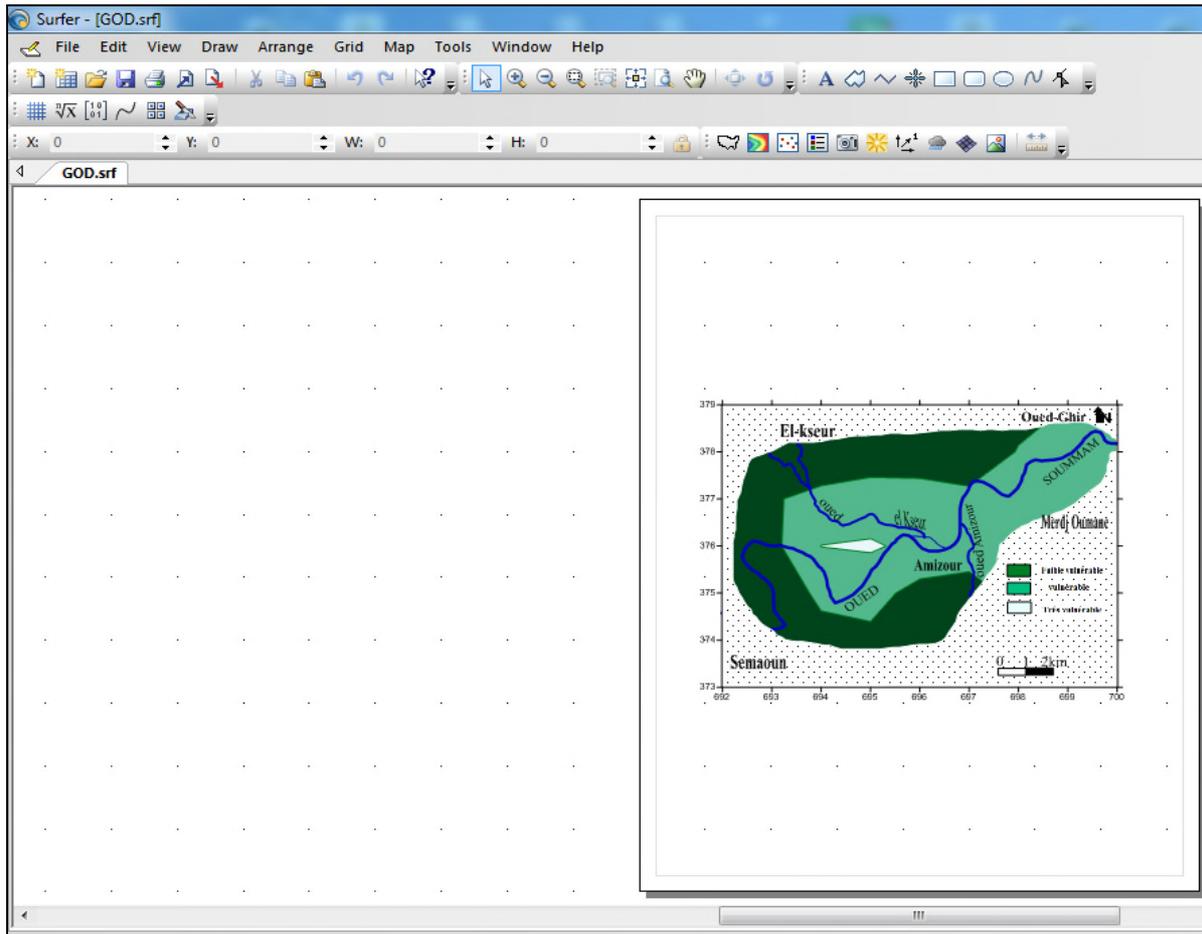


Fig.28. Interface du logiciel Surfer.

III.6.2.3.3. Présentation de la méthode GOD :

La méthode GOD est un système qui a été développé par **Foster .,1987** en Angleterre, elle est illustrée par la (Fig. 29). Elle représente 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 (**Murat et al, 2003**).

Cette méthode est basée sur la combinaison de trois paramètres :

G : Groundwater occurrence : type de nappe.

O : Overall aquifer : nature lithologique de l'aquifère.

D : Depth to groundwater : profondeur de la nappe :

NB : Les couleurs dans la (Fig.29) représentent le cas de la vulnérabilité de la plaine d'Amizour

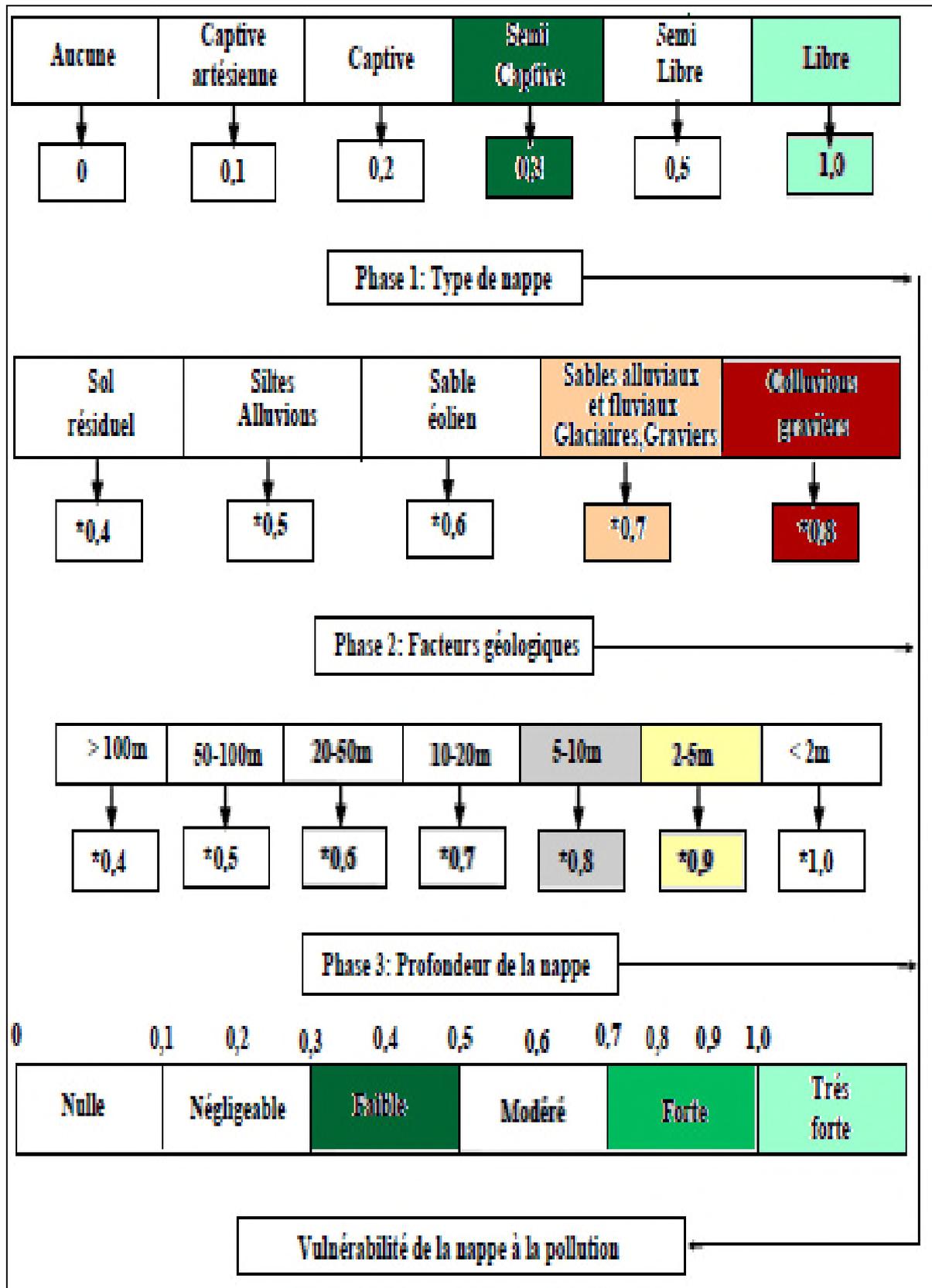


Fig. 29. Estimation de la vulnérabilité d'un aquifère par la méthode de GOD (d'après Foster, 1987) : Cas de la nappe aquifère de Amizour.

L'indice de God : $IGOD = I_G \times I_o \times I_b$ (Foster et Hirata., 1991).

Le (Tab.13) montre les classes de vulnérabilité

Tab.13. Intervalles des valeurs de l'indice GOD et classes correspondantes.

Intervalle	Classe GOD
0-0.1	Vulnérabilité Nulle
0.1-0.3	Vulnérabilité Négligeable
0.3-0.5	Vulnérabilité Faible
0.5-0.7	Vulnérabilité Modéré
0.7-1	Vulnérabilité Forte
1	Vulnérabilité Très forte

IV. Résultats et Discussions :

IV.1. Résultats :

IV.1.1. Les eaux de surface: Tab.14 montre les résultats des paramètres physiques et les ETM dans les eaux de surface.

Tab .14. Résultats des analyses physiques et des ETM au niveau des eaux de surface.

	Paramètre physique						ETM		
	T	PH	DO	CE	S	TDS	Zn	Pb	Cd
Unités	C °	-	mg/l	µS/cm	Psu	g/l	mg/l	µg/l	µg/l
Normes (JORA., 2011)	25	6,5 - 9	5	2800	5	1.2	5	50	5
P12(S)	19,43	9,07	6,11	4327	2,32	2,168	0.934	2	2
P13(A)	25	8,36	6,8	1962	0,99	0,977	0.087	3	6

IV. 1.2. Les eaux souterraines : Tab.15 montre les résultats des paramètres physiques et les ETM dans les eaux de souterraines.

Tab .15. Résultats des analyses physiques et des ETM au niveau des eaux souterraines.

	Paramètre physique						ETM		
	T	PH	DO	CE	S	TDS	Zn	Pb	Cd
Unités	C °	-	mg/l	µS/cm	Psu	g/l	mg/l	µg/l	µg/l
Normes (JORA., 2011)	25	6,5 - 9	< 7	2800	5	1.2	5	10	5
P1	17,7	8,24	0,85	2234	1,14	1,107	0.127	2	3
P2	20,33	8,44	3,15	6167	3,39	3,09	0.01	8	9
P3	22,26	8,54	3,05	4559	2,44	2,282	0.242	1.1	5
P4	10,7	8,48	4,48	6645	3,65	3,321	0.031	3	4
P5	17,11	8,53	4,86	6022	3,29	3,011	0.007	6	6
P6	15,64	9,47	5	1418	0,72	0,709	0.654	2	4
P7	18,5	7,9	4,38	5252	2,88	2,621	0.249	2	7
P8	17,62	7,92	3,68	4591	2,46	2,292	0.1	4	5
P9	18,54	8,41	5,11	5173	2,8	2,577	0.018	5	4
P10	16,75	9,33	3,93	1478	0,73	0,737	1	6.4	5
P11	17,83	7,93	3,32	2001	1,02	1	0.058	3	2

IV.2.Discussions :

IV.2.1.Les paramètres physiques :

Les ressources en eau sont le plus souvent touchées par la pollution industrielle. Pollution causée par les industries et les effluents laitiers sont une source de préoccupation majeure dans le monde entier en raison de la présence totale de solides dissous dans l'eau. (Anand.,2012).

La qualité des eaux souterraines dans la plaine d'Amizour n'a jamais fait l'objet d'études auparavant, donc nos interprétations s'appuient essentiellement sur l'occupation du sol actuelle (les sources de pollution) et les analyses effectuées au cours de la sortie sur terrain.

L'objectif ultime des travaux d'échantillonnage de l'eau souterraine, qui sont généralement suivis par des analyses en laboratoire sur les échantillons prélevés, est de savoir comment interpréter les résultats et d'être en mesure d'évaluer leur fiabilité, afin de pouvoir prendre des décisions en connaissance de cause. La mauvaise interprétation des résultats peut avoir des impacts et des conséquences sur la santé publique, la condition des sols et sur les mesures ou traitement appropriés.

IV.2.1.1.La Température (T) :

La température de l'eau est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques (Leynaud.,1968) , la température idéale de l'eau est comprise entre 6° et 12°C (Degbey., 2011) ,On remarque dans notre cas (Fig.30)que la température varie entre +17°C et +20°C , alors que la nature d'une eau de nappe se situe à minima entre +10°C et +12°C et augmente de 3°C tous les 100 mètres de profondeur, c'est-à-dire une eau à 1000 mètres de profondeur à une température de 42°C. (Gendrin et al., 1957), les températures de l'eau analysée sont relativement élevées (entre 18C° et 19C°) à cause de leurs faible profondeur surtout au milieu de la plaine, donc elles sont proches de la surface du sol, cette dernière est exposé au rayons solaire, mais également car le sol de la plaine est calcaire ou dolomie (milieu alcalin), donc il a une forte teneur en chaud.

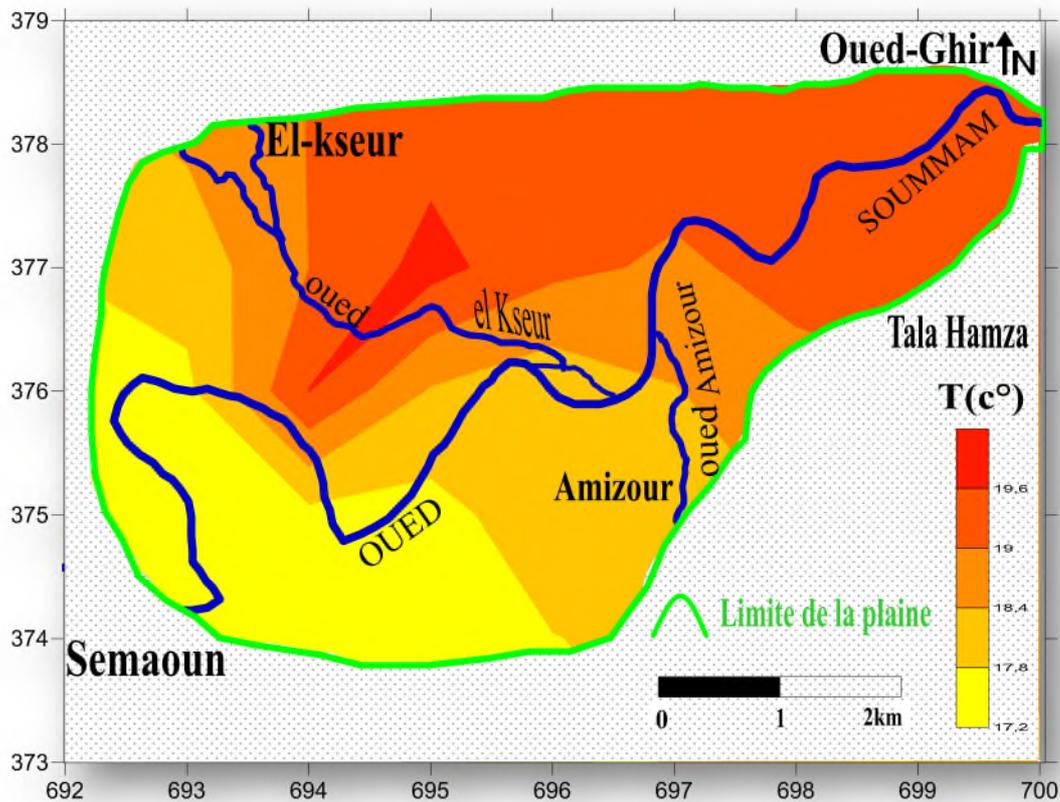


Fig30.la répartition spatiale de la température des eaux souterraines dans la plaine d’Amizour (Avril 2019).

IV.2.1.2. Le potentiel hydrogène (pH) :

Le pH (potentiel Hydrogène) exprime le degré d'acidité ou d'alcalinité de l'eau, ce dernier agit indirectement sur le développement des végétaux. (Soltner., 1992) le pH de l'eau conditionne les équilibre physico-chimiques, en particulier l'équilibrer calco-carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates(attaque ou dépôt). Le pH est alcalin dans les calcaires et dolomites. Le pH est corrigé selon le cas par élimination du CO₂ dissous en excès ou par correction de la dureté carbonatée (Neary.,2007).D'après (Fig.31), nos résultats varient entre 9et 9,6 dans la partie sud de la plaine et entre 8 et 9 dans la partie Nord ainsi que le milieu de terrain, donc le sol est calcaire ou dolomite qui se forment par le phénomène de lessivage et transport par l'oued Soummam (Fig.8.Voir la carte géologique), et aussi probablement que le faciès chimique des eaux souterraines est bicarbonaté calcique.

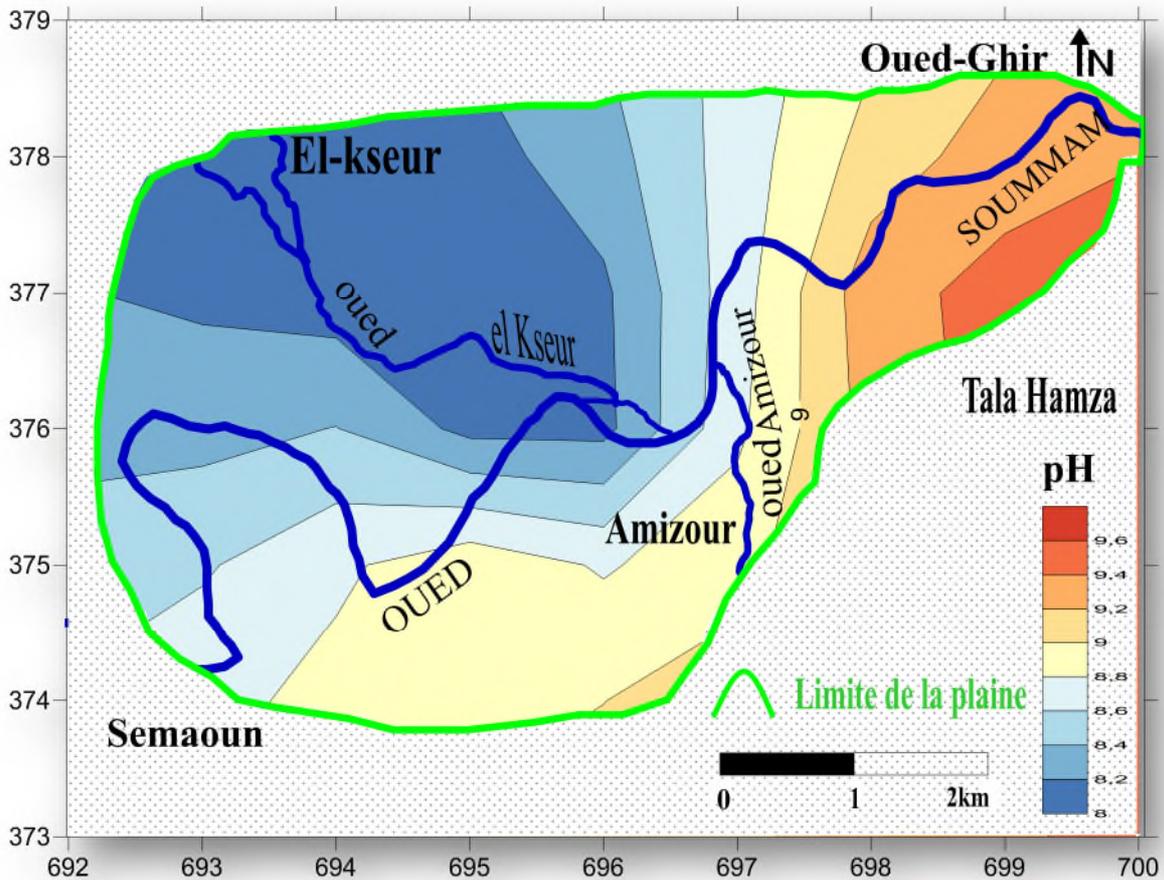


Fig .31.Carte de pH des eaux souterraines de la plaine d’Amizour (Avril 2019).

IV.2.1.3. La conductivité électrique:

Les conductivités les plus élevées avoisinent $5000 \mu\text{S}/\text{cm}$ et plus de $6000 \mu\text{S}/\text{cm}$ surtout au milieu de la plaine(Fig.32), ce qui traduit un taux considérable des minéraux et d’ions (sels dissous),(parce que le TDS augment avec la conductivité) ; due aux rejets industriels et domestiques qui sont transportés par l’oued Soummam (Mouni.,2004), et aussi l’utilisation intensives des pesticides et fongicides aux pratique agricole et des conditions de leur emploi et en particulier de l’efficacité du système de drainage (Zaidi.,2017).

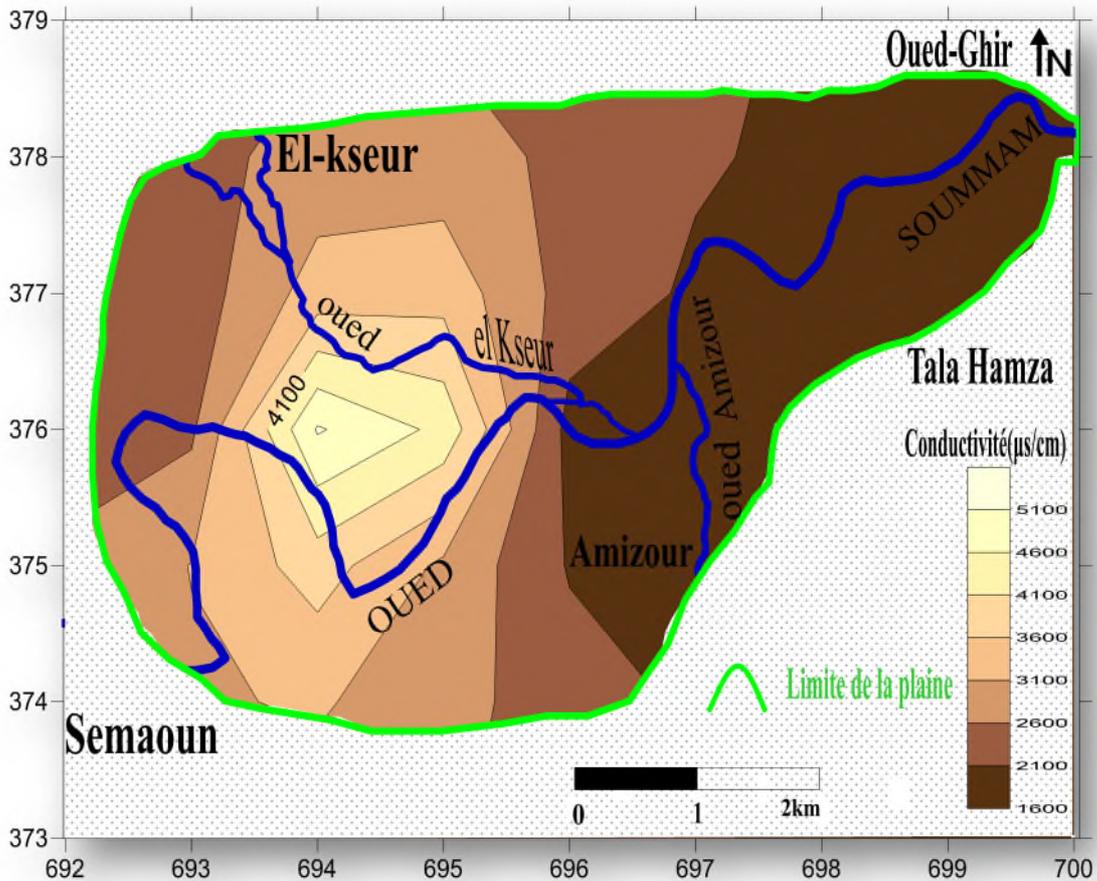


Fig.32. carte de la conductivité des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Avril 2019).

IV.2.1.4. Le TDS (total des solides dissous):

La teneur en matière dissoute, exprime aussi le risque de salinité (ou le taux de sels minéraux dans l'eau) (Terchi.,2014), Une grande attention doit être prise pour les zones côtières où l'infiltration d'eau de mer pose un risque important de salinité de l'eau d'irrigation qui est alors pompée depuis des puits, ce qui nous mène à croire qu'on va trouver un taux élevé de sels (Azegagh .,2015), mais c'est pas ce que les résultats obtenus indiquent.

Nos résultats sont entre 2.2 et 2.6 g/l (Fig.33) au milieu de terrain, ces valeurs restent sévères selon les normes nationale pour une eau polluée, cette élévation du TDS est due à l'utilisation des pesticides et les rejets industriels et domestiques par l'Oued Soummam qui se dispersent dans la plaine et entre 0.8 et 2 g/l dans les autres parties de la plaine, ces valeurs restent modérées.

Les pratiques agricoles, et notamment la mise en place de systèmes d'irrigation, ne sont pas sans effet sur la qualité des eaux souterraines. Les sels minéraux contenus dans les eaux

d'irrigation ont en outre un impact sur le sol et les plantes, car ils peuvent causer des changements dans la structure du sol (modifiant ainsi sa perméabilité et son aération) et perturber le développement des plantes (J. PERSON.,1978).

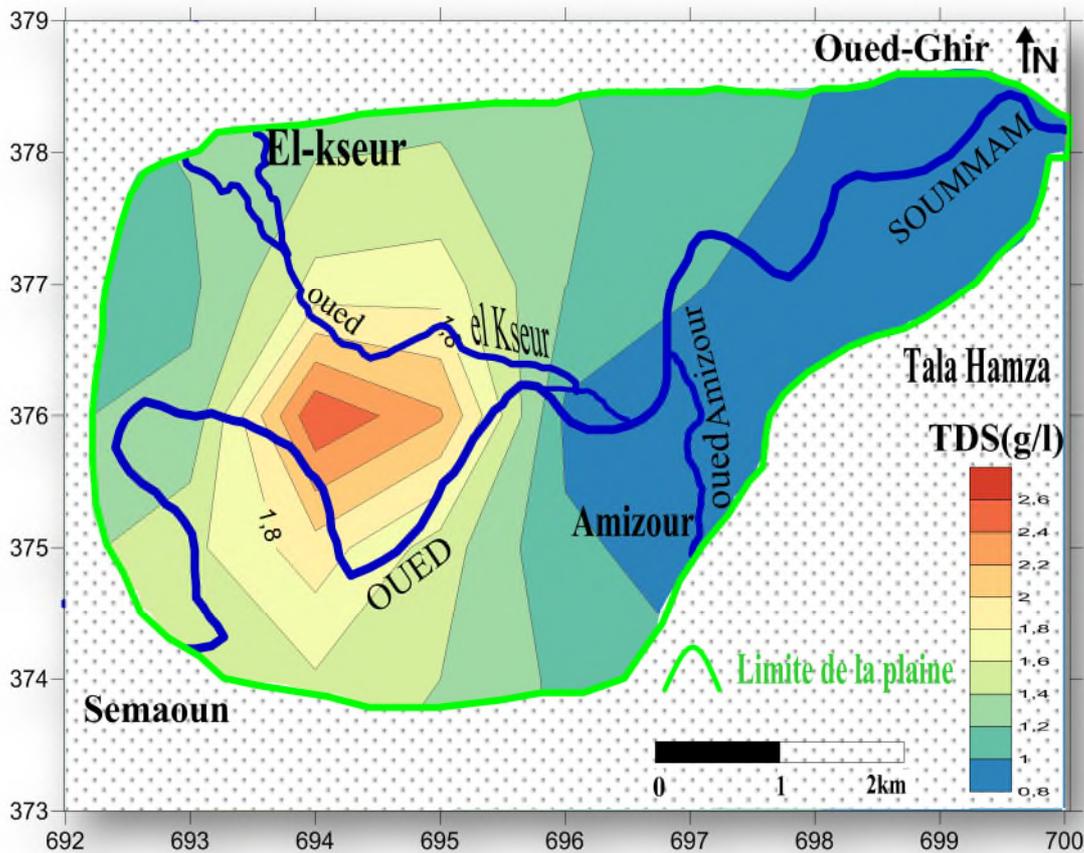


Fig.33.Carte de TDS des eaux souterraines de la plaine d’Amizour (Avril 2019).

IV.2.1.5. La Salinité :

Nous avons généralement une eau avec un taux modéré de salinité entre (0.8 et 2.8 Ups) comparant aux normes nationales (JORA.,2011) à cause de la dilution par les eaux de surface sachant que les mesures ont été faites dans la période hautes eaux, et aussi l'intensité du processus de salinisation dépend des caractéristiques du sol (présence des couches argileuse) (Gouaidia.,2012), ce qui explique aussi les taux de salinité représentés sur la carte (Fig .34).

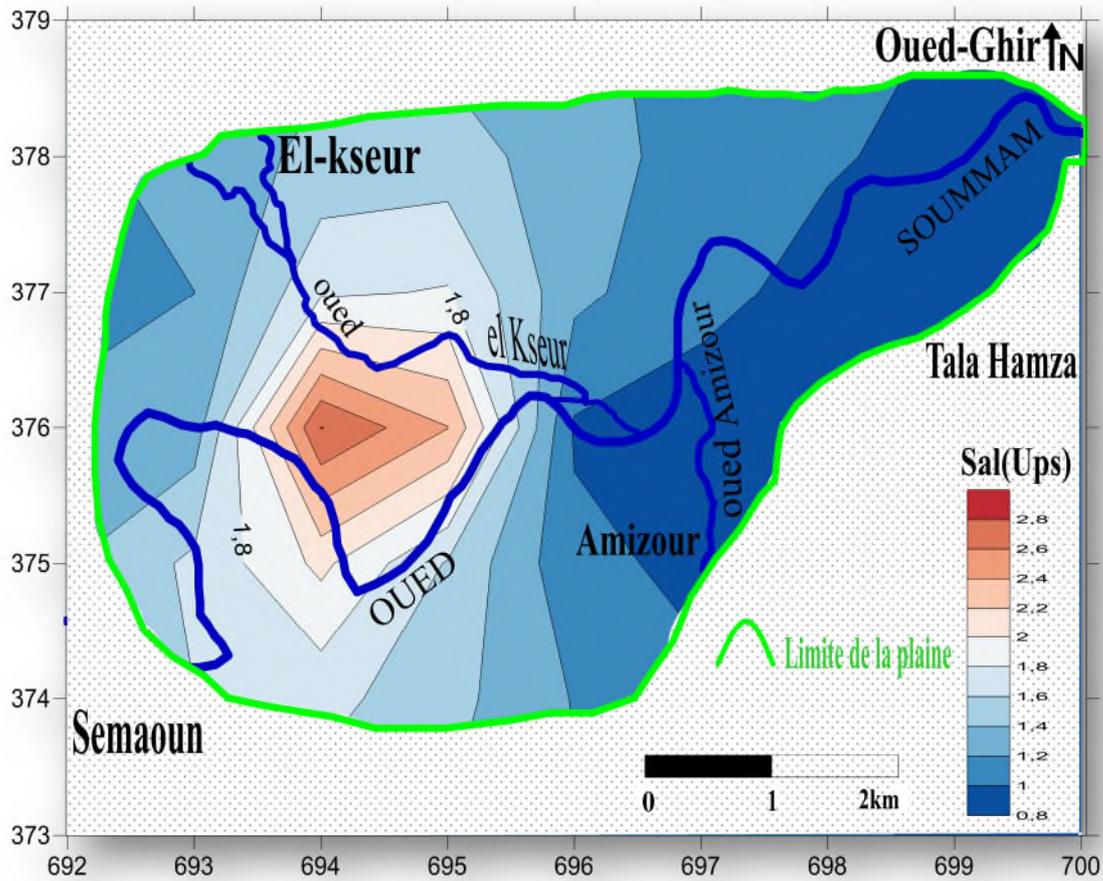


Fig.34.la répartition spatiale de la salinité des eaux souterraines de la plaine d’Amizour (Avril 2019).

IV.2.1.6. L’oxygène dissous :

Étant l’un des plus importants indicateurs sur le degré de la pollution des eaux, l’oxygène dissous mesure la concentration du dioxygène dissous dans l’eau et il est exprimé en mg/l ou en pourcentage de saturation. Il participe à la majorité des processus chimiques et biologiques en milieu aquatique et la teneur moyenne dans les eaux de surface non polluée est de 8 mg/l et ne dépasse guère 10 mg/l (Derwich et al ., 2010).

Quand a nous ; Nous avons eu des valeurs estimés entre 3,8 et 4,8 au milieu de terrain et la partie sud de la plaine (Fig.35) et ce qui renvoie donc à un milieu sous oxygéné. On a remarqué que la majorité des puits ont été pourvus d’algue vertes et on constate que c’est la cause de manque d’oxygène dissous.

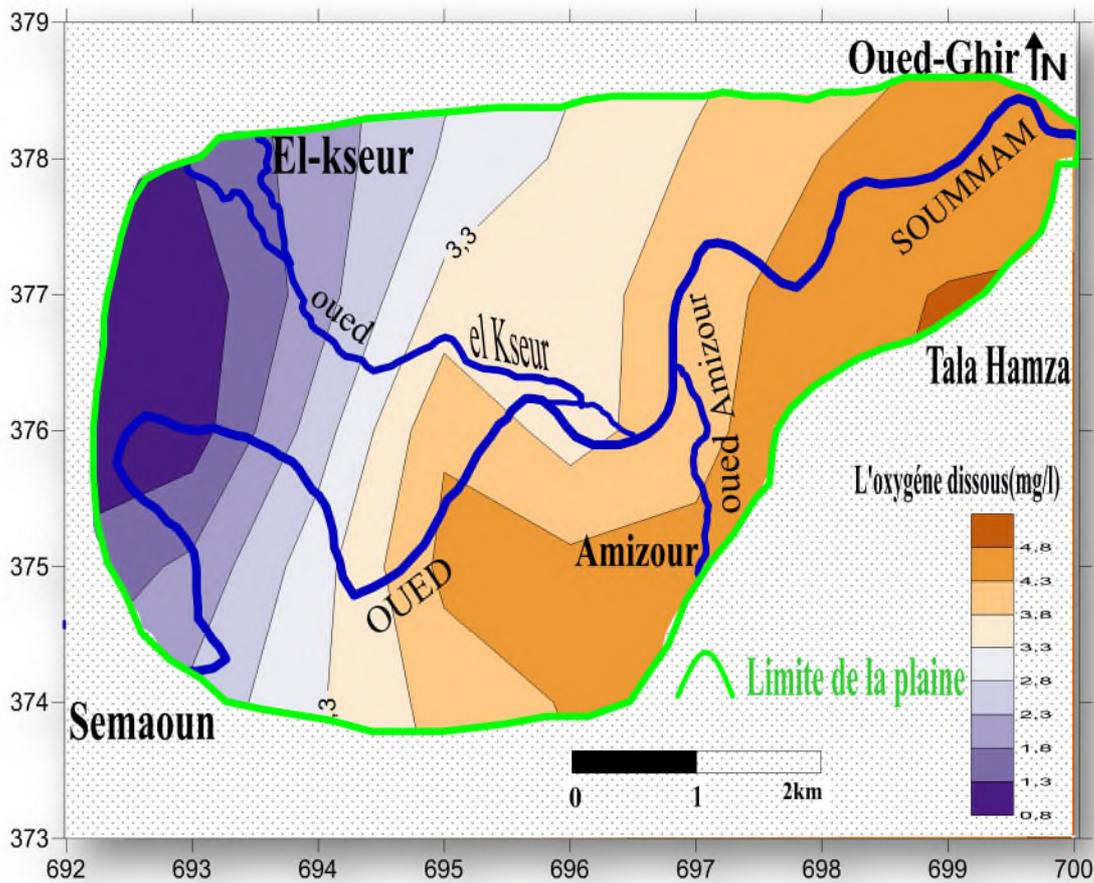


Fig.35. carte d'oxygène dissous des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Avril 2019).

Enfin on conclure que les algues sont des bio-indicateurs de pollution, et que nous avons une nappe libre qui communique et échange de l'eau avec les oueds (Fig.18.voir la carte piézométrique) à proximité (La plupart des centres urbains situés le long de la vallée de la Soummam déversent leurs eaux usées directement dans l'oued) (**Jarvie et al., 1998**).

Les déversements de polluants modifient les composantes physicochimiques, organoleptiques et biologiques des milieux aquatiques récepteurs ainsi que la biocénose aquatique (**Bechac et al., 1984**).

On suppose que c'est la source de la teneur en matière dissoute et de la conductivité relativement élevé.

On peut aussi suspecter une invasion des eaux de mer mais les valeurs sont pas aussi importantes pour qu'on puisse accepter cette théorie, autrement dit il y'a une forte possibilité qu'il se trouve une couche protectrice, donc imperméable qui représente un obstacle d'échange et plus de ça l'éloignement de la mer par rapport de la plaine.

IV.2.2.la vulnérabilité :

La qualité de l'eau est sans cesse mise à l'épreuve par la menace grandissante associée aux sources potentielles de pollution, le but de notre travail est la réalisation d'une carte de vulnérabilité régionale.

L'estimation de la vulnérabilité permet de prévenir une partie de la contamination en aidant à la prise de décision en matière de gestion du territoire.

L'incorporation des résultats dans des systèmes d'information géographique (SIG tels que le logiciel SURFER) permet de structurer et faciliter l'accès et l'intégration de l'information.

Dans la présente étude, l'évaluation des degrés de la vulnérabilité a été faite en appliquant la méthode GOD, compte tenu de la disponibilité des données relatives aux paramètres requis.

Cette méthode est basée sur la combinaison de trois paramètres : type de nappe, facteurs lithologiques et la profondeur de la nappe. (Latifi et al., 2017).

IV.2.2.1. Indice de type de l'aquifère (G) :

D'après la carte réalisée (Fig.36) et selon les valeurs du paramètre G, il ressort qu'il existe deux types(02) d'aquifères : nappes libres qui se situent généralement au milieu de la plaine et près des cours d'eau donc un échange d'alimentation en eau est inévitable(au centre et au Nord Est de la plaine), et nappes semi captives qui logent dans les zones hautes qui ceignent la plaine, on peut aussi remarquer que les nappes libres couvrent approximativement 75% de la région étudiée.

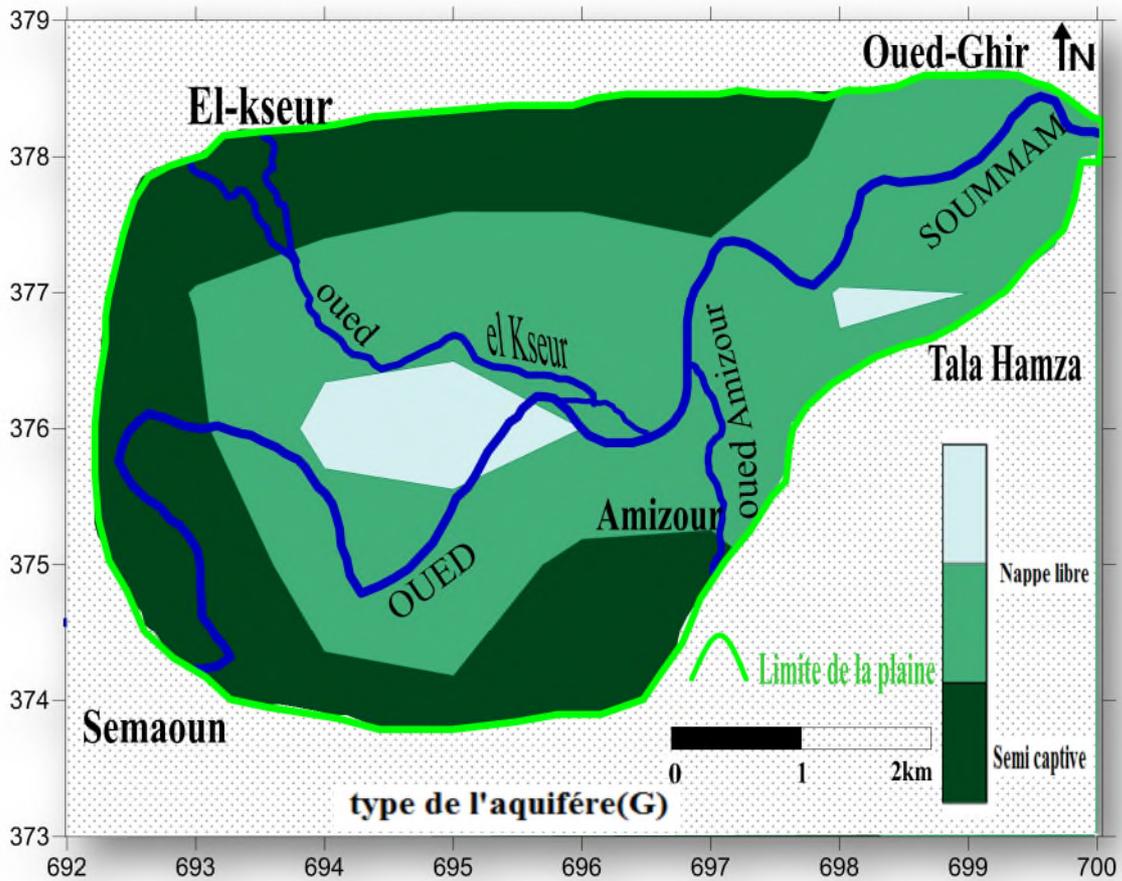


Fig.36. le type de l'aquifère de la plaine d' Amizour (G).

IV.2.2.2. Indice de lithologie de la nappe (O) :

Dans cette carte (Fig.37) qui représente les résultats obtenus concernant la lithologie de l'aquifère (paramètre O) , il ressort que environ 60% de la superficie de la plaine est principalement formée des alluvions (sable et gravier) ce qui nous mène à dire qu'elle est fortement perméable et susceptible d'être rechargée par les eaux de surface mais aussi à recevoir tous les polluants qui résidaient au sol lors de processus de lessivage , quand au reste de la terre qui se situe au nord et à des altitudes plus élevés et qui représente environ 40% de la zone est formé de grés et argile donc beaucoup moins perméable.

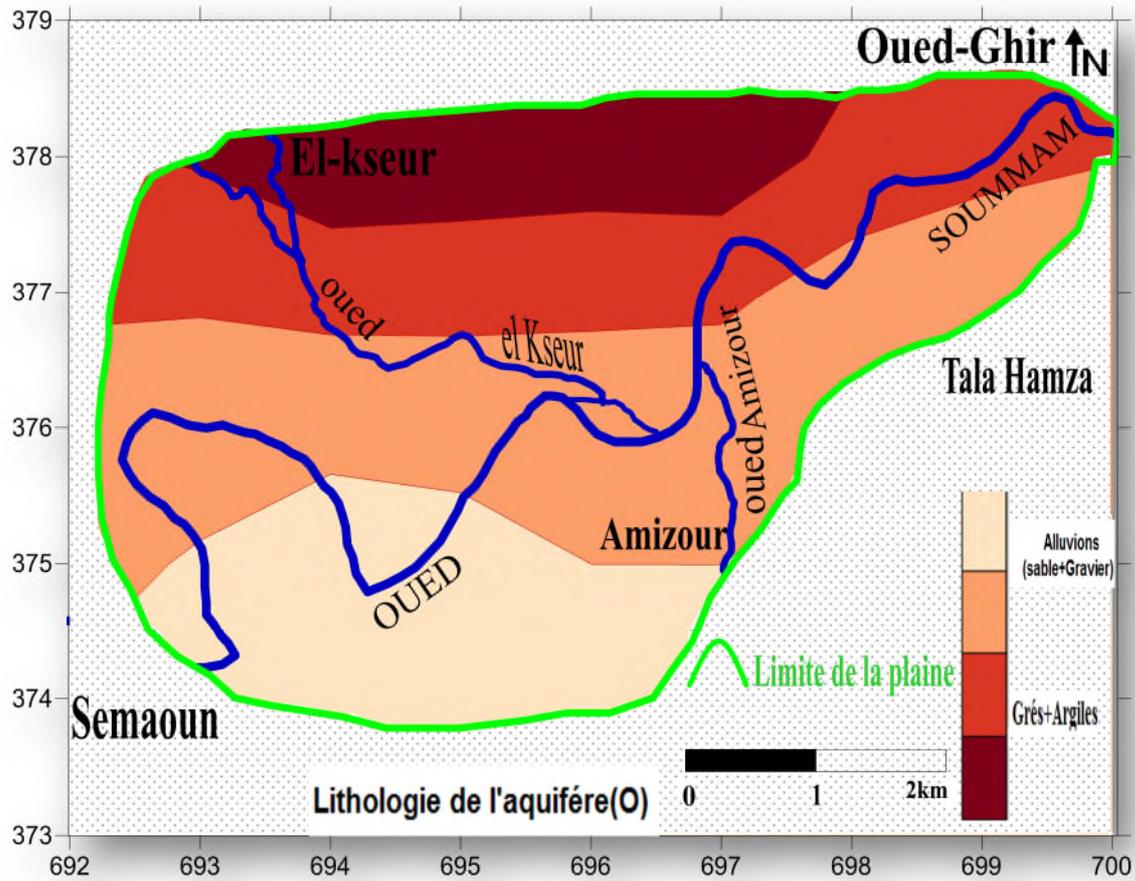


Fig.37. carte de la lithologie de l'aquifère de la plaine d' Amizour(O).

IV.2.2.3. Indice de la profondeur de la nappe(D) :

Depuis les mesures prises sur site qui sont représentées sur la carte (Fig.38) on voit que la profondeur de la nappe à la zone centrale et à l'Est (les basse terres) est faible (2m à 5m) qui exprime d'autre part une forte bio-exposition , tant qu'au reste de la zone on trouve une profondeur un peu plus importante (de 5m à 10m) qui constitue environ 60% de la zone étudiée ou on a principalement mais pas uniquement des altitudes relativement importantes.

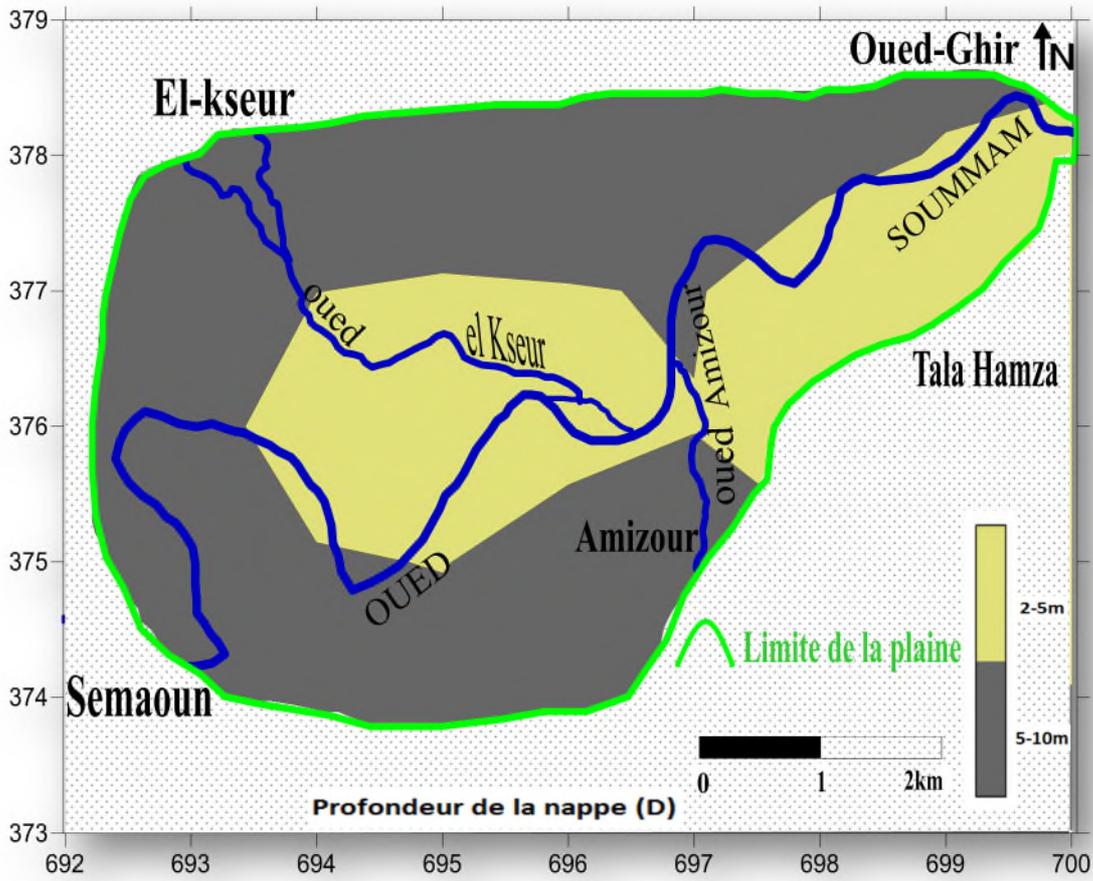


Fig.38. carte de profondeur de la nappe d'Amizour(D) (Avril 2019).

IV.2.2.4.L'indice de GOD :

La carte de vulnérabilité de l'indice GOD a été créée par la superposition des 3 cartes

(G, O, D).

Les indices calculés aboutissent à la carte de vulnérabilité (Fig.40), l'observation de cette dernière montre trois classes de vulnérabilité d'inégales extensions.

Selon la carte de vulnérabilité et la carte d'occupation du sol (Fig.39) et le pourcentage de degré de la vulnérabilité (Fig.41) la vulnérabilité a été classée en trois classes:

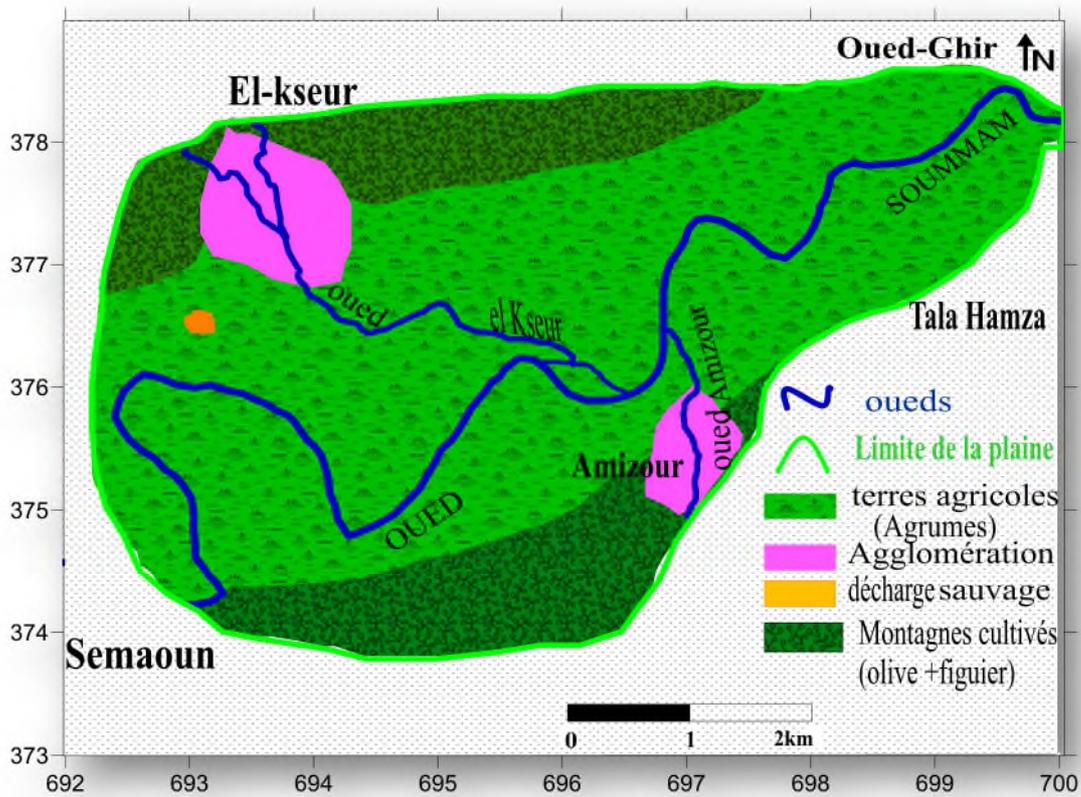


Fig.39.la Carte d’occupation du sol de la plaine d’ Amizour.

Zone très vulnérable (10%) en plein centre de la région ce qui explique par l’utilisation intensive des engrais dans l’irrigation des agrumes.

Zones vulnérables (55%), partie centrale entourant la zone précédente et Nord Est, due les rejets industrielles et urbains qui sont transportés par les Soummam et ces affluents (Amizour et El Kseur). Zones de faible vulnérabilité (35%), au Ouest nord, Ouest sud et Sud qui ceignent le plaine, généralement cette partie elle est protégée par son altitude (Saadali R.,2019)

La majeure partie des aquifères étudiés se situe dans la catégorie (vulnérable).

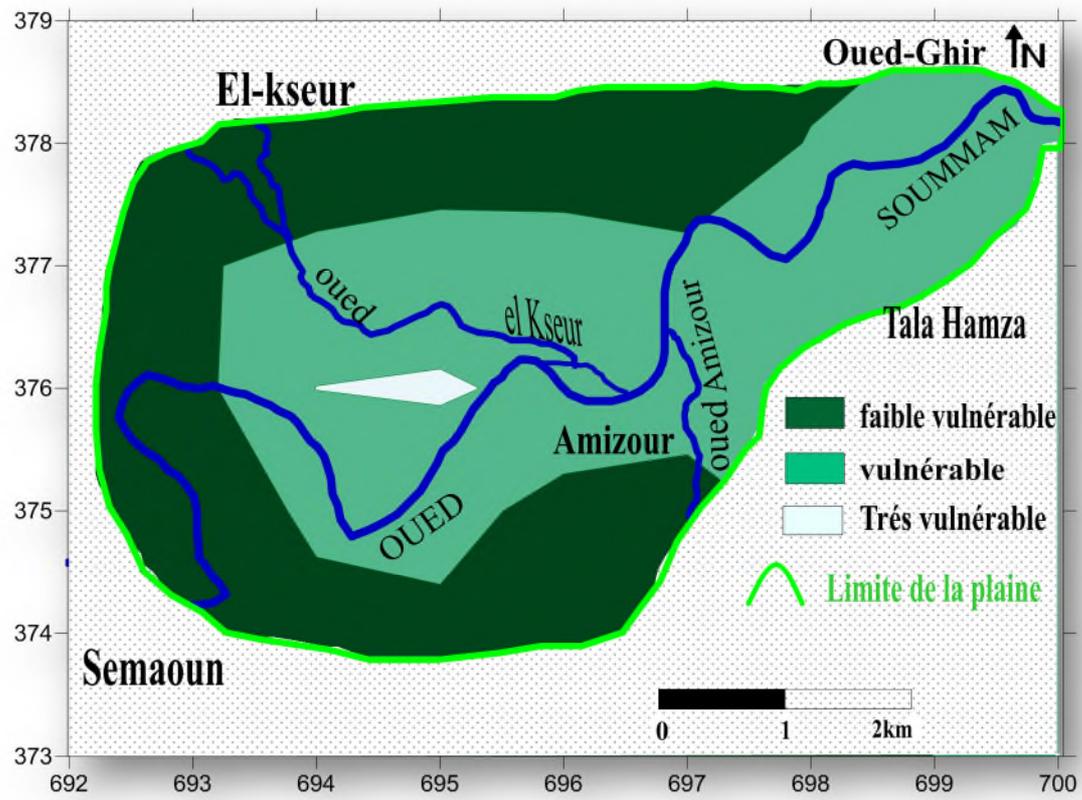


Fig.40.carte de vulnérabilité par GOD de la plaine d’Amizour.

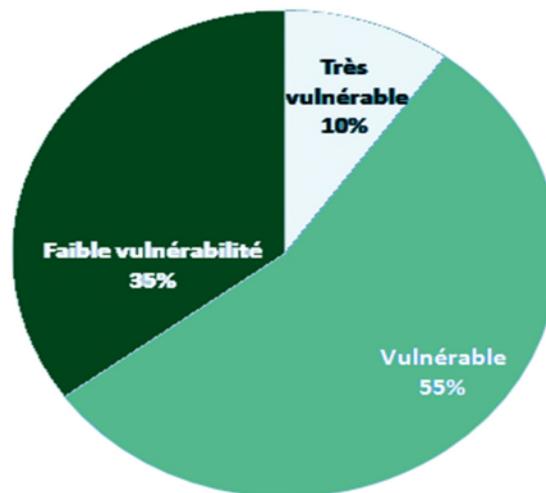


Fig. 41 .Pourcentage de degré de la vulnérabilité de la plaine d’amizour.

IV.2.2.5. Conclusion :

L'application de la méthode GOD a permis d'estimer les indices de la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale d'Amizour, cette vulnérabilité s'accroît du centre de la plaine vers les bordures Nord.

La répartition des sources de pollution a induit cette croissance. L'analyse de la carte de vulnérabilité résultante a révélé que la vulnérabilité se focalise sur les classes « Faible », « Moyenne » et « Forte »

Les eaux souterraines de la plaine sont dans l'ensemble vulnérable à la pollution du fait des conditions physiques de l'aquifère.

Les zones favorables à la recharge induite présentent des formations sableuses avec de fortes perméabilités.

IV.2.3. la pollution des eaux souterraines par les métaux lourds ETM:

Les ETM désignent les métaux et métalloïdes réputés toxiques (Gouzy et Ducos., 2008) ou les 'métaux lourds' (Miquel.,2001). Selon leur concentration dans le milieu et leur forme chimique (spéciation), ils sont tous potentiellement contaminants des sols. Certains métaux toxiques n'étant pas particulièrement «lourds» comme le zinc, la classification est souvent discutée (Chaney et Ryan., 1994) (Charland et al., 2001).

Dans notre travail, l'appellation "ETM" va désigner les éléments Cd, Pb et Zn d'après la définition de Baize .,1996.

En s'appuyant sur les cartes tirées des échantillons pris sur le terrain en 13 points différents, et en comparant avec les normes algériennes mises dans le Journal Officiel de 2011, nous pouvons constater que la présence des métaux existant dans les eaux souterraines et les eaux de surface est comme suit :

IV.2.3.1. Le Cadmium (Cd) :

Le Cd est un métal blanc argent, légèrement bleuté (Van Cappellen et al.,1993).

Il n'est essentiel ni aux végétaux, ni aux animaux (Tricot.,1999). Toutefois, le Cd à l'état élémentaire (atome) n'est pas toxique pour les organismes vivants, mais le devient après

transformation (chimique ou biochimique) à l'état d'entité ionisée de cation divalent Cd^{2+} (Mamerre et Narbonne., 2001).

La présence de ce métal fluctue d'une manière horizontale et convergente, l'on remarque que la concentration de cette matière est ostensiblement sentie au cœur de la région objet de notre étude (Fig.42) dépassant la norme algérienne spécifiée dans le Journal Officiel 2011 qui est de l'ordre de $5 \mu\text{g/l}$, alors que dans les eaux de cette dernière les taux évoluent de 3.8 à $5.6 \mu\text{g/l}$ (régions indiquées sur la carte en jaune, bleu clair et bleu foncé), tandis qu'à l'Est et à l'Ouest, les proportions sont beaucoup plus faibles par rapport à la norme (zones indiquées respectivement en vert pistache et vert foncé sur la carte) et flottent dans un intervalle allant de 2 à $3.8 \mu\text{g/l}$ (Fig.42) et pour les eaux de surfaces, la valeur de Cadmium dans l'oued Soummam est de l'ordre de $2 \mu\text{g/l}$ dans les normes nationales, par contre dans l'oued Amizour est de l'ordre de $6 \mu\text{g/l}$; cette dernière au-delà de la norme à cause des rejets industriels et agricoles (fertilisation des engrais).

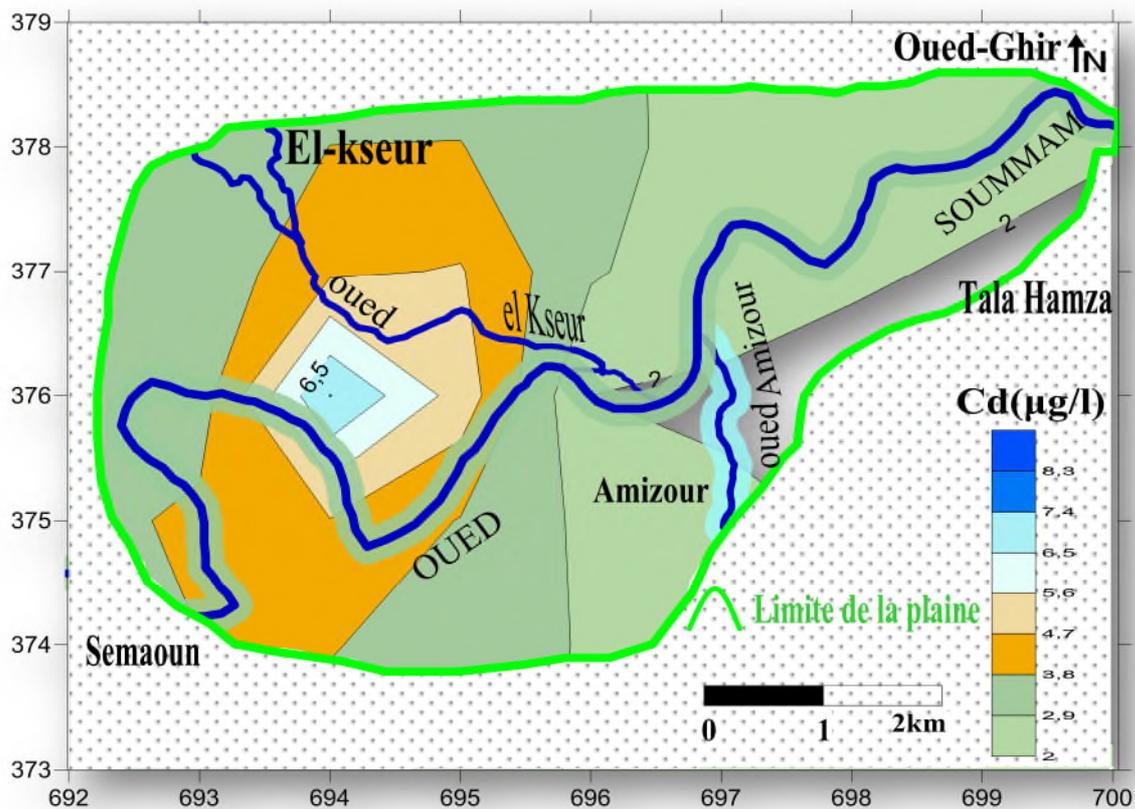


Fig.42. Carte des concentrations du Cadmium (Cd) des eaux souterraines de la plaine d'Amizour (Avril 2019).

IV.2.3.2. Le Zinc (Zn) :

Les minerais de zinc les plus répandus dans la nature sont la sphalérite (ZnS) et la smithsonite (Zn CO₃). Le Zn fait partie des éléments essentiels pour l’homme, les animaux et les plantes. Sa toxicité dépend de la spéciation en solution (Pitter., 1999).

Selon (Clavet et al. , 1990), le pH est le facteur qui influence le plus le comportement du Zn dans les sols.

L’existence du zinc dans les eaux de cette région est faible d’une manière générale par comparaison au tableau du journal officiel, variant entre 0.007 et 0.987 mg/l alors que la norme est de 5 mg/l, on peut remarquer que la présence de ce métal dans la partie nord de cette région(zone spécifiée sur la carte en vert) est de 0.07 mg/l et en se dirigeant vers le sud, il commence à prendre un peu d’ampleur oscillant entre 0.077 et 0.217 mg/l zones visées sur la carte en jaune et jaune clair (Fig.43) ,par contre pour les eaux de surface la valeur de Zinc un peu élevée par rapport aux eaux souterraines a cause les rejets urbains et industriels.

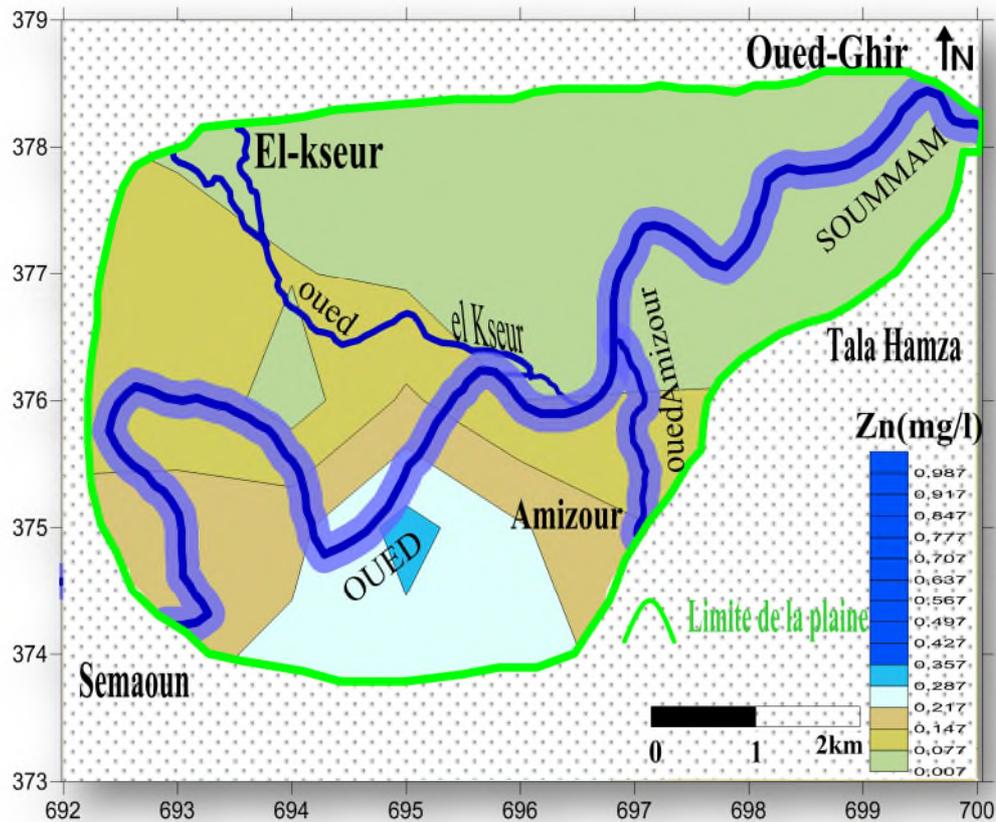


Fig.43. Carte des concentrations du Zinc (Zn) des eaux souterraines de la plaine d’Amizour(Avril 2019).

IV.2.3.3.Le Plomb (Pb) :

Le Pb est un métal ubiquiste que l'on retrouve dans les sols, l'eau et la biosphère. Il peut se présenter sous des formes chimiques et minérales telles que le Pb élémentaire (Pb⁰), les formes ionisées cationiques tétravalent (Pb⁴⁺), trivalent (Pb³⁺) et bivalent (Pb²⁺) (CITEPA., 2011). La forme Pb²⁺ est la forme d'apport majoritaire dans les sols (Lauwerys., 2003). Le Pb est l'un des ETM les moins mobiles dans le sol dont 100 fois moins mobile que le Cd (Perrono.,1992). Le Pb a une action inhibitrice sur la synthèse de l'hémoglobine et peut provoquer des anémies (WHO., 2007).

Dans la partie nord de la zone d'étude désignée sur la carte en vert foncé le taux de plomb existant dans les eaux souterraines varie entre 2.1 et 3.1 µg/l bien en deçà de la norme mentionnée par le journal officiel, tandis qu'en se dirigeant vers le sud le taux augmente et va de 4 µg/l dans la zone désignée en jaune demeurant toutefois dans la limite de la norme, ce qui n'est pas le cas quand on se dirige davantage vers le sud, le taux augmente d'une manière sensible (Fig.44), et pour les eaux de surface on peut dire que les valeurs de Pb dans les normes du(JORA.,2011).

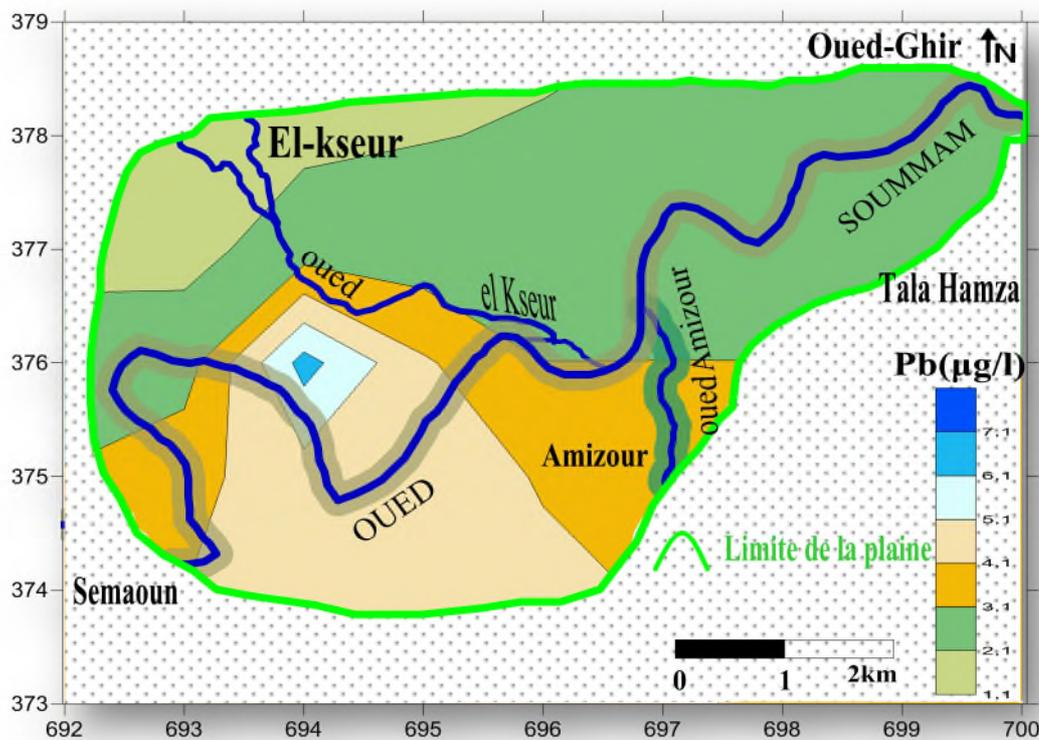


Fig.44. Carte des concentrations du Plomb (Pb) des eaux souterraines de la plaine d'Amizour(Avril 2019).

IV.2.3.4. Conclusion :

On peut conclure de ces observations que la présence des ETM (que ce soit pour les cas qui dépassent la norme ou pas), est généralement plus élevée dans les zones indiquées selon la partie précédente très vulnérable et commence à se diminuer graduellement tout en sortant vers les zones moins vulnérables, ce qui appuie nos résultats.

Les principales origines se trouvent dans les utilisations industrielles du Cd : alliages de soudure et de brasure, batteries d'accumulateurs, câbles électriques, engrais (superphosphates), colorants, peintures et vernis; mais aussi de métallurgie du Zn et du Pb (**Perrono., 1999**). Les zones industrielles sont des potentielles sources de contamination des sols maraîchers, car le vent et les eaux de ruissellements peuvent transporter les ETM vers les bas-fonds (**Pereira., 2007**).

Donc on déduit que les concentrations élevées du Cd et du Pb sont dues aux rejets industriels surtout quand on a un point de décharge qui se trouve à proximité

Mais également on cite:

Les pesticides, selon l'étude menée par (**Robert et Juste .,1997**) , de nombreux pesticides contribuent de manière importante à la contamination des sols par les ETM. Les principaux apports anthropiques de Zn proviennent des déchets agricoles (**Perrono., 1999**).

Et aussi la fertilisation, les apports d'engrais chimiques utilisés en agriculture sont une source importante de Cd (**Perrono., 1999**). L'épandage des engrais phosphatés sur les sols maraîchers provoque un enrichissement inéluctable des sols en Cd (**Baize., 1996**). Les engrais commercialisés ont le Cd avec des taux d'accompagnement du phosphore très élevés (**Robert et Juste.,1997**).

IV.2.4. Carte de risque :

La projection des sources de pollution sur la carte de vulnérabilité nous donne une carte de Risque selon la formule suivante. (Fig.45).

Carte de risque = Carte de vulnérabilité × Aléa.

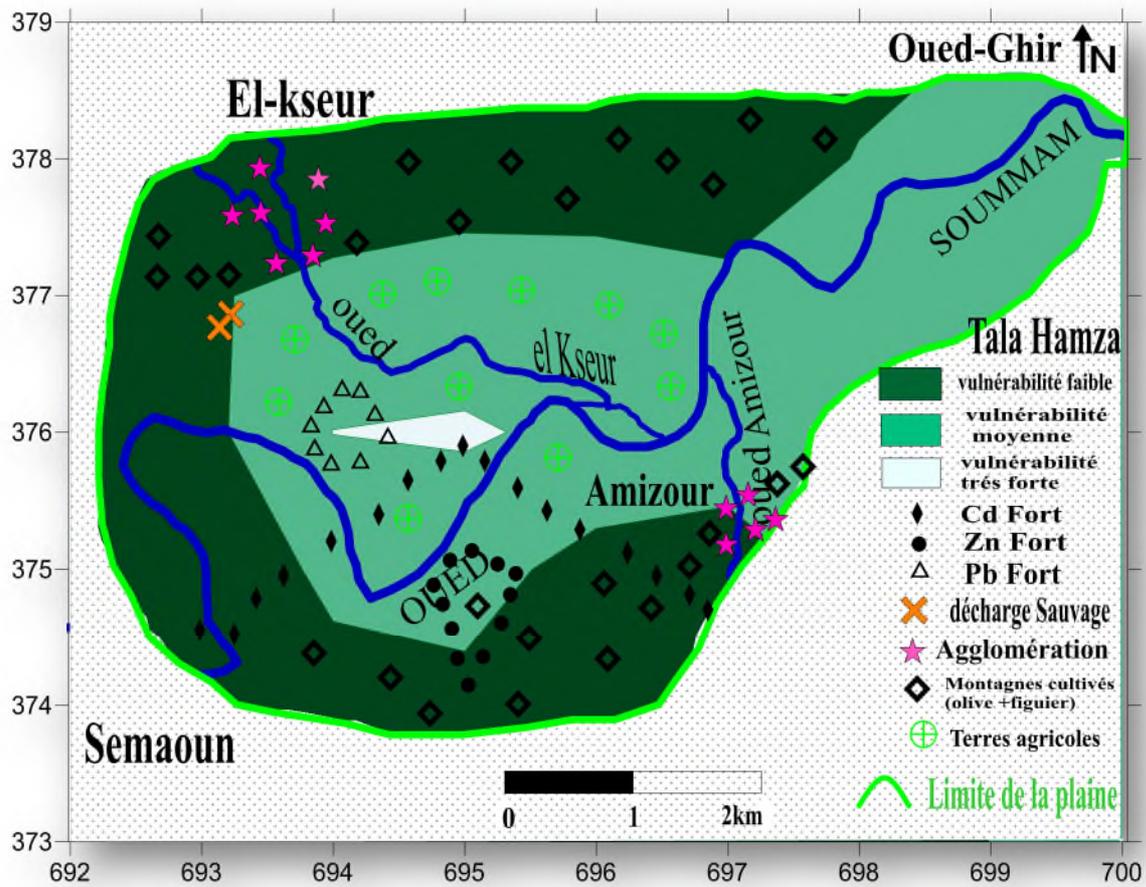


Fig.45. Carte de risque périodique de la plaine d'Amizour (Avril 2019).

V. Conclusion générale :

L'analyse et l'interprétation des données montrent qu'il existe deux types(02) d'aquifères : nappe libre qui se situent généralement en basses terres et près des cours d'eau, et nappe semi captive dans les zones hautes. Environ 60% de la terre étudiée est principalement formée des alluvions (sable+gravier) donc fortement perméable.

La vulnérabilité s'accroît du centre de la plaine vers les bordures Nord, la répartition des sources de pollution a induit cette croissance. L'analyse de la carte de vulnérabilité résultante a révélé que la vulnérabilité varie sur les classes « Faible », « Moyenne » et « Forte ». Les eaux souterraines de la plaine sont dans l'ensemble vulnérable à la pollution du fait des conditions physiques de l'aquifère.

Les analyses faites au laboratoire montrent que la présence des ETM est généralement plus élevée dans les zones indiquées très vulnérable et commence à se diminuer graduellement tout en sortant vers les zones moins vulnérables, ce qui appuie les résultats d'estimation de la vulnérabilité.

La cartographie de la vulnérabilité et le risque de pollution des eaux souterraines en utilisant les outils de SIG (Surfer) peut être très fiable et sert à la prise de bonnes décisions pour les gestionnaires des ressources en eaux et permettra également d'orienter l'aménagement du territoire.

Perspectives : L'inconscience et l'irresponsabilité des autorités vont conduire à la dégradation irréversible des écosystèmes des plaines et pour cela on peut recommander :

- la mise en place d'une méthode plus efficace pour le traitement des rejets industriels et domestiques comme le recyclage et l'établissement des stations d'épuration sur différents points des oueds.
- sensibiliser les citoyens et les agriculteurs concernant les conséquences des pratiques agricoles intensives.
- Un suivi méthodique est indispensable si on veut préserver ce qui reste dans cette zone à potentiel hydrologique et agricole important, surtout avec notre classement actuel parmi les

pays en dessous du seuil de pénurie de la disponibilité de l'eau, et même dans le cadre du développement durable de la région.

-Une surveillance et une étude à long terme des ressources en eaux.

-Etudier les périmètres de protection de la nappe pour un éventuel développement socio-économique dans la région.

-Eviter l'installation des sites industriels et les décharges sur des sites à forte vulnérabilité.

-Réaliser des cartes de risque périodique afin de prévenir la contamination des formations aquifère.

Référence :

A

Aubre, F. 1992. Développement d'une nouvelle méthode d'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines au Québec. Mémoire de maîtrise, École des Gradués Université Laval, Faculté des Sciences et Génie, 249 p.

Albinet, M. et Margat, J. 1970. Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Bulletin du BRGM (deuxième série), section m, No 4, p 13-22.

Aller. L., Bennett. T., Lehr. JH., Petty. RH., Hackett. G. 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. USEPA Report 600/2- 87/035, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, Oklahoma.

B

Barton N, Lien R, Lunde J.1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech 6(4): 189–239

Bennabi ., 1985 Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'Oued Sahel-Soummam (Algérie),p 13.

Bencini, A., Cazzaroli, G., Gargini, A. et Pranzini G. 1995. La qualité des eaux souterraines et sa relation avec la vulnérabilité à la pollution des aquifères. Un exemple en Toscane (Italie) : la plaine de Florence. Hydrogéologie, No 3, p. 59-72.

Beloulou L. 1987. hydrogeological study and evaluation of water resources of the Collo basin, skikda, Algeria. Master Thesis. Department of hydrology and water resources, Arizona University. USA 129p.

Belloulou.L . 2004., cours d'hydrologie,IST,université badji Mokhtar,Annaba p36

Boucenna N , Saadali R.,. 2003 .Evaluation des ressources en eau dans la région de Tammalous,Mémoire d'ingeniorat,pp108 .

C

Chaïeb A., Khattach D., J. Mater. 2016. Environ. Sci. 7 (11) (2016) 3973-3983.

Civita M. 1990. La valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento [Assessment of aquifer vulnerability to contamination]. Proc. 1 st Conv. Naz. « Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee: Metodologie, Technologie e Obiettivi », Marano sul Parano, v. 3, p. 39-86.

Civita M., De Maio M., 1994 Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Teoria and practica. Pitagora Editrice, Bologna , p 325

C.CLINCKX., 1973. Etude hydrogéologique de la nappe alluviale de la Soummam.

COYEN, BELLIER, 1973. Etude de la régulation de la Soummam, Bureau d'ingénieur PARIS.

D

Dahan.,2004. Multi-variable mixing cell model as a calibration and validation tool for hydrogeologic groundwater modeling.p 14.

Derwich e., Benaabidate l., Zian a.2,Sadki o., Belghity d.2010 .
caracterisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut sebou en aval de sa confluence avec oued fesderwic ; larhyss journal, issn 1112-3680, n° 08, , pp. 101

Djenadi H., Djerroud Y, 2018. Etude de la vulnérabilité à la pollution de La zone de Boulimat par la méthode GOD. Mémoire de magister Toxicologie Industrielles et Environnementale, p84.

F

Foster.S, 1987,“Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: Van Duijvenbooden W, Van Waegeningh HG (eds) Vulnerability of soil and groundwater to pollutants”. Committee on Hydrological Research, The Hague, p 69–86.

Foster, S.S.D. et Skinner, A.C. 1995. Groundwater protection: the science and practice of land surface zoning. Groundwater quality: remediation and protection. Proceedings de conférence de Prague. Publ. Alli No 225. p. 471-482. mai 1995.

Foster, S.S.D., 1998. Groundwater recharge and pollution vulnerability of British aquifers: a critical overview. In: Robins, N.S. (ed.) Groundwater pollution, aquifer recharge and vulnerability. Geological society, London, special publications, 130 p., p. 7-22.

G

Gauthier C, Guibaut G. 2003; Study of aluminium concentration and speciation of surface water in four catchments in the Limousine region. Journal of Inorganic Biochemistry 2003 ; 97 : 16-25.

G de MARSILY,, 1981. Hydrogéologie Quantitative, Edition MASSON.

Giusti.,2012. Advances in Neural Information Processing Systems 25 (NIPS 2012).

Goldsheider N, Heinz H., 2000. A GIS based approach to mapping groundwater vulnerability with special consideration of karst aquifers.

Gouaidia L, 2008. Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-Est algérien. Thèse de doctorat en sciences, université d'Annaba.

Gouadia L, Boudoukha A, Djabri L, Guefaifia O. 2011. Evaluation de la vulnérabilité d'une nappe en milieu semi aride et comparaison des méthodes appliquées: cas de la nappe de meskiana (Est Algérien) Secheresse, N 22 pp. 35-42.

J

Jarvie HP, Whitton BA, Neal C.1998. Nitrogen and phosphorus in east coast British rivers : speciation. Sources and biological significance. Sci Tot Environ ; (210/211) : 79-109.

Jean Rousselle, Nicolas Lauzon.,2005 ;Hydrologie: cheminements de l'eau ,presses inter Polytechnique, 317 page).

K

Kezzar S. ,Boukertous c.,(2016).Evaluation de la vulnérabilité des eaux a la pollution par une approche multicritère ,cas de la plaine de collo,66p.

M

MAANE, 2010. Qualité des eaux de l'oued Soummam : caractérisations et impacts des facteurs anthropiques et naturels .Thèse de doctorat en science .Option analyse de l'environnement et biodiversité, Université A /Mira de Bejaia ,113 p.

Mammeri L. 2007. Etude de la réaction de dénitrification par l'utilisation du succinate de sodium comme source de carbone. Mémoire de Magister Chimie de l'environnement. Université Mentouri, Constantine, Algérie.

Margat, J. 1991. La vulnérabilité des eaux souterraines aux pollutions, conception - estimation - cartographie. Institut Européen de l'eau, 9 p.

Maxe, L., and P.O. Johansson .1998. Assessing groundwater vulnerability using travel time and specific surface area indicators. hydol. j., 6, 441-449.

Mouni L.2004. Étude et caractérisation physico-chimique des rejets dans l'oued Soummam. Mémoire de magister en génie des procédés, option. Génie chimique. Université A/ Mira, Bejaia, p15.

Murat, V., Martel, R., Michaud, Y., Fagnan, N., Beaudoin, F., Therrien, R., 2000a. Cartographie hydrogéologique régionale du Piémont Laurentien dans la MRC de Portneuf: Comparaison des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité. Commission Géologique du Canada, dossier Public numéro: 3664-d.

Murat, V., Martel, R., Michaud, Y., Therrien, R., 2000b (version préliminaire). Guide d'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution. Rapport présenté au Ministère de l'Environnement du Québec, Service des pesticides et des eaux souterraines.

Mamère , Narbonne., 2001, les dioxines ne sont pas dangereuses p. 85-86

P

Perrier J,1964. Défense contre les eaux nuisibles de l'oued Soummam. Mémoire préliminaire. Compte rendu. Paris, 1964.

Petelet, G ., 2000. Méthode d'évaluation multicritère de la vulnérabilité des aquifères Karstiques. Application aux systèmes des Fontanilles et Cent-Fonts, Hérault, Sud de la France.

S

Saadali R., Kherici N .,(2007) :Détermination des paramètres hydro dispersifs de la basse vallée de L'Oued Saf-Saf (Skikda) (mémoire de magister), 2007.

Saadali R., Kherici N .,(2019) :Détermination des paramètres hydro dispersifs et développement durable de la plaine de Collo (Skikda) ;Thèse de Doctorat ;Université de Annaba ,92p.

Sersoub D., 2012- Aménagement et Sauvegarde de la Biodiversité de la Vallée d'Oued Boussellem. Mémoire de Magister en Biologie de la Biodiversité et Gestion des Ecosystèmes.Univ.de Sétif, 197p.

T

Thiebaut.J,1951, Etude géologique des terrains métamorphiques de la grande Kabylie, Toulouse, p88

V

Villa J M., 1980.La chaîne Alpine d'Algérie oriental et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de Doctorat ès sciences Nat, Université de Pierre Marie Curie, Paris VI, France.2 vol. 665p.

vincent mardhel .2004.sti pôle géomatique les outils sig pour une meilleure compréhension des eaux souterraines. ,124p

VIZITERV, GAUFF.,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.

Vrba J, Zaporozec, A. 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. Int. Association of Hydrogeologists. Int. Contributions to Hydrogeology; 16. Verlag Heinz Heise Hannover..

W

World health organisation .OMS.2007.

Z

Zwahlen F., 2003 Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers, Final Report, Belgium

Source anonyme 1 ., <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/eau-apercu/sources/eaux-souterraines.html> .

Futura science.; consulté le 15 Mai 2019

Résumé :

Dans la présente étude, une approche spécifique est suivie pour évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines dans la plaine d'Amizour (Bejaia) au nord de l'Algérie, en considérant Les paramètres physicochimiques des eaux (pH ,T, salinité,.....etc.) la distribution de la concentration en métaux lourds (Pb,Cd,Zn) et la combinaison des 3 critères de la méthode de G.O.D. Tout en représentant les résultats en forme de cartes à l'aide d'outils SIG, plus précisément avec le logiciel Surfer, les résultats indiquent une vulnérabilité élevée pour à peut près 55% de la superficie étudiée, une faible vulnérabilité pour 35% et une vulnérabilité très élevée pour les 10% qui restent.

Les zones sensibles décrivent des caractéristiques telles que la faible profondeur des eaux souterraines, de vastes dépôts d'argiles limoneuses alluviales, une topographie plate et une bio-exposition aux multiples sources de pollution.

Mots-clés : pollution, eaux souterraines, vulnérabilité, Amizour, métaux lourds.

Abstract :

In the present study, a specific approach is followed to assess groundwater vulnerability in the agricultural region of Amizour (Bejaia), northern Algeria, considering the physicochemical parameters of the water (pH ,T, salinity,.....etc.), the distribution of the metals concentration (Pb, Cd, Zn) and the combination of the 3 criteria of the GOD method, representing the results in the form of maps using GIS tools, specifically with the Surfer software,the results indicate a high vulnerability for up to 55% of the studied area, a low vulnerability for 35% and a very high vulnerability for the remaining 10%.

Sensitive areas describe features such as shallow depth of groundwater, extensive alluvial silty clay deposits, flat topography, and bio-exposure to multiple sources of pollution.

Keywords: Pollution, groundwater, vulnerability, Amizour, heavy metals.