

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 ACADIMIQUE

Domaine : Science de la Nature et la Vie

Filière : Ressources en eaux, sols et environnements

Spécialité : Eau et Bioclimatologie

Présenté par : Boudjenane Imene

Maarouf Naama

Thème

**Utilisation du système d'information géographique et l'indice de
qualité des eaux (IQE) pour évaluer la qualité des eaux
souterraines dans la plaine Khemis Miliana**

Soutenu publiquement

Le : 30/06/2015

Devant le jury :

M^{me} Richa A

Présidente

UKM

M^{er} Gharbi B

Encadreur

UKM

M^{er} Amokrane A

Examineur

UKM

Année Universitaire : 2014 /2015

Remerciements

Au terme de ce travail, et avant tout, nous remercions *Allah* qui nous a donné la force, le courage et les moyenne pour la réalisation de ce travail.

Nous remercions *Dr. GHARBI BENYOUCEF* pour tout son dévouement lors de nous encadrement, pour tout son aide et ses précieux conseils et ses encouragements incessants, et surtout pour sa patience et sa compréhension.

Nous remercions nos membres du jury d'avoir accepté de lire et juger ce travail.

M^{me} Richa A

M^{er} Amokrane A

Je tien aussi à remercier en particulier les responsable des organismes suivants :

A.N.R.H. Blida

A.N.R.H. Alger

A.N.R.H. Khmís

D.R.E. Aïn Deffla

pour nous avoir mis à notre disposition les données nécessaires à réalisation de notre travail.

A tout ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents, mon père Hamid et ma mère Ouahiba

A mon promoteur Dr Gharbi Benyoucef

A ma chère sœur Rania

A mes chers frères Amine et Rayane

A mes chères grands-mères Aicha et Mimouna et mon cher grand-père Boualem...

A la mémoire de mon cher grand-père Ahmed

A toute ma famille paternelle Boudjenane, et ma famille maternelle Ghrici

A mes chers enseignants que ce soit de primaire, du moyen, du secondaire et de l'enseignement supérieur

A toutes mes amies Ftima, Zineb, Nawel, Naama et Kahina ...

A Nacer

A Association Des Amis De Khemis-Miliana , à Mr Boulafrag Oussama

*A toute personne qui a contribué à la réalisation de ce manuscrit
de près ou de loin*

IMENE BOUDJENANE

Dédicaces

Je dédie ce travail

*A ma très chère mère Bakhta, et mon père
Abdelkader*

A mon promoteur Dr .Gharbi

A mes frères Hamza , Mohamed , Djilali

*A mes sœurs Ismahane, Laïla , Amina et leurs
fils Mohamed et Amine*

*A toute la famille maternelle Toumi, et
paternelle Maarouf*

A mes cousines Nasrine, Anissa

*A mes chères amies Kahina, Zineb, Fatima,
Nawal, Mariem, Imene, Nadia, Hafida, Sara,
Khadidja, Fatiha*

A Bilal, Zaki, Yusef

A Mr.Douidia

A tous ceux que je porte dans mon cœur

Naama Maarouf

Sommaire :

Remerciements	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction Générale	1

Chapitre I : Aperçus bibliographique

Introduction	4
I.1-Indices de la qualité d'eau IQE	5
I.2-Évaluation de la qualité de l'eau souterraine	5
I.3-Définition de l'indice de qualité des eaux souterraines.....	6
I.4-Histoire chronologique de l'évolution de l'IQE	6
I.4.1-Indice de qualité de l'eau modèle d'Amérique du Nord (1970)	7
I.4.2-Indice de la qualité de l'eau modèle d'Europe dans les années 1970	7
I.4.3-Modèle de l'indice de qualité de l'eau au cours des années 1980	8
I.4.4-Modèle de l'indice de qualité de l'eau au cours des années 1990 -2000	8
I.4.5- Utilisation de l'indice de qualité de l'eau dans le contexte international	8
• Canada.....	8
• Inde	9
• Chine.....	9
• Malaisie	10
I.5-Le premier indice moderne celui de HORTON	10

Chapitre II : Matériels et Méthodes

II.1-Milieu physique, climatique, géologique et hydrogéologique	12
II.1.1- Localisation géographique de la plaine de Khemis Miliana.....	12
II.1.1.1- Contexte régional.....	12
II.1.1.2- Contexte régional	12
II.1.1.3- Habitat	14
II.1.2-- Contexte géomorphologique	14

II.1.2.1- Relief	15
II.1.3-Réseau hydrographique	15
II.1.4-HYDROCLIMATOLOGIE.....	18
Introduction	18
II.1.4.1- Précipitations.....	18
II.1.4.1.a-Réseau pluviométrique	18
II.1.4.1.b-Distribution des précipitations moyennes annuelles.....	19
II.1.4.1.c-Les précipitations moyennes annuelles	20
II.1.4.1.d-Précipitation moyennes mensuelles	21
II.1.4.1.e-Détermination de la lame d'eau précipitée	23
II.1.4.2-Température	24
II.1.4.2.a-Température moyenne mensuelle	24
II.1.4.3-Synthèse climatique	25
II.1.4.3.a-Indice d'aridité de DEMARTONNE	25
II.1.4.3.b- Le diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953)	26
II.1.5-Cadre géologique de la région	27
II.1.5.1-Cadre général	27
II.1.5.2-Cadre géologique locale	27
II.1.5.3-Stratigraphie et lithologie.....	28
II.1.5.3.a-Le substratum anté-Miocène.....	28
II.1.5.3.b-Les terrains constitutifs de la plaine de Khemis-Miliana	28
A) Le Miocène inférieur	28
B) Le Miocène supérieur	29
C) Le Pliocène	29
D) Le Quaternaire	30
D.1 Le Quaternaire ancien	30
• Les alluvions argileuses à la base	30
• Les alluvions grossières	30
D.2- Le Quaternaire récent	31
II.1.6-Etude hydrogéologique de la plaine	33
II.1.6.1- Description de l'aquifère	33
II.1.6.2-Identification des réservoirs	33
Réservoir alluvionnaire	33
Réservoir du Mio-Pliocène	34

II.1.6.3-Le recouvrement	34
II.1.6.4-Caractérisation hydrogéologique de la nappe alluviale de Khemis-Miliana	34
II.1.6.5-Les principaux aquifères de la région d'étude	35
• Les calcaires Jurassiques	35
• Les aquifères du Miocène	35
• Les aquifères du Pliocène	35
• Aquifère alluvionnaire du Quaternaire objet de notre étude	36
II.2-Collecte des données	36
II.2.1-Hydrogéochimie et spatialisation des paramètres	37
II.2.1.1-Détermination du faciès	37
II.2.1.2-Détermination de quantité en réaction en meq/l.	38
II.2.2-Indice de la Qualité des eaux souterraines (GWQI).....	38
II.2.3-Spatialisation hydrogéochimique	39
Chapitre III : Résultats et discussion	
III.1-Variation spatiale des éléments physico-chimiques	42
• Conductivité	42
• pH	42
• Résidu Sec	43
• Sulfates (SO_4^{-2})	45
• Chlorures (Cl^-)	45
• Bicarbonates (HCO_3^-)	45
• Nitrate (NO_3^-)	45
• Calcium (Ca^{+2}) et Magnésium (Mg^{+2})	48
• Sodium (Na^+) et Potassium (K)	48
III.2-Classification des eaux souterraines de la plaine de Khemis-Miliana	50
III.2.1-Classification de Kurlov's	50
III.2.2-Diagramme de Piper	53
III.2.3- Interprétations des diagrammes de Piper	54
III.2.4-Diagramme Schoeller- Berkaloff	55
III.2.5-Interprétations des diagrammes de Schoeller- Berkaloff	56
III.3-La distribution de l'indice de la qualité de l'eau (IQE)	56
Conclusion	62
Recommandation	63
Références bibliographiques	64

Liste des figures

Figure 01: Carte de la situation géographique de la région d'étude (Plaine alluviale de Khemis Miliana).....	02
Figure 02 : Représentation des altitudes d'élévation de la Plaine de Khemis Miliana.....	15
Figure 03 : Réseau hydrographique de la Plaine de Khemis Miliana.....	17
Figure 04: la répartition des stations pluviométriques dans la plaine de Khemis Miliana.....	20
Figure 05 : Variation temporelle des précipitations moyennes annuelles (1980-2014).....	21
Figure 06 : Variation temporelle des précipitations moyennes mensuelles (1980-2014).....	22
Figure 07 : Carte de la répartition spatiale des précipitations moyennes annuelles.....	24
Figure 08 : Température moyenne mensuelle barrage Harraza station d'El Khemis (1986-2014)	24
Figure 09 : Diagramme Ombrothermique de la station de Khemis Miliana.....	26
Figure 10: Carte géologique schématique vectorisée de la plaine de Khemis Miliana.....	32
Figure 11 : Log litho-stratigraphique et hydrogéologique de la plaine alluviale de Khemis Miliana ..	36
Figure 12 : Répartition spatiale des pH, TDS et CE des eaux souterraines de la plaine alluviale de Khemis Miliana.....	44
Figure 13: Répartition spatiale des éléments anioniques des eaux souterraines de la plaine alluviale de Khemis Miliana	47
Figure 14: Répartition spatiale des éléments cationiques des eaux souterraines de la plaine alluviale de Khemis Miliana	49
Figure 15 : Répartition spatiale des faciès chimiques des eaux souterraines de la plaine alluviale de Khemis Miliana	52
Figure 16 : Diagrammes de Piper Amont, Centre et Aval de la plaine.....	53
Figure 17 : Diagramme de Schoeller- Berkaloff_ A mont, Centre et Aval de la plaine	55
Figure 18 : Répartition spatiale de l'indice de qualité des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana (2010-2011).....	59
Figure 19 : Répartition spatiale de l'indice de qualité des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana (2012-2013).....	60
Figure 20 : Répartition spatiale de l'indice de qualité des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana (2014).....	61

Liste des tableaux

Tableau 01 : Paramètres physiographiques de la plaine alluviale	14
Tableau 02 : Réseau hydrographique	16
Tableau 03 : Caractéristique des stations pluviométriques de la plaine	19
Tableau 04 : les années plus sèches et plus pluvieuses des stations (1980-2014)	22
Tableau 05 : Les paramètres de polygone de Thiessen de chaque station	23
Tableau 06 : Les différentes caractéristiques des formations aquifères	35
Tableau 07 : les poids relatifs des paramètres physico-chimique	40
Tableau 08 : Classification de la qualité des eaux souterraines selon IQES	40
Tableau 09 : Faciès chimiques des eaux souterraines rencontrés dans la plaine de Khemis Miliana	51

ملخص:

إن تقييم حالة نوعية المياه لاستخدام معين هو الهدف الرئيسي لجميع الدراسات لمراقبة جودة الماء . مؤشر جودة المياه هو أداة رياضية مستخدمة لتحويل عدد كبير من البيانات إلى رقم واحد الذي يمثل مستوى جودتها. في الواقع، فإن تطوير المؤشر في المنطقة هو عملية أساسية في تخطيط وتسيير الموارد المائية. في هذه الدراسة، تم تطوير منهجية واحدة على أساس رسم خرائط والتحليل المكاني لإنشاء الخرائط المواضيعية للتوزيع المكاني للمؤشر جودة المياه من أجل تحديد الأماكن ذات نوعية أفضل لإمدادات مياه الشرب في سهل خميس مليانة . وتقوم هذه المنهجية على تعريف المؤشر باستخدام قيم الأيونات الثمانية بالإضافة إلى الموصلية الكهربائية، أس هيدروجيني و البقايا الجافة لعشرين نقطة قياس خلال فترة 5 سنوات. أظهر تحليل خريطة التوزيع المكاني للمؤشر بأن جزء المصب من منطقة الدراسة يتميز بجودة جيدة تمثل 16% من المساحة الإجمالية ، 73%، 11% من المساحة الإجمالية لديها نوعية المياه ضعيفة مستوى¹ و مياه ذات نوعية جيدة مستوى³ على التوالي.

Résumé : L'évaluation de l'état de la qualité de l'eau pour une utilisation particulière est l'objectif principal de toutes les études de surveillance de la qualité d'eau. L'indice de La qualité de l'eau (IQE) est un instrument mathématique utilisé pour transformer un nombre important de données de la qualité des eaux en un nombre unique qui représente le niveau qualitatif de l'eau. En fait, l'IQE à développer dans une région est un processus fondamental dans la planification et la gestion des ressources en eau. Dans cette étude, une méthodologie simple basée sur la cartographie et l'analyse spatiale est développée pour créer une cartographie thématique sur la répartition spatiale de l'indice de la qualité de l'eau souterraine (GWQI), dans le but d'identifier des lieux avec de meilleure qualité destinée pour l'AEP dans la plaine de Khemis-Miliana. La méthodologie est basée sur la définition de L'indice GWQI en utilisant les valeurs de concentration de huit cations et anions ainsi que les pH, CE, Résidu sec de vingt points de mesure au cours d'une période de 5 ans. L'analyse de la carte de la répartition spatiale de l'IQES a montré que, la partie aval de la région d'étude est caractérisée par une bonne qualité qui présente 16 % de la surface totale de la plaine, 73 % ,11 % de la surface totale présente une qualité ' mauvaise qualité niveau¹, bonne qualité niveau³ respectivement.

Lés mot clés : IQES, SIG, eaux souterraines, plaine de Khemis Miliana

Abstract : The evaluation of the state of water quality for a particular use is the main objective of all water quality monitoring studies. The water quality Index (WQI) is a mathematical tool used to transform large amounts of water quality data into a single number

that represents the level of the water quality. In fact, the WQI to develop in a region is a fundamental process in planning and water resources management. In this study, a simple methodology based on mapping and spatial analysis is developed to create a thematic mapping of the spatial distribution of Groundwater Quality Index (GWQI), in order to identify places with the best quality for drinking water supply in Khemis-Miliana plain. The methodology is based on the definition of the GWQI index using the values of eight cations and anions and pH, TDS, CE for twenty measuring points during a period of 5 years. The map analysis of the spatial distribution of GWQI showed that the downstream part of the study area is characterized by good quality which has 16% of the total area of the plain, 73%, 11% of the total surface has a quality 'Poor water quality level ¹ and good water level ³, respectively.

Key words: GWQI, GIS, Groundwater, Khemis Miliana plain.

Introduction générale

Introduction générale

Les eaux souterraines constituent une source importante d'eau potable pour de nombreuses personnes à travers le monde, notamment dans les zones rurales. Les eaux souterraines peuvent être contaminées à partir de sources naturelles ou de nombreux types d'activités humaines. Les activités résidentielles, municipales, commerciales, industrielles et agricoles peuvent aussi affecter la qualité des eaux souterraines. La contamination des eaux souterraines peut entraîner une mauvaise qualité de l'eau potable, la perte de l'approvisionnement en eau, les coûts de décontamination très coûteux, ainsi que, des problèmes de santé potentiels, une telle contamination des ressources en eau souterraine présente un risque à l'utilisateur des ressources locales et à l'environnement naturel (**Fatta et al 1999**).

Les ressources naturelles et les préoccupations environnementales, y compris les eaux souterraines, ont bénéficié grandement de l'utilisation des SIG. Des exemples typiques d'applications des SIG dans les études de la qualité des eaux souterraines sont nombreux : analyse la pertinence des sites, gestion qualitative des aquifères, évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines au potentiel de la pollution, l'évaluation de la qualité des eaux souterraines par des modèles spatiaux pour la gestion d'aide à la décision. (**Engel et al. 1999**). (**Hudak 1999, 2000, 2001**) and (**Hudak and Sanmanee, 2003**). En outre, La qualité de l'eau souterraine, principalement régie par la mesure et la composition des matières solides dissoutes, est d'une grande importance dans la détermination de son aptitude à l'alimentation en eau potable. (**Jasmin et al, 2014**)

L'eau souterraine est la ressource naturelle la plus importante utilisée pour la consommation par de nombreuses personnes en Algérie, en particulier dans les zones rurales d'où fait partie notre zone d'étude dite plaine alluviale de Khemis Miliana. Plusieurs études hydrogéologiques dans la région ont montré que les eaux souterraines de cette plaine ont montré des signes de contamination dans un large éventail de point de mesure. La qualité des eaux souterraines dans la plaine alluviale de Khemis Miliana sera évaluée pour son aptitude à des fins de consommation. À cette fin, une tentative cartographique sera consacrée dans cette étude, afin de déterminer la répartition spatiale des paramètres de qualité des eaux souterraines et d'identifier les endroits de meilleure qualité destinés à l'alimentation en eau potable dans la zone d'étude.

Introduction générale

Dans cette recherche, une simple tentative de formuler des indices de qualité de l'eau et leurs cartographies, en utilisant les normes algériennes de l'eau potable a été menée dans la plaine. L'objectif fondamental de l'actuelle recherche est de formuler un Indice de la qualité des eaux souterraine (GWQI) comme un outil de surveillance de la qualité des eaux souterraines. Les GWQIs développés visent à distinguer rapidement l'emplacement de l'eau la plus et la moins appropriée pour la consommation en eau potable. En cartographiant cet indice sous les plateformes GIS, les domaines des eaux souterraines discrétisés en matière de qualité peuvent être facilement distingués par les scientifiques ainsi que les décideurs politiques et le grand public de la région.

Le mémoire s'articulera sur la base de : (1) une analyse intégrée des paramètres physico-chimiques, (2) l'utilisation des systèmes d'information géographique, (3) la formulation et le calcul de l'Indice de la qualité des eaux souterraines (IQES) et (4) une mise en place d'une cartographie thématique. Les résultats physico-chimiques seront comparés avec les normes algériennes pour l'eau potable et la santé publique, afin d'avoir un aperçu sur la qualité actuelle des eaux souterraines de la région.

Introduction :

Les ressources en eaux souterraines sont de nature dynamique et sont influencées par des facteurs tels que l'expansion de l'irrigation agricoles; l'industrialisation et l'urbanisation; donc le suivi et la conservation de cette ressource importante est essentielle. La qualité de l'eau est définie en termes physique, chimique et par les paramètres biologiques. La détermination de la qualité est cruciale avant son utilisation à des fins diverses comme alimentation en eau potable; utilisations agricoles, récréatives et industrielles. (**Sargaonkar et al, 2003; Khan et al, 2003**). En Algérie, La qualité des eaux souterraines a notamment reçu une immense attention car l'eau de bonne qualité est nécessaire pour les besoins domestiques et d'irrigation. Jusqu'à présent, l'évaluation des eaux souterraines a été fondée sur des analyses de laboratoire, mais l'avènement de la technologie satellite et Système d'Information Géographique (SIG) a été très bénéfique et facile à intégrer diverses bases de données. Le SIG peut être un outil puissant pour le développement des solutions pour les problèmes de ressources en eau, l'évaluation de la qualité de l'eau, la détermination de la disponibilité de l'eau, la compréhension de l'environnement naturel et de la gestion des ressources en eau à l'échelle locale ou régionale. (**Ferry.L.T et al, 2003**).

Comme le taux de croissance de l'urbanisation et de l'industrialisation et l'expansion des activités agricoles dans les villes métropolitaines telles que le Haut Chélif, sont trop vites, il ya une demande croissante sur l'eau et une nette pollution des eaux souterraines observée par conséquence. La pollution (**Shanmugam et al, 2005**) la demande en eau augmente dans la région de jour en jour en raison de l'augmentation de plus de la population. Ainsi, la qualité de l'eau doit être exprimée sous une autre forme physique mathématique, afin d'explorer la nature de l'eau. L'indice de qualité de l'eau (IQE) est une méthode efficace (**Mishra et al, 2001, Naik et al, 2001, Singh, 1992**) dans la définition des caractéristiques de l'eau (**Brown et al., 1972**). Dans l'étude des eaux souterraines, IQE aide à catégoriser l'eau si elle est apte ou inapte à la consommation. Le calcul de l'indice de qualité de l'eau à l'origine commencé avec (**Horton, 1965 ; Landwehr, 1974**). Les méthodes d'Indexation sont une définition parfaite pour la qualité de l'eau, ces méthodes ont été développées par plusieurs chercheurs, il en avant. (**Brown et ses collègues, 1972**) ont développé un indice de qualité de l'eau en attribuant une notation appropriée pour les paramètres en fonction de leur analyse. Les contaminants qui modifient les eaux souterraines à la fois physiquement et chimiquement peuvent être tout à fait exprimés en IQE. Cet indice

est la réduction de la grande quantité de données de qualité de l'eau en une valeur numérique unique (**Ramakrishniah et al, 2009**).

I.1-Indices de la qualité d'eau IQE :

Quelle est la qualité de l'eau? Cette question est infiniment plus complexe que la question: Quelle est la quantité d'eau?

Mais comment pouvons-nous exprimer la qualité du même eau ? La qualité peut être assez bon pour l'alimentation en eau potable mais ne convient pas pour une utilisation comme agricole. Elle peut être bonne pour l'irrigation de certaines cultures mais pas bonne pour l'irrigation d'autres cultures. Elle peut être adaptée pour certaines personnes, mais pas pour une autre catégorie de personnes. Les Indices de qualité de l'eau cherchent à résoudre ce problème épineux.

Les Indices de la Qualité des Eaux visent à donner une valeur unique à la qualité d'une source sur la base de l'un ou l'autre système qui se traduit par la liste des électeurs et de leurs concentrations présentes dans un échantillon dans une seule valeur de l'eau. On peut alors comparer les différents échantillons de la qualité sur la base de la valeur d'indice de chaque échantillon.

Le concept de l'utilisation d'un indice pour représenter une valeur unique de l'état de plusieurs variables n'est pas une idée nouvelle; il a été bien ancrée dans l'économie et le commerce (**Fisher, 1922; Diewert and Nakamura, 1993**).

I.2-Évaluation de la qualité de l'eau souterraine :

L'Évaluation de l'état de la qualité de l'eau pour une utilisation particulière est l'objectif principal de toutes les études de surveillance de la qualité de l'eau. L'indice de qualité de l'eau (IQE) est un instrument mathématique utilisé pour transformer de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en un nombre unique qui représente un niveau de qualité de l'eau. En fait, le développement de l'IQE dans une zone est un processus fondamental dans la planification de l'utilisation des terres et la gestion des ressources en eau. (**Saeedi. M et al, 2010**) Dans cette étude, une méthode simple paramétrique est développée pour créer un indice de qualité des eaux souterraines.

I.3-Définition de l'indice de qualité des eaux souterraines :

IQES est une technique importante pour délimiter la qualité des eaux souterraines et de son aptitude à des fins de consommation. IQES est défini comme une technique d'évaluation qui fournit l'influence composite de différents paramètres de qualité de l'eau sur la qualité globale de l'eau pour la consommation humaine. L'indice de qualité de l'eau (IQE) a été calculé pour évaluer l'influence des activités naturelles et anthropiques sur la base de plusieurs paramètres chimique des eaux souterraines.(3)

Pour calculer l'IQES, un poids est attribué pour les paramètres physico-chimiques en fonction de leur importance relatif dans la qualité globale de l'eau, pour les besoins en eau potable ou l' irrigation (**Vasanthavigar et al, 2010**).

Les formules de l'indice de qualité des eaux souterraines sont très nombreuses, chacun élaborant sa méthode selon les paramètres utilisant et ses besoins.

I.4-Histoire chronologique de l'évolution de l'IQE :

L'un des premiers indices de qualité de l'eau était l'indice saprophytes (SI) en Royaume-Uni (**Snow, 1854**) qui est définie comme un degré de préciser le chargement de la matière organique facilement dégradable dans des eaux). Le SI comme une mesure du niveau de la pollution organique a donc été utilisé pour classer la qualité de l'eau par divers pays européens

En 1945 Horton fait un développement numérique pour évaluer la qualité de l'eau par un indice de qualité de l'eau IQE basé sur huit paramètres ; IQE à été exprimé en :

$$IQE = \left[\frac{w_1 s_1 + w_2 s_2 + w_3 s_3 + \dots + w_n s_n}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n} \right] m_1 m_2 \quad (1)$$

- S : le nombre de notes affectées à un paramètre caractéristique allant de 0 à 100.
- w : sont des facteurs de pondération de 1 à 4.
- n : représente un nombre de paramètres utilisés pour évaluer l'IQE.
- m₁ : est un facteur de correction de température (0,5 lorsque la température est inférieure à 34 ° C, sinon 1),
- m₂ : est le facteur de correction de la pollution (0,5 ou 1).

II.1- Milieux physique, climatique, géologique et hydrogéologique

II.1.1 – Localisation géographique de la plaine de Khemis Miliana

II.1.1.1- Contexte régional :

La plaine alluviale de Khemis Miliana appelée aussi la plaine alluviale d’Affereville, elle est située à 120 km au Sud-ouest d’Alger et à 25 Km à l’Est du chef-lieu de la Wilaya , appartenant au sous bassin versant de du Haut Chélif (indexée par le code 1 par l’ANRH), elle apparait sous la forme d'une dépression intra-montagneuse dans la partie nord de l'Algérie, et qui couvre des communes qui sont entre autre : Arib, Sidi Lakhdar, Khemis Miliana, Ain Sultane, Djendel, Bir Ould Khelifa, et Djelida.

II.1.1.2- Contexte local :

La plaine de Khemis Miliana est limitée spatialement :

- ✓ Au Nord par la continuité occidentale du djebel Zaccar (1579 m d’altitude).
- ✓ Au Sud les contreforts de l’Ouarsenis qui culmine près de Bordj-bounaama
- ✓ A l’Est par djebel Gantas (seuil de Djendel) 781m d’altitude
- ✓ A l’Ouest par le seuil de Djbel Doui

Sa superficie est de 359 Km² avec un périmètre de 159 Km, elle est caractérisée par une altitude moyenne de 270 m. Elle forme l'un des plus grands réservoirs d’eau souterraine de la région.

I.4.1-Indice de qualité de l'eau modèle d'Amérique du Nord (1970) :

Une version améliorée de l'indice a été proposée par (Brown et al, 1970) avec le soutien de la National Sanitation Foundation (NSF) des Etats-Unis. Cet indice appelée IQENFS basé sur 11 paramètres, il est exprimé mathématiquement par la formule suivante :

$$IQE = \sum_{i=1}^n w_i s_i \quad (2)$$

S : le nombre de notes affectées à un paramètre caractéristique ou allant de 0 à 100.

w : sont des facteurs de pondération de 1 à 4.

n : représente un nombre de paramètres utilisés pour évaluer l'IQE.

I.4.2-Indice de la qualité de l'eau Modèles d'Europe dans les années 1970 :

L'indice a été encore amélioré sous la forme d'un modèle additif pondéré qui a été préconisé pour une utilisation en Angleterre (Tyson JM, House MA, 1989) Le modèle additif pondéré prend la forme:

$$IQE = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n (w_i s_i)^2 \quad (3)$$

S : le nombre de notes affectées à un paramètre caractéristique ou allant de 0 à 100.

w : sont des facteurs de pondération de 1 à 4.

n : représente un nombre de paramètres utilisés pour évaluer l'IQE.

L'autre contribution européenne importante pour le calcul d'une IQE est venue de l'Espagne (Bascaron,1979) l'équation suivante a été utilisée:

$$IQE = \left(\sum_{i=1}^n C_i \times P_i \right) / \sum_{i=1}^n P_i \quad (4)$$

C_i : est la valeur d'indice de paramètres assigné après normalisation.

P_i : est le poids affecté à des paramètres (un indicateur de son importance relative pour la vie aquatique / utilisation de l'eau).

n : représente un nombre de paramètres utilisés pour évaluer l'IQE.

I.4.3-Modèle de l'indice de qualité de l'eau au cours des années 1980 :

(**Bhargava, 1985**) dérivait des idées de la notion d'évaluation de l'IQE avancé par (**Brown et al, 1970**) et ce pour classer la qualité de l'eau à des fins exclusivement en alimentation en eau potable, cependant il a utilisé la forme d'un modèle multiplicatif qui suit:

$$IQE = \left[\prod_{i=1}^n f_i \right]^{1/n} \quad (5)$$

$f_i = c$ 'est la valeur de la fonction de sensibilité de la variable i -ième (de paramètre) qui comprend l'effet de la concentration et du poids de la variable i dans l'utilisation, varie entre 0 et 1.

n : c'est le nombre de variables prises en compte

I.4.4-Modèle de l'indice de qualité de l'eau au cours des années 1990 -2000 :

La structure mathématique de l'indice de qualité de l'eau proposée par Brown et al. Durant les années 1970 a été développée en continuant l'apport supplémentaire de (**Dojlido et al, 1994**). Sous la forme d'une formule harmonique de la racine quadratique moyenne, ou simplement appelée la formule du modèle harmonique, qui a été exprimé en tant que:

$$IQE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i^{-2} \right]^{-0.5} \quad (6)$$

I.4.5- Utilisation de l'indice de qualité de l'eau dans le contexte international :

L'indice de qualité de l'eau (WQI) représente une expression numérique qui est utilisé dans l'évaluation de qualité de l'eau aux États-Unis d'Amérique, le Canada, Espagne, la France, l'Allemagne, l'Autriche, l'Italie, la Pologne et la Turquie.

Les principaux formules utilisées dans le monde sont :

- **Canada :**

Le Conseil Canadien des Ministère de l'environnement (CCME) a mis au point un indice de qualité de l'eau (IQE) pour simplifier la communication des données complexes et techniques qualité de l'eau (**CCME 2001**).

$$IQE_du_CCME = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad (7)$$

Le calcul de l'indice repose sur trois termes :

L'étendue (F1) : nombre de variables non conformes aux recommandations de la qualité de l'eau.

La fréquence (F2) : nombre de fois où ces recommandations ne sont pas respectées.

L'amplitude (F3) – écart des mesures non conformes par rapport aux recommandations correspondantes.

La division de ces termes par 1,732 provient du fait que chacun des trois facteurs qui composent l'indice peut atteindre la valeur de 100. La longueur maximale se chiffre donc à :

$$\sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2} = \sqrt{30\,000} = 173.2 \quad (8)$$

Cette division par 1,732 a pour effet de ramener la longueur maximale à 100. L'indice produit une valeur qui se situe entre 0 et 100. Plus le chiffre est élevé, meilleure est la qualité de l'eau.

- **Inde :**

Le poids unitaire de chaque paramètre calculé par la formule, L'échelle de notation de la qualité (q_i) pour six paramètres physico-chimiques, calcule pour chaque paramètre en appliquant la multiplication de la valeur de poids et l'échelle d'évaluation de qualité individuelle et donc la formule d'IQE est :

$$WQI = \sum (q_i w_i) \quad (9)$$

- **Chine :**

Indice de la qualité des eaux (IQE) est une méthode plus efficace pour évaluer la qualité de l'eau, il donne des informations sur la qualité globale de l'eau et les taux de la qualité de chaque lieu d'échantillonnage. Il a d'abord été proposé par (**Horton, 1965**) pour déterminer la pertinence de l'eau souterraine à des fins de consommation.

La formule adoptée pour analyse les données d'échantillonnage des eaux souterraines :

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n Wiqi}{\sum_{i=1}^n Wi} \quad (10)$$

W : est le facteur unité de la pondération de dureté.

$W = K / S$ et **K** est la proportionnalité de la valeur plus haute de dureté. Les autres échantillons ont été constants.

- **Malaisie :**

Le calcul de l'IQE est calculé par la formule établie par le ministère de l'Environnement de la Malaisie. Cet indice a été développé en trois étapes. La première étape comporte la sélection des paramètres et les poids assignés pour chaque paramètre (**Gazzaz et al, 2012**). La deuxième étape est la détermination de la fonction de la qualité en calculant un sous-indice pour chaque variable, ces sous-indices sont générés à l'aide d'une échelle de la qualité de l'eau notifiée de 0 à 100 (**Kaurish et Younos 2007; Liou et al 2004**). Par conséquent, les sous-indices résultants (SI) ont été combinés pour donner une valeur globale de l'IQE en fonction de la formule suivante :

$$WQI = 0.22(DO_{si}) + 0.19(BOD_{si}) + 0.16(COD_{si}) \\ + 0.15(AN_{si}) + 0.16(SS_{si}) + 0.12(pH_{si}) \quad (11)$$

DO_{si} : sous indice "Oxygène dissous".

BOD_{si} : sous indice "Demande Biologique d'Oxygène".

COD_{si} : sous indice "Demande Chimique d'Oxygène".

AN_{si} : sous indice "Ammonium Nitrogène".

SS_{si} : sou indice " Matière en Suspension ".

pH_{si} : sou indice "Potentiel Hydrogène".

I.5-Le premier indice moderne celui de HORTON : (Horton, 1965) fixé pour lui-même les critères suivants lors de l'élaboration du premier indice moderne de la qualité des eaux (IQE):

- Le nombre de variables qui doivent être gérées par l'indice devrait être limité pour éviter de faire l'indice étendu.
- Les variables doivent avoir une importance dans la plupart des domaines.
- Seulement ces variables, dont leur disponibilité est fiable, doivent être inclus.

Horton a sélectionné 10 plus couramment variables mesurées qualité de l'eau pour son index, y compris l'oxygène dissous (DO), pH, coliformes, la conductivité spécifique, l'alcalinité et les chlorures. Conductance spécifique était destiné à servir comme une mesure approximative de résidu sec (TDS). Le poids de l'indice varie de 1 à 4, l'indice de Horton ne comprend pas de produits chimiques toxiques.

Le score de l'indice est obtenu avec une fonction linéaire de l'agrégation de somme. La fonction se compose de la somme pondérée des sous-indices I_i divisée par la somme des poids w_i et multiplié par deux coefficients M_1 et M_2 , qui reflètent la température et de la pollution évidente, respectivement:

$$QI = \frac{\sum_{i=1}^n w_i I_i}{\sum_{i=1}^n w_i} M_1 M_2 \quad (12)$$

II.1- Milieux physique, climatique, géologique et hydrogéologique

II.1.1 – Localisation géographique de la plaine de Khemis Miliana

II.1.1.1- Contexte régional :

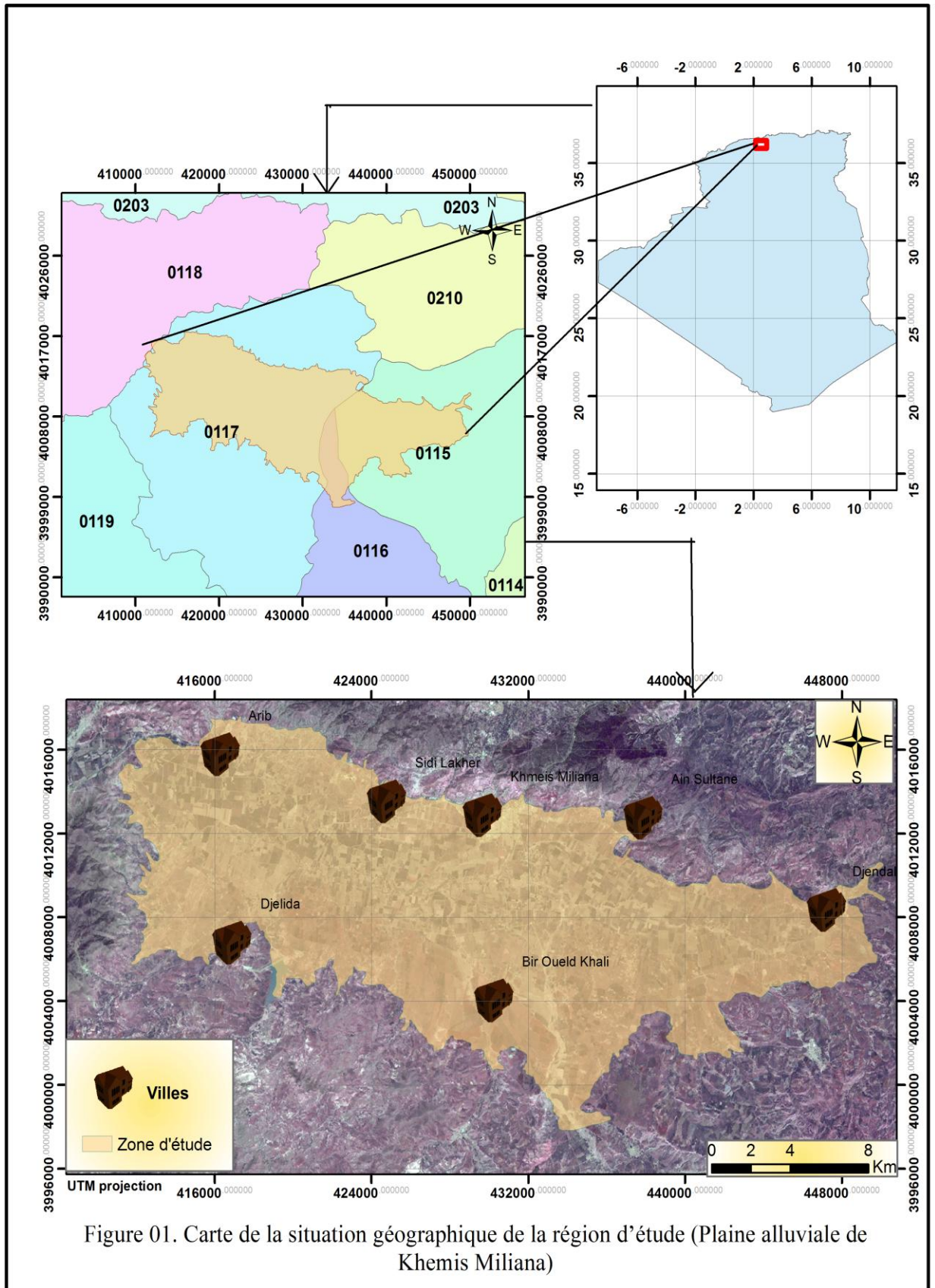
La plaine alluviale de Khemis Miliana appelée aussi la plaine alluviale d’Affereville, elle est située à 120 km au Sud-ouest d’Alger et à 25 Km à l’Est du chef-lieu de la Wilaya , appartenant au sous bassin versant de du Haut Chélif (indexée par le code 1 par l’ANRH), elle apparait sous la forme d'une dépression intra-montagneuse dans la partie nord de l'Algérie, et qui couvre des communes qui sont entre autre : Arib, Sidi Lakhdar, Khemis Miliana, Ain Sultane, Djendel, Bir Ould Khelifa, et Djelida.

II.1.1.2- Contexte local :

La plaine de Khemis Miliana est limitée spatialement :

- ✓ Au Nord par la continuité occidentale du djebel Zaccar (1579 m d’altitude).
- ✓ Au Sud les contreforts de l’Ouarsenis qui culmine près de Bordj-bounaama
- ✓ A l’Est par djebel Gantas (seuil de Djendel) 781m d’altitude
- ✓ A l’Ouest par le seuil de Djbel Doui

Sa superficie est de 359 Km² avec un périmètre de 159 Km, elle est caractérisée par une altitude moyenne de 270 m. Elle forme l'un des plus grands réservoirs d’eau souterraine de la région.



II.1.1.3- Habitat :

La population dans la plaine de Haut Cheliff à la fin de 2011 est estimée de 248 178 habitants avec un taux d'accroissement de 1,3%. Dont 82,55% sont concentrés agglomérée et 17,45% uniquement en zone rurale. En 2015 la population a passé aux 528 227 habitats, avec un taux d'accroissement de 8%, avec ce dernier cette population peut atteindre les 609 980 habitas à l'horizon 2020.

Cette population est concentrée surtout dans les agglomérations qui sont situées au Nord de la plaine, les plus importantes sont respectivement d'Est en Ouest : Djendel, Ain Sultan, Khemis Miliana, Sidi Lakhdar et les Aribes, tandis qu'au Sud de la plaine la densité des agglomérations est minime et moins dense, les plus importantes agglomérations sont Djelida et Bir Oueld Khalifa. (SOURCE : DLEP)

II.1.2- Contexte géomorphologique :

Les paramètres géomorphologiques jouent un rôle essentiel dans la répartition des eaux à l'échelle du bassin versant ils influent fortement sur l'hydrologie de ce dernier, notamment sur le régime d'écoulement

Les caractéristiques du bassin versant de haut Cheliff sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 01 : Paramètres physiographiques de a plaine alluviale

paramètres	unités	résultats
surface de la plaine alluviale	km ²	359
périmètre de la plaine alluviale	km	159
L'altitude moyenne	m	300
L'altitude minimale	m	207
L'altitude maximale	m	529

Les différents paramètres montrent que le bassin versant du haut Chéiff auquel appartient la nappe alluviale présente une forme allongée et une pente faible favorisant le ralentissement de l'écoulement des eaux et par conséquent un accroissement de l'infiltration

au dépend de ruissellement et donc alimentation plus ou moins importante de l'aquifère quaternaire à partir des précipitations, si la lithologie lui permet.

II.1.2.1- Relief :

La plus part des facteurs météorologiques (précipitations, températures) et hydrologiques sont en fonctions de l'altitude, d'où l'importance de connaître la répartition des surfaces en fonction de l'altitude. La répartition des altitudes d'élévation est représentée ci-dessous :

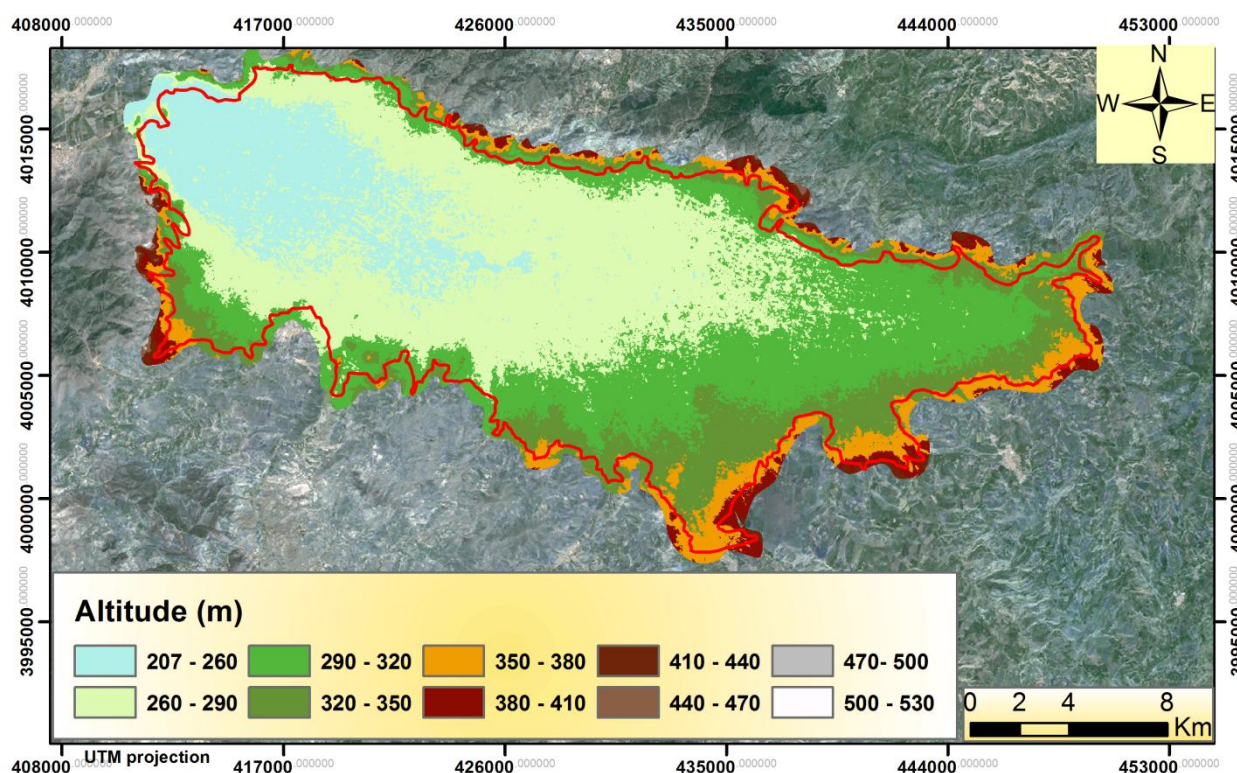


Figure 02 : Représentation des altitudes d'élévation de la Plaine de Khemis Miliana

La plaine est caractérisée par une altitude moyenne de 300 m, une altitude maximale de 529 m, tandis que l'altitude minimale a été signalée de 207 m.

I.1.3-Réseau hydrographique :

La plaine du Haut Chélif située entre les montagnes du Zaccar et Dahra au Nord et l'Ouarsenis au Sud est une région principalement à vocation agricole, traversée par l'oued le plus important d'Algérie " l'Oued Chélif ". Dans la plaine du Haut- Chélif, Oued Chleff

partage ce périmètre en deux rives : la rive droite couvre 11303 ha, tandis que la rive gauche ne fait que 9730 ha. Les principaux Oueds qui convergent vers la plaine sont :

Oued souffay : Qui draine le secteur Nord-est des monts du Zaccar et reçoit les eaux ruisselée de la ville de Khemis

Oued Boutane : Qui collecte des eaux provenant du secteur Nord du Zaccar, puis traverse la plaine ou il présente, par endroits, des intercommunications avec la nappe alluviale avant de rejoindre l'Oued Chleff à l'Ouest de la plaine.

Oued Deurdeur : qui prend sa source dans les amonts d'Ouarsenis au Sud du secteur d'étude. Il traverse la plaine sur plusieurs Kilomètre avant de confluer avec l'Oued Chéloff.

Oued Harreza : est également un Oued du Sud (Ouarsenis), il est caractérisé par un débit élevé du fait de l'impluvium. Dans la partie aval, il s'écoule dans la plaine ou il présente un inféroflux en relation avec la nappe alluviale et rejoint plus en aval l'Oued Chleff.

Oued Massine : sa direction d'écoulement est $S_{SE}-N_{NO}$, il alimente la partie sud de la plaine.

Tableau 02 : Réseau hydrographique

Cours d'eau (Les Oueds)	Longueur(m)	Direction d'écoulement
Souffay	4305.85	Nord Nord Est-Sud Sud Oest
Deurdeur	5171	Sud Sud Oest-Nord NordEst
Millet etBoutane	30897	Est-West
Harreza	10273	Sud Est-Nord Ouest
Massine	6424	Sud Sud Est-Nord Nord Oest

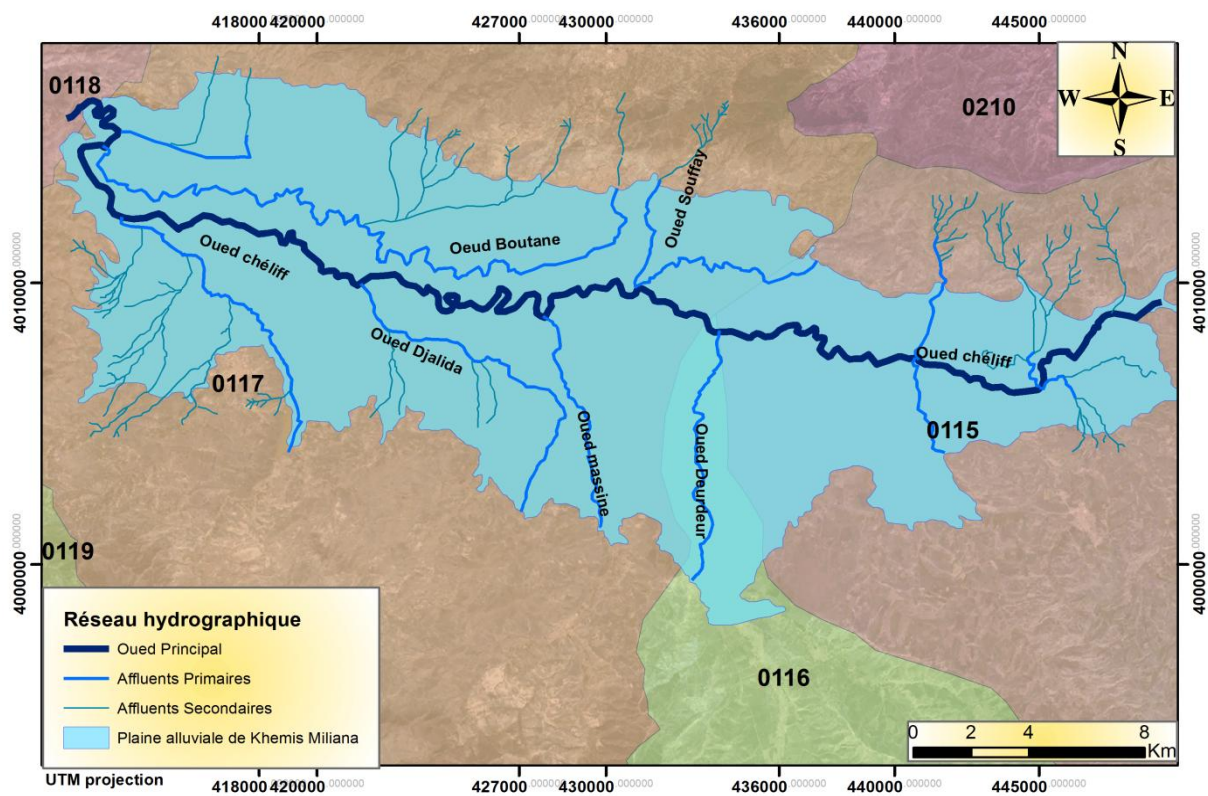


Figure 03 : Réseau hydrographique de la Plaine de Khemis Miliana

II.1.4-HYDROCLIMATOLOGIE

Introduction :

Les conditions climatiques du bassin s'expliquent par sa situation géographique, le caractère de circulation atmosphérique, et par le relief de son territoire. La caractérisation du climat est établie en fonction des observations fournies par le réseau de mesures pluviométriques, hydrométriques et climatologiques installé au sein de la région d'étude.

Caractéristique hydro climatique :

La quantification des apports en eau (précipitations) et leur distribution sont intimement liées aux différents paramètres du climat. Les paramètres hydroclimatiques jouent un rôle crucial dans les études qui traitent la thématique de la qualité des eaux.

II.1.4.1- Précipitations :

Sont dénommées précipitations, toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées sous forme (rosée, gelée blanche, givre,...).

La variabilité des précipitations est soumise à trois séries temporelles de variation : les variations journalières, saisonnier et enfin des variations à long terme peuvent être assimilées à des tendances ou à des modifications climatiques.

II.1.4.1.a-Réseau pluviométrique :

La plaine de Haut Chéiff est couverte de 9 stations pluviométriques, la gestion de ces stations est assuré par le service de **Office National de Météorologie** et l'**Agence Nationale des Ressources Hydraulique**, la répartition de ces stations pluviométriques dans la plaine d'étude est moins homogène et les postes pluviométriques sont dispersés de façon complète, cette répartition couvre toute la superficie de la plaine.

Les stations pluviométriques qui couvrent l'amont de la plaine sont : Djenane Ben Ouadeh (Djendal). Dans le centre de la plaine on trouve celle de Khemis Miliana, Sidi Lakhedar, Ababssa, Ain sultane, Sidi Mokrifi et barrage de Herraça. Et en fin les postes qui couvrent l'aval de la plaine sont : Arib Cheliff et Ain Defla.

II.1.4.1.b-Distribution des précipitations moyennes annuelles :

Les stations et leurs caractéristiques sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 03 : Caractéristique des stations pluviométriques de la plaine

station	Code	Xm	Ym	Zm	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
Ghrib cheliff	01-14-07	460267.69	4002141.5	460	454.6
Sidi Mokrifi	01-16-06	436173.91	3988065.25	540	374.59
Djenene ben ouadah	01-15-14	475518.93	325173.09	336	422.58

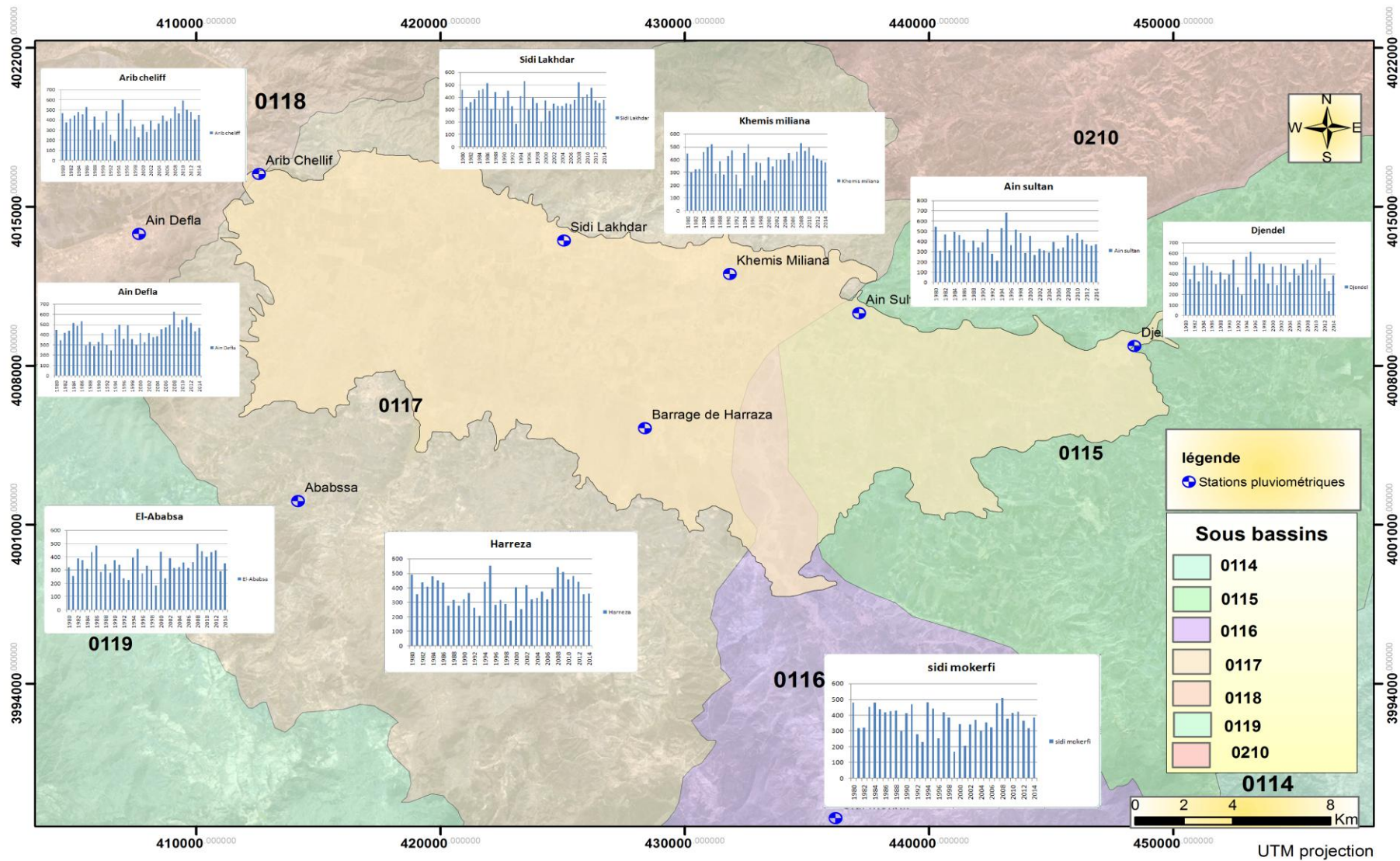


Figure 04: la répartition des stations pluviométriques dans la plaine de Khemis Miliana

II.1.4.1.c- Les précipitations moyennes annuelles :

Les précipitations moyennes annuelles des stations pluviométriques sont représentés dans Histogramme suivant

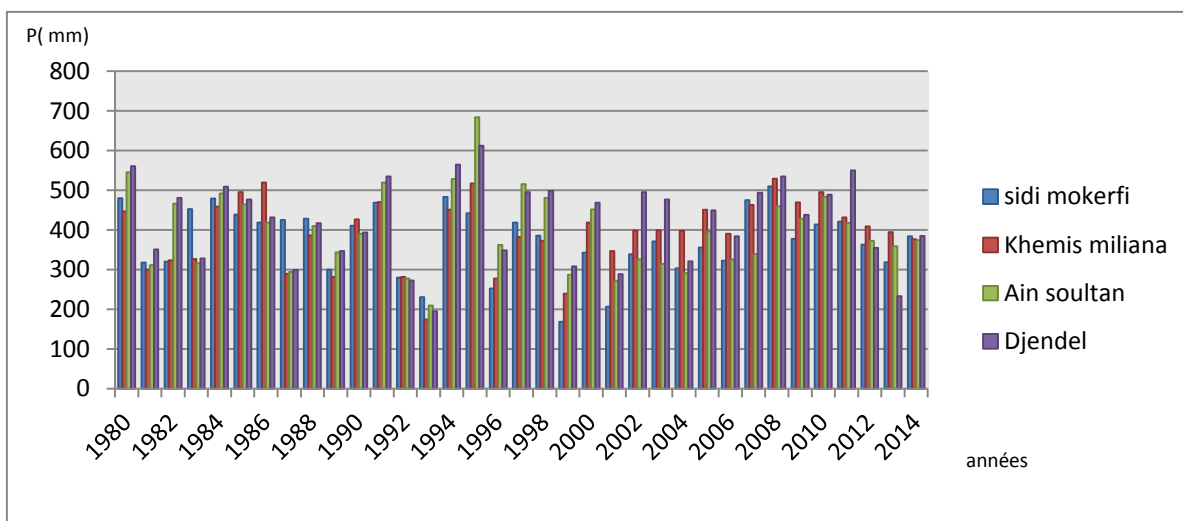
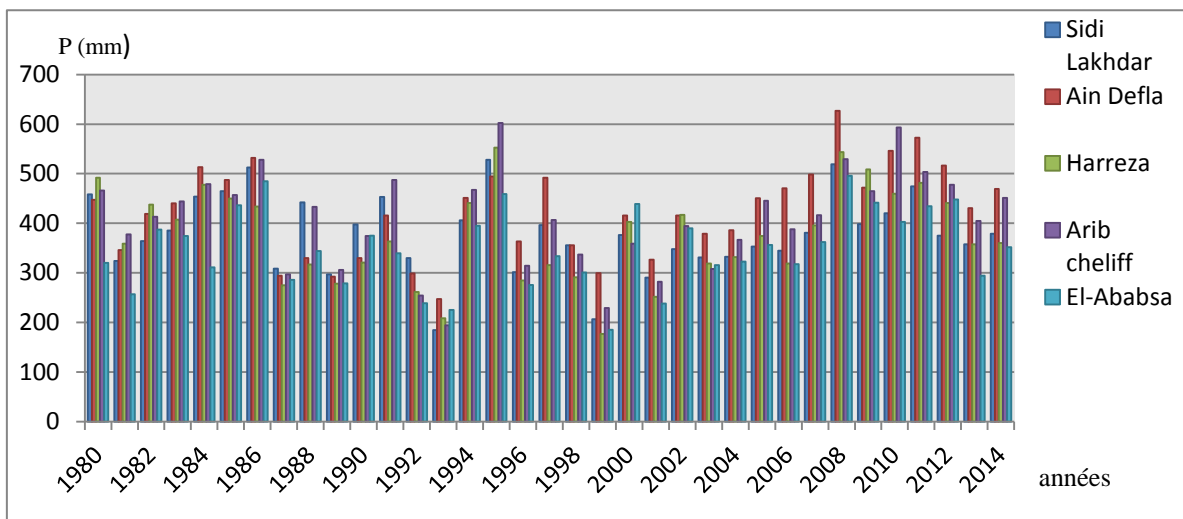


Figure 05 : Variation temporelle des précipitations moyennes annuelles (1980-2014).

D’après les histogrammes obtenus, nous constatons une perturbation interannuelle dans les stations. Le tableau ci-dessous montre les précipitations minimales et maximales de chaque station.

Tableau 04: les années plus sèches et plus pluvieuses des stations (1980-2014)

Les stations	année plus sèches		Année plus pluvieuses	
	année	P (mm)	année	P (mm)
Djendal	2013	233	1980	650
Ain sultan	1993	209	1995	684.5
Khemis Mmiliana	1999	239.5	2008	529.6
Sidi Mokrfi	1999	168.6	2008	510.2
Ababssa	1999	185.6	1986	484.6
Arib	1993	194.4	2010	593.2
Harreza	1999	176.6	1995	552.6
Sidi Lakhder	1993	184.4	2008	518.9
Ain Defla	1992	299.1	2008	627.1

II.1.4.1.d-Précipitation moyennes mensuelles :

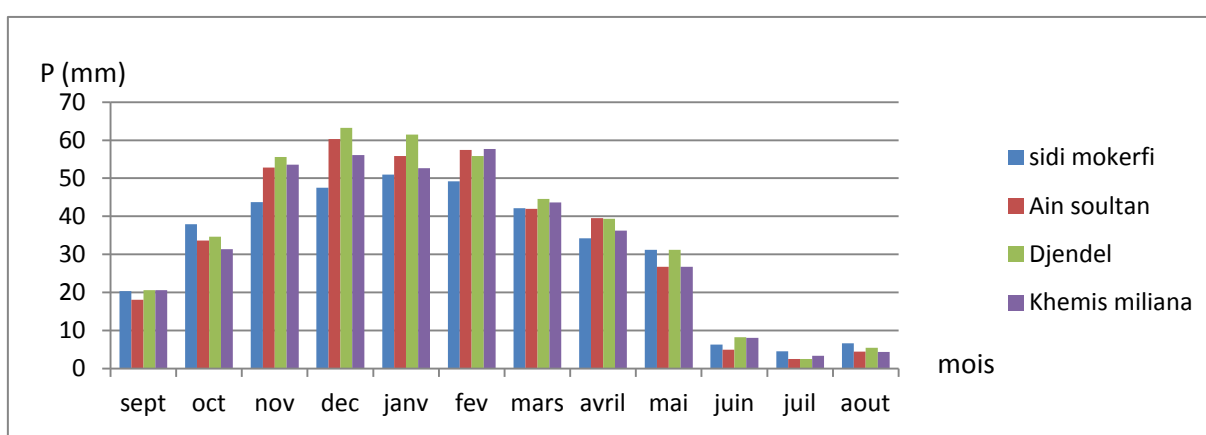
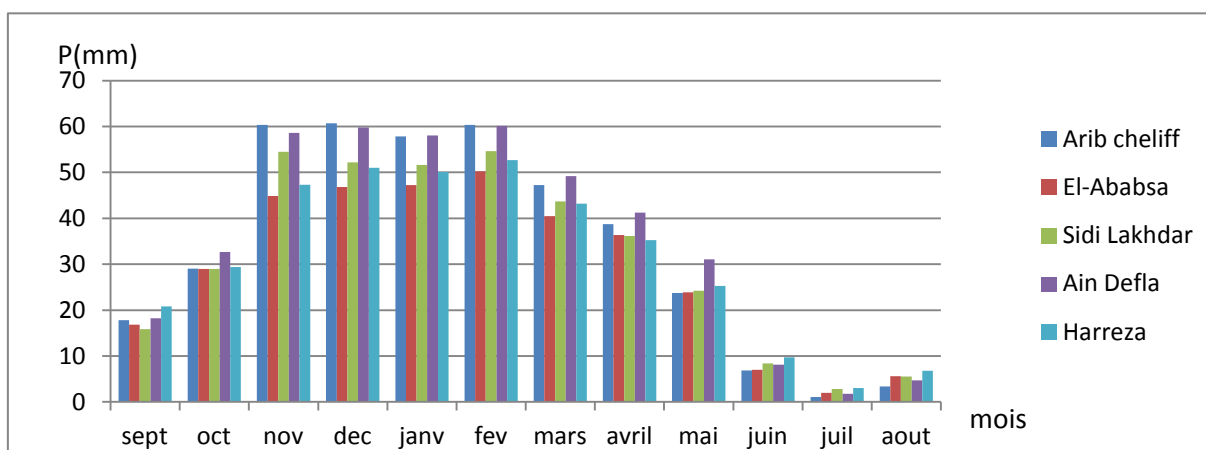


Figure 06 : Variation temporelle des précipitations moyennes mensuelles (1980-2014).

Les précipitations moyennes mensuelles pour la période 1980-2014 enregistrées dans les stations de la plaine d’EL-Khemis, montrent que les mois les plus pluvieux correspondent

à Novembre, Décembre, Janvier et que les mois les plus secs sont Juin, Juillet et Août. Ce qui nous permettra de distinguer deux périodes humide et sèche.

II.1.4.1.e-Détermination de la lame d'eau précipitée :

La méthode du **Polygone de Thiessen** est la plus couramment utilisée, parce que son application est aisée et qu'elle donne en général de bons résultats. Elle convient notamment quand le réseau pluviométrique n'est pas homogène spatialement (pluviomètres distribués irrégulièrement). Cette méthode permet d'avoir une moyenne pondérée du bassin en se basant sur des stations pluviométriques. Elle consiste à affecter à chaque station une zone d'influence dont l'aire, exprimée en % représente le facteur de pondération de la valeur locale. Ces zones d'influences sont déterminées par une discrétisation géométrique du bassin sur une carte topographique. La moyenne pondérée est obtenue à l'aide de la formule suivante :

$$P_{moy} = \frac{\sum A_i * P_i}{A} \quad (13).$$

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

Tableau 05 : Les paramètres de polygone de Thiessen de chaque station

code de station	Ai (km ²)	Pi (mm)
01-17-15	22.49	349
01-15-14	33.45	423
01-17-02	46.52	407
01-18-04	1.24	424
01-17-11	68.83	379
01-17-18	85.85	374
01-17-17	31.12	394
01-16-06	0.05	375
01-15-12	69.75	398

$$P_{moy} = 388.79 \text{ mm}$$

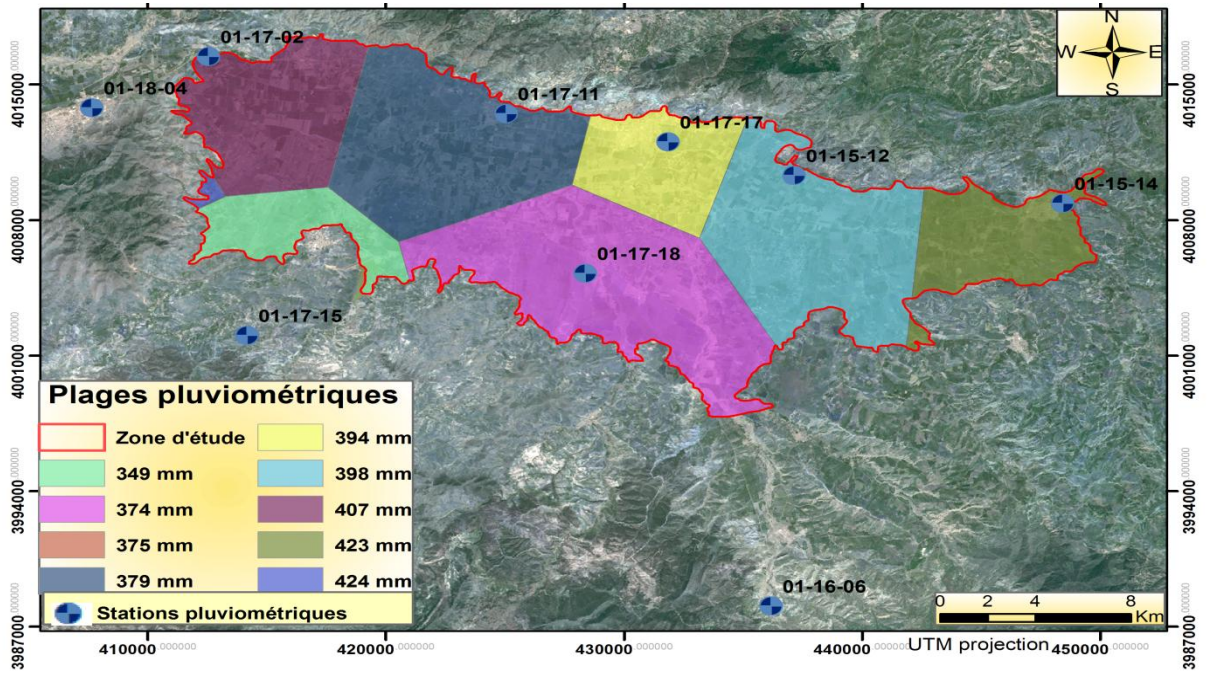


Figure 07 : Carte de la répartition spatiale des précipitations moyennes annuelles.

II.1.4.2-Température :

Les températures moyennes annuelles ont une influence considérable sur l'aridité du climat. Elles varient normalement dans l'année, élevée en saison estivale et basses en saison hivernale. La mesure des températures s'effectue 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 données qu'on a pu avoir sont celles du barrage Herraiza et du poste pluviométrique de Khemis Miliana.

II.1.4.2.a-Température moyenne mensuelle :

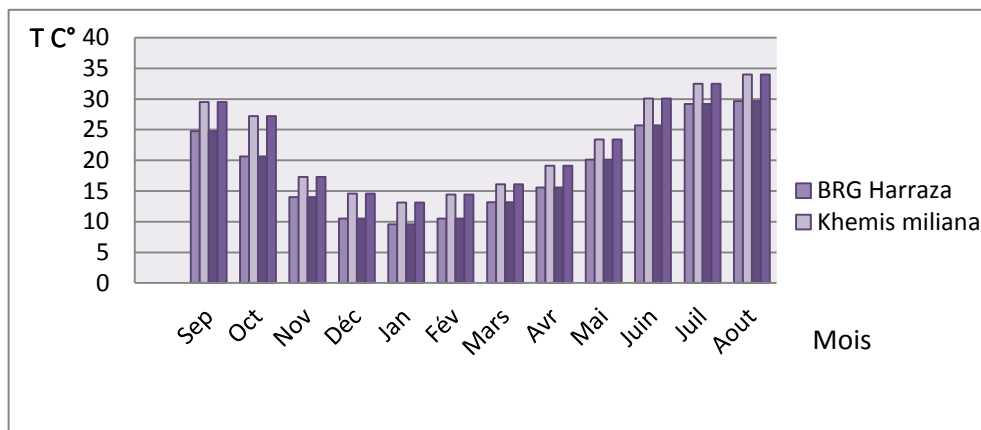


Figure 08 : Température moyenne mensuelle barrage Harraza station d’El Khemis (1986-2014)

L’histogramme de Température moyenne mensuelle, montre qu’il existe deux pôles : un pôle chaud allant du mois de mai au mois d’octobre et un autre froid allant du mois de novembre au mois d’avril. La Température maximale atteint les 29.68C°au mois d’aout et la température minimale atteint les 9.64C°au mois de février. Après analyse de l’histogramme nous constatons que la température dans la station de Harezza moins élevée par rapport station de Khemis Miliana à cause de la présence d’un microclimat causé par les eaux de barrage.

II.1.4.3-Synthèse climatique :

La synthèse climatique est basée sur la recherche des formules qui permettent de ramener à une variable unique l’action de plusieurs indices climatiques .Tenant compte des variables telles que la pluviosité et les températures.

II.1.4.3.a-Indice d’aridité de DEMARTONNE :

Cet indice caractérise l’aridité du climat d’une région donnée en combinant la température et les précipitations .Il s’exprime comme suit :

$$I = P / (T + 10) \tag{14}$$

P : précipitation moyenne annuelle en (mm), et T : température moyenne annuelle en(C°)

Pour :

- $20 < I < 30$ Climat est froid
- $10 < I < 20$: Climat semi-aride
- $7.5 < I < 10$ Climat aride
- $5 < I < 7.5$ Climat désertique
- $I < 5$: Climat hyper-aride

$$I = \frac{409.08}{18.5+10} = 14.5$$

L'indice de **DE MARTON** dans la station de khemis est situé entre 10 et 20, ce qui témoigne d'un climat de type **semi-aride**.

II.1.4.3.b- Le diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953)

: Il permet de comparer l'évolution des valeurs des températures et des précipitations. Ils sont établis en tenant compte de la formule permettant de définir un mois sec soit : $P \leq 2T$.

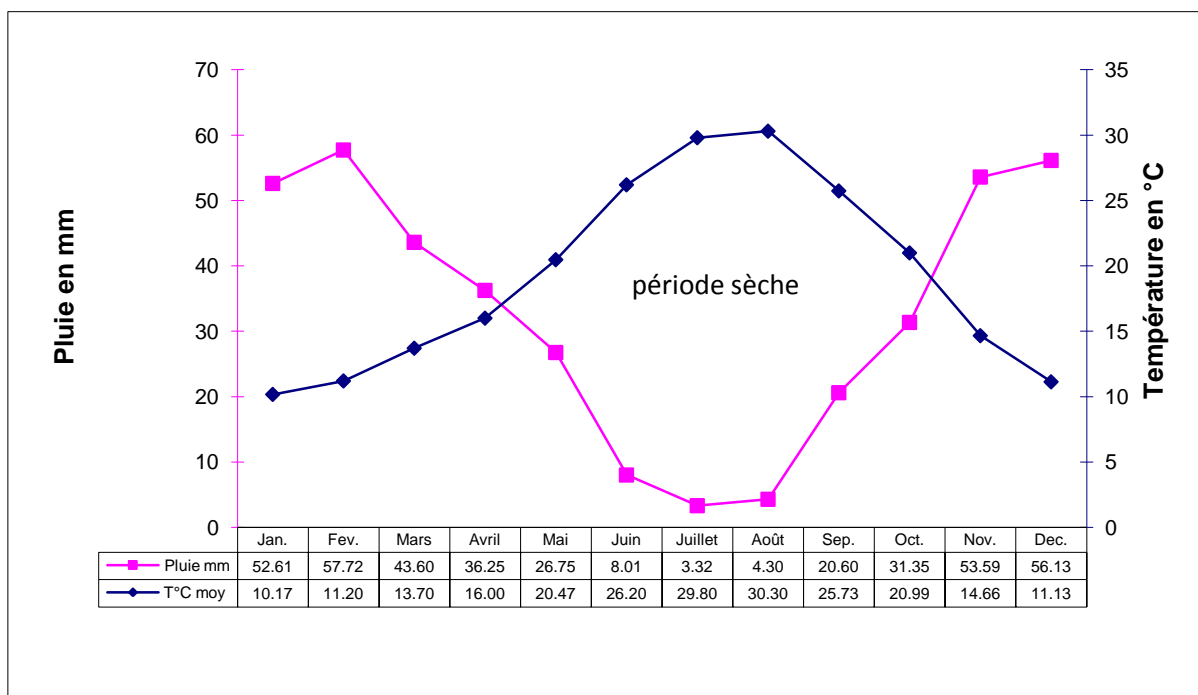


Figure 09 : Diagramme Ombrothermique de la station de Khemis Miliana

Le diagramme montre que la période sèche est comprise entre fin d'avril jusqu' au le début de novembre, tandis que la période humide entre début de novembre jusqu'au la fin d'avril.

II.1.5-Cadre géologique de la région

Pour l'étude géologique, nous avons eu recours aux :

- Travaux de boulaïne (1957) , Brives (1902) , Glangeaud (1932) , Kiréche (1977) , Lepvrier (1975) et Perrodon (1957) .
- Cartes géologiques 1/50.000 de Miliana (84) et Vesoul Benian (85).
- Logs de forages réalisés dans la plaine du Haut Cheliff.

II.1.5.1-Cadre général :

La plaine de khemis-Miliana correspond à une zone déprimée à sédimentation récente mio-plio-quadernaire. Elle est traversée d'Est en Ouest par l'Oued Chéouf qui entre dans la plaine par le seuil de Djendal et en sort par celui du Doui. La partie nord de la plaine est dominée par une ligne des reliefs que forme le Djebel Gontas (871m), le massif des Zaccar (1579m et 1532m) et des Aribis, elle appartient au tell septentrional. La partie sud est limitée par les premiers contreforts de l'Ouersenis, elle appartient au tell méridional. Les épitements jurassico-primaires des Zaccars, Doui et Aribis constituent l'autochtone épitemétamorphique à schistosité anté-nappe sur lequel repose l'allochtone caractérisé par des nappes de charriage à matériel créacé. Ces nappes venant du nord se sont mises en place au Miocène inférieur.

Cette plaine correspond à un sillon intramontagneux subsidant dans lequel l'érosion des reliefs environnants et les transgressions successives ont permis les dépôts de fortes épaisseurs de sédiments néogènes et quadernaire.

II.1.5.2-Cadre géologique locale :

La plaine d'El Khemis est une dépression de remplissage alluvionnaire formée de deux compartiments séparés par un seuil dont l'axe passe à côté d'Oued Souffey et dans la partie Sud-Est qu'il est repéré.

Ce seuil dû à une remontée du substratum Créacé traduit l'avancée des terrains créacés vers le centre de la plaine à l'Ouest d'Oued Deurdeur. Le compartiment est appartient au bassin miocène de Médéa dans lequel les formations grés-conglomératique du Miocène sont bien développées. Le compartiment ouest est de sédimentation déférente (grés, poudingues, schistes, marnes).

II.1.5.3-Stratigraphie et lithologie :

II.1.5.3.a -Le substratum anté-Miocène :

Les terrains qui constituent le substratum anté-Miocène sont formés de schistes et quartzites permo-triasiques. Le Trias est formé de dolomies, cargneules et de calcaires dolomitiques, ferruginisés d'épaisseur et d'extension réduites. Ces terrains affleurent à l'Ouest de la plaine, dans le massif du Doui et au Nord dans le Zaccar.

Le Jurassique est essentiellement calcaire. Il affleure au Doui où il est représenté par des dolomies d'extension réduite. Dans le Zaccar, où il présente une forte épaisseur (700 mètres environ), le Jurassique est formé de calcaire massif mésozoïque avec des grains de quartz à la base, de schiste gréseux et de marno-calcaire au sommet. Ces calcaires sont souvent dolomités et ferruginisés.

Le reste de matériel anté-miocène qui affleure largement sur les bordures Nord et Sud de la plaine est représenté par es terrains crétacés allochtones.

Le Néocomien est formé d'argile schisteuse d'épaisseur 800 m environ eu Nord et à l'Ouest des Zaccars. L'Albien présente le faciès flysch. Le Cénomaniens est calcaire et marno-calcaire. Le Sénonien est marneux avec des intercalations de bancs calcaréo-marneux.

II.1.5.3.b-Les terrains constitutifs de la plaine de Khemis-Miliana :

Les formations existantes dans la vallée d'El-Khemis sont essentiellement représentées par des dépôts de marne, de grès et d'alluvions qui sont accumulés dans le bassin subsident durant tout le Mio-Plio-Quaternaire.

Nous distinguons de bas en haut :

A. Le Miocène inférieur :

Il est discordant sur le substratum anti-néogène, il représente le Burdigalien qui débute par une série conglomératique de base puis se termine par une série marneuse cartenniennes.

Les poudingues peuvent atteindre 1000 m d'épaisseur dans le petit synclinal Ben Allel visible dans le massif du Zaccar. Ces conglomérats constituant un aquifère non

négligeable sont à l'origine de nombreuses sources existant autour de la localité de Miliana.

Les marnes grises carteniennes qui surmontent cette formation de base atteignent 100m d'épaisseur au Nord dans la vallée. Elles s'observent également autour de Miliana.

B. Le Miocène supérieur :

Il succède en continuité de sédimentation du Miocène inférieur, il débute par une série de marnes bleues helvétiques semblables à celles du Cartennien.

Leur épaisseur est de 250 m et elles sont visibles principalement au Nord-est de la plaine, elles constituent le substratum imperméable de la nappe des grés du Gontas, quelques lentilles sableuses s'y intercalent.

Les grés sableux tortonien terminent le cycle Miocène, ce complexe détritique est composé de grés sableux assez grossiers, intercalés de lits de poudingues et de marnes. Il atteint 200 m d'épaisseur à l'Est de la plaine, sa base est jalonnée de sources et il correspond à un aquifère relativement important qui plonge sous les dépôts quaternaires.

Malgré l'existence du massif du Gontas formant un synclinal perché gréseux à son sommet, le Nord Est de la plaine est essentiellement représenté par un Miocène supérieur à forte proportion de marne.

Par contre, au Sud-est, le faciès sableux prédomine formant de vastes zones tabulaires de faibles ressources en eaux.

C. Le Pliocène :

La plaine est semis vers la fin du Miocène à un vaste remblaiement qui l'exonde progressivement. La régression est matérialisée par l'accumulation de grés et conglomérats. On n'a donc pas de limite nette entre le Miocène et le Pliocène. On emploiera donc le terme de Mio-Pliocène pour désigner ce faciès. Il comprend des conglomérats des galets quartzeux et des grés et argiles détritiques. Cette formation s'observe principalement à l'Ouest de la plaine, dans la région de Sidi-Lakhder et des Aribis. Ils plongent sous le niveau quaternaire de la même façon que les grés du Gontas.

Il est à noter qu'ils n'existent pas à l'Est d'El-Khemis. Ils constituent tout comme les grés tortoniens du Gontas une nappe aquifère qui n'a pas encore été sondée ni exploitée.

D. Le Quaternaire :

Le Quaternaire est généralement représenté par :

D.1- Le Quaternaire ancien :

Il est formé de deux niveaux qui se superposent comme suite :

- **Les alluvions argileuses à la base :**

Cette série d'argiles brunes et graveleuses n'offre aucun intérêt du point de vue hydrogéologique mais son absence permet la communication entre l'aquifère grésoconglomératique du Miocène et Pliocène et l'aquifère quaternaire.

- **Les alluvions grossières :**

Ce niveau est constitué d'amas de galets ou blocs roulés correspondant au remaniement des grés poudingues et marnes du Miocène supérieur et du Miopliocène. Ces derniers ont été entièrement démantelés au centre de la plaine.

Ces alluvions affleurent au pied du massif du Zaccar et en particulier à l'Est de Sidi Lakhder.

Elles forment les vastes collines bien conservées en bordure sud de la plaine. Elles sont parfois « fossilisées » par une carapace calcaire ou tufs sédimentaires de 2 m d'épaisseur.

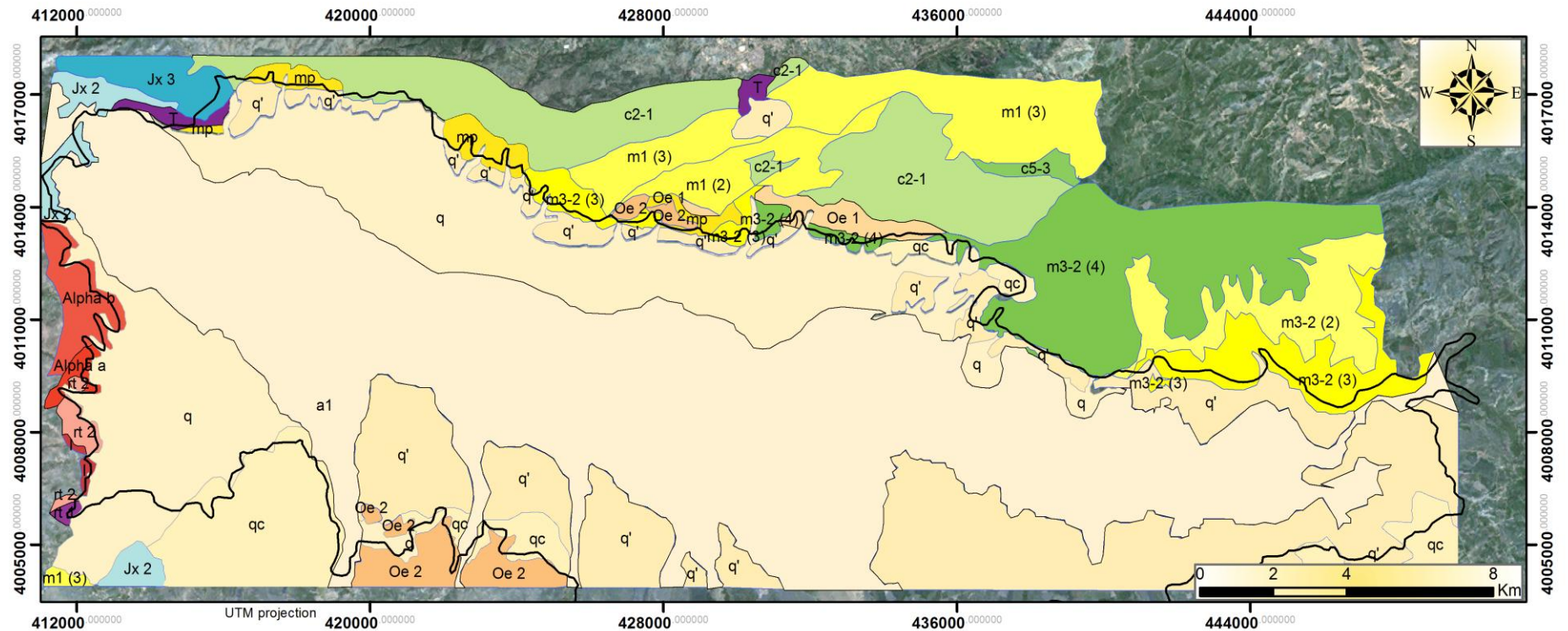
D.2-Le Quaternaire récent :

Il est représenté par des limons bruns et des argiles ayant 10 à 20 mètres d'épaisseur, ils sont rencontrés au pied du massif de Zaccar et au Sud Ouest de Doui. Un niveau bleu d'une importante épaisseur a été mis en évidence dans la zone des Arib au Nord Ouest de la vallée.

Au Nord-Ouest de la vallée, dans la région des Arib, un niveau d'argiles bleues sous les limons, et dans la partie Nord de l'Oued Boutane. Ces argiles d'épaisseur notable correspondant à d'anciens marécages qui ont été drainés au siècle dernier.

En bordure immédiate de la plaine (au Nord) s'observent des cônes de déjection sablo-limoneux pouvant atteindre 50 m d'épaisseur au Nord-Ouest. Ils s'étendent au pied de massif du Zaccar à l'Ouest et au pied du massif du Doui au Sud Ouest de la vallée. Ils présentent un certain intérêt hydrogéologique puisque toutes les eaux issues des versants sont emmagasinées dans ces cônes.

Parmi toutes ces formations qui constituent la plaine d'El-Khemis, nous observons des affleurements nummulitique (d'Oligocène constituant l'allochtone du complexe A de Mattaure. Ils appariassent sporadiquement au Nord et sont bien développés au sud. L'Oligocène est formé d'argile à la base. Le sommet de la série est représenté par des grés quartzique blanchâtres et des schistes à nodules siliceux.



Legend

LITHOLOGIE						
a1	Alluvions récentes (QUATRNAIRE)	Grés et poudingues du Gontas (CRETACE)	Qe1	Argiles numidienne (OLIGOCENE)	t	Gypses et Argiles (TRIAS)
q	Cones de déjection (QUATERNAIRE)	m3-2(3) Argiles de helvétienne (MIOCENE)	c5-3	Calcaire et marno-calcaires (CRETACE)	rt2	Schistes et quartzites (PERMO-PRAIMAIRE)
qc	Carapace calcaire (QUATERNAIRE)	m3-2(2) Grés et poudingues (MIOCENE)	c2-1	Schistes et quartzites (CRETACE)	rt1	Poudingues à galets de quartz rose (PERMO-TRIAS)
q'	Alluvions anciennes (QUATERNAIRE)	m1(2) Marnes carteniennes (MIOCENE)	jx3	Calcaire et marno-calcaires (JURASSIQUE)	α a	Complexe éruptif supérieur (PRIMAIRE)
mp	Grés et poudingues (MIO-PLIOCENE)	m1(1) Grés et poudingues (MIOCENE)	jx2	Schistes (JURASSIQUE)	α b	Schistes verts (PRIMAIRE)
		Oe 2 Grés numidiens (OLIGOCENE)	t	Calcaire de Doui (LIAS)		Plaine alluviale de Khemis Miliana

Figure 10: Carte géologique schématique vectorisée de la plaine de Khemis Miliana

II.1.6-Etude hydrogéologique de la plaine :

II.1.6.1- Description de l'aquifère : Les formations du Mio-Pliocène et du Quaternaire sont en contact direct et fonctionnent comme un seul aquifère. la surface piézométrique se présente comme une gouttière avec des courbes piézométriques parallèles à la rivière. Au sud d'El kherba, les courbes sont en forme circulaires, montrant une concentration de l'eau à cet endroit. Le niveau de celle-ci est en effet peu profond. Dans la partie amont, les courbes semblent en continuité avec celles de la nappe d'El khemis qui constitue son prolongement naturel. L'alimentation se fait directement par les pluies à travers les surfaces offertes par l'impluvium. les affleurements du Mio-pliocène dans la région de Bled Roumariane jouent un rôle particulier. Par infiltration des eaux de ruissellement des oueds Chlef-Abda et El Arch. Si en excepte les formations primaire et secondaires situées au sud de la ville, l'essentiel des dépôts de la région de Ain Defla est constitué par le remplissage Mio-pliocène et Quaternaire. C'est dans ce remplissage que se trouve concentré l'essentiel des ressources en eau du Haut-Chélif.

II.1.6.2-Identification des réservoirs :

La géologie de secteur, les logs des forages ainsi que la corrélation entre les différents forages mettent en évidence la présence de trois principales formations perméables :

- Les alluvions anciennes du Quaternaire.
- Les grés et poudingues du Mio-Pliocène.
- Les grés et poudingues du Miocène supérieur.

a) Réservoir alluvionnaire :

C'est le plus important réservoir de la région, il occupe toute la dépression, il est constitué de mélange de graviers, sables, galets et argiles. Il affleure au niveau de bordures et plus largement au Sud de la plaine. Il est caractérisé par une épaisseur considérable dans la rive droite de l'Oued Chélif et qui augmente au centre. Les logs de forage montrent une épaisseur de 80 à 90 m dans la région d'Ain Sultan, 70 à 130 m au centre (Khemis-Miliana), 70 à 150 m au voisinage de Sidi Lakhder, et 40 à 50 m à Djendel et les Arib, elle atteint les 20 m dans la région de Bir Oueld Khalifa.

b) Réservoir du Mio-Pliocène :

Constitué de grés et poudingues, le Mio-Pliocène affleure uniquement au Nord de la plaine, plongeant sous les alluvions anciennes, séparé de cette dernière par une couche de 5 m d'argiles.

Des sondages électriques effectués par la C.G.G en 1969 ont permis de supposer que cette couche argileuse s'amincit vers l'Ouest où les deux formations sont en contact directe.

c) Réservoir Tortonien :

Constitué de grés et poudingues, le Miocène supérieur affleure principalement à l'Est de la région de Ain Sultan formant Djebel Gontas, il est présent au Nord MIS avec des petits affleurements. Le Miocène supérieur se trouve sous les alluvions anciennes (78 m) avec une épaisseur importante de 139 m ; le contact entre les deux formations existe.

II.1.6.3-Le recouvrement :

La description lithologique des forages répartis dans la plaine nous a permis de mettre en évidence la présence d'une couche argileuse recouvrant les alluvions anciennes de la plaine correspondante au dépôt limoneux argileux du Quaternaire récent.

II.1.6.4-Caractérisation hydrogéologique de la nappe alluviale de Khemis-Miliana :

La nappe alluviale de Khemis-Miliana est constituée principalement par un dépôt détritique renfermant des galets, graviers, sables et argiles. Ces formations déposées en alternance variant localement avec un dépôt grossier constitué de galets et graviers intercalé par des bancs minces d'argile avec une gamme importante en rive droite et suivant l'axe de l'Oued Chélif, réduite au fur et à mesure qu'on s'éloigne du centre et en particulier vers la bordure sud. Les dépôts grossiers sont surmontés par une alternance de bancs de graviers moyens et fins et de graviers argileux. Cette couche graveleu-argileuse est bien développée sur les bordures de la nappe. Le tout est couvert par une couche limono-argileuse, ce qui confère au caractère captif, sauf au centre oriental et au Sud où l'épaisseur de celle-ci est réduite, donc la nappe devient libre à semi captive. Les différentes caractéristiques des formations aquifères sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 06 : Les différentes caractéristiques des formations aquifères (Mahfouf.M,2006).

Horizons aquifères	Age	Epaisseur (m)	Débit moyens L/S	Types de nappes	Types de porosités	Intervalle de perméabilité	observations
Alluvions	Quaternaire	150	50	libre	Interstices et chenaux	$(8\text{ à }10).10^{-4}$	-
Grés et poudingues	Mio-Plio-Quaternaire	1500	40	captive	Interstice	$(3 \text{ à } 5).10^{-5}$	-
Schistes et quartzites	Crétacé	450	-	-	Fractures	$(3 \text{ à } 5).10^{-5}$	Quand l'épaisseur des quartzites est importante
Calcaires fracturés et karstifiés	Jurassique	700	50	libre	Fracture et karst	$(3 \text{ à } 5).10^{-5}$	-

II.1.6.5- Les principaux aquifères de la région d'étude :

Les formations alluvionnaires du Quaternaire constituent l'aquifère le plus exploité dans toute la plaine du haut Cheliff. Les descriptions lithologiques des forages montrent que plus de 20 % des matériaux traversés sont des sables et des graviers ou des grés. Les forages captant cet aquifère sont très abondants, leur profondeur varient de 5 à 100 m.

- **Les calcaires Jurassiques** : constituent un important réservoir qui se particularise par la présence des fissures qui favorisent la circulation et le stockage de l'eau. La densité et la répartition mal connues de ses fissures posent d'énormes problèmes pour l'implantation des puits et des forages.
- **Les aquifères du Miocène** : se représentent sous-forme de conglomérats plus ou moins argileux et sableux. Les calcaires du Miocène affleurent le long de la limite Sud de la vallée, avec la présence d'espaces vides et des fissures internes ouvertes, dû à la dissolution des carbonates sous l'influence de l'infiltration de l'eau de pluie, particulièrement le long des surfaces de contact.
- **Les aquifères du Pliocène** : le Pliocène se présente sous forme des grés 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 objet de notre étude:** les formations alluvionnaires du Quaternaire constituent l'aquifère le plus important et le 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.

Epaisseur (m)	Log	Lithologie	Age		Comportement Hydrogéologique
10 à 20		Limons et argiles	Quaternaire récent	Quaternaire	Semi - perméable
100		Alluvions grossières (grès et poudingues) Alluvions argileuses (sables, graviers, argiles)	Quaternaire ancien		Perméable
100		Argiles Grès et conglomérats	Pliocène		Imperméable
100		Grès et poudingues			Perméable
200		Argiles	Miocène supérieur (Vindobonien)		Imperméable
		Grès et poudingues			Perméable
?		Calcaires			Perméable
300		Marnes	Miocène inférieur (Burdigalien)		Imperméable
1000		Grès et poudingues			Perméable
20		Calcaires	Eocène		Perméable
?		Grès et quartzitiques Argiles et schistes			Perméable
?		Marnes et calcaires marneux	Sénonien	Crétacé	Imperméable
20à60		Calcaires et marnes calcaire	Cénomaniens		Imperméable
1000		Schistes et bancs de quartzites	Albien	Crétacé	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 11 : Log litho-stratigraphique et hydrogéologique de la plaine alluviale de Khemis Miliana (Mattauer 1958, Perrodon 1967)

II.2- Collecte des données :

Une vingtaine de points d'échantillonnage (forages, puits et piézomètres) ont été sélectionnés dans la zone d'étude, en respectant une certaine répartition géographique homogène. Les profondeurs d'eau sont comprises entre 5 et 50 m, tous les échantillons se résident dans le même contexte hydrogéologique (alluvions grossières). L'échantillonnage a été fait au cours des années 2010 à 2014 pour le mois de mai (période de basses eaux) assisté par l'équipe de l'ANRH de Khemis Miliana. Les échantillons d'eau ont été recueillis en bouteilles de polythène et ont été analysés dans le laboratoire de l'ANRH Blida pour 11 paramètres, à savoir, température, pH, conductivité électrique (CE), (TDS), oxygène dissous (DO), alcalinité totale (TA), dureté totale (TH), le calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), sodium (Na^+), le potassium (K^+), les chlorures (Cl^-), nitrates (NO_3^-), Sulfates (SO_4^{2-}). L'analyse physico-chimique a été réalisée par les méthodes classiques. Le TDS est calculée indirectement de CE $0,64 \times \text{CE}$ (S/cm) (**Raghunath, 2003**). Les bicarbonates de plus ont été calculées à partir de l'alcalinité $1,31 \times \text{alcalinité}$ (**Hem JD, 1985**).

La précision et la reproductibilité de mesure analytique et la balance ionique les ions étudiés étaient de $\pm 5\%$. Le fond des cartes de la zone d'étude a été préparé en utilisant une image satellitaire de Landsat en utilisant le logiciel Arc GIS[®] 10.2. Le système de projection UTM a été utilisé pour localiser l'emplacement de chaque point d'échantillonnage et les coordonnées ont été importées à la plateforme SIG pour la préparation du fond de carte. Les résultats géochimiques sont reportés sur le diagramme piper trilineaire et celui de Schoeller-Berkalov's en utilisant Diagramme^R, et ce pour évaluer les mécanismes de dominance des faciès hydrogéochimiques de la zone d'étude.

II.2.1- Hydrogéochimie et spatialisation des paramètres :

II.2.1.1-Détermination du faciès :

La détermination des faciès Hydrogéochimique des eaux souterraines de la région a été identifiée en utilisant plusieurs classifications.

- Identification par classification Kurlov's
- Identification par Piper et Schoeller- Berkaloff

Les résultats Hydrogéochimiques ont été reportés sur le diagramme Trilineaire de Piper et le diagramme logarithmique de Schoeller- Berkaloff en se basant sur le logiciel Diagramme^R.

II.2.1.2-Détermination de quantité en réaction en meq/l :

Le rapport de la quantité de réaction est calculé à partir de formule suivante :

$$r = \frac{C \times V}{M} \quad (15)$$

r : la quantité de réaction en meq/l

v : la valence en réaction

M : la masse molaire

C : concentration en mg/l

L'étude de la fiabilité des données hydrogéochimique a consisté d'une part à une vérification du bilan ionique. Cette vérification a été précédée d'une analyse des ions majeurs intervenant dans l'évaluation du bilan ionique. Sachant qu'une analyse chimique des eaux n'est considérée comme représentative que lorsque la balance ionique est inférieure ou égale à 10% (HOUMED.G.A, 2009), les balances ioniques ont été systématiquement vérifiées pour l'ensemble des échantillons analysés. L'erreur sur la balance ionique (BI) est donnée en pourcentage et calculée par la relation suivante

$$BI(\%) = 100 \times \left| \frac{\sum cations - \sum anions}{\sum cations + \sum anions} \right| \quad (16)$$

- $\sum cations$: Somme des cations majeurs contenus dans l'eau en milliéquivalent ;
- $\sum anions$: Somme des anions majeurs contenus dans l'eau en milliéquivalent

II.2.2-Indice de la Qualité des eaux souterraines (GWQI) :

Trois étapes sont suivies pour calculer l'IQES. Dans la première étape chacun des paramètres a été attribué par un poids (w_i) en fonction de son rapport d'importance dans la qualité globale de l'eau destinée en AEP. 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. Dans la deuxième étape, le poids relatif est calculé à partir de l'équation suivante :

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (17)$$

où W_i est le poids relatif, w_i est le poids de chaque paramètre et n est le nombre de paramètres. Les valeurs calculées de W_i sont données dans le tableau 7.

Dans la troisième étape, une échelle de notation (cote) de la qualité (q_i) pour chaque paramètre est assignée en divisant sa concentration par sa concentration standard respectife fixée selon les lignes directrices énoncées dans la norme Algérienne décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine. Et le résultat est multiplié par 100.

$$q_i = (C_i/S_i) \times 100 \quad (18)$$

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.

Pour le calcul de l'IQES, le S_{Ii} est le premier déterminé pour chaque paramètre. La somme des valeurs S_{Ii} donne l'indice de qualité de l'eau pour chaque échantillon.

$$S_{Ii} = W_i \times q_i$$

$$WQI = \sum S_{Ii} \quad (19)$$

S_{Ii} est le sous-indice du paramètre i ème

q_i est la notation basée sur la concentration du paramètre i ème











n le nombre de paramètres.

Tableau 07 : les poids relatifs des paramètres physico-chimiques

Paramètre	Norme algérienne	poids (wi)	Poids relatif (Wi)
pH	9	4	0.11428571
TDS	1500	5	0.14285714
Ca	200	2	0.05714286
Mg	50	1	0.02857143
Na	200	2	0.05714286
Cl	500	3	0.08571429
SO4	400	4	0.11428571
NO3	50	5	0.14285714
K	12	2	0.05714286
CE	2800	4	0.11428571
HCO3	200	3	0.08571429
		$\Sigma = 35$	

L'indice de qualité de l'eau souterraine a été classé dans le tableau suivant :

Tableau 08: Classification de la qualité des eaux souterraines selon IQES

Classe	Indice de classe	Type de l'eau
	<50	Excellent water
	50 - 65	Good water level 1
	65 - 85	Good water level 2
	85 - 100	Good water level 3
	100 - 125	Poor water level 1
	125 - 135	Poor water level 2
	135 - 150	Poor water level 3
	150 - 165	Very poor water level 1
	165 - 185	Very poor water level 2
	185 - 200	Very poor water level 3

II.2.3-Spatialisation hydrogéochimique

Dans notre présente étude, nous avons utilisé une plate forme du SIG appelée Arc GIS[®], un logiciel qui nous a permis à cartographier, collecter, analyser et traiter toutes des données sur la qualité des eaux que nous disposons. Les modules inclus dans l'Arc GIS[®], tel que Spatial Analyst nous a permis de faire les interpolations spatiales de plusieurs paramètres, une base de données à été crée sous l'Arc catalog. Les cartes ont été générées par interpolation IDW- Pondération par l'inverse de distance.

III-Résultats et discussion :

Les caractéristiques chimiques des eaux souterraines sont toujours influencées par la nature physico-chimique du terrain constituant leurs aquifères. De plus la profondeur de l'aquifère est un facteur important, suivant lequel le contact eaux -sol peut être déterminant en diminuant ou augmentant l'importance des échanges ioniques entre les eaux et le terrain qui les contient. La distribution spatiale des éléments chimiques des eaux souterraines de la région d'étude obéit classiquement à ces lois naturelles.

III.1-Variation spatiale des éléments physico-chimiques

La variation spatiale des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine de Khemis-Miliana pendant la période des basses eaux (2010-2014) est présentée dans les Figures 12, 13 et 14

Conductivité : La conductivité électrique est une mesure de la capacité de l'eau à transmettre le courant électrique. La limite la plus souhaitable de CE dans l'eau potable est prescrite pour 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La valeur de la CE est comprise entre 1300 et 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La CE mesure la capacité d'un matériau à conduire un courant électrique de telle sorte que la CE élevée indique un enrichissement de sels dans l'eau souterraine. Ainsi, la CE peut être classée comme de type I, si les enrichissements de sels sont faibles ($CE < 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$); Type II, si l'enrichissement de sels est moyen ($CE: 1500 \text{ et } 3,0001 \mu\text{S}/\text{cm}$); et de type III, si l'enrichissement en sels est élevé ($CE > 3000 \mu\text{S}/\text{cm}$;. (**Sarath Prasanth et al 2012**). Nous constatons que dans la partie amont , les valeurs de La CE localisée à l'Est à la proximité de la ville de Djendal montrent une variation dépassent 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la partie centrale, de Ain Sultan, Khemis Miliana et Bir Oueld Khalifa, les valeurs dépassent le seuil admissible, elles varient entre 3330 $\mu\text{S}/\text{cm}$ jusqu'à 4060 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Un pôle très enrichi de sel avec une qualité fortement saumâtre et des CE d'ordre de 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ jusqu'à 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ entre Oued massine et Deurdeur, cette élévation est due à l'infiltration des eaux de surface chargées de sels. Par contre la partie aval localisée à l'Ouest des Aribes La CE ne dépassant pas les 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (eaux douces).

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.

Résidu Sec : Le TDS dans la nappe se situe entre 790 et 3000 mg / l. Les valeurs faibles de Faible TDS (790 à 1500 mg / l) sont observées dans la partie nord-ouest de la plaine et qui indiquent l'effet de dilution des eaux souterraine en suivant l'axe de drainage souterrain. Les valeurs les plus élevées de TDS sont observées dans le sud centrale de la plaine dépassant les 4000 mg/l, ce sont des eaux saumâtres; cette élévation de haute TDS est due à l'influence des sources anthropiques, et la qualité des eaux de surface trop chargées en sel de Oued Massine et celui de Deurdeur. En revanche, dans la partie aval, la teneur du résidu sec est un peu moins faible par rapport l'amont et le centre elles varient entre 791 mg/l. Les eaux souterraines peuvent être classées comme douces, si le TDS est inférieur à 1,000 mg / l; saumâtres, si le TDS est compris entre 1000 et 10000 mg / l; salines, si le TDS est compris entre 10.000 à 1.000.000 mg / l; et de la saumures, si le TDS est de plus de un million mg/l (Todd1, 980). En conséquence, la qualité des eaux souterraines dans la zone d'étude présente deux classes, des eaux douces et saumâtres à 30 et 70 %.

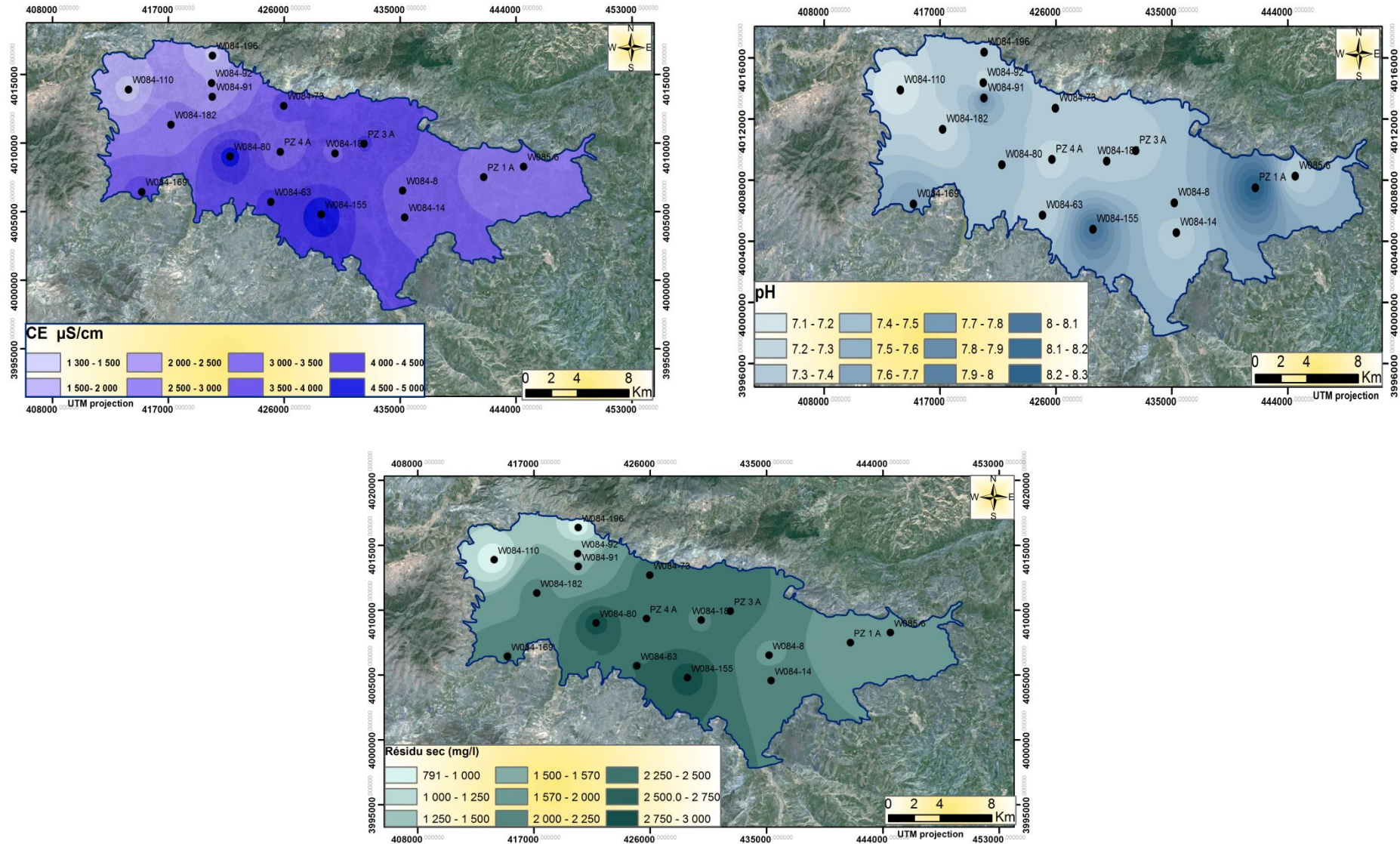


Figure 12 : Répartition spatiale des pH, TDS et CE des eaux souterraines de la plaine alluviale de Khemis Miliana.

Sulfates (SO_4^{-2}) : La concentration des sulfates est susceptible de réagir avec les organes humains si la concentration dépasse la limite maximale permmissible de 400 mg/ l et peut provoquer un effet laxatif sur le système humain avec l'excès de magnésium dans l'eau souterraine. Les concentrations de SO_4^{-2} dans les eaux souterraines de la plaine varient de 47 à 500 mg / l. Cependant, la concentration de sulfate dans les eaux souterraines de la zone d'étude est à l'intérieur de la limite maximale admissible dans la totalité de la surface de la plaine, sauf dans la partie centrale au Sud, où elles dépassent les 400 mg/l, ces concentrations élevées sont dues au phénomène de lessivage du Trias qui se localise dans le Sud de la plaine, amenées par les eaux des Oueds.

Chlorures (Cl⁻) : L'ion chlorure est la forme naturelle la plus dominante de l'élément chlore et est extrêmement stable dans l'eau. Les chlorures dans les eaux souterraines peuvent être de diverses sources, telles que l'altération, le lessivage des roches sédimentaires et des sols, les effluents domestiques et municipales (Sarath Prasanth et al. 2012).

Les concentrations des chlorures varient entre 80 et 1000 mg / l pour les échantillons d'eau. Comme par (mondiale de la Santé Organization 2011) et les normes algériennes, la limite souhaitable pour les chlorures est de 250 mg / l. Pour la zone d'étude, on a constaté que, dans certains endroits, la concentration en chlorure est supérieure à la limite maximale autorisée, toutes les parties qui se localisent au Sud et au centre sont affectées, elles peuvent être dues à l'absence de système de drainage des eaux usées, et la présence des décharges anarchiques. La partie aval entre la ville de Sidi Lakhder et Arib la teneur en Chlorures est comprise entre 82 mg/l et 398 mg/l.

Bicarbonates (HCO_3^-) : la Partie amont de l'Est de la plaine montre une teneur de Bicarbonate plus élevée qui varie entre 378 mg/l et 686 mg/l, cette élévation nous amène à supposer une origine géologique due à la présence des carapaces calcaire dans le sol, dans la Partie centrale les concentrations de bicarbonates sont moyennes, comprises entre 250 mg/l et 440 mg/l. les concentrations des bicarbonates en aval varient entre 195 mg/l et 415 mg/l.

Nitrate (NO_3^-) : Les composés azotés sont les contaminants les plus répandus dans les environnements souterrains, provenant principalement de sources ponctuelles et multi-sources agricoles diffuses (Pang et al. 2013). Les données épidémiologiques suggèrent que l'exposition de nitrate d'azote est fortement associée à plusieurs maladies, telles que la méthémoglobinémie (baby blue-syndrome), le cancer gastrique, la maladie de la thyroïde et

du diabète (Krishna Kumar et al., 2011). Par conséquent, la contamination de l'azote croissante menace sérieusement l'eau potable et la santé humaine. La carte de NO_3 montre des valeurs oscillant de 2 mg/l à 150 mg/l individualisant trois régions, la première c'est la partie amont localisé à l'Est au alentour de la ville de Djendal une grande concentration non-admissible dépassant 100mg/l, cette quantité est peut être due à la pollution agricole. la partie centrale divisée en deux, une à l'Est de cette partie au voisinage de la ville de Bir Oueld Khalifa et Ain Sultan les valeurs oscillent entre 40 mg/l et 70 mg/l, et l'autre à l'Ouest aux alentours de la ville de Khemis Miliana et au Sud au environ de la ville de Djelida. la Partie aval, au voisinage de la ville des Arib et Sidi Lakhder montre des concentrations faibles entre 12 mg/l et 23 mg/l.

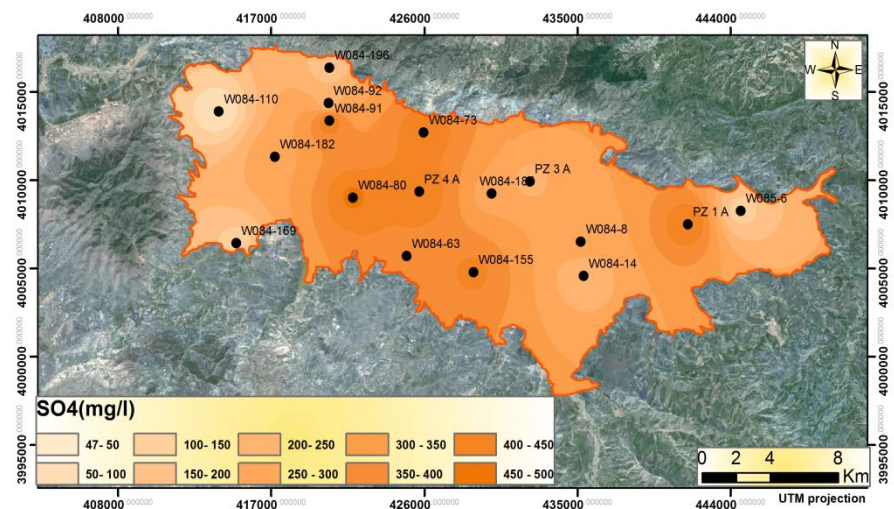
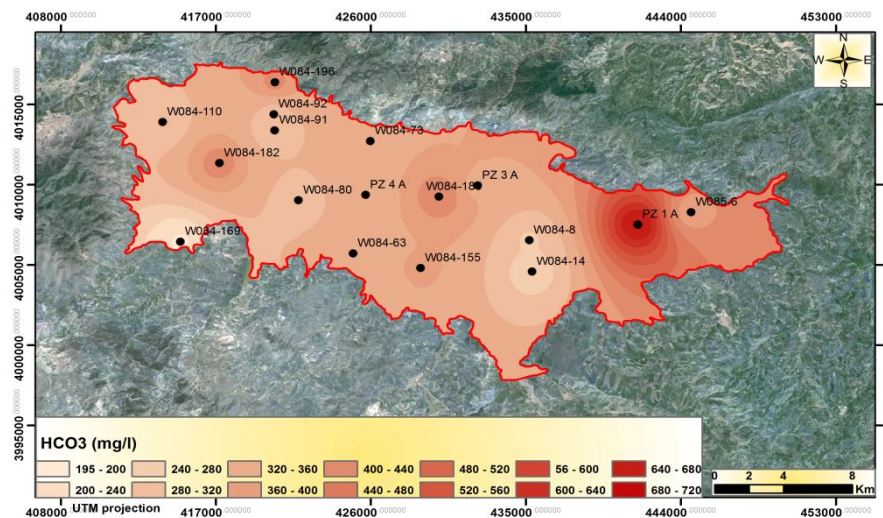
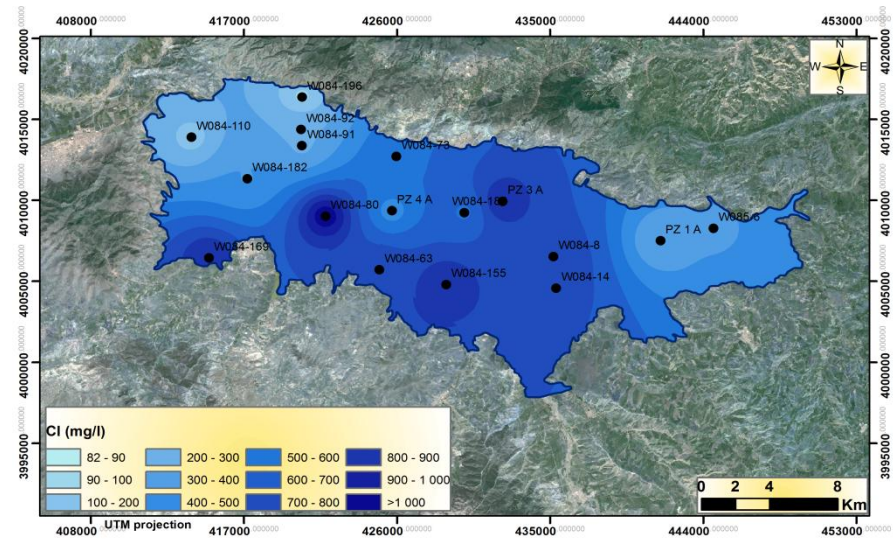
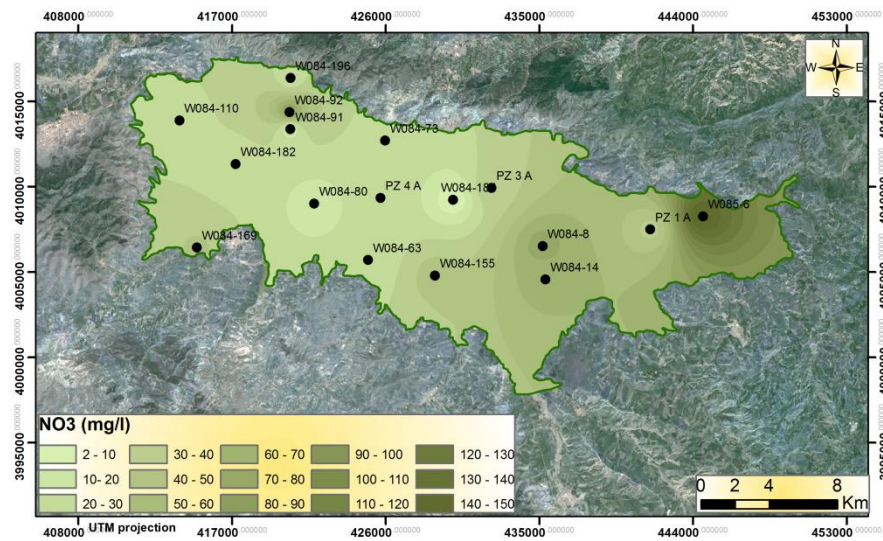


Figure 13: Répartition spatiale des éléments anioniques des eaux souterraines de la plaine alluviale de Khemis Miliana

Calcium (Ca^{+2}) et Magnésium (Mg^{+2}) :

Le Calcium et le magnésium dans les eaux sont généralement utilisés dans la classification de potabilité des eaux, ces ions sont plus abondants dans les eaux de surface et eaux souterraines, ils sont directement liés à la dureté des eaux avec la présence des bicarbonates. La concentration du Ca^{+2} dans les eaux de la plaine est comprise entre 140-430 mg/L, et le Mg^{+2} varie entre 20-110 mg/L. les plus fortes concentrations sont concentrées au centre de la plaine, ces concentrations dépassent les normes algériennes, ces fortes concentrations sont indésirables pour la potabilité des eaux. par contre, dans l'aval de la région d'étude, les teneurs de Ca^{+2} et Mg^{+2} sont plus faibles et peut atteindre 140 mg/l et 30 mg/L respectivement près de la ville des Aribis.

Sodium (Na^{+}) et Potassium (K^{+}) :

Les teneurs en sodium admises par les normes algériennes sont de l'ordre de 200 mg/l, par contre la teneur de potassium est présente de faibles quantités dans les eaux. La concentration du Na^{+} varie dans la région de 40 à 300 mg/L. l'Amont de la plaine est caractérisé par une stabilité de la concentration sauf une augmentation à côté de la ville de Djendel, l'aval de la plaine est caractérisé par une faible concentration de Na^{+2} localisée dans la ville des Aribis, comprise entre 40mg/l et 80mg/l. La concentration de potassium dans la plaine de Khemis-Miliana varie entre 2 mg/l et 20mg/l qui présente généralement une faible concentration dans toute la plaine.

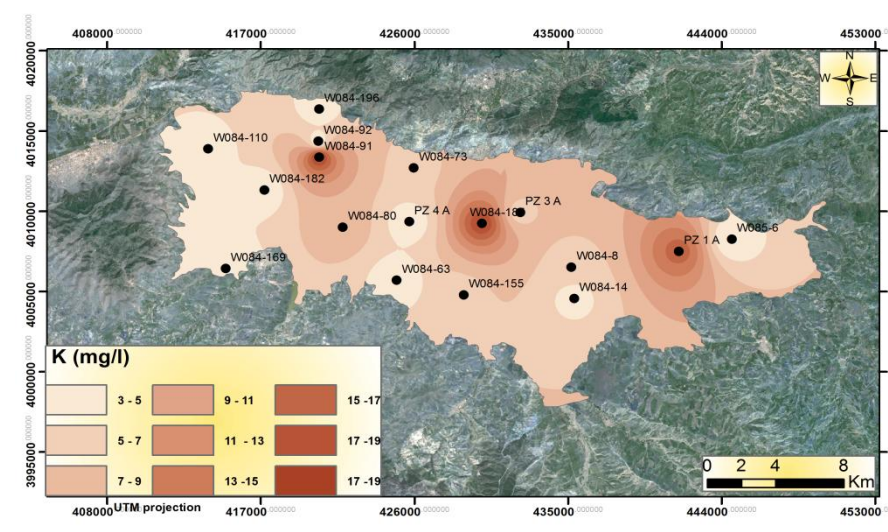
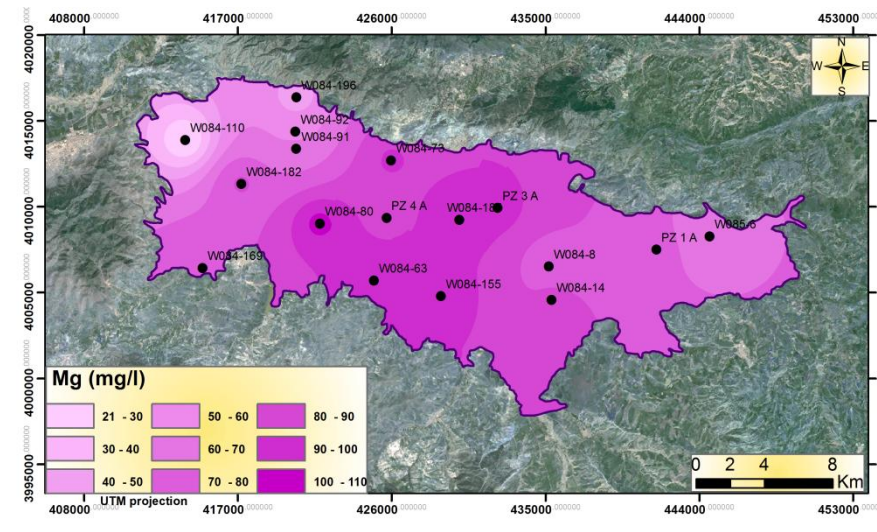
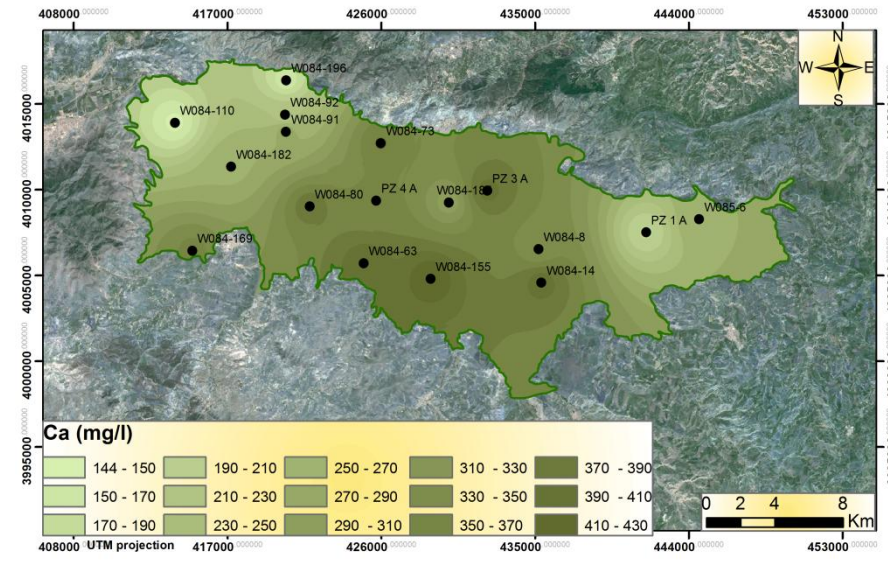
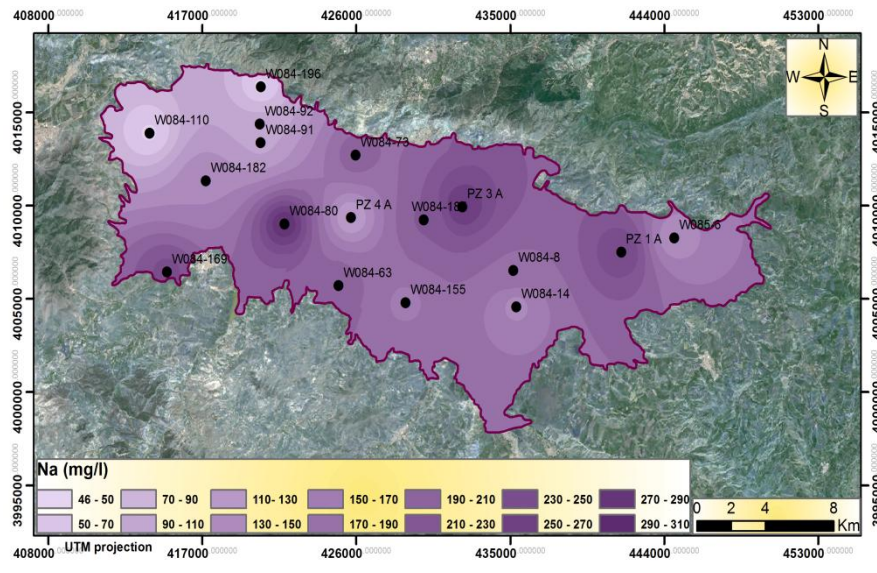


Figure 14: Répartition spatiale des éléments cationiques des eaux souterraines de la plaine alluviale de Khemis Miliana

III.2-Classification des eaux souterraines de la plaine de Khemis-Miliana :

L'étude des faciès chimiques des eaux souterraine de la zone d'étude à été établie sur la base De la classification de kurlov's, la représentation sur le diagramme semi-logarithmique Schoeller-Berkalof et la répartition sur le diagramme de Piper

III.2.1-Classification de Kurlov's : Selon les anions et cations prédominants de chaque point échantillonné, les principaux faciès rencontrés dans la zone sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 09: Faciès chimiques des eaux souterraines rencontrés dans la plaine de Khemis-Miliana

ID	X	Y		faciès
W084-8	435196.03	4006528.9	$Cl^- (69.2\%) > SO_4^{2-} (13.7\%) > HCO_3^- (13.6\%)$ $Ca^{2+} (60.5\%) > Mg^{2+} (20.4\%) > Na^+ (19.9\%)$	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	$SO_4^{2-} (42.2\%) > Cl^- (35.9\%) > HCO_3^- (21.1\%)$ $Ca^{2+} (56.6\%) > Mg^{2+} (22.7\%) > Na^+ (19.6\%)$	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	$HCO_3^- (43.6\%) > Cl^- (43.5\%)$ $Ca^{2+} (64.9\%) > Na^+ (18.5\%) > Mg^{2+} (15.6\%)$	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	$HCO_3^- (54.1\%) > SO_4^{2-} (24.4\%) > Cl^- (19.4\%)$ $Ca^{2+} (57.5\%) > Mg^{2+} (26.9\%) > Na^+ (14.9\%)$	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



Figure 15 : Répartition spatiale des faciès chimiques des eaux souterraines de la plaine alluviale de Khemis Miliana

Une sorte de différenciation hydrogéo-chimique est marquée pour les eaux souterraines de la région ce qui explique la nature lithologique différenciée des alluvions , phénomène de drainance et d'alimentation et présence de foyers de pollutions dans le sud , nous distinguons les faciès suivants : Chloruré calcique, chloruré sodique et bicarbonaté. Dans la partie centrale, le faciès chloruré calcique est plus dominant. La partie aval est caractérisée par une prédominance du le faciès bicarbonaté causé par une drainance provenant des calcaires de littré.

Diagramme de Piper :

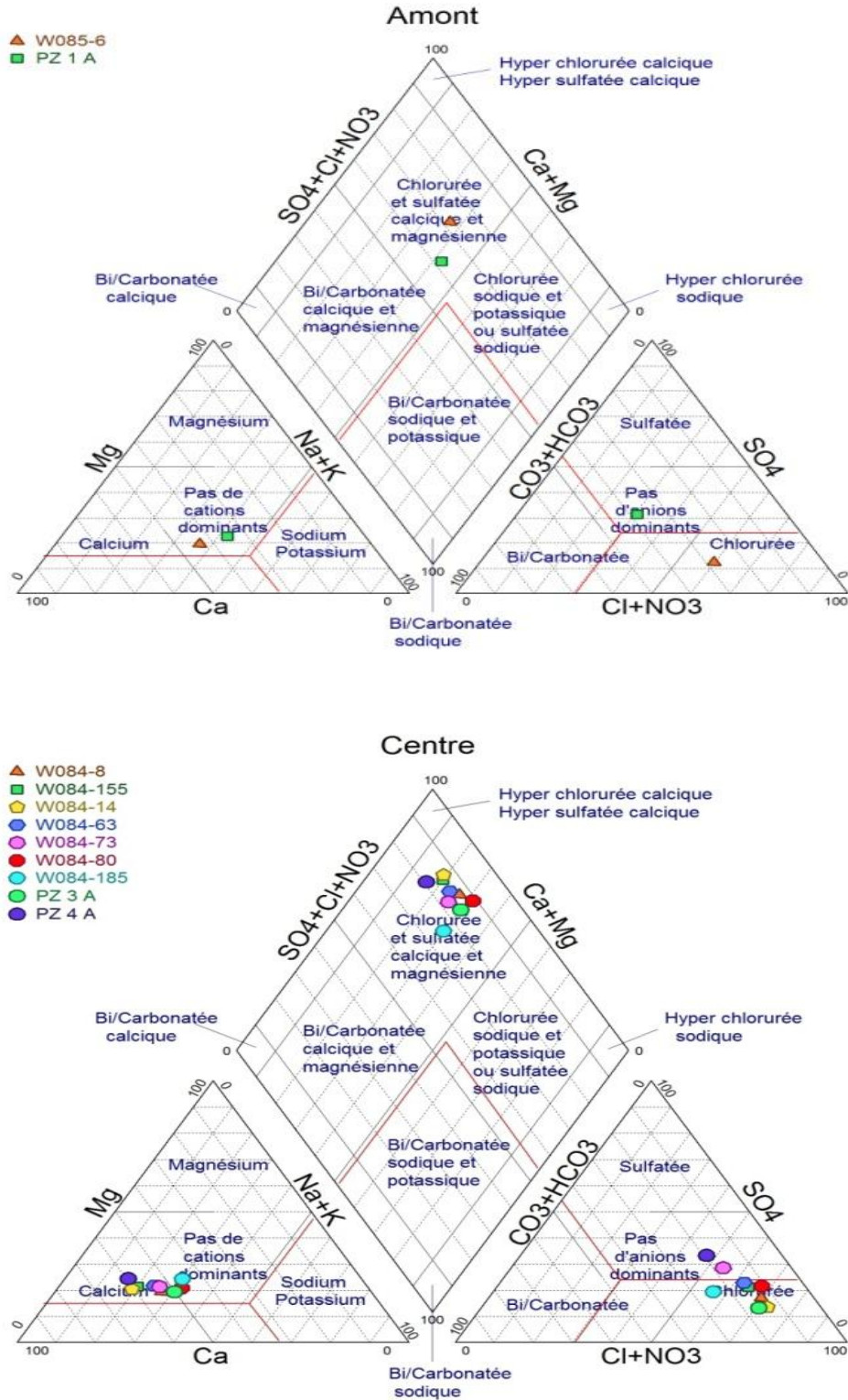


Figure 16 : Diagrammes de Piper Amont, Centre et Aval de la plaine.

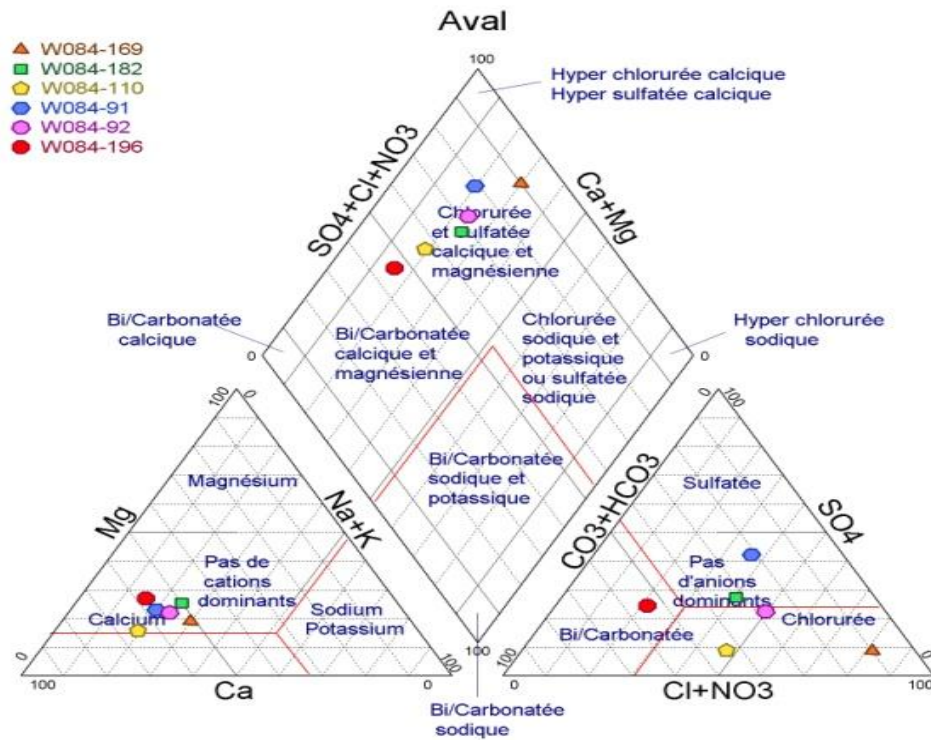


Figure 16 : Diagrammes de Piper Amont, Centre et Aval de la plaine. (suite)

Interprétations du diagramme de Piper :

La représentation des éléments chimiques de différents échantillons reportés sur le diagramme de Piper (voir Figure.) montre que la majorité des échantillons se coïncident sur les pôles caractérisant le faciès chloruré calcique sulfaté et magnésien. La partie centrale, quant à elle présente sur le diagramme de Piper un faciès hydro-chimique des eaux souterraines chloruré sulfaté calcique et magnésien. la partie aval selon le diagramme, présente un faciès chloruré sulfaté calcique et magnésien avec une prédominance anionique chlorurée et une dominance cationique magnésien.

Diagramme Schoeller- Berkaloff :

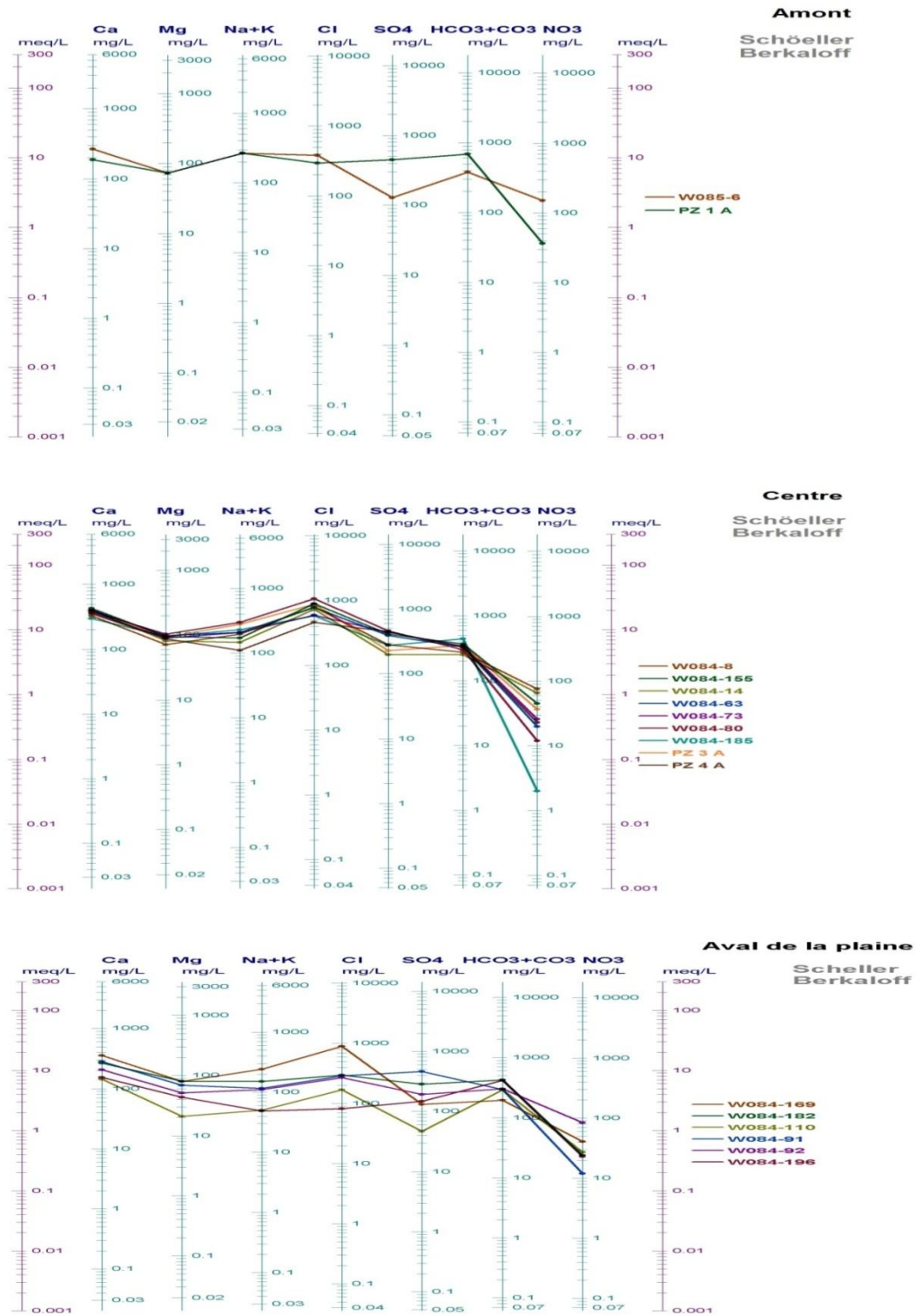


Figure 17 : Diagramme de Schoeller- Berkaloff_ A mont, Centre et Aval de la plaine

Interprétations des diagrammes de Schoeller- Berkaloff :

Les eaux souterraines dans la partie aval de la plaine , et en se basant sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff's, ce dernier montre une certaine différenciation hydrochimique, les droites s'intercroisent entre elles, ce qui explique cette différenciation qui est due à un passage lithologique des alluvions et l'influence des contaminants. Dans la partie centrale, nous constatons qu'il y a un certain parallélisme des droites avec des pics chlorurés et calciques, par contre dans la partie amont, nous observons une augmentation des concentrations en calcium et chlorure et bicarbonates, le type de faciès est chloruré et bicarbonaté calcique et sodique.

La distribution spatiale de l'indice de la qualité de l'eau (IQE) :

La chimie des eaux souterraines est souvent utilisée comme un outil pour discriminer la qualité de l'eau potable et d'irrigation (Subba Rao 2006; Vasanthavigar et al., 2010). L'Indice de la qualité de l'eau (IQE) est un paramètre important pour l'identification de la qualité de l'eau et de sa viabilité à des fins de consommation (Subba Rao, 1997; Magesh et al 2013.). IQES est défini comme une technique d'évaluation et de notation qui fournit l'influence composite individuelle de différents paramètres agissant sur la qualité globale de l'eau (Mitra, 1998). Des normes Algériennes pour la qualité de l'eau potable ont été utilisées pour calculer l'IQES. Le poids relatif (avec lequel a été attribué pour chaque paramètre agissant sur la qualité de l'eau en fonction de son importance relative sur la qualité de l'eau à des fins de consommation en AEP (tableau 08). La classification de la qualité de l'eau basée sur les valeurs de l'IQES est présentée dans le tableau 09. Le calcul de l'IQE pour les échantillons d'eau souterraine est représenté dans le **tableau 4**. Et des cartes de la répartition spatiale de l'IQES ont été représentées dans les figures 18, 19 et 20.

pour l'année 2014, Un total de 17 échantillons a été analysés pour la cartographie de l' IQES. L'analyse de la carte de la répartition spatiale de l'IQES a montré que, la partie aval de la région d'étude est affectée par une bonne qualité ' good water level ² qui présente 8 % de la surface totale de la plaine, 73 % ,11 % de la surface totale présente une qualité ' Poor water quality level ¹, good water level ³ respectivement. Cela peut être dû au procédé de lixiviation et la dissolution effective de sel provenant par inféoflux des eaux des Oueds déjà saumâtres qui se localisent au Sud. Une concentration élevée de CE, chlorures, et sulfates, est la principale source de dégradation de la qualité de l'eau dans cette partie de la zone d'étude.

Pour l'année 2010, nous constatons que la partie nord de la plaine au alentour de la ville de Khemis Miliana et Bir Oueld Khalifa, la carte montre une variation de l'indice entre 112 et 117 ce qui classe cette eau comme une eau de mauvaise qualité "Poor water level¹", une diminution de l'indice qui atteint l les 80 au voisinage de la ville d'Ain Sultan, les eaux souterraines de cette partie sont considérées comme " Good water level^{2;3} ", une partie de la plaine affectée par une très mauvaise qualité se localise dans le Sud-ouest de khemis Miliana avec une qualité " very poor water quality^{1;2}"

Concernant la carte spatiale de l'IQE pour la période des basses eaux 2011, nous remarquons que la partie nord de la plaine aux alentours de la ville de Khemis Miliana et Bir Oueld Khalifa montre une variation entre 107 et 118 avec une mauvaise qualité de Poor water quality level¹", la partie Sud-est aux alentours de la ville de Djelida l'indice varié entre 113 et 156, les parties ouest et nord-ouest de la région à la proximité de la ville des Aribis et Sidi Lakhder, quant à elles, montrent une variation entre 44 et 86 avec une très bonne qualité.

L'analyse de la carte de répartition spatiale de l'IQE des basses eaux de l'année 2012 de la plaine de Khemis-Miliana, une augmentation de l'IQES est constaté dans presque toute la plaine , le Sud-est et Sud- ouest à côté de la ville de Djelida, la qualité de l'eau est très mauvaise et l'indice dans cette partie montre une variation entre 109 et 170. Aux alentours de la ville de Bir Ouled Khelifa l'IQE est compris entre 129 jusqu'à 179 . Toute la partie aval est affectée par un indice de bonne à très bonne qualité et qui présente une surface de 16 %

A partir de l'analyse de la distribution spatiale de l'indice de l'IQE pour la période des basses eaux 2013, nous constatons, que de la partie ouest et nord ouest à la proximité de la ville des Aribis une variation de l'indice entre 72 et 117, une bonne a été attribuée à cette zone "Good water level^{2,3}», par contre, 70 % des eaux présentent une mauvaise qualité "Poor water level¹».

D'après l'interprétation des cartes de l'indice obtenues pendant la période des basses eaux concernant les années (2010 jusqu'au 2014), nous constatons que les eaux souterraines de mauvaise et moyenne qualité caractérisent la majorité de la zone étudiée, la répartition de l'indice est caractérisée par bonne qualité pour la zone qui se localise en aval de la plaine, le facteur principale peut être due a la dilution des éléments chimiques en suivant le sens d'écoulement. La partie centrale divisée en deux parties qui présentent une mauvaise qualité

généralement. une très mauvaise qualité affecte la partie sud, cette détérioration est due au lessivage des roches de Trias affleurant dans le partie Sud, et c'est les eaux des Oueds qui ramènent une eau chargée en sulfates et chlorures à travers les Oued Massine et Deurdeur, ces dernières vont s'infiltrées dans la nappe.

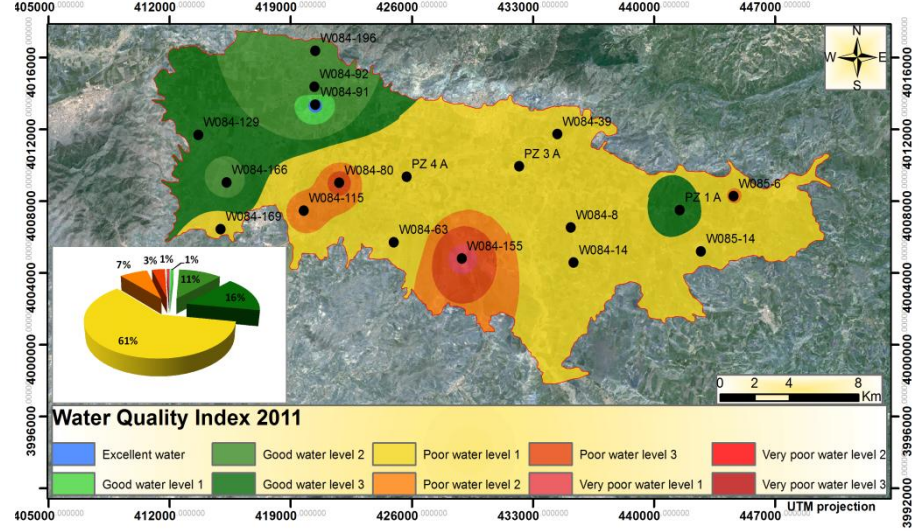
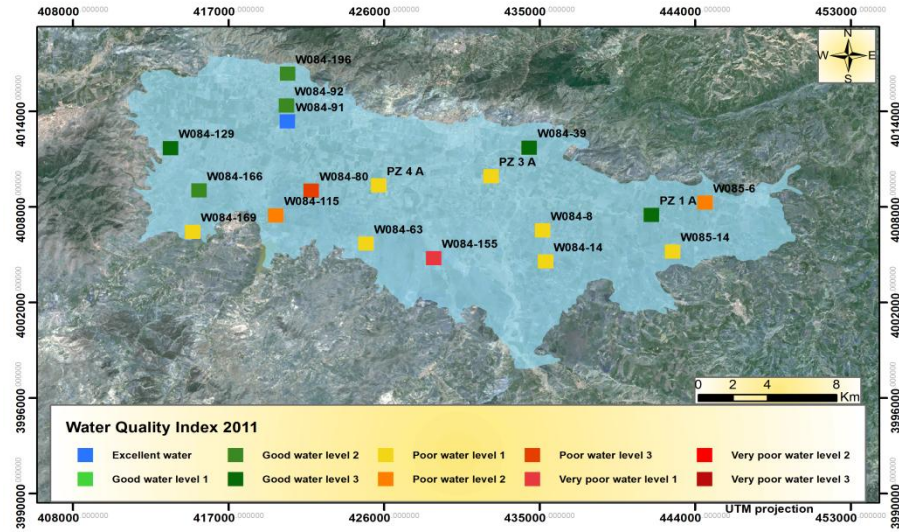
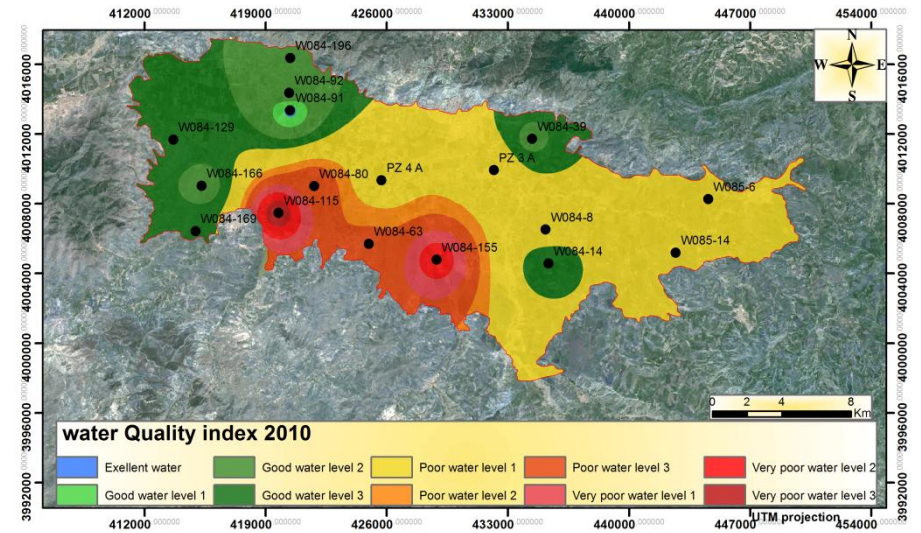
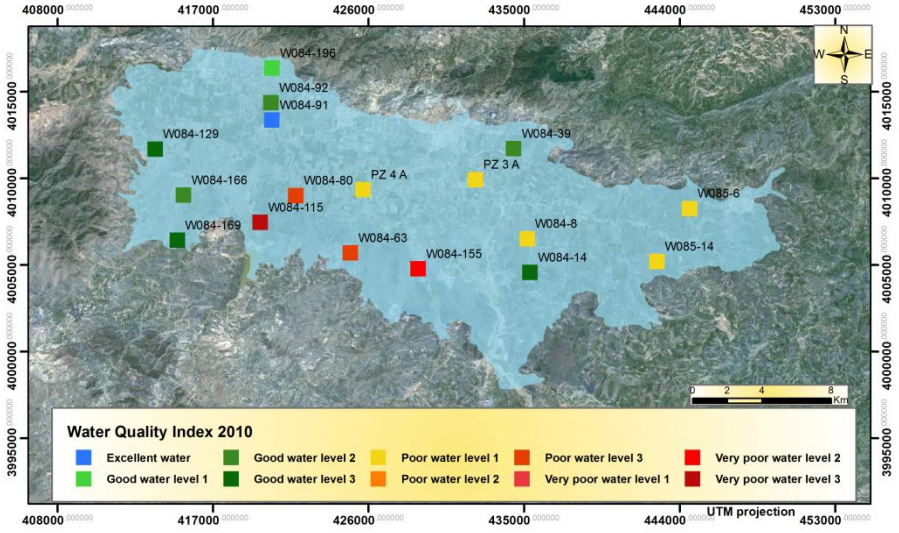


Figure 18 : Répartition spatiale de l'indice de qualité des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana (2010-2011).

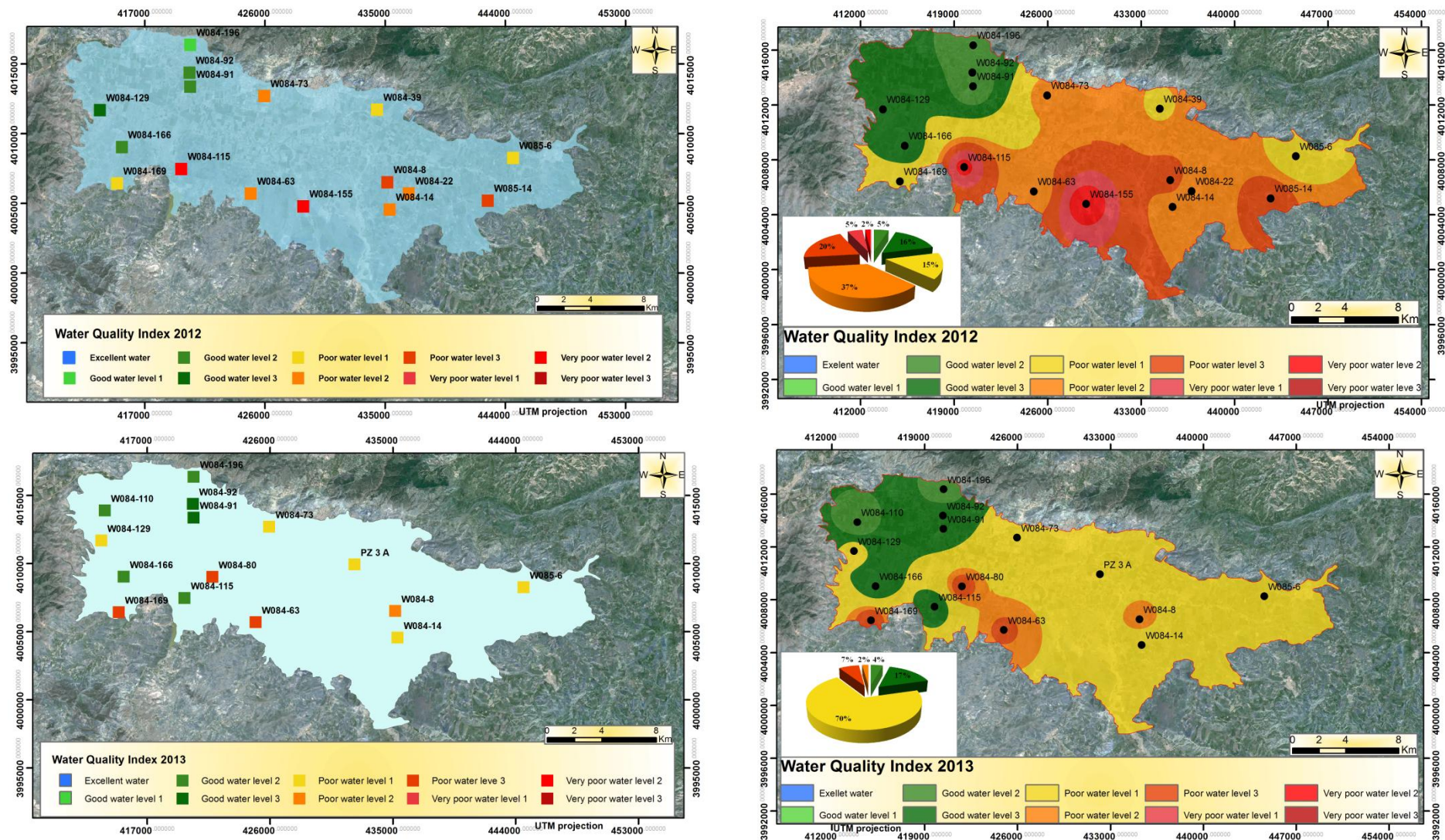


Figure 19 : Répartition spatiale de l'indice de qualité des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana (2012-2013).

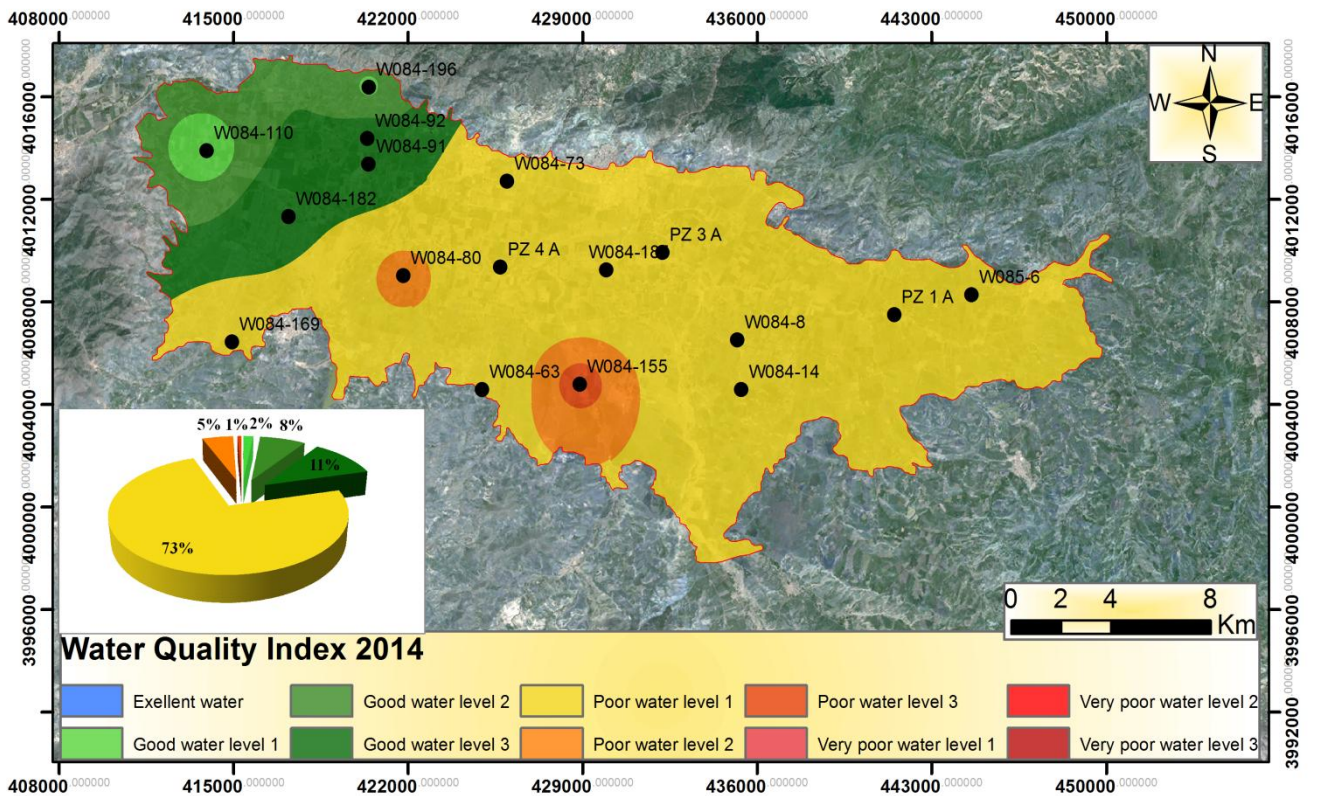
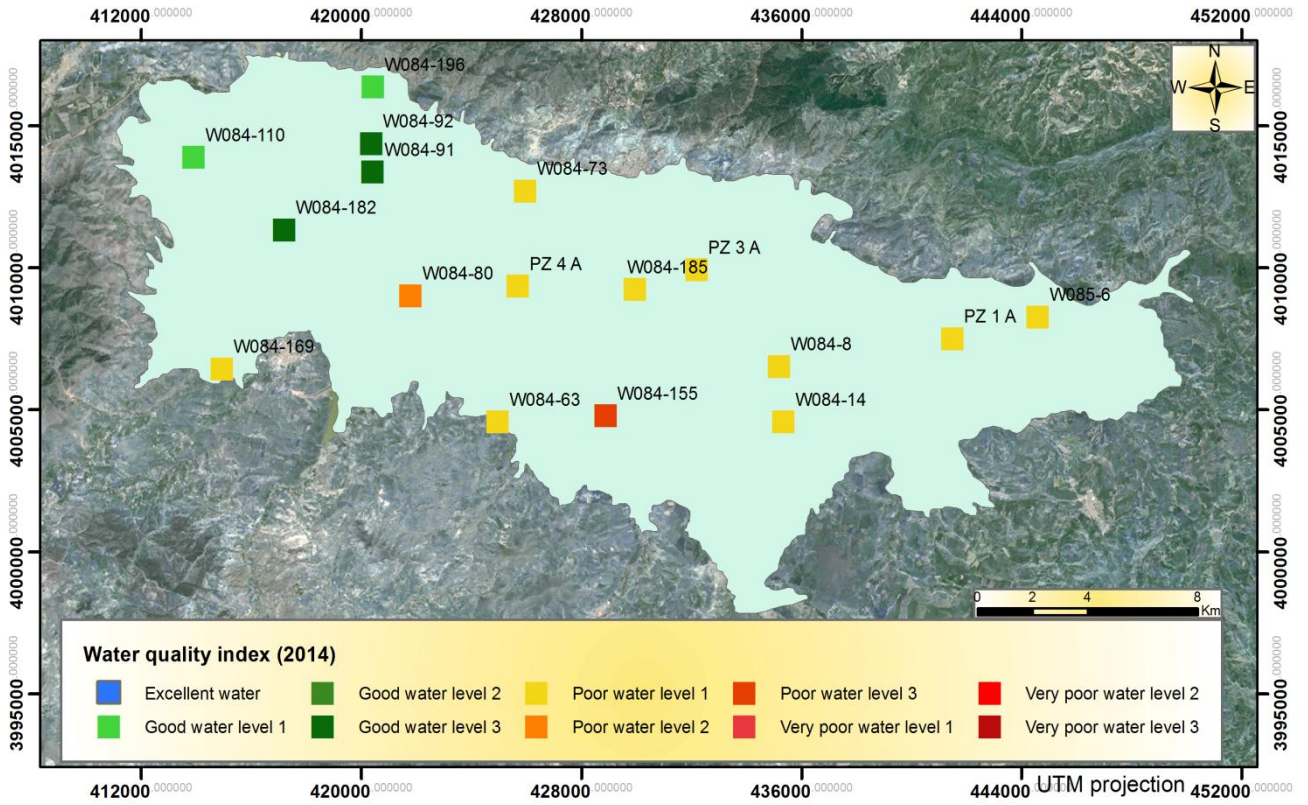


Figure 20 : Répartition spatiale de l'indice de qualité des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana (2014).

Conclusion générale et Recommandation

Conclusion :

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. En Algérie la réhabilitation des eaux souterraines en mauvaise qualité devient quasi-impossible. Dans ce mémoire, une tentative a été faite pour évaluer la qualité des eaux souterraines de l'aquifère alluvial de la plaine de Khemis Miliana, Algérie.

La plaine alluviale de Khemis-Miliana d'une superficie de 359.5 km², est localisée entre le massif du Zaccar au Nord, les reliefs de l'Ouarsenis au Sud, Djebel Gontas à l'Est et le seuil de Doui à l'Ouest. Elle appartient au bassin versant du haut Cheliff et elle est traversée d'Est en Ouest par Oued Cheliff. Du point de vue hydroclimatologique, un climat semi aride règne dans de la région d'étude, avec un influence saharienne en été et des influences méditerranéens, dont on enregistre, une température moyenne annuelle estimée à 19.19°C et une lame précipitée moyenne annuelle de 388 mm. Les formations alluvionnaires du Quaternaire constituent l'aquifère le plus exploité dans toute la plaine du haut Cheliff. Les descriptions lithologiques des forages montrent que plus de 20% des matériaux traversés sont des sables et des graviers les profondeurs es eaux souterraines varient de 5 à 100m. Les alluvions grossières sont surmontées par un couverture limoneux-argileux qui est considéré comme aquitard, ce qui donne le caractère local d'un semi-captivisme à la nappe, les formations du Mio-Plio-Quaternaire sont formées d'une nappe multicouche à porosité d'interstice.

Du point de vue hydrogéochimique, le chimisme des eaux souterraines 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.

L'indice de la qualité des eaux souterraines (IQES) à été formulé à partir d'une formule basé sur 8 éléments chimiques cationiques et anioniques, ainsi que les pH, CE et résidu sec. La cartographie établie représente la répartition spatiale de l'IQES. Une distribution spatiale des éléments chimiques des eaux souterraines ainsi que leur évolution spatio-temporelle ont été cartographiées. L'analyse des cartes ont montré que, Les eaux de mauvaise et moyenne qualité ont caractérisé la majorité de la zone étudiée, la qualité de l'eau est en baisse significative due

Conclusion générale et Recommandation

à l'évolution progressive des chlorures, nitrates, résidu sec et sulfates. La qualité des eaux souterraines diminue du Nord vers le Sud de la plaine, la partie Ouest de la zone est caractérisée par une bonne qualité, le facteur principale peut être du à la dilution des éléments en suivant le sens d'écoulement souterrain. Pour l'année 2014, l'analyse de la carte de la répartition spatiale de l'IQES a montré que la partie aval de la région d'étude est affectée par une bonne qualité qui présente 16 % de la surface totale de la plaine, 73 % ,11 % de la surface totale présente une qualité ' Poor water quality level ¹, good water level ³. L'étude de l'évolution spatio-temporelle interannuelle a montré que les années 2010 et 2012 sont les plus affectées en termes de contamination que celles des années 2011, 2013 et 2014.

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.

Annexes

Les valeurs de L'IQE des basses eaux 2010 de chaque point d'eau

ID	XUTM	YUTM	Z M	Nature	IQE
W084-129	413661.22	4011696.41	251.745	PUITS	96.0980295
W084-166	415303.00	4009041.10	269.177	PUITS	72.3137704
W084-115	419748.37	4007477.11	275.934	PUITS	199.621024
W084-8	435196.03	4006528.90	293.401	PUITS	111.624369
W084-155	428890.44	4004798.47	293.016	PUITS	175.634749
W084-14	435359.96	4004578.33	315.803	PUITS	86.4607931
W084-39	434412.23	4011731.47	292.827	PUITS	79.7392044
W084-63	424963.12	4005710.75	280.602	PUITS	136.552412
W084-80	421803.30	4009020.77	260.124	PUITS	146.533201
W084-91	420416.86	4013375.32	256.639	PUITS	44.8782315
W084-92	420370.00	4014375.51	284.305	PUITS	81.5048562
W084-169	414125.96	3716118.03	313.147	PUITS	94.0091306
W084-196	420426.28	4016375.43	278.018	PUITS	64.9346885
W085-6	444601.64	4008274.66	346.255	PUITS	104.52975
W085-14	442712.07	4005205.49	316.434	PUITS	112.968751
PZ 3 A	432206.57	4009938.31	276	PIEZOMETRE	116.924346
PZ 4 A	425704.53	4009358.59	261	PIEZOMETRE	112.432424

Les valeurs de L'IQE des basses eaux 2011 de chaque point d'eau

Point d'eau	XUTM	YUTM	Z M	Nature	IQE
W084-129	413661.22	4011696.41	251.75	PUITS	85.5083673
W084-166	415303.00	4009041.10	269.18	PUITS	76.5543697
W084-115	419748.37	4007477.11	293.02	PUITS	133.080252
W084-8	435196.03	4006528.90	293.40	PUITS	114.699993
W084-155	428890.44	4004798.47	293.02	PUITS	155.852501
W084-14	435359.96	4004578.33	315.80	PUITS	119.185018
W084-39	434412.23	4011731.47	292.83	PUITS	100.054098
W084-63	424963.12	4005710.75	280.60	PUITS	112.65046
W084-80	421803.30	4009020.77	260.12	PUITS	141.238724
W084-91	420416.86	4013375.32	256.64	PUITS	44.3951543
W084-92	420370.00	4014375.51	284.31	PUITS	78.8614803
W084-169	414125.96	3716118.03	313.15	PUITS	107.997709
W084-182	416375.35	3716601.95	252.28	PUITS	128.868968
W084-196	420426.28	4016375.43	278.01	PUITS	66.8483856
PZ 1 A	441499.22	4007509.30	296.00	PIEZ	86.3465598
PZ 3 A	432206.57	4009938.31	276.00	PIEZ	118.294238
PZ 4 A	425704.53	4009358.59	261.00	PIEZ	106.886315
W085-6	444601.64	4008274.66	346.26	PUITS	125.931312
W085-14	442712.07	4005205.49	316.43	PUITS	107.702505

Les valeurs de L'IQE des basses eaux 2011 de chaque point d'eau.

Point d'eau	XUTM	YUTM	Z M	Nature	IQE
W084-155	428890.44	4004798.47	293.02	PUITS	179.422676
W084-169	414125.96	3716118.03	313.15	PUITS	108.906803
W084-182	416375.35	3716601.95	252.28	PUITS	135.221202
W084-196	420426.28	4016375.43	278.01	PUITS	65.2641728
W084-8	435196.03	4006528.90	293.40	PUITS	140.733786
W084-14	435359.96	4004578.33	316.43	PUITS	130.235034
W084-39	434412.23	4011731.47	292.83	PUITS	123.572563
W084-73	425965.01	4012707.91	277.30	PUITS	133.337982
W084-63	424963.12	4005710.75	280.60	PUITS	125.929366
W084-22	436793.56	4005723.90	297.00	PUITS	125.680839
W084-91	420416.86	4013375.32	256.64	PUITS	71.2137191
W084-92	420370.00	4014375.51	284.31	PUITS	86.231383
W084-115	419748.37	4007477.11	275.93	PUITS	170.367405
W084-129	413661.22	4011696.41	251.75	PUITS	98.9265986
W084-166	415303.00	4009041.10	269.18	PUITS	86.0443088
W085-6	444601.64	4008274.66	346.26	PUITS	113.298413
W085-14	442712.07	4005205.49	316.43	PUITS	143.963039

Les valeurs de L'IQE des basses eaux 2013 de chaque point d'eau.

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

Les valeurs de L'IQE des basses eaux 2014 de chaque point d'eau.

ID	XUTM	YUTM	Z M	Nature	IQE
W084-8	435645.90	4146014.66	293.40	PUITS	118.156123
W084-155	428890.44	4004798.47	293.016	PUITS	139.383674
W084-14	435359.96	4004578.33	315.803	PUITS	113.641474
W084-63	425384.45	4135821.70	280.60	PUITS	118.916236
W084-73	426367.50	4136798.17	277.30	PUITS	116.195907
W084-80	421803.30	4009020.77	260.124	PUITS	133.735851
W084-91	420416.86	4013375.32	256.639	PUITS	92.6489801
W084-92	420749.98	4131218.30	284.31	PUITS	90.5636734
W084-110	413918.14	4013895.74	246.76	PUITS	54.9205332
W084-169	414125.96	3716118.03	313.147	PUITS	107.917642
W084-182	417210.30	4011335.26	252.28	PUITS	99.0925175
W084-185	429954.34	4009245.32	272	PUITS	110.549264
W084-196	420426.28	4016375.43	278.018	PUITS	62.6118825
W085-6	444601.64	4008274.66	346.255	PUITS	121.254739
PZ 1 A	441499.22	4007509.30	296	PIEZOMETRE	119.970534
PZ 3 A	432206.57	4009938.31	276	PIEZOMETRE	124.316271
PZ 4 A	425704.53	4009358.59	261	PIEZOMETRE	106.381871