

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الجبلاي بونعامة - خميس مليانة-

Université Djillali Bounaama -Khemis Miliana-

Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre



Département des Sciences de la Terre

Spécialité : hydrogéologie

Mémoire de fin d'étude En vue de l'obtention d'un diplôme de Master en

Sciences de la Terre

Spécialité : hydrogéologie

Thème :

Optimisation et reconception du réseau de surveillance des eaux souterraines à l'aide des SIG et techniques d'analyses multicritères, plaine de Khemis Miliana

Présenté par :

- *M^{lle} Abdelkrim Nadia*
- *M^{lle} Belkhiri Zineb*

Soutenu le:, Devant le jury composé de :

Président : Bensaada Mhamed	(MCA)	UKM
Promoteur : Gharbi Benyoucef	(MAA)	UKM
Examineur : Sadeuk ben Abbes AEK	(MAA)	UKM

Année universitaire: 2019/2020

Remerciements

Je remercie Dieu le tout puissant, pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté d'étudier et pour m'avoir permis de réaliser ce travail.

Nous exprime toute notre gratitude et notre sincères remerciements à l'ensemble des enseignants de. Faculté Des Science et de la terre université Djilali Bounaama khemis Miliana

ON adresse mes remerciements à tous ceux qui de près ou de loin nous apporté leur aide, conseils ou encouragements afin de réaliser ce travail. C'est grâce à leurs contributions que ce mémoire a pu voir le jour.

Nous tiens à remercier notre promoteur qui a bien voulu assurer le suivi de ce travail. Donc mes chaleureux remerciements à Ms Gharbi Ben Youcef, Maître de conférences Hydrogéologue-Géo informaticien, pour avoir accepté de faire diriger ce mémoire.

Nous remercions remercie Ms Ben Saada, et Ms Sadeuk pour voir accepté d'examiner ce travail et beaucoup plus pour ses conseils et ses orientations.

Nous remercions l'ingénieur Ms Boulafrag Oussama qui nous a beaucoup aidé et conseillé...

Notre reconnaissance et remerciements est aussi destinée à tous les enseignants du département pour avoir assuré la formation,



*A mes chères parents
Pour tout leurs sacrifices, leur
amour, leurs tendresse ,leurs soutien et
leurs prières tout au long de mes études
je tiens remercie mon promoteur
A mes chères sœurs pour leurs encouragements
Permanents et leurs soutien moral , A mes
chères frères pour leurs appui et leurs
Encouragements , A tout ma famille pour
Soutien tout au long de mon parcours
Universitaire
Que ce travail soit l'accomplissement de vos
Vœux tant allégués , et le fruit de votre soutien
Infaillible , merci d'être toujours là
Pour moi
Remercie spécialement pour mon binôme
Nadia durant tout notre cursus*

BELKHIRI ZINEB



Dédicaces

Je dédie ce travail

A ma très chère maman, et mon Cher père

*Qui m'ont aidé tout au long de mon
parcours scolaire depuis le primaire grâce à
eux et leur Fatigue et leur amour jusqu'à
mon arrivée à ce stade*

A mon promoteur Dr .Gharbí

A tous mes enseignants et mes collègues

A mes frères et mes sœurs

*A toute ma famille maternelle Mediani et
paternelle Abdelkrim*

*Et bien sûr à ma copine et mon binôme
Hanane*

ABDELKRIM NADIA

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو استخدام تحليل متعدد المعايير لتحليل و نمذجة المعايير الرئيسية التي تؤثر على التصميم الأمثل لشبكة لمراقبة مستويات المياه الجوفية. تم إجراء تحليل متعدد المعايير باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS^R). تم اختيار خزان خميس مليانة الغريني (الجزائر) كدراسة حالة. استند تعريف وأهمية المعايير (العوامل والمعوقات) التي تؤثر على تصميم شبكة المراقبة إلى المعلومات المتاحة والمشاورات مع الخبراء في هذا الموضوع. العوامل التي تم أخذها في الاعتبار هي: عمق المياه الجوفية ، تقلبات المياه الجوفية ، كثافة نقاط القياس ، التغذية الطبيعية للمياه الجوفية ، سمك الخزان الجوفي ، التدرج الهيدروليكي. تم استخدام عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) في ترجيح العوامل ، مما أدى إلى نسبة تناسق اقل من 0.1. ثم تم تطبيق طريقة التركيبة الخطية الموزونة (WLC) والتي نتج عنها خريطة تحدد مواقع المناطق ذات الأولوية المراد مراقبتها . تظهر النتائج أن 14٪ من منطقة الدراسة تتوافق مع مناطق مراقبة ذات أولوية عالية جدًا ، 22٪ لمناطق ذات أولوية عالية ، أخرى 1.8٪ إلى أولوية متوسطة ، 5.4٪ إلى أولوية منخفضة و 56.8٪ إلى مناطق المراقبة ذات الأولوية المنخفضة جدًا. يمكن استخدام الطريقة المقترحة من قبل الحكومة والمنظمات العامة والخاصة لتحديد استراتيجيات المراقبة التي تدعم إدارة الموارد المائية.

الكلمات المفتاحية:

نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS^R)، عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP)، شبكة مراقبة مستويات المياه الجوفية، تحليل متعدد المعايير، خزان خميس مليانة الغريني (الجزائر).

Résumé :

L'objectif de cette étude était d'utiliser l'analyse multicritère pour analyser et modéliser les principaux critères qui influencent la conception optimale d'un réseau pour surveiller les niveaux des eaux souterraines. L'analyse multicritère a été réalisée à l'aide d'un SIG (ArcGIS^R). L'aquifère alluvial de Khemis Miliana (Algérie) a été choisi comme étude de cas. La définition et l'importance des critères (facteurs et contraintes) qui influencent la conception du réseau de surveillance ont été fondées sur les informations disponibles et les consultations avec des experts du sujet. Les facteurs pris en compte étaient: 1-Profondeur des eaux souterraines, fluctuation des eaux souterraines, densité des points de mesure, recharge naturelle des eaux souterraines, épaisseur de l'aquifère, gradient hydraulique. L'analyse hiérarchique des procédés (AHP) a été utilisée pour pondérer les facteurs, ce qui a donné un rapport de cohérence de 0.1. La méthode de combinaison linéaire pondérée (WLC) a ensuite

été appliquée, ce qui a abouti à une carte identifiant les emplacements des zones prioritaires à surveiller. Les résultats montrent que 14% de la région d'étude correspond à des zones de suivi très prioritaires, 22% à des zones hautement prioritaires, et 1.8% à une priorité moyenne, 5.4% et 56.8 % à faible priorité et à des zones de surveillance de très faible priorité. La méthode proposée peut être utilisée par le gouvernement et les organisations publiques et privées pour déterminer des stratégies de surveillance qui soutiennent la gestion des ressources en eau.

Mot clés : GIS, l'analyse hiérarchique des procédés, réseau de surveillance, Khemis Miliana, eaux souterraines.

Abstract

The objective of this study was to use multicriteria analysis to analyze and model the main criteria that influence the optimal design of a network to monitor groundwater levels. The multicriteria analysis was performed using a GIS (ArcGIS). The Khemis Miliana Alluvial aquifer (Algeria) was chosen as the case study. The definition and importance of the criteria (factors and constraints) that influence the design of the monitoring network were based on available information and consultations with experts in the topic. The factors considered were: 1-Groundwater depth, fluctuation of groundwater, Density of the measuring points, natural groundwater recharge, the thickness of the aquifer, hydraulic gradient. The Analytical Hierarchy Process (AHP) was used to weight the factors, resulting in a consistency ratio less than 0.1. The weighted linear combination (WLC) method was then applied which resulted in a map identifying the locations of the priority areas to be monitored. The results show that 14 % of the study region corresponds to very high priority monitoring areas, 22% to high priority areas, another 1.8% to medium priority, 5.4% and 56.8 % to low priority and to very low priority monitoring areas. The proposed method can be used by government and public and private organizations to determine monitoring strategies that support water resources management.

Keywords: GIS, analytical hierarchy process. Groundwater monitoring network, Khemis Miliana. Groundwater.

Table des matières

Remerciments	
Dédicaces	
ملخص	
Résumé	
Abstract	
Table des matières	
Liste se tableaux	
Liste des figures	
Abréviation	
Introduction générale :	1
Aperçu bibliographique	
I Approche sur le réseau piézométrique et l'analyse multicritère :	5
I .1 Les principaux Intérêts de la piézométrie :	5
I .2 Choix des points de mesures :	6
I .3 Sélection du réseau piézométrique :	6
I.4 Les critères qui influencent la conception de réseaux de surveillance :	7
I.4 1-Baisse et augmentation des niveaux des eaux souterraines :	7
I .4 2- Fluctuation des eaux souterraines :	7
I .4 3-La recharge naturelle des eaux souterraines :	8
I .4 4-Densité des puits d'extraction :	8
I .4 5-Gradient hydraulique :	8
I .4 6-L'épaisseur de l'aquifère :	8
I .5 Densité des réseaux :	9
II Généralité sur l'analyse multicritère :	9
II .1 Approche sur la méthode AHP :	10
II .2 Principes fondamentaux de la méthode AHP:	11
II .3 Les étapes de la méthode AHP :	11
III L'ancien réseau piézométrique de la plaine de haut de Cheliff :	12
Présentation de la zone d'étude	
IV Présentation de la zone d'étude :	15
IV.1 Localisation et caractéristiques :	15
IV.2 La géologie de la zone d'étude :	16

IV.3 L'hydrogéologie de la zone d'étude :	17
IV.3.1 Description de l'aquifère :	17
IV. 3.2 Les principaux aquifères de la plaine de khemis Miliana :	18
IV .4 Le réseau hydrographique :	20
IV .5 Hydro climatologie :	20
IV.5.1 Précipitations moyennes mensuelles :	21
IV.5.2 Précipitations moyennes annuelles :	21
IV.5.3 Température :	22
IV .5.4 Le diagramme ombrothermique de Gaussen :	23
IV-6 Hydrogéochimie de la zone d'étude :	24
Matériels, méthodes et discussions	
V. matériels, méthodes et discussions	28
V.1. Les cartes des critères qui influencent sur le réseau de surveillance :	28
V.1.1. Carte des profondeurs d'eau souterraines :	28
V.1.2 Carte de la recharge naturelle des eaux souterraines :	30
V.1.3 Cartes de l'épaisseur des alluvions grossières :	31
V.1.4 Fluctuation des eaux souterraines :	33
V.1.5 Densité des puits d'extraction :	34
V.1.6- Gradient hydraulique vertical :	35
V.2. Standardisation des scores des critères (facteurs et contraintes) :	36
V.3 Processus de pondération :	37
V.4 Evaluation :	42
Conclusion	46
Référence bibliographique :	48

Liste se tableaux

Tableau 1 : Réseau hydrographique	20
Tableau 2 : Caractéristiques des stations pluviométriques	20
Tableau 3 : Les classes et leurs notes pour chaque critère (facteurs et contraintes) impliqués dans l'analyse multicritères.....	40
Tableau 4 : Le coefficient de pondération de chaque facteur et son poids	42
Tableau 5 : Catégories d'analyse multicritère	43

Liste des figures

Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude.....	15
Figure 2 : Carte géologique de la plaine du Haut Cheliff. (Perrodon, 1957).....	16
Figure 3 : Coupe géologique A-A' de la plaine du Haut Cheliff. (Perrodon, 1957), modifiée par (Bouderbala and Gharbi, 2017).....	18
Figure 4 : Log litho-stratigraphique et hydrogéologique de la plaine alluviale de Khemis Miliana	19
Figure 5 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (2000-2015).....	21
Figure 6 : Variation des précipitations annuelles (1984 - 2015).....	22
Figure 7 : Variation des précipitations annuelles (1984 - 2015).....	22
Figure 8 : Variation temporelle de température moyenne mensuelle (khemis et Harraza).....	23
Figure 9 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen, station de Khemis (1986 -2014).....	23
Figure 10 : Diagrammes de Piper, Année 2016.	25
Figure 11 : Carte de la répartition spatiale de la qualité des eaux souterraines dans l'aquifère alluvial de Khemis Miliana (Boudjenane, 2014)	26
Figure 12 : Répartition spatiale des profondeurs d'eau souterraines dans l'aquifère alluvial de la plaine de Khemis Miliana.....	29
Figure 13 : Répartition spatiale de la recharge nette en (mm/an) pour l'aquifère alluvial de la plaine Khemis Miliana	30
Figure 14 : Répartition spatiale de l'épaisseur en (m) de l'aquifère alluvial de la plaine de Khemis Miliana.....	32
Figure 15 : Répartition du taux de fluctuation moyen en (m) des eaux souterraines de l'aquifère alluvial de la plaine de Khemis Miliana.	34
Figure 16 : Répartition de la densité des points d'extraction des eaux souterraines pour l'aquifère alluvial de la plaine de Khemis Miliana	35
Figure 17 : Répartition des gradients hydraulique des eaux souterraines dans l'aquifère alluvial de la plaine de Khemis Miliana.....	36
Figure 18 : Cartes standardisées des facteurs impliqués dans la zone d'étude –maillage de 250m.....	41
Figure 19 : Carte des zones prioritaires pour la surveillance du niveau des eaux souterraines, une grille de 1000m /250m.....	43

Abréviation

ARNH : Agence National des Ressources Hydrauliques.

BE : Basses Eaux.

BRGM : Bureau des Recherches géologiques et Minières.

HE : Hautes Eaux.

SIG : Système d'Information Géographique.

IDW: Inverse Distance Weighting.

Introduction générale

Introduction générale :

Les eaux souterraines sont une ressource vitale pour un approvisionnement fiable et abordable en eau à usage humain dans les zones urbaines et rurales. Selon l'[UNESCO \(2009\)](#), les systèmes d'eaux souterraines fournissent 48,23% de l'eau potable dans le monde. Aujourd'hui, la moitié des villes du monde et des centaines de petites villes sur tous les continents dépendent des eaux souterraines. C'est donc une ressource stratégique et, par conséquent, les calculs actuels et futurs de la disponibilité des eaux souterraines, leur contrôle permanent, efficace et continu sont nécessaires à tout moment pour planifier, développer et gérer adéquatement ces ressources en eau souterraine. Compte tenu de ces circonstances, un programme de surveillance des eaux souterraines peut fournir les données nécessaires pour prendre des décisions. le processus de gestion des ressources en eaux souterraines ([Baalousha 2010](#)). Un tel programme de surveillance pourrait également contribuer à la protection des eaux souterraines car il permettrait d'évaluer les processus de pollution et les problèmes de surexploitation des aquifères. [Tuinhof et coll. \(2002\)](#) indiquent qu'un réseau de surveillance est normalement composé d'un ensemble de puits d'observation couplés à un nombre déterminé de puits d'extraction. De plus, un programme de surveillance des eaux souterraines comprend un réseau quantitatif (niveau des eaux souterraines et taux de recharge) ainsi qu'un réseau qualité (analyse des variables physico-chimiques). Ces réseaux doivent être optimisés en fonction des besoins actuels et futurs ainsi que des ressources économiques disponibles. Leur conception, leur mise en œuvre et leur optimisation doivent prendre en compte des facteurs tels que: la géologie, les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère, les points de pollution, la vulnérabilité de l'aquifère, l'emplacement des puits, les régimes de pompage des puits, l'accessibilité des points de surveillance, les conditions d'exploitation et de maintenance, la fréquence du suivi ainsi que les coûts financiers ([Preziosi et al.2013](#); [Mogheir et al.2009](#); [Díaz-Viera 2008](#); [Molerio et al.2002](#)). Il convient également de noter que nombre de ces critères sont dynamiques (évoluent dans le temps) et, par conséquent, le fonctionnement des réseaux de surveillance doit être optimisé à chaque fois. Puisqu'il peut être compliqué d'inclure des informations sur ces divers critères dans la conception optimale des réseaux de surveillance, des outils tels que les systèmes d'information géographique (SIG) peuvent être utiles et aider à faciliter le processus d'évaluation. Ils peuvent également servir à mettre en œuvre une analyse multicritère ([Uddameri et Andruss 2013](#); [Eastman 2012](#); [Cano-Casas et Escobar-Martínez 2011](#); [Weng 2005](#)).

L'analyse multicritère (AMCH) est une méthode utilisée pour évaluer plusieurs critères définis pour un objectif spécifique, dont les résultats permettent de prendre des décisions (Saaty 1990). L'objectif de cette méthode est de combiner les informations de plusieurs critères pour créer un seul indice d'évaluation. Cette analyse multicritères a été appliquée à la gestion des ressources en eau comme un outil d'aide à la décision dans les cas où plusieurs alternatives ou possibilités existent (Van Gauwenberg et coll. 2008; Hajkowicz et Collins 2007; Cai et coll. 2004; Foukh 2001; Reitsma 1996). Ainsi, pour les études de cas dans lesquelles les eaux souterraines jouent un rôle principal, cette méthode a été utilisée pour: sélectionner les critères à utiliser pour désigner les bassins versants appropriés pour les aquifères (Hanich et al. 2008); établir les systèmes de culture les plus productifs compte tenu des coûts de pompage des eaux souterraines, de la diminution du niveau des eaux souterraines et de la pollution (Salazar et al. 2005); déterminer la meilleure option pour construire une conduite compte tenu de la nécessité de protéger les eaux souterraines (Eliasson et al. 2003); évaluer les stratégies de gestion de l'eau pour un bassin versant (Srdjevic et al. 2002); calculer les besoins actuels et futurs en eau pour la consommation humaine (Rao 2005); soutenir la prise de décision afin de satisfaire les nouvelles demandes en eau au niveau local (Cabrera et al. 2011); et évaluer les facteurs qui permettent d'élaborer une carte de la demande potentielle en eau (Panagopoulos et al. 2012); entre autres. L'analyse multicritère comprend différentes méthodes, telles que: analyse d'ensembles flous, programmation de compromis (CP), processus de hiérarchie analytique ou Procédure hiérarchique d'analyse (AHP), ELECTRE I, II, III, IV et TRI, PROMETHEE I, II, V, théorie de l'utilité multi-attributs (MAUT), analyse Q multicritères (MCQA, I, II et III), EXPROM, MACBETH, sommation pondérée et TOPSIS, entre autres (Hajkowicz et Collins 2007). L'AHP se distingue parmi ces méthodes comme l'une des techniques les plus importantes de l'analyse multicritère (Marinoni 2004). C'est l'une des méthodes les plus couramment utilisées dans la gestion des ressources en eau car elle permet de classer les divers critères considérés et de les pondérer en fonction de leur importance. Développé par Saaty (1990), AHP est un outil mathématique utilisé pour construire un modèle hiérarchique qui représente le problème à étudier en proposant initialement des critères et des alternatives, puis en déduisant quelles sont les meilleures alternatives et en prenant une décision.

Les méthodes utilisées pour concevoir les réseaux de surveillance sont classées comme suit (ASCE 2003):

- i) Celles basées sur des règles dans lesquelles l'expérience personnelle d'un expert en hydrogéologie est combinée avec des méthodes statistiques;
- ii) des statistiques qui incluent des comparaisons statistiques, la détection des tendances et des méthodes géostatistiques impliquant la variance, l'évaluation du semi-variogramme, la théorie des variables régionalisées, etc.
- iii) les techniques
- iv) probabilistes qui impliquent l'application de méthodes telles que le filtre de Kalman, la méthode hiérarchique et les méthodes de simulation probabiliste; et
- v) méthodes d'optimisation mathématique. Certaines de ces méthodes incluent également l'utilisation de modèles mathématiques de flux et de transport.

Des exemples de ces différentes techniques peuvent être trouvés dans [Júnez-Ferreira et Herrera \(2013\)](#); [Dhar et Patil \(2012\)](#); [Briseño-Ruiz et coll. \(2011\)](#); [Zhang et coll. \(2005\)](#) et [Wu \(2004\)](#). Ces méthodes, et en particulier celles qui sont statistiques, probabilistes et impliquent une optimisation, se sont avérées efficaces même si elles sont limitées par le besoin de connaissances approfondies (grande quantité de données) sur l'aquifère et personnel ayant les connaissances nécessaires pour les mettre en œuvre ([ASCE 2003](#)). Aucune référence n'a été trouvée dans la revue de la littérature scientifique sur l'utilisation de l'AHP dans la conception des réseaux de surveillance, et celles qui ont été trouvées, comme [Preziosi et al. \(2013\)](#), utilisent des SIG et des méthodes (GRID + PDA) pour définir des réseaux de surveillance de la qualité des eaux souterraines.

Compte tenu de la nécessité d'avoir des connaissances de plus en plus approfondies sur les ressources en eaux souterraines appuyées par les informations obtenues à partir des programmes de surveillance, ainsi que de disposer d'une méthode facile à mettre en œuvre pour concevoir les réseaux, l'objectif de cette étude était de: **i)** identifier les critères qui influencent la conception d'un réseau de surveillance et **ii)** sur la base d'une étude de cas (aquifère de la plaine alluviale de Khemis Miliana), développer une méthode pour la conception optimale des réseaux d'eaux souterraines pour surveiller les niveaux des eaux souterraines, en utilisant un SIG pour l'analyse multicritère.

Aperçu bibliographique

I Approche sur le réseau piézométrique et l'analyse multicritère :

Les systèmes d'eau souterraine sont dynamiques et s'adaptent continuellement aux changements du climat à court et à long terme climat, au prélèvement des eaux souterraines et à l'utilisation des terres. Les mesures du niveau d'eau des points d'observation sont la principale source d'information sur les contraintes hydrologiques agissant sur les aquifères. Ce système est affecté par des stress lié à la recharge des eaux souterraines, stockage et déchargement. À long terme, systématiquement, les mesures des niveaux d'eau fournissent des données essentielles nécessaires pour évaluer les changements de la ressource sur l'échelle du temps et de l'espace, pour développer des modèles de tendances et de prévisions des eaux souterraines, pour concevoir, mettre en œuvre et surveiller les fluctuations de la gestion des eaux souterraines et programmes de protection (Taylor,2002)

Les piézomètres sont essentiellement des tubes de support qui sont insérés dans la zone saturée au niveau ou en dessous de la nappe. Contrairement aux eaux d'un cours d'eau, les eaux souterraines présentent la particularité qu'elles ne se voient pas. Pourtant elles circulent dans le sous-sol entre les grains de la matrice rocheuse ou dans les fissures, à des vitesses plus ou moins petites. Les puits, les forages, les sources permettent de donner une image de ces circulations.

Afin de connaître l'état de la ressource en eau en termes de quantité, il est indispensable de surveiller la profondeur de la surface des nappes (niveau piézométrique), elle peut être mesurée :

Ponctuellement : par une sonde manuelle : la sonde est accrochée à un ruban métré, que l'on descend dans l'ouvrage. Lorsque la sonde atteint l'eau, un contact électrique se fait déclenchant une sonnerie et/ou un voyant lumineux. La lecture du ruban renseigne sur la profondeur de l'eau.

Régulièrement : à l'aide d'enregistreur automatique, avec données télétransmises, les mesures sont réalisées dans des forages, puits ou piézomètres.

I .1 Les principaux Intérêts de la piézométrie :

- Définir le sens de l'écoulement souterrain
- Estimer le débit d'une nappe
- Evaluer la capacité d'un aquifère (réserves d'eau)

- Evaluer la recharge naturelle (fluctuations de la surface piézométrique), régime d'alimentation de l'aquifère
- Explorer, apprécier les caractéristiques d'une nappe sur un territoire (propriétés hydrodynamiques, limites de l'aquifère, études géotechniques avant réalisation d'un ouvrage...)
- Surveiller une nappe exploitée (durabilité de l'exploitation)
- Etudier les relations de la nappe avec la surface (recharge, décharge) ([Lise Ponchant, Sylvain Massuel,2015](#))

I .2 Choix des points de mesures :

Mesures ponctuelles : 1 piézomètre comme point d'accès à la nappe (puits, forage) permettant le suivi périodique de cette nappe

– Suivi temporel en général

– Observer l'influence d'un point sur un autre (ex : essai de pompage, pollutions...)

Mesures en réseau : de piézomètres (réseau piézométrique) pour le suivi périodique du niveau de l'eau des nappes souterraines

- Suivi spatialisé et vue d'ensemble
- Localisation (horizontalement et verticalement) et nombre de piézomètres :
- représentativité du territoire – de la nappe :
- surface, géologie, topographie, réseau hydrographique
- dynamique (à l'échelle de la réponse hydrogéologique)
- quel(s) aquifère(s) observé(s) – suivi(s)
- objectifs du réseau (scientifique, opérationnel....) ([Lise Ponchant, Sylvain Massuel,2015](#))

I .3 Sélection du réseau piézométrique :

Tous les programmes de surveillance du niveau d'eau dépendent de l'exploitation d'un réseau de puits d'observation - des puits sélectionnés expressément pour la collecte de données sur le niveau d'eau dans un ou plusieurs aquifères spécifiés. Les décisions prises concernant le nombre et le positionnement géographique des puits d'observation sont cruciales pour tout programme de collecte de données sur le niveau de l'eau.

Idéalement, les points de mesure choisis pour un réseau de puits d'observation fourniront des données représentatives de divers environnements topographiques, géologiques, climatiques et d'utilisation des terres. Les décisions concernant la distribution surfacique et la profondeur d'achèvement des puits d'observation devraient également tenir compte des limites physiques et de la complexité géologique des aquifères à l'étude. Les programmes de surveillance du niveau d'eau pour les systèmes aquifères complexes et multicouches peuvent nécessiter des mesures dans des puits réalisés à plusieurs profondeurs dans différentes unités géologiques. Les données obtenues à partir des programmes de points d'observation sont utilisées pour déterminer (1) l'effet des prélèvements sur les conditions de recharge et de décharge, (2) les caractéristiques hydrauliques des systèmes d'eau souterraine, et (3) l'étendue et le degré de confinement des aquifères. (McCobb and Weiskel 2003)

I.4 Les critères qui influencent la conception de réseaux de surveillance :

I.4.1-Baisse et augmentation des niveaux des eaux souterraines :

Ceci est calculé sur la base des profondeurs des niveaux d'eau souterraine enregistrés pendant des années, Ce facteur représente les changements dans la dynamique de l'aquifère qui se produisent principalement résultat de l'exploitation intensive de l'aquifère et permet de définir des cônes de rabattement s'étendant sur des centaines de mètres, et parfois de kilomètres.

I .4 2- Fluctuation des eaux souterraines :

Les réservoirs d'eau souterraines que constituent les aquifères sont caractérisés par leur capacité d'accumulation (quantifiée par le coefficient d'emmagasinement) et la vitesse de circulation des eaux caractérisée par la perméabilité de la roche. Cette caractérisation assure la pérennité de la plupart des nappes d'eau souterraine et la régularité des écoulements de leurs émergences (sources, débits de base des rivières...). En revanche, l'alimentation des nappes est en générale irrégulière et discontinue. En particulier, dans le cas des nappes libres alimentées pour l'essentiel par l'infiltration des pluies.

Ainsi, les variations du stock d'eau des aquifères amortissent les écarts entre alimentation et émergences. Ces variations de la réserve en eau souterraine se manifestent par des fluctuations des niveaux, observables dans les forages et les piézomètres au cours de l'année. L'analyse des fluctuations des niveaux piézométriques annuelles et saisonnières permet de déterminer des cycles de recharge et de vidange de la nappe. (BRGM)

I .4 3-La recharge naturelle des eaux souterraines :

La recharge correspond à la quantité d'eau qui arrive à la nappe et qui forme un ajout au réservoir d'eau souterraine (De Vries and Simmers 2002, Scanlon, Healy et al. 2002). On distingue la recharge directe, qui provient des précipitations et de l'irrigations et qui se produit sur de grandes étendues spatiales, de la recharge indirecte plus locale qui se fait à partir de la surface topographique par des rivières ou des lacs ou encore à partir du ruissellement de surface (infiltration des eaux de ruissellement venant du bassin plus en amont (Huet 2015). Pratiquement toutes ces sources, est d'origine météorique (Balek 1988). Parmi les facteurs connus qui influent sur la recharge naturelle des nappes : climat, géologie, topographie, hydrologie, végétation et utilisation des terres. (Healy 2010).

I .4 4-Densité des puits d'extraction :

Ce critère est défini comme le nombre de puits par unité de surface. Ce facteur est choisi en raison de la nécessité de surveiller les zones à forte densité de puits car ces zones peuvent présenter des phénomènes synergiques et une exploitation plus intense, cette dernière influe d'une façon directe sur la quantité d'eau souterraine.

I .4 5-Gradient hydraulique :

Le gradient hydraulique est représenté la différence de niveaux piézométrique entre deux points. Indique la direction et l'intensité de l'écoulement (l'eau s'écoule des charges les plus élevées vers les charges les plus faibles). Une zone à gradient hydraulique vertical est l'un des éléments les plus importants pour identifier la sensibilité des régions aux polluants passant de la surface du sol au la partie la plus productive de l'aquifère (Cherry et al. 2004). Il est également essentiel de comprendre quelles zones sont les plus intensément exploitées et comment le gradient vertical se comporte dans ces domaines. (Esquivel, 2015)

I .4 6-L'épaisseur de l'aquifère :

La productivité d'un captage dans un aquifère, soit le débit que peut capter un forage ou un puits, est fonction de son coefficient de perméabilité (k en m/s) et de son épaisseur mouillée (e). Ce dernier paramètre est très important pour l'exploitation des eaux souterraine, il représente la capacité d'un aquifère à mobiliser l'eau qu'il contient, de cet effet, la connaissance de la répartition spatiale de l'épaisseur d'un aquifère sera primordiale dans les études des ressources en eau souterraine. Il est logiquement explicable qu'une connaissance de zonalité d'épaisseur et prise en compte lors de l'exploitation des eaux souterraines, les

zones avec des épaisseurs moins épaisses présentent un certain risque de rabattement et réciproquement pour une augmentation d'épaisseur.

I .5 Densité des réseaux :

La densité du réseau doit non seulement dépendre du type d'aquifère mais aussi de l'importance des pressions qui s'exercent sur les eaux souterraines. Autrement dit, selon la nature des objectifs visés et selon l'importance des pressions qui s'y exercent, la densité sera nécessairement variable. Le choix et le positionnement des sites devront d'avantage dépendre des conditions hydrogéologiques.

Il est toutefois demandé de s'assurer que les points ainsi sélectionnés sont suffisamment nombreux par rapport aux dimensions des systèmes hydrogéologiques. Il faut donc vérifier que la densité de points ainsi obtenue est supérieure ou égale à la densité minimale recommandée. Quelques experts proposent une approche purement géométrique, basée sur l'utilisation d'un maillage permettant d'atteindre une densité de 1pt/maillage de 25 km² (grilles flottantes à maille carrée). (Medd 2003).

Pour l'analyse du réseau piézométrique, il faut adopter une approche multicritère, la définition et la détermination d'un certain nombre d'indicateurs devant permettre de classer les nappes selon la qualité des réseaux existants et la nécessité de consolider certains de ces réseaux. Une première étape va porter sur la définition d'indicateurs adéquats. Une seconde étape consiste à affecter un poids à chacun des indicateurs choisis, de façon à pouvoir, par combinaison linéaire d'indicateurs, attribuer un niveau global de qualité à chaque système aquifère. L'étape suivante consiste à sélectionner les nappes disposant de réseaux de meilleure qualité et à les distinguer de celles nécessitant une consolidation de leur réseau piézométrique. On tentera enfin de dégager les systèmes pour lesquels l'action de renforcement du réseau piézométrique paraît présenter la plus haute priorité.(Horriche, 2006)

II Généralité sur l'analyse multicritère :

L'analyse multicritères permet d'effectuer un choix entre plusieurs solutions en décomposant une grille d'analyse en plusieurs critères chacun pondéré d'un coefficient (poids relatif). Il s'agit donc d'un outil d'aide à la décision. On commence par identifier quels sont les critères sur lesquels seront basés l'analyse, puis on effectue à chaque critère un coefficient selon son importance relative. Chaque solution envisagée est ensuite comparée en utilisant

cette grille d'analyse multicritères. En face de chaque critère retenu, on donne une note aux différentes solutions.

Cette note est ensuite pondérée en fonction du coefficient affecté au critère. A la fin des notations, une simple somme de l'ensemble des critères permet de connaître la meilleure solution. La pondération des critères est donc prépondérante dans cette méthode, elle influe directement sur la qualité du choix effectué. Plusieurs exemples d'application en hydrogéologie ont été étudiés, nous citons : choix d'un site d'aménagement, cartographie de la zonalité hydrochimique, zonalité de potentialité, choix de l'utilisation d'une technologie paramétrique ou d'un système d'information (Lehoux, 2004 ; Nadia L., 2004). Parmi les méthodes citées dans la littérature : **WSM** (Weight Sum Method), **WPM** (Weight Product Method), **AHP** (Analytic Hierarchy Process), **ELECTRE** (Outranking method), **PROMETHEE** (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations), **TOPSIS** (Technic for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) (Nadia Lehoux, Pascale Vallée 2004). Pour l'application de ces méthodes, une démarche doit être respectivement suivie : Recherche de la solution la plus adéquate possible en 5 étapes: Identifier l'objectif global de la démarche et le type de décision, – Dresser la liste des solutions possibles ou envisageables, – Dresser la liste des critères à prendre en considération, – Juger chacune des solutions aux en tenant compte des critères, – Agréger ces jugements pour désigner la solution qui obtient les meilleures évaluations (Nadia Lehoux, Pascale Vallée 2004)

II.1 Approche sur la méthode AHP :

De nombreuses méthodes d'aide multicritère à la décision existent ; leur objectif est d'aider les acteurs de la décision à formaliser un problème, expliciter le contexte de décision avant de procéder à l'évaluation et la comparaison des solutions. La méthode d'agrégation totale AHP (**analyse multicritère hiérarchique**) (Saaty, 1980) présentée dans ce mémoire, compte parmi les plus simples à mettre en œuvre, Elle permet de calculer une note synthétique (valeur comprise entre 0 et 1) agrégée sur la base d'une hiérarchisation et d'une pondération de l'ensemble des critères entrant en compte dans la décision.

La méthode AHP est l'une des plus techniques importantes d'analyse multicritère (Marinoni 2004). C'est l'une des méthodes les plus couramment utilisées dans la gestion des ressources en eau car elle permet de classer les divers critères (Esquivel et al) considérés et

pondérés en fonction de leur importance. Développé par Saaty (1990). Elle repose sur la comparaison de paires d'options et de critères.

II .2 Principes fondamentaux de la méthode AHP:

1. Structuration hiérarchique (classes - critères - poids)
2. Structuration des priorités (sous critères - rangs)
3. Cohérence logique
4. Méthode semi-quantitative

Cette méthode multicritère d'aide à la décision intégrant plusieurs critères et arrivant à un choix justifié de technologie, la décision est alors dite rationnelle, systématique et correctement prise. (Gaëlle G ,2011), parmi les avantages de cette méthode :

- Sa capacité de structurer un problème complexe, multicritère, multi personne et multi période de façon hiérarchique,
- La comparaison binaire des éléments (alternatives, critères et sous critères),
- Et la facilité de son support informatique.

II .3 Les étapes de la méthode AHP :

- **Étape 1** : Décomposer le problème complexe en une structure hiérarchique
- **Étape 2** : Effectuer les combinaisons binaires

Les valeurs de cette méthode sont déterminées à l'aide de l'échelle suivante :

Appréciation	degré d'importance
Importance égale de deux éléments	1
Faible importance d'un élément par rapport à un autre	3
Importance moyenne d'un élément par rapport à un autre	4
Importance forte d'un élément par rapport à un autre	5
Importance attestée d'un élément par rapport à un autre	7
Importance absolue d'un élément par rapport à un autre	9

– **Étape 3** : Déterminer les priorités ,– Calculer l'importance relative de chacun des éléments de la hiérarchie à partir des évaluations obtenues à l'étape précédente ,– La détermination des priorités des éléments de chaque matrice se fait par la résolution du problème de vecteurs propre ,– L'importance relative des différents critères est exprimée par les valeurs du vecteur propre normalisé à 1.0 ,– Plus cette valeur est grande, plus le critère correspondant est important. (Niveau 0 c'est le but, niveau 1 c'est les critères et le niveau 2 c'est les alternatives).

– **Étape 4** : Synthétiser les priorités : – Une fois que les priorités locales pour tous les critères figurant dans la hiérarchie ont été déterminés, AHP calcule un score d'évaluation global attaché à chacune des solutions alternatives identifiées., – On obtient alors un vecteur $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ qui indique l'impact du critère i sur chacune des alternatives.

– **Étape 5** : Cohérence des jugements

III L'ancien réseau piézométrique de la plaine de haut de Cheliff :

A partir des résultats des relevés piézométriques de réseau de surveillance de l'ANRH (puits, forages et piézomètres...), depuis 1988, on compte 29 points d'eau qui ont été recensés pour les deux campagnes piézométriques des hautes et basses eaux respectivement. Le nombre de points se modifie et ne se répètent pas durant les deux campagnes de basses et hautes eaux à cause de la situation des ouvrages (puits ou piézomètres fermés, détériorés, à

sec, remblayés, mesure impossible, etc...). Il s'est avéré que le réseau piézométrique actuel est très insuffisant et irrégulier du point de vue répartition spatiale inadéquate avec la superficie des alluvions grossière, principal aquifère de la région d'étude.

Présentation de la zone d'étude

IV Présentation de la zone d'étude :

IV.1 Localisation et caractéristiques :

La plaine de Khemis Miliana appartient aux sous bassins du Haut Cheliff n°: 01-15, 16 et 17, Comme le montre la **Fig. 1**, elle couvre une superficie de 359 Km² et un périmètre de 159 Km, caractérisée par une altitude moyenne de 270 m. Elle constitue l'un des plus grands réservoirs d'eau souterraine de la région. Elle est située entre les latitudes (36°18' - 36°6') N et les longitudes (2°-2°27') E, limitée au Nord par le massif du Zaccar (1576 m), et au Sud par les premiers reliefs de l'Ouarsenis, on y pénètre l'Est par le seuil de Djendel, et on en sort l'Ouest par le seuil de Doui (Meziani and Bong, 2013).

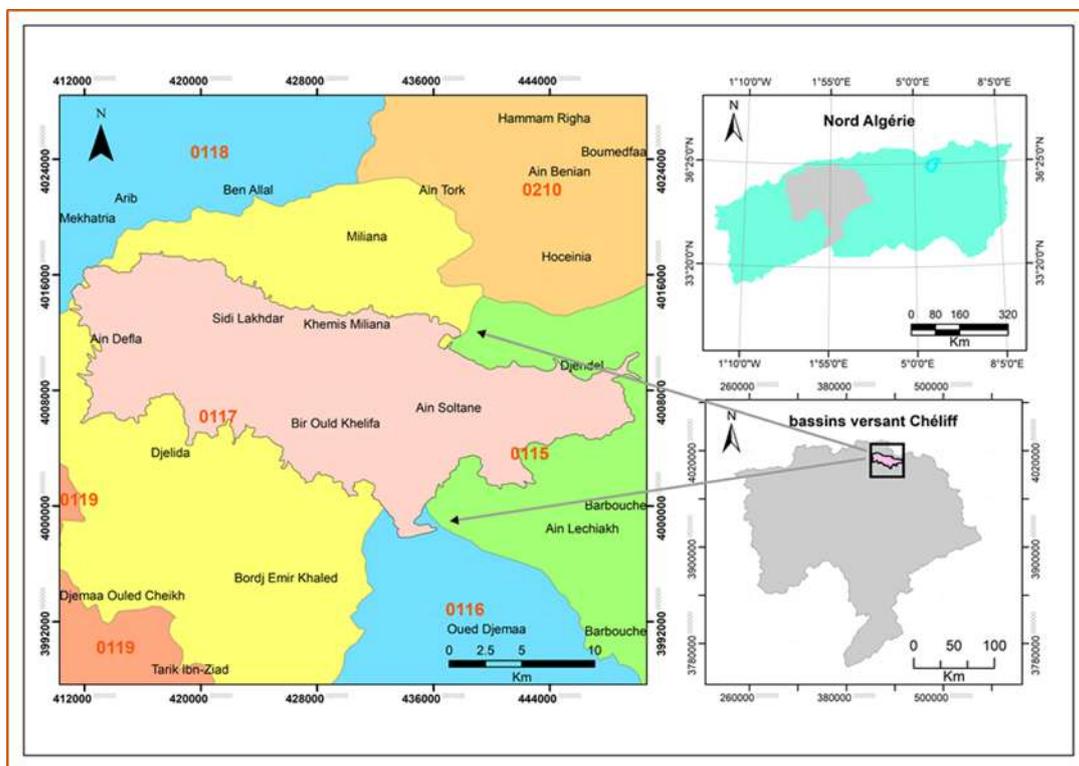


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude

La zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride méditerranéen, avec un été chaud et sec et un hiver froid et pluvieux. La température moyenne annuelle et les précipitations sont de 19 °C et 390 mm, respectivement (1980-2014).

Le réseau hydrographique dans la zone d'étude est dense et le cours d'eau le plus important est l'oued Cheliff. Dans la zone d'étude, il y a trois barrages : Ghrib, Harreza et Deurdeur; ceux-ci contribuent à l'irrigation de la majeure partie de la plaine avec plus de 20.000 ha de terres irriguées. Cependant, les eaux souterraines d'aquifère alluvial de la plaine sont principalement

utilisées à des fins de consommation, d'irrigation et industrielles (Bouderbala and Gharbi, 2017).

IV.2 La géologie de la zone d'étude :

La plaine de haut Chélif forme un synclinal d'orientation ouest-est dans l'Atlas Tellien. La succession stratigraphique dans la zone d'étude des formations plus anciennes aux formations récentes est la suivante (Perrodon, 1957, Mattauer, 1958, Meghraoui, 1982, Bouderbala and Gharbi, 2017), voir la **Fig. 2** :

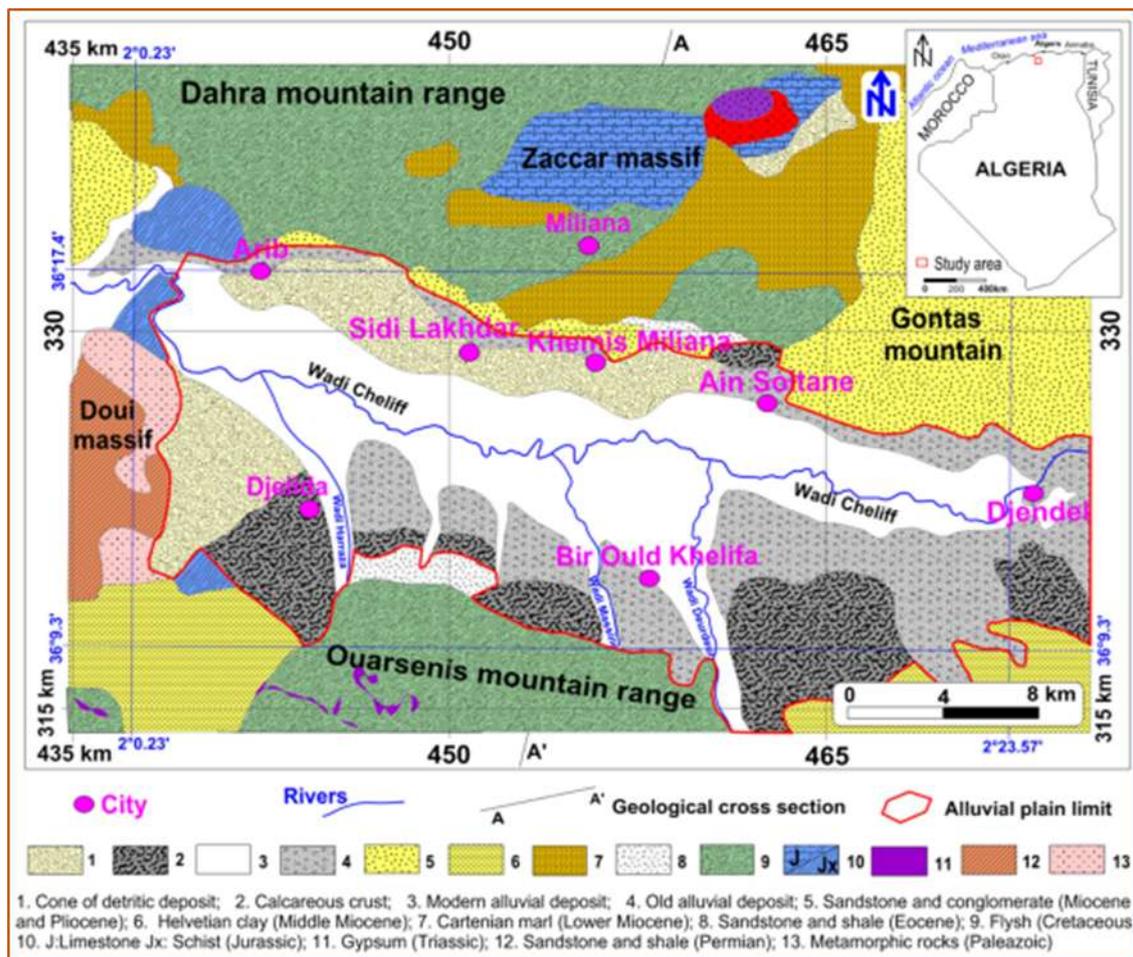


Figure 2: Carte géologique de la plaine du Haut Cheliff. (Perrodon, 1957)

Le primaire est observé dans le massif de Zaccar et de Doui, et il est formé par l'alternance de schiste noir, d'argile et de quartzite. Il est surmonté par le Trias qui se caractérise par des formations massives de gypse et de dolomite, observées dans le Montagne Ouarsenis. Le Jurassique du massif du Zaccar est représenté par le calcaire, la dolomite et d'autres roches carbonatées. Cependant, les formations jurassiques du massif de Doui sont principalement constituées de calcaire dolomitique. L'épaisseur de Jurassique peut atteindre 1000 m. Les

affleurements crétacés sont observés sur les bords latéraux de la plaine, et ils sont principalement représentés par une haute série de schistes néocomiens d'une épaisseur d'environ 1000 m et un schiste gris alternant avec des bancs de quartzite d'Albain-Aptien, d'une épaisseur proche de 1000 m, et il est suivi par le calcaire jaunâtre du Sénonien. La formation miocène de 300 m d'épaisseur commence par le Miocène inférieur qui est essentiellement formé de marne bleue et d'argile, suivi du Miocène moyen représenté principalement par l'argile, le marne et quelques passages de grès et de conglomérats. Le Mio-Pliocène est formé principalement de calcaire, de grès, de conglomérat et d'argile; On l'observe surtout dans le montagne Gontas, avec une épaisseur d'environ 100 m.

Les formations quaternaires sont principalement représentées par les anciens dépôts alluvionnaires formés de conglomérat et de galets. La croûte calcaire est formée par le tuf calcaire blanchâtre, compact ou pulvérulent ; il est spécialement développé dans la limite sud de la plaine. Les cônes de dépression alluviaux sont développés sur les pentes dans la limite de la plaine. Les dépôts alluviaux récents sont formés de galets, de gravier, d'argile et de limon recouverts d'un sol organique.

IV.3 L'hydrogéologie de la zone d'étude :

IV.3.1 Description de l'aquifère :

L'aquifère principal de la plaine du Haut-Cheliff est formé de dépôts alluvionnaires, y compris des formations de galets, de gravier, de sable et d'argile, dont l'épaisseur peut atteindre 150 m. C'est un aquifère localement confiné, car il est recouvert de limon et d'argile en surface, de 5 à 20 m d'épaisseur au centre de la plaine. Nord-Est du mont Gontas et au Sud-Est de la ville de Djendel. Dans cette zone, plusieurs puits et forages ont été forés et ont montrés une bonne qualité des eaux souterraines et qui peuvent atteindre 200 m de profondeurs (Bouderbala, 2017).

Le système aquifère dans cette plaine peut être considéré comme des systèmes aquifères multicouches. La continuité hydraulique entre l'aquifère alluvial et l'aquifère du Mio-Pliocène n'existe que dans les limites de la plaine où il y a un contact entre les deux aquifères sans couche imperméable entre eux ; Cependant, au centre de la plaine, il y a une couche d'argile épaisse entre les deux aquifères. . Nous notons ici que nous nous intéressons uniquement à l'aquifère alluvial quaternaire (*Fig. 3*).

Les eaux souterraines de cet aquifère alluvial s'écoulent vers le centre de la plaine où se situe l'axe de drainage principal, qui coïncide avec l'oued Cheliff, avec un écoulement principal d'est en ouest. La profondeur de la nappe phréatique varie de 5 m dans la zone ouest (près des villes de Djelida et Arib) à 30 m dans la zone est (près de la ville de Djendel), tandis que dans la partie centrale de la plaine la profondeur des nappes phréatiques est d'environ 10 m (Bouderbala and Gharbi, 2017).

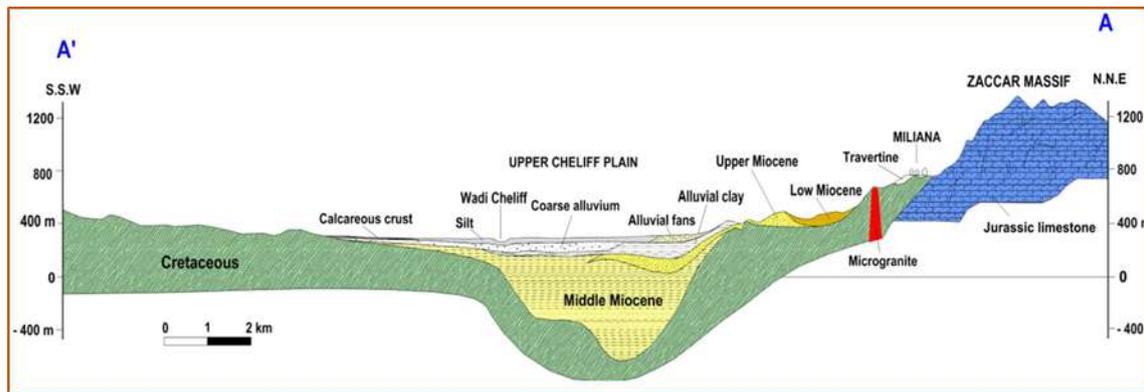


Figure 3: Coupe géologique A-A' de la plaine du Haut Cheliff. (Perrodon, 1957), modifiée par (Bouderbala and Gharbi, 2017).

IV. 3.2 Les principaux aquifères de la plaine de khemis Miliana :

Les alluvions de quaternaires : c'est l'aquifère le plus important et le plus exploité dans toute la plaine du haut Cheliff. A partir des descriptions de la lithologie des forages, cette nappe formée par plus de 20% des sables et graviers ou des grés.

Les grés mio-pliocènes : Ils sont observés à l'Est de la plaine sur Djebel Gantas, les grés pliocènes peuvent atteindre 200m d'épaisseur au Nord, en rive gauche ils sont inexistantes puisque les alluvions quaternaires sont discordantes sur le Miocène marneux (Mattauer, 1958).

Les calcaires de jurassiques : C'est une formation fracturée et karstifiée, ce qui est très important pour le stockage des eaux souterraines. Formée des schistes, quartzites et argiles de paléozoïque.

Le système aquifère dans cette plaine peut être considéré comme des systèmes aquifères multicouches. La continuité hydraulique entre l'aquifère alluvial et l'aquifère du Mio-Pliocène n'existe que dans les limites de la plaine où il y a un contact entre les deux aquifères sans couche imperméable entre eux ; Cependant, au centre de la plaine, il y a une

couche d'argile épaisse entre les deux aquifères. Nous notons ici que nous intéressons uniquement à l'aquifère alluvial quaternaire (Bouderbala and Gharbi 2017), voir la Fig.4.

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
100		Argiles	Pliocène	Mio-Plio-Quaternaire	Imperméable
100		Grès et conglomérats			Perméable
100		Grès et poudingues			Perméable
200		Argiles	Miocène supérieur (Vindobonien)	Miocène	Imperméable
		Grès et poudingues			Perméable
?		Calcaires			Perméable
300		Marnes	Miocène inférieur (Burdigalien)	Miocène	Imperméable
1000		Grès et poudingues			Perméable
20		Calcaires	Eocène	CENOZOIQUE (Mio-Plio-Quaternaire)	Perméable
?		Grès et quartzitiques Argiles et schistes			Perméable
?		Marnes et calcaires marneux	Sénonien		Imperméable
20a60		Calcaires et marnes calcaire	Cénomanien		Imperméable
1000		Schistes et bancs de quartzites	Albien	Crétacé	Imperméable
800 à 1000		Argiles schisteuses	Néocomien		Imperméable
1000		Calcaires	Jurassique	MEZOZOIQUE	Perméable
?		Gypse et argiles	Trias		Semi-perméable
500		Schistes et quartzites	Permo-Trias		Imperméable

Figure 4: Log litho-stratigraphique et hydrogéologique de la plaine alluviale de Khemis Miliana

Les eaux souterraines de cet aquifère alluvial s'écoulent vers le centre de la plaine où se situe l'axe de drainage principal, qui coïncide avec l'oued Cheliff, avec un écoulement principal d'est en ouest. La profondeur de la nappe phréatique varie de 5m dans la zone ouest (près des villes de Djelida et Arib) à 30 m dans la zone est (près de la ville de Djendel), tandis

que dans la partie centrale de la plaine la profondeur des nappes phréatiques est d'environ 10m (Bouderbala and Gharbi 2017).

IV .4 Le réseau hydrographique :

L'oued de Chélif occupe le fond de la vallée laquelle il s'écoule d'Est vers l'ouest. Il est alimenté surtout par les précipitations. Les affluents d'oued Cheliff sont :

Tableau 1 : Réseau hydrographique

Cours d'eau (Les Oueds)	Longueur(m)	Direction d'écoulement
Souffay	4305.85	Nord Nord Est-Sud Sud Ouest
Deurdeur	5171	Sud Sud Ouest-Nord Nord Est
Boutane	30897	Est – Ouest
Harreza	10273	Sud Est-Nord Ouest
Massine	6424	Sud Sud Est-Nord Nord Ouest

IV .5 Hydro climatologie :

L'étude climatologique, est très importante pour la connaissance des caractéristiques hydro climatologiques, elle est indispensable, pour évaluer l'alimentation des ressources hydriques et des réserves souterraines (Bouazza et al., 2002).

Tableau 2: Caractéristiques des stations pluviométriques

Station	Code	Coordonnées en UTM		
		X (m)	Y(m)	Z (m)
Ain Sultan	11512	437142,94	4010312,5	295
Djened Ben oudah	11514	448553,58	4008887,37	336
Arib Chélif	11702	412561,16	4016440,25	230
Sidi Lakhedar	11711	425052,56	4013500,5	250
Ababsa	11715	414166,16	4002034,5	317
khemis ANRH	11717	431848,16	4012029,25	285
Barrage de Harraza	11718	428376,88	4005240,25	312
Ain Defla	11804	407652,56	4013805	270
Sidi Mokrif	11606	436173,91	4013805	540

IV.5.1 Précipitations moyennes mensuelles :

A partir de l'analyse des précipitations moyennes mensuelles observées dans les différentes stations pluviométriques existant dans la plaine durant la période (2000-2015) nous constatons deux saisons :

- Une saison pluvieuse allant de Novembre jusqu'au Janvier.
- Une saison sèche allant de Juin jusqu'au Août.

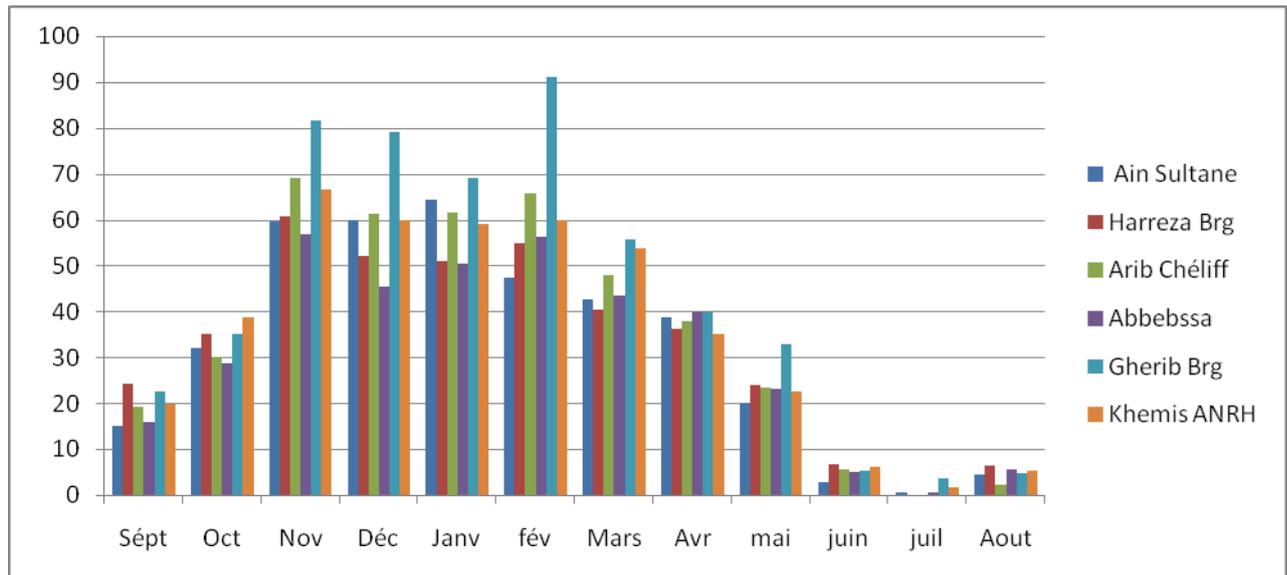


Figure 5: Variation des précipitations moyennes mensuelles (2000-2015)

IV.5.2 Précipitations moyennes annuelles :

D'après l'analyse des précipitations moyennes annuelles dans histogramme obtenus nous constatons une grande variabilité c'est-à-dire une perturbation interannuelle dans les stations de la pluviométrie, par exemple Pour celle de la station de Khemis-Miliana, les années (1992-1993) sont considérées comme les plus sèches pour la même station, les années (2008-2009) sont plus humides avec des précipitations annuelles de 411,76 mm

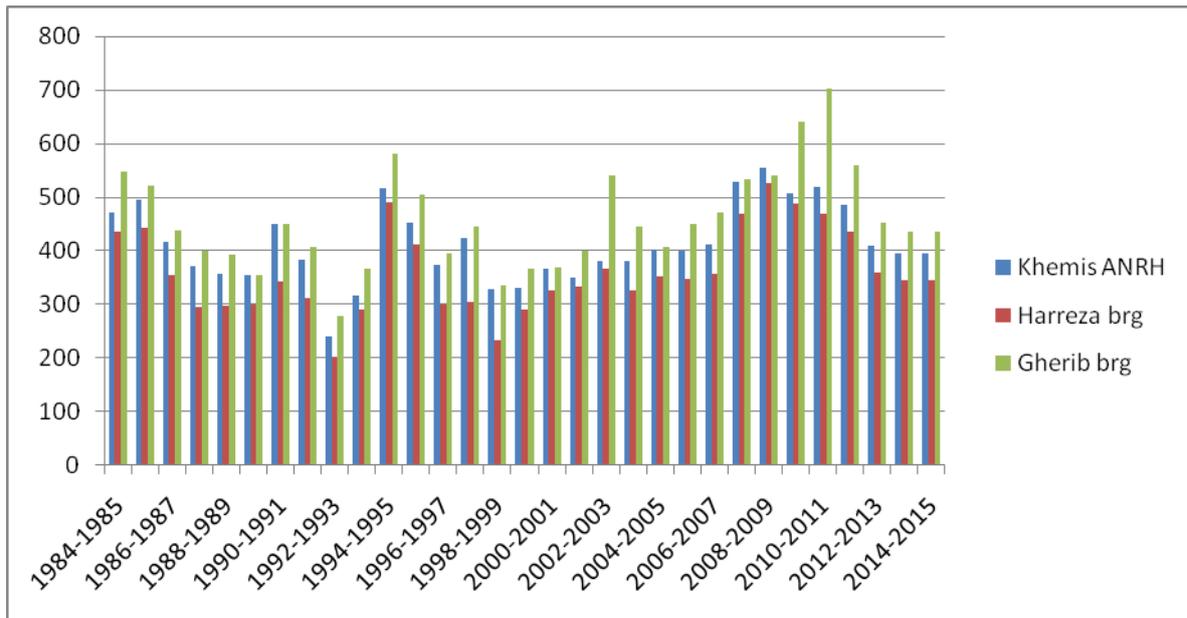


Figure 6: Variation des précipitations annuelles (1984 - 2015).

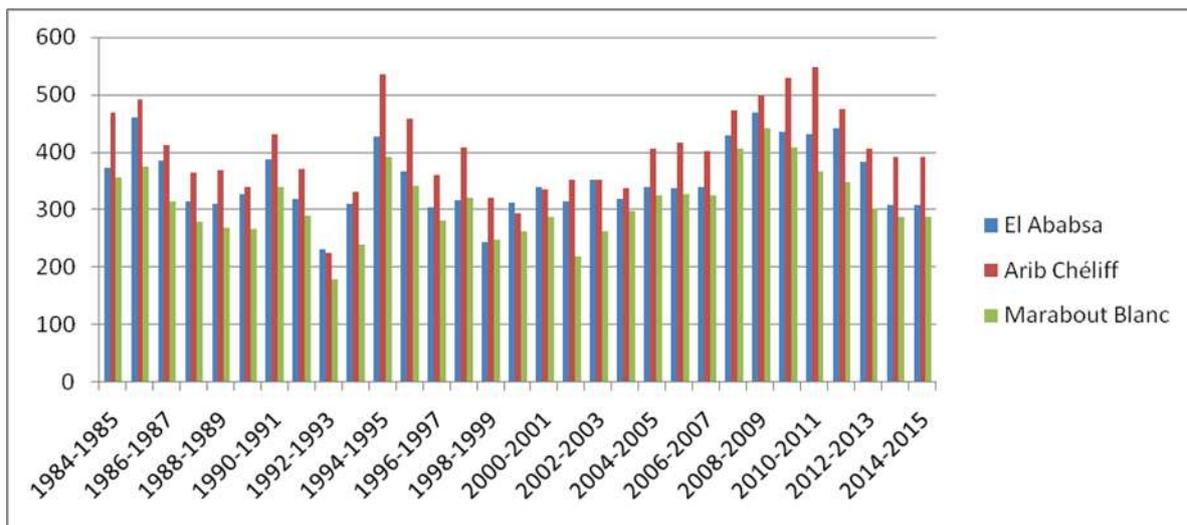


Figure 7: Variation des précipitations annuelles (1984 - 2015).

IV.5.3 Température :

D'après l'analyse des courbes de la température moyenne mensuelle dans la période de(2002-2017) au niveau des stations de Khemis milliana et de barrage Harraza , nous constatons que les températures les plus élevés sont observés en juillet avec des températures de 29 ,89°C au station de barrage Harraza et 30,37°C à celle de khemis milliana, par contre les plus basses températures sont observés en Janvier avec des températures de 9,56°C enregistrée au station de Harraza et 10,46°C enregistrée au station de khemis milliana.

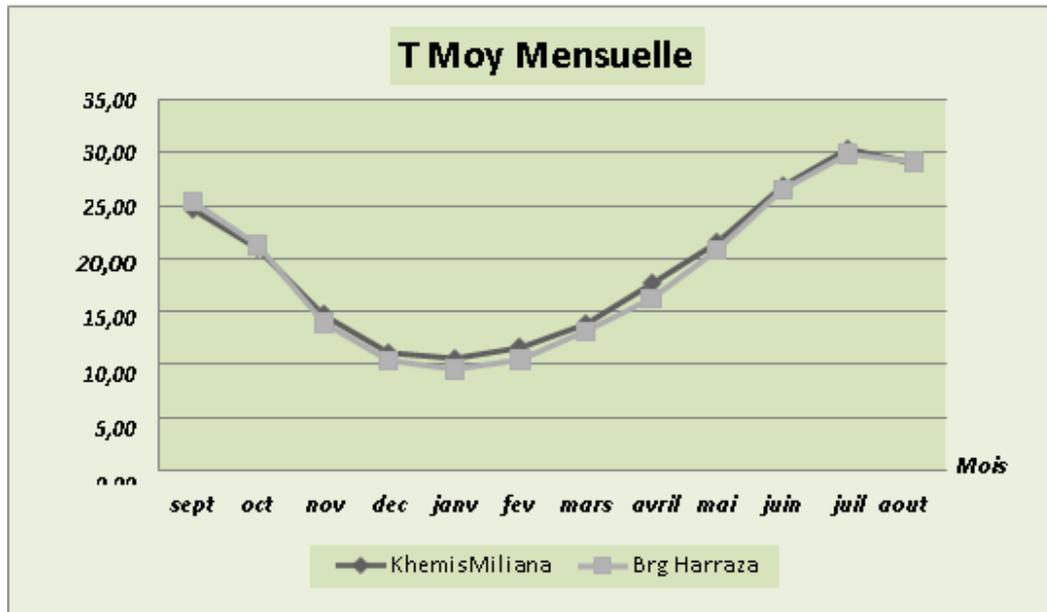


Figure 8: Variation temporelle de température moyenne mensuelle (Khemis et Harraza)

IV .5.4 Le diagramme ombrothermique de Gaussen :

Le diagramme ombrothermique de Gaussen permet de calculer la durée de la saison sèche. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle qui sont portées sur des axes où l'échelle de la pluviosité est double de la température.

Les variations moyennes mensuelles des températures et des précipitations permettent de distinguer une Période pluvieuse (humide), elle s'étend sur une période d'environ cinq mois, elle commence de la fin d'octobre jusqu'à la fin d'avril et une Période sèche, elle s'étend sur une période d'environ six mois, la fin du mois d'avril jusqu'à fin de mois d'octobre.

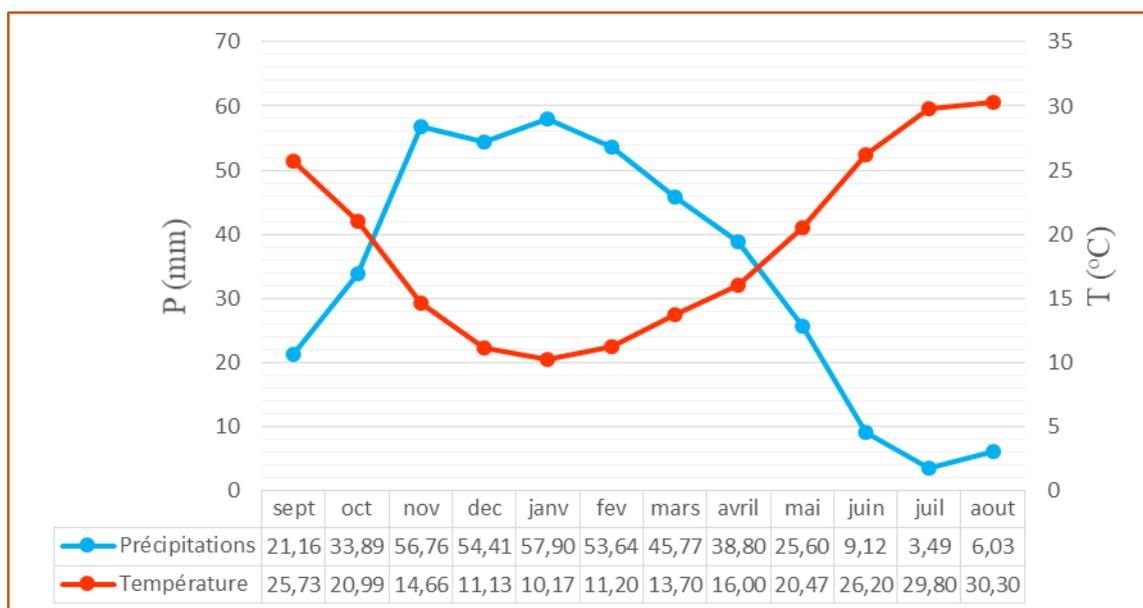


Figure 9: Diagramme Ombrothermique de Gaussen, station de Khemis (1986 -2014).

IV-6 Hydrogéochimie de la zone d'étude :

Une vingtaine de points d'échantillonnage (forages, puits et piézomètres) sont sélectionnés de la zone d'étude. Un suivi d'échantillonnage depuis les années 60 est fait au cours des années pour les mois d'avril-mai (période des hautes eaux) et septembre (période de basses eaux) assisté par l'équipe de l'ANRH de Khemis Miliana. Les échantillons d'eau sont analysés dans le laboratoire de l'ANRH Blida pour 11 paramètres, à savoir. Température, pH, électrique Conductivité électrique (CE), (TDS), oxygène dissous (DO), alcalinité totale (TA), dureté totale (TH), le calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), les chlorures (Cl^-), nitrates (NO_3^-) L'analyse Physico-chimique est réalisée par les méthodes classiques. Les études hydrogéochimiques ont montré :

La composition chimique des eaux souterraines de la région de Khemis Miliana a montré que pour la période Mai 2016, montre la tendance vers le pôle calcique dans le sous triangle des Cations, alors que les anions montrent une dominance Chloruré. Le diagramme global fait ressortir les faciès : Chlorurée et sulfatée calcique et sodique en plus de Bicarbonaté Calcique

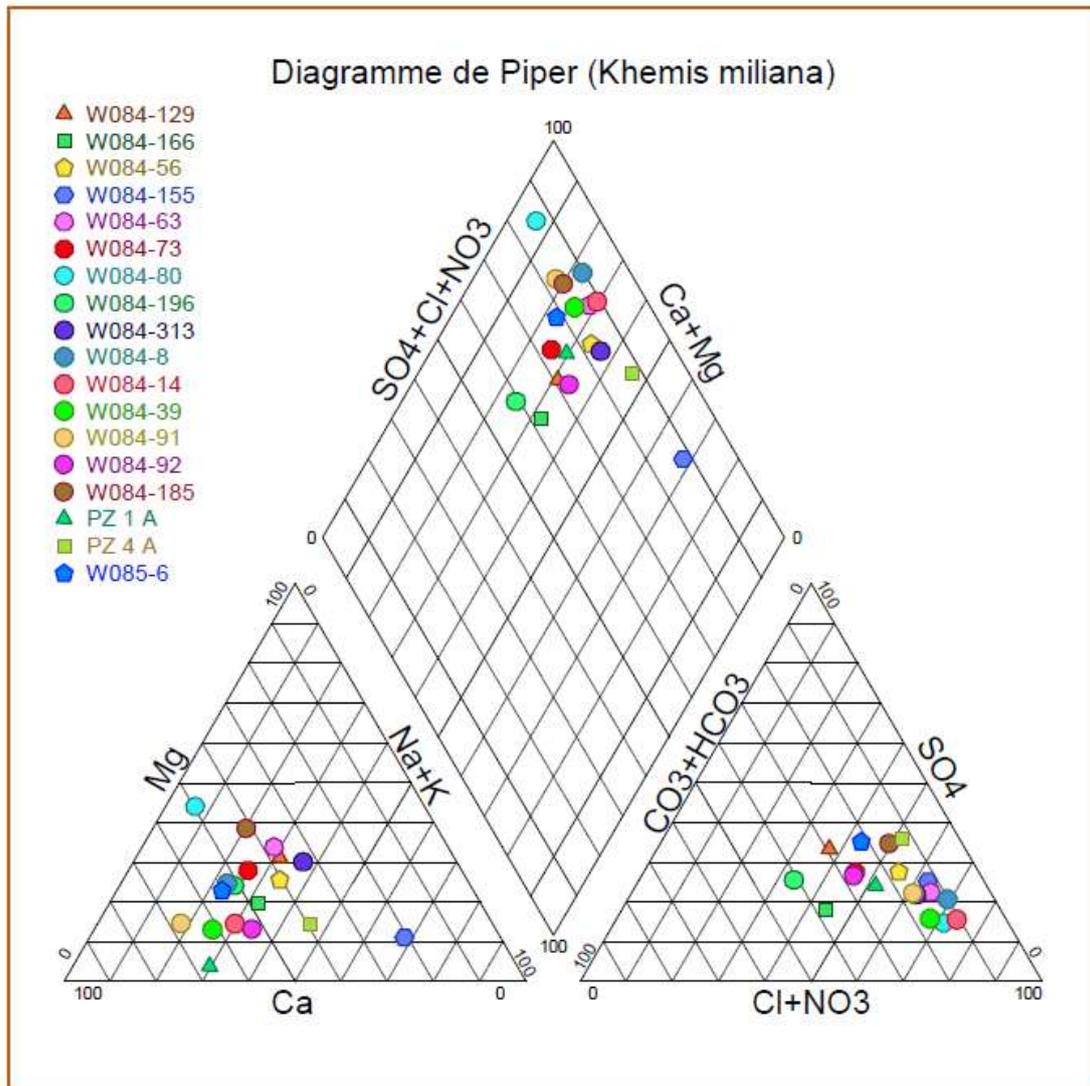


Figure 10: Diagrammes de Piper, Année 2016.

A partir de la formule caractéristique de Stabler et en tenant compte de l'anion prédominant dans les eaux, nous obtenons trois principaux faciès chimiques, qui sont :

- Faciès chloruré :

C'est le faciès dominant. Il occupe la majeure partie de la plaine avec quinze points d'eau sur 18. Ce faciès se subdivise en deux sous familles :

- Sous famille chloruré calcique : douze échantillons,
- Sous famille chloruré sodique : trois échantillons,

- Faciès bicarbonaté :

Ce faciès couvre une grande partie de la plaine. Sur 18 échantillons analysés deux entrent dans ce type de faciès, qui se subdivise à une seule sous familles :

- Sous famille bicarbonaté calcique : deux échantillons

- Faciès sulfaté :

Ce faciès est moins fréquent avec un échantillon représentatif donnant la sous famille sulfaté calcique.

La répartition spatiale de L'indice de la qualité des eaux souterraine GWQI en utilisant les valeurs de huit cations et anions 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 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 respectivement.

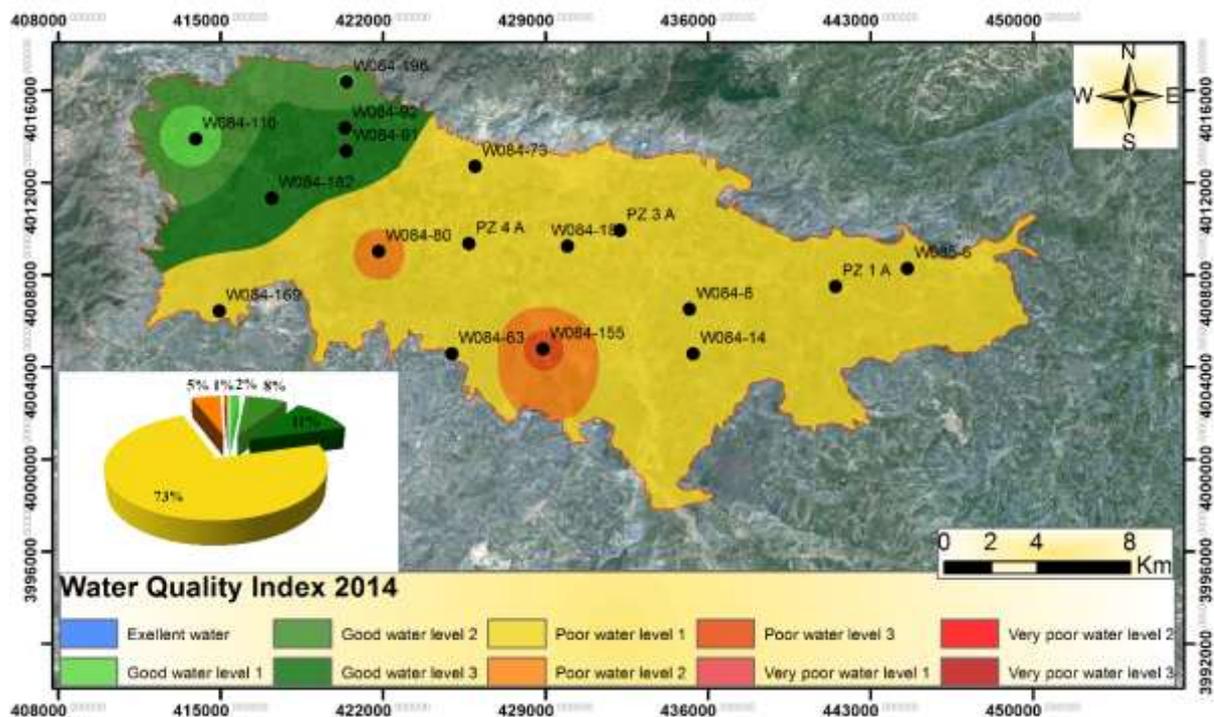


Figure 11: Carte de la répartition spatiale de la qualité des eaux souterraines dans l'aquifère alluvial de Khemis Miliana (Boudjenane, 2014)

Matériels, méthodes et discussions

V. matériels, méthodes et discussions

V. 1. Les cartes des critères qui influencent sur le réseau de surveillance :

V.1.1. Carte des profondeurs d'eau souterraines :

Inventaire des points d'eau dans la région :

La profondeur des eaux souterraines joue un rôle déterminant quant à la connaissance des écoulements souterrains, elle permet également de connaître et de fixer les conditions aux limites d'une nappe en matière d'exploitation. En principe les valeurs de piézométrie sont mesurées 2 fois par année dans notre région, soit pendant les basses ou pendant les hautes eaux.

C'est l'A.N.R.H de Khemis-Miliana qui se charge de la réalisation des tournées depuis 1988.

Pour arriver à mieux connaître le fonctionnement hydrodynamique de la nappe alluviale du Haut Cheliff, nous avons effectué 17 Campagnes piézométriques répartissent entre 2002-2016 Il faut noter que les points d'eau (puits et forages) utilisés pour la réalisation des cartes piézométriques dans notre zone d'étude servent en grande partie à l'irrigation et aux besoins domestiques, nous signalons que ces forages et puits ne captent pas la totalité de l'aquifère 1 des Alluvions grossières. Leurs profondeurs varient entre 40 à 117 mètres. Avec ces profondeurs il est clair que toutes les mesures faites sur ces points d'eau touchent le premier aquifère d'alluvions grossières. La nappe aquifère des alluvions grossières est séparée de la nappe des grés par une couche relativement épaisse d'alluvions argileuse relativement imperméable. Cette couche est continue sauf à L'Ouest ou le contact entre les deux formations existe.

Les statistiques descriptives des ouvrages de captage (points de mesure) montrent que :

- Presque tous les ouvrages de captages captent la formation du quaternaire ;
- plus de 60% des ouvrages de captages dépassent les 117 m de profondeur ; Cette valeur constitue la profondeur moyenne de la base de l'aquifère du quaternaire ;
- 80 % des ouvrages de captages sélectionnés sont destinés à l'alimentation en eau potable et l'irrigation ;
- plus de 70 % des ouvrages de captages datent de plus de 1900 ;

- plus de 50 % des ouvrages de captages ont un débit dépassant les 20 l/s, le débit moyen extrait est de 22.48 l/s ;

Ces statistiques montrent que la formation alluviale du Quaternaire constitue le premier et le principal aquifère de la région ; avec un débit d'une moyenne de 22.48 l/s sur la totalité de la plaine, les débits extraits confirment l'importance que présente cette ressource en eau souterraine dans notre région;

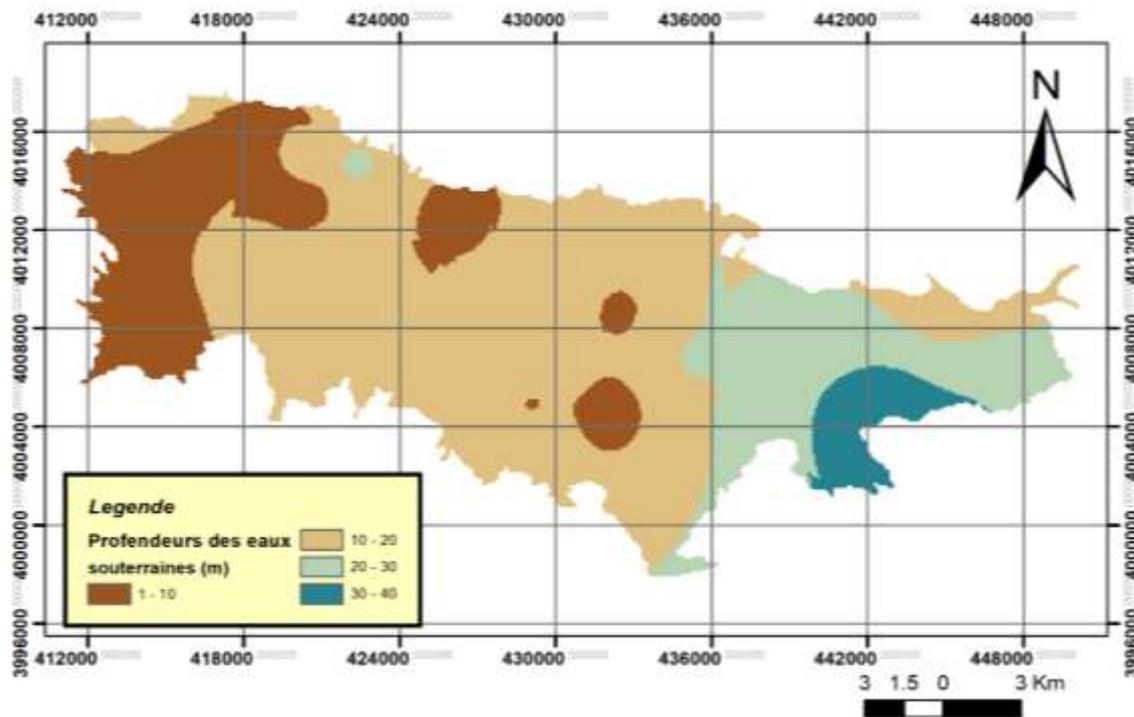


Figure 12: Répartition spatiale des profondeurs d'eau souterraines dans l'aquifère alluvial de la plaine de Khemis Miliana

Le niveau piézométriques des eaux souterraines de la zone d'étude est surveillé pour un réseau piézométrique de points d'eau (forages et puits) réparti dans la plaine et pour une fréquence de mesure faible (semi-annuelle).la carte de la profondeur moyenne des eaux souterraines a été préparée à l'aide des données recueillies durant les années 2010 à 2016 auprès de l'ANRH, La méthode d'interpolation spatiale par l'algorithme IDW a été utilisée pour créer et cartographier la carte des profondeurs des eaux souterraines ,.

V.1.2 Carte de la recharge naturelle des eaux souterraines :

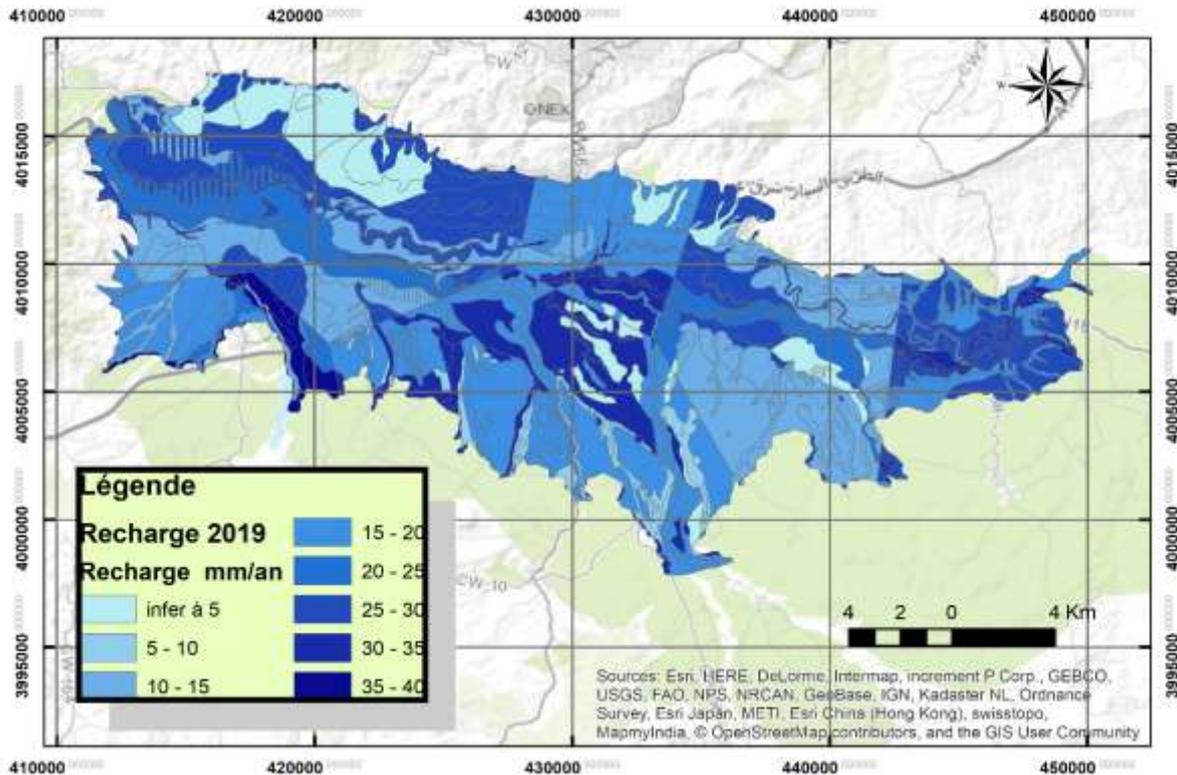


Figure 13: Répartition spatiale de la recharge nette en (mm/an) pour l'aquifère alluvial de la plaine Khemis Miliana

La recharge nette représente la quantité d'eau par unité de surface de terre qui pénètre dans la surface du sol et atteint la nappe (Aller et al., 1987). La méthode utilisée pour développer la carte de recharge nette des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana est celle de Williams et Kissel (1991). Cette méthode a été adoptée pour l'évaluation de la recharge nette dans de nombreuses régions semi-arides aux États-Unis et elle a été appliquée et vérifiée en Tunisie dans les eaux souterraines Metline (Gaieb and Hafedh Hamza, 2013).

La recharge nette (R_n), est calculée selon cette méthode avec les équations suivantes correspondant aux différents groupes de sols hydrologiques (GSHs) :

$$R_n = (P - 10.28) / (P + 15.43) \text{ pour le groupe de sols hydrologiques A. (4)}$$

$$R_n = (P - 15.05) / (P + 22.57) \text{ pour le groupe de sols hydrologiques B. (5)}$$

$$R_n = (P - 19.53) / (P + 29.29) \text{ pour le groupe de sols hydrologiques C. (6)}$$

$$R_n = (P - 22.67) / (P + 34.00) \text{ pour le groupe de sols hydrologiques D. (7)}$$

R_n est la recharge nette et P les précipitations annuelles en pouces.

Les quatre groupes hydrologiques A, B, C et D (Viessman Jr and Knapp, 1977)

Correspondent aux types de sols classés en fonction de leur infiltration:

- Groupe hydrologique A: sols ayant des taux d'infiltration élevés même s'ils sont complètement humides. Ils se composent principalement de sols profonds à trop drainés, formés de sable ou de gravier. Ces sols sont caractérisés par des taux de transmission d'eau élevés.
- Groupe hydrologique B: sols à vitesses d'infiltration moyennes lorsqu'ils sont complètement humides. Ils sont moyennement profonds à profonds, modérément bien égouttés et ont une texture modérément fine à modérément grossière. Leurs vitesses de transmission de l'eau sont moyennes.
- Groupe hydrologique C: sols à faible taux d'infiltration lorsqu'ils sont complètement humides. Ils sont principalement constitués de sols formés de couches imperméables, la texture est modérément fine à fine. Leurs taux de transmission de l'eau sont faibles.
- Groupe hydrologique D: Sols ayant des taux d'infiltration très faibles lorsqu'ils sont complètement humides. Ces sols sont essentiellement constitués d'argile gonflante, de sols avec des couches d'argile peu profondes ou souterraines et de sols peu profonds situés sur des matériaux imperméables. Leurs taux de transmission de l'eau sont très faibles.

Les valeurs des précipitations ont été obtenues à partir de huit stations météorologiques situées dans et la proximité de la zone d'étude. Les valeurs ont été prises de la période 1985-2015. L'emplacement de chaque station a été tracé dans une couche de points, puis les valeurs de précipitations ont été interpolées par la méthode IDW. Les groupes de sols hydrologiques sont issus de la carte des sols de la zone d'étude (carte pédologique de la plaine d'affreville (Boulaine). Les données sont en mode vectoriel polygonal sous forme d'un shapefile. Cette source contient les informations sur la texture du sol nécessaires pour délimiter les GSHs. La carte de recharge nette de la zone d'étude a été dérivée en mode raster en appliquant les formules de William et Kissel.

V.1.3 Cartes de l'épaisseur des alluvions grossières :

Détermination de l'épaisseur et l'Accessibilité verticale des Alluvions grossière (principal Aquifère alluvionnaire):

Dans cette étape, nous avons utilisé une méthode d'extraction des fichiers Grid créés en forme xyz ; de telle sorte que z représente l'altitude de chaque point de coordonnées xy dans notre cas un Grid contient plus de 150 points, issus de la campagne de géophysique CGG . Nous avons procédé à des opérations mathématiques de soustraction pour obtenir les Grids finaux de la profondeur et l'épaisseur de l'aquifère alluvionnaire. La deuxième démarche dans ce travail c'est l'utilisation de l'interpolation des valeurs z des fichiers extraits des Grids et qui

sont de formes xyz par la méthode du krigeage pour l'obtention des cartes de l'épaisseur et la profondeur des alluvions. Pour cette raison nous avons introduire la notion de géostatistique et l'utilisation de l'analyse variographique pour avoir une meilleure interpolation spatiale des valeurs ; qui seront par la suite utilisées dans le module ArcGis pour la réalisation de la carte d'épaisseur.

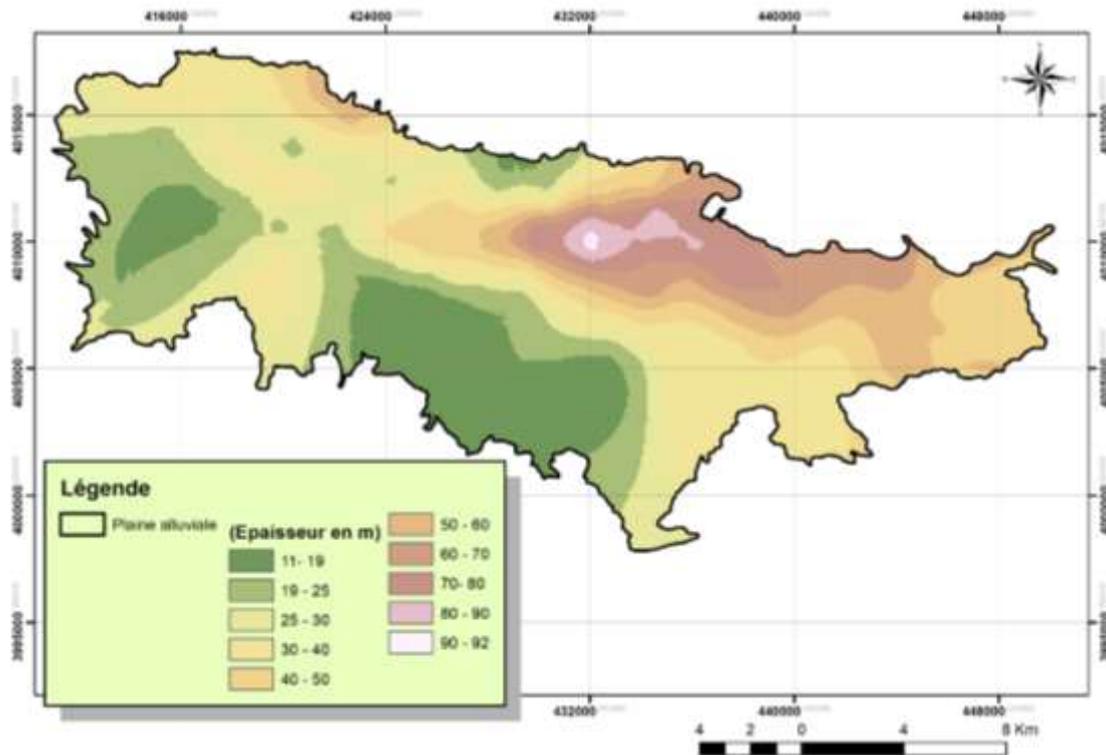


Figure 14: Répartition spatiale de l'épaisseur en (m) de l'aquifère alluvial de la plaine de Khemis Miliana

L'Analyse des cartes figure. 5 montre que, la partie nord-est de la plaine est caractérisée par une épaisseur d'alluvions grossières qui varie de 50 jusqu'au 100 m, la partie centrale indique une épaisseur comprise entre 20 à 50 m. vers la direction Est de la plaine l'épaisseur de l'horizon alluvionnaire diminue et atteint 20-35 m. La profondeur ou l'accessibilité verticale de l'horizon aquifère varie de 5 m au Sud de la zone à 50 m à l'Est.

La zone la plus favorable, est celle dont l'épaisseur des alluvions grossières est supérieure à 50 m et qui se localise dans la partie orientale de la zone d'étude, afin de vérifier la validité des résultats en matière d'épaisseurs, accessibilité verticale, et de la perméabilité de l'horizon aquifère, il convient de forer plusieurs forages de reconnaissance dans cette zone.

La puissance des alluvions grossières qui dépasse plus de > 50 m est en première approximation, la zone de contour, dans laquelle l'exploitation des alluvions ou horizon aquifère est la plus appropriée du point de vue hydrogéologique. Cette zone occupe 40% de la plaine. Il est à noter que dans le Nord, cette zone est délimitée par le lit du Cheliff. Dans le sud, proche des affluents d'Oued Derder, les conditions d'exploitation d'horizon sont un peu défavorables.

V.1.4 Fluctuation des eaux souterraines :

Des données mensuelles sur les niveaux d'eau souterraine ont été recueillies dans 37 points d'observation assez répartis dans la plaine alluviale de Khemis Miliana pendant la période d'étude 1988-2016. Parmi les points d'observation, les points de mesure des niveaux piézométriques avaient des données fiables sans lacunes majeures et ont été sélectionnés pour l'étude. D'autres puits d'observation dans la zone d'étude fonctionnaient de façon irrégulière et seulement pendant de courtes périodes ont été écartés. Les données mensuelles sur le niveau des eaux souterraines ont été fournies par l'Agence Nationale des ressources hydrique (ANRH) de Khemis Miliana. En outre, les données d'autres travaux ont été prises en compte. Les campagnes piézométriques (Hautes eaux et basses eaux) ont été moyennées pour obtenir des valeurs moyennes annuelles. Les données résultats ont été tabulés par soustraction des HE et BE dans l'ArcGIS, et on a procédé à l'interpolation des valeurs soustraites, qui présente la fluctuation ponctuelle de tous les points de mesure.

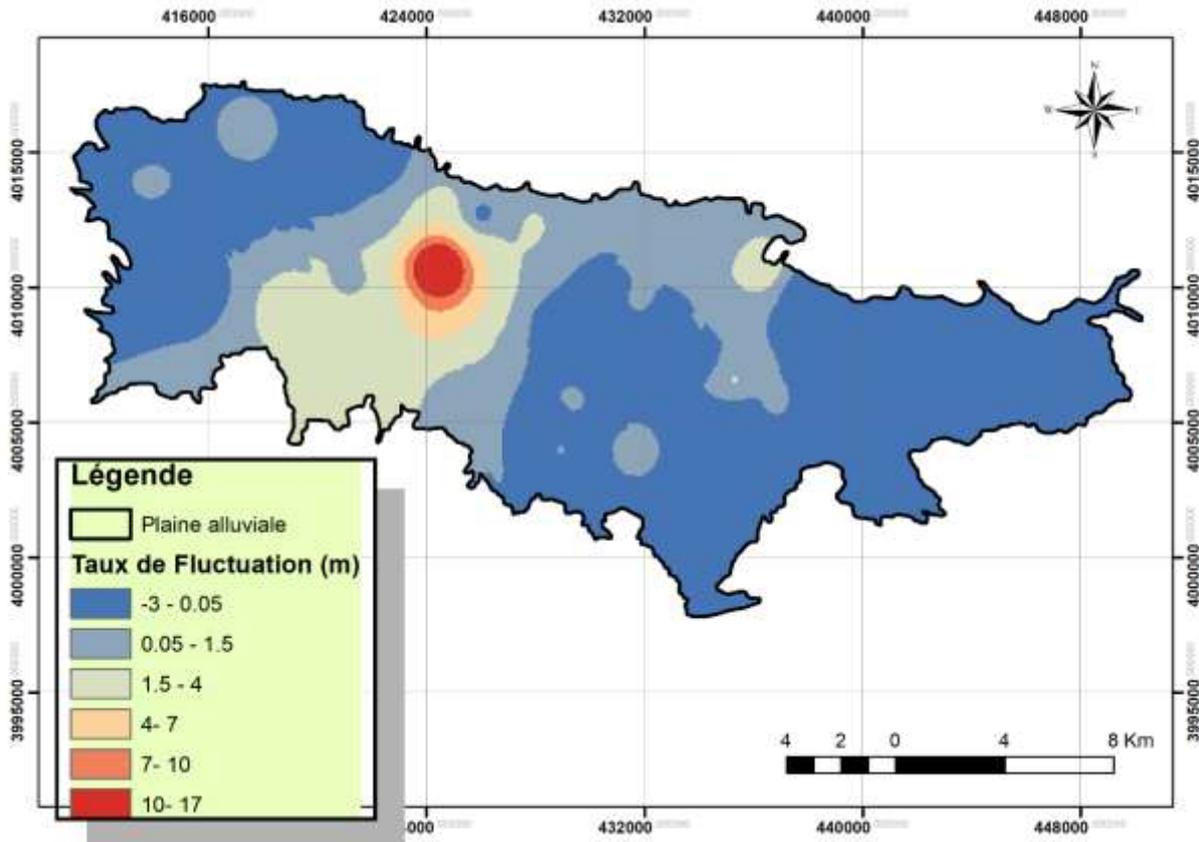


Figure 15: Répartition du taux de fluctuation moyen en (m) des eaux souterraines de l'aquifère alluvial de la plaine de Khemis Miliana.

V.1.5 Densité des puits d'extraction :

Ce critère est défini comme le nombre de points de mesure par unité de surface. Ce facteur a été choisi en raison de la nécessité de surveiller les zones à forte densité de puits car ces zones peuvent présenter des phénomènes synergiques avec une exploitation plus intense. La base de données des puits d'extraction développée par l'ANRH a été utilisée pour déterminer la densité des points de mesure, qui est le nombre de puits par km². Le calcul a été effectué à l'aide du logiciel ArcGis 10. La densité obtenue variait de 0 à 7 puits / km².

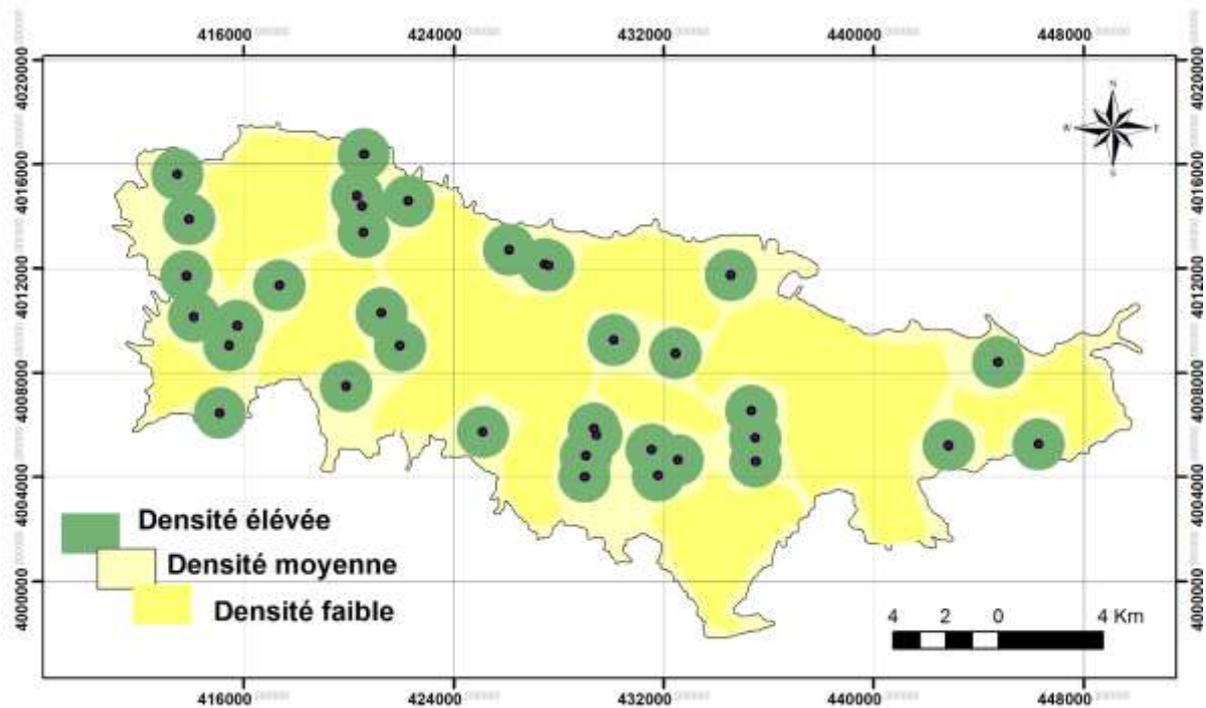


Figure 16: Répartition de la densité des points d'extraction des eaux souterraines pour l'aquifère alluvial de la plaine de Khemis Miliana

V.1.6- Gradient hydraulique vertical :

Une zone à gradient hydraulique vertical est l'un des éléments les plus importants pour identifier la sensibilité des régions aux polluants passant de la surface terrestre à la partie la plus productive de l'aquifère (Cherry et al. 2004). Il est également essentiel de comprendre quelles zones sont les plus intensément exploitées et comment le gradient vertical se comporte dans ces zones.

Les points de surveillance à plusieurs niveaux à gradient vertical descendant (écoulement vertical de la surface à des profondeurs plus importantes) ont été sélectionnés sur la base des mesures des niveaux des eaux souterraines de chacun des piézomètres installés à différentes profondeurs (Expósito 2012). Une carte a été générée qui identifiait les parties de l'aquifère avec un gradient vertical élevé

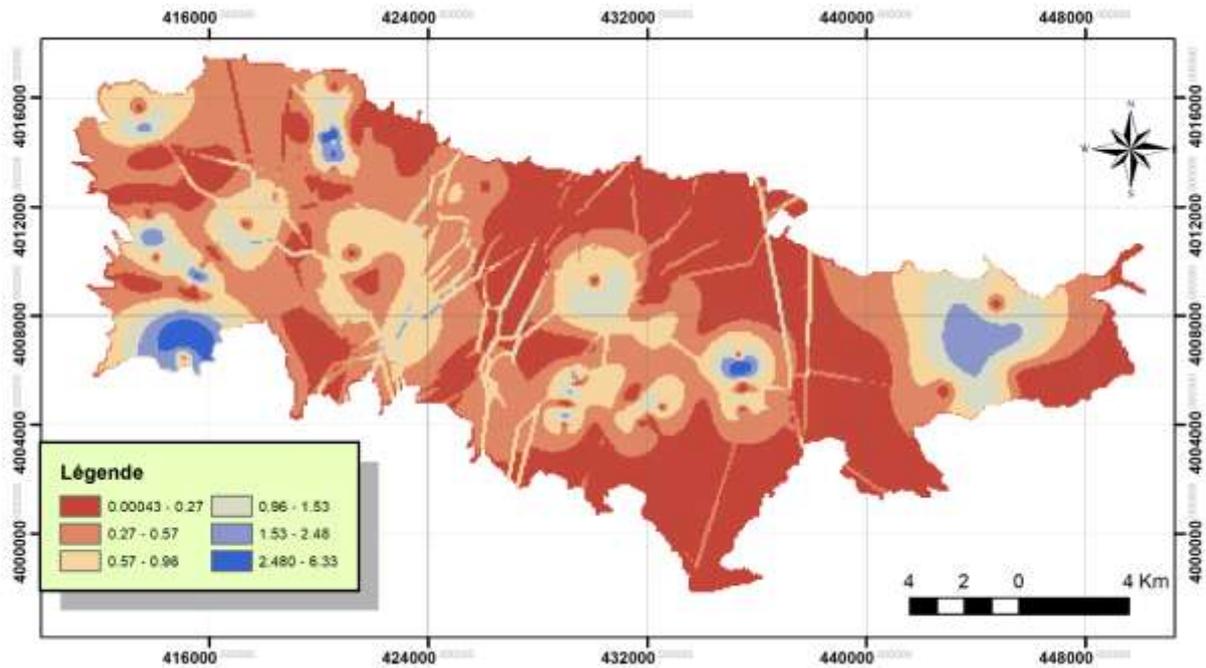


Figure 17: Répartition des gradients hydraulique des eaux souterraines dans l'aquifère alluvial de la plaine de Khemis Miliana

V.2. Standardisation des scores des critères (facteurs et contraintes) :

Les facteurs considérés avaient différentes échelles et unités (tableau), le taux de recharge des eaux souterraines (mm / an), la fluctuation des eaux souterraines ainsi que la profondeur en (m) et la densité des puits d'extraction (nombre de puits / km²). Par conséquent, ces facteurs ont été normalisés pour obtenir une échelle commune (de 0 à 255) à l'aide du module IDRISI-GIS Fuzzy. Cette standardisation a été effectuée de manière à ce que toutes les cartes des facteurs soient positivement corrélées avec la notion d'aptitude ou de zonalité de prioritarisation. Celles-ci ont été standardisées selon l'équation suivante:

$$X_i = \frac{(R_i - R_{min})}{(R_{max} - R_{min})} \cdot SR$$

X_i	New value, standardized by pixel
R_i	Value of the factor, by pixel
R_{min}	Minimum value of the factor, by pixel
R_{max}	Maximum value of the factor, by pixel
SR	Maximum threshold of the range to be standardized, in this case, 255

La fonction de pertinence (fonction croissante monotone) devait également être définie pour chaque facteur en se basant sur la théorie des groupes flous, ou logique floue (Eastman 2012). La standardisation de chacune des cartes des facteurs établies, requis en identifiant les valeurs minimales et maximales des échelles originales.

Une deuxième classification a été développée pour les facteurs ayant une valeur de 0 (échelle d'octets), qui a été changée en 1 (taux de fluctuation des niveaux des eaux souterraines) car une certaine présence du facteur en question (même si non pertinent) ne pouvait pas être jeté. Pendant ce temps, une valeur 0 pour la densité des puits est restée 0 (représentant l'inexistence de points de mesure). Le module flou IDRISI-GIS a été appliqué. Ces facteurs ont été classés sur une échelle d'octets (1 à 255) car seule leur présence ou absence a été prise en compte. La valeur maximale (255) a été attribuée aux secteurs où l'existence du facteur a été détectée (s'il y avait une augmentation du niveau des eaux souterraines, si des fluctuations, recharge étaient identifiées et s'il y avait un gradient vertical descendant puisque ce sont des zones qui nécessitent des points de surveillance.

La méthode booléenne (0 et 1) a été appliquée aux contraintes, où 0 représentait les zones où la surveillance n'était pas possible et 1 représentait les zones où cela était possible. Les cartes générées des facteurs rééchelonnés sont présentées sur la figure.

V.3 Processus de pondération :

Après avoir sélectionné et standardisé les facteurs, l'étape suivante consistait à identifier le poids de chaque facteur. Cela consistait à attribuer la valeur de l'importance d'un facteur par rapport à un autre en fonction de l'importance ou de l'influence qu'il a dans la réalisation de l'objectif proposé (Eastman 2012). Étant donné que les poids ne doivent pas être attribués arbitrairement, il est conseillé d'obtenir le soutien d'un groupe d'experts sur la surveillance des eaux souterraines. Par conséquent, des enquêtes ont été menées auprès de plusieurs experts ayant une expérience professionnelle dans les domaines de l'hydrogéologie et des systèmes d'information géographique. Nous avons procédé à la comparaison de différents facteurs, sur la base de laquelle une hiérarchie a été élaborée. Après avoir défini l'importance de chaque

facteur, le module IDRISI-GIS Décision Wizard a été appliqué pour obtenir les pondérations des facteurs. À cette fin, l'une des trois méthodes a dû être choisie:

- a) Poids égaux
- b) Poids définis par l'utilisateur
- c) Processus de hiérarchie analytique

La méthode AHP a été sélectionnée pour la présente étude et appliquée à l'aide du module de poids IDRISI-GIS qui effectue automatiquement des comparaisons par paires. L'AHP a été utilisé pour construire des matrices basées sur ces comparaisons et des éléments d'algèbre matricielle ont été appliqués pour établir des priorités entre les facteurs à un niveau par rapport à un élément un niveau au-dessus.

Le processus de comparaisons par paires a été réalisé en utilisant une échelle de 9 points correspondant aux niveaux d'importance: 1 = égal, 3 = modéré, 5 = élevé, 7 = très élevé et 9 = extrême, tandis que 2, 4, 6 et 8 ont été utilisés lorsque la préférence entre les facteurs ne pouvait être clairement définie, auquel cas ils étaient considérés comme des valeurs de préférence intermédiaires (Saaty 1977). Un nombre entier était attribué dans la matrice si le facteur de ligne était plus important pour l'objectif de l'étude que le facteur de colonne, et s'il n'était pas plus important, une fraction était utilisée.

La valeur attribuée à chaque colonne à comparer doit être un produit de l'enquête d'experts. Une fois la comparaison des facteurs terminée, le module Poids sera exécuté pour calculer les poids de chaque facteur, qui sont présentés dans un tableau appelé vecteur propre (Saaty 2006). La valeur des poids, les coefficients de pondération et l'ordre d'importance de chaque facteur utilisé sont présentés dans le tableau L'ordre d'importance des facteurs était: 1) Fluctuation d'eau souterraine- **Fs**, 2) Profondeur d'eau souterraine **Pf**, 3) Recharge naturelle **Rn**, 4) Densité des points d'extraction **Dp**, 5) Epaisseur de l'aquifère alluvial **Ep**, 6) Gradient hydraulique **Gh**. Le rapport de cohérence « **CR** » a également été calculé. Selon Saaty (1990), lorsque le CR est inférieur à 0,1, les coefficients de pondération sont acceptables. La cohérence est définie comme:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Où:

RI : Indice aléatoire RI (1,24 pour cette enquête)

CI : Indice de cohérence CI

L'indice de cohérence est calculé comme suit:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Où:

λ_{\max} = $\sum \lambda_i$. Total λ_i

λ : Vecteur ou poids par facteur

n : Nombre de facteurs

Le ratio de cohérence obtenu pour la présente étude de cas était acceptable, avec une valeur de 0,08.

Après avoir obtenu les poids relatifs des facteurs, l'étape suivante consistait à regrouper tous les critères (facteurs et contraintes) qui avaient été créés. Une étape d'évaluation (ou d'agrégation) a été réalisée pour combiner les informations sur les facteurs et les contraintes. Le module MCE fournit trois logiques pour évaluer / agréger les multiples critères: intersection booléenne, combinaison linéaire pondérée (WLC) et moyenne pondérée ordonnée (OWA)

Tableau 3 : Les classes et leurs notes pour chaque critère (facteurs et contraintes) impliqués dans l'analyse multicritères

Fs		Pf		Rn		Dp		Ep		Gh	
Classe	Score	Classe	Score	Classe	Score	Classe	Score	Classe	Score	Classe	Score
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
-3 - 0.005	26	1-10	36	0-5	23	0.88	23	11-19	31	0.00043 -0.27	26
0.005 – 1.5	45	10-20	120	5-10	75	2.35	98	19-25	74	0.27 – 0.57	86
1.5 – 4	86	20-30	221	10-20	158	4.73	189	25-30	165	0.57 - 0.96	145
4 - 7	165	30-40	255	20-30	168	6.31	255	30-40	198	0.96 – 1.53	196
7 – 10	223			30-40	255			40-50	223	1.53 – 2.48	232
10 - 17	255			Sup 50	255			2.48 - 6.33	255		

1) Fluctuation d'eau souterraine- **Fs**, 2) Profondeur d'eau souterraine **Pf**, 3) Recharge naturelle **Rn**, 4) Densité des points d'extraction **Dp**, 5) Epaisseur de l'aquifère alluvial **Ep**, 6) Gradient hydraulique **Gh**.

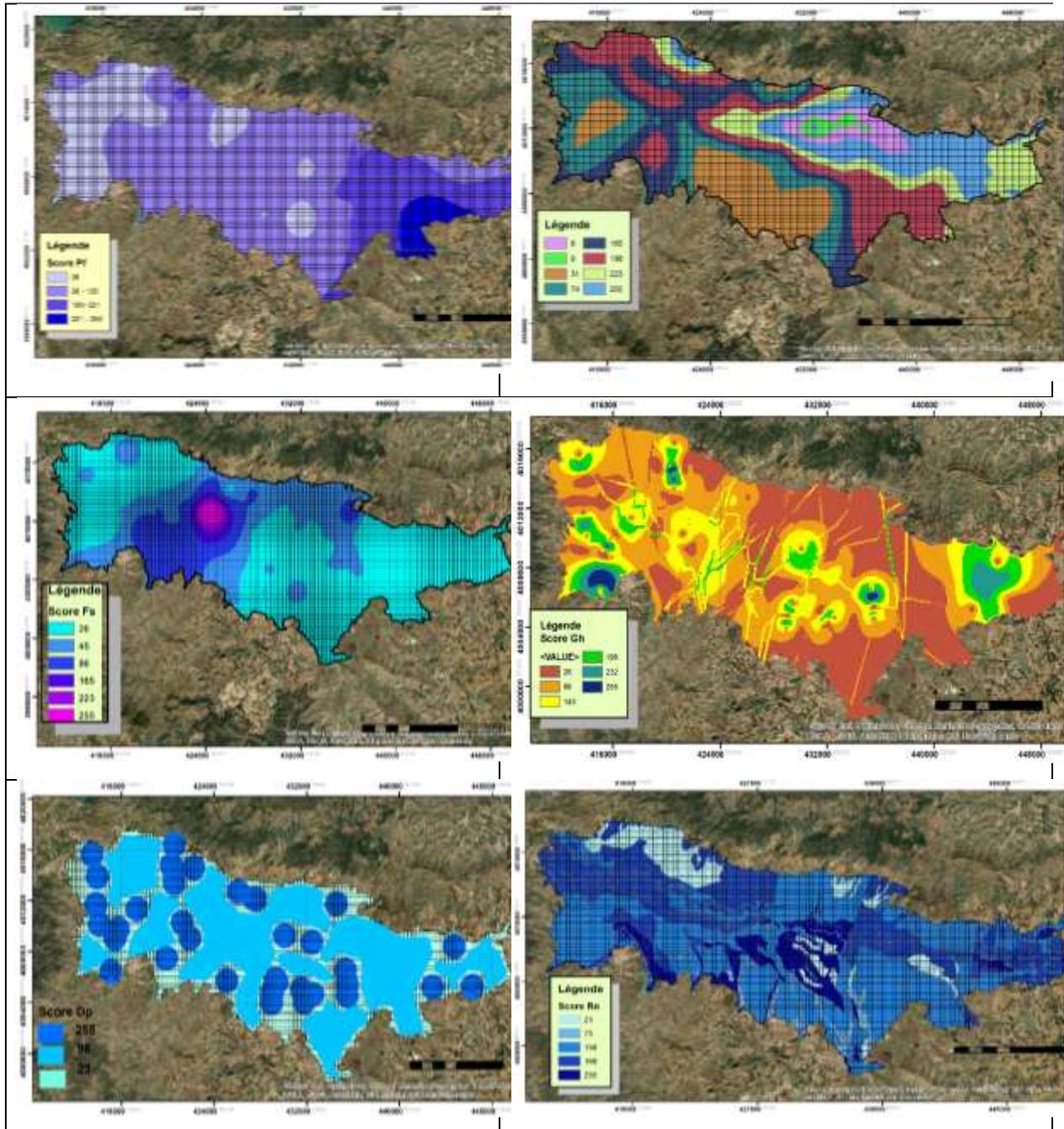


Figure 18: Cartes standardisées des facteurs impliqués dans la zone d'étude –maillage de 250m

V.4 Evaluation :

Enfin, pour appliquer l'analyse multicritères, la méthode de combinaison linéaire pondérée (WLC) a été choisie car elle permet plus d'options de décision que la méthode booléenne, qui est l'une des plus simples, et aussi parce qu'elle adoucit les décisions difficiles du Contrainte booléenne et suppose des risques moyens (Eastman 2012).

Tableau 4: Le coefficient de pondération de chaque facteur et son poids

	<u>Fs</u>	<u>Pf</u>	<u>Rn</u>	<u>Dp</u>	<u>Ep</u>	<u>Gh</u>	<u>Poids</u>
<u>Fs</u>	<u>1</u>						0.4657
<u>Pf</u>	1/3	1					0.2534
<u>Rn</u>	1/5	1/3	1				0.1505
<u>Dp</u>	1/7	1/5	1/3	1			0.0845
<u>Ep</u>	1/7	1/7	1/5	1/3	1		0.0394
<u>Gh</u>	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0.0238

1) Fluctuation d'eau souterraine- **Fs**, 2) Profondeur d'eau souterraine **Pf**, 3) Recharge naturelle **Rn**, 4) Densité des points d'extraction **Dp**, 5) Epaisseur de l'aquifère alluvial **Ep**, 6) Gradient hydraulique **Gh**.

La combinaison linéaire pondérée est la méthode la plus couramment utilisée pour évaluer plusieurs critères. Cette combinaison a été réalisée sur la base de la formule mathématique suivante (Marinoni 2004):

$$S = \sum_{i=1}^n W_i X_i \cdot \prod C_j$$

Où:

S : Adéquation

n : Nombre de facteurs

W_i : Poids du facteur i

X : i Valeur du facteur i

C_j : Score du critère de la contrainte j.

II : Produit des contraintes (avec $j = 1 \dots n$)

Enfin, la carte issue de l'analyse multicritères a été obtenue sur une échelle de 0 à 255 et a été classée selon les catégories qui fourniraient la meilleure définition des zones prioritaires à surveiller (Tableau): 1) très faible, 2) faible, 3) moyenne, 4) élevée et 5) zone à priorité de surveillance très élevée (voir Fig.).

Tableau 5: Catégories d'analyse multicritère

Score (Byte scale)	Importance
1-45	Très faible
45-90	Faible
90-135	moyenne
135-180	Elevée
180-255	Très élevée

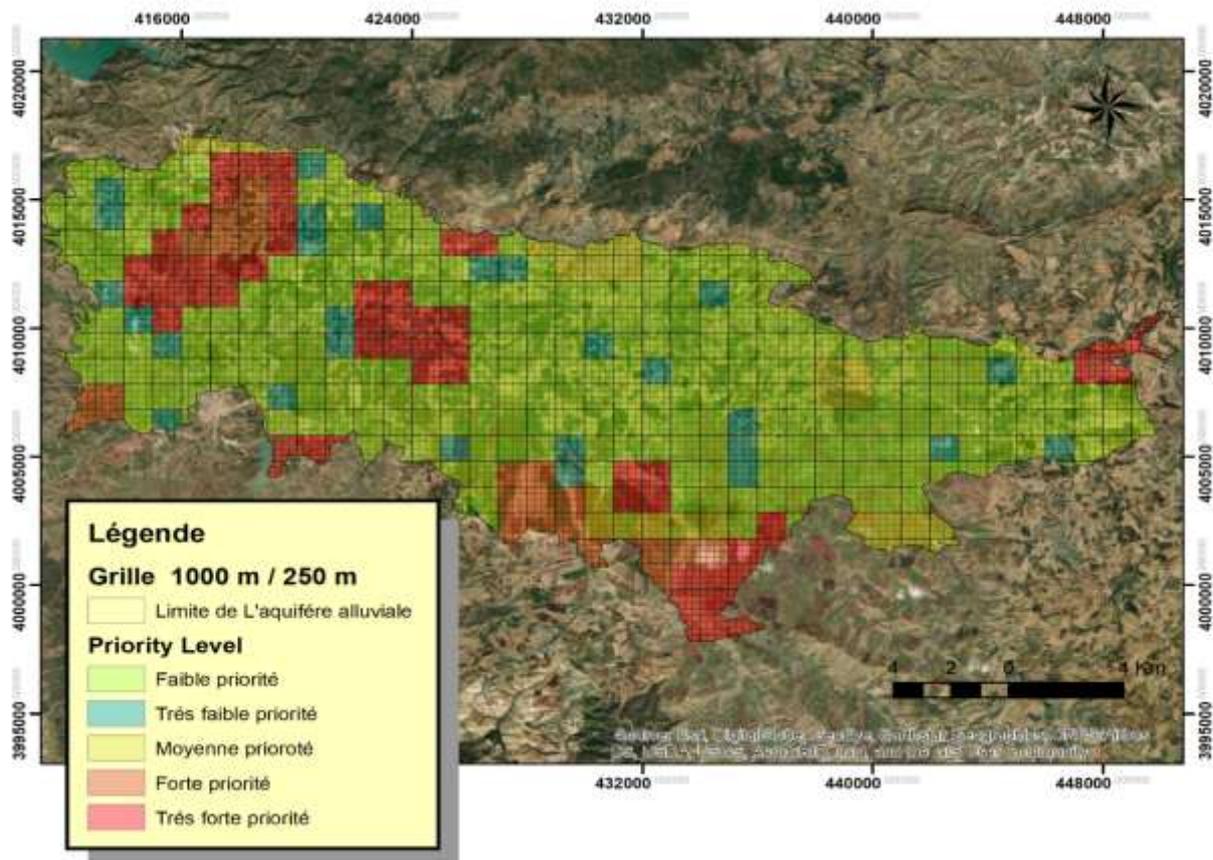


Figure 19: Carte des zones prioritaires pour la surveillance du niveau des eaux souterraines, une grille de 1000m /250m

L'analyse de la carte finale a montré que, Selon la catégorisation patio-cartographique, 56.8 % de la plaine est caractérisée par une très faible priorité. Les zones de faible priorité se trouvent dans les parties sud de la plaine où se trouve la zone la plus caractérisés par une très mauvaise qualité des eaux souterraines et couvrent 5,4% de la zone d'étude. La priorité medium correspond à 1,8% de la superficie et se situe principalement dans la partie nord de la zone d'étude. La catégorie élevée couvre une partie du centre de l'aquifère en aval seulement 14 % du total. La zone à très haute priorité correspond à la zone métropolitaine de la ville de Aribis et couvre une petite partie 22 %) de l'ensemble de la plaine. Les facteurs ayant le plus de poids convergent dans cette zone.

Une prochaine étape de ce travail consisterait à déterminer le nombre de points de surveillance nécessaires à installer dans ces zones prioritaires et la fréquence des mesures de données. À cette fin, des méthodes telles que celles présentées dans ce mémoire pourraient être utilisées. Il est important de se souvenir de l'analyse coût / bénéfice, qui pourrait être réalisée aux prochaines études.

Conclusion

Conclusion

Dans cette étude, nous avons proposé une méthode pour l'optimisation et la conception optimale du réseau de surveillance des eaux souterraines, par l'application de la méthode AHP et la conception d'une plateforme cartographique multicritère, afin de concevoir une cartographie optimale visuelle du réseau additif de surveillance piézométrique dans la plaine alluviale de Khemis Miliana.

La première étape de cette étude s'est articulée sur la sélection des critères pertinents pour améliorer la répartition spatiale des points de surveillance dans l'ancien réseau piézométrique. Les facteurs sélectionnés sont: 1) Fluctuation d'eau souterraine- **Fs**, 2) Profondeur d'eau souterraine **Pf**, 3) Recharge naturelle **Rn**, 4) Densité des points d'extraction **Dp**, 5) Epaisseur de l'aquifère alluvial **Ep**, 6) Gradient hydraulique **Gh**. Certains facteurs ont été choisis car ils étaient considérés comme des indicateurs permettant d'évaluer le degré de surexploitation de l'aquifère et ses impacts. Les facteurs ont été normalisés sur une échelle d'octets (0 à 255), sous une plateforme GIS afin d'améliorer l'affichage et l'efficacité des calculs. La pondération des facteurs nécessitait l'avis d'experts en eaux souterraines et en SIG, Les poids relatifs ont été obtenus rapidement à l'aide du logiciel IDRISI GIS et avec un taux de cohérence acceptable (inférieur à 0,1).

L'évaluation des facteurs a été réalisée en utilisant une combinaison linéaire pondérée pour la prise de décision. La carte résultante a été reclassée en catégories afin de localiser les zones de surveillance prioritaires. L'analyse de la carte résultante a montré que :

L'analyse de la carte finale a montré que, Selon la catégorisation patio-cartographique, 56.8 % de la plaine est une très faible priorité. Les zones de faible priorité se trouvent dans les parties sud de la plaine où se trouve la zone la plus caractérisée par une très mauvaise qualité des eaux souterraines et couvrent 5,4% de la zone d'étude. La priorité medium correspond à 1,8% de la superficie et se situe principalement dans la partie nord de la zone d'étude. La catégorie élevée couvre une partie du centre de l'aquifère en aval (seulement 14 % du total). La zone à très haute priorité correspond à la zone métropolitaine de la ville de Aribis et couvre une petite partie (22 %) de l'ensemble de la plaine. Les facteurs ayant le plus de poids convergent dans cette zone

L'un des avantages de l'AHP est qu'il facilite la prise de décisions liées à des problèmes complexes. La base sur laquelle les critères sont sélectionnés et la notation des résultats sont souvent simples et compréhensibles, et sont déterminés efficacement par combinaison de plusieurs facteurs hydro climatiques, hydrologiques, géologiques et hydrogéologiques.

Référence bibliographique

Référence bibliographique :

- **Aller, L. (1985).** **DRASTIC:** a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of Research
- **Baalousha H (2010)** Assessment of a groundwater quality monitoring network using vulnerability mapping and geostatistics: a case study from heretaunga plains, New Zealand. *Agric Water Manag* 97:240–246
- **Balek, J. (1988).** Groundwater Recharge Concepts. Estimation of Natural Groundwater Recharge. I. Simmers. Dordrecht, Springer Netherlands: 3-9
- **Bouderbala, A. (2017).** "Assessment of water quality index for the groundwater in the upper Cheliff plain, Algeria." *Journal of the Geological Society of India*90 (3): 347-356.
- **Bouderbala, A. and B. Y. Gharbi (2017).** "Hydrogeochemical characterization and groundwater quality assessment in the intensive agricultural zone of the Upper Cheliff plain, Algeria." *Environmental Earth Sciences*76(21): 744.
- **Cano-Casas L, Escobar-Martínez JF (2011)** Monitoring network design supported by GIS tools and geospatial modeling. *Aqua-LAC* 3(1):18–25
- **Cherry JA, Parker BL, Bradbury KR, Eaton TT, Gotkowitz MG, Hart DJD2004]** Role of aquitards in the protection of aquifers from contamination: a Bstate of the science^ report. Research Foundation, Denver, 144 pp
- **De Vries, J. J. and I. Simmers (2002).** "Groundwater recharge: an overview of processes and challenges." Hydrogeology journal10(1): 5-17.
- **Díaz-Viera M (2008)** An alternative methodology to the design of a new network groundwater monitoring with almost no information. Institute of geophysics, UNAM. Mexico. Institute of geophysics and astronomy. CITMA, Cuba, pp 8.
- **Eastman JR (2012)** Guide to GIS and image processing. Clark University, Whistler, Canada
- **Ecole d’Hiver – 3 mars 2015** “Techniques d’observation et méthodes d’analyse pour la gestion de l’eau dans les bassins versants agricoles méditerranéens” **Lise Ponchant, Sylvain Massuel-**
- **Expósito JL (2012)** Hydrodynamic and hydrochemical characteristics of Toluca Valley multilayer aquifer and its implications for optimizing strategies for the groundwater quality protection. Dissertation, Ph. D. thesis, Universidad Autonoma del Estado de México

- **Gaëlle Guesdon** Méthodes et outils Aide multicritère à la décision Comparaison de Saaty **2011-03-15** Faculté des sciences et de génie Université Laval
- **Healy, R. W. and P. G. Cook (2002)**. "Using groundwater levels to estimate recharge." *Hydrogeology journal* **10**(1): 91-109.
- **Healy, R. W. (2010)**. *Estimating groundwater recharge*, Cambridge University Press.
- **Huet, M. (2015)**. Comparaison de méthodes d'estimation de la recharge des aquifères: exemple de la région Charlevoix-Haute-Côte-Nord, Université du Québec à Chicoutimi.
- **HORRICHE F., 2006** ;Analyse de réseau piézométrique national Tunisien.
- **Juan M. Esquivel 1 & Guillermo P. Morales 1 & María V. Esteller 2015** Groundwater monitoring network design using GIS and multicriteria analysis
- **Mattaeur M., (1958)** : Etude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie) publication du service de la carte géologique de l'Algérie. bulletin N°17. Alger.
- **McCobb, T. D. and P. K. Weiskel (2003)**. Long-term hydrologic monitoring protocol for coastal ecosystems, NATIONAL PARK SERVICE WASHINGTON DC.
- **Mogheir Y, de Lima JLMP, Singh VP (2009)** Entropy and multi-objective based approach for groundwater quality monitoring network assessment and redesign. *Water Resour Manag* **23**:1603–1620
- **Molerio L, Torres J, Rocamora E, Guerra M, Rodríguez K (2002)** Optimization of the monitoring network regime of groundwater in the South Basin of Matanzas, Cuba. *J Hydraul Eng Environ* **XXIII**(2):10–22
- **Nadia Lehoux, Pascale Vallée 2004**, Analyses multicritères.
- **Perrodon A., (1957)** : Étude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie nord Occidentale. Thèse Paris, Publ. Serv. Carte geo/. Algérie, nouv. Sér. n°. 12.
- **Preziosi E, Petrangeli AB, Goiliano G (2013)** Tailoring groundwater quality monitoring to vulnerability: a GIS procedure for network design. *Environ Monit Assess* **185**:3759–3781
- **Taylor, 2002** Ground-water-level monitoring and the importance of long-term water-level data
- **Tuinhof A, Foster S, Kemper K (2002)** Requirements of groundwater monitoring. GWP associated program, World Bank. EEUU, Washington DC, p 10

- **Uddameri V, Andruss T (2013)** A GIS-based multi-criteria decision-making approach for establishing a regional scale groundwater monitoring. *Environ Earth Sci* 71:2617–2628
- **UNESCO (2009)** Water in a changing world. The United Nations world water development report 3. <http://publishing.unesco.org>
- **Viessman, W., et al. (1989)**. Introduction to Hydrology, Harper & Row.
- **Weng S (2005)** A scenario-based multiobjective optimization method for water resources management. Dissertation, University of Regina, Canada, pp 152