

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الجيلالي بونعامة خميس مليانة

Universite de Djelali Bounâama Khemis Miliana

كلية علوم الطبيعة و الحياة و علوم الأرض

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES
SCIENCES DE LA TERRE



Mémoire de fin d'étude

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Science de la Nature et la Vie

Filière : Ressources en eaux, sols et environnements

Spécialité : Eau et Bioclimatologie

Thème

« ÉTUDE DE LA COHERENCE ENTRE LA VULNERABILITE A LA
POLLUTION ET LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES : PLAINE
DE KHEMIS MILIANA. ALGERIE »

Présenter par : Sahraoui Nawal.

Soutenu publiquement

Le : 30/06/2015

Devant le jury :

Mr. Amokrane. A

Mr.Gharbi .B

Mr.Ziane.A

Président

Encadreur

Examineur

UKM

UKM

UKM

Année Universitaire : 2014 /2015.

Remerciements

Je tiens à remercier avant tout « **Allah** » qui nous a donné la force d'accomplir ce travail.

Je remercie :

Dr. GHARBI BENYOUCEF d'avoir bien voulu nous encadrer ainsi que pour la patience, la confiance, ces précieux conseils, son orientation et son aide pour la réalisation de ce modeste travail.

Dr. AMOUKRANE. A. Pour ses encouragements .ses remarques mon beaucoup aidé et Je voudrais lui exprimer toute ma gratitude pour avoir accepté de présider le jury.

Mr. ZIANE.A pour ses remarques, ses critiques constructives et sa passion pour l'hydrogéologie et pour avoir accepté d'être membre du jury.

Merci en particulier à Mr .Oussama Boulfrag, pour son aide et sa patience.

Je remercie en particulier les responsables et les ingénieurs des organismes suivants :

- A.N.R.H .Blida .
- A.N.R.H. Khemis.
- D.R.E.Ain Defla.

Enfin, je remercie particulièrement tous mes ami(e) et tous ceux ou celle qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce modeste travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mon « Allah » et mon prophète Mohammed (صلى الله عليه و سلم) et nation islamique

A mes chers parents, mon père Rabah et ma mère Zineb <3

A mon oncle Belhadj

A mon promoteur Dr .Gharbi Benyoucef

A mes chers frères Faysal, Khier Eddine et Chafik,

A mes tantes Yamina et lila

A ma tante Khadra.

A ma chère grand-mère Halima

*A la mémoire de mes chers grand-père Abd Elkader et Djilali et ma cher grand-mère Fatima
zohra*

A toute ma famille paternelle Sahraoui, et ma famille maternelle Khellif

*A toutes mes amies Imene, Meriême Aissou, Naima, Meriême Menadi, Zineb,
Naama, Kahina Soumia, Habiba Aicha, Amina, Nacéra, Karen Rice ,Sara, Haydi, Amina
zinini, Amina zefanine, hafide zefanine, nabila , lydia, kaouther toumi,*

A Mr Martin

*A Association Des Amis De Khemis-Miliana, Mr Boulafrag Oussama, Kaddi Djilali, Mr
Ratta, Mr Amrani et Mr Baddache*

A toute personne qui a contribué à la réalisation de ce manuscrit

de près ou de loin.

SOMMAIRE

Remerciement

Résumé

Listes des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale.....1

Chapitre I : Aperçus bibliographique.

I.1- Définition de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution2

I.2 - Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution3

I.3 -Facteurs de la vulnérabilité.....4

I.4- Méthode d'évaluation de la vulnérabilité.....5

I.5-Les méthodes de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines
à la pollution.....5

I.6- Méthode SINTACS.....8

I.7-Qualité des eaux souterraines10

I.7.1- L'hydrochimie des eaux souterraines10

I.8-Conclusion.....11

Chapitre II : Matériels et Méthodes

II- Localisation géographique de la plaine de Khemis Miliana.....	12
II.1-Contexte régional	12
II.2- Contexte local	12
Habitat.....	14
II.3- Contexte géomorphologique.....	14
Relief.....	15
II.4- Hydroclimatologie	17
II.4.1- Régime pluviométrique	17
II.4.1.1- Précipitations moyennes mensuelles	17
II.4.1.2- Précipitation moyenne annuelle.....	18
II.4.1.3 Détermination de lame d'eau précipitée par la méthode de Thiessen.....	20
II.4.2- Analyses des températures.....	22
II.4.2.1-Températures moyennes mensuelles	22
II.4.2.2- Température moyenne annuelle	22
II.4.3-Diagramme Ombrothermique de Gaussen.....	23
II. 5-Réseaux Hydrographique.....	24
II. 6-Cadre géologique.....	25
II. 6.1-Lithologie de la plaine de Khemis-Miliana.....	26
II. 6.2- Stratigraphie.....	28
II. 7- Cadre hydrogéologique.....	32
II. 7.1-Les principaux aquifères de la région d'étude.....	32
III - Principe et approche de l'établissement de la carte de vulnérabilité.....	34

III.1 - Cartographies des paramètres du modèle-SINTACS dans la plaine alluviale de Khemis Miliana.....	34
III.1.1 - Profondeur des eaux souterraines	35
III.1.2 - Recharge efficace de l'aquifère	35
III.1.3 - Effet de l'autoépuration de la zone vadose.....	36
III.1.4 - Type de sol.....	37
III.1.5 - Caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère (A).....	37
III.1.6 - Conductivité hydraulique	37
III.1.7 - Pente	38
III.2 – superposition des couches.....	38
III.3- Cartographie de l'Indice de la Qualité des eaux souterraines (GWQI).....	39

Chapitre III : Résultats et Discussion

IV .Introduction	40
IV.1-Validation des analyses	40
IV. 1.2-Signification des faciès hydro-chimiques dans la région.....	40
IV 1.2.1-Diagramme de piper	40
IV1.2.2 –Diagramme de shcoeller- Berkaloff.....	43
IV. 1.2.3- Qualité physico-chimique de l'eau	47
✓ pH.....	47
✓ Minéralisation globale.....	47
✓ La conductivité électrique.....	47

IV. 1.2.3.1-Les cations majeurs	48
✓ calcium	48
✓ Magnésium	49
✓ Sodium et Potassium	49
IV. 1.2.3.2-Les anions majeurs	50
✓ Sulfates.....	50
✓ Nitrate.....	50
✓ Chlorure.....	51
✓ Bicarbonate	51
IV.3-Etablissement de la Carte de Vulnérabilité selon le Modèle-SINTACS.....	60
IV.3.1- Paramètres du modèle-SINTACS.....	60
IV.3.1.1Profondeur des eaux souterraines (S).....	60
IV.1.2-Recharge efficace de l'aquifère (I).....	60
IV.1.3 -Effet de l'autoépuration de la zone vadose.....	61
IV.1.4-Type de sol (T).....	61
IV.1.5-Caractéristiques hydrogéologiques du milieu aquifère	62
IV.1.6-Conductivité hydraulique	62
IV.1.7-Pente (S).....	63
IV.1.8-Carte finale de la vulnérabilité selon le Modèle- SINTACS.....	63
IV.2-Incohérences entre la vulnérabilité et la qualité des eaux souterraines	64
Conclusion générale.....	70

ملخص

قد تم تقييم نوعية المياه الجوفية والتي تعتبر جزءاً مهماً في إدارة الجودة البيئية. و شملت الدراسة تقييم تعرض المياه الجوفية للتلوث و رسم خرائط لنوعية المياه الجوفية لأغراض تحديد المياه الصالحة للشرب في السهل الرسوبي من خميس مليانة. تم احتساب مؤشر جودة المياه الجوفية و نعين للسهل بأكمله. تمت دراسة مقارنة بين مؤشرات القابلية و رسم الخرائط المقارنة بين نوعية المياه الجوفية و مؤشر القابلية. أظهرت النتائج اختلافات بين مؤشر القابلية و نوعية المياه الجوفية، كما أشار الى وجود المناطق المعرضة للخطر مع نوعية المياه الجيدة، و العكس بالعكس. لوحظ الاتساق بين مؤشرات فقط في الجزء الجنوبي، و معامل الارتباط في هذه المنطقة في هذه هي 0.6، لم تكن ملحوظة هذه العلاقة لجزء كبير من منطقة الدراسة، و كانت معاملات الارتباط منخفضة بتسلسل، 0.2، 0.19 0.02-0.06 0.11، في المناطق المرتفعة، شمال غرب، ووسط شمال جنوب و منطقة المصب على التوالي.

كلمات المفتاح: السهل الرسوبي من خميس مليانة. مؤشر المياه الجوفية، مؤشر القابلية.

Résumé:

L'Évaluation de la qualité de l'eau souterraine a toujours été une partie dominante dans la gestion de la qualité de l'environnement. La présente étude a porté sur l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution et de la cartographie de la qualité des eaux souterraines à des fins d'AEP dans la plaine alluviale de Khemis-Miliana. Indice de qualité de l'eau souterraine a été calculée et cartographiée pour l'ensemble de la plaine. Une cartographie de comparaison entre les indices de vulnérabilité I_V et de la qualité des eaux souterraines I_{GQ} a été étudiée. Les résultats montrent des écarts entre les indices de vulnérabilité et de la qualité des eaux souterraines, comme indiqué par l'existence de zones vulnérables avec une bonne qualité de l'eau et vice versa. Une consistance entre les indices est observée seulement dans la partie sud, le coefficient de corrélation dans cette zone est de 0.6, cette relation n'a pas été observée pour une partie importante de la zone d'étude, des coefficients de corrélation faibles ont été calculés et qui sont d'ordre 0.21, 0.23, 0.19, 0.02, -0.06, 0.11 dans les zones amont, nord-ouest, centre, nord-est, sud-est et la zone aval, respectivement.

Mot-clef: L'indice de la qualité des eaux. La plaine alluviale de Khemis Miliana. l'indice de vulnérabilité

Abstract:

Groundwater quality assessment has always been a dominant part of environmental quality management. The present study involved the suitability assessment and mapping of groundwater quality for drinking purposes in Khemis Miliana alluvial aquifer. Groundwater quality index was calculated and mapped for overall plain. A mapping comparison between I_V and I_{GQ} was studied. The results show discrepancies between the vulnerability indices and groundwater quality, as indicated by the existence of vulnerable areas with good water quality and vice versa. Consistency among the indices is observed only in the southern part, the correlation coefficient in this region is 0.6, on the other hand, this relationship was not observed for a significant portion of the study area, low correlation coefficients were calculated and which are 0.21, 0.23, 0.19, 0.02, -0.06, 0.11 in upstream areas, northwest, central, northeast, southeast and the downstream area, respectively.

Keywords: Groundwater quality index. Khemis Miliana alluvial aquifer, Vulnerability index

Liste des Figures

Figure.1. Carte de situation géographique de la plaine alluviale de Khemis Miliana.....	12
Figure.2. Carte de la situation géographique de la plaine alluviale de Khemis Miliana par à pour les sous bassins versants.....	14
Figure.3. Représentation topographique de la plaine alluviale de Khemis Miliana sous forme numérique.....	16
Figure.04. Variation temporelle des précipitations moyennes mensuelles (1980-2014).....	18
Figure.05. Variation temporelle des précipitations moyennes annuelles.....	19
Figure.6. Carte de répartition spatiale de précipitation moyenne annuelle par polygone de thiessen.....	21
Figure.07. Variation temporelle de température mensuelle (1980-2014).....	22
Figure.08. Variation temporelle de température mensuelle (1980-2014).....	23
Figure.9. Diagramme ombrothermique de Bagnoles et Gaussen 1987-2014(haut Chélif).....	24
Figure.10. Répartition spatial de réseau hydrographique de la plaine alluviale de Khemis Miliana.....	25
Figure11. Carte géologique schématique vectorisée de la plaine de Khemis Miliana.....	31
Figure12. log litho-stratigraphique et hydrogéologique du haut Chélif.....	33
Figure.13. Diagrammes Piper des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana.....	41
Figure .14. Diagrammes Schoeller - Berkloff des eaux souterraines de la plaine alluviale de Khemis Miliana.....	43
Figure.15. Répartition spatiale de la minéralisation, la conductivité électrique et les faciès hydrogéochimiques dans la plaine.....	44
Figure.16. répartition spatiale des éléments anioniques des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana (basses eaux 2014.).....	45
Figure.17. répartition spatiale des éléments anioniques des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana (basses eaux 2014.).....	46
Figure.18. Carte pédologique vectorisé de la plaine alluviale de Khemis Miliana.....	53
Figure. 19a. Répartition Spatiale des profondeurs des eaux souterraine dans la plaine alluviale de Khemis Miliana.....	53
Figure. 19b. Répartition Spatiale des profondeurs des eaux souterraine assignées à leurs scores et Poids.....	53

Figure.20a .Répartition spatiale de la recharge des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana.....	54
Figure20b .Répartition spatiale de la recharge des eaux souterraines assignée par scores et poids.....	54
Figure.21a .Répartition spatiale des zones non saturée de la plaine alluviale de la plaine alluviale de Khemis Miliana.....	55
Figure.21b .Répartition spatiale des zones non saturée assignées à leur scores et poids.....	55
Figure.22a .Répartition spatiale des types du sol de la plaine alluviale de Khemis Miliana.....	56
Figure.22b .Répartition spatiale des types du sol assigné à leur scores et poids.....	56
Figure.23a .Répartition spatiale du paramètre du milieu- aquifère de la plaine alluviale de Khemis Miliana.....	57
Figure.23b .Répartition spatiale du paramètre du milieu- aquifère assignée par scores et poids.....	57
Figure.24a .Répartition spatiale de la conductivité hydraulique dans la plaine alluviale de Khemis Miliana.....	58
Figure.24b .Répartition spatiale de la conductivité hydraulique assignée à leur score et poids.....	58
Figure.25a .Répartition spatiale des degrés de la pente de la plaine alluviale de Khemis Miliana.....	59
Figure.25b .Répartition spatiale des degrés de la pente assignée a leur scores et poids.....	59
Figure. 26a ..Carte de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution de la plaine alluviale de Khemis Miliana.....	67
Figure.26b . Carte de répartition spatiale de l'indice de qualité des eaux dans la plaine alluviale de Khemis Miliana. (Basse eaux2013).....	68
Figure. 27 .Représentation de l'incohérence entre la vulnérabilité et la qualité des eaux souterraines	69

Liste des tableaux

Tableau .01. Attributs de la vulnérabilité de l'eau souterraine et paramètre associé.....	5
Tableau .02 . Poids attribués aux paramètres SINTACS dans les différents scénarios de méthode.....	9
Tableau. 03. Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode SINTACS.....	9
Tableau .04. Paramètres physiographiques du bassin versant.....	15
Tableau .05 : Caractéristiques des stations pluviométriques, d'après A.N.R.H Période (1980- 2014).....	17
Tableau. 06. Réseau Hydrographique.....	25
Tableau.07. l'indice de vulnérabilité à la pollution et l'indice de la qualité des eaux souterraines.....	66

Liste des abréviations

ANRH : Agence Nationale des **R**essources **H**ydrique.

DEM : **D**igital **E**levation **M**odel.

C.M.B : Chloride **M**ass **B**alance.

MNT : **M**odèle Numérique de **T**errain.

SIG : **S**ystème **I**nformatique **G**éographique.

ONM : **O**ffice National de la **M**étéorologie.

NRC : **N**ational **R**esearch **C**ouncil.

Introduction générale

L'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution est un processus important pour comprendre la fragilité intrinsèque qu'une certaine région s'oppose à une menace donnée, si ce danger est d'origine naturelle ou anthropique. Souvent, les évaluations de vulnérabilité sont effectuées dans des zones où les ressources en eau sont en situation de stress qui proviennent d'activités industrielles ou agricoles. Par conséquent, les études de vulnérabilité peuvent fournir des informations précieuses pour les intervenants qui travaillent sur la prévention contre la détérioration de l'environnement.

L'aquifère alluvial de la plaine de Khemis Miliana présente des propriétés intrinsèques, comme la vulnérabilité, qui est définie comme le risque potentiel de pollution des eaux souterraines par des contaminants générés par l'activité humaine. Dans le cas de sources de pollution superficielles, il existe généralement une relation directe entre vulnérabilité forte et qualité dégradée des eaux. Cependant cette relation n'est pas observée dans tous les aquifères, et l'origine des ces incohérences entre vulnérabilité et qualité des eaux souterraines va être étudiée. Le présent travail concerne l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana, Algérie, et procéder a une comparaison avec la qualité de celles-ci, en utilisant l'approche indicielle et une analyse statistique.

L'application de cette approche de comparaison entre vulnérabilité/qualité des eaux souterraines permet d'évaluer l'impact des activités anthropiques et naturelles sur la qualité des eaux souterraines, La cartographie de la vulnérabilité sera mise en œuvre via la méthodologie indicielle. Ces méthodes peuvent constituer des outils de management des eaux souterraines, la détermination de nouvelles zones de vulnérabilité sera discutée. Par ailleurs, une étude basée sur une approche indicielle et statistique pour faire ressortir des correspondances qui existent entre les zones les plus vulnérables et les plus contaminées et inversement sera appliquée.

Pour atteindre les objectifs de cette recherche, diverses méthodes et techniques vont être utilisées : méthodes d'analyse cartographique et de la cartographie numérique, méthodes de traitement d'analyse spatiale et de visualisation, méthodes de modélisation géospatiale, pour la conception et l'analyse des modèles spatiaux, méthodes de conception et développement d'une Géodatabase relationnelle, méthodes de statistique-Raster comparaison.

I.1- Définition de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution :

La définition de la vulnérabilité de terme est assez équivoque. Tout d'abord, la vulnérabilité est souvent définie simplement en ce qui concerne la qualité d'eau, bien qu'il puisse inclure des aspects de la quantité d'eau. Selon **Vrba et Zoporozec (1994)**, une des premières définitions trouvées dans la littérature est ce **d'Albinet et de Margat (1970)** qui l'a exposé la vulnérabilité d'aquifère est **“la possibilité de filtration et la diffusion de polluant de la surface de terre dans les réservoirs des eaux naturels dans les conditions naturelles”**.

Beaucoup d'autres essais de définir la vulnérabilité de nappe phréatique ont été fait depuis, dont certains ont été présentés à la première conférence importante dans ce thème, La conférence international de la Vulnérabilité de Sol et de Nappe phréatique aux Polluants, tenus en 1987 aux Pays-Bas (**la Fourgonnette Duijvenbooden et Van Waegeningh 1987**).

Les mêmes auteurs proposent une finale définition de la vulnérabilité comme «une propriété intrinsèque de la sensibilité d'eau souterraine à la pollution par des activités humaines et / ou les impacts naturels ». Ils distinguent vulnérabilité intrinsèque (ou naturel) à partir spécifique (ou) la vulnérabilité intégrée; le premier terme défini uniquement comme une fonction de facteurs hydrogéologiques et ce dernier terme défini par les impacts potentiels des utilisations spécifiques des terres et contaminants. En d'autres termes, intègre de vulnérabilité spécifique le risque de contamination placé sur les aquifères par les activités humaines.

Le concept de base pour l'estimation de la vulnérabilité de l'eau souterraine est que l'environnement physique, biologique et chimique naturel peut offrir une forme d'autoprotection naturelle contre les atteintes en provenance des activités humaines polluantes, ou de phénomènes naturels polluants, localisés en surface ou subsurface (**Foster (2007) ; Vrba et al. (1994)**).

La vulnérabilité de l'eau souterraine étant alors par définition la plus élevée là où l'autoprotection du système hydrogéologique est la plus faible. Selon un point de vue maximaliste, et en considérant les échelles de temps de certains phénomènes hydrogéologiques et de possibles contaminations, **NRC (1993)** proposent de considérer toutes les eaux souterraines comme étant vulnérables (**«All -groundwater is vulnerable »**) à divers degrés ,cependant,en se focalisant sur les paramètres du système considéré, les différentes définitions formulées ci-dessus ne sont toutefois que partiellement satisfaisantes, car elles font l'impasse sur une description physique du concept de « vulnérabilité ».

Pour pallier à ce manque, en se basant sur une approche de type « **Pression-Etat-Impact** » (en anglais « **PSI** » ; **Gardin et al. (2006)**), **Popescu et al. (2008)** proposent ainsi une définition généraliste de la vulnérabilité, dotée d'une signification physique claire : **le concept généraliste de la vulnérabilité de l'eau souterraine devrait refléter la facilité avec laquelle un système aquifère (« l'Etat ») transforme une pression (en amont) en un impact (en aval).**

La notion de vulnérabilité repose sur l'idée que le milieu physique, en relation avec la nappe d'eau souterraine, procure un degré plus ou moins élevé de protection vis-à-vis des pollutions, selon les caractéristiques du milieu.

Dans la littérature, on distingue deux types de vulnérabilité : **la vulnérabilité intrinsèque** et **la vulnérabilité spécifique** (**Schenbelen et al, 2002**). Le premier terme est utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui détermine la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les actions humaines. Le deuxième est celui utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant ou à un groupe de polluants. La vulnérabilité spécifique prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque (**Hamza et al, 2007**).

La notion de vulnérabilité, liée au risque de pollution des eaux souterraine, englobe à la fois celle d'agression et de défense (**Suais et Al, 1983 ; Brelot et Al, 1996**).

La vulnérabilité liée au risque de pollution est déterminée par la facilité de pénétration des substances polluantes s'infiltrant à partir de la surface du sol vers la nappe (**Robins et Al, 1989 ; Indjoudar 2003**).

La vulnérabilité dépend du type de la nappe, libre ou captive, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère :

- Les nappes libres sont les plus vulnérables. Les nappes captives en revanche sont mieux protégées par les couches imperméables qui les surmontent. Pour atteindre une nappe libre en milieux poreux, les polluants transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacles :
- la Zone de l'Interface Sol (ZIS), qui constitue le domaine des activités polluantes.
- la Zone Non Saturée (ZNS), qui est le domaine du transfert vertical.
- la Zone Saturée (ZS), qui est le lieu de la propagation et de la dilution de la pollution. (**Mina. Amharref, 2015**).

I.2 – Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution :

On définit la carte de vulnérabilité comme la carte qui détermine la sensibilité des aquifères à la pollution, c'est-à-dire qu'elle matérialise la facilité avec laquelle cette carte peut être atteinte par une pollution. Cette pollution peut être engendrée par une source ponctuelle (ex. décharge, cimetière, rejet d'eau usée brute domestique ou industrielle, linéaire (pipeline, réseau d'eau usée, réseau de drainage agricole ou diffuse (engrais chimiques, pesticides, herbicides, épandage des eaux usées domestiques).

La carte de la vulnérabilité des nappes à la pollution permet d'identifier les zones à haut risque de contamination. Celle-ci est une notion relative, non mesurable et sans dimension. La précision de son évaluation dépend essentiellement de la nature, de la quantité et de la fiabilité des données utilisées.

Elle est, en premier lieu, liée à l'autoépuration naturelle du sol, donc à la présence des conditions indispensables à son action, en second lieu elle est favorisée par la circulation de l'eau. (Djaarfri.M, 2006).

Les méthodes d'estimation et de cartographie de la vulnérabilité aux contaminations sont également un outil important et largement utilisé pour la protection des eaux souterraines - et les décisions pour l'aménagement du territoire qui en résultent. Ces méthodes identifient et combinent une série de paramètres géomorphologiques, géologiques et hydrogéologiques, permettant au final d'obtenir un indice de vulnérabilité de l'eau souterraine, représentatif de la capacité du milieu naturel à retarder, disperser, diluer et/ou dégrader un contaminant potentiel en provenance de la surface ou de la subsurface (Gogu et al. (2000), Vrba et al. (1994)).

I.3-Factures de la vulnérabilité :

Les factures de la vulnérabilité englobent plusieurs paramètres :

- état et caractéristiques physico-chimique de sol et de sous-sol ; les facteurs principales de la lithologie.
- Profondeur de la surface piézométrique, laquelle impose le temps de séjour en zone non saturée.
- Paramètre d'écoulement de l'eau souterraine ; coefficient de perméabilité ou transmissivité, direction et vitesse d déplacement.

- Condition d'alimentation et d'écoulement, facture du renouvellement de la réserve total moyenne. (Djaarfri.M ,2006).

I.4- Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité :

Les premières cartes de vulnérabilité furent élaborées par des chercheurs français au début des années 70 (Albinet et Margat, 1970). Elles ont été ensuite expérimentées dans d'autres pays du monde. Le principe de leur élaboration consistait à réaliser la synthèse de quelques paramètres ayant une influence majeure dans la vulnérabilité des aquifères.

Depuis une vingtaine d'années, plusieurs méthodes ont été proposées et expérimentées, afin d'aboutir à une caractérisation simple et précise de la vulnérabilité.

La littérature afférente au sujet montre l'existence de plusieurs méthodes d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité des nappes aux risques de pollution.

I.5-Les Méthodes de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution :

Parmi les nombreux outils cartographiques à la disposition de l'hydrogéologue ou de toute autre personne responsable de la gestion de ressources en eaux souterraines ou de l'aménagement du territoire, la carte de vulnérabilité est ainsi un des éléments-clé pour la protection et la gestion des ressources en eau. Les cartes de vulnérabilité ont toutefois la particularité de ne pas représenter directement les ressources en eaux et leurs éléments associés (niveaux piézométriques, sources, etc.), mais plutôt un ensemble de paramètres dérivés de ces éléments, voire parfois non-affiliés directement à l'eau souterraine (pente, type de sols, etc.).

Elles permettent ainsi de représenter une multitude de données en provenance de sources variées, en les modulant en un nombre limité d'indices relatifs de vulnérabilité. Ces cartes sont également dépendantes du temps (à l'inverse des cartes géologiques, par exemple), dans le sens où les paramètres utilisés (profondeur du niveau piézométrique, intensité de la recharge, etc.) peuvent varier temporellement. Concrètement, la cartographie de vulnérabilité établit une représentation spatiale 2-D du degré de vulnérabilité d'un aquifère donné à une contamination potentielle, basée sur les attributs hydrogéologiques, géomorphologiques et hydrologiques (climat, pluviométrie) de celui-ci.

Une carte de vulnérabilité subdivise ainsi une portion de territoire en unités spatiales homogènes (polygones ou cellules) montrant un même indice de vulnérabilité, basé sur plusieurs

paramètres de l'unité spatiale considérée (paramètres géologiques, pédologiques) (**Romain Ducommun, 2010**).

- Critères mis en œuvre dans les différentes méthodes pour les relier aux critères de l'approche européenne :

A.V.I. (Canada) Aquifer Vulnerability Index, Cette méthode cherche à évaluer le temps de transport d'éventuels contaminants en fonction de l'épaisseur de la zone non saturée (Z.N.S).

C.O.P. (Espagne) Concentration of flow, Overlying layers, Precipitation régime ; cette méthode COP a été appliquée dans le Sud de l'Espagne dans la région de Torremolinos (**Vías. J.M., 2000**).

D.R.A.S.T.I.C (U.S.A) Depth to water, net Recharge, Aquifer media, Soil media Topography, Impact of the vadose and hydraulic Conductivity.

E.P.I.K. (Suisse) Epikarst, Protective cover, Infiltration conditions, Karst network. Cette méthode largement employée en Suisse est devenue obligatoire dans ce pays pour définir la vulnérabilité des bassins karstiques captés pour l'AEP suite à la loi fédérale sur la protection des eaux de 1991. La méthode a été testée sur le site de St-Imier dans le Jura Suisse (**Doerfliger. N et Zwahlen, 1998**).

G.O.D. (Pays-Bas) Groundwater occurrence, Overlying lithology, Depth to groundwater.

Cette méthode a été appliquée à l'aquifère de Torremolinos dans le sud de l'Espagne.

GLA-method (Allemagne) Geologisches Landesamt (méthode dont les principes sont en parti repris deans PI-method).

- L.E.A. (Angleterre & Pays de Galles)** Localised European Approach.
- P.I.-method (Allemagne) :** Protective cover, Infiltrations conditions. Récemment appliquée dans une zone du Sud-Ouest de l'Allemagne (**Neukum.C et Hötzl.H, 2006**).
- R.E.K.S. (Slovaquie)** Rock type, Epikarst, Karst network, Soils. Cette méthode a été testée en Slovaquie sur le plateau de Muranska (**Malik. P et Svasta. J, 2005**).
- R.I.S.K.E. 2, évolution de R.I.S.K.E. (France)** Roche, Infiltration, Sol, Karstification, Epikarst. Récemment appliquée dans le sud de la France sur plusieurs systèmes du Larzac (**PUSKAS.B, 2003 ; FONTAINE.L, 2004 ; PLAGNES.V et Al, 2006**).
- S.I.N.T.A.C.S. et S.I.N.T.A.C.S. Pro Karst (Italie)** Soggiacenza (profondeur de la nappe), Infiltrazione (Infiltration), Azione del Non Saturo (fonction de la zone non saturée), Tipologia della Copertura (Sol), Carratteri Idrogeologici dell' Acquifero (caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère), Conducibilità Idraulica (conductivité hydraulique), Acclività della Superficie Topografica (pente moyenne de la surface topographique).
- L'évolution de cette méthode au milieu karstique préconise d'intégrer les morphologies karstiques de surface et données hydrogéologiques ainsi que l'adaptation du critère C pour le karst.
- Récemment appliquée en Italie dans la région de Veneto, sur le plateau karstique de la commune de Sette (**CUCCI.F et Al, 2007**).

Tableau 01. Attributs de la vulnérabilité de l'eau souterraine et paramètre associé modifié d'après (VRBA, 1991 ; Romain Ducommun, 2010)

Paramètre Attributs	Vulnérabilité Intrinsèque							Vulnérabilité Spécifique
	Importance premier				Importance Secondaire			
	Sol	Zone non saturé	Zone saturé	Recharge	Topographie	Unité Géographique	Contacte avec eau de surface et les eaux de la mer	
Principaux	Texteur Structure Epaisseur Teneur en matière Organique Teneur en minéraux argileux Perméabilité	Epaisseur Lithologie (consolidation et stratification inclus) Temps de transit de l'eau	Epaisseur Lithologie (consolidation et stratification inclus) Conductivité Hydraulique Direction d'écoulement Age et temps de résidence de l'eau	Recharge annuelle nette Précipitation annuelle	Pente Variabilité topographique de la surface	Perméabilité Structuration et Tectonique Zone de recharge et exutoire	Débit d'échange nappe-rivière Perméabilité des zones de contacte Interface eau douce – eau salée	Capacités d'atténuation du sol de la zone non saturée et l'aquifère per type de contaminant temps de transit pour le transport du type de contaminant
Supplémentaire	Capacité d'échange cationique Capacité de sorption et réduction Densité totale Teneur maximale en eau Paramètre de la zone racinaire.	Taux d'altération Perméabilité	Accessibilité hydraulique (non confinevs semiconfine Coefficient Transmissivité d'emmagasinement	Evapotranspiration Evaporation Températures moyennes de l'air	Couvert végétal	Aquifères confinés : même paramètres pour les formations au toit de l'aquifère		Temps de résidence des contaminants dans l'aquifère Caractéristiques du transport de contaminant (demi-vie Recharge artificielle Irrigation Drainage

VUL.K. : **Vulnerability, Karstic network development.**
(Suisse)

Certains auteurs ont cherché à comparer les résultats issus de différentes méthodes, comme **Neukum et Hötzl (2006)** qui ont appliqué **DRASTIC, EPIK, GLA-method** et **PImethod** dans une zone du Sud-Ouest de l'Allemagne. Il y a également (**LOBO FERREIRA.J.P. et OLIVEIRA.M, 2004**) qui ont comparé les méthodes **DRASTIC, SINTACS, GOD** et **AVI** sur un aquifère localisé près de la ville d'Evora dans la région de l'Alentejo au Portugal.

I.6- Méthode SINTACS

La méthode SINTACS (**Civita, 1994**) est la version italienne de la méthode DRASTIC : c'est une adaptation de cette méthode aux conditions méditerranéennes. Cette méthode prend en considération les mêmes paramètres que la méthode DRASTIC avec des poids et des cotes différentes. L'acronyme SINTACS correspond aux initiales des sept facteurs suivants : la profondeur du plan d'eau (S = Soggiacenzia), la recharge efficace de l'aquifère (I = infiltrazione), l'effet de l'autoépuration de la zone vadose (N = effeto di autoepurazione del non-saturo), la zone non saturée, le type de sol (T = tipologia della copertura), les caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère (A = caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero),

La conductivité hydraulique de l'aquifère (C = conductibilità dell'acquifero) et la pente topographique (S = l'acclivita della superficie topografica). La spécificité de cette méthode consiste au fait qu'elle propose cinq scénarios différents :

- Scénario « Impact Normal » : scénario relatif aux aquifères constitués par des sédiments non consolidés avec une profondeur de la nappe qui n'est pas très élevée, localisés dans des aires à sols épais. Les zones relatives à ce scénario correspondent aux régions stables, de point de vue occupation des sols, avec existence ou non de terres cultivées, une utilisation faible de pesticides, de fertilisants et d'irrigation, et des périmètres urbains très dispersés;
- Scénario « Impact Sévère » : correspond aux mêmes types d'aquifères soumis à une occupation des sols intensive, avec des terres cultivées à forte utilisation de pesticides, de

fertilisants et d'irrigation, des implantations industrielles et urbaines denses, et des dépôts liquides et solides de déchets;

- Scénario « Drainage important à partir d'un réseau superficiel » : scénario relatif aux aires où il y a une forte infiltration vers l'aquifère à partir d'un réseau superficiel d'eau;
- Scénario « Terrain très karstifié »;
- Scénario « Terrain fissuré ».

Les poids attribués aux différents paramètres dans les différentes versions SINTACS sont présentés dans le tableau 02. Quatre classes de vulnérabilité peuvent être identifiées selon les valeurs des indices de vulnérabilité (Tableau03). (Mohamed. H. H et al, 2008).

Tableau .02 : Poids attribués aux paramètres SINTACS dans les différents scénarios de méthode. (Mohamed. H. H et al, 2008).

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

Tableau. 03 : Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode SINTACS.

(Mohamed. H. H al, 2008).

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Faible	< 106
Moyen	106 - 186
Élevé	187 - 210
Très élevé	> 210

I.7-Qualité des eaux souterraines :

L'eau souterraine est généralement de meilleure qualité que l'eau de surface, en raison du pouvoir épurateur du sol¹. Cette eau présente ainsi un grand intérêt comme source d'approvisionnement en eau potable. D'ailleurs, la qualité de l'eau souterraine est souvent évaluée en fonction de sa conformité aux normes de qualité d'eau potable du Québec et aux recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada. Ces normes et recommandations déterminent dans quelle mesure une eau est propre à la consommation humaine. Des facteurs naturels ou humains viennent néanmoins affecter sa qualité par endroits, voire compromettre son usage.

Les études réalisées sur les eaux souterraines permettent notamment de localiser les sources de contamination et de mieux évaluer la vulnérabilité des aquifères. Certains portraits de la qualité de l'eau souterraine sont réalisés à une échelle régionale et caractérisent principalement la présence d'éléments chimiques d'origine naturelle associés aux formations géologiques. D'autres portraits ciblent des secteurs plus restreints et des paramètres particuliers, dont les pesticides et les microorganismes.

I.7.1- L'hydrochimie des eaux souterraines :

L'étude hydrogéochimique des eaux de la nappe alluviale de Khemis Miliana permet de dire que :

- Les eaux sont caractérisées par une forte minéralisation et par la présence de plusieurs faciès le plus dominant le chloruré, qui sont le chloruré calcique, le chloruré sodique, le sulfaté calcique et localement bicarbonaté calcique ;
- La répartition spatiale des éléments chimiques montre que le chimisme est fortement liée lithologie de la nappe, suite à la dissolution des formations carbonaté et des formations évaporatiques au sud de la région
- Le suivi spatial de la qualité des eaux a montré l'effet de la contrainte de contamination, qui s'est manifesté par une évolution de la minéralisation des eaux souterraines ;

Une contamination de la nappe par les nitrates qui proviennent du lessivage des engrais et le rejet des eaux industrielle et domestiques dans les cours d'eaux et sols qui sont en relation avec la nappe souterraine.

I.8-Conclusion

La restauration d'un aquifère polluée par des sources diffuses ou ponctuelles est irréalisable à l'échelle régionale, l'approche préventive face à la contamination des aquifères depuis la surface apparaît comme la seule option envisageable.

L'estimation du niveau de vulnérabilité des aquifères est un outil indispensable pour la gestion durable de la ressource en eau souterraine.

L'estimation de la vulnérabilité des aquifères à la pollution fait appel à l'ensemble des processus impliqués dans un système hydrogéologique, depuis l'estimation de la recharge jusqu'à la dynamique de l'écoulement souterrain et au transport de soluté. L'estimation de la vulnérabilité à la pollution de l'eau souterraine rencontre encore un certain nombre de difficultés, spécialement pour avoir des résultats quantitatifs. Ceci est dû au fait qu'à chacun des paramètres impliqués est associé à un niveau d'incertitude, que les processus mis en jeu sont complexes et qu'ils se combinent.

II- Localisation géographique de la plaine de Khemis Miliana

II.1-Contexte régional :

La plaine alluviale Khemis distante de 120 Km au Sud Ouest d'Alger à 25 km du l'est de Chef – lieu de la wilaya Ain defla .elle appartient au bassin versant dit haut Cheliff .elle apparait sous la forme d'une dépression intra-montagneuse.

Elle couvre sept communes qui sont entre autre : **Arib, sidi lakhder, Khemis Miliana, Ain Sultane, Djendel, Bir Ould Khelifa et Djelida.**

II.2- Contexte local :

La plaine alluviale du Khemis Miliana appelée aussi plaine d'affreville appartient à la wilaya d'Ain defla. Elle a une superficie de 359 Km². Elle est limitée au Nord par les monts du Zaccar, Au Sud par les contreforts de l'Ouarsenis, à l'Ouest par le massif de Doui et à l'Est Par Djebel Gontas.

Elle est caractérisée par une pente relativement faible (15%). (**Hattab. M ,1998**). Elle est bordée au Nord par des cônes de déjection qui constituent la zone de transition entre la vallée et la montagne.

La plaine est comprise géographiquement entre les coordonnées, 36°12' et 36°17' de latitude Nord, entre les communes celui de Bir-Ouled-Khelifa et le sud Miliana, et 2°12' et 2°17' de longitude Est, soit entre seuils de djebels Doui et Gontas.

La plaine alluviale de khemis Miliana est marquée comme une zone à vocation agricole nécessite une irrigation a cause d'un climat continental semi- aride avec des étés très secs et hivers pluvieux qui provoquent parfois des inondations de l'oued Cheliff.

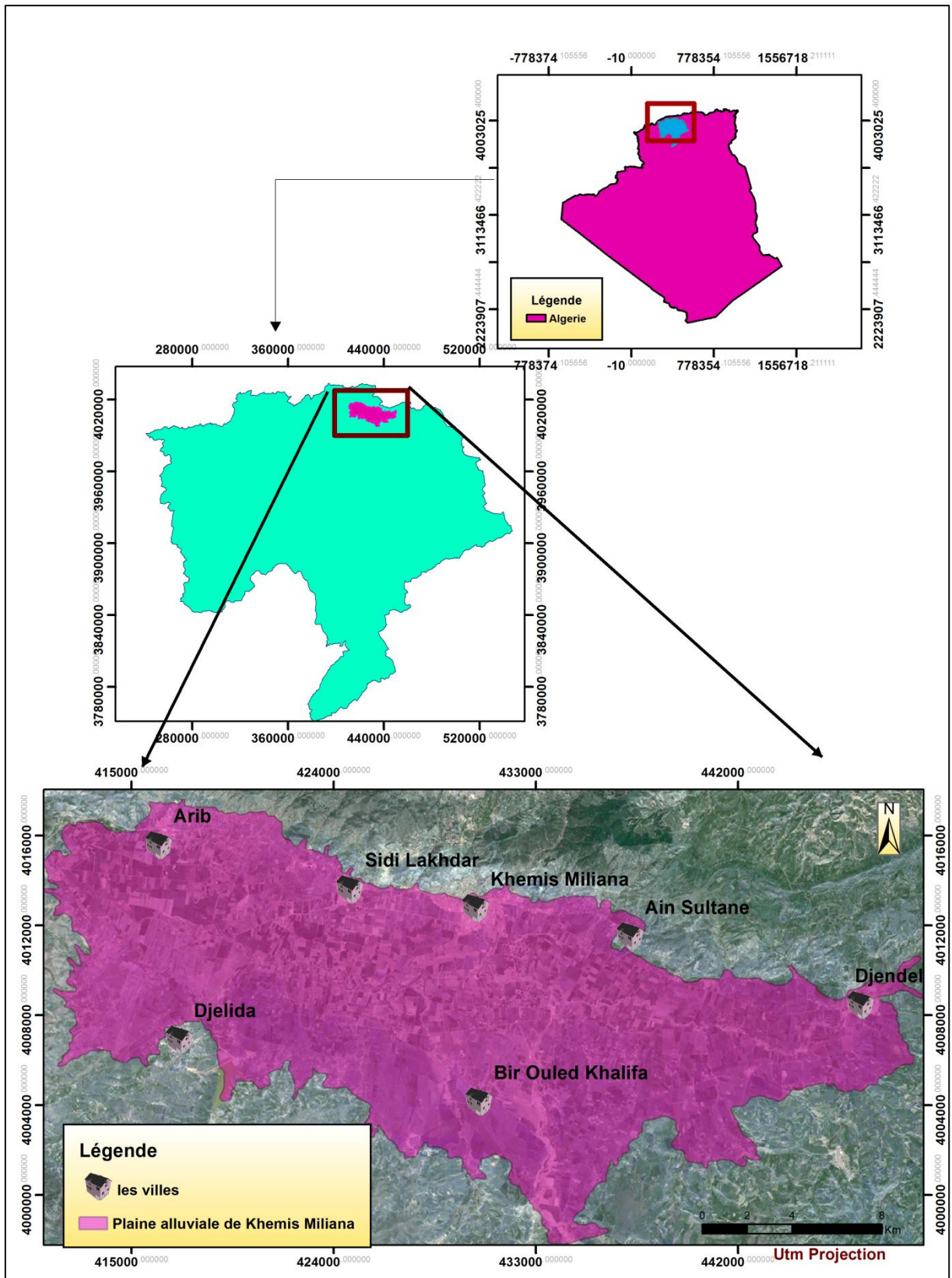


Figure.1. Carte de la situation géographique de plaine alluviale de Khemis Miliana.

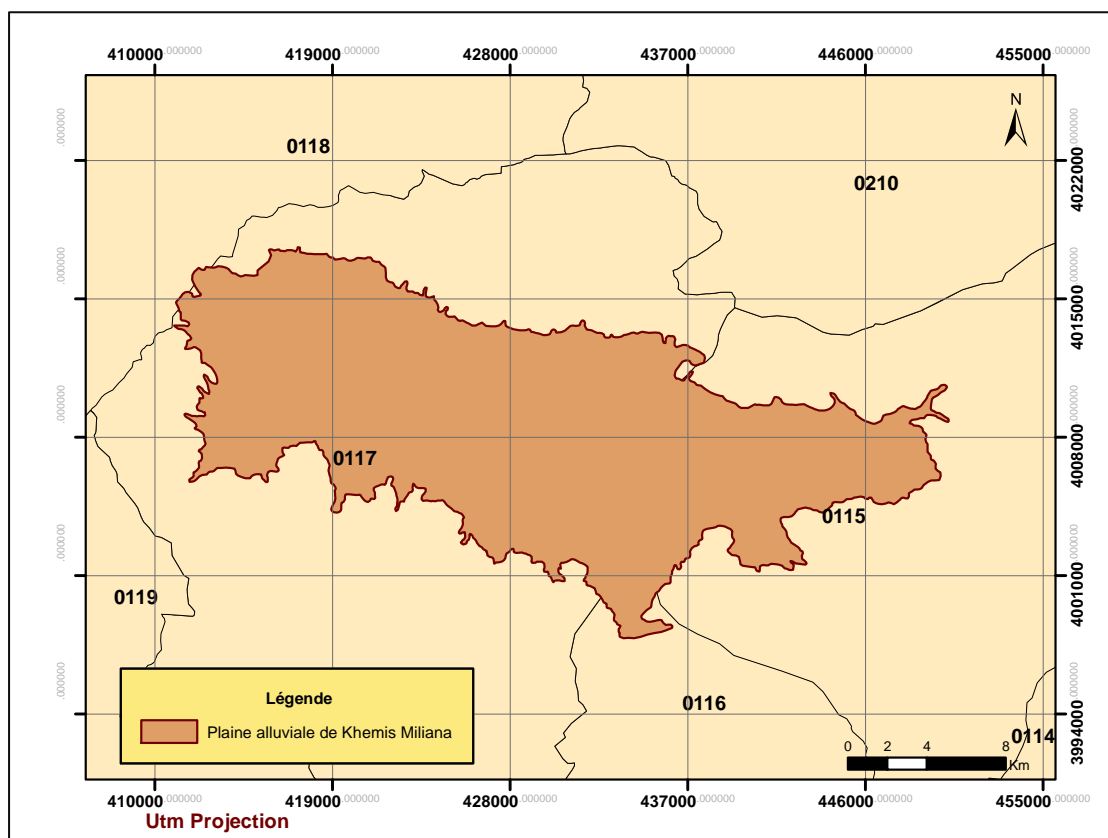


Figure. 02. Carte de la situation géographique de la plaine alluviale de Khemis Miliana par à pour les sous bassins versants.

Habitat :

La population dans le bassin versant du haut-Chélif à la fin 2011 était à 809105 habitants avec un taux d'accroissement de 1,3% dont 82,55% sont concentrés en zones agglomérées et 17,45 % uniquement en zone rurale.

Cette population est plus condensée dans les agglomérations qui sont localisée au Nord de la plaine.les plus significatives sont respectivement d'Est en Quest: Djendel, Ain sultan, Khemis Miliana, Sidi Lakhdar et les Aribes, malgré qu'au Sud de la plaine les agglomérations sont minimales et moins denses, les plus marquées sont sans Djelida et Bir Ouled Khalifa (Kouadri.N et Benharkate.F 2010).

II.3- Contexte géomorphologique :

L'unité hydrogéologique des alluvions du quaternaire a été identifiée par vectorisation afin de définir ses paramètres géométriques (superficie et périmètre).La plaine dite aussi plaine

du haut Cheliff est d'une superficie de 359.5km² et périmètre 159.3km le tableau suivant résume les principaux paramètres physiographiques :

Tableau .04.Paramètres physiographiques du bassin versant (Bong.I ; Mezaine, 2013).

Paramètre de formes			
Code	Nom de Sous bassins		Rectangle équivalent (Roche)
0115	O.Chélif Harbil	Kc	Longueur Lr (Km) Largeur Lr(Km)
0116	Deurdeur	1.66	71.60 11.18
0117	O.Chélif Harrezza	1.72	78.92 10.75
		1.45	58.13 13.18
Paramètres géométriques Plaine de Khemis Miliana			
Surface de la plaine (Km ²)		Périmètre de la plaine (Km)	
359.5		159.3	

Relief

La valeur des pentes du relief est un paramètre que l'on recherche en hydrogéologie. En général, le risque de contamination des eaux souterraines diminue en effet, avec l'augmentation de la pente du terrain, puisqu'une pente forte favorisera le ruissellement, réduisant par le fait même le risque d'infiltration des contaminants.

Les pentes peuvent être calculées de façon numérique à l'aide d'un modèle numérique d'altitude permis de présenter les altitudes en 3 dimensions. Ce document cartographique informatisé appelé modèle numérique de terrain (MNT) prend actuellement une place stratégique dans la cartographie numérique et dans les études hydrogéologiques et hydrologiques.

Dans la plaine de Khemis Miliana, la topographie sera donc représentée par un modèle numérique de terrain MNT. A fin d'analyser les caractéristiques morphologiques de la zone d'étude, nous avons généré un modèle numérique de terrain MNT. Le calcul morphométrique, y compris le calcul de la pente, ainsi que la classification des altitudes ont été extraits avec les modules d'ArcGis en passant par l'analyse spatiale Raster.

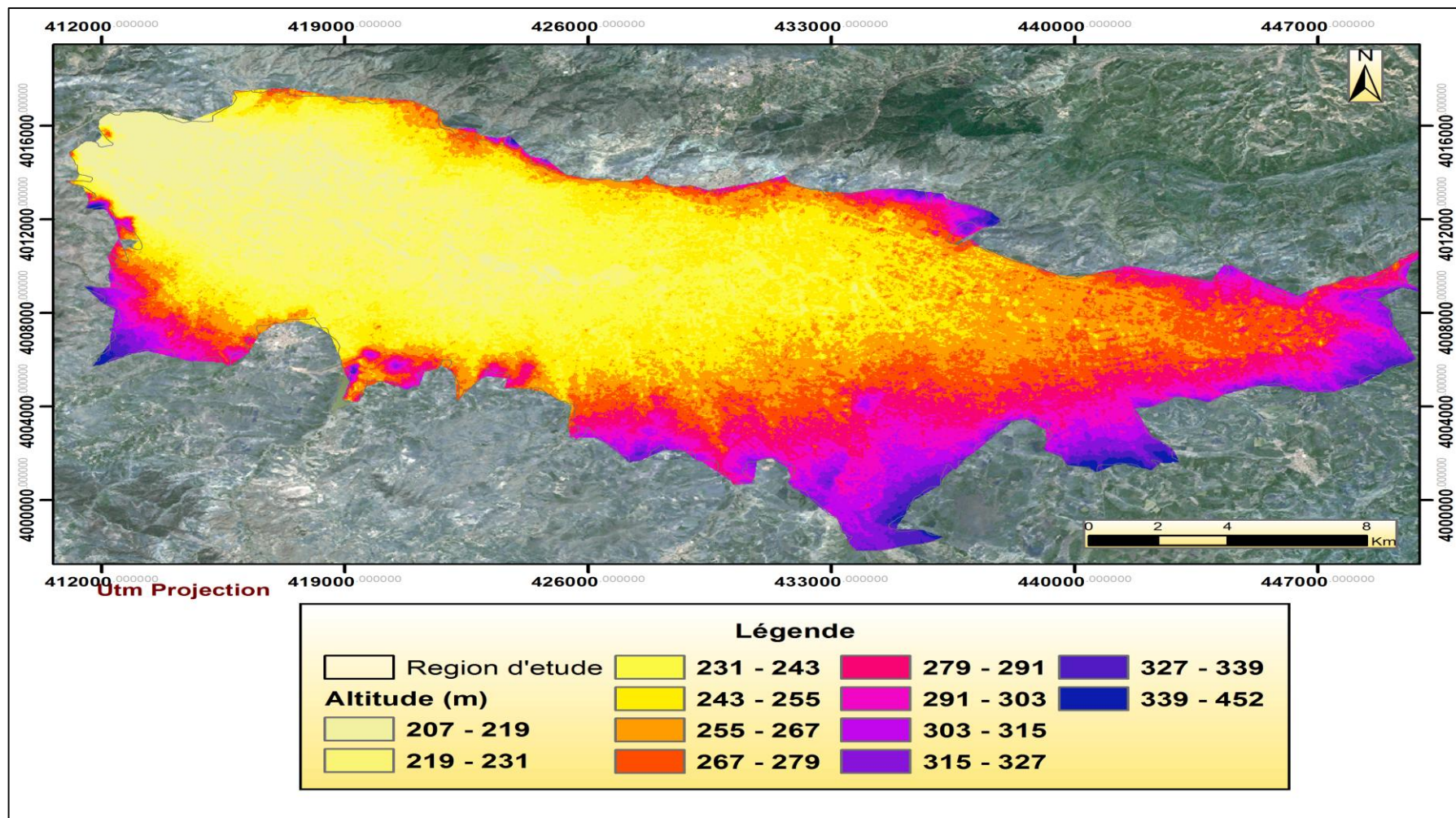


Figure.3. Représentation topographique de la plaine alluviale de Khemis Miliana sous forme numérique.

II.4- Hydroclimatologie :

Le climat de Khemis Miliana est caractérisé par un climat semi aride avec des influences sahariennes en été, et des influences méditerranéennes en hiver, les précipitations annuelles présentent une variabilité interannuelle importante caractéristique d'un régime pluviométrique irrégulier.

II.4.1- Régime pluviométrique :

L'étude pluviométrique de la plaine de Khemis Miliana est basée sur les données de quelque station (généralement sont neuf stations), ces données provient de l'ANRH avec une période de 30 ans et assurée par ONM, dans notre zone d'étude la repartions de pluviomètres est homogènes et les poste pluviométriques réalisée de façon plus ou moins agissante à la plaine, cette répartition couvre toute sa superficie.

Tableau .05 : Caractéristiques des stations pluviométriques, d'après A.N.R.H Période (1980-2014).

station	Code	X(m)	Y(m)	Z(m)	Pm (mm)
Ababssa	01-17-15	414166,16	4002034,5	317	349.05
Arib Chellif	01-17-02	412561,16	4016440,25	230	407.22
Khemis Miliana	01-17-17	431848,16	4012029,25	285	394.24
Barrage de Harraza	01-17-18	428376,88	4005240,25	315	373.52
Ain Sultane	01-15-12	437142,94	4010312,5	295	398.08
Sidi Lakhdar	01-17-11	425052,56	4013500,5	250	378.58
Ain Defla	01-18-04	407652,56	4013805	270	423.66
Grib chellif	01-14-07	460267,69	4002141,5	460	454.6
Sidi Mokrifi	01-16-06	436173,91	3988065,25	540	374.59

II.4.1.1- Précipitations moyennes mensuelles :

D'après les analyses des précipitations moyennes mensuelles observées à l'aide des stations utilisées, nous constatons que la répartition est caractérisée par deux saisons bien distinctes :

- Une saison humide novembre à janvier, où la pluviométrie atteint le maximal (barrage Ghrib)
- Une saison sèche entre juin à aout.

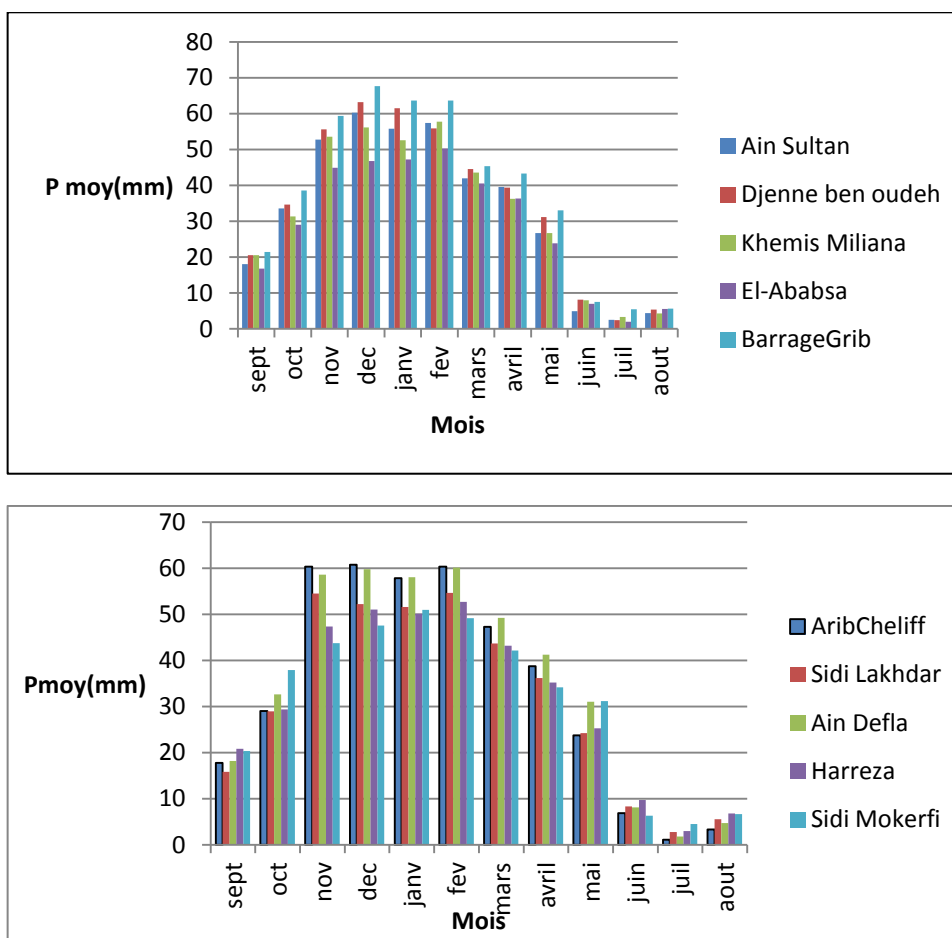


Figure .04. Variation temporelle des précipitations moyennes mensuelles(1980-2014).

II.4.1.2- Précipitation moyenne annuelle

Les stations pluviométriques utilisées dans le calcul de la pluie moyenne annuelle ou module pluviométrique, de la zone d'étude. D'après l'analyse des données, la majorité des stations sont en observation depuis 30 ans pour la présente étude.

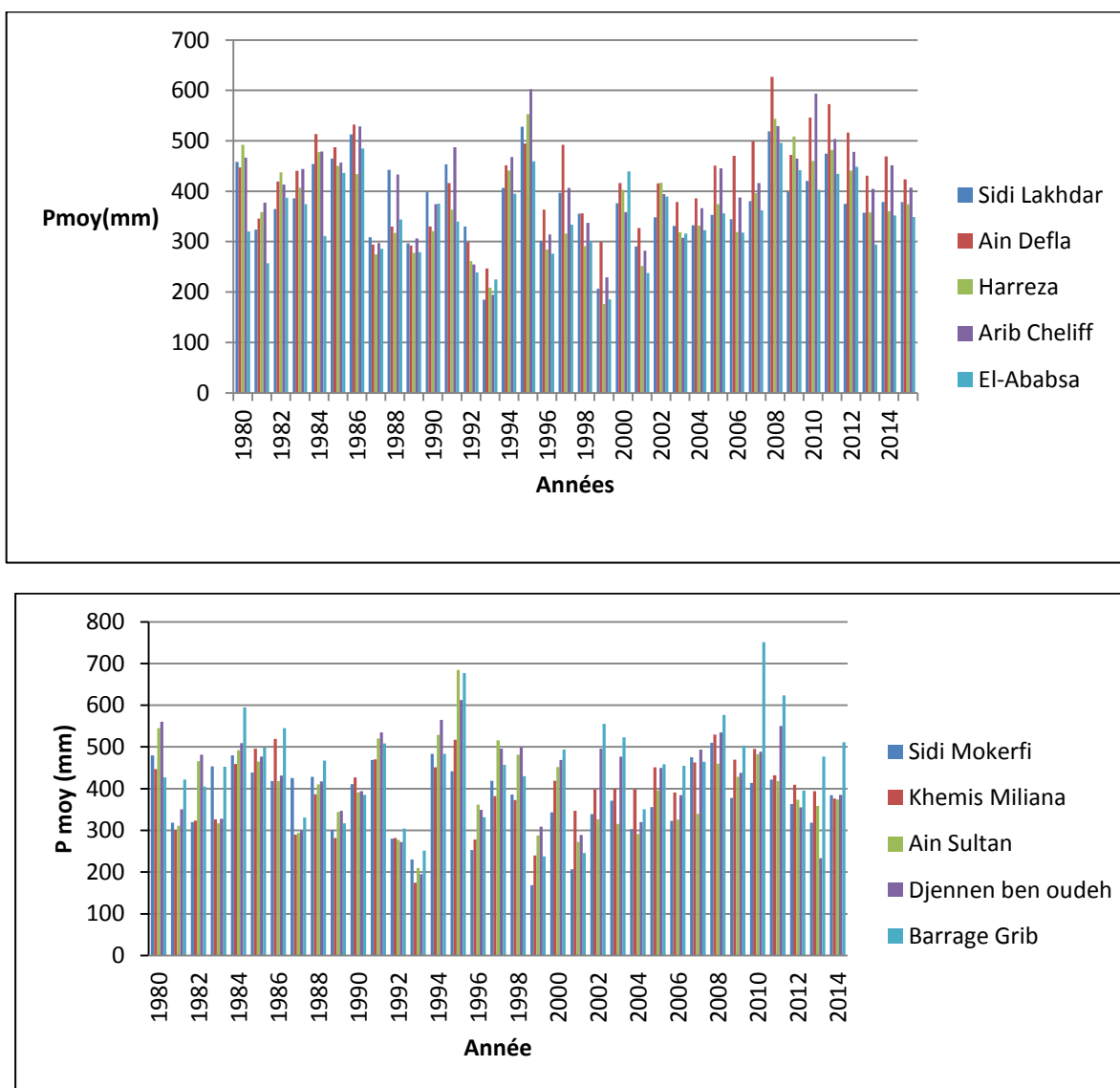


Figure .05. Variation temporelle des précipitations moyennes annuelles (1980 -2014).

L’analyse temporelle des précipitations des stations pluviométriques d’Ain Sultane, nous montre, que l’année 1993 est l’année la plus sèche, tandis que celle de 1995 est la plus humide avec une précipitation annuelle de 684.5 mm pour une période qui s’étale de 1980-2014.

Celle de la station de Khemis-Miliana, l’année 1993 est considérée comme la plus sèche pour la même station, l’année 2008 est plus humide avec des Précipitations annuelles de 529.6mm. La station des Arib Chélif nous révélait aussi que l’année 1993 est la plus sèche, celles de 1995 et 2010 sont les plus humides avec des précipitations de 602.5 mm et 593.2mm. Et enfin la station d’el Ababsa, l’année 1999 est considérée la plus sèche, par contre, et pour la même station, les années 2008 et 1986 ont été identifiées comme humides avec des précipitations annuelles de 495.5 mm et 484.6 mm. la station de Ghib Chélif, l’année 1993 est considérée la plus

sèche dont la même station les années 2010 et 2011 ont été identifiées comme humides avec des précipitations annuelles de 751.2mm et 623.3mm.

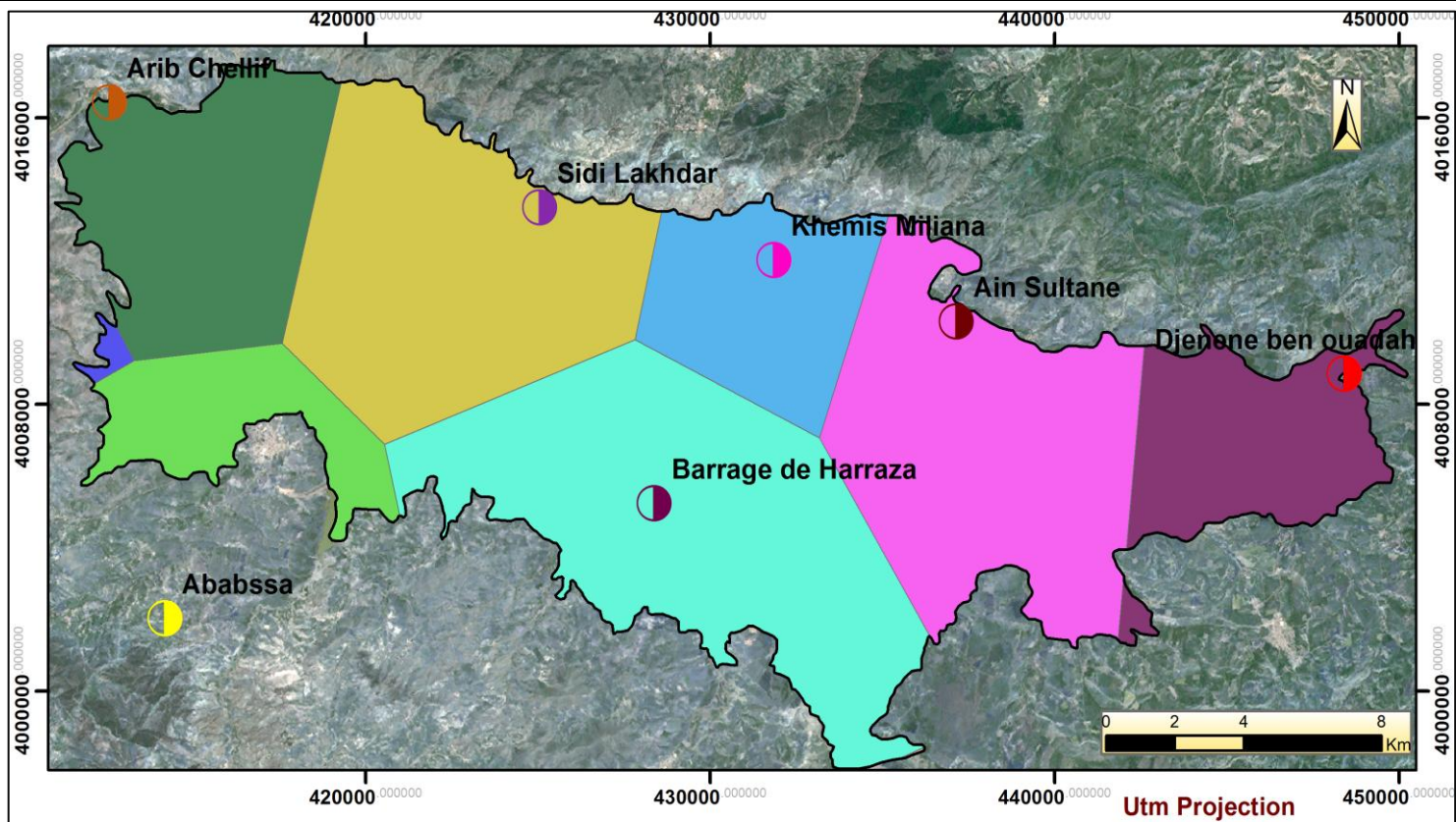
II.4.1.3- Détermination de la lame d'eau précipitée par la méthode de Thiessen

La méthode de Thiessen est généralement utilisée, son application donne en général des résultats fiables. Elle convient notamment quand le réseau pluviométrique n'est pas homogène spatialement (Distribution spatiale irrégulière des pluviomètres).

Cette méthode permet d'estimer des valeurs pondérées en prenant en considération chaque station pluviométrique. Elle affecte à chaque pluviomètre une zone d'influence dont L'aire exprimée en %, représente les facteurs de pondération de la valeur locale.

$$P_{\text{moy}} = \frac{\sum A_i * P_i}{A} = \frac{128659614283.7}{331296727.5} = 388.4\text{mm} \quad (\text{Eq.1})$$

P_{moy} : précipitation moyenne sur le bassin, Air total de bassin = ($\sum A_i$) ; P_i : précipitation enregistrée à la station i, A_i : superficie du polygone associée à la station i.



Légende

- stations pluviométriques
- Arib Chellif(407 mm)
 - Ababssa(349 mm)
 - Ain Defla(424 mm)
 - Ain Sultane(398 mm)
 - Barrage de Harraza(374 mm)
 - Ghrib cheliff(455 mm)
 - Khemis Miliana(394 mm)
 - Sidi Lakhdar(379 mm)
 - Sidi Mokrifi(375 mm)
 - Djenene ben ouadah(423 mm)

Figure. 6. Carte de réparation spatiale de précipitation moyenne annuelle par polygone de Thiessen (2014).

II.4.2- Analyses des températures

Dans cette partie on va traités les températures moyennes mensuelles pour les stations de barrage Harraza et Khemis Miliana ITGC.

II.4.2.1-Températures moyennes mensuelles

Les moyennes mensuelles des températures enregistrées au niveau des stations du barrage Harraza et l'ITGC de Khemis Miliana sont représentées la figure suivant :

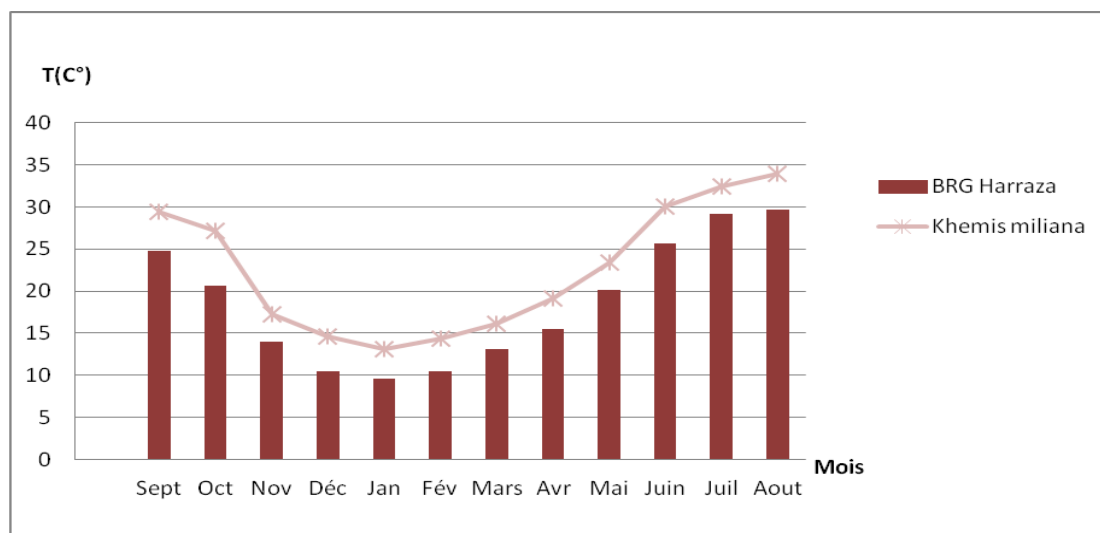


Figure. 07. Variation temporelle de température mensuelle (1980-2014).

- Un pôle froid allant du mois de décembre au mois d'avril ou la température atteint 9.55°C dans la station de barrage Harreza et 10.17°C dans la station de Khemis Miliana ANRH.
- Un pôle chaud allant du mois de Mai au mois de novembre ou la température atteint 29.68°C dans la station de barrage Harreza et 30.3°C dans la station de Khemis Miliana ANRH.
- Pour les températures moyennes mensuelles minimales on constate une température minimale extrême de 6.3°C et 7.1°C est enregistré au mois de janvier dans les deux.
- Pour les températures moyennes mensuelles maximales on constate que la température maximale extrême de 34.3°C (ANRH - BGE Harreza) est enregistrée au mois de Juil.

II.4.2.2- Température moyenne annuelle :

La mesures des températures s'effectuent sous abri normalisé à 1.50 m au dessus du sol, les températures sont saisonnières et leurs variations sont régulières pendant le temps, les seules

les données qu'on a pu avoir sont celles du barrage Harrezza et du poste pluviométrique de Khemis Miliana.

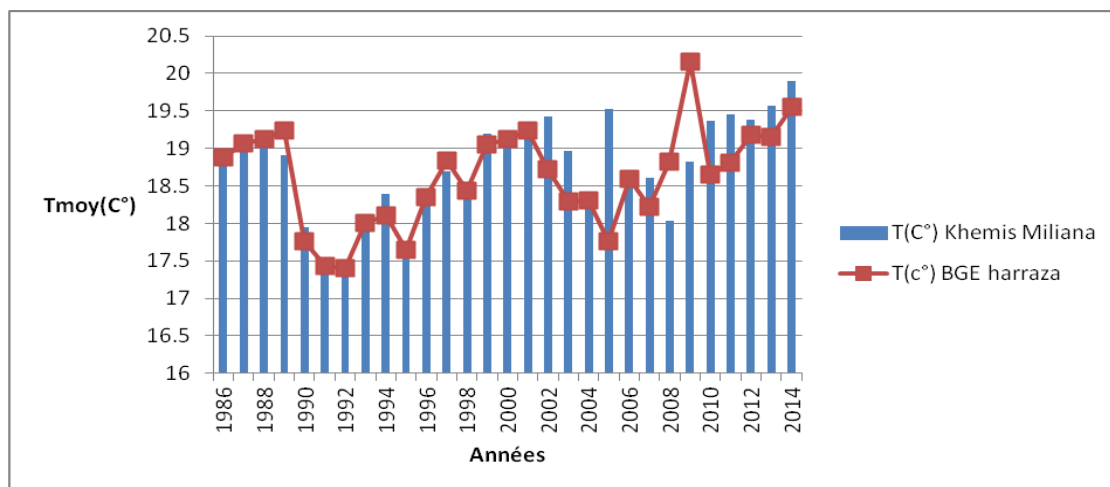


Figure. 08. Variation temporelle de température annuelle (1980-2014).

D'après les analyses des températures moyennes annuelles de la période qui s'échelonne entre 1980-2014 ; la Température moyenne annuelle varie à la proximité de 19.20°C dans Khemis Miliana et 18.77°C dans le barrage harraza qui correspond à une zone semi aride.

II.4.3-Diagramme Ombrothermique de Gaussen

Le Diagramme Ombrothermique de Gaussen (1953) ou le Climagramme pluviométrique de Gaussen est une représentation graphique de variation de précipitation et de température en fonction du temps (mois) qui nous permet de déterminer la période sèche et humides d'une région.

Le cumul des mois secs constitue la saison sèche. Pour vérifier cette relation, on doit adapter une échelle qui la concrétise ($P \leq 2T$) ; c'est la zone où la courbe de P passe en au dessous de celle 2T.

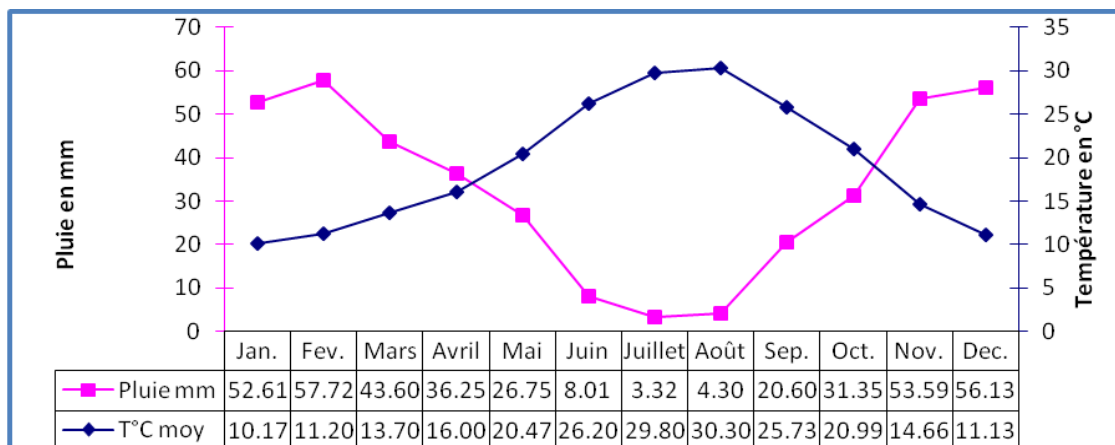


Figure.9. Diagramme Ombrothermique de Bagnoles et Gausсен 1987-2014 (Plaine de Khemis Miliana).

D'après les résultats donc une longue période de sécheresse est révélée, elle s'étale sur six mois sont secs, allant la fin de mois d'Avril jusqu'à fin de mois d'octobre.

II. 5-Réseaux Hydrographique

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturel ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement.

Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importants du bassin et peut prendre une multitude de forme.

La plaine d'alluviale de Khemis Miliana est traversée d'Est en Ouest par Oued Cheliff et ses Principaux affluents qui alimentent la zone et qui sont Oued Souffay, Millet et Boutane au Nord, Deurdeur, Massine et Harreza au sud.

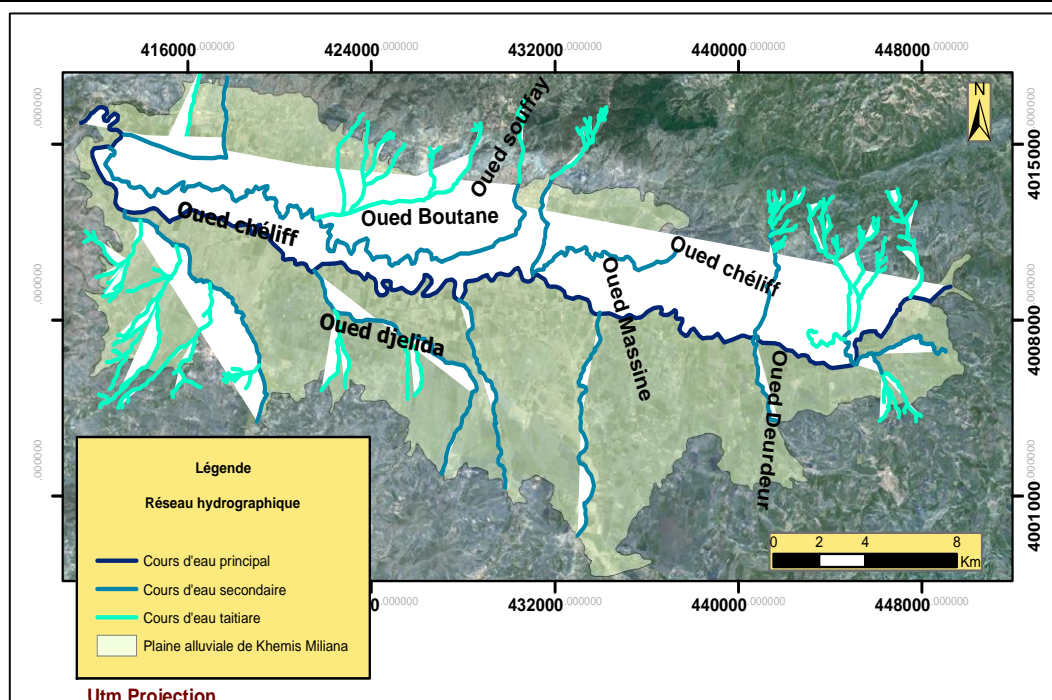


Figure. 10. Répartition spatiale de réseau hydrographique de la plaine alluviale de Khemis Miliana.

Tableau. 06. Réseau Hydrographique (Bong.I ; Mezian.IS ,2013).

Oued (cours d'eau)	Chélif	Souffay	Millet et Butane	Deurdeur	Massine	Harreza	Djelida
Longueur (m)	59275.67	4305.85	30897	5171	6424	10273	5665
Direction d'écoulement	E-W	N _{NE} -S _{SO}	E-W	S _{SO} -N _{NE}	S _{SE} -N _{NO}	S _E -N _O	E _{SE} -O _{NO}

II. 6-Cadre géologique

La plaine proprement dite est constituée par des alluvions récentes du Cheliff, formée de galets, graviers, sables sous jacents à des niveaux argileux et limoneux dominant. On note les alluvions anciennes de nature très diverse mais à fort pourcentage argileux en général. En fin une carapace calcaire de tufs blanchâtres, compacts ou pulvérulents est particulièrement développée au sud de la plaine.

II. 6.1-Lithologie de la plaine de Khemis-Miliana

De point de vue litho stratigraphique, les terrains affleurant au niveau de la région étudiée sont constitués de la base au sommet par la succession suivante

➤ Crétacé :

Le Crétacé affleure sur les pourtours de la dépression du Cheliff où il est formé la base au sommet par :

- **Le Néocomien** : qui affleure au niveau des flancs Nord et Ouest du Zaccar, où il est formé par une puissante série d'argile de schistes et grès schisteux d'une épaisseur de 800 à 1000 mètres. Dans la région de Bou Maad cette série est surmontée par les calcaire zoogénies d'une épaisseur de 10 à 30 mètres.
- **L'Albo- Aptien** : est formé par des terrains à faciès flysch affleurant au Nord de la zone d'étude. Il est constitué par une série de 1000 mètres d'épaisseur, représentée par des schistes plissés alternant avec des bancs de quartzites.
- **Le Cénomaniens Vraconiens** : d'une épaisseur de 20 à 60 mètres constitué par une série de calcaires noirs alternant avec des marno-calcaires. Au Sud de la région étudiée le Cénomaniens Vraconiens montre à la base des calcaires et des schistes phosphatés.
- **Le Sénonien** : qui a été décrit au Nord Est du col des Righas où il est représenté par des marnes à rognons et calcaires et des intercalations de bancs de calcaires et marnes.
- **L'Oligo-Eocène** : il est formé par une série nummulitique affleurant au Nord de la vallée du Chélif, constituée essentiellement par 100 mètres des schistes bariolés à nodules siliceux, de gés et de quartzites. (Batran.S, Mazaini.B, 2008).

▪ Miocène :

Qui constitué de la base au sommet par :

- **Le Burdigalien** : qui est constitué par des calcaires à polypiers dont les affleurements est bien visibles à l'Est de Levacher où l'épaisseur atteinte les 1000 mètres environ. Le toit du Burdigalien est constitué par des marnes dites cartésiennes d'une épaisseur de 100 à 300 mètres.

- **Le Vindobonien** : comprend e bas en haut ;
 - ✓ Une série de calcaires à lithothamnium rognon eux affleurant à l'Est de la région d'étude.
 - ✓ Des grés et poudingues constitués de sables friables bien développés à l'Est e la plaine.
 - ✓ Des argiles dites helvétiques, d'une épaisseur de 200 mètres affleurent dans la partie nord-ouest du secteur et passant dans la partie supérieur aux grés de Gontas par l'intermédiaire d'assises gréseuses.
 - ✓ Des grés et poudingues du Gontas composés de grés sableux et de bancs de poudingues, discordant sur le Crétacé et peut êtres sur le Burdigalien. Au Nord d'Ain Sultan cette série montre une épaisseur de 100 mètres. (**Batran.S, Mazaini.B, 2008**).
- **Mio-Pliocène** : Qui représenté par :
 - Des grés, des poudingues, des argiles détritiques discordant sur le Vindobonien. Entre El-Khemis et Littré, cette série s'enfouit sous les alluvions anciennes de la plaine de Chélif où elle a été traversée sur plus de 100 mètres d'épaisseur par des sondages.
 - Des travertins déposés par un écoulement ancien des sources du Zaccar et montrant des épaisseurs dans les environs de la localité de Miliana. (**Batran.S, Maziani.B, 2008**).
- **Quaternaire** : Qui généralement représenté par :

Le Quaternaire ancien : est formé par :

 - Une carapace calcaire, compacte recouvrant indifféremment tous les terrains, et bien développée au niveau de la bordure Sud de la plaine de Chélif.
 - Des alluvions anciennes correspondant aux niveaux supérieurs de la terrasse qui domine de plus de 20 m la vallée de l'oued Ebda, et aux niveaux inférieurs mieux cimentés 'une épaisseur de 50 mètres dominants les cônes de déjection. (**Batran.S, Maziani.B, 2008**).
- **Le Quaternaire récent** : qui est essentiellement constitué par :
 - Des alluvions récentes constituées par de cailloutis avec des bancs d'argiles et de limons, couverts par un sol organique.

- les éléments des cônes de déjection des vallées atlastiques mélangés aux limons provenant par l'intermédiaire des apports du Chélif.

- Des alluvions et limons, en partie Eoliens, occupant les hautes vallées dans la dépression située au sommet de Zaccar Gharbi.

Les éboulis de pente, en grande partie constitués de calcaires ou schistoquartziteux de la série de Zaccar contenant des fragments de taille variable plus ou moins consolidés. Ils formaient d'épaisses carapaces masquant le substratum. (Batran.S. Mazaini.B, 2008).

II. 6.2- Stratigraphie

Les séries stratigraphiques ou bien la succession lithologique de la plaine du Haut Cheliff s'étalent du primaire jusqu'au l'âge du quaternaire.

✓ **Le Primaire:** est constitué d'une alternance des schistes noirs graphiteux et des bancs de quartzites et d'argiles. il affleure de Djendel Doui, au Nord Est du Zaccar.

✓ **Le Trias:** est généralement constitué des dolomies et des calcaires dolomitiques, il affleure dans le massif de Doui et de Zaccar.

✓ **Le Crétacé:** le Crétacé affleure sur les bordures latérales de la plaine, IL est représenté de la base au sommet par :

- Des faciès flysch de l'Albien qui se développent dans le massif de Boumaad.

- Des argiles schisteuses du Néocomien, d'une épaisseur de 800 m environ au Nord et à l'Ouest du Zaccar.

- Des marnes avec des intercalations des bancs de calcaire d'âge Sénonien.

✓ **Le Miocène:** Le Miocène peut atteindre 300 m d'épaisseur, il est constitué de la base au sommet par :

▪ **Le Miocène inférieur (Burdigalien) :** repose sur des terrains plus anciens Eocène et Crétacé, qui débutent par une formation conglomératique d'épaisseur environ 220 m.

Cette formation est constituée essentiellement par des conglomérats polygéniques à des éléments de taille très variables, mal triés, avec des niveaux sableux ou gréseux mal stratifiés parfois gypsifères. Au sommet, les niveaux conglomératiques deviennent plus fins et passent progressivement à des marnes gréseuses rouge à brune verdâtre.

- **Le Miocène supérieur (Vindobonien) :**

Est une série qui représente de la base au sommet : Des Niveaux conglomératiques épais de 1 à 2 m, à ciment sablo-marneux, surmontés par un Niveau marneux de couleur bleu, d'une

épaisseur d'environ 50 m ; des marnes blanches Alternant avec quelques bancs siliceux couronnés par un dépôt de grés et de sable, d'une épaisseur de 100 m environ. Une formation marneuse de couleur bleue, présentant un faciès argileux, parfois gypseux d'environ 90 m d'épaisseur.

- **Le Mio-Pliocène** : le Mio-Pliocène est constituée par les cailloutis et des galets quartzeux, des Conglomérats, des grés et des argiles détritiques, ainsi que le Travertin ancien déposé au niveau des sources du Zaccar.

✓ **Le Pliocène**: on distingue un Pliocène continental et un Pliocène marin:

Le Pliocène inférieur (Pliocène marin) : est représenté par une série Marneuse qui débute par des niveaux détritiques gréseux ou sableux et parfois conglomératiques, ensuite on a un Passage progressif dans la partie supérieur à des marnes sableuses et sables argileux, formant tous les termes de passage aux grés Astien. Les grés, avec une épaisseur d'une centaine de mètres constituent, une bande continue depuis l'Ouest d'Abaddia vers le versant Sud du Dahra.

L'Astien : est représenté par une série marine finement sableuse ou Gréseuse de couleur jaune fauve. Les grés sont souvent à ciment calcaire, localement passer à des calcaires gréseux.

- **Pliocène supérieur (Villafranchien)** :

Le Pliocène continental est formé de conglomérats à éléments gréseux à grésocalcaires et des sables, non consolidés. Les dépôts sableux rouges à stratifications entre croisées qui succèdent aux Conglomérats précédents appartiennent au Villafranchien. Ces dépôts reposent le plus souvent Sur des limons grés.

Parfois les conglomérats du Pliocène supérieur n'existent pas, et les Formations rouges du Villafranchien se trouvent alors en contact avec des grés Astiens ; d'ailleurs, au Sud de Cheliff sur la bordure de l'Ouarsenis, le Pliocène disparaît Complètement. A ce niveau, le Quaternaire recouvre directement les grés du Miocène.

✓ **Quaternaire**: les dépôts quaternaires sont continentaux; on distingue un Quaternaire ancien et un récent.

- **Quaternaire ancien** :

Est représenté essentiellement par des alluvions conglomératiques : galets, graviers et sables. Les alluvions du Quaternaire ancien sont observées au pied du massif du Zaccar, et en particulier à l'Est de Sidi- Lakhdar ; elles forment les vastes collines en bordure Sud de la plaine du haut cheliff.

- Quaternaire récent :

Le quaternaire récent est formé essentiellement de limon, dont l'épaisseur varie de 25 à 200 m, on y distingue de haut en bas :

- Des limons bruns à rouges, les niveaux les plus anciens sont discordants sur le quaternaire ancien. Ces limons recouvrent la presque totalité de la dépression sous forme d'alternance sablo- gréseuse.
- Des grés, visibles surtout sur les berges des oueds, forment des accumulations des niveaux très fins dont les épaisseurs peuvent atteindre les cinq mètres, ce sont d'anciens vases asséchés. Ces formations proviennent de l'érosion des reliefs avoisinants.
- Des alluvions actuelles formées par des limons, des sables, des galets et des cailloutis au fond des talwegs et dans les zones de confluences des oueds et des méandres abandonnées. **(Kahila.A et Achour.K, 2008).**

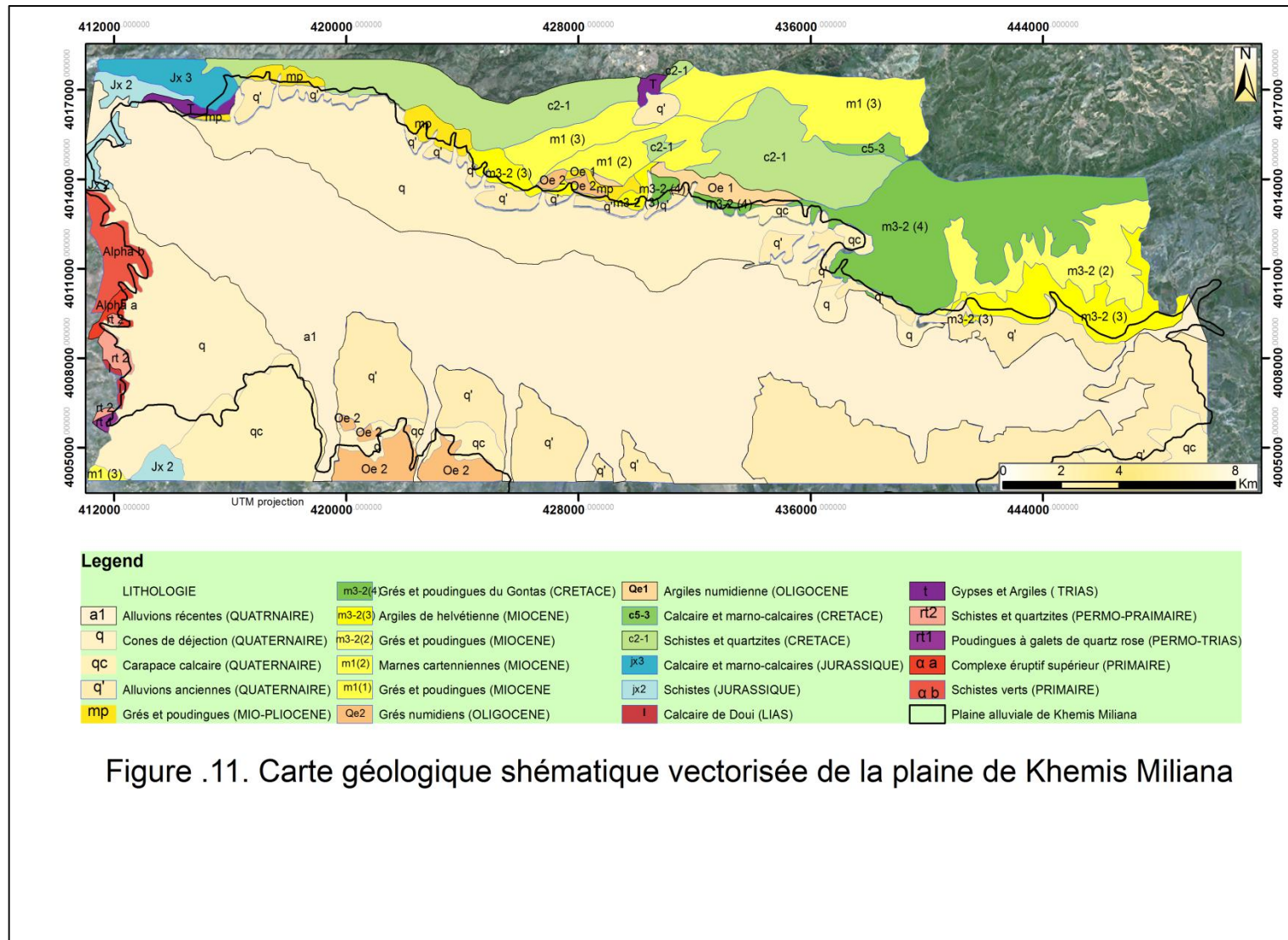


Figure .11. Carte géologique schématique vectorisée de la plaine de Khemis Miliana

II. 7- Cadre hydrogéologique

Dans cette partie, nous représentons les différentes formations géologiques susceptibles de présenter un intérêt hydrogéologique dans la région.

II. 7.1- Les principaux aquifères de la région d'étude

D'après l'étude de la série stratigraphique et ses caractères lithologiques et structuraux, on distingue les niveaux aquifères suivants :

✓ **Les aquifères du Pliocène:**

Le Pliocène se présente sous forme des grès de l'Astien Jaunâtres passant à leur sommet à des sables dunaires à hélix, avec une épaisseur moyenne de 100 m.

✓ **Aquifère alluvionnaire du Quaternaire:**

Les formations alluvionnaires du Quaternaire constituent l'aquifère le plus important et plus exploité. Dans la plaine alluviale de Khemis Miliana. Les descriptions lithologiques des forages montrent que plus de 20% des matériaux traversés sont des sables, graviers ou ; et une gamme de profondeur des forages qui varie de 5 à 150 m.

D'après l'étude de la série stratigraphique de la région et de ses caractéristiques lithologiques, nous avons remarquée la présence d'un aquifère alluvial à double caractère localement une nappe libre avec des passages lithologiques et une présence d'un recouvrement limoneux-argileux, ce qui rend la nappe des alluvions grossières semi captive localement.

Un autre aquifère s'avérait intéressant attribué au Miocène et l'aquifère des calcaires de Zaccar. Nous allons focaliser notre étude seulement pour les alluvions grossières du Quaternaire. Cet aquifère renferme une nappe très exploitée dans la plaine. Son substratum imperméable et représenté par les marnes et argiles du miocène.

Epaisseur (m)	Log	Lithologie	Age		Comportement Hydrogéologique
10 à 20		Limons et argiles	Quaternaire récent		Semi - perméable
100		Alluvions grossières (grès et poudingues) Alluvions argileuses (sables, graviers, argiles)			Quaternaire ancien
100		Argiles Grès et conglomérats	Pliocène		Imperméable
100		Grès et poudingues			Perméable
200		Argiles Grès et poudingues	Miocène supérieur (Vindobonien)		Imperméable
?		Calcaires			Perméable
300		Marnes	Miocène inférieur (Burdigalien)		Imperméable
1000		Grès et poudingues			Perméable
20		Calcaires	Eocène		Perméable
?		Grès et quartzitiques Argiles et schistes			Imperméable
?		Marnes et calcaires marneux	Sénonien		Imperméable
20 à 60		Calcaires et marnes calcaire	Cénomaniens		Imperméable
1000		Schistes et bancs de quartzites	Crétacé Albien		Imperméable
800 à 1000		Argiles schisteuses	Néocomien		Imperméable
1000		Calcaires	Jurassique		Perméable
?		Gypse et argiles	Trias		Semi-perméable
500		Schistes et quartzites	Permo-Trias		Imperméable

Figure. 12. Log litho-stratigraphique et hydrogéologique de la plaine alluviale de Khemis Miliana (Mattauer 1958, Perrodon 1967).

III - Principe et approche de l'établissement de la carte de vulnérabilité

La vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution de la zone d'étude a été évaluée en utilisant la méthode SINTACS. La méthode SINTACS développée par **Civita en 1994**, qui, à l'origine dérivée de la méthode DRASTIC (**Vrba et Zaporozec, 1994**), ne retient que la structure de la méthode DRASTIC dans sa dernière version 5 elle évalue la vulnérabilité verticale et horizontale en utilisant les mêmes sept paramètres : Profondeur des eaux souterraines (S), Impact de l'infiltration efficace ou Recharge (I), Capacité d'atténuation des polluants par la zone non saturée (N), la capacité d'atténuation du sol (T), les caractéristiques hydrogéologiques du milieu aquifère (A), la conductivité hydraulique (C) et la pente topographique (S) (**Civita et De Maio, 2000**). Chaque paramètre cartographié et classé en notes (de 1 à 10) et qui ont un impact sur la potentielle pollution. Des multiplicateurs de poids sont ensuite utilisés pour chaque paramètre a fin d'équilibrer et d'améliorer leur importance. L'indice de vulnérabilité final (SINTACS) est une somme pondérée des sept paramètres et peut être calculé en utilisant la formule suivante:

$$I_{\text{SINTACS}} = \sum_{i=1}^7 P_{(i,7)} \cdot W_{(i,n)} \quad (\text{Eq.2})$$

Où P (1,7) est le score des 7 paramètres utilisés et W (1, n) est le poids de chaque catégorie. Les cinq catégories de poids utilisés par SINTACS dépendent des caractéristiques hydrogéologiques (milieux poreux, fissurés ou Karstifié) et aux conditions d'impact (environnement non contaminé ou urbanisé).

Dans le même plan, les différentes catégories de poids dans tous les secteurs de notre région peuvent être utilisées.

III.1 - Cartographies des paramètres du modèle-SINTACS dans la plaine alluviale de Khemis Miliana

Les données recueillies dans la plaine alluviale ont été traitées à l'aide de plusieurs plateformes géoinformatiques (ESRI ArcGISR, MapInfor, SurferR, RockWorksR ...etc). Ces données ont été enregistrées dans la base de données à partir de laquelle, les couches d'information des paramètres telles que (l'unité hydrogéologique, carte pédologique, objets géomorphologiques, limites, répartition spatiale des précipitations ...etc) ont été générées dans le mode vectoriel, tandis que les entités telles que le Modèle Numérique de Terrain, profondeur des eaux souterraines...etc). Ont été elles-mêmes traitées séparément dans le mode Raster et complétés par des superpositions spatiales avec leurs attributs nécessaires.

Toutes les couches d'information des paramètres du modèle- SINTACS ont été converties vers le mode Raster avec une résolution spatiale de pixel de 30m pour chaque paramètre distinct. Le résultat final sera obtenu par la cartographie algèbre en utilisant la calculatrice- Raster incluse dans le module Spatial Analyst1 en se basant sur des requêtes mathématiques (Addition des Rasters pour chaque paramètre).

III.1.1 - Profondeur des eaux souterraines (S)

Par rapport à ce paramètre, la méthode de SINTACS indique qu'une diminution ou augmentation sur la profondeur de plan d'eau souterraine, induit un élargissement sur l'épaisseur de la zone non saturée.

Par conséquent, lors de la sélection des données à utiliser dans le Modèle-SINTACS, nous avons pris des valeurs moyennes annuelles de la profondeur des eaux souterraines de 19 points d'eau, répartis d'une façon homogène dans la plaine pour la période de 2010 jusqu'au 2014, il nous a été nécessaire de tenir compte de la profondeur minimale des eaux souterraine qui a été prise pendant la campagne piézométrique antérieure, afin d'être dans les conditions les plus précises possibles lors de l'évaluation de la vulnérabilité sous principe : tant que la profondeur est grande dans l'aquifère, mieux l'aquifère est bien protégé et vice versa. Nous avons procédé à une méthode d'interpolation des valeurs de profondeurs de 19 points d'eau par analyse géostatistique, sous la plateforme Spatial Analyst, la carte issue des profondeurs d'eau souterraine a été générée sous forme rasterisée avec un pixel de 30 m de résolution spatiale (Voir Figure19).

III.1.2 - Recharge efficace de l'aquifère (I)

Un lien particulier unit entre la quantification de la recharge de l'aquifère et l'estimation de sa vulnérabilité. En effet, la masse de polluant pouvant potentiellement atteindre l'aquifère est étroitement liée au débit de la vitesse de l'eau transitant dans la zone non saturée depuis la surface. A l'échelle d'un bassin versant, où les débits d'eau souterraine sortant sont en fonction de la recharge sur la surface du bassin, le transport et la masse restituée (temps de transit, dilution, etc.) d'un contaminant (diffus ou ponctuel) dépend également de la valeur de cette recharge. Il est donc raisonnable de lier proportionnellement la recharge et la vulnérabilité des eaux souterraines. L'infiltration efficace (Recharge) dans notre zone d'étude a été calculée selon la méthode dite C.M.B Chloride Mass Balance (**Wood et Sanford, 1995**) selon l'équation suivante :

$$I = (P) \times (Cl_P) / Cl_{ES} \quad (\text{Eq.2})$$

Où **I** est le flux de la recharge en mm/an, **P** en mm est la précipitation moyenne annuelle pour la période qui s'étale de (1980-2014), **Cl_P** : la concentration des chlorures des précipitations en mg/L, et **Cl_{ES}** représente la concentration des chlorures des eaux souterraines en mg/L pour les basses eaux 2014.

Pour l'établissement de la carte de la répartition spatiale dans la région de ce paramètre, nous avons procédé à la réalisation de trois cartes et qui sont :

- Carte de la répartition spatiale des précipitations en utilisant la méthode de Thiessen par algorithme de triangulation pour les valeurs de précipitations des dix stations pluviométriques réparties dans notre zone d'étude.

- Carte de la répartition spatiale des concentrations de chlorures des eaux souterraines de 16 points d'eau échantillonnés par la méthode de « IDW ».

- Carte de la répartition spatiale des concentrations de chlorures des précipitations tombées dans notre secteur d'étude, pour l'établissement de cette carte, nous avons procédé à réaliser une campagne d'analyse hydrochimique pour déterminer les concentrations des chlorures dans les précipitations, 13 points pluviométriques ont été analysés dans le laboratoire de « Chimie 3 » de l'université de Khemis Miliana durant les mois de Janvier et février des années 2014 et celle de 2013, période où les précipitations sont abondantes, en suivant le cycle pluviométrique de la région. L'échantillonnage a été basé sur un maillage qui recouvre presque toute la zone d'étude, avec une bonne répartition spatiale et une accessibilité facile durant les prélèvements (Voir Figure 20).

III.1.3 - Effet de l'autoépuration de la zone vadose (N)

Une fois que la profondeur de l'eau soit connue, il est possible de procéder à une division initiale en sous zone non saturée ou saturée. Après avoir déterminé l'épaisseur de la zone non saturée et les variations lithologiques relatives de la stratigraphie hydrogéologique de la région.

Pour déterminer la répartition spatiale de ce paramètre, nous étions obligé de passer par des consultations des logs litho-stratigraphiques existants dans la région et de plus de 29 log de forages, en étudiant leurs variations lithologiques sous Excel, des interconnexions ont été exécutées entre ce dernier, MapInfo et RockWorksR, pour suivre les variations latérale des faciès lithologiques, il nous a été indispensable de passer à la modélisation tridimensionnelle

sous RockWorks[®], les passages lithologiques dans la région ont été extraits sous forme polygonale (Voir Figure21).

III.1.4 - Type de sol (T)

Le sol est en fonction de l'abri du sédiment qui le recouvre joue un rôle très efficacement sur la capacité de ralentir et/ou de retenir la vitesse des polluants à travers le système hydrogéologique, très important pour l'estimation de la vulnérabilité. Le sol est souvent représenté comme un environnement convenable pour l'accumulation et la transformation de matière (Voir Figure18).

La carte pédologique de la plaine alluviale d'Affreville (**J.Boulaine ,1955**) à été vectorisée sous la plateforme ArcGis dans le format .SHP. Un reclassement à été attribué à chaque type de sol de telle façon, que cette manipulation nous a permis à réduire le nombre de polygones typologiques du sol à moins de 10 classes (Voir Figure22).

III.1.5 - Caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère (A)

L'élaboration des données relatives au paramètre A (milieu-aquifère) suit le même parcours que celui de l'élaboration du paramètre N (Zone vadose). Compte tenu de l'hétérogénéité partielle de la zone saturée, qui a également eu lieu pour l'analyse de la zone non saturée et l'étude de la carte géologique vectorisée de la plaine Khemis Miliana nous ont permis de déterminer 4 formations importantes pour le paramètre A (Voir Figure23).

III.1.6 - Conductivité hydraulique (C)

La détermination du paramètre C est principalement basée sur l'élaboration d'une cartographie de la répartition des conductivités hydrauliques obtenues à partir des essais de pompage faits dans la plaine. Les données nous semblaient insuffisantes dès le départ avec 11 essais de pompage, Logs stratigraphiques des forages et puits, les cartes hydrogéologiques d'Alger et celle d'Ergo pour l'ensemble de la zone d'étude ont été aussi intégrés. Les valeurs de la conductivité hydraulique ont été déterminées dans 19 points plus ou moins bien réparti dans notre zone d'étude, la cartographie de la répartition spatiale de la conductivité à été réalisé en se basant sur l'interpolation de ces valeurs par IDW (Voir Figure24).

III.1.7 - Pente (S)

La pente de terrain est un facteur très important pour l'estimation de la vulnérabilité puis qu'elle détermine les régions dans lequel il y a une plus grande possibilité pour que les polluants puissent s'infiltrer de la surface vers la nappe. Les plus grandes valeurs du paramètre **S** sont allouées aux pentes les plus douces ou la possibilité des polluants à se disséminer est réduite. En plus, la pente peut être un bon indicateur du type du sol et détermine indirectement la capacité du système hydrogéologique à retenir les polluants.

Pour la détermination des degrés de pente de la plaine, nous avons passé par le traitement du Modèle Numérique du Terrain « DEM » extrait et clippé à partir du DEM Nord-Algérie dont il est caractérisé par une résolution de 30 m, puis nous avons procédé à un reclassement en pourcentage de chaque grille de ce DEM dans la plateforme Spatial Analyst. (Voir Figure25).

III.2 – Analyse de superposition des couches

La cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines a été réalisée par la technique de superposition des couches représentant les différents paramètres dans les modèles-SINTACS. Théoriquement une superposition est nécessaire pour chaque paramètre, cependant certains de ces paramètres sont souvent associés. Dans certaines zones de notre région, la zone non saturée et le milieu aquifère sont identiques. Dans d'autres régions, le sol et la topographie sont intimement liées.

Les données utilisées pour générer la carte de l'indice de vulnérabilité peuvent être produites à diverses échelles, dans notre cas, nous choisissons une moyenne échelle de 1/400000. Les valeurs de la conductivité hydraulique sont souvent extrapolées et interpolées à partir des points de référence ou simplement estimés à partir du milieu aquifère. Lors de la création de la carte, il est donc important de tenter de "justifier" la balance soit en faisant des généralisations ou des modélisations interpolatrices ou de trouver l'information la plus détaillée et disponible dans la région.

Enfin, grâce à une fonction spécifique dans les logiciels SIG dite fonction de superposition (Overlaying Analysis), les différentes cartes pour chaque modèle paramétrique sont générées par la fonction Raster Calculator de l'extension Spatial Analyst.

Après avoir cartographié tous les paramètres sous forme thématique, la carte de vulnérabilité a été obtenue en superposant les différentes cartes paramétriques et le calcul des

indices de vulnérabilité selon le modèle-SINTACS a été générée pour une grille de Pixel de taille (30 m × 30 m). Pour chaque cellule de la grille (pixel), l'indice de la vulnérabilité a été calculé comme la somme pondérée des paramètres.

L'indice de vulnérabilité selon le modèle-SNTACS à été calculé et la carte finale de la Vulnérabilité a été subdivisé en classes liées à des degrés selon la classification de **Civita et al, (1994)**.

III.3- Cartographie de l'Indice de la Qualité des eaux souterraines (GWQI)

Plusieurs étapes ont été suivies pour le calcul de l'indice de la Qualité des eaux souterraines l'IQES. Ce dernier est une somme pondérée de plusieurs paramètres, un poids relatif a été attribué (W_i) pour chaque paramètre en fonction de son rapport d'importance dans la qualité globale de l'eau destinée en Alimentation en eau potable. Un poids maximum de 5 a été attribué au paramètre nitrate en raison de son importance dans l'évaluation de la qualité de l'eau. Le poids relatif est calculé à partir de l'équation suivante :

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad S_{li} = W_i \times q_i \quad q_i = (C_i/S_i) \times 100$$

$$WQI = \sum S_{li} \quad (\text{Eq.3})$$

Les valeurs calculées des poids relatifs W_i et les scores q_i , sont données dans le tableau en annexe.

S_{li} : est le sous-indice du paramètre ^{nième}.

q_i : est la notation basée sur la concentration du paramètre ^{ième}.

n : le nombre de paramètres

où C_i est la concentration de chaque paramètre chimique dans l'échantillon d'eau en mg/L, et S_i est la norme de l'eau potable Algérienne pour chaque paramètre chimique en mg/L selon les lignes directrices de la norme algérienne fixée dans le décret.

Un indice de qualité des eaux souterraines pour chaque échantillon a été calculé, en somme, 19 points de mesure ont été sélectionnés pour le calcul. Une spatialisation de cet indice par interpolation IDW a été générée. (Voire figure26b).

IV .Introduction :

L'étude du chimisme des eaux a pour but d'identifier les faciès chimiques des eaux, leur qualité de potabilité, ainsi que leur aptitude à l'irrigation .Elle permet de suivre aussi l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques et d'estimer leur origine en les corrélant avec la géologie et la piézométrie.

IV.1-Validation des analyses

Les échantillons d'eau dans les points de mesures pris pour l'étude hydrogéologique sont caractérisés par une balance ionique qui ne dépasse pas les 5%. Donc On a admis seulement les puits et les piézomètres qui leur balance ionique est inférieure à 5%. Pour les éléments majeurs, l'analyse chimique est considérée comme valide quand la balance ionique $[(\Sigma\text{cations} - \Sigma\text{anions}) / (\Sigma\text{cations} + \Sigma\text{anions})] \cdot 100$ n'excède pas $\pm 5\%$. Pour plus de 98% de nos analyses, cette condition est vérifiée. Une erreur sur la balance ionique a été constatée, notamment pour certains forages qui ont été évités.

IV. 1.2-Signification des faciès hydro-chimiques dans la région

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessite l'utilisation des représentations graphiques. De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles on peut citer :

- Diagramme de Piper,
- Diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff,
- Diagramme de Stiff,
- Diagramme à coordonnées rayonnante.

Dans notre étude, seules deux représentations graphiques qui ont été retenues et utilisées : le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff et le diagramme de Piper, et autre classification rigoureuse très fiable dite Kurlov's à été réalisée (voir tableau dans l'annexe et la figure 15).

VI. 1.2.1-Diagramme de piper

Le diagramme de piper permet de représenter le facies chimique d'un ensemble d'échantillons d'eaux.

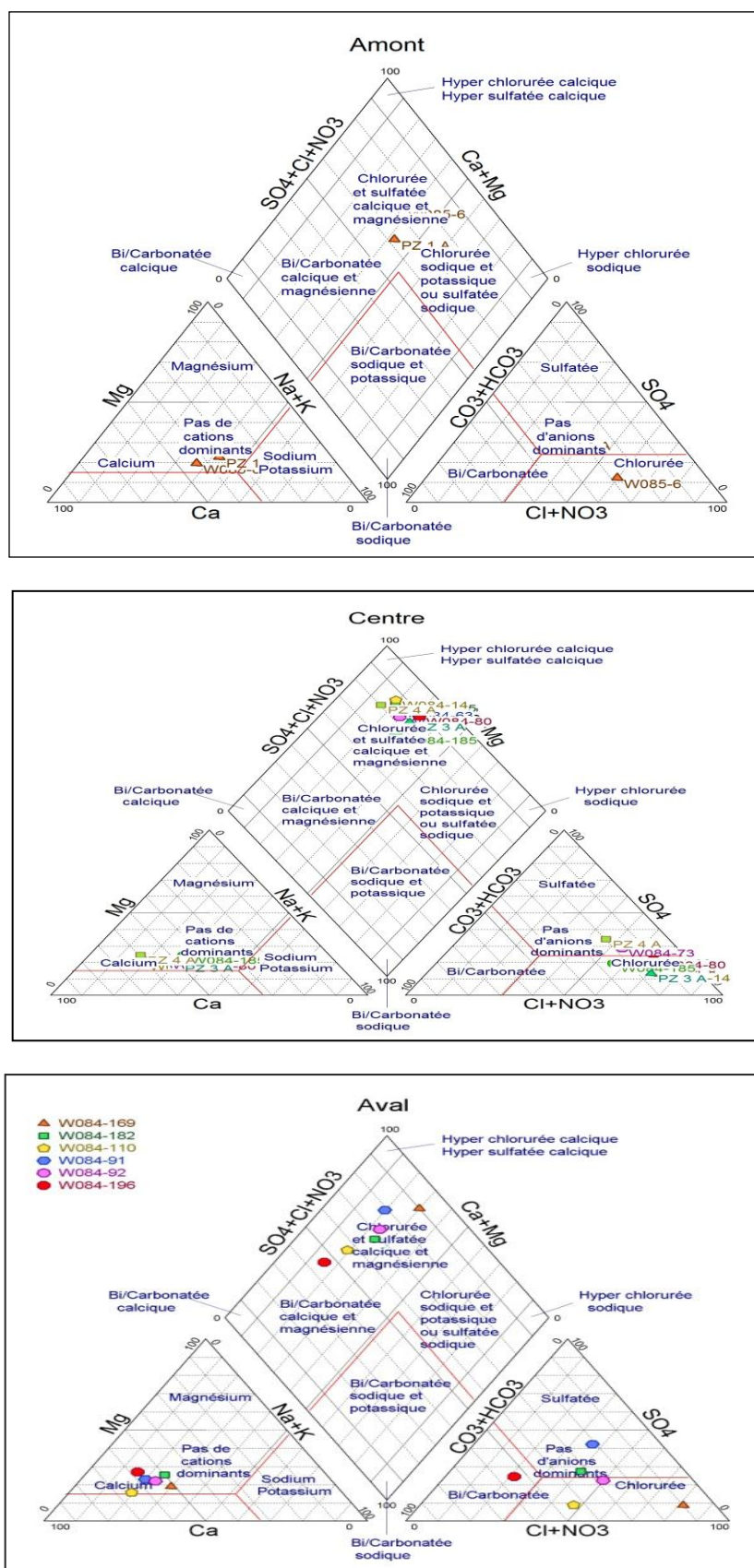


Figure.13. Diagrammes Piper des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana.

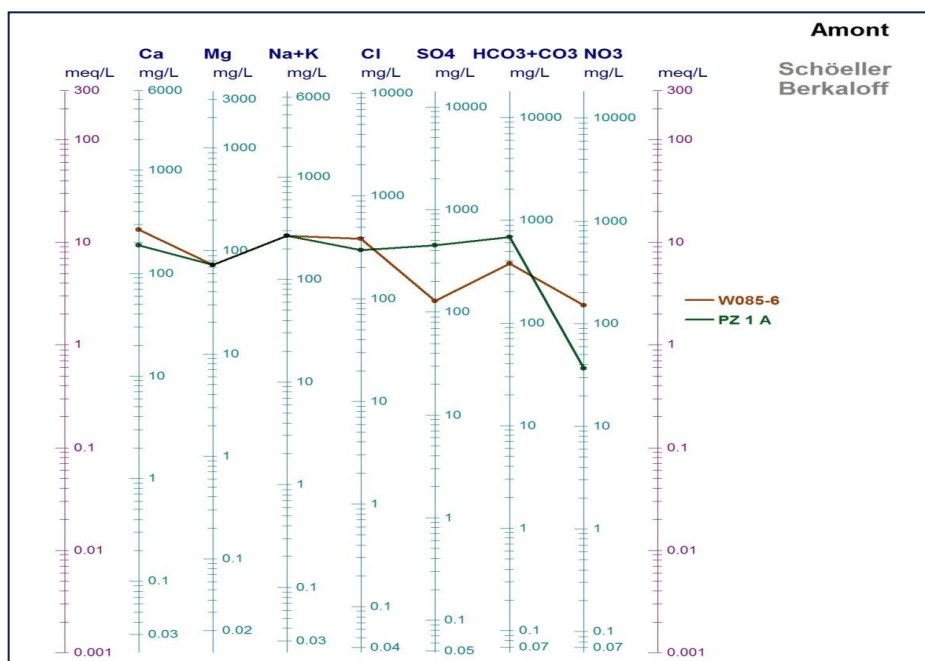
Nous signalons que le faciès dominant en amont de la plaine est chloruré sulfaté calcique et magnésien selon la répartition spatiale des faciès hydrogéochimiques.

Concernant les eaux souterraines existant en centre de la plaine, présentent une homogénéité des ions et dominances des chlorures pour certains échantillons. Donc le faciès global remarquable ; Chloruré Calcique et Sodique, Chlorurée Sulfatée Calcique sodique.

D'après le diagramme de piper nous observons que le type de faciès en l'aval de plaine est un faciès sulfaté chloruré calcique.

IV.1.2.2-Le diagramme de Schöeller-Berkaloff :

Le diagramme de Schoeller Berkalov permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.



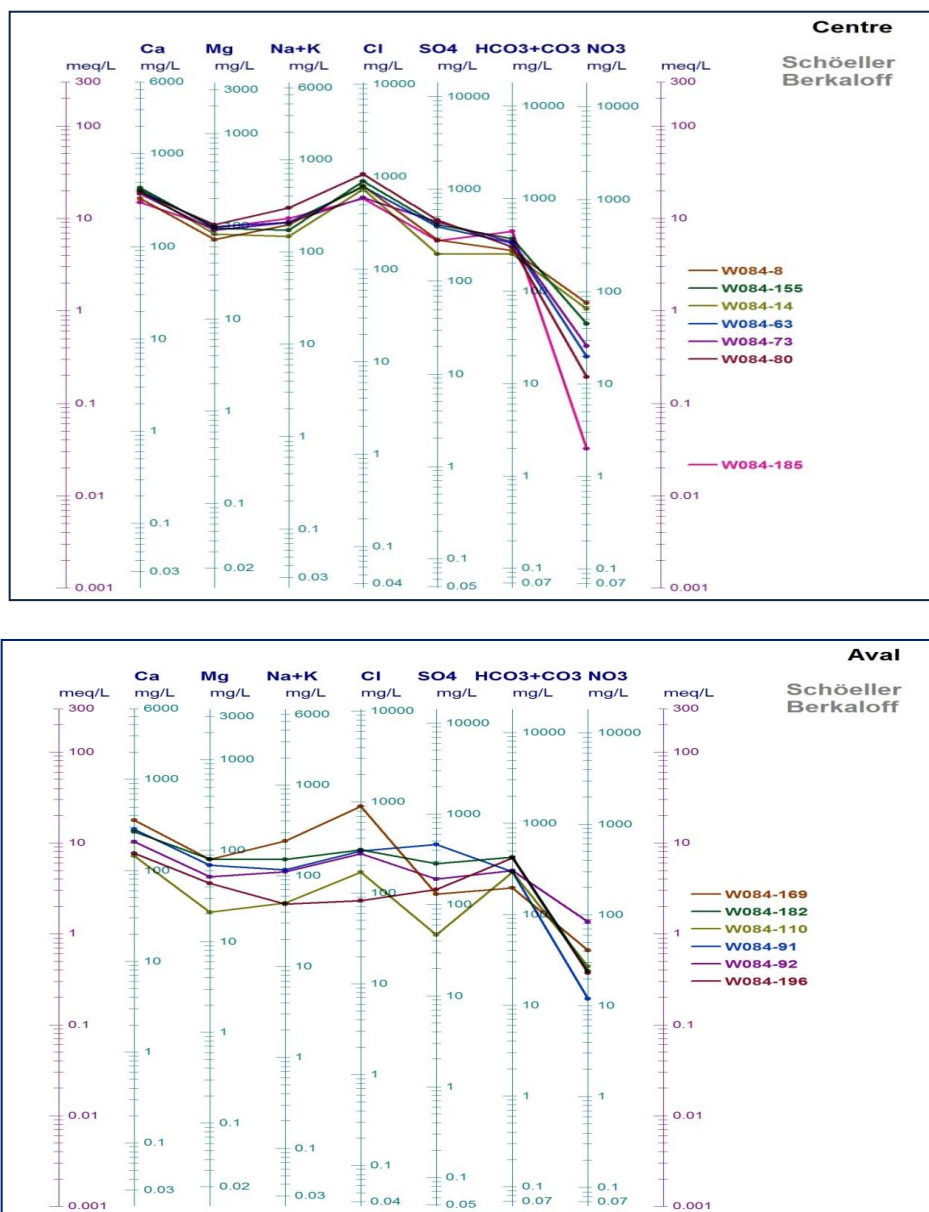


Figure .14. Diagrammes Schoeller - Berkaloff des eaux souterraines de la plaine alluviale de Khemis Miliana.

Le diagramme tracé confirme principalement un faciès chloruré bicarbonaté, permettant de dire que la minéralisation des eaux est liée aux ions Cl- et HCO₃. Les fortes concentrations en chlorures indiquent un état de pollution en rapport avec les activités anthropiques.

Les éléments chimiques positionnés au milieu du graphique caractérisent la nappe du quaternaire, alors que ceux en premier où les concentrations sont très élevées caractérisent les points d'eau se trouvant en centre de la zone ce qui explique en quelque sorte les forts teneurs en chlorures, en sulfates et en sodium.

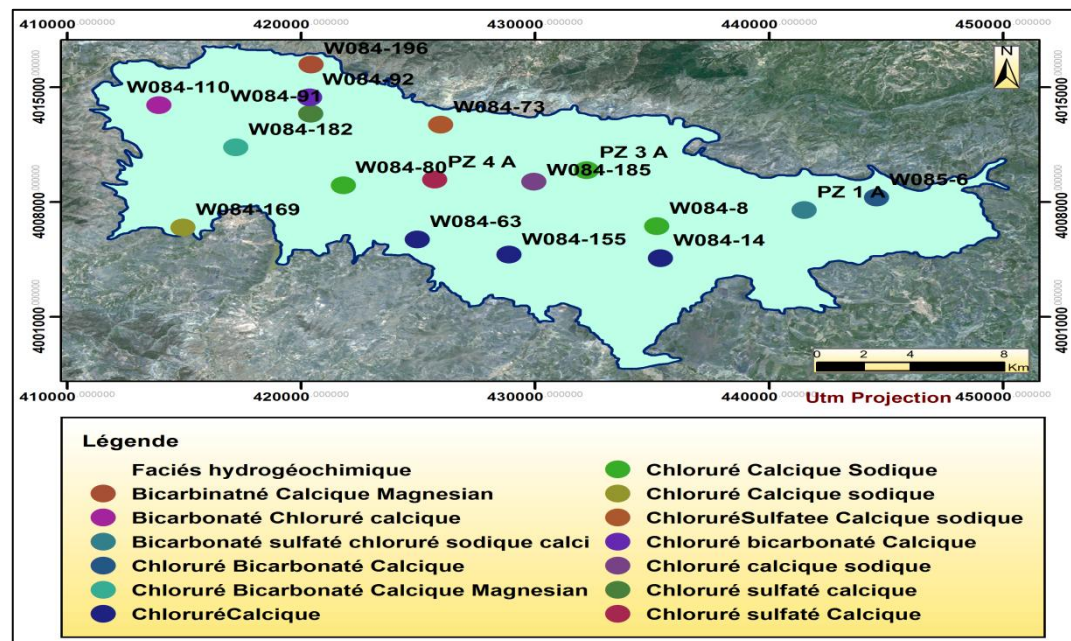
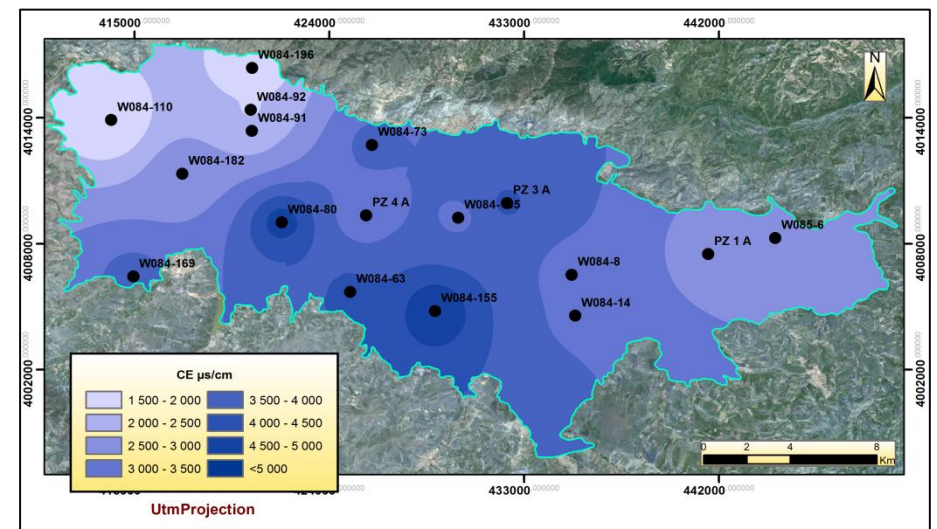
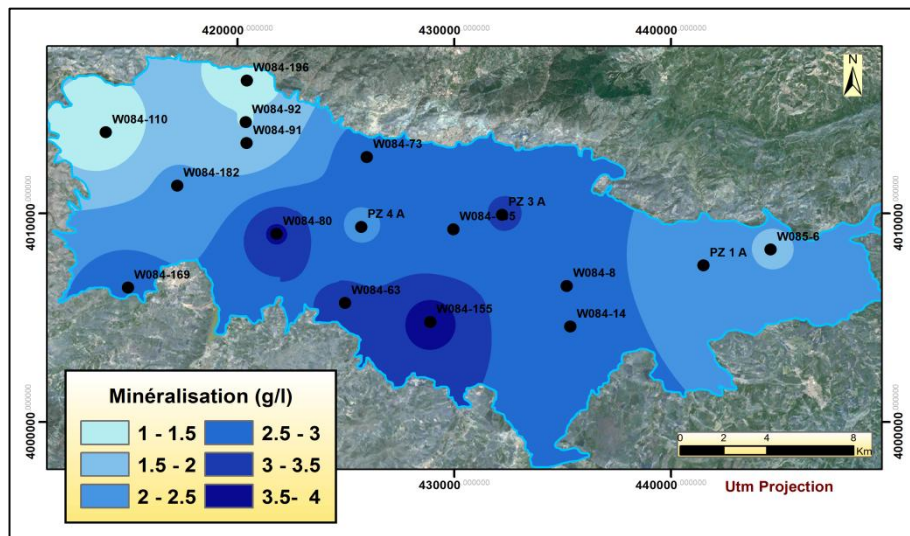


Figure.15. Répartition spatiale de la minéralisation, la conductivité électrique et les faciés hydrogéochimiques dans la plaine alluviale de Khemis Miliana (basses eaux 2014).

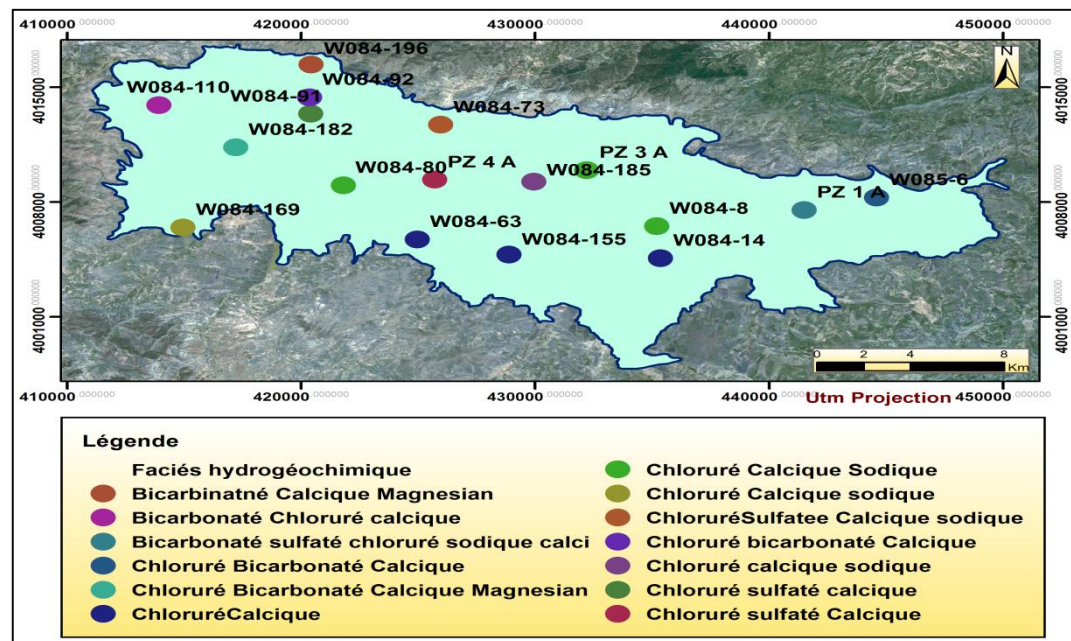
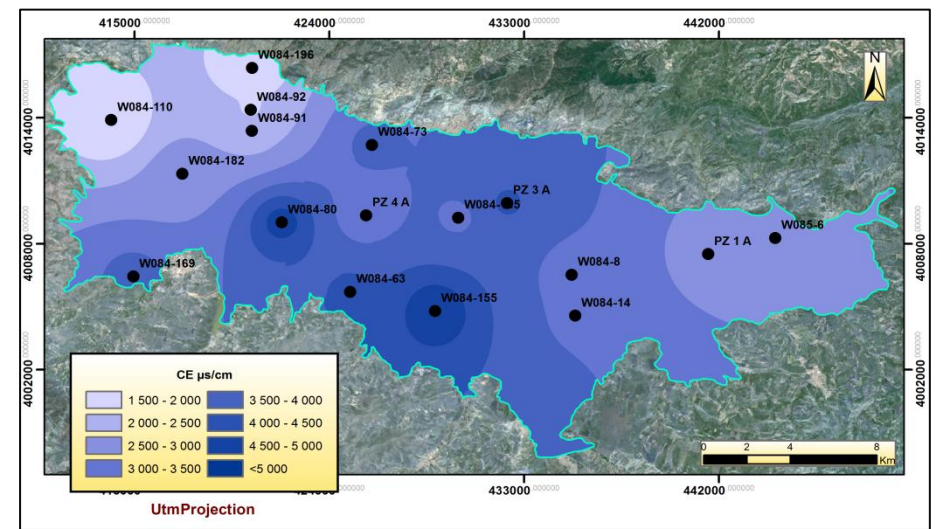
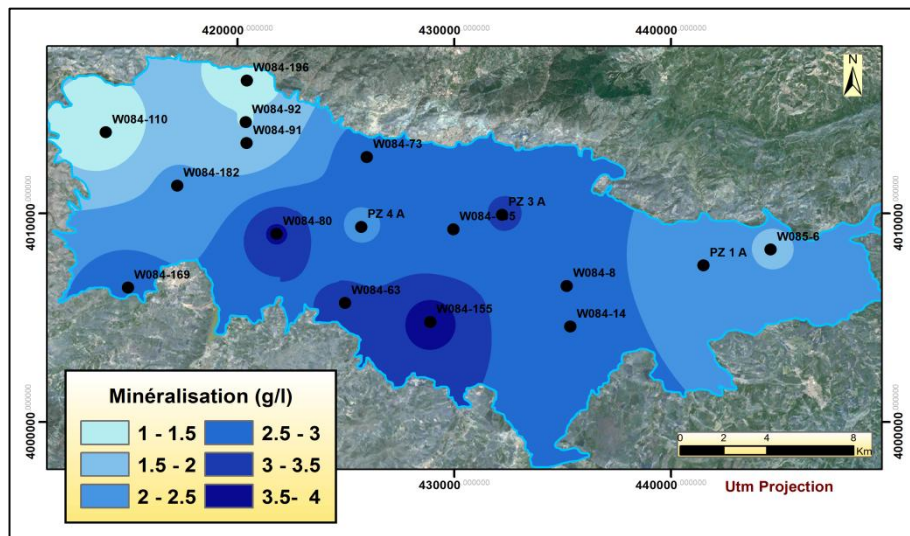


Figure.15. Répartition spatiale de la minéralisation, la conductivité électrique et les faciés hydrogéochimiques dans la plaine alluviale de Khemis Miliana (basses eaux 2014).

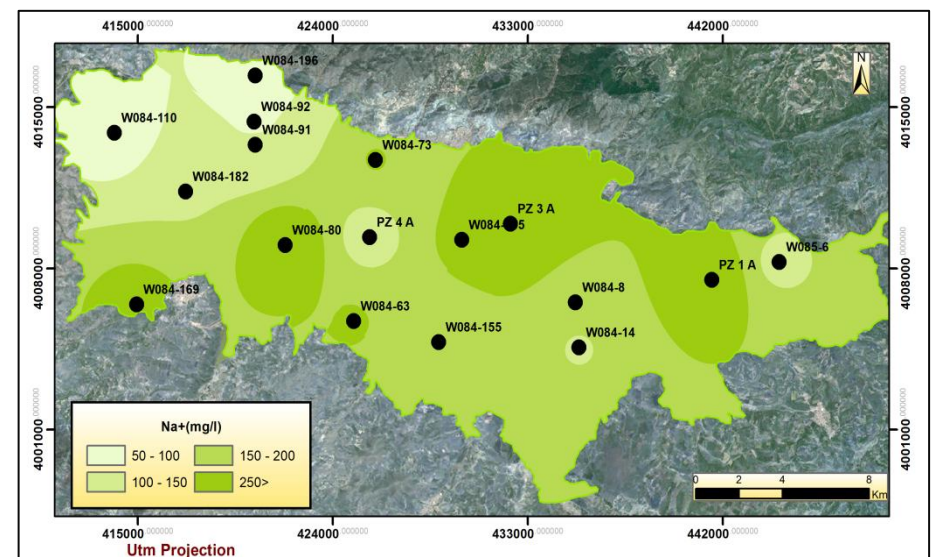
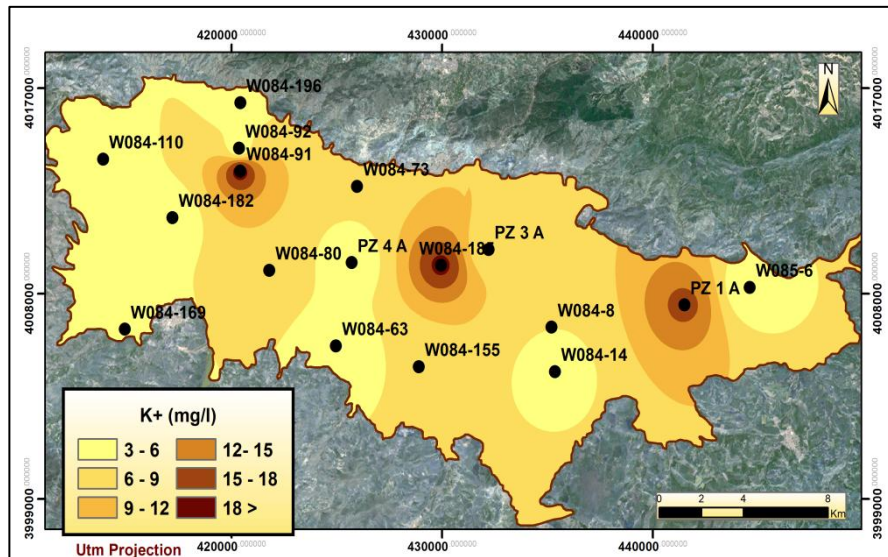
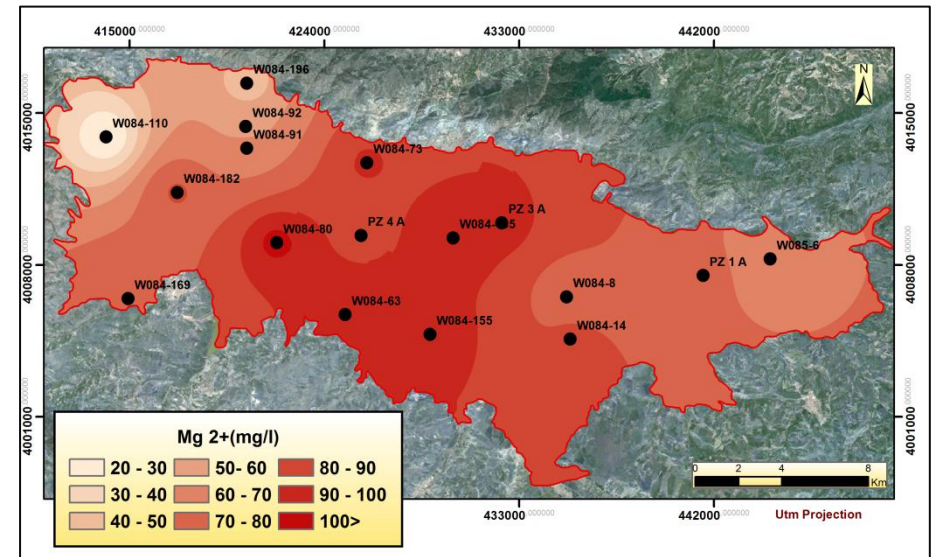
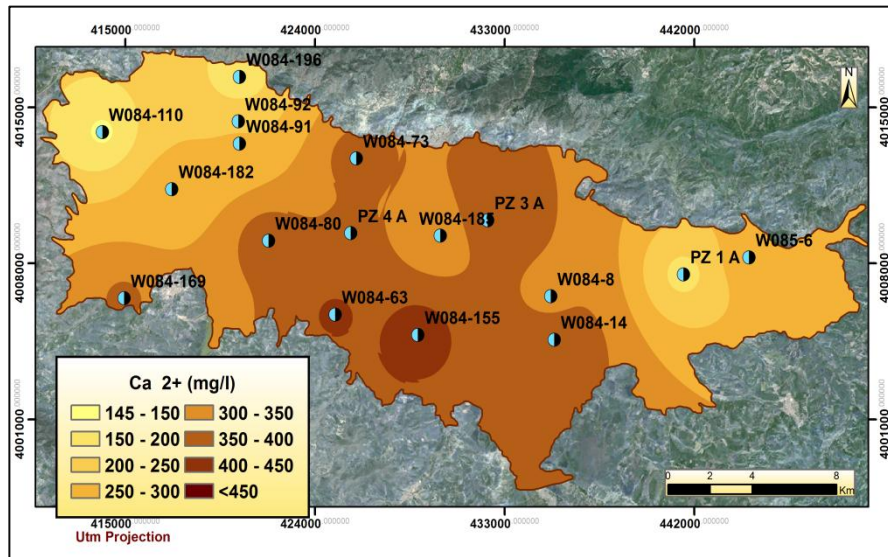


Figure.16.répartition spatiale des éléments anioniques des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana (basses eaux 2014.)

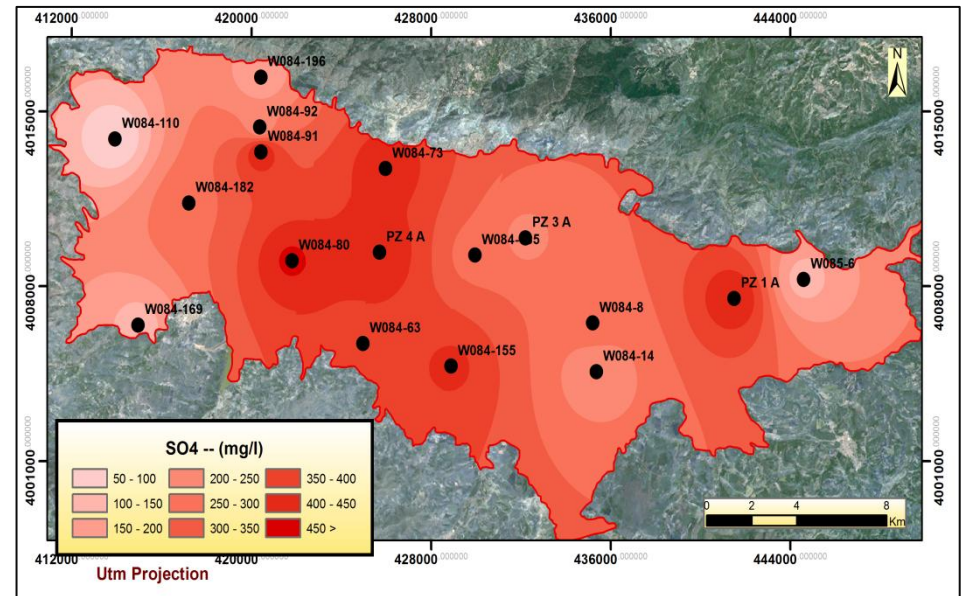
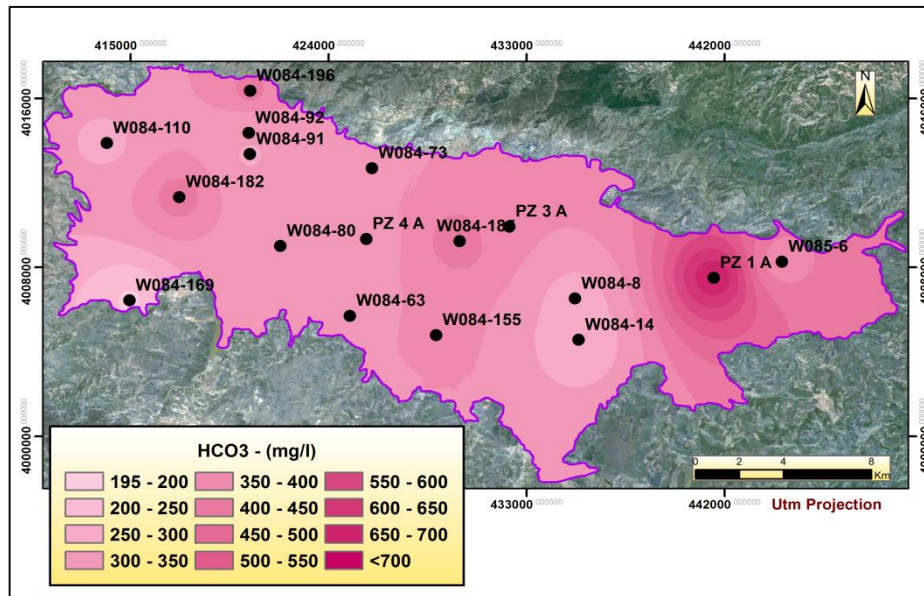
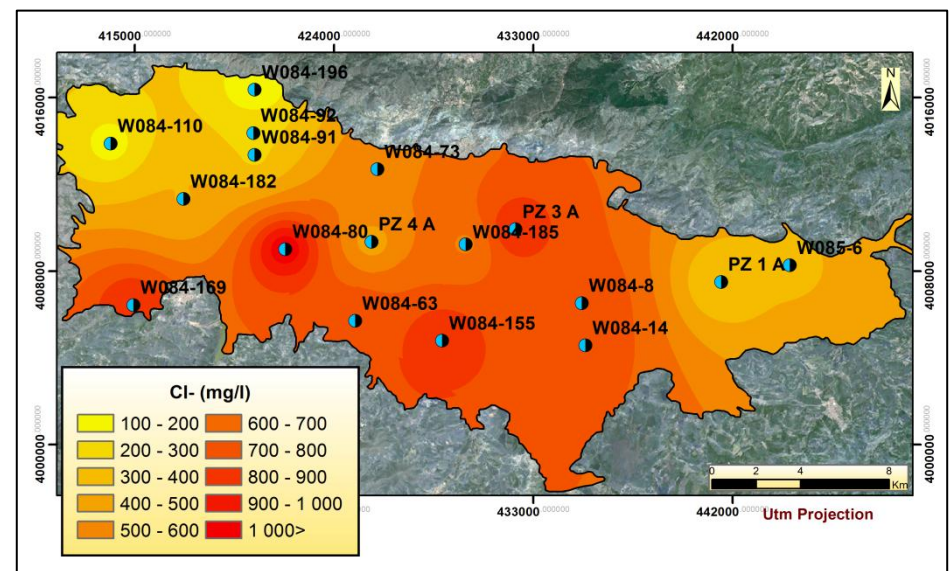
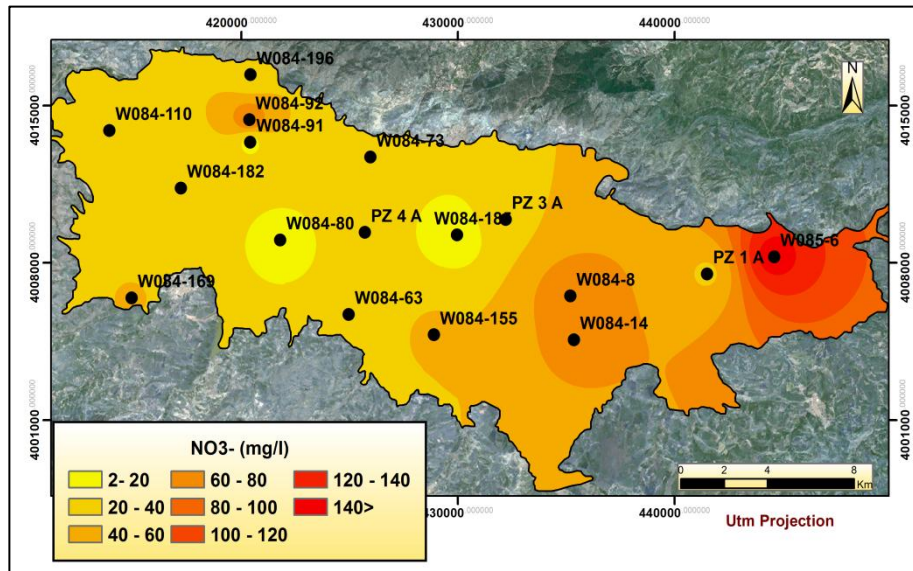


Figure.17.répartition spatiale des éléments anioniques des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana (basses eaux 2014.)

IV. 1.2.3- Qualité physico-chimique de l'eau :

✓ Le pH

C'est un paramètre physique qui détermine l'acidité ou l'alcalinité des eaux. Les valeurs du pH montrent que tous les puits se trouvent dans l'intervalle de la norme de potabilité, pendant la période des basses eaux. Le pH varie entre 7.1 et 8.1, nous constatons que la majorité des eaux de la nappe alluviale sont incrustantes.

✓ Minéralisation globale

La minéralisation globale correspond à la teneur totale en sels dissous (cations, anions) dans l'eau, car ces derniers sont fortement corrélés avec les terrains-aquifères (**Dakoure, 2003**). La minéralisation est en relation directe avec la conductivité électrique de l'eau, nous avons procédé au calcul de la minéralisation en g/l en se référant aux calculs désignés par Rodier (**Rodier, 2009**).

La Figure 15 montre que les valeurs les plus élevées de la minéralisation sont localisées au Sud de la plaine, la minéralisation oscille entre 3.09 g/l et 3.78 g/l, au niveau de l'oued Massine et l'Oued Harreza avec des valeurs qui dépassent largement les normes plus 1.5 g/l, les eaux provenant du Sud ont une teneur initiale élevée en minéralisation leur minéralisation dépasse les 3 g/l, puis en propageant dans la nappe et par dilution elles subissent un décroissement, les eaux dont leur minéralisation est moins élevée et qui ont une bonne qualité se rencontrent au centre de la plaine, à la proximité de la ville de Djendel en amont et à la partie aval avec des valeurs qui oscillent entre 1 et 2 g/l et suivant l'écoulement elles augmentent aussi et à mesure qu'on s'approche à l'axe de Oued Massine. La minéralisation augmente en allant vers l'Oued Massine, simultanément, les eaux de l'Oued Massine lessivent les roches gypseuses du Trias au Sud et se chargent en sels dissous, dans son passage elles augmentent la minéralisation des eaux souterraines par infiltration, en outre, la faible pente, l'écoulement lent de l'eau du Oued Massine, les activités agricoles et l'utilisation excessive d'engrais augmentent la minéralisation des eaux souterraines, qui sont principalement caractérisées par un faciès chloruré sulfaté sodique et parfois calcique.

✓ La conductivité électrique

La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'Origine d'une eau. En effet, la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, donc de sa minéralisation.

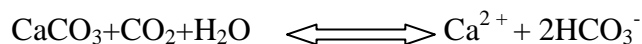
La figure 15 révèle que les conductivités des eaux souterraines sont généralement très élevées dans le Sud de la plaine (4980 $\mu\text{s}/\text{cm}$). En général, toutes les points d'eau situés en amont et l'aval présentent des minéralisations faibles.

Seules les eaux de l'Oued Massine et oued harreza présentent des minéralisations relativement élevées, 4980 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au niveau de l'Oued Massine et 4750 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au niveau de Oued Harraze c'est en effet le collecteur de la majorité de affluents du bassin. Il est probable que ces fortes minéralisations soient liées à la présence de formations géologiques contenant des évaporites, notamment les terrains triasiques de la région.

IV. 1.2.3.1-Les cations majeurs :

✓ Calcium (Ca^{2+}) :

Sa présence résulte principalement de l'infiltration des eaux météoriques à travers des formations carbonatées. La dissolution qui d'en suit est favorisée par le gaz carbonique provenant de l'atmosphère et du sol.



Dans la partie australe, nous remarquons des concentrations élevées de Calcium qui varient entre 407 mg/l et 430 mg/l qui dépassent les normes Algériennes de potabilité 200 mg/l, près du secteur localisé entre Oued Massine et Deurdeur, dans la partie centrale les valeurs sont plus admissibles avec des teneurs variables, cette variation est due à la nature lithologique variable des alluvions, la partie aval est caractérisée par des valeurs plus faibles, cette diminution de la concentration du Ca^{2+} est due au phénomène de dilution en suivant le sens d'écoulement. Les ions de calcium dans la nappe proviennent de la dissolution des calcaires du massif de Zaccar. Ils proviennent aussi pour une part non négligeable, des sols de la plaine riches en calcaire (voir figure 16).

✓ **Magnésium (Mg^{2+}):**

Second élément intervenant dans la dureté totale des eaux, le magnésium est plus abondant après le calcium par rapport le sodium et le potassium. Le Magnésium peut avoir deux gaines : Les calcaires dolomitiques qui libèrent le magnésium par dissolution, en présence du gaz carbonique. La dissolution du $MgSO_4$ des terrains gypseux du Trias situés au Sud.

La figure16 représente une augmentation de concentration de Magnésium en allant du Nord vers le Sud et qui atteint des valeurs plus élevées jusqu'au 103 mg/l, au centre de la plaine les concentrations sont comprises entre 80 et 103 mg/l. En allant vers l'aval on constate une diminution des concentrations par dilution.

✓ **Sodium et Potassium (Na^+ , K^+) :**

Les teneurs en sodium admises par les normes Algériennes sont de l'ordre de 200 mg/l, tandis que celles du potassium, qui se présentent en très faibles quantités dans les eaux, ne présentent pas d'inconvénient majeur dans notre région. Le Sodium dans les eaux peut provenir :

- Du lessivage des formations riches en NaCl (argiles-marnes) ;
- Des eaux usées d'origine industrielle et domestique.

La figure16 représente les concentrations de Na^+ sont plus élevées en allant vers le nord -est (rive droite du Oued Cheliff) d'où géologiquement la remontée du substratum qu'intervient, dans cette zone la concentration de Na^+ dépasse 250 mg/l et, elle atteint des valeurs allant jusqu'au 290 mg/l, on constate une diminution aux bordures nord-ouest de la plaine, les plus hautes concentrations sont localisées suivant les axes de Oueds Souffay et Boutane, cette anomalie est peut être due à l'épaisseur réduite des alluvions et la remontée du substratum créacé et à la lixiviation des engrais dans cette zone agricole. Les concentrations en K^+ sont plus élève en amont de la plaine près de la ville djendal qui arrive à 16 mg/l, dans le centre la concentration de K^+ atteint 19mg/l ,en allant vers aval ou on trouve le teneur le plus élevée de K^+ qui atteint le 20 mg/l.

IV. 1.2.3.2-Les anions majeurs :

✓ Sulfates

Les sulfates (SO_4^{2-}) proviennent du ruissellement ou d'infiltration dans les terrains à gypse. Ils résultent également de l'activité de certaines bactéries (chlorothiobactéries, rhodothiobactéries, etc.). Cette activité peut oxyder l'hydrogène sulfuré (H_2S) toxique en sulfate

Les teneurs élevées des sulfates, peuvent être expliquées par la nature du sol de la région d'étude dont on peut nettement observer cette augmentation de concentration en sulfates dans la rive gauche de l'Oued Cheliff, localement dans les axes de Oued Massine et Djelida d'où les concentrations dépassent les 451 mg/l, ces les eaux de surface de Massine chargées de sulfates qui interviennent par inféro flux ,dans la partie centrales on remarques des teneurs plus ou moins variables de l'ordre de 281 - 451 mg/l qui dépassent les normes Algériennes (400 mg/l),par rapport à la partie aval ou la distribution de SO_4^{2-} est faible avec des valeurs de concentration qui ne dépassent pas les normes Algériennes (400 mg/l). (Voir figure17).

✓ Nitrates

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels.L'azote est un élément indispensable dans l'édification de la cellule. Dans le domaine aquatique, l'azote existe sous forme moléculaire (N_2) ou ionisée : Nitrates (NO_3^-), Nitrites (NO_2^-) et ammonium (NH_4^+) ainsi que sous forme organique dissoute ou particulaire (protéine, acides aminés, urée, etc.).

La figure 17 indique la concentration de NO_3^- est supérieures à norme Algérienne (50 mg/l) atteindre jusqu'à 150 mg/l dans l'amont de la plaine de Khemis-Miliana ce qui atteste de son origine anthropique liée principalement à l'application des engrais azotés vu que la zone d'étude est principalement à vocation agricole.l'élevage,les eaux usées et les d'charges peuvent constituer une autre origine des nitrates dans la zona d'étude.

En effet, la nappe alluviale du haut chéiff est journalièrement confrontée au risque de la pollution par les nitrates provenant des activités industrielles,agricoles ainsi que des effluents domestiques rejetés souvent sans épuration augmentant par conséquent le risque et la détérioration de la qualité des ressources hydriques et engendrant un risque sanitaire pour la population rurale s'approvisionnant le plus souvent directement de l'aquifère.

✓ Chlorures

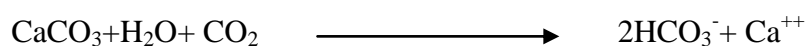
Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives la concentration des chlorures dans l'eau dépend aussi du terrain traversé. Nous les trouvons en grande quantité dans les eaux souterraines de la nappe étudiée.

Leurs teneurs peuvent nous renseigner sur le degré de détérioration en matière de pollution, Comme précédemment, les chlorures peuvent provenir, selon l'endroit, d'une contamination par les eaux usées domestiques et industrielles.

L'analyse de la Figure 17 montre que, les chlorures sont plus abondants dans les eaux souterraines de notre région, la majorité des points d'eau représentent une tendance chimique chlorurée, ces teneurs dépassent les normes Algérienne (500 mg/l) ; les teneurs en chlorures les plus élevées se localisent dans la rive gauche de l'Oued Cheliff et qui atteignent des valeurs allant de 500 mg/l et dépassant parfois 1070 mg/l , les très grandes concentrations proviennent du Sud en particulier suivant les axes Deurdeur et Oued Massine , on constate une décroissance de concentrations dans les bordures nord de la plaine (268-595 mg /l) et dans la partie aval la répartition de Cl^- est faible vers l'exutoire, cette zone (entre les axes de Deurdeur et Massine) présentent la même évolution que celle du sodium, c'est-à-dire que les fortes concentrations de ces éléments se localisent dans cette zone, puis par dilution, elles s'accroîtraient vers l'axe de drainage, on peut supposer que l'origine des chlorures dans notre cas est due à la dissolution du sel NaCl, ce dernier pourrait avoir la même origine de la minéralisation et en plus de l'effet des eaux usées chargées .

✓ Bicarbonate :

Les ions de Bicarbonates préviennent de la dissolution des carbonates par le CO_2 des eaux de pluie et de percolation, selon équation chimique :



La concentration des bicarbonates dans l'eau est en fonction des paramètres suivants:

- Température de l'eau,
- Tension du CO_2 dissous,
- Concentration de l'eau en sels et nature lithologique des terrains traversés.

La répartition des bicarbonates dans les eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana est illustrée dans la figure 17, les teneurs en bicarbonates sont en majorité inférieures à celle exigées par l'OMS (400 mg/l) ; dans la partie amont, les valeurs de HCO_3^- sont très élevées atteignant 686 mg/l avec une variation locale d'une zone à une autre. Le centre de la plaine connaît un abaissement de concentration de l'ordre de 366-415 mg/l.

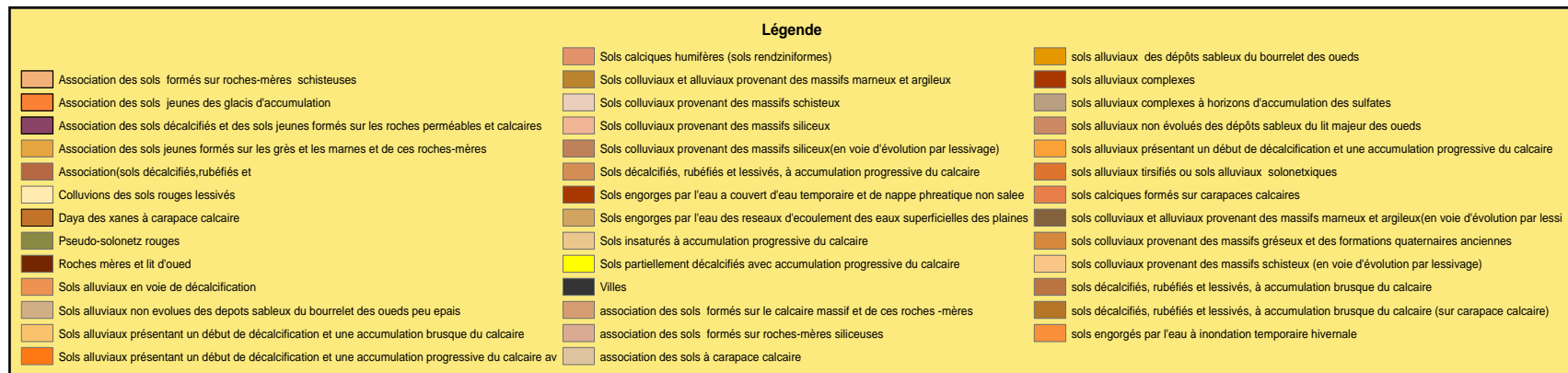
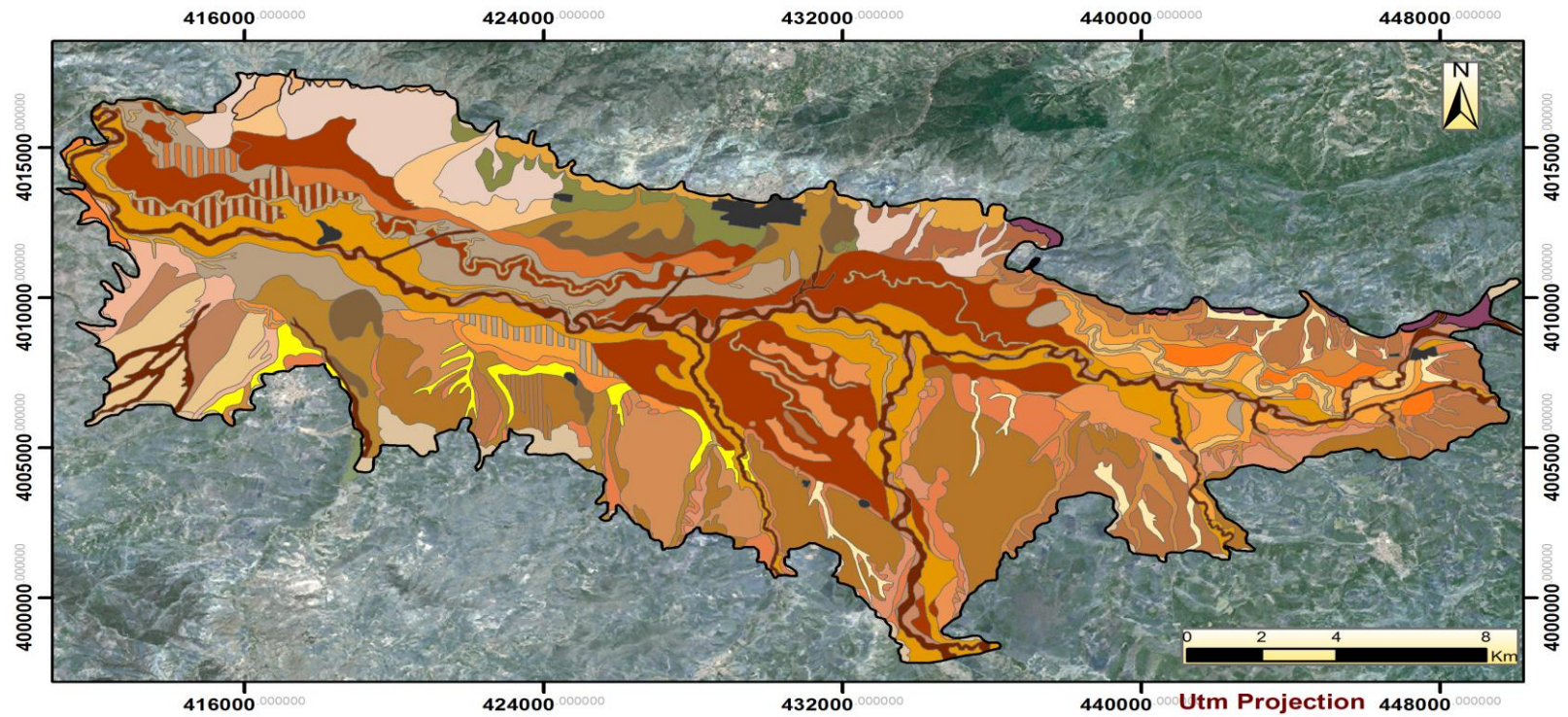


Figure.18. Carte pédologique vectorisée de la plaine alluviale de Khemis Miliana.

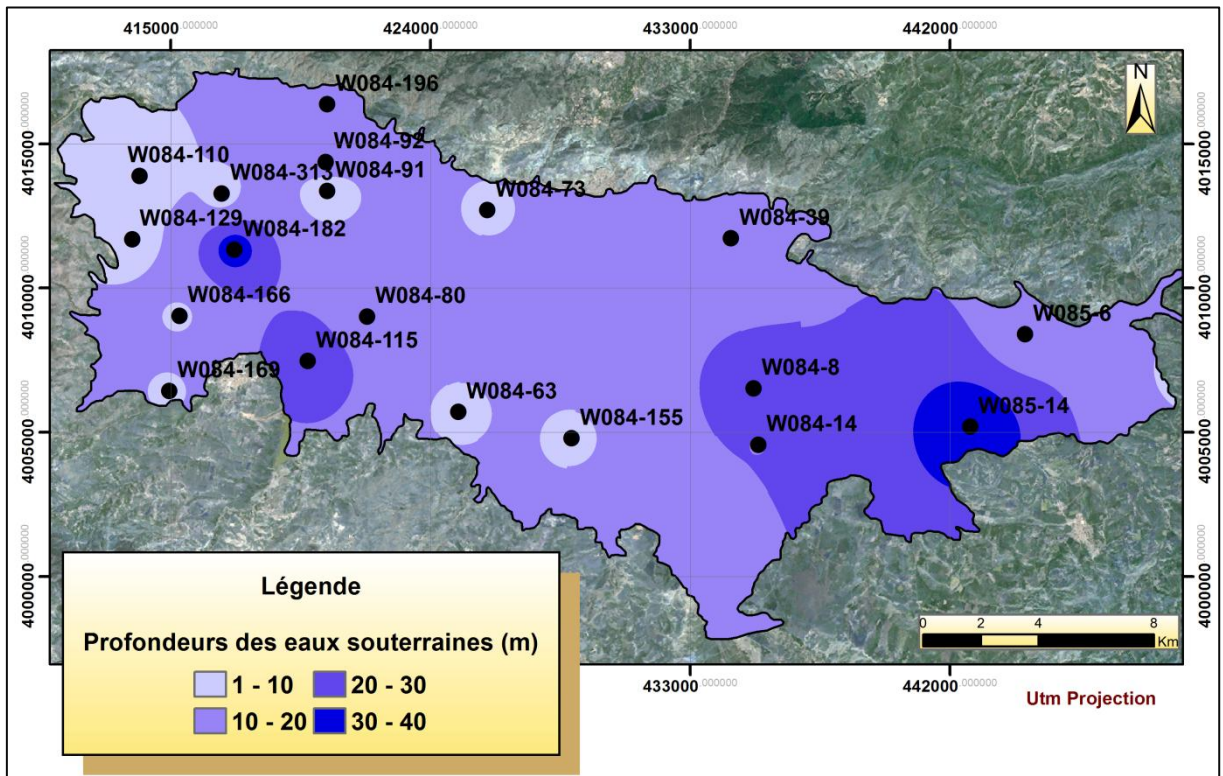


Figure. 19a. Répartition Spatiale des profondeurs des eaux souterraine dans la plaine alluviale de Khemis Miliana.

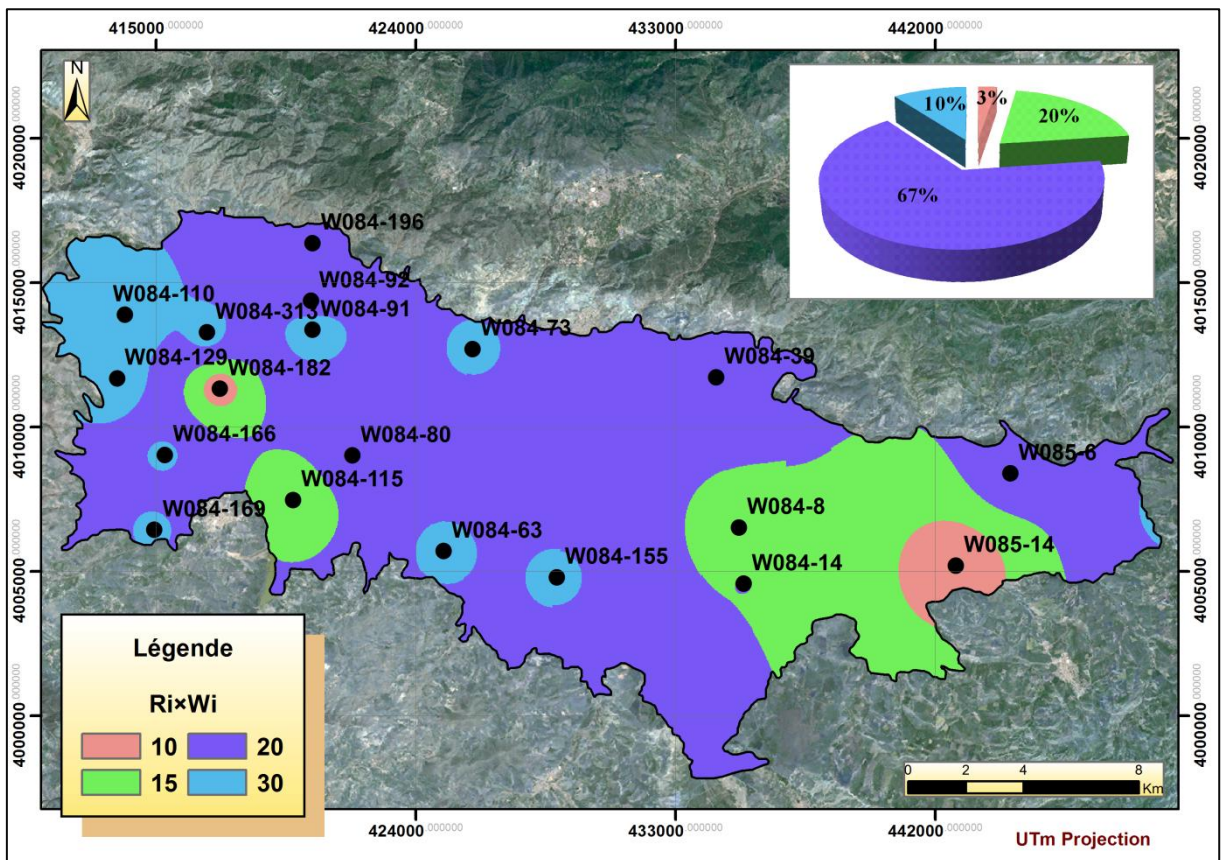


Figure. 19b. Répartition Spatiale des profondeurs des eaux souterraine assignées à leurs scores et Poids.

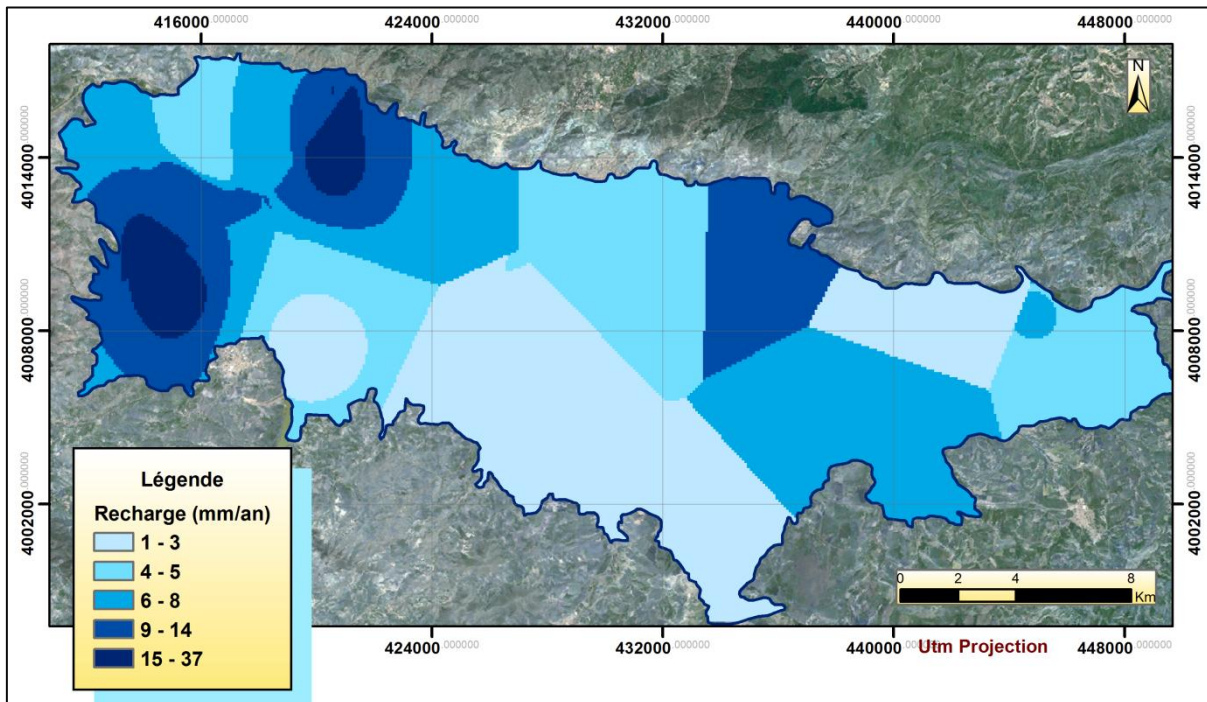


Figure.20a .Répartition spatiale de la recharge des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana.

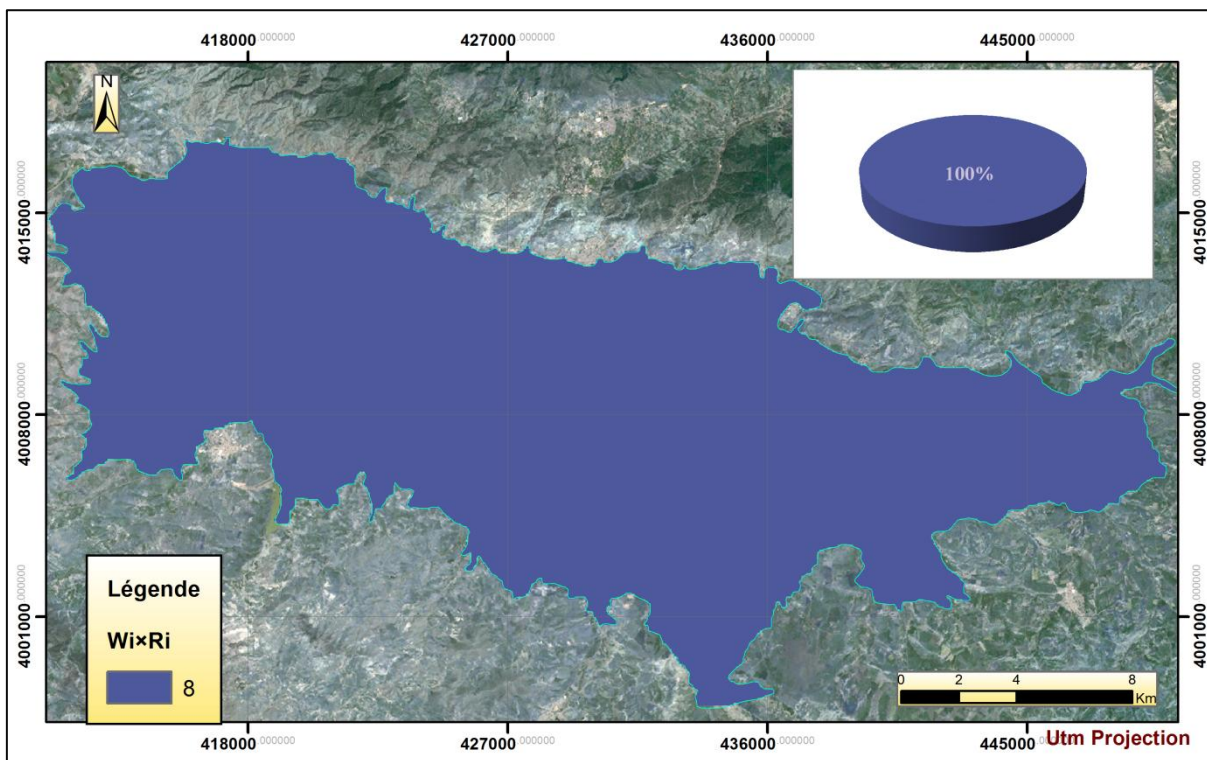


Figure20b .Répartition spatiale de la recharge des eaux souterraines assignée par scores et poids.

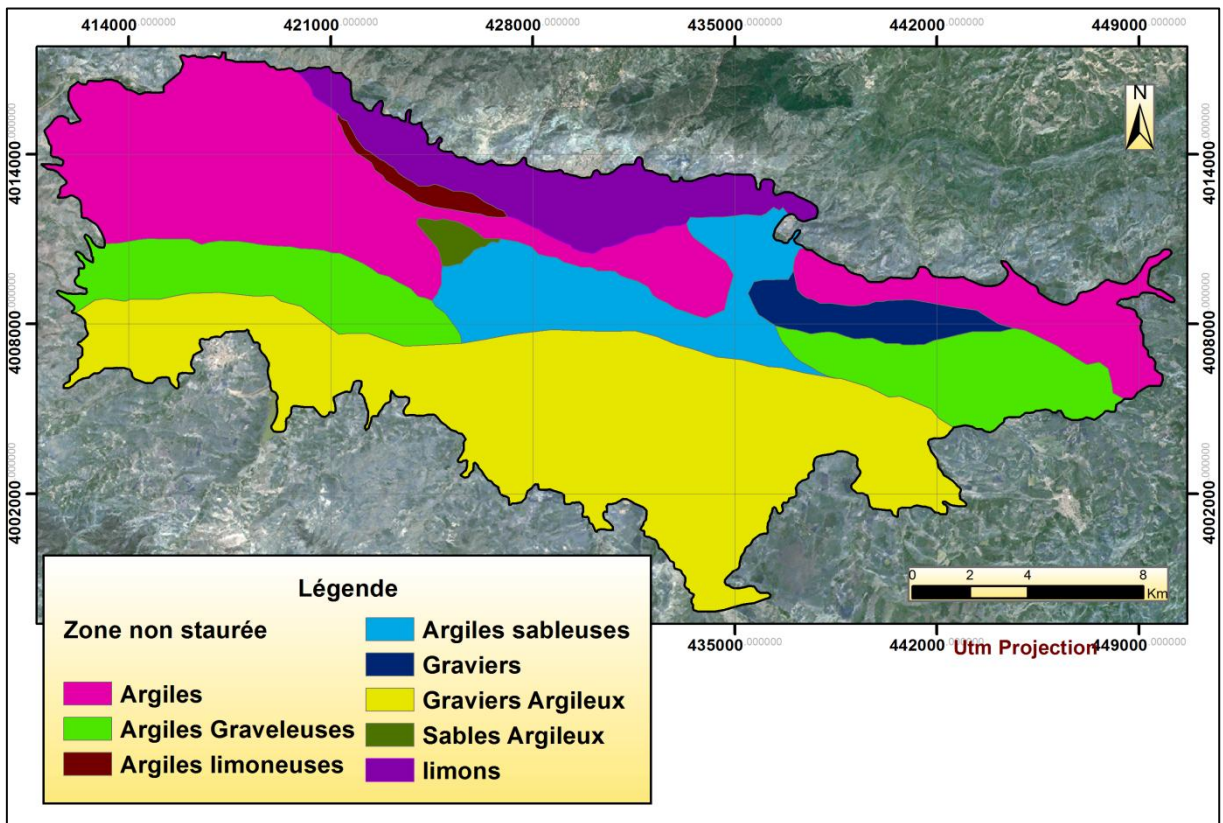


Figure.21a. Répartition spatiale des zones non saturée de la plaine alluviale de Khemis Miliana 2014.

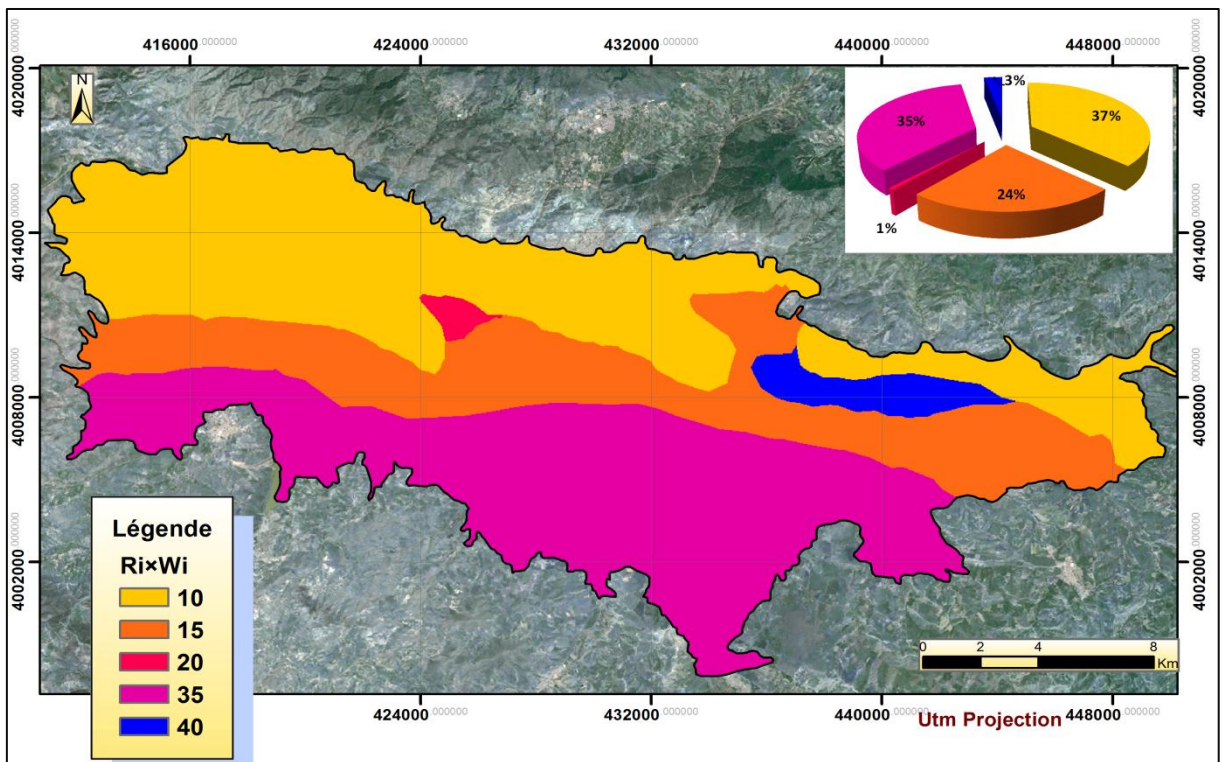


Figure.21b. Répartition spatiale des zones non saturée assignées à leur scores et poids

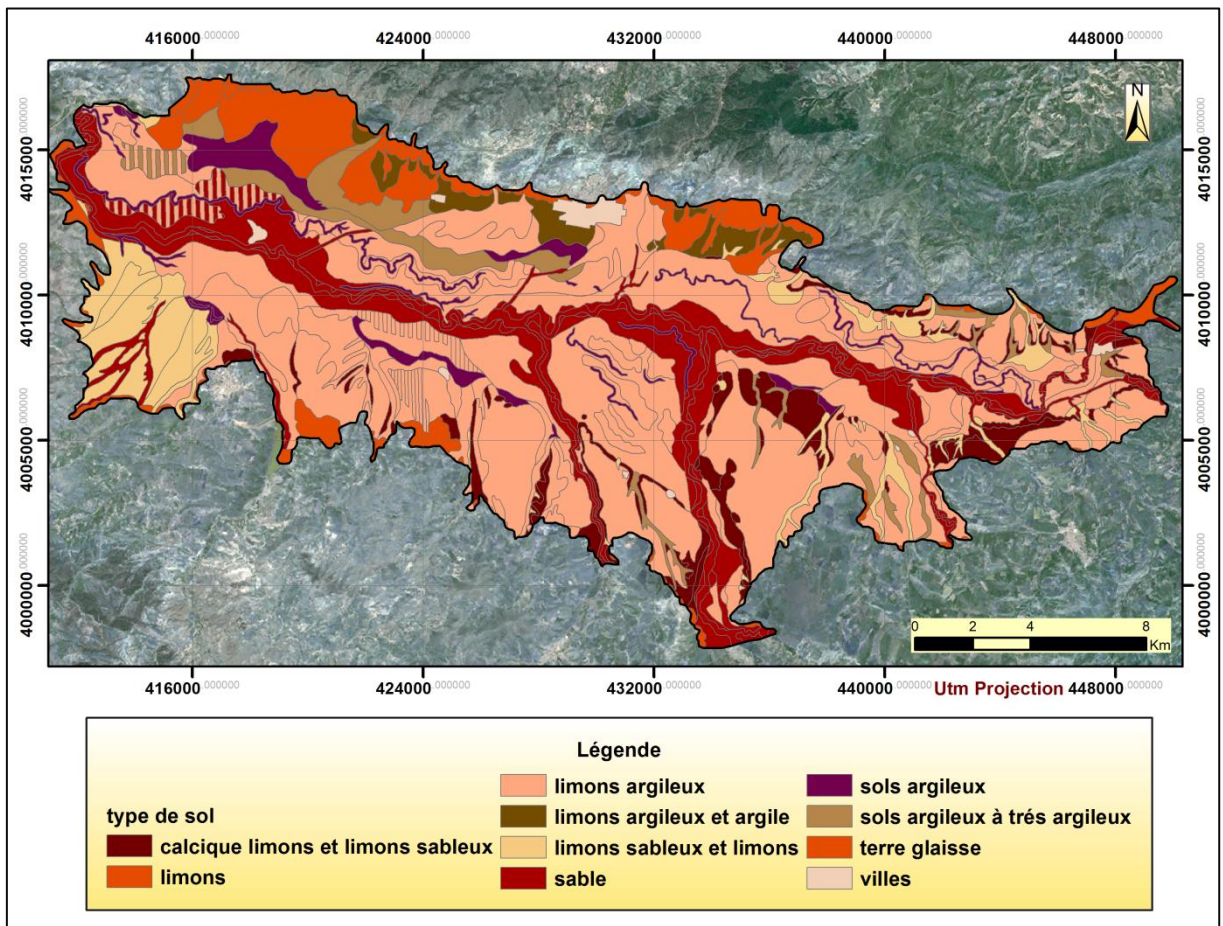


Figure.23a. Répartition spatiale des types du sol de la plaine alluviale de Khemis Miliana

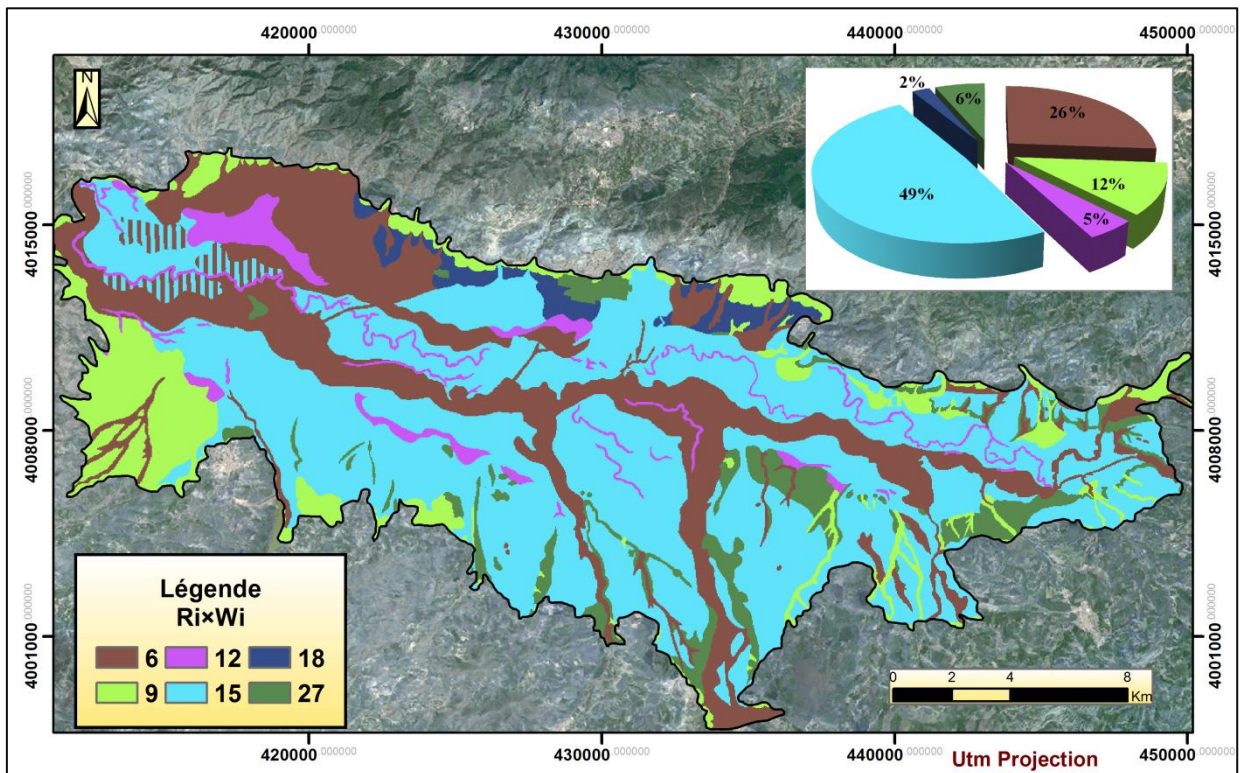


Figure.23b. Répartition spatiale des types du sol assigné à leur scores et poids

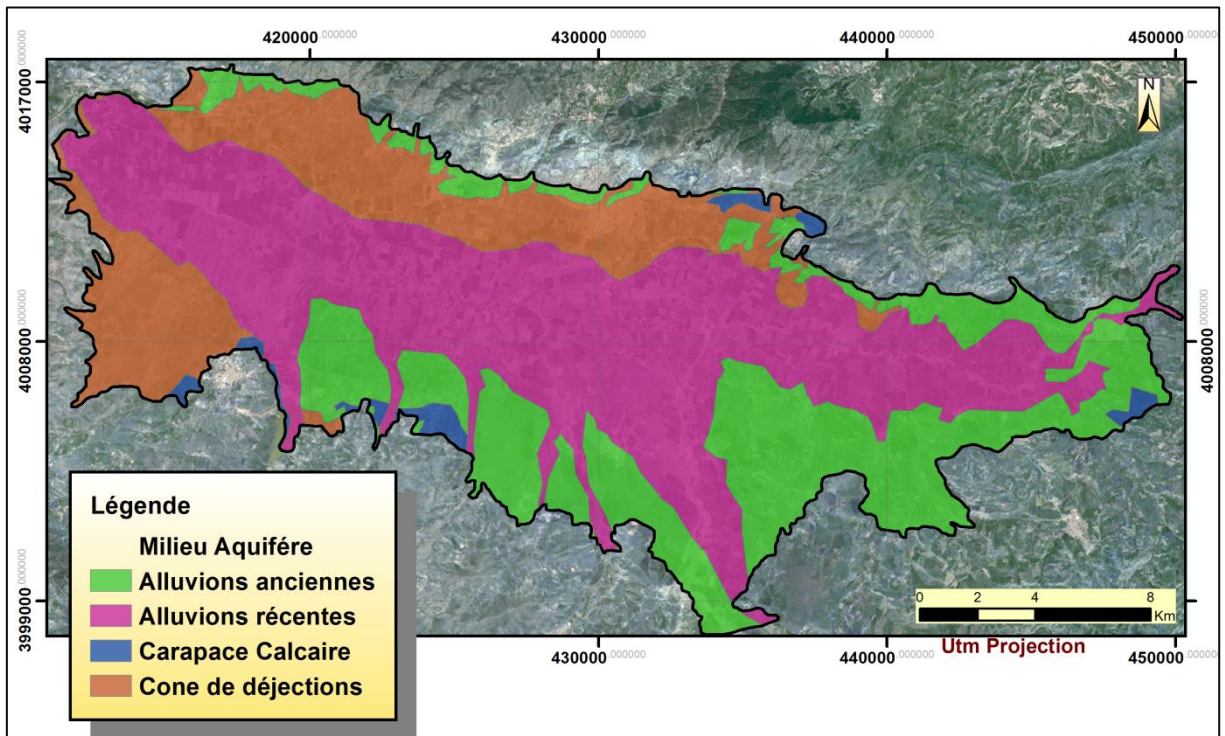


Figure.23a. Répartition spatiale du paramètre du milieu- aquifère de la plaine alluviale de Khemis Miliana.

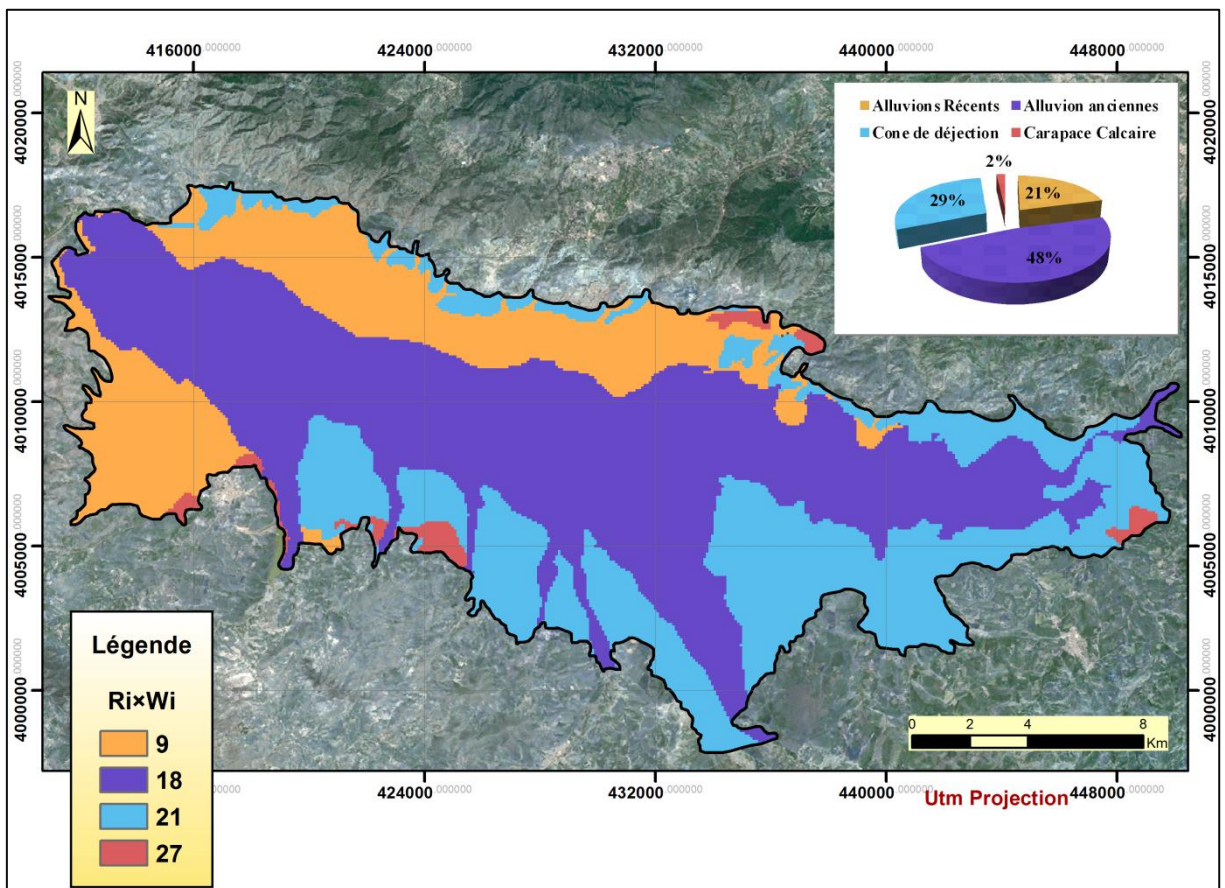


Figure.23b. Répartition spatiale du paramètre du milieu -aquifère assigné aux scores et poids.

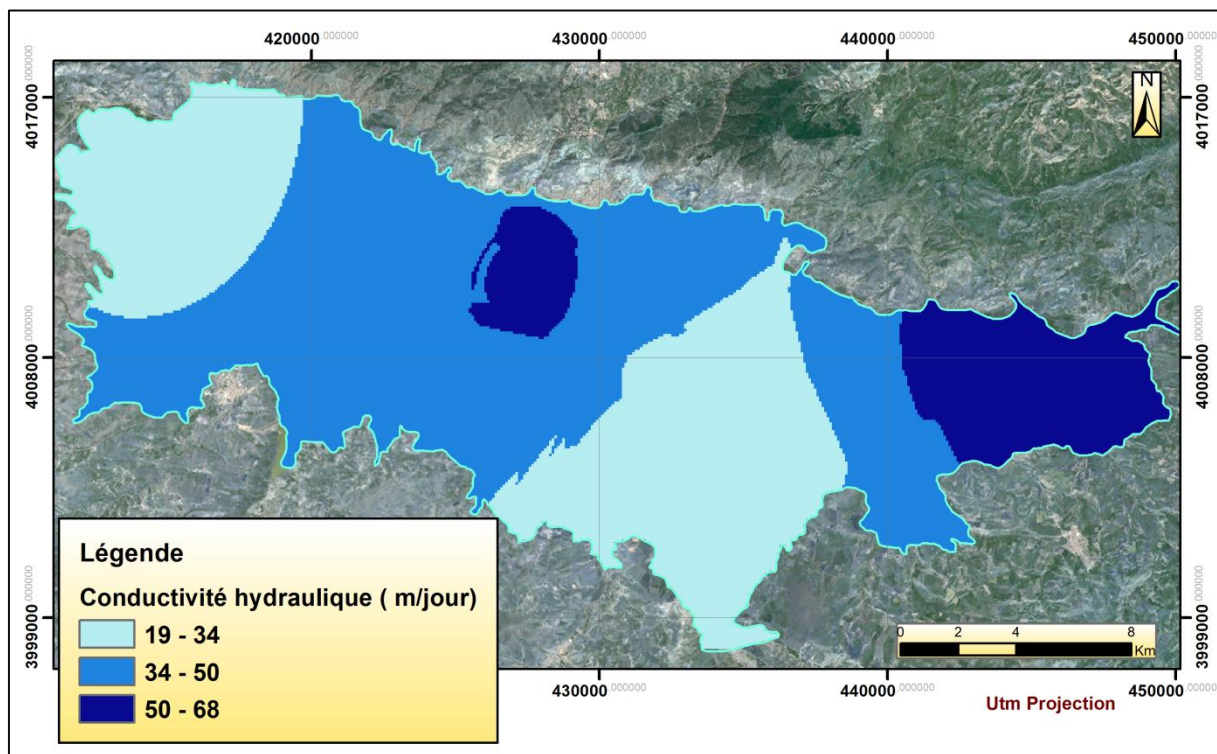


Figure.24a. Répartition spatiale de la conductivité hydraulique dans la plaine alluviale de Khemis Miliana.

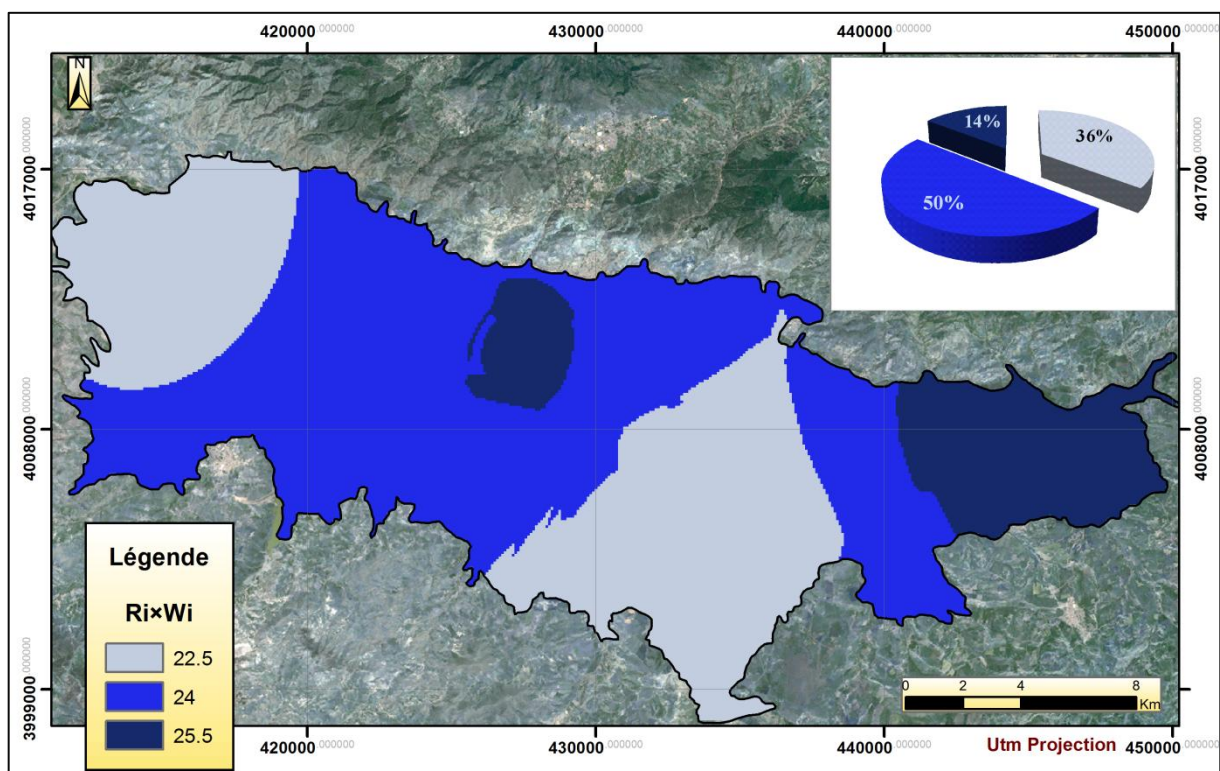


Figure.24b. Répartition spatiale de la conductivité hydraulique assignée à leurs Scores et Poids.

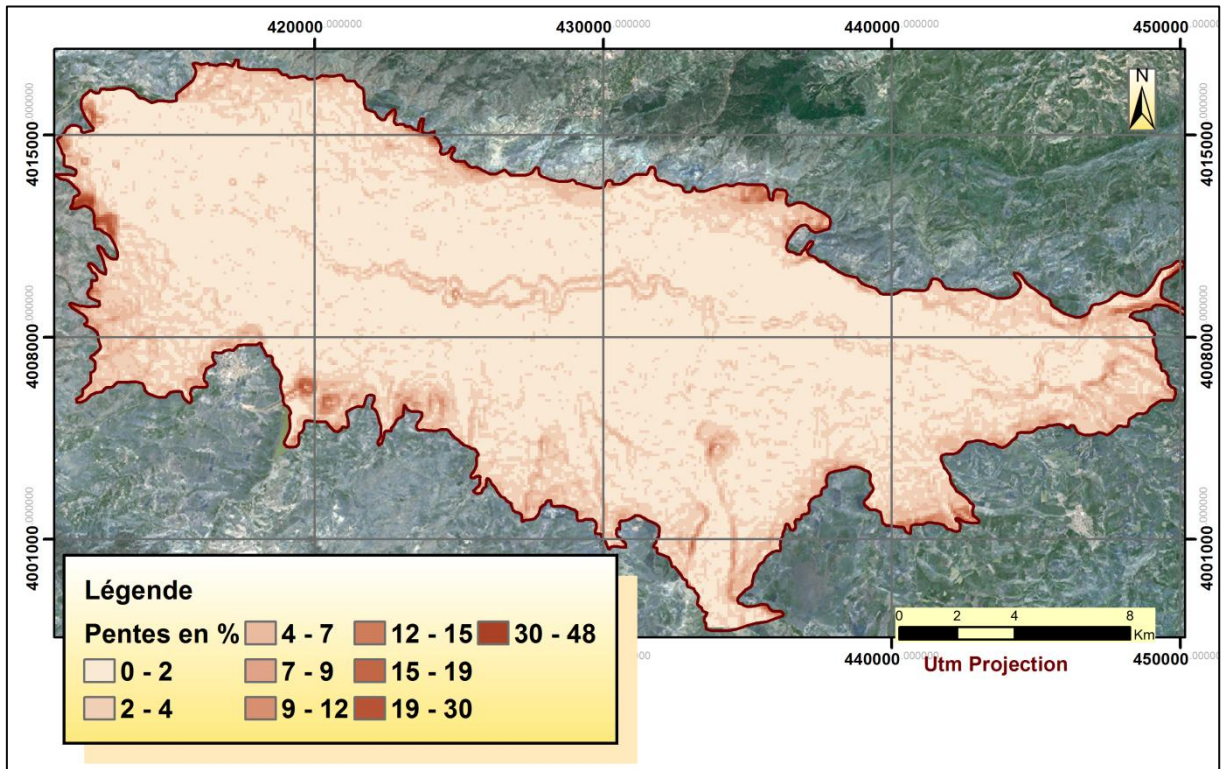


Figure.25a. Répartition spatiale des degrés de la pente de la plaine alluviale de Khemis Miliana.

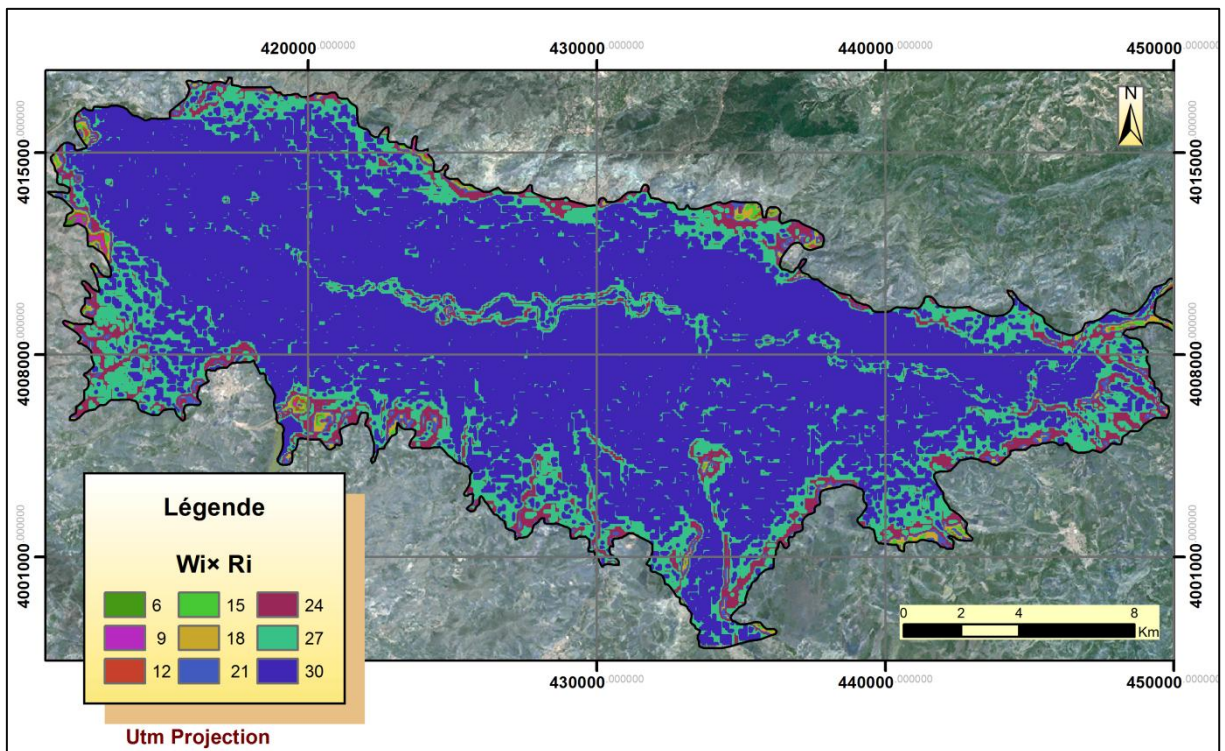


Figure.25b. Répartition spatiale des degrés de la pente de la plaine alluviale assignée à leur scores et poids.

IV.3-Etablissement de la Carte de Vulnérabilité selon le Modèle-SINTACS

La carte des indices de degré de la vulnérabilité intrinsèque-SINTACS à la pollution des eaux souterraines de la plaine alluviale de Khemis Miliana à été réalisé en se basant sur la cartographie de chaque paramètre individuellement, nous allons dans ce chapitre exposer et discuter les résultats de chaque paramètre :

IV.3.1- Paramètres du modèle-SINTACS

IV.3.1.1 Profondeur des eaux souterraines (S)

Les profondeurs des eaux souterraines de la plaine alluviale de Khemis Miliana ont été estimées par interpolation géostatistique, elles varient entre 1 mètre e 40 mètres dans la plaine, la partie centrale est caractérisée par un seuil variable qui balance entre 1m et peut atteindre des valeurs jusqu'aux 20 m localement Oued Massine et Deurdeur, dans la partie orientale de la zone d'étude allant vers le Sud-Est à la proximité de la ville de Djendel, les profondeurs peuvent atteindre des valeurs maximales de 38 m. Par contre, la partie occidentale vers le Sud-Ouest de la ville des Aribis , partie Aval, est caractérisée par des profondeurs basses , ne dépassant pas les 10 mètres de profondeur (Voir Figure19a).

Les scores adéquats pour les intervalles de profondeur qui varient dans la zone d'étude avec les gammes 1-10, 10-20, 20-30 et 30-40 m ont été reportés sur la carte représentant la répartition spatiale des profondeurs par des scores 6, 4, 3 et 2, respectivement, avec un poids multiplicateur égale à 5 selon le scénario Normal pour le Modèle-SINTACS, choisi dans notre étude (voir figure19b).

IV.1.2-Recharge efficace de l'aquifère (I)

La recharge dans notre zone, est répartie plus ou moins comme suit : les valeurs de la recharge les plus élevées avec un intervalle compris entre (15-37 mm/an) sont observées au Nord de la plaine près de la ville d'Arib et au Sud-Ouest près du Djebel Doui, par contre les plus faibles valeurs sont localisées au Sud et au Nord-Est, il faut noter que la zone sud est affectée à une très faible recharge (voir figure20a).

Puisque, les variations de la recharge dans toute la zone d'étude sont estimées à moins de 50 mm/an, nous avons leurs assignées un seul score égale à 2 avec un poids multiplicateur égale à 4 selon le scénario Normal (voir figure20b).

IV.1.3 -Effet de l'autoépuration de la zone vadose (N)

Dans la partie Sud de la plaine, où les matériaux argileux limoneux devraient assurer une meilleure protection de l'aquifère ne sont pas bien développés, sous laquelle se trouve les cônes de déjection perméables et épais avec une épaisseur qui atteint parfois les 50 m aux bordures immédiates de la plaine. Les Roches perméables, modérément perméables, peu perméables et les zones de faible perméabilité ont leurs assigné des scores de 8, 7 et 3, 2 respectivement, avec un poids multiplicateur égale à 5 (Voir Figure21a).

Cinq classes de lithologie ont été distinguées : Graviers argileux qui sont développés à la bordure Sud de la plaine et qui occupent 35% de la surface totale de la région, les argiles et limons sont spatialement localisés dans la partie Nord-Ouest aux alentours de la ville des Aribis et à l'Est de la plaine avec un recouvrement de 61% de la surface totale, par contre, les formations qui sont considérées comme perméables se disposent à l'Est de la plaine à coté de la ville de Ain sultane et à l'Ouest entre la ville des Aribis et Sidi Lakhdar et qui ne couvrent que 4% de la superficie totale de la plaine (voire figure21b).

IV.1.4-Type de sol (T)

La nature du sol a un impact considérable sur la contamination de l'aquifère par les polluants provenant de la surface. Elle peut réduire, retarder ou accélérer le processus de propagation de polluant vers l'aquifère. Plus le sol est riche en argile ou limon, plus l'absorption des polluants est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande.(voir figure22a)

La carte pédologique de notre zone d'étude à été vectorisée sous une plateforme GIS, une base de donnée à été établie, et qui nous a facilité de faire des requêtes spatiales pour le calcul de pourcentage.

La nature lithologique en terme de pédologie et l'analyse facio-lithologique, nous ont montré que : 61 % de la surface totale de la plaine est occupée par des limons et limons argileux, la terre glaise et les sols alluviaux des dépôts sableux occupent 11 %, respectivement. Les sols argileux à très argileux qui se localisent entre Khemis Miliana et les Aribis et qui conservent une certaine protection, représentent 26 % de la surface totale, tandis que, les limons sableux et limons avec 2 %, se localisent dans la zone sud-ouest près de la ville Djelida.

Les types facio-lithologiques du sol de la plaine alluviale de Khemis Miliana ont été assignés par leurs scores et poids en suivant le tableau ci-dessous, six classes de type du sol ont été distinguées de la carte pédologique (figure22b).

IV.1.5-Caractéristiques hydrogéologiques du milieu aquifère (A)

Le paramètre milieu aquifère désigne la lithologie de l'aquifère, il intervient dans le Piégeage des polluants échappés au pouvoir d'absorption du sol. Son identification a été basée sur les logs et les coupes lithologiques des forages réalisés dans la zone d'étude. L'analyse de la carte du milieu aquifère, nous a montré que les matériaux lithologiques constituant l'aquifère alluvial de la plaine de Khemis Miliana sont constitués essentiellement par des alluvions récentes qui représente 48% de la surface totale, alluvions anciennes (21%), des cônes de déjections (29%) et des carapaces calcaires (2%) (Voir Figure23a).

Les scores correspondants pour chaque type lithologique ont été reportés en 4 classes suivantes : un score de 6 pour les alluvions récentes qui représentent 48% de la surface totale de l'aquifère ; 3 pour les cônes de déjection avec un recouvrement de 29% ; un score de 7 a été attribué aux alluvions anciennes et qui sont très développées surtout dans la partie sud de la région, tandis que le matériau constitué de carapaces calcaires entre la ville de Djelida et Bir.ouled.khalifa, on lui attribué un score de 9 et qui ne couvre que (2%). Il faut noter que, la partie centrale de notre région est caractérisée majoritairement par les alluvions récentes. Les matériaux lithologiques des cônes de déjection sont généralement développés à la bordure Sud-Ouest près de la ville de Djelida et au nord, allant vers l'ouest de la ville de Khemis Miliana. (figure23b).

IV.1.6-Conductivité hydraulique (C)

La conductivité hydraulique de la couche aquifère nous renseigne sur la vitesse de migration des polluants et leur dispersion dans la nappe du point d'injection, à la surface, jusqu'à la zone saturée et, par conséquent, leurs concentrations dans la nappe aquifère. Plus ce paramètre est important, plus le transfert des polluants est rapide.

Les valeurs des conductivités hydrauliques utilisées pour l'établissement de la carte de répartition spatiale de ce paramètre ont été estimées et obtenues à partir des essais de pompage mal réparties, si pour cette raison que nous avons utiliser une combinaison de collecte allant de la carte transmissivités déjà réalisée avec celle des profondeurs d'eau souterraine .

Les conductivités hydrauliques sont calculées en divisant les transmissivités par la puissance de la nappe. Les valeurs ainsi obtenues sont faibles à moyennes dans leur ensemble et l'interpolation de ces données ponctuelles nous a permis d'établir la carte du paramètre C.

Les valeurs de la conductivité hydraulique dans notre région sont comprises entre 19 et 68 m/j (figure24a).

Trois classes de conductivité hydraulique ont été distinguées et indexées selon le modèle-SINTACS. Une classe de valeurs élevées (50-68 m/j) située au Nord de la plaine entre Khemis Miliana et Sid Lakhdar et à l'Est à la proximité de la ville de Djendel dans la partie amont et qui représente 14% de la surface totale, une deuxième classe de moyennes valeurs (34-50 m/j) située au niveau centrale et qui couvre 50% de la surface de notre région d'étude.

La troisième classe des valeurs faibles comprises entre (19 et 34 m/j) et qui couvre une partie de la zone aval et qui est développée entre Massine et Deurdeur qui couvre aussi 36% de la zone étudié. Des scores de 7.5 ; 8 et 8.5 ont été attribués respectivement aux intervalles 19-34, 34-50 et 50-68 (figure24b).

IV.1.7-Pente (S)

Le paramètre pente est représenté par les degrés de pente en pourcentage, ce paramètre traduit l'aptitude au ruissellement et à l'infiltration des eaux superficielles vers la nappe et reflète donc la capacité de ces eaux à introduire des agents polluants vers la nappe. En effet, plus la pente des terrains est grande, plus le ruissellement des eaux est important et par conséquent la contamination des eaux souterraines est faible. En revanche, une zone à faible pente a une tendance à retenir l'eau pendant une longue période, cela permet un plus grand potentiel de migration des contaminants de la surface vers la nappe par infiltration.

Neuf classes des degrés de pente ont été accommodées à la plaine alluviale de Khemis Miliana avec des intervalles: 0-2, 2-4, 4-7, 7-9, 9-12, 12-15, 15-19, 19-30 et 30-48%, des valeurs de scores de 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4 et 2 ont été attribuées à ces intervalles, respectivement.

Il faut noter que, d'après l'analyse de la carte par histogramme, la quasi- totalité de la zone d'étude est caractérisée par une très faible pente, comprise entre (0-2 %) et qui couvre 80 % de la superficie totale de la plaine (voir figure25).

IV.1.8-Carte finale de la vulnérabilité selon le Modèle-SINTACS

La méthode qui a été appliquée pour préparer la carte de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines à la pollution a déjà été entièrement décrite dans les sections

précédentes. Sur cette carte, il est possible de remarquer ce qui suit dans le secteur d'étude: La majeure partie de la plaine de khemis Miliana est caractérisée par un degré de vulnérabilité faiblement moyenne, qui représente 66% de la surface totale de la plaine; qui domine la partie amont et presque toute la partie central entre Djendel et Arib.

Une vulnérabilité fortement moyenne représente presque 29 %, elle se localise dans la l sud-ouest de la plaine et dans la rive gauche de l'Oued Chélif ou on peut enregistrer des indices qui allant entre 141 et 160, la zone qui se trouve entre la ville Bir ouled khalifa et djelida est aussi affectée par ce degré de vulnérabilité. Les degrés de vulnérabilité très élevée sont négligeables dans la plaine.

A partir de l'analyse de la carte finale de la vulnérabilité, obtenue en appliquant la méthode SINTACS, nous constatons que le Sud de la plaine et qui croît jusqu'aux bordures sud, ainsi que la partie amont, sont les zones les plus vulnérables, donc les plus exposées au risque de contamination des eaux souterraines (Voir Figure 26a).

IV.2-Incohérences entre la vulnérabilité et la qualité des eaux souterraines :

Les valeurs intrinsèques de la vulnérabilité indiquent le potentiel de pollution de l'aquifère. Un indice de vulnérabilité plus élevée indique une plus forte probabilité de contamination (Civita et De Maio 1997). Les valeurs de sortie varient de 105 à 186 et, Pour la carte montrant les Indices de Qualité des eaux souterraines, varient de 50 à 200.

Afin de faciliter l'analyse de la cohérence entre les deux contextes, et faire ressortir des coefficients de corrélation entre l'indice de la vulnérabilité et celui de la qualité des eaux souterraines, une normalisation a été faite pour les deux cartes. L'indice de vulnérabilité de l'aquifère alluvial a été normalisé ainsi que celui de GWQI, en utilisant l'expression suivante:

$$\mathbf{In=100(Ix-Imin)/ (Imax-Imin)} \quad \mathbf{(Eq.4)}$$

Où: **In** = indice de vulnérabilité Qualité des eaux normalisé; **Imin** = indice de vulnérabilité minimum, **Imax** = indice de vulnérabilité maximale **Ix** = indice de vulnérabilité brut non-normalisé. Ainsi, les cartes SINTACS-GWQI seront normalisées à une échelle de **0** à **100**. L'étude de la cohérence a été basée sur la statistique de régression. C'est une technique qui permet d'étudier la relation qui pourrait exister entre deux variables quantitatives VI et GWQI:

La carte de L'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution par la méthode SINTACS a été réalisée en utilisant 7 paramètres à savoir : la conductivité hydraulique (C), pente (S), aquifère (A), type de sol (T), la recharge, (N) la zone vadose, la profondeur des eaux souterraines(S).

La carte de la qualité des eaux souterraines à été établie, quant à elle, sur la base de plusieurs éléments chimiques et suivant la norme algérienne de potabilité. Habituellement, il ya une relation directe entre une vulnérabilité élevée et une diminution de la qualité de l'eau quand il ya des sources de pollution de surface. Ce qui est logique, car les zones vulnérables sont très sensibles à la contamination par des sources de surface (cet aspect s'applique aux sources anthropiques).

Les alluvions grossières qui constituent l'aquifère principal de la zone d'étude, présentent des propriétés intrinsèques telles que la vulnérabilité, qui est identifiée comme le risque potentiel de pollution des eaux souterraines par des contaminants générés par l'activité humaine. Quand il ya des sources de pollution de la surface, il y a habituellement une relation directe entre la grande vulnérabilité et une diminution de la qualité de l'eau, objet de notre étude. Néanmoins, cette relation n'a pas été observée dans toute la plaine, en comparant la carte des indices de vulnérabilité avec les répartitions spatiales des concentrations des éléments chimiques, individuellement et donc les circonstances d'inconsistances entre la vulnérabilité de l'aquifère et de la qualité de l'eau ont été constaté avec des coefficients de corrélation très faibles.

Ladite relation de l'impact d'une source de surface de la contamination est observée seulement dans la région Sud, où les indices de vulnérabilité sont élevées, les indices de GWQI sont compris entre 100 -200, le coefficient de corrélation dans cette zone est de 0.6 (voir figure26b et tabeau08), la qualité des eaux de cette région sont liés à la minéralisation induite à la nappe par alimentation des eaux des deux Oueds Massine et Deurdeur. Néanmoins, cette relation n'a pas été observée pour une partie importante de la zone d'étude; comme on peut le voir dans la figure 27 et le tableau08, des coefficients de corrélation faibles ont été calculés et qui sont d'ordre 0.21, 0.23, 0.19, 0.02, -0.06 ,0.11 sont représentés par les zones amont, nord-ouest, centre, nord- est, sud-est et aval respectivement.

Tableau.07. l'indice de vulnérabilité à la pollution et l'indice de la qualité des eaux souterraines

Sud ouest	0.60
Sud Est	-0.06
Amont	0.21
Aval	0.11
Nord Ouest	0.23
Nord Est	0.02
Centre	0.19

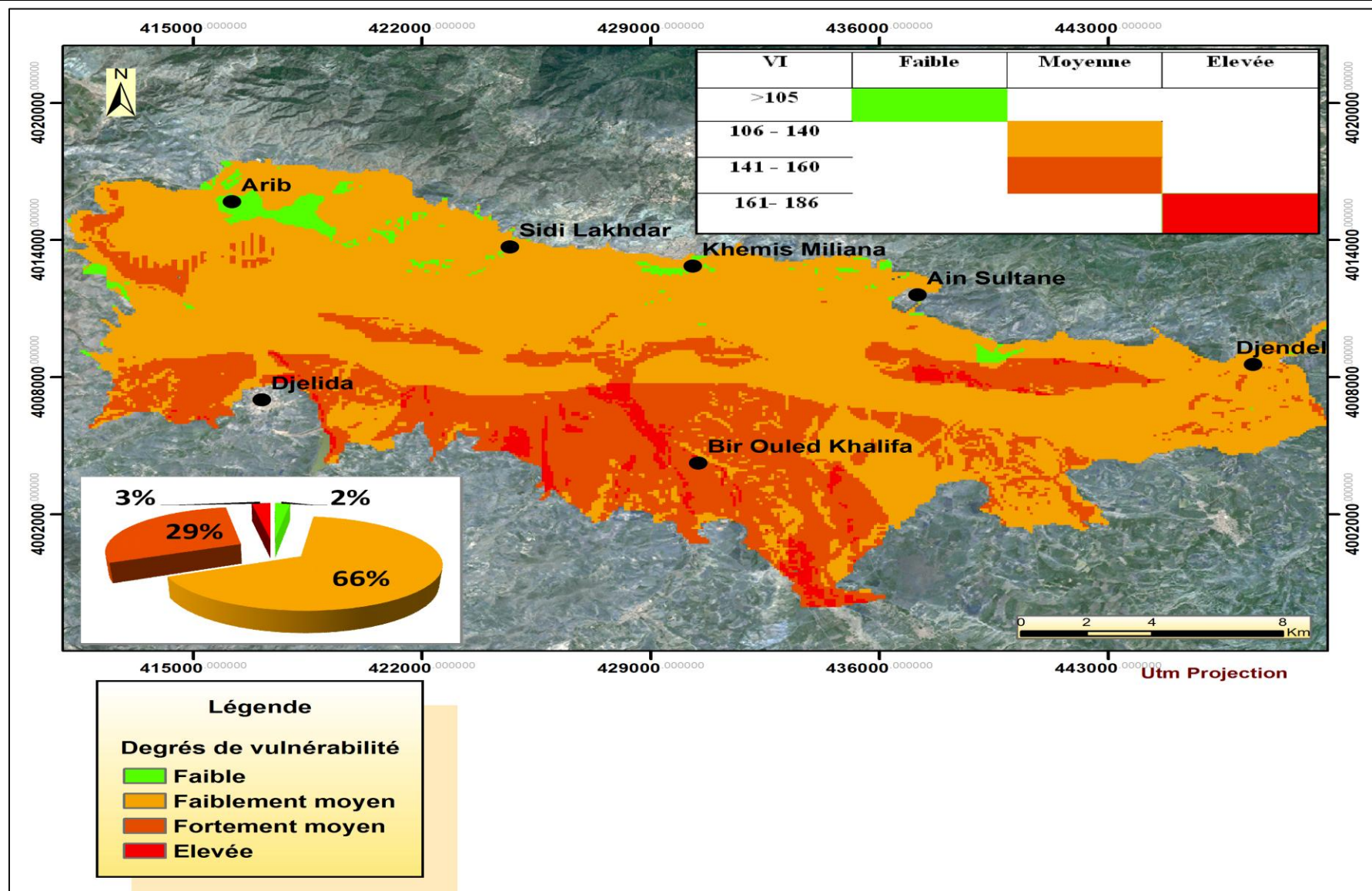


Figure. 26a. Carte de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution de la plaine alluviale de Khemis Miliana.

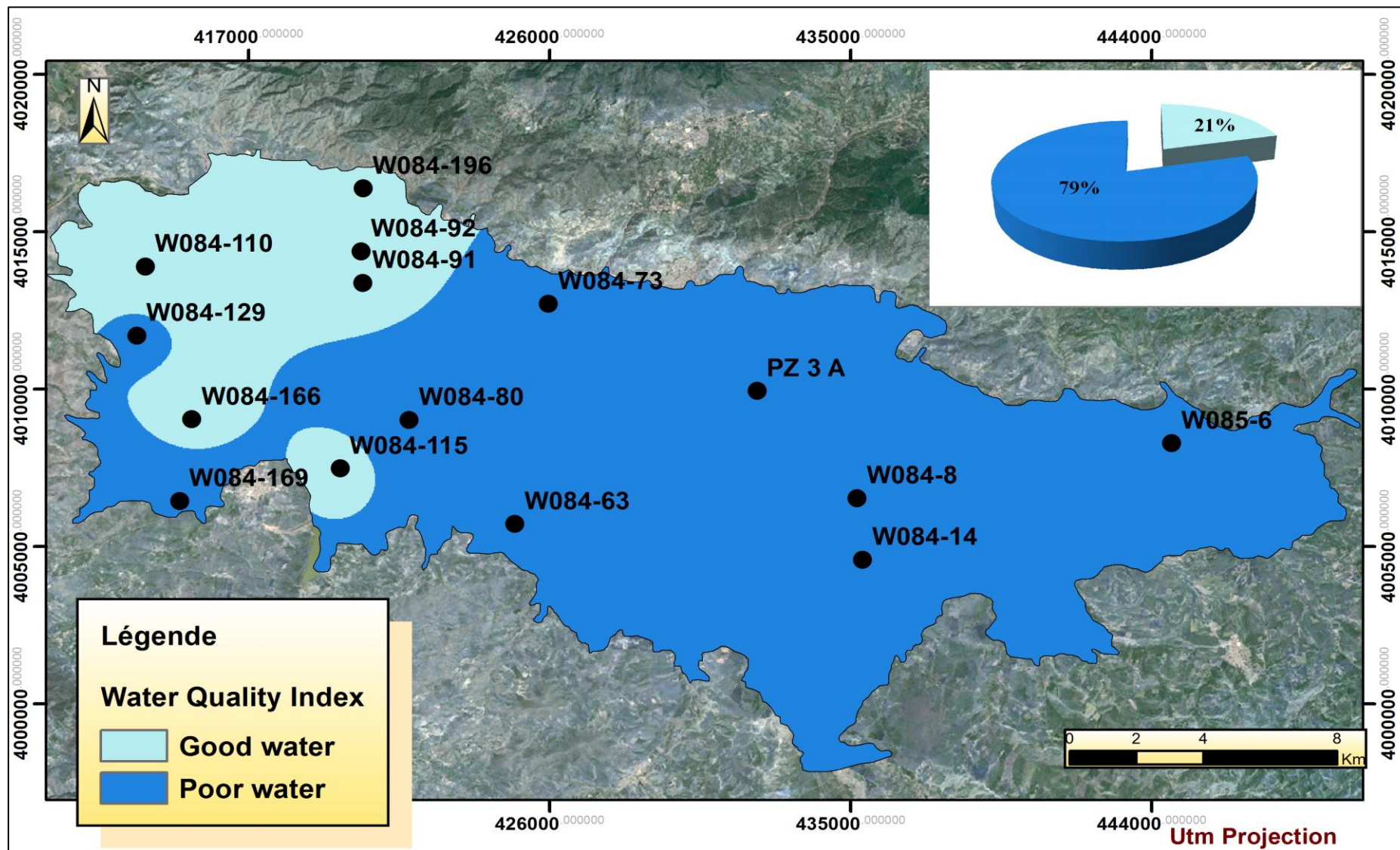


Figure.26b. Carte de répartition spatiale de l'indice de qualité des eaux dans la plaine alluviale de Khemis Miliana. (Basse eaux2013).

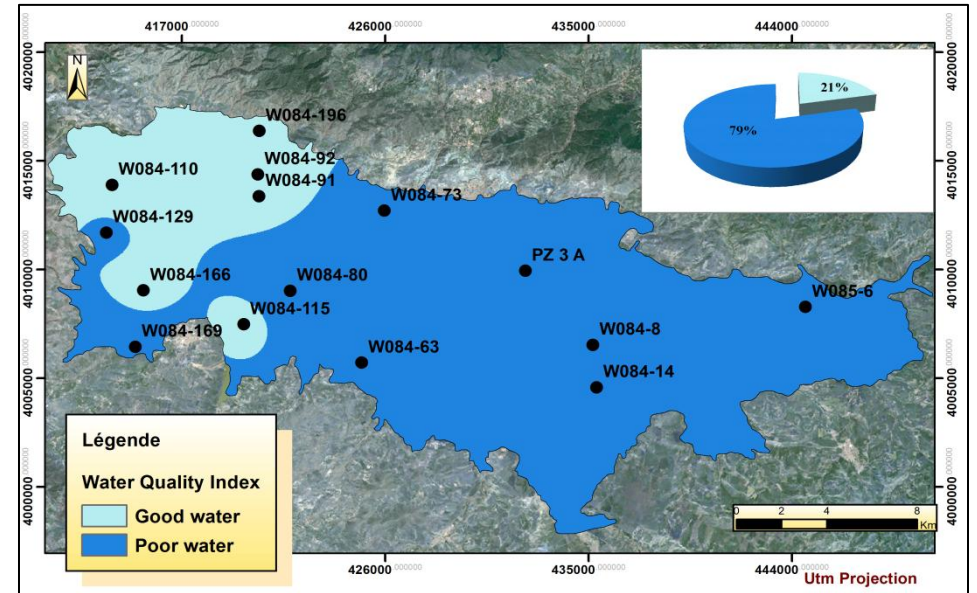
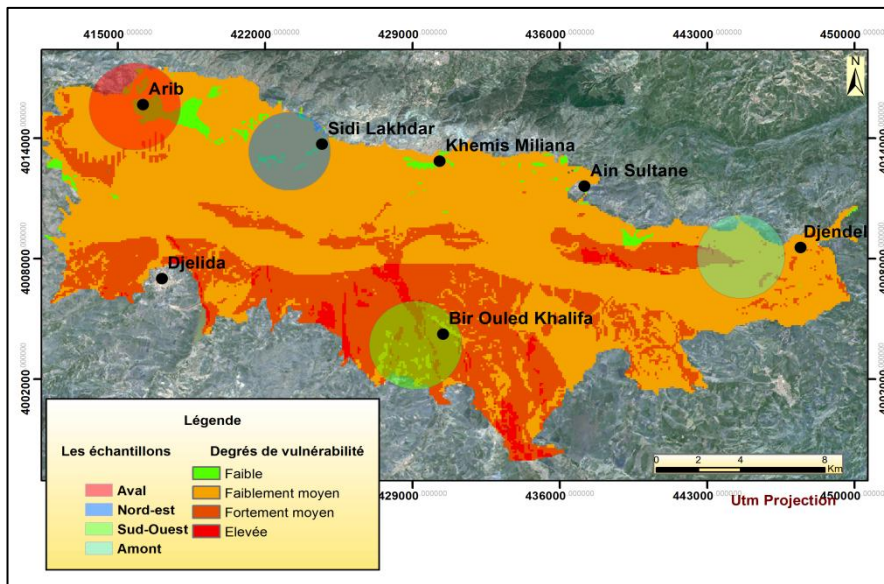
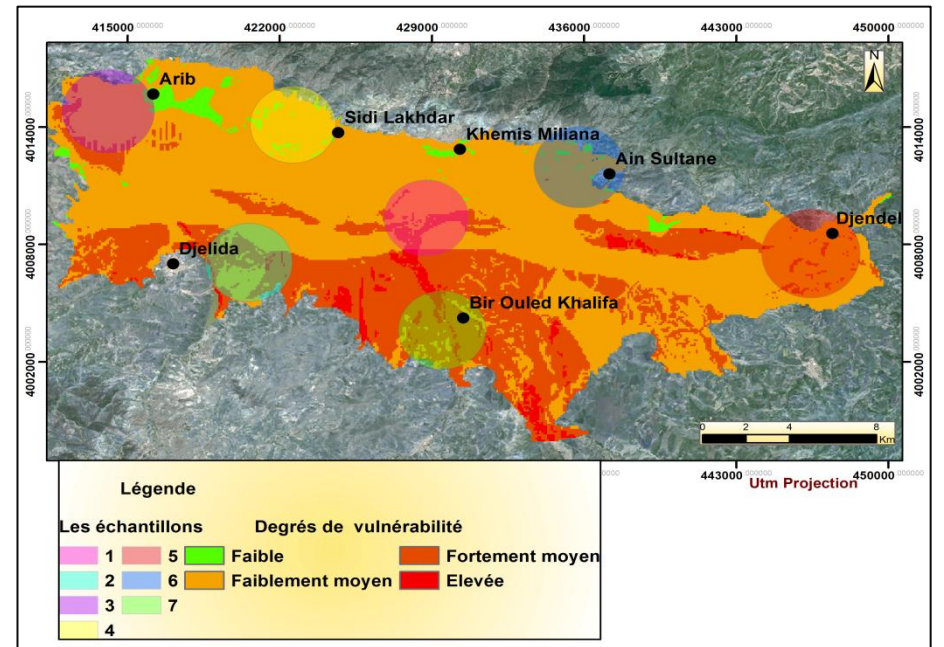
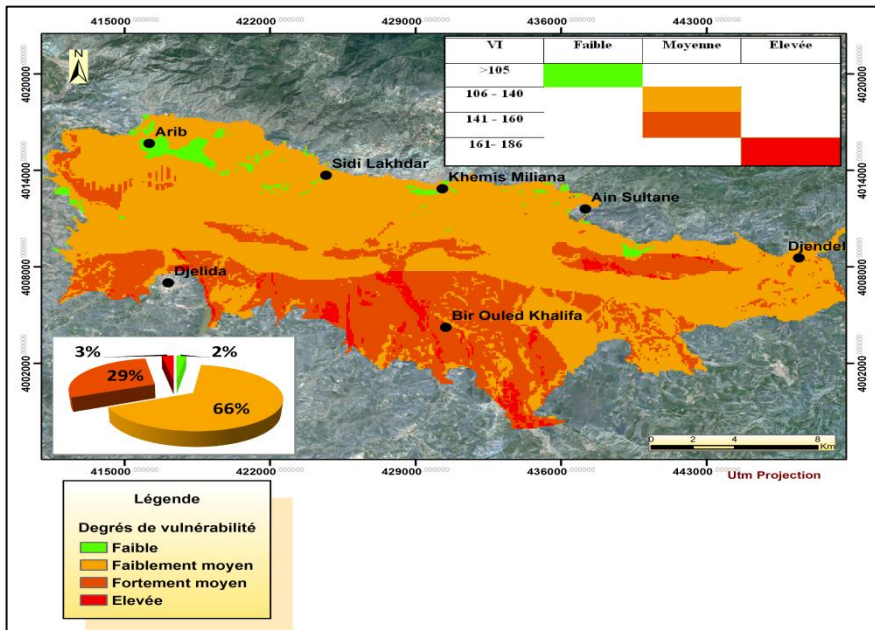


Figure. 27. Représentation de l'incohérence entre la vulnérabilité et la qualité des eaux souterraines .

Conclusion générale

Les eaux souterraines sont intrinsèquement sensibles à la contamination provoquée par les activités anthropiques et naturelle, leur traitement devient très coûteux ces dernières années. La prévention contre la contamination des eaux souterraines est essentielle pour une gestion efficace et durable. Dans ce mémoire, une tentative a été faite pour évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines de l'aquifère alluvial de la plaine de Khemis Miliana, Algérie.

L'analyse hydrogéochimiques de la nappe alluviale a montré que les eaux souterraines de la plaine du Haut-Chéiff présentent essentiellement un faciès chloruré calcique, des concentrations en Chlorures et sulfates sont très répandues, surtout dans la partie sud où nous assistons à des signes de contamination.

A partir de l'analyse de la carte finale de la vulnérabilité, obtenue en appliquant la méthode SINTACS, nous constatons que le Sud de la plaine et qui croît jusqu'aux bordures sud, ainsi que la partie amont, sont les zones les plus vulnérables, donc les plus exposées au risque de contaminations des eaux souterraines.

La carte de la qualité des eaux souterraines qui a été établie, sur la base de plusieurs éléments chimiques et suivant la norme algérienne de potabilité. Elle montre qu'il y a une relation directe entre une vulnérabilité et une diminution de la qualité de l'eau quand il y a des sources de pollution de surface. Ce qui est logique, car les zones vulnérables sont très sensibles à la contamination par des sources de surface (cet aspect s'applique aux sources anthropiques).

Les alluvions grossières qui constituent l'aquifère principal de la zone d'étude, présentent des propriétés intrinsèques telles que la vulnérabilité, qui est identifiée comme le risque potentiel de pollution des eaux souterraines par des contaminants générés par l'activité humaine. Quand il y a des sources de pollution de la surface, il y a habituellement une relation directe entre la grande vulnérabilité et une diminution de la qualité de l'eau, objet de notre étude. Néanmoins, cette relation n'a pas été observée dans toute la plaine, en comparant la carte des indices de vulnérabilité avec les répartitions spatiales des concentrations des éléments chimiques, individuellement et donc les circonstances d'inconsistances entre la vulnérabilité de l'aquifère et de la qualité de l'eau ont été constaté avec des coefficients de corrélation très faibles.

Références bibliographiques

BABIKER et al, (2005): A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. *Sci Total Environ* 345:127–140. doi:10.1016/j.scitotenv.2004.11.005

BARBER et al, (1993): Assessment of the relative vulnerability of groundwater to Pollution: a review and background paper for the conference workshop on vulnerability assessment. *J. Austr. Geol. Geophys.* 14(2/3), 1147–1154.

BENMERIDJA AHMAD (2004): Base de données, système d'information géographique et modélisation tridimensionnelle de la géologie, de l'hydrodynamisme et de la pollution des eaux souterraines à l'échelle locale : approche intégrée appliquée à la région du Haut Cheliff, plaine de Khemis-Miliana. (mémoire d'ingénieur- Centre universitaire de Khemis Miliana).

BENTOUTI, L., BOUZIDI ,A. (2010). Etude de la qualité des eaux souterraines de la Wilaya de Sétif. Université Badji Mokhtar– Annaba, Université Ferhat Abbas –Sétif,4p

BONG. N et MEZIANI. S (2013) : Application des SIG et de technique de spatialisation pour l'identification, l'évaluation et le développement des ressources en eau souterraine de la plaine de Khemis Miliana (mémoire de Masterons universitaire de Khemis Miliana).

BOUZIANE ERRAHMANI A (2005): Contribution à l'étude de la protection de la nappe Alluvial du Haut Cheliff (mémoire d'ingénieur- Centre universitaire de Khemis Miliana).

CIVITA (1994) : La carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento : Teoria et pratica. Pitagore Editrice, Bologna, 325 p.

CIVITA et al, (1994) : Le Carte della vulnerabilità` degli acquiferi all'inquinamento. Teoria and practica. Pitagora Editrice, Bologna, p 325

CIVITA et DE MAIO, (2000) : Valutazione e cartografia automatica degli acquiferi all' inquinamento con il sistema parametrico SINTACS R5, Pitagora Editore, 275 p.

CUCCLIF e t al, (2007): Intrinsic vulnerability assessment of Sette Comuni Plateau Aquifer (Veneto Region, Italy), Journal of Environmental Management, 11 p.

DAKOUR, D., (2003). Etude hydrogéologique et géochimique de la bordure Sud-Est du bassin sédimentaire de Taoudi (Burkina Faso-Mali)-Essai de modélisation. Thèse de Doctorat, Université Paris VI, 255p

DANIELA DUCCI (2010): Aquifer Vulnerability Assessment Methods: The non- Independence of parameters problem Doi: 10.4236/jwarp.2010.24034 pp302.

DERBAL. S et BENALI. F (2004) : Etude de l'influence de la pollution générée par Oued Soufay et Rehane sur les eaux superficielles et souterraines de la plaine de Khemis Miliana (mémoire DEUA Centre universitaire de Khemis Miliana).

GUILLAUME MEYZONNAT (2012): Estimation de la vulnérabilité de l'aquifère au roc de la zone bécancour centre-du-Québec (mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en sciences de la terre université du Québec à Montréal).

HEM JD (1985). Study and Interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Geol. Surv. Water Supply paper, 2254:1-2.

Hattab.M.1998. Etude qualitative des eaux du haut Chélif. Mémoire fin d'étude. Promotion 1998. CU Khemis Miliana.

FEHDI, C., BOUDOUKHA, A., ROUABHIA, A., et SAIAMEH, E. (2009). Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud-Est algérien).

KAHILA.A et ACHOUR.K (2008) : Contribution à l'étude de la qualité des eaux souterraines de la plaine du Haut Cheliff. (Rapport du projet de synthèse de licence en système (L.M.D)- Centre universitaire de Khemis Miliana).

KHENCHELAOUI DALIA (2001) : Cartographie de la vulnérabilité à la pollution l'aquifère Plio-Quaternaire du haut et moyen cheliff oriental application (mémoire d'ingénieur- université de sciences et technologie Houari Boumediene).

LOBO FERREIRA.J.P. et OLIVEIRA.M, (2004): Groundwater vulnerability assessment in Portugal, Geofísica Internacional, Vol. 43, N°4, pp. 541-550.

MALIK.P et SVASTA.J (2005): « European Approach » in assessing groundwater vulnerability of the Muranska planina plateau, Slovakia, Geological survey of Slovak Republic, Mlinska dolina 1, 817 04 Bratislava, Slovak Republic, 15 p.

MCLAY et al, (2001): Predicting groundwater nitrate concentrations in a region of mixed agricultural land use: a comparison of three approaches. Environ. Pollut. 115, 191–204.

MERCHANT et al, (1987): Groundwater pollution hazard assessment: a GIS approach. In: Proc. Int. Geographic Information Systems (IGIS) Symp., vol. 3, 103–115.

MESSALMI HAYET (2004) : Essais de quantification de la ressource en eau (mémoire d'ingénieur Centre universitaire de Khemis Miliana).

MOHAMED.H.H et al (2008) : Evaluation de vulnérabilité à la pollution potentielle de la nappe côtière alluvionnaire de Meltine-Ras Jebel-Raf Raf (Nord- Est Tunisien) selon les méthodes paramétriques DRASTIC, SINTACS et SI, DOI : 10.7202/017932ar volume 21, numéro 1, 2008, p.75-86.

NAPOLITANO et FABBRI, (1996): Single-parameter Sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS. In Proceedings of Vienna Conference, IAHS Publ. 235, Wallingford, pp559-566.

NEUKUM.C et HÖTZL.H, (2006): Standardization of vulnerability maps, environmental geology (2007) 51, 2006, pp. 689-694.

PUSKAS.B, 2003; FONTAINE.L, 2004 ; PLAGNES.V et Al, (2006) : Cartographie de la vulnérabilité des karsts : Evolution de la méthode RISKE, Colloque "Les Ressources en eau en milieu karstique", Rouen, 4-5 mai.

ROMAIN DUCOMMUN (2010): Estimation et cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines en milieu urbain (Thèse présentée à la Faculté des sciences de l'Université de Neuchâtel Pour l'obtention du grade de docteur).

ROSEN, L. (1994): A study of the DRASTIC methodology with emphasis on Swedish conditions. Groundwater 32(2), 278–285.

SARAPIROME ET MAJANDANG, (2008): Groundwater vulnerability Mapping using a GIS-based DRASTIC model at Lam Takhong Subbasin, Nakhon Ratchasima, Thailand. In: Proceedings of the international symposia on geosciences resources and environments of Asian terranes (GREAT 2008), 4th IGCP 516 and 5th APSEG. Bangkok, pp 559-564

Tableau.08 : Faciès chimiques des eaux souterraines rencontrés dans la plaine de Khemis-Miliana.

ID	X	Y		faciès
W084-8	435196.03	4006528.9	$Cl^- (69.2\%) > SO_4^{2-} (13.7\%) > HCO_3^- (13.6\%)$ $Ca^{2+} (60.5\%) > Mg^{2+} (20.4) > Na^+ (19.8\%)$	Chloruré Calcique et Sodique
W084-155	428890.44	4004798.47	$Cl^- (66.1\%) > SO_4^{2-} (17.1\%) > HCO_3^- (13.2\%)$ $Ca^{2+} (53.6\%) > Mg^{2+} (19.2) > Na^+ (26.7\%)$	Chloruré Calcique
W084-14	435359.96	4004578.33	$Cl^- (62.3\%) > SO_4^{2-} (21.1\%) > HCO_3^- (14.8\%)$ $Ca^{2+} (58.6\%) > Mg^{2+} (21.4\%) > Na^+ (19.6\%)$	Chloruré Calcique
W084-63	424963.12	4005710.75	$Cl^- (61.5\%) > SO_4^{2-} (22.7\%) > HCO_3^- (15\%)$ $Ca^{2+} (54.3\%) > Na^+ (23.7\%) > Mg^{2+} (21.8\%)$	Chloruré Calcique
W084-73	425965.01	4012707.91	$Cl^- (52.6\%) > SO_4^{2-} (28.7\%) > HCO_3^- (14.4\%)$ $Ca^{2+} (53\%) > Mg^{2+} (21.4\%) > Na^+ (25.2\%)$	Chloruré Sulfaté Calcique et sodique
W084-80	421803.3	4009020.77	$Cl^- (67.2\%) > SO_4^{2-} (21.4\%) > HCO_3^- (10.9\%)$ $Ca^{2+} (47.4\%) > Mg^{2+} (20.9\%) > Na^+ (31.1\%)$	Chloruré Calcique et Sodique
W084-91	420416.86	4013375.32	$SO_4^{2-} (42.2\%) > Cl^- (35.8\%) > HCO_3^- (21.1\%)$ $Ca^{2+} (56.6\%) > Mg^{2+} (22.7\%) > Na^+ (18.6\%)$	Chloruré sulfaté calcique
W084-92	420370	4014375.51	$Cl^- (42.2\%) > HCO_3^- (27.9\%) > SO_4^{2-} (22.3\%)$ $Ca^{2+} (55.7\%) > Mg^{2+} (22.5\%) > Na^+ (21.3\%)$	Chloruré bicarbonaté Calcique
W084-110	413918.14	4013895.74	$HCO_3^- (43.6\%) > Cl^- (43.5\%)$ $Ca^{2+} (64.9\%) > Na^+ (19.5\%) > Mg^{2+} (15.6\%)$	Bicarbonaté Chloruré calcique
W084-169	414944.85	4006442.05	$Cl^- (79.3\%) > HCO_3^- (10.1\%)$ $Ca^{2+} (51.2\%) > Na^+ (29.7\%) > Mg^{2+} (19\%)$	Chloruré Calcique et sodique
W084-182	417210.3	4011335.26	$Cl^- (45.7\%) > HCO_3^- (28.5\%) > SO_4^{2-} (24.1\%)$ $Ca^{2+} (50.1\%) + Mg^{2+} (25.3\%) + Na^+ (24.3\%)$	Chloruré Bicarbonaté Calcique et Magnésien
W084-185	429954.34	4009245.32	$Cl^- (56\%) > HCO_3^- (24.5\%) > SO_4^{2-} (19.4\%)$ $Ca^{2+} (45.8\%) > Na^+ (28.4\%) > Mg^{2+} (24.3\%)$	Chloruré calcique et sodique
W084-196	420426.28	4016375.43	$HCO_3^- (54.1\%) > SO_4^{2-} (24.4\%) > Cl^- (18.4\%)$ $Ca^{2+} (57.5\%) > Mg^{2+} (26.9\%) > Na^+ (14.9\%)$	Bicarbonaté Calcique et Magnésien
W085-6	444601.64	4008274.66	$Cl^- (48.7\%) > HCO_3^- (28.1\%) > SO_4^{2-} (12.2\%) NO_3^- (11\%)$ $Ca^{2+} (54.9\%) > Na^+ (24.4\%) > Mg^{2+} (20.4\%)$	Chloruré Bicarbonaté Calcique
PZ 1 A	441499.22	4007509.3	$HCO_3^- (38.1\%) > SO_4^{2-} (31.4\%) > Cl^- (28.5\%)$ $Na^+ (40.8\%) > Ca^{2+} (35\%) > Mg^{2+} (22.6\%)$	Bicarbonaté sulfaté chloruré sodique et calcique
PZ 3 A	432206.57	4009938.31	$Cl^- (69.2\%) > HCO_3^- (15.9\%) > SO_4^{2-} (13.2\%)$ $Ca^{2+} (50.2\%) > Na^+ (30\%) > Mg^{2+} (19.4\%)$	Chloruré Calcique et Sodique
PZ 4 A	425704.53	4009358.59	$Cl^- (46.2\%) > SO_4^{2-} (33.2\%) > HCO_3^- (19.8\%)$ $Ca^{2+} (59.5\%) > Mg^{2+} (24.4\%) > Na^+ (15.8\%)$	Chloruré sulfaté Calcique

Tableau.09 : Les valeurs de l'IQE des points d'eau de la plaine alluviale de Khemis Miliana (basse eaux2013).

Point d'eau	Nature	XUTM	YUTM	Z M	IQE
W084-129	PUITS	413661.22	4011696.41	251.75	105.93728
W084-166	PUITS	415303.00	4009041.10	269.18	85.3904315
W084-115	PUITS	419748.37	4007477.11	275.93	85.032268
W084-8	PUITS	435196.03	4006528.90	293.40	131.258051
W084-14	PUITS	435359.96	4004578.33	316.43	111.414683
W084-63	PUITS	424963.12	4005710.75	280.60	139.173754
W084-73	PUITS	425965.01	4012707.91	277.30	117.494048
W084-80	PUITS	421803.30	4009020.77	260.124	145.694275
W084-91	PUITS	420416.86	4013375.32	256.64	91.5747514
W084-92	PUITS	420370.00	4014375.51	284.31	90.7562817
W084-110	PUITS	413918.14	4013895.74	246.76	68.6874722
W084-196	PUITS	420426.28	4016375.43	278.01	72.283402
W084-169	PUITS	414125.96	3716118.03	313.15	149.207824
W085-6	PUITS	444601.64	4008274.66	346.26	100.716668
PZ 1 A	PIEZOMETRE	441964.85	4152291.68	296.00	105.620977
PZ 3 A	PIEZOMETRE	432206.57	4009938.31	276	112.750851

TIMTAOUSSINE.H (2003) : Impact de la pollution générée par l'oued Boutane sur les eaux superficielles et souterraines de la plaine de Khemis Miliana (mémoire d'ingénieur Centre universitaire de Khemis Miliana).

VRBA.J ET ZOPOROZEC .A: Guidebook on mapping Groundwater vulnerability, IAH, International Contribution to hydrogeology, Vol. 16, Heise, Hannover, 131 p.

WOOD et SANFORD, (1995): Chemical and Isotopic Method for Quantifying Ground Water in a Regional, Semiarid Environment. Ground Water, 33(3): 458-486 p.

Les Sites d'internets:

http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/rapportsurleau/Etat-eau-ecosysteme-aquatique-qualite-eau-Quelle-situation_NappeH2OSouterraine.htm#references.

Cartes utilisées :

Carte géologique

- Miliana (1/50.000) N°84 avec notice explicative.
- Plaine d'Affreville (1/50.000) N°1
- -Carte hydrogéologique

Ladite relation de l'impact d'une source de surface de la contamination est observée seulement dans la région Sud, où les indices de vulnérabilité sont élevées, les indices de GWQI sont compris entre **100 -200**, le coefficient de corrélation dans cette zone est de 0.6, la qualité des eaux de cette région sont liés à la minéralisation induite à la nappe par alimentation des eaux des deux Oueds Massine et Deurdeur. Néanmoins, cette relation n'a pas été observée pour une partie importante de la zone d'étude; comme on peut le voir dans la figure et le tableau, des coefficients de corrélation faibles ont été calculés et qui sont d'ordre **0.21, 0.23, 0.19, 0.02, -0.06 ,0.11** sont représentés par les zones amont, nord-ouest, centre, nord- est, sud-est et aval respectivement.

Recommandation :

- Surveillance périodique de la qualité des eaux
- Utilisation nationale des quantités optimales et raisonnables des engrais et produit phytosanitaires pour éviter toute les risques d'infiltration des nitrates.
- L'aménagement de la ressource en eau et le développement économique et social ne peuvent être considérés séparément. Cela est un des éléments indispensables pour qu'un plan d'aménagement soit réaliste et puisse être appliqué. Cela est aussi nécessaire pour répondre à un objectif de développement durable donc l'aménagement de la ressource en eau.