

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université de Khemis-Miliana

Faculté des Sciences de la Nature et de
la Vie et des Sciences de la Terre

Département des Sciences de la Terre

Mémoire de Fin d'Etude en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master II

Domaine : Science de la Terre et de l'Univers

Filière : **Hydrogéologie**

Thème

L'Evolution de la Qualité Physico-chimique des Eaux
Souterraines de la Plaine de Khemis--Miliana

Présenté par :

- ✓ **Mr NFANDA Domingos Vanghe**
- ✓ **Mr BOUB Lazher**

Soutenu devant le jury :

- ✓ **Président UKM :**
- ✓ **Encadreur : Sadeuk Ben Abbes Abdelkader**
- ✓ **Co-encadreur: Renima Mohamed**
- ✓ **Examineur: Mr Gharbi Benyoucef**
Mme Boukmedja Sara

Année Universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Dieu, le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la vie, la force d'accomplir ce modeste travail.

Nos remerciements vont d'abord pour notre encadreur, **Mr.SADEUK BEN ABBAS**, sans lui le travail ne verrait pas le jour ; sa simplicité et sa disponibilité, sa bonne compréhension nous rendent content et des gratitude, merci, merci... beaucoup **Mr.SADEUK BEN ABBAS**.

Également nos remerciements vont aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichie pour leurs propositions.

Nous tenons à remercier Mr ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;pour accepter de faire partie comme examinateur.

Nos vifs remerciements vont à tous les Enseignants de l'Université de Khemis-Miliana en générale et aussi aux enseignants de département des Sciences de la Terre en particulière.

Nous remercions les personnels de (ANRH) pour avoir pour avoir mis à notre disposition les données de l'Evolution de la Qualité Physique et Chimie de la Ville de Khemis-Miliana qu'on a utilisée dans cette étude.

Nous remercions tous les étudiants de Département des Sciences de la Terre, principalement ceux de master II, Hydrogéologie et Géotechnique.

Enfin nous remercions tous ceux qui nous aides de pré ou loin sans extinctions pour encouragement afin de mener bien ce travail.

DÉDICACE

- ♥ Avec un énorme plaisir et d'un cœur ouvert, que je dédie mon travail à mes chers et respectueux Père **Insanhe INFANDA**, Maman **Isabel NHAGA**, Grand frère **Ortís INFANDA** et ma Sœur **Nené INFANDA** qui ne sont pas dans ce monde ;
- ♥ Ainsi à mes frère **Salvador PEREIRA (MATCHU)**, **Valentino Hildebeiro Ernesto INFANDA**, **Albino Ernesto INDAMI**, **Guerra Ribeiro INFANDA**, **Nicolau D'ALMEIDA** et **Frei José Nhaga INFANDA** ;
- ♥ Mes sœurs **Angela QUADÉ**, **Maria Ninin INFANDA**, **Magda SANCA**, **Lilica Hulile SANCA**, **Ludes CARDOSO** et **Anazinha João da SILVA** ;
- ♥ A tous mes Neveux **Isuf INDJAI**, **Elvis Fernandes da COSTA** et Nièces **Artemisa** et **Sandra TCHUDA** et autres que je n'aie pas mentionné leurs noms ;
- ♥ A tous mes amis (**Frei Victor Luis QUEMATCHA** et **Frei Raxido Marcelo dos SANTOS**) **Mefistofeles Kanquenpu da SILVA**, **Nenefelix MARTINS**, **Seydou KANTÉ**, **Alvaro VUMI Jr**, **Faustino NDOZI** et **Greb CATUMBELA** à **Mme Loubina** ;
- ♥ A mon Ambassade (**consul Malam MANÉ**), mes compatriotes qui sont en ici, en Algérie et au peuple Algérien (**Khemis-Miliana et Constantine**) ;
- ♥ A tous les Enseignants de l'Université de Khemis-Miliana en particulier les ces de département des Sciences de la terre ;
- ♥ A toute ma promotion Guinéen ici en Algérie et celle de Master II Hydrogéologie ;
- ♥ A toutes les personnes qui ont aider dans tous les moins ou formes qui m'encouragé au long de ce chemin d'étude, des premiers jours jusqu'à aujourd'hui.

Domingos Vanghe INFANDA

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE :	10
Chapitre I -	
I-1) Introduction :	2
I-2) Situation géographique de la région d'étude :	2
I.3 Démographie	3
I.3.1 Population actuelle	3
I.3.2 Population future	3
I.4 Répartition spatiale de lapopulation :	3
Chapitre II	
II-1) Introduction :	5
II-2) Les caractéristiques de formes :	5
II-2.1 Les caractéristiques de forme principales sont comme suit :	5
II-2.1. a) Indice de compacité de GraviliusKc :	5
II.2.1.b) Relief et caractérisé par la courbe hypsométrique ;	6
II.2.1.c) Le rectangle équivalent ou rectangle de Roche :	9
II-3) Les caractéristiques du réseau hydrographique :	11
II-4) Les facteurs physiographiques du bassin versant :	11
II-4. a) Densité de drainage :	11
II-4. b) Temps de concentration des eaux :	11
II-4. c) Vitesse de ruissellement :	12
II-5) Conclusion :	13
III-1) Introduction :	14
III-2) Etude des précipitations :	14
III-2. a) Réseau pluviométrique :	14
III-2. b) Etude des précipitations moyennes mensuelles de la période (2010– 2014) :	16
II-2. c) Etude des précipitations moyennes annuelles pour la période (1988 – 2009) :	20
III-2. d) Détermination de la lame d'eau précipitée :	22
III-2. d. 1) Calcul de la moyenne arithmétique :	22
III-2. d. 2) Calcul de la précipitation moyenne annuelle par la méthode de Thiessen:	23
III-2. d.3) Calcul de la précipitation moyenne annuelle par la méthode d'Isohyète :	25
III-3) Etude de température :	27

III-3. a) Température moyenne mensuelle période pour la période (1987-2007) :.....	27
III-3. b) Température moyenne annuelle :.....	27
III-4) Etude de l'évapotranspiration :.....	29
III-4. a) Etude de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :.....	30
III-4. a. 1) Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :.....	30
III-4. a. 2) Étude de l'évapotranspiration réelle (ETR) :.....	31
III-4. b) Formule de Thornthwaite :.....	32
III-5) Etude de l'infiltration :.....	33
III-6) Etude du ruissellement :.....	33
III-7) Conclusion :.....	34
IV-1) Introduction :.....	35
IV-2) La lithologie de la plaine de Khemis-Miliana(Haut Cheliff) :.....	35
IV-3) La Stratigraphie :.....	37
IV-4) La tectonique :.....	40
IV-5) Conclusion :.....	41
V-1) Introduction :.....	42
V-2) Les principaux aquifères de la région d'étude :.....	42
V-3) Le recouvrement :.....	43
V-4) La Piézométrie :.....	43
V-4. a) L'inventaire des points d'eau :.....	44
V-4. b) Calcul du gradient hydraulique :.....	46
V-4. c) Interprétation de la carte piézométrique :.....	46
V-5) Conclusion :.....	51
VI-1) Introduction :.....	52
VI-2) Analyse :.....	52
VI-2. a) Prélèvements :.....	52
VI-2. a. 1) Mode de prélèvements :.....	52
VI-2. a. 2) Conservation des échantillons en vue de l'analyse :.....	52
VI-2. b) Méthodes d'analyses :.....	53
VI-2. b. 1) Analyse in situ.....	53

VI-2. b. 2) Analyse au laboratoire :.....	53
VI-3) Résultats d'analyses :	53
VI-3. a) Représentation de faciès chimique des eaux souterraines :.....	54
VI-3. a. 1) Méthode de calcul :.....	54
VI-3. a. 2) Méthode de l'utilisation des diagrammes :	55
VI-4) Interprétation des résultats :	62
VI-4. a) Faciès chimique :	62
VI-4. b) Les graphiques :	62
VI-4. b. 1) Interprétation de résultats d'analyses des Cations de l'années 2010	62
VI-4. b. 2) Résultats d'analyses des Cations de l'années 2011	63
VI-4. b. 3) Interprétation de résultats d'analyses des Cations de l'années 2012	64
VI-4. b. 4) Interprétation de résultats d'analyses des Cations de l'années 2013	65
VI-4. b. 5) Interprétation de résultats d'analyses des Cations de l'années 2014	67
VI-4. b. 6) Interprétation de résultats d'analyses des Anions de l'années 2010.....	68
VI-4. b. 7) Interprétation de résultats d'analyses des Anions de l'années 2011.....	69
VI-4. b. 8) Interprétation de résultats d'analyses des Anions de l'années 2012.....	70
VI-4. b. 9) Interprétation de résultats d'analyses des Anions de l'années 2013.....	72
VI-4. b. 10) Interprétation de résultats d'analyses des Anions de l'années 2014.....	73
VI-4. c) Interprétation des résultats de Potentiel en Hydrogène (pH), hautes eaux :	74
VI-4. c. 1) Interprétation des résultats de Potentiel en Hydrogène (pH), basses eaux :.....	75
VI-4. d) Interprétation de la Conductivité Electrique (CE), hautes eaux :.....	77
VI-4. d. 1) Interprétation de la Conductivité Electrique (CE), basses eaux :	78
VI-5) Conclusion :	80
Conclusion générale et recommandations :	52

Liste des figures

Figure 1: Carte de localisation du Bassin versant de la plaine de Khemis-Miliana (Haut Cheliff).....	3
Figure 2 : Bassin versant représentatif de la région d'étude.	7
Figure 3: La courbe hypsométrique du bassin versant du Haut Cheliff.	8
Figure 4: Carte du réseau pluviométrique de la région d'étude	15
Figure 5 : Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles en (mm) période (1988-2009).....	19
Figure 6 : Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles en (mm) période (1988-2009) (SUITE).	19
Figure 7: Histogrammes des précipitations moyennes annuelles en (mm) période (2010-2014).	21
Figure 8 : Histogrammes des précipitations moyennes annuelles en (mm) période (2010-2014) (SUITE).21	21
Figure 9 : L'application de la méthode de polygone de THIESSEN	24
Figure 10: Carte d'isohyète pour la période (1988-2009).	26
Figure 11: Evaporation et évapotranspiration potentielle et réelle, (d'après Musy, 2002).	29
Figure 12: Coupe géologique à travers le bassin du Haut Cheliff. D'après (M. MATTAOUER et APERODON).....	36
Figure 13: Log litho stratigraphique de la région du Haut Cheliff.....	38
Figure 14 : Carte d'inventaire des points d'eaux.....	44
Figure 15: Carte piézométrique (Octobre 1992).	47
Figure 16: Carte piézométriques (Avril 1993)	47
Figure 17 : Carte piézométrique (Septembre 2002).	49
Figure 18: Carte piézométrique (Avril 2003).....	49
Figure 19: Carte piézométrique (Octobre 2008).	49
Figure 20: Carte piézométrique (Mai 2009).....	50
Figure 21: classification des faciès chimiques des eaux souterraines de la plaine du Khemis Miliana selon Piper (compagne d'Octobre 2010).	56
Figure 22: Evolution des faciès chimiques des eaux souterraines dans la plaine du Khemis-Miliana pour la période Hautes eaux Avril 2010 (diagramme de Piper).	57
Figure 23 : Diagramme d'évolution chimique de l'eau pour les trois zones (SCHOELLER) (basses eaux 2010/2011).	58
Figure 24 : Diagramme d'évolution chimique de l'eau pour les trois zones (SCHOELLER) (Hautes eaux 2010/2011).....	59
Figure 25: Variation de la teneur des Cations de l'année 2010.....	63
Figure 26: Variation de la teneur des Cations de l'année 2010.....	63
Figure 27: Variation de la teneur des Cations de l'année 2011	64
Figure 28: Variation de la teneur des Cations de l'année 2011	64
Figure 29: Variation de la teneur des Cations de l'année 2012.....	65
Figure 30: Variation de la teneur des Cations de l'année 2012.....	65
Figure 31 : Variation de la teneur des Cations de l'année 2013.....	66
Figure 32 : Variation de la teneur des Cations de l'année 2013.....	66
Figure 33: Variation de la teneur des Cations de l'année 2014.....	67
Figure 34: Variation de la teneur des Cations de l'année 2014.....	67
Figure 35: Variation de la teneur des Anions de l'année 2010	69
Figure 36: Variation de la teneur des Anions de l'année 2010	69

Figure 37: Variation de la teneur des Anions de l'année 2011	70
Figure 38: Variation de la teneur des Anions de l'année 2011	70
Figure 39: Variation de la teneur des Anions de l'année 2012	71
Figure 40: Variation de la teneur des Anions de l'année 2012	71
Figure 41: Variation de la teneur des Anions de l'année 2013	72
Figure 42: Variation de la teneur des Anions de l'année 2013	72
Figure 43: Variation de la teneur des Anions de l'année 2014	73
Figure 44: Variation de la teneur des Anions de l'année 2014	73
Figure 45: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2011	74
Figure 46: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2013	74
Figure 47: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2010	74
Figure 48: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2012	74
Figure 49: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2014	75
Figure 50: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2011	75
Figure 51: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2010	75
Figure 52: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2013	76
Figure 53: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2012	76
Figure 54: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2014	76
Figure 55: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2011	77
Figure 56: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2010	77
Figure 57: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2012	77
Figure 58: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2013	77
Figure 59: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2014	78
Figure 60: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2011	78
Figure 61: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2010	78
Figure 62: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2013	79
Figure 63: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2012	79
Figure 64: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2014	79

Liste des tableaux

Tableau 1: Altitudes et les pourcentages cumulés des superficies.	6
Tableau 2: Tableau récapitulatif des caractéristiques hydromorphologiques du bassin versant du Haut Cheliff.....	12
Tableau 3: Le réseau pluviométrique de la région d'étude.	14
Tableau 4: Précipitations moyennes mensuelles en (mm) période (1988-2009).....	18
Tableau 5: Les précipitations mensuelles maximales pour chaque station.	20
Tableau 6: Les précipitations annuelles maximales pour chaque station.	22
Tableau 7: Résultats obtenus par la méthode Theissen.	23
Tableau 8: Résultats obtenus par la méthode des isohyètes.	25
Tableau 9: Comparaison des résultats par les trois méthodes.	26
Tableau 10: Température moyenne mensuelle pour la période (1987-2007).....	27
Tableau 11: Températures moyennes annuelles de la période (1887-2007).	28
Tableau 12: ETP moyennes mensuelles et annuelles (cm) période (1987-2007).....	30
Tableau 13: Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) par la méthode de Turc.....	32
Tableau 14: Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) par la méthode de Thornthwaite.	32
Tableau 15: Inventaire des points d'eaux (établie par l'ANRH de Khemis-Miliana « réseau de surveillance puits et forages »).	45
Tableau 16: Variation du gradient hydraulique pour les différents périodes.	46
Tableau 17: Résultats d'analyses d'Octobre 2010 (Basses eaux).	53
Tableau 18: Résultats d'analyses d'Octobre 2010.	54
Tableau 19: Faciès chimique des eaux analysées en Octobre 2010. (Khemis Miliana).....	60
Tableau 20: Faciès chimique des eaux analysées en Avril 2010. (Khemis-Miliana).....	61

RESUME :

L'objectif principal de l'étude de l'évolution de qualité physique et chimique des eaux souterraines de la plaine de Khemis-Miliana (haute Cheliff), réside dans le fait de la dégradation que subissent les réserves d'eau souterraines en raison de la multiplication de la source de pollution. La ressource risque-t-elle de devenir inaccessible dans le temps.

Notre travail a porté sur l'évolution de la qualité physique ou chimique des eaux de plaine de Khemis-Miliana (Haut Cheliff). Les analyses ont porté sur les ions les plus abondants et les plus réactifs dans les eaux souterraines qui ont une relation directe avec les caractéristiques écologiques et hydrogéologiques. Il s'agit de quatre Cations (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) et quatre Anions (Cl^- , SO_4^{--} , NO_3^- , HCO_3^-). Nous avons enregistré une évolution de la qualité physique ou chimique des eaux de la plaine de Khemis-Miliana (haut cheliff), durant les cinq périodes de **2010, 2011, 2012, 2013 et 2014**. Représentés par des fortes teneurs, les différents paramètres physique ou chimique (Cations ou Anions) dépassent les normes fixées par OMS (Organisation Mondiale de la Santé). Ensuite nous avons classé ces eaux, selon la classification de STABLER et effectué l'échelle de dureté totale des eaux.

L'étude de l'évolution de la qualité physique ou chimique des eaux de plaine de **Khemis-Miliana (Haut Cheliff)** montre que ces eaux ont des faciès prédominants Chlorure-Calcaïque au Nord et Chlorure-Magnésique au Sud et à l'Ouest de la plaine.

Mots clé : Pollution, Eaux souterraines, Haut Cheliff

ABSTRACT:

The main objective of the study of the evolution of physical and chemical quality of the groundwater of the Khemis-Miliana plain (high Cheliff), lies in the fact of the degradation that the groundwater reserves undergo due to the multiplication of the source of pollution. Does the resource run the risk of becoming inaccessible over time?

Our work focused on changes in the physical or chemical quality of plain water from Khemis-Miliana (Haut Cheliff). The analyzes focused on the most abundant and responsive ions in groundwater which have a direct relationship with ecological and hydrogeological characteristics.

These are four Cations (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) and four Anions (Cl^{--} , So_4^{--} , No_3^- , Hco_3^-). We have recorded an evolution of the physical or chemical quality of the waters of the Khemis-Miliana plain (high chileff), during the five periods of 2010, 2011, 2012, 2013 and 2014. Represented by high contents, the different parameters physical or chemical (Cations or Anions) exceed the standards set by WHO (World Health Organizations). Then we classified these waters, according to the STABLER classification and carried out the total water hose scale.

The study of the evolution of the physical or chemical quality of the plain waters of Khemis-Miliana (Haut Cheliff) shows that these waters have predominantly Chloride-Calcium facies in the North and Chloride-Magnesian in the South and West of the plain.

Keywords: Pollution, Groundwater, Haut Cheliff

INTRODUCTION GENERALE :

L'eau est une source vitale, elle constitue le facteur indispensable des écosystèmes, sans cette ressource, il n'y a pas de vie. Le problème des ressources mobilisables ne se pose uniquement en termes de quantité disponible, la qualité de ces eaux pose certains problèmes par un effet de développement socio-économique tel que la pollution. Ou bien, **L'eau est essentielle pour tous les organismes vivants connus. Elle est constituée de gaz dissous et de substances minérales et organiques.**

Cependant, toute utilisation d'une eau doit se faire sur la base de connaissances bien détaillées des propriétés physico-chimiques, qui composent la qualité de cette dernière. Il est bien connu que ces propriétés varient dans l'espace et dans le temps d'une année à une autre et d'un point à un autre, en plus, la qualité des eaux souterraines ne dépend pas d'une seule propriété, mais de plusieurs en même temps.[7] - (BRADAI. A (2006)

La composition lithologique du sous-sol influence de manière significative de la qualité de l'eau souterraine. En outre, celle-ci dépend également de l'origine de l'eau et de son temps de séjour dans les couches aquifères. [12] - JEAN JACQUES COLLIN (2004)

Le principal objectif de cette étude, est de donner un aperçu sur l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la plaine du Haut Cheliff durant les années (2010–

2014). Grâce à un échantillonnage suffisamment représentatif de la nature des eaux de la région d'étude, aussi bien les eaux destinées à l'alimentation en eau potable que les eaux d'irrigation, pour cela, nous avons structuré notre travail en trois parties :

- Présentation de la région d'étude ;
- Paramètres influent sur la qualité des eaux souterraines ;
- Evolution de la qualité des eaux souterraines durant cinq périodes (**1993- 2009**).

En terminant par une conclusion générale et des recommandations.

Chapitre I - Presentation de la zone d'étude

I-1) Introduction :

La région d'étude correspond à la plaine de Khemis-Miliana(haut Cheliff). La continuité occidentale du djebel Zaccar (1578 m d'altitude), constitué au Nord de la plaine, au Sud les contreforts de l'Ouarsenis qui culminent plus de 200 m près de Bordj-Bounaama, à l'Est-elle est limitée par djebel Gountas et à l'Ouest par le mont de djebel Doui.

I-2) Situation géographique de la région d'étude :

La plaine alluviale du Haut Cheliff (**Figure N° 01**) d'une superficie de 370 Km² et de 270 m d'altitude moyenne, est située à 100 Km au Sud-Ouest d'Alger, limitée par :

- Le massif du Zaccar au Nord.
- Le massif de l'Ouarsenis au Sud.
- Le massif de Gountas à l'Est.
- Le massif du Doui à l'Ouest.

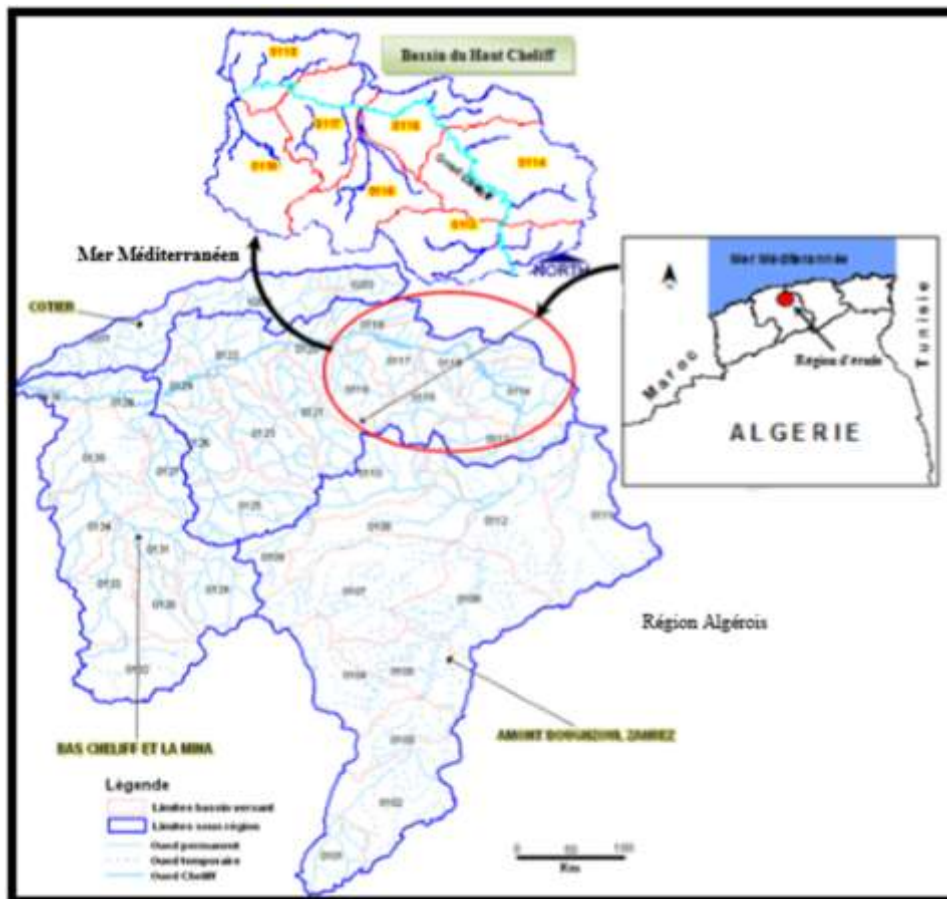


Figure 1: Carte de localisation du Bassin versant de la plaine de Khemis-Miliana (Haut Cheliff).

I.3 Démographie

Sur le plan démographique, la politique nationale de limitation de naissances a eu des effets palpables sur l'accroissement naturel de la population de la wilaya d'Ain defla. Une baisse importante du taux d'accroissement naturelle a été enregistrée durant la période entre (1967-1987) avec un taux de 3.22%, (1987-1998) avec un taux de 1.89%.

I.3.1 Population actuelle

La population dans versant d'hautchelif à la fin de 2011 est 809.105 habitants avec un taux d'accroissement de 1.3% dont 82.55% sont concentre en zones agglomérée et 17.45% uniquement en zone rurale.

I.3.2 Population future

Sur le flux assez important de la concentration en zone aggloméré y compris les agglomérations secondaires persiste dans la même proportion (plus de la moitié en 10 ans) la zone épars se retrouvera réduite du moitié et elle ne représentera que 8% en 2015 avec 528.227 habitats et 609.980 habitats à l'horizon 2020.

Cette population est concentrée surtout dans les agglomérations qui sont située au Nord de la plaine. Les plus importantes agglomérations sont Est en Ouest : (Djendel, Ain Sultane, Khemis-Miliana, Sidi Lakhdar, les Aribis et Ain Defla), tandis qu'au Sud de la plaine, la densité des agglomérations est minime, les plus importantes sont la ville de Djelida et de BirOueld Khalifa.

I.4 Répartitions spatiale de la population :

Du point de vue administratif, de la plaine de Khemis-Miliana (haut Cheliff), est extensif des agglomérations situe au niveau de la plaine est de type axial qu'englobe les communes attractives à forte concentration de la population.

Les communes de la plaine sont en nombre de 13, totalisant une population de 449.871 habitants, soit 57.29 de la population globale de la Wilaya. La population urbaine de ces communes est de 222.219 habitants soit 28.30% de la population totale de la Wilaya.

Les communes de Piémonts et des Montagnes sont en nombre de 23 comptent une population de 335.406 habitants soit 42.71% de la globalité des habitants de la Wilaya.

Dix (10) communes non touchées par le phénomène très étendu sont : Djelida, Arib, Miliana, Khemis-Miliana, Sidi Lakhdar, Djendel, Bir. O. Khelifa et Ain Sultane. Par contre Neuf (9) communes touchées par phénomènes rural ayant connu un retour massif de la population d'exode avec un impact positif des mesures préconisées pour le retour de la population sont : Ben Allel, Ain Benian, Ain Tork, Oued Chorfa, Birbouche, Bordj Emir Khalid, T.I. Ziad, Ain Lechiekh. [Mémoire M_2 , Mrs. Ismail II CHARFADINE et Abakar MOUSSA ABAKAR (2010/2011)]

CHAPITRE II - Etude Hydro climatique

II-1) Introduction :

Le bassin versant est défini comme l'étendue drainée par un cours d'eau et ses affluents et est limité par une ligne de partage des eaux. [2] - **ANDRE MUSY, CHRISTOPHE HIGY (2003)**

Au point de vue hydrologique, le bassin versant du Haut Cheliff se draine par l'Oued principal de Cheliff qui reçoit les affluents qui constituent les zones d'alimentation de la nappe alluviale, il s'agit d'Oued Souffay, Oued Raihene, Oued Boutane dans le Nord du bassin versant et Oued Deurdeur, Oued Massine, Oued Djellida et Oued Harraza dans la partie Sud du bassin versant.

Dans ce chapitre on va présenter les caractéristiques géomorphologiques du bassin versant du Haut Cheliff qui va nous permettre de déterminer la forme et la pente de ce bassin, ce dernier a pour but de déterminer la tendance d'écoulement ou l'infiltration des eaux.

II-2) Les caractéristiques de formes :

Le bassin versant du Haut Cheliff (**Figure N° 02**) est caractérisé par une superficie de 1935 Km² et un périmètre de 220 Km (revue hydrogéologique 2008 « ANRH de Khemis-Miliana »).

II-2.1 Les caractéristiques de forme principales sont comme suit :

- Indice de compacité de Gravilius ;
- Relief, caractérisé par la courbe hypsométrique ;
- Rectangle équivalent ;
- Indice de pente.

II-2.1. a) Indice de compacité de Gravilius Kc :

L'indice de compacité Kc de Gravelius, est défini comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant la même surface [2]- **ANDRE MUSY, CHRISTOPHE HIGY (2003)**, soit :

$$Kc = 0,282 \frac{P}{\sqrt{S}} \text{-----} 1$$

Où :

K_c : Indice de compacité de Gravelius ;

P : Périmètre du bassin versant en Km ;

S : Surface du bassin versant en Km²

Après l'application numérique de la formule N ° 01 on a trouvé que $K_c = 1.41$ ($K_c > 1$) ce qui signifie que le bassin versant du Haut Cheliff a une forme allongée, ce qui a pour effet des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus important et par conséquent d'accroître l'infiltration au dépend du ruissellement dans la mesure où la lithologie est perméable.

II.2.1.b) Relief et caractérisé par la courbe hypsométrique ;

La caractéristique la plus significative du bassin versant et la nature du relief constituent la courbe hypsométrique, cette courbe est obtenue comme suit :

- En ordonnées, l'altitude considérée ;
- En abscisses, le pourcentage de superficies cumulées ;

II.2.1.a.1) La Courbe hypsométrique :

Elle représente la répartition des altitudes en fonctions des pourcentages cumules des surfaces. Elle est tracée à l'aide de données de tableau (N°01) et qui a permis de calculer l'altitude moyenne, l'altitude de fréquence ½ et l'indice de pente globale. L'altitude moyenne est calculée par la relation.

La courbe hypsométrique est tracée à l'aide du tableau N° 01 :

Tableau 1: Altitudes et les pourcentages cumulés des superficies.

Altitude (m)	H_{moy} (m)	Superficie Partielle		Surface Cumulée %	$H_{moy} \cdot S_i$
		S_i (Km ²)	% S_i		
200-400	300	898.20	46.4	100	269462.9
400-600	500	528.7	27.3	53.64	264330.2
600-800	700	277.2	14.3	26.32	194013.3
800-1000	900	148.8	7.7	12	133961.5
1000-1200	1100	51.3	2.7	4.3	56458.9
1200-1500	1350	30.8	1.6	1.6	41574.3

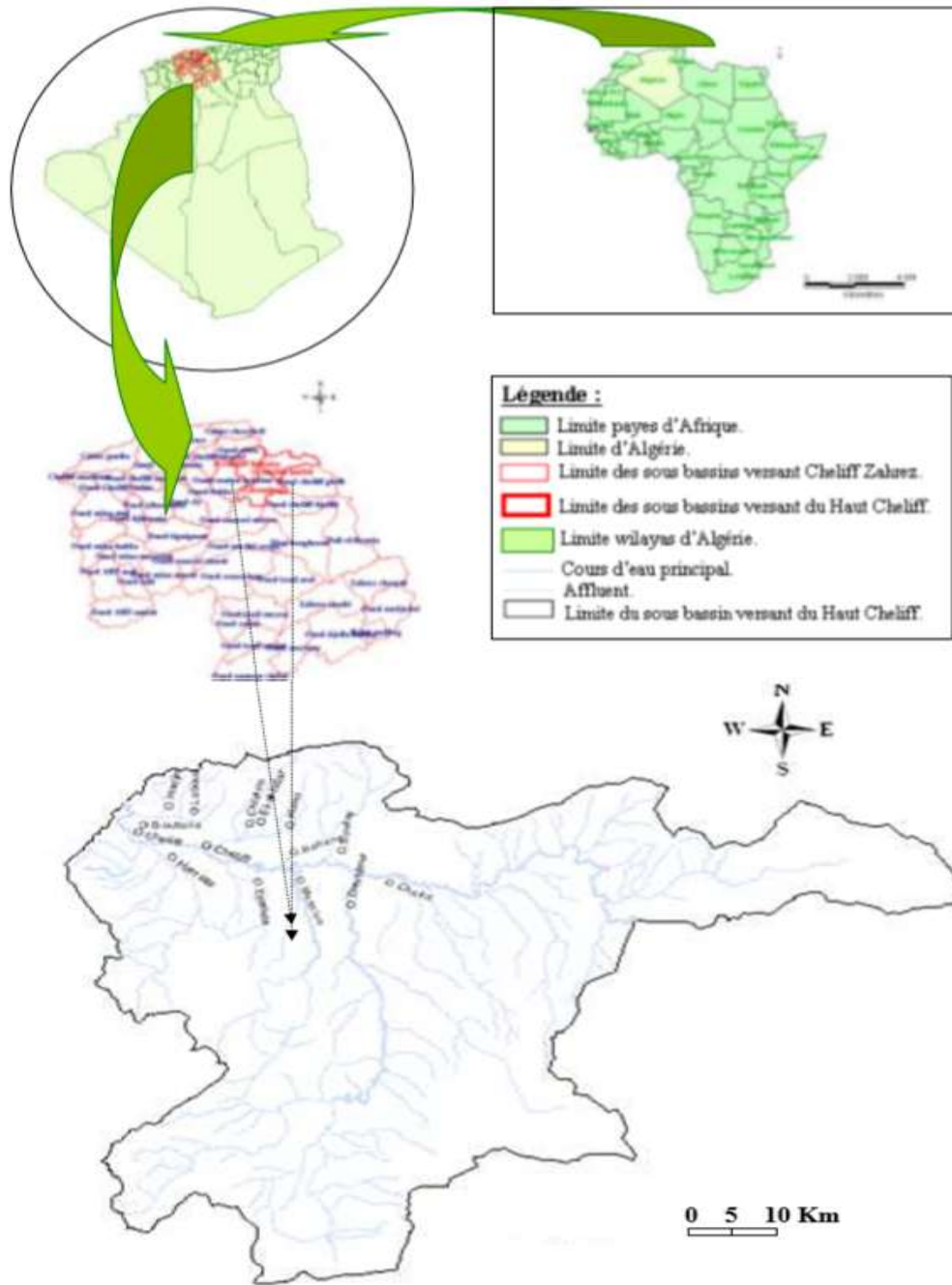


Figure 2 : Bassin versant représentatif de la région d'étude.

A partir de cette courbe, on détermine :

- L'altitude à 95 % de la surface, $H_{95\%} = 300$ m ;
- L'altitude à 5 % de la surface, $H_{5\%} = 1050$ m ;
- L'altitude médiane, $H_{50\%} = 500$ m

L'altitude moyenne est ainsi définie :

$$H = \frac{\sum Si \times Hi}{S} \dots\dots\dots 2$$

H = 4 96.04 m

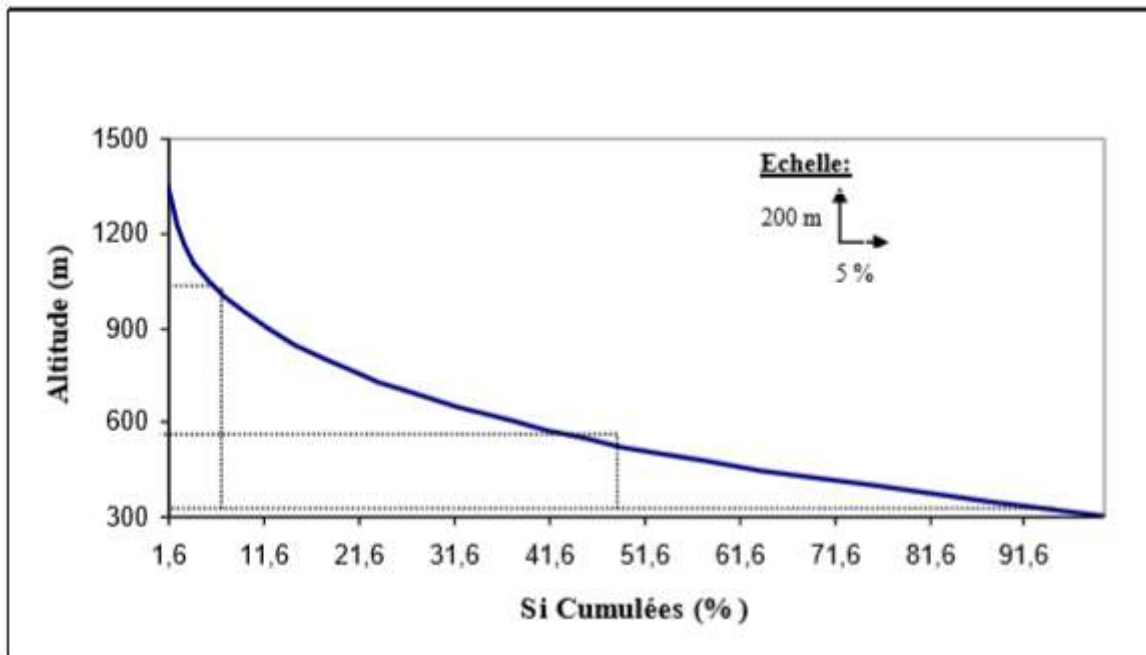


Figure 3: La courbe hypsométrique du bassin versant du Haut Cheliff.

II.2.1.c) Le rectangle équivalent ou rectangle de Roche :

Le rectangle équivalent est nécessaire dans le calcul de la pente, cette méthode permet de comparer facilement des bassins versants entre eux en ce qui concerne l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement. [2] - **ANDRE MUSY, CHRISTOPHE HIGY (2003)**

La détermination de la longueur et de la largeur du rectangle équivalent s'effectue à l'aide des équations suivantes :

$$K = \frac{Kc\sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc}\right)^2} \right] \text{-----03}$$

$$K = \frac{Kc\sqrt{S}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc}\right)^2} \right] \text{-----04}$$

Où :

L : Longueur du rectangle équivalent (Km) ;

l : Largeur du rectangle équivalent (Km) ;

S : Surface de bassin versant (Km²) ;

KC : Indice de compacité de Gravelius ;

Après le calcul on a trouvé L= 89.06 Km et l = 22.15 Km ce qui montre que la longueur L corresponde à quatre (04) fois la largeur l et confirme ainsi l'allongement du bassin versant.

II.2.1.d) Les indices de pente**II.2.1.d.1) Les indices de pente globale :**

L'indice de pente globale basé sur la fonction de répartition des altitudes du bassin versant (**courbe hypsométrique**), est l'indice de pente globale défini par : [2] - **ANDRE MUSY, CHRISTOPHE HIGY (2003)**

$$I_g = \frac{\Delta H}{L_r} \text{-----05}$$

Où :

$$\Delta H = H_{5\%} - H_{95\%} \text{-----06}$$

La dénivelée totale est égale à 750 m ;

L_r : Longueur du rectangle équivalent

Pour le bassin versant du Haut Cheliff, on a donc : $I_g = 8.42$ m/Km

II.2.1.d.2) Indices de pente moyenne :

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Cette variable influence donc le débit maximal observé. Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol. [21] -

Site Internet : <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/chapitre2.html>

$$I_m = \frac{\Delta H}{L_r} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L_r} \text{-----06}$$

$$I_m = 0.0145 \text{ Ou } 1.45 \%$$

II-2.1. d.3) Dénivelée spécifique D_s :

La dénivelée spécifique permet d'utiliser la classification de l'IRD (Ex O.R.O.S.T.O.M) (tableau N° 02) qui permet de définir les différents types de relief des bassins versants quelque soient leurs superficies [17] - SARI AHMED (2002). Elle est calculée comme suit, On a :

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{S} \text{-----07}$$

Où :

D_s : Dénivelée spécifique ;

I_g : Indice de pente ;

S : Superficie du bassin versant. Ce qui implique que $D_s=370.4$ m.

D'après la classification de l'IRD (Ex O.R.O.S.T.O.M), le **tableau N°02** dans l'annexe, le bassin versant du Haut Cheliff présente un relief fort (R5), car : **250 < D_s < 500 m**.

II-3) Les caractéristiques du réseau hydrographique :

Les eaux issues des principaux affluents représentés par les Oueds Souffay, Boutane et Raihane au Nord et les Oueds Derdeur, Massine et Harraza au Sud (Figure N° 02), sont collectées au centre de la plaine avec l'Oued Cheliff qui constitue l'axe de drainage principale de la plaine vers l'exutoire au niveau de Mostaganem.[6] - **BOUZIANE RAHMANI (2006)**

II-4) Les facteurs physiographiques du bassin versant :

II-4.a) Densité de drainage :

C'est le rapport entre la longueur totale de tous les cours d'eau et la superficie du bassin versant :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} \text{ -----08}$$

D_d : Densité de drainage ;

L_i : Longueur totale de tous les cours d'eau ;

S : Superficie totale du bassin versant ;

Pour le bassin versant du Haut Cheliff,

$L_i = 1037$ Km, donc :

$D_d = 0.54$ Km / Km²

II-4.b) Temps de concentration des eaux :

C'est le temps nécessaire à l'eau pour s'écouler du point hydrologique le plus éloigné en amont du bassin versant jusqu'à l'exutoire [17] - **SARI AHMED (2002)** Pour le déterminer on utilise la formule de GIANDOTTI:

$$T_c = \frac{1,5L + \sqrt[4]{S}}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \text{-----} \mathbf{09}$$

Où :

L : Longueur du cours d'eau principal (L = 70.17Km) ;

S : Surface totale du bassin versant Km² ;

H_{moy} : Altitude moyenne (496.04 m) ;

H_{min} : Altitude minimale (200 m).

Après calcul on a trouvé que le temps de concentration des eaux dans le bassin versant du Haut Cheliff est de **20.43 heures**.

II-4. c) Vitesse de ruissellement :

Elle est calculée par la formule suivante :

$$V_r = \frac{L_p}{T_c} \text{-----} \mathbf{10}$$

$$V_r = 2,4 \text{ Km/H}$$

Où :

V_r : Vitesse de ruissellement ;

L_p : Longueur de thalweg principal en Km (48.6 Km) ;

T_c : Temps de concentration en heures.

Les caractéristiques du bassin versant du Haut Cheliff sont récapitulées dans **le tableau N° 03** :

Tableau 2: Tableau récapitulatif des caractéristiques hydromorphologiques du bassin versant du Haut Cheliff.

Paramètre	Symboles	Unité	Les résultats
Surface du bassin versant	S	Km ²	1935
Périmètre du bassin versant	P	Km	220
Indice de compacité	Kc	-	1.41
Longueur du rectangle équivalent	L	Km	89.06
Largeur du rectangle équivalent	l	Km	22.15
Altitude maximale	H_{max}	m	1500
Altitude minimale	H_{min}	m	200
Altitude moyenne	H_{moyen}	m	496.04

Altitude à 5 % de la surface	$H_{5\%}$	m	1050
L'altitude à 95 % de la surface	$H_{95\%}$	m	300
L'altitude médiane	$H_{50\%}$	m	500
Indice de pente globale	I_g	m/Km	8.42
Indice de pente moyenne	I_m	%	1.45
Dénivelée spécifique	D_s	m	370
Densité de drainage	D_d	Km/Km^2	0.54
Temps de concentration	T_c	h	20.43
Vitesse de ruissellement	V_r	Km/H	2.4

II-5) Conclusion :

D'après l'étude géomorphologique, nous constatons que le bassin versant de la plaine de Khemis-Miliana (Haut Cheliff) a une forme allongée, ce qui a pour effet que le temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire est plus important et par conséquent l'infiltration s'accroît.

Ainsi après la détermination des différents paramètres du relief on trouve que le bassin du Haut Cheliff a une pente faible ce qui favorise l'infiltration des eaux.

CHAPITRE III : Etude des précipitations

III-1) Introduction :

La plaine du Haut Cheliff est caractérisée par un climat semi-aride avec des influences sahariennes en été et des influences méditerranéennes en hiver, caractérisée par deux saisons distinctes : un hiver froid et un été chaud.[9] - **DERBAL. S et BENALI. F (2004)**

[20] - **TIMTAOUSSINE.H (2003)**

La détermination des différents paramètres climatologiques tels que les précipitations et la température ont pour but d'établir le bilan hydrologique.

III-2) Etude des précipitations :**III-2. a) Réseau pluviométrique :**

Le bassin versant du Haut Cheliff est équipé par dix-huit (18) stations pluviométriques dont les caractéristiques sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau 3: Le réseau pluviométrique de la région d'étude.

N°	Code de stations	Noms des stations	Coordonnées		
			X(m)	Y(m)	Z(m)
1	011510	DOMAINE FERROUKHI	469800	321550	313
2	011512	AIN SULTAN PEP	465500	325950	285
3	011514	DJENANE B O	475650	325200	320
4	011601	MARABOUT BLANC	460175	315600	368
5	011603	BORDJ EL AMIR AEK	461100	285300	1080
6	011604	KHERBA OD HELLAL	482250	293300	1240
7	011605	THENEIT EL HAD	439800	285650	1150
8	011606	SIDI MOKREFI	463200	304250	425
9	011609	DEURDEUR BGE	458800	300050	575
10	011702	ARIB CHELIF	439500	332550	230
11	011703	BORDJ EL AMIR KHALED	455850	313800	370
12	011711	SIDI LAKHDAR	452000	329650	250
13	011715	EL ABABSA	443900	318500	113
14	011717	EL KHEMIS ANRH	456200	329000	300
15	011718	HARREZA BGE	445350	321400	312
16	011801	ARIB EBDA	439650	335550	280
17	011803	SIDI MEDJAHED	452150	337050	850
18	011804	AIN DEFLA	434600	329900	270

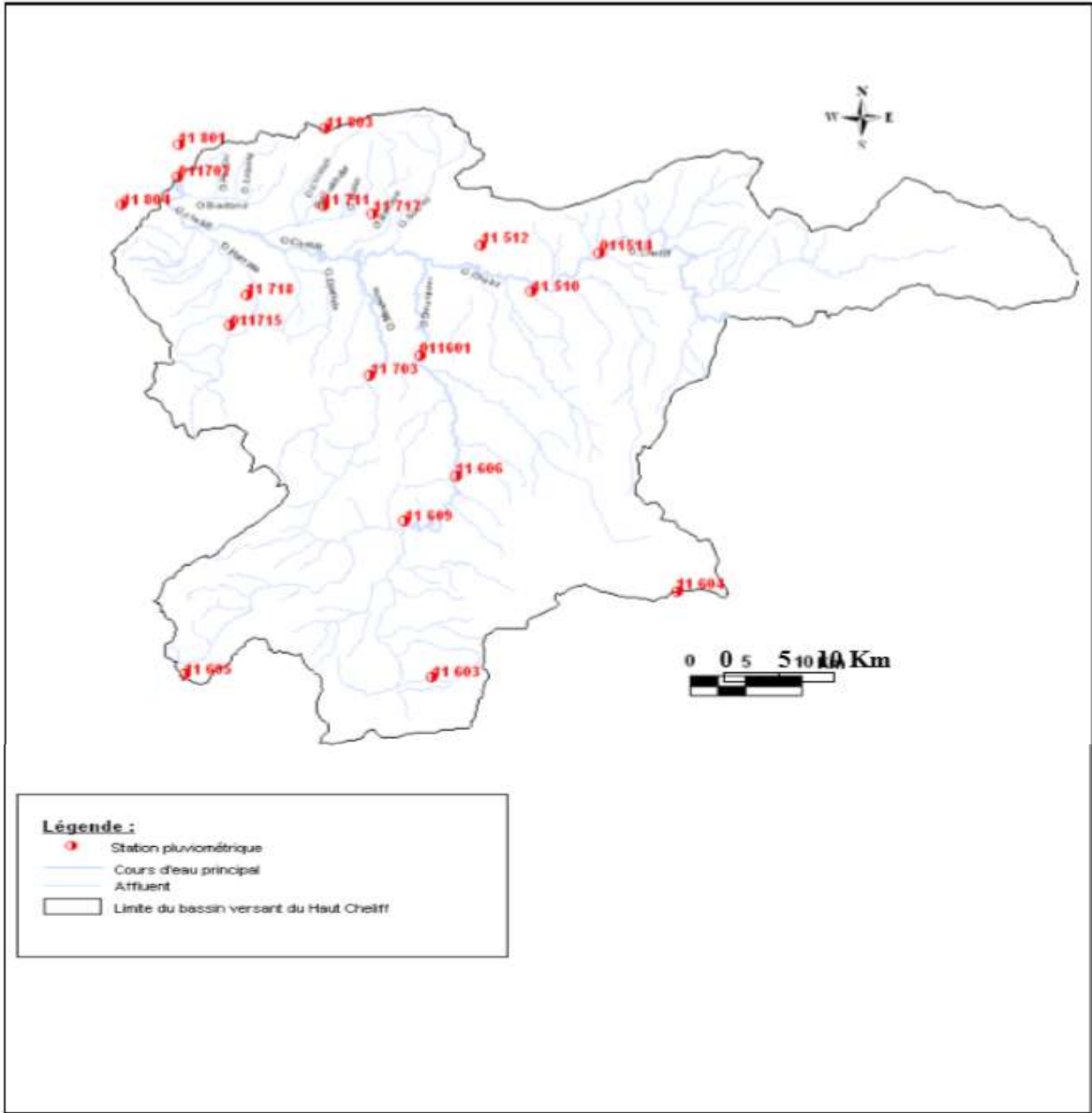


Figure 4: Carte du réseau pluviométrique de la région d'étude

III-2. b) Etude des précipitations moyennes mensuelles de la période (2010– 2014) :

Les données relatives aux précipitations moyennes mensuelles de chaque station pour la période (1988 – 2009) sont mentionnées dans les tableaux N° 05 - 22 (annexe), par manque des données au niveau des stations, et pour l'établissement du bilan nous avons comblé les lacunes des données pluviométriques par la méthode de régression linéaire.

La régression linéaire est une méthode qui permet de relier mathématiquement deux stations entre elles, pour étendre et homogénéiser une série plus longue, pour cela le calcul du coefficient de corrélation et la droite de régression s'effectuent à l'aide des relations suivantes[15] - **MESSALMI HAYET (2004) :**

➤ **Coefficient de corrélation :**

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \text{-----} 11$$

Où :

r : Coefficient de corrélation ;

n : Le nombre de couples d'observation (X_i, Y_i) ;

La valeur de **r** peut varier entre **-1** (corrélation négative et parfaite) et **+1** (corrélation positive et parfaite). Plus les points sont étroitement alignés selon une droite, plus la valeur de coefficient de corrélation sera élevée en s'approchant de **+1 ou -1** selon le cas.[17] - **SARI AHMED (2002)**

$$Y_i = b_0 + b_1 x_1 \text{-----} 12$$

Où :

b_0 : Ordonnée à l'origine ;

b_1 : Pente de la droite.

➤ **La droite de régression :**

On va essayer d'établir l'équation de la liaison linéaire existant entre les deux variables x et y. La droite qui s'ajuste le mieux aux observations s'appelle la droite de régression. Cette droite est un outil de prévision. On pourra estimer ou prévoir à l'aide de cette équation les valeurs d'une variable à partir des valeurs prises par l'autre variable. On a choisi y comme variable dépendante ou expliquée et x comme variable indépendante ou explicative.[17] - SARI AHMED (2002) Soit un échantillon de n couples d'observations (xi, yi) et soit l'équation de la droite :

$$Y_i = b_0 + b_1x_1 \text{-----12}$$

Où :

b_0 : Ordonnée à l'origine ;

b_1 : Pente de la droite.

$$b_1 = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum(X_i - \bar{X})^2} \text{-----13}$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1\bar{x} \text{-----14}$$

Avec :

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \text{ et } \bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} \text{-----15}$$

Le calcul de précipitation moyenne mensuelle a été réalisé par la formule suivante :

$$\bar{P} = \frac{\sum P_m}{n} \text{-----16}$$

Où :

\bar{P} : Précipitation moyenne mensuelle en (mm) ;

P_m : Précipitation moyenne mensuelle de chaque année en (mm) ;

n : Nombre des années ;

Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau 4: Précipitations moyennes mensuelles en (mm) période (1988-2009)

Mois Stations	Set	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
011510	21.3	33.4	44.1	45.4	56.2	42.4	42.1	38.4	30.7	6.6	2.8	5.02
011512	20.3	32.6	46.5	58.9	59.1	50.4	41.9	42.5	25.7	4.8	2.8	4.4
011514	22.4	33.9	49.7	63.2	70.3	47.3	40	44.3	31.3	12.7	0.7	6
011601	20.5	26.6	33,6	39.4	41.1	32.8	35.1	35.4	27	5.2	3.4	3.8
011603	35.5	40.3	44.4	54.6	73.1	41.8	42.7	40.4	33.1	8.1	5.5	7.9
011604	23.2	37.1	35,9	44.2	44.2	31.2	36.8	45.3	34.3	6.5	3.8	3.3
011605	33.1	46.7	59,6	71.1	74.7	56.1	62.1	56.4	36.6	7.8	5.9	13.1
011606	23.6	40.1	38,2	46.2	50.8	36	38.8	35.2	28.2	6.05	5.9	6.4
011609	27.7	41.3	39,5	54.6	62.5	45.8	46.1	38.8	32.3	7.5	3.7	8.4
011702	21.2	25.6	51,8	55	56.5	48.6	44.4	41.1	31.01	5.3	1.3	5.1
011703	19.9	26.4	34,3	39.2	43.1	33.8	34.7	37.8	24.1	5.3	4.2	4.8
011711	20.4	28.3	50,3	49.6	51.6	42.6	44.4	36.9	21.02	7.9	2.8	5
011715	21.4	27.9	38,5	45.4	45.5	41.9	38.6	40.01	23.5	5.02	1.6	4.6
011717	24.9	33.6	51,9	55.03	46.6	47.5	43.9	39.3	24.1	9.01	2.5	5.4
011718	26.2	27	39,9	46.4	44.5	41.7	39.6	36.04	22.9	8.5	2.3	5.9
011801	25	28.3	61,2	68.6	72	57.8	56.1	47	26.6	6.5	2.2	5
011803	23.5	37.4	72,9	78.2	104.01	63.5	68.3	55.5	34.9	6.8	3.4	5.7
011804	22.6	27.3	54,2	54	56.3	48	49.4	43.9	29.2	6.7	2.5	4.8

Figure N° 05 : Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles en (mm) période (1988-2009).

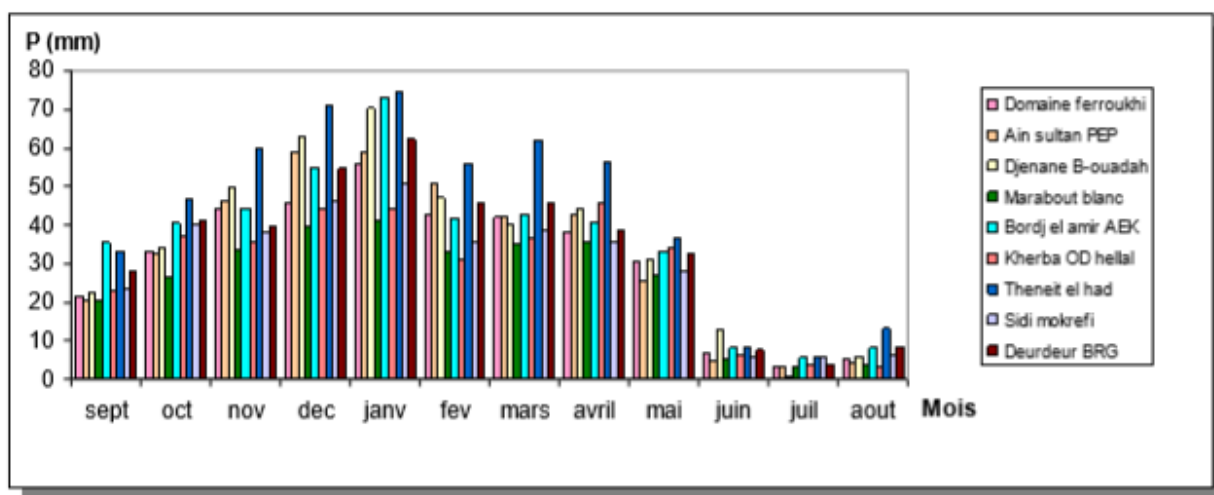


Figure 5 : Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles en (mm) période (1988-2009).

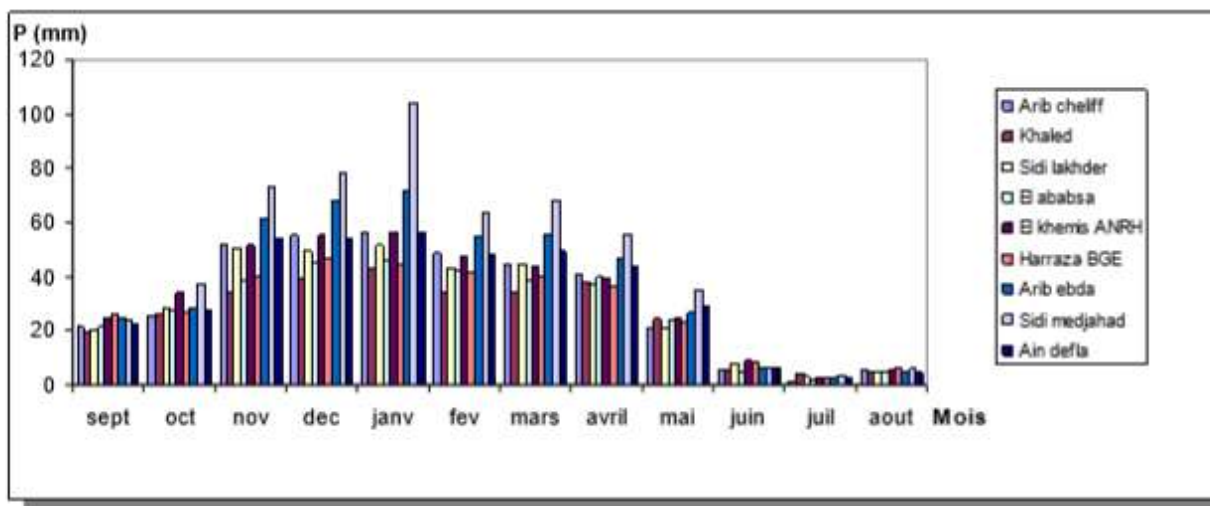


Figure 6 : Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles en (mm) période (1988-2009) (SUITE).

Sous la lumière des valeurs mentionnées dans le **tableau N°5** et suivant l'analyse, on distingue que le mois le plus pluvieux pour toutes les stations est le mois de Janvier et pour la station 11718 « HARRAZA BGE » est le mois de Décembre :

Tableau 5: Les précipitations mensuelles maximales pour chaque station.

Station	Nom station	X (m)	Y (m)	Z (m)	P max (mm)
011510	DOMAINE FERROUKHI	469800	321550	313	56.2
011512	AIN SULTAN PEP	465500	325950	285	59.1
011514	DJENANE B O	475650	325200	320	70.3
011601	MARABOUT BLANC	460175	315600	368	41.1
011603	BORDJ EL AMIR AEK	461100	285300	1080	73.1
011604	KHERBA OD HELLAL	482250	293300	1240	44.2
011605	THENEIT EL HAD	439800	285650	1150	74.7
011606	SIDI MOKREFI	463200	304250	425	50.8
011609	DEURDEUR BGE	458800	300050	575	62.5
011702	ARIB CHELIF	439500	332550	230	65.5
011703	BORDJ EL AMIR KHALED	455850	313800	370	43.1
011711	SIDI LAKHDAR	452000	329650	250	51.6
011715	EL ABABSA	443900	318500	313	45.5
011717	EL KHEMIS ANRH	456200	329000	300	56.6
011718	HARREZA BGE	445350	321400	312	46.4
011801	ARIB EBDA	439650	335550	380	72
011803	SIDI MEDJAHED	452150	337050	850	104.01
011804	AIN DEFLA	434600	329900	270	56.3

II-2. c) Etude des précipitations moyennes annuelles pour la période (1988 – 2009) :

La précipitation moyenne annuelle période (1988-2009) est calculée par la formule suivante :

$$\bar{P} = \frac{\sum P_n}{n} \text{-----17}$$

Où :

\bar{P} : Précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

P_n : Précipitation moyenne annuelle de chaque année en (mm) ;

n : Nombre des années ;

Les résultats obtenus sont illustrés dans **le tableau N°6** dans l'annexe :

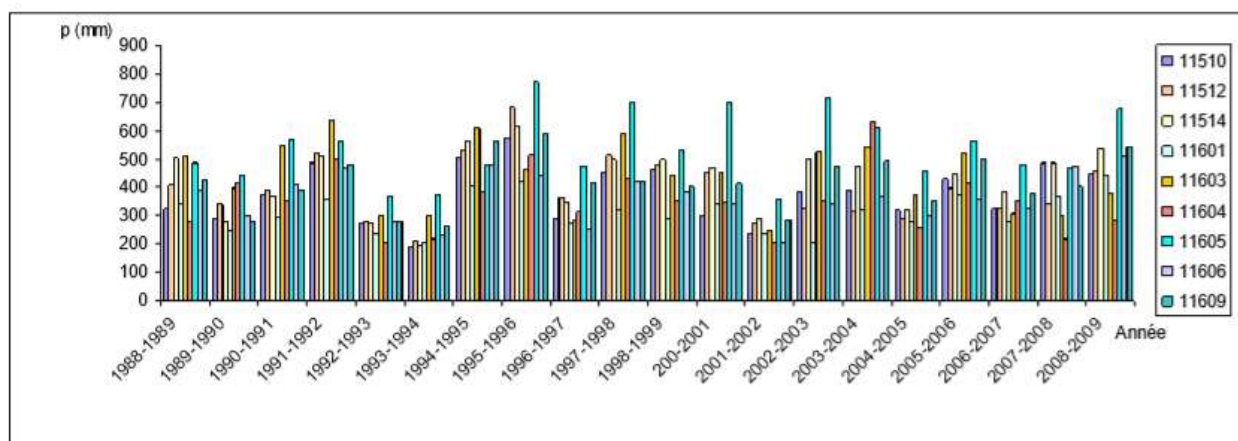


Figure 7: Histogrammes des précipitations moyennes annuelles en (mm) période (2010-2014).

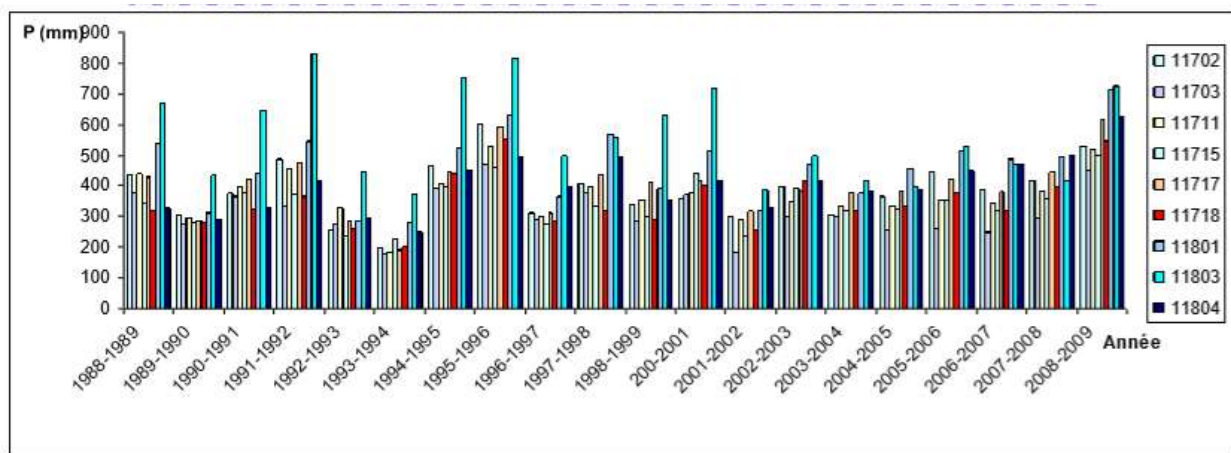


Figure 8 : Histogrammes des précipitations moyennes annuelles en (mm) période (2010-2014) (SUITE).

A partir du **tableau N°6** en annexe et l'analyse des histogrammes on trouve que les années les plus pluvieuses sont respectivement (2010, 2011, 2013 et 2014) avec un maximum pour la station de Sidi medjehed est de 831.5 mm en (2010-2014).

Tableau 6: Les précipitations annuelles maximales pour chaque station.

Stations	Nom de Stations	X (m)	Y (m)	Z (m)	P max (mm)
011510	DOMAINE FERROUKHI	469800	321550	313	573.3
011512	AIN SULTAN PEP	465500	325950	285	684.5
011514	DJENANE B O	475650	325200	320	612.2
011601	MARABOUT BLANC	460175	315600	368	440
011603	BORDJ EL AMIR AEK	461100	285300	1080	639.2
011604	KHERBA OD HELLAL	482250	293300	1240	130.8
011605	THENEIT EL HAD	439800	285650	1150	772.5
011606	SIDI MOKREFI	463200	304250	425	510.2
011609	DEURDEUR BGE	458800	300050	575	589.4
011702	ARIB CHELIF	439500	332550	230	602.5
011703	BORDJ EL AMIR KHALED	455850	313800	370	469.5
011711	SIDI LAKHDAR	452000	329650	250	528
011715	EL ABABSA	443900	318500	313	495.5
011717	EL KHEMIS ANRH	456200	329000	300	612.9
011718	HARREZA BGE	445350	321400	312	552.1
011801	ARIB EBDA	439650	335550	280	714.9
011803	SIDI MEDJAHED	452150	337050	850	831.5
011804	AIN DEFLA	434600	329900	270	627.1

III-2. d) Détermination de la lame d'eau précipitée :

III-2. d. 1) Calcul de la moyenne arithmétique :

$$P_{moy} = \frac{\sum P_i}{n} \text{-----18}$$

P_{moy} : Précipitation moyenne annuelle sur le bassin versant (mm) ;

P_i : Pluie moyenne annuelle au niveau de la station i (mm) ;

n : Nombre des stations ;

Après calcul on a trouvé que la pluie moyenne annuelle par la méthode arithmétique est de : 393,02 mm.

III-2. d. 2) Calcul de la précipitation moyenne annuelle par la méthode de Thiessen:

Cette méthode ne tient compte que de la distribution spatiale en plan des stations pluviométriques. Elle ne tient compte ni de la topographie, ni d'autres facteurs qui pourraient influencer la distribution spatiale de la pluie.[17] - SARI AHMED (2002)

Elle est déterminée par la formule suivante :

$$P_{moy} = \frac{\sum P_i \times S_i}{S} \text{-----19}$$

Où :

P_{moy} : Précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

P_i : Pluie moyenne annuelle de chaque station pluviométrique (mm) ;

S_i : Surface des polygones considérés (Km^2) ;

Tableau 7: Résultats obtenus par la méthode Thiessen.

N°	Code de stations	Nom de stations	Surface Km^2	Pluies moyens annuelles
1	011510	DOMAINE FERROUKHI	119.0	368.6
2	011512	AIN SULTAN PEP	74.1	390
3	011514	DJENANE B O	420.1	422
4	011601	MARABOUT BLANC	80.1	303.8
5	011603	BORDJ EL AMIR AEK	158.5	427.5
6	011604	KHERBA OD HELLAL	101.5	346
7	011605	THENEIT EL HAD	88.9	532.2
8	011606	SIDI MOKREFI	170.8	355.4
9	011609	DEURDEUR BGE	177.4	408
10	011702	ARIB CHELIF	37.6	377
11	011703	BORDJ EL AMIR KHALED	110.9	307.8
12	011711	SIDI LAKHDAR	57.6	360.7
13	011715	EL ABABSA	109.5	334.4
14	011717	EL KHEMIS ANRH	80.9	393.8

15	011718	HARREZA BGE	70.0	341
16	011801	ARIB EBDA	7.2	453.3
17	011803	SIDI MEDJAHED	46.6	554.2
18	011804	AIN DEFLA	23.4	398.7

L'application de cette méthode est illustrée sur la figure N°09 :

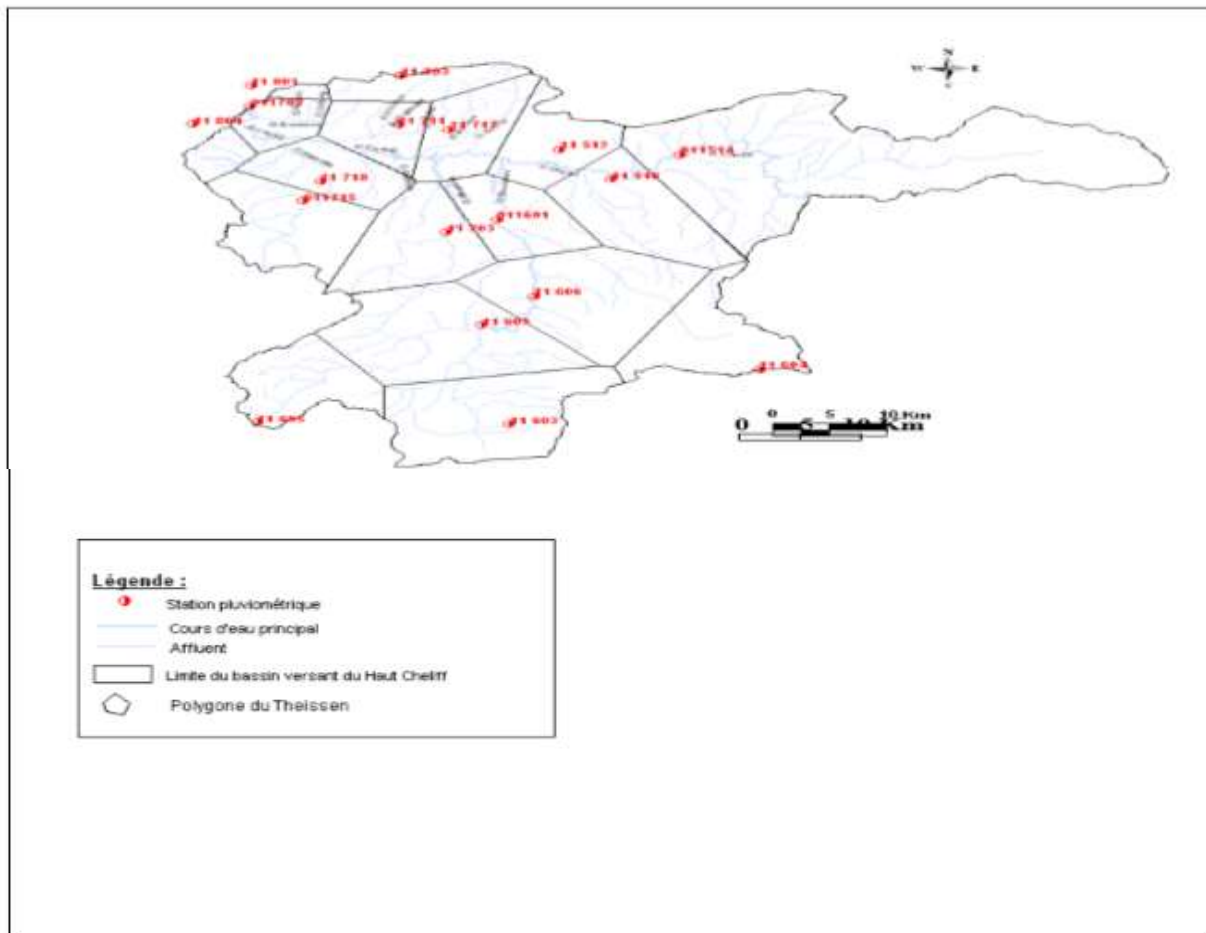


Figure 9 : L'application de la méthode de polygone de THIESSEN

A partir des résultats obtenus par la méthode des polygones de Thiessen pour la période (2010-2014), la précipitation moyenne annuelle du bassin versant du Haut Cheliff est de 391,2 mm.

III-2. d.3) Calcul de la précipitation moyenne annuelle par la méthode d’Isohyète :

Les isohyètes sont définies comme le lieu des points d’égal hauteur de précipitation pour une période considérée. Pour tracer de telles courbes, il faut implicitement effectuer des interpolations entre les postes pluviométriques.[17] - SARI AHMED (2002)

Tableau 8: Résultats obtenus par la méthode des isohyètes.

H	Surface Km ²	Pi
<320	55.9	320
320-360	573.7	340
360-400	477.7	380
400-440	618.9	420
440-480	168.8	440
480-520	35.4	480
520>	4.6	520

La précipitation moyenne est déterminée par la formule suivante :

$$P = \frac{\sum S_i \times P_i}{S} \text{-----} 20$$

P : Pluie moyenne annuelle en (mm) ;

S_i : Surface entre deux isohyètes successives (km²) ;

P_i : Pluie moyenne entre deux isohyètes successive (mm) ;

La précipitation moyenne annuelle du bassin versant du Haut Cheliff obtenu par la méthode des isohyètes pour la période (1988-2009) est de l’ordre de : P = 386,2 mm

L’application de cette méthode est illustrée dans la figure N°10 :

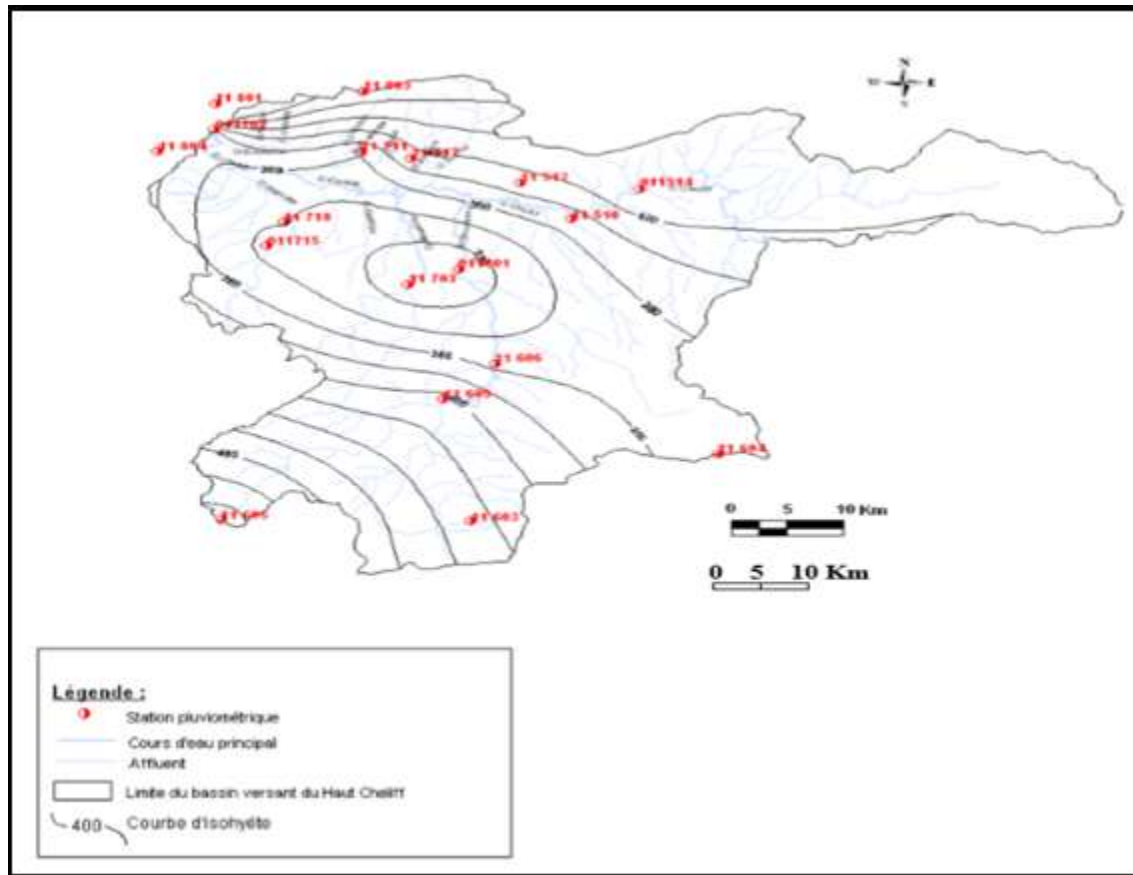


Figure 10: Carte d'isohyète pour la période (1988-2009).

III-2. d.3.1) Comparaison des résultats :

Les résultats de précipitation moyenne annuelle obtenus par les trois méthodes sont portés dans le **tableau N° 9**.

Tableau 9: Comparaison des résultats par les trois méthodes.

Méthode	Arithmétique	Theissen	Isohyète
P(mm) Calculé	393.02	391.2	386.2

On a choisi la précipitation moyenne annuelle calculée par la méthode de Theissen par ce que c'est la valeur médiane entre les méthodes de calcul.

III-3) Etude de température :

III-3. a) Température moyenne mensuelle période pour la période (1987-2007) :

Tableau 10: Température moyenne mensuelle pour la période (1987-2007)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aut
Stations												
Station de Harraza	23.5	20.4	14.2	10.6	9.6	13.20	13.20	15.6	20	24.1	29.1	29.3
Station de Ghrib	22.6	19.04	13.2	9.7	8.8	9.5	12.5	15.2	19.4	23.9	27.3	27.7

A partir du tableau ci-dessus on remarque que le mois le plus froid est le mois de Janvier, et le mois le plus chaud est le mois d'Août pour les deux stations.

III-3. b) Température moyenne annuelle :

D'après l'analyse des résultats illustrés dans le tableau suivant on constate que les années les plus chaudes sont (1989-1990) et (2001-2002) avec une température de 19.2 °C dans la station de Harraza et l'année (2004-2005) dans la station de Ghrib avec une température de 19.04 °C. Ainsi l'étude de la température moyenne annuelle aux stations pour la période (1987/2007) montre que celle-ci est comprise entre 18.31 et 17.4 °C, dans ce cas l'écart thermique est dû à l'influence du relief.

Tableau 11: Températures moyennes annuelles de la période (1887-2007).

Stations Années	Stations d'Harraza	Stations de Ghrib
1987-1988	19.1	16.4
1988-1989	19.1	15
1989-1990	19.2	15.8
1990-1991	17.8	16.1
1991-1992	17.4	15.3
1992-1993	15.7	16.3
1993-1994	18.1	17.5
1994-1995	17.9	17.9
1995-1996	17.7	17.5
1996-1997	18.4	18
1997-1998	18.8	18.2
1998-1999	16.8	18
1999-2000	19.1	18.8
2000-2001	19.1	18.5
2001-2002	19.2	18.3
2002-2003	18.7	18.6
2003-2004	18.3	17.8
2004-2005	19.1	19.04
2005-2006	17.8	17.5
2006-2007	18.9	18.2
Moyenne	18.31	17.4

III-4) Etude de l'évapotranspiration :

L'évaporation est une des composantes fondamentales du cycle hydrologique et son étude est essentielle pour connaître le potentiel hydrique d'une région ou d'un bassin versant. En général, des analyses spécifiques d'évaporation devront être faites pour des études de bilan et de gestion de l'eau par les plantes. [2] - **ANDRE MUSY, CHRISTOPHE HIGY (2003)**

L'évapotranspiration est la combinaison de l'évaporation physique et de la transpiration biologique d'un milieu qui résulte bien d'un ensemble de processus d'une grande complexité.[18] - **SADEUK BEN ABBES A (2006)**, Nous distinguons :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP),
- L'évapotranspiration réelle (ETR),

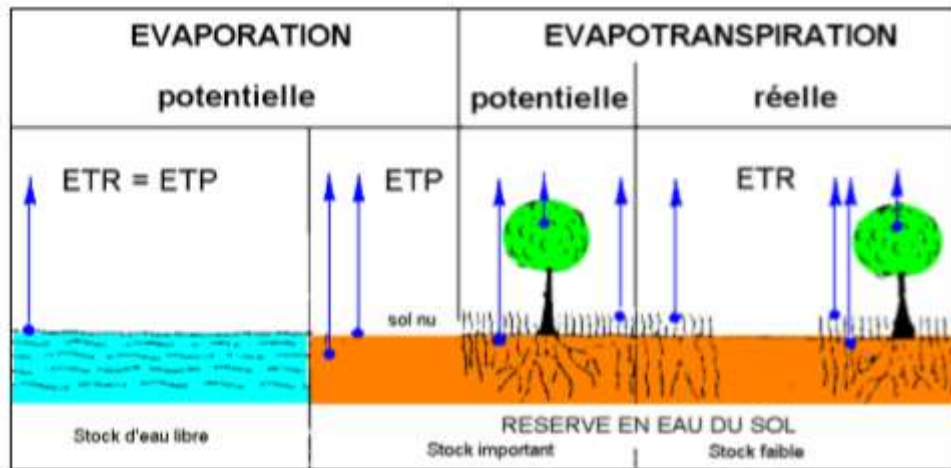


Figure 11: Evaporation et évapotranspiration potentielle et réelle, (d'après Musy, 2002).

III-4. a) Etude de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

L'évapotranspiration potentielle est définie comme l'évapotranspiration à partir d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour permettre l'évaporation de la quantité maximale d'eau permise par les conditions climatiques. Elle s'oppose à l'évapotranspiration réelle qui mesure l'évapotranspiration à partir d'une surface compte tenu de son état d'humidité.[18] - SADEUK BEN ABBES A (2006)

III-4. a. 1) Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

III-4. a. 1. 1) La formule de Thornthwaite :

$$ETP = 1,6 \left(\frac{10t}{I} \right)^a K \text{ -----21}$$

ETP : Evapotranspiration mensuelle en mm ;

t : Température moyenne mensuelle ;

I : Indice thermique annuel soit la somme des indices de chaleur mensuels ;

K: Coefficient d'ajustement mensuel;

$$I = \sum_i^{12} I \text{ -----22}$$

$$I = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514} \text{ -----23}$$

$$a = \left(\frac{t}{5} \right) I + 0,5 \text{ -----24}$$

Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau suivant

Tableau 12: ETP moyennes mensuelles et annuelles (cm) période (1987-2007).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jui	Juil	Auo	Moyenne Annuelle
T moy	23.1	19.7	13.7	10.2	9.2	10.1	12.9	15.4	19.7	24	28.2	28.5	17.9

i	10.15	7.97	4.60	2.94	2.52	2.90	4.20	5.49	7.97	10.75	13.72	13.94	6.90
ETP (non corrigée)	6.3	5.0	3.0	2.0	1.7	2.0	2.8	3.6	5.0	6.6	8.3	8.4	54.7
K	1.03	0.97	0.85	0.84	0.87	0.87	1.03	1.09	1.21	1.22	1.16	1.16	11.49
ETP (corrigée)	6.47	4.87	2.56	1.67	1.50	1.67	2.85	3.87	6.08	8.08	9.78	9.78	59.71

Le **tableau N° 12** montre que l'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle de la région d'étude pour la période allant de **(1987- 2007)** est de 597.1 mm. Ce qui représente 152.5% de la précipitation moyenne annuelle.

III-4. a. 2) Étude de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

III-4. a. 2. 1) Formule de Turc :

La méthode est fondée sur les observations réalisées au niveau du bassin versant,

$$ETP = \frac{P}{\sqrt{0.9 \frac{P^2}{L^2}}} \text{-----} 25$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle ;

T : Température moyenne annuelle ;

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle ;

$$L = 300 + 25T + 0.05 T^2 ;$$

Les résultats de l'évapotranspiration réelle sont mentionnés dans le tableau suivant selon les trois moyennes.

Tableau 13: Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) par la méthode de Turc.

Méthode	Theissen
Pluies moyennes annuelles	391,2
Evapotranspiration réelle	362,8

III-4. b) Formule de Thornthwaite :

L'ETR sera estimée selon les deux cas suivants :

- Précipitation supérieure à l'ETP ;

- Précipitation inférieure à l'ETP ;

- Lorsque la pluie $P > ETP$, on admet qu'il y a suffisamment d'eau disponible, et que $ETR = ETP$,
- Lorsque la pluie $P < ETP$, on admet que toute la pluie est reprise par l'évaporation, et que la valeur de l'ETR se situe entre celle, maximale d'ETP, et celle minimale de la pluie,

La différence entre l'ETP et l'ETR constitue le déficit hydrique ;

Si $P - ETP > 0$, on a un excédent, s'il est négatif, on a un manque d'eau. [18] - SADEUK BEN ABBES A (2006)

Tableau 14: Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) par la méthode de Thornthwaite.

Mois	Set	Oct	Nov	Dec	Jan	Fvr	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Total
P (mm)	24.1	33	47.1	53.8	59	44.8	44.7	41.9	28.1	7.02	3.2	5.8	393.02
ETP (mm)	64.7	48.7	25.6	16.7	15	16.7	28.5	38.7	60.8	80.8	103	97.8	597.1
RU (mm)	-	-	21.4	58.5	100	100	100	100	67.3	-	-	-	-
ETR (mm)	24.1	33	25.6	16.7	15	16.7	28.5	38.7	60.8	74.3	3.2	5.8	342.42
Déficit (mm)	40.7	15.7	-	-	-	-	-	-	-	6.48	99.8	92	198.28
Excédent (mm)	-	-	21.4	37.1	44	28.1	16.2	3.2	32.7	-	-	-	182.7

Les mois de Mai, Juin, Juillet, Août, Septembre et Octobre correspondent à des périodes déficitaires en eau, par conséquent, l'irrigation est nécessaire. Etablissement du bilan hydrologique selon les deux méthodes :

Précipitation : P= 391.2 mm

Méthode	Turc	Thornthwaite
ETR	362,8	342,42
Excédent	-	-
Déficit	28.4	48.78

Remarque : L'ETR calculée par la méthode de Thornthwaite est sous-estimée par rapport à celle calculée par la formule de Turc, du fait que l'on se trouve en milieu semi-aride et le bilan d'équilibre est établi par la méthode de Turc.

III-5) Etude de l'infiltration :

L'**infiltration** a été estimée à l'aide de l'abaque établie par SOGETHA et SOGREAH **Figure N° 12**.

La valeur obtenue est de 12 mm, c'est-à-dire 3.1% de l'ensemble des précipitations (391.6 mm).

III-6) Etude du ruissellement :

Le ruissellement correspond à l'écoulement par gravité à la surface du sol de la partie des précipitations non infiltrées ou évaporées, il est estimé à partir du bilan hydrologique.

$$\mathbf{R = P - (ETR + I)}$$

Avec :

R : Ruissellement (mm) ;

P : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;

ETR : Evapotranspiration réelle (mm) ;

I : Infiltration (mm) ;

A partir du bilan hydrologique on trouve que la lame d'eau ruisselée est de : **R = 16.4 mm.**

III-7) Conclusion :

Les différents paramètres climatologiques montrent que la zone d'étude présente un climat semi-aride avec une température moyenne annuelle allant de 17.9°C, une précipitation moyenne annuelle calculée par la méthode de Thiessen relative à la période (1988-2009) est de 391.2 mm, l'évapotranspiration réelle du secteur d'étude correspond à 362.8 mm et la lame infiltrée est relativement faible, elle ne représente que 12 mm. Le bilan hydrologique indique que la lame d'eau ruisselée est de 16.4 mm.

CHAPITRE IV: Etude Lithologique

IV-1) Introduction :

La zone d'étude située dans la plaine de Khemis-Miliana (Haut Cheliff) correspond à une dépression subsidente constituée essentiellement par des alluvions quaternaires représentant les terrasses de l'oued Cheliff, entourée au Nord et au Sud par les massifs primaires et jurassiques du Zaccar et du Doui oriental. (**Figure N° 13**)

La plaine de Khemis-Miliana (Haut Cheliff), situé au nord de l'Ouarsenis, est allongé grossièrement d'Est en Ouest, sur plus de 60 Km de long et une moyenne de 25 Km de large. [3] - **BENMERIDJA AHMAD (2004)**

La plaine du Haut Cheliff, s'inscrit dans l'ensemble des terrains de l'Atlas Tellien, elle correspond à un synclinorium Néogène reposant sur le substratum Crétacé du sillon subsidient Tellien, entre le massif de Boumaad et les contreforts du Ouarsenis.

Cet ensemble est dû à la superposition de plusieurs phases de plissements et de déformations d'âge Primaire, Secondaire et Tertiaire.

Les terrains qui forment le cœur de synclinal sont du Miocène supérieur, ils constituent une couche gréseuse au sommet et passent vers le bas à des terrains plus argileux. Les principaux affleurements du Miocène, sont au niveau du Djebel Gantas et à l'Est d'Ain Sultan (**Figure N° 14**).

Les terrains Quaternaires qui occupent le centre de la plaine, sont essentiellement représentés par des dépôts alluvionnaires de l'Oued Cheliff, dont la partie supérieure est représentée par des limons très argileux d'une quinzaine de mètres d'épaisseur. Ces alluvions s'étendent sur des superficies de 241.2 km² dans la plaine du Haut Cheliff. (**Figure N° 15**) [5]- **BOUZIANE ERRAHMANI A (2005)**

IV-2) La lithologie de la plaine de Khemis-Miliana(Haut Cheliff) :

Les coupes lithologiques transversale effectuée dans la plaine du Haut Cheliff (Figures N° 13, 14), fait apparaître la dépression subsidente et l'allure en synclinal des différentes formations constituant le sous-sol ; on peut observer de bas en haut :

- Le Crétacé inférieur, imperméable et s'étalant sur toute la largeur de la plaine ; il a servi de fond étanche lors de la réalisation du barrage de Ghrib ;
- Surmonté par un Miocène, mais n'affleurant pas ou très peu en surface ;

- Les dépôts alluvionnaires de l'Oued Cheliff ; en premier lieu, étant en contact avec la formation argileuse du Miocène, forment une couche d'alluvions argileuses, d'une épaisseur moyenne de 32 mètres ;
- Les dépôts alluvionnaires grossiers du Cheliff proprement dit, formant le plus important aquifère de la région ; leurs épaisseurs peuvent dépasser les 70 mètres ;
- Aux bordures de l'Oued Cheliff, le contact argile du Miocène et dépôts alluvionnaire, forment des lentilles d'alluvions argileuses ;
- Finalement, un recouvrement limoneux, surmonte le tout ; observé essentiellement au centre de la plaine, il rend l'aquifère captive dans quelques endroits.

L'étude géophysique établis par la compagne générale de géophysique (C.G.G), et les forages effectués ont mis en évidence au voisinage du cours actuel du Cheliff un chenal à remplissage grossier (gros galets et graviers) qui constitue le principal réservoir aquifère de la plaine. Son épaisseur varie entre 100 à 150 m. Le reste du remplissage est constitué d'alluvions sablo argileuses, dont l'épaisseur diminue au fur et à mesure que l'on se rapproche des bordures. L'ensemble est recouvert par des limons grisâtres de 10 à 20 m. [3] BENMERIDJA AHMAD (2004)

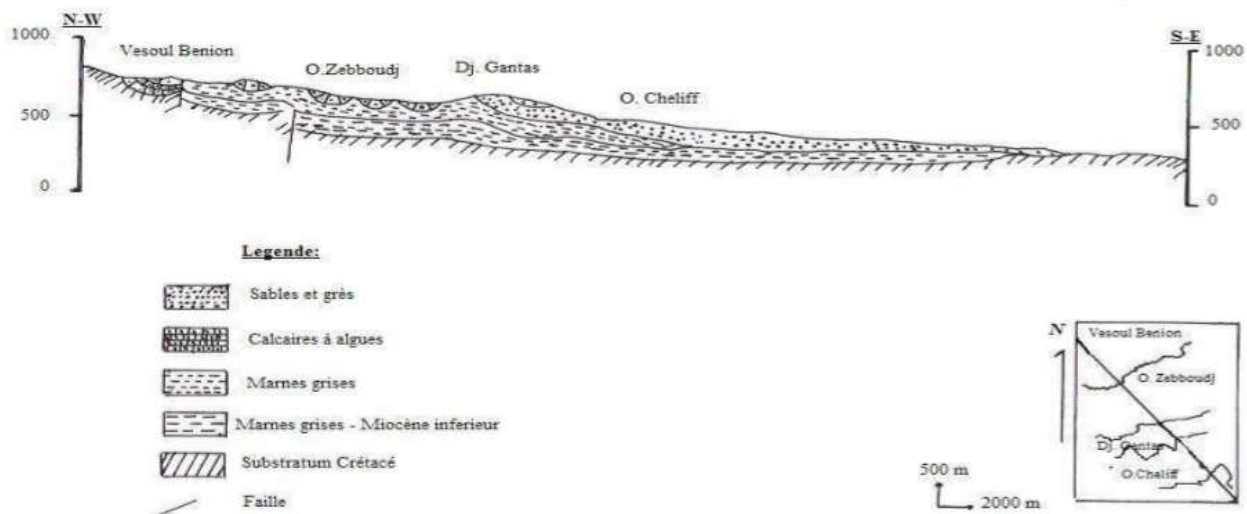


Figure 12: Coupe géologique à travers le bassin du Haut Cheliff. D'après (M. MATTAOUER et APERODON)

IV-3) La Stratigraphie :

Les séries stratigraphiques de la plaine de Khemis-Miliana(Haut Cheliff) s'étalent de Primaire au Quaternaire (**Figure N° 12**) :

- **Le Primaire** : est constitué d'une alternance des schistes noirs graphiteux et des bancs de quartzites et d'argiles.
- **Le Trias** : est généralement constitué des dolomies et des calcaires dolomitiques, il affleure dans le massif de Doui et de Zaccar.
- **Le Jurassique** : il est constitué dans le massif du Zaccar par des calcaires massifs, compactés, fracturés et karstiques, surmontés par des schistes gréseux et des marno-calcaires. L'ensemble de la série atteint une épaisseur de 700 m environ.

Dans le Djebel Doui, le Jurassique est représenté essentiellement par des niveaux de calcaires dolomitiques d'épaisseur avoisinant à 80 m.

- **Le Crétacé** : le Crétacé affleure sur les bordures latérales de la plaine, il est représenté de la base au sommet par :
 - Des argiles schisteuses du Néocomien, d'une épaisseur de 800 m environ au Nord et à l'Ouest du Zaccar.
 - Des faciès flysch de l'Albien qui se développent dans le massif de Boumaad.
 - Des marnes avec des intercalations des bancs de calcaire d'âge Sénonien.
- **Le Miocène** : le Miocène peut atteindre 300 m d'épaisseur, il est constitué de la base au sommet par :

- **Le Miocène inférieur (Burdigalien)** : repose sur des terrains plus Anciens Eocène et Crétacé, qui débutent par une formation conglomératique d'épaisseur environ 220 m. Cette formation est constituée essentiellement par des conglomérats polygéniques à des éléments de taille très variables, mal triés, avec des niveaux sableux ou gréseux maux stratifiés parfois gypsifères.

Au sommet, les niveaux conglomératiques deviennent plus fins et passent progressivement à des marnes gréseuses rouge à brune verdâtre.

- **Le Miocène supérieur (Vindobonien)** : est une série qui représente de base au sommet : des niveaux conglomératiques épais de 1 à 2 m, à ciment sablo- marneux, surmontés par un niveau marneux de couleur bleu, d'une épaisseur d'environ 50 m ; des marnes blanches alternant

avec quelques bancs siliceux couronnés par un dépôt de grès et de sable, d'une épaisseur de 100 m environ.

Une formation marneuse de couleur bleue, présentant un faciès argileux, parfois gypseux d'environ 90 m d'épaisseur.

E (m)	Log	Lithologie	Age	Comportement hydrogéologique
100		Limons Alluvions	Quaternaire	périméable
100		Argiles Grès et Conglomérats	Pliocène	impériméable
100		Grès et poudingues		périméable
200		Argiles Grès et poudingues Calcaires	Miocène sup (Vindobonien)	impériméable
300		Marnes		impériméable
1000		Grès et poudingues Calcaires	Miocène inf (Burdigalien)	périméable
20		Grès quartzitiques Argiles et Schistes	Eocène	périméable impériméable
50		Marnes et calcaires marnes	Sénomien	impériméable
50		Calcaires et marnes	Cénomarien	
1000		Schistes et bancs de quartzites	Albien	impériméable
900		Argiles schisteuses	Néocomien	impériméable
1000		Calcaires	Jurassique	périméable
300		Argiles gypseuses	Trias	impériméable
300		Schistes et quartzites	Pérmo-Trias	impériméable

Figure 13: Log litho stratigraphique de la région du Haut Cheliff.

- **Le Mio-Pliocène** : le Mio-Pliocène est constituée par des galets Quartzeux, des conglomérats, des grès et des argiles détritiques, ainsi que le Travertin ancien déposé au niveau des sources du Zaccar.

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

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

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

- **Le Pliocène supérieur (Villafranchien)** : le Pliocène continental est formé de conglomérats à éléments gréseux à grésocalcaires et des sables, non consolidés.

Les dépôts sableux rouges à stratifications entrecroisées qui succèdent aux conglomérats précédents appartiennent au Villafranchien. Ces dépôts reposent le plus souvent sur des limons grés. Parfois les conglomérats du Pliocène supérieur n'existent pas, et les formations rouges du Villafranchien se trouvent alors en contact avec des grès Astiens ; d'ailleurs, au Sud de Cheliff sur la bordure de l'Ouarsenis, le Pliocène disparaît complètement. A ce niveau, le Quaternaire recouvre directement les grès du Miocène.

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

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

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

* Des limons bruns à rouges, les niveaux les plus anciens sont discordants sur le Quaternaire ancien. Ces limons recouvrent la presque totalité de la dépression sous forme d'alternance sablo-gréseuse.

* Des grés, visibles surtout sur les berges des oueds, forment des accumulations des niveaux très fins dont les épaisseurs peuvent atteindre les cinq mètres, ce sont d'anciens vases asséchés. Ces formations proviennent de l'érosion des reliefs avoisinants.

* Des alluvions actuelles formées par des limons, des sables, des galets et des cailloutis au fond des talwegs et dans les zones de confluences des oueds et des méandres abandonnées.[14] **KAHILA ASMA, ACHOUR KENZA (2008)**

IV-4) La tectonique :

La partie Nord-Ouest de Djebel Guellala est occupée par la masse de Djebel Gontas, formant ainsi un large synclinal central. Toute cette région est affectée de failles importantes orientées NE – SO, s'alignant sur les grandes directions des plis anté-Miocènes. Les plissements Miocènes de cette région semblent commander par des accidents du substratum. Le synclinal de Gontas est bordé au S-E par un anticlinal faisant affleurer largement les marnes du Miocène inférieur au Nord-Ouest sur le substratum Crétacé.[14] **KAHILA ASMA, ACHOUR KENZA (2008)**

IV-5) Conclusion :

La synthèse géologique de la région, argumentée par une description lithologique et structurale et en s'appuyant sur l'examen de la série stratigraphique a permis de ressortir les niveaux aquifères suivants :

➤ **Les calcaires jurassiques :**

Avec une épaisseur considérable (jusqu'à 400 m et plus), ils constituent un important réservoir karstique, caractérisé par une fissuration distinctive très importante qui favorise la libre circulation de l'eau souterraine. Leurs structures internes est mal connue, ce qui pose un grand problème lors de l'implantation des forages en raison des directions préférentielles que peuvent prendre les filets d'eau lorsqu'ils sont sollicités par un captage ; des essais de traçage et des études spéléologiques seront d'un grand intérêt hydrogéologique.

➤ **L'aquifère du Miocène :**

Ce sont des conglomérats plus ou moins argileux et sableux. Les calcaires du Miocène affleurent le long de la limite Sud de la vallée, ils sont très développés intérieurement en raison de la dissolution des carbonates et de la vitesse de circulation de l'eau souterraine dans les chenaux et les fissures.

➤ **L'aquifère du Pliocène :**

Ce sont essentiellement les grés sableux jaunâtres de l'Astien, qui vont voir leur sommet se transformer en sables à Hélix. L'épaisseur est très variable atteignant quelquefois les 100m au centre de la plaine et quelques mètres aux affleurements.

➤ **Les aquifères alluvionnaires du Quaternaire :**

Lors de l'examen des données de forages (cuttings et sondages électriques), on s'est aperçu de l'importante épaisseur des formations quaternaires (sables, graviers ou grés), qui varie de quelques mètres à plus de 150 m, ce qui fait que cet aquifère est considéré comme étant le plus volumineux et le plus intéressant à étudier, vu l'importance socio-économique qu'il présente.

CHAPITRE V : l'Etude Hydrogéologique et les Principaux Aquifères de la Plaine

V-1) Introduction :

Dans cette partie, on essaiera d'identifier les différentes formations litho stratigraphiques susceptibles d'être aquifères dans la région a étudié et de déterminer quelques paramètres hydrodynamiques de ces couches ainsi d'établir les cartes piézométriques dans les basses et les hautes eaux, allant sur **cinq périodes** « (2010, 2011, 2012, 2013 et 2014) » afin de faire ressortir le sens d'écoulements, l'axe de drainage, ainsi que les gradients hydrauliques présents sur la nappe.

V-2) Les principaux aquifères de la région d'étude :

D'après l'étude de la série stratigraphique (**Figure N° 12**) et ses caractères lithologiques et structuraux, on distingue les niveaux aquifères suivants :

- **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 ; ces sont des grés jaunâtres passant à leur sommet à des sables dunaires à hélix, avec une épaisseur moyenne de 100 m.
- **Les aquifères alluvionnaires du Quaternaire** : les formations alluvionnaires du Quaternaire constitue l'aquifère le plus important et le plus exploité dans toutes 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 ; et une gamme de profondeur de forage qui va de 2 à 150 m. [15]MESSALMI HAYET (2004)

V-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. Cette couche importante en matière de protection des eaux souterraines ; suite au pouvoir épurateur des argiles (selon Rehse. W 1977 : deux mètres d'argile sont suffisants pour qu'il y est une dépollution totale) et recouvre presque toutes les zones affaissées de la plaine avec une épaisseur variante d'une région à une autre.

- Au Nord de la plaine ; l'épaisseur est considérable, 11 à 16 m entre Ain Sultane et Khemis Miliana, 10 à 20 m de Sidi Lakhdar vers les Aribis, au niveau de Djendel, elle est inférieure à 8 m.
- Au Sud de la vallée, la couche comprend des argiles sableuses ou gréseuses de 2 à 4 m à la région de Bordj Emir Khaled et BirOueld Khalifa.
- Au Sud-Ouest elle varie entre 8 à 10 m. [6] - **BOUZIANE RAHMANI (2006)**

V-4) La Piézométrie :

Les cartes piézométriques, établies avec les données sur les niveaux piézométriques représentent à une date donnée, la distribution spatiale des charges et des potentiels hydrauliques. Elles figurent également les conditions aux limites hydrodynamiques. [8] **CASTANY. G (1998)**

Notre étude piézométrique s'est déroulée en Octobre 1992, Septembre 2002, octobre 2008 (basses eaux) et en Avril 1993, Avril 2003, Mai 2009 (hautes eaux).

Six cartes piézométriques ont été établies, trois pour la période des basses eaux et trois pour la période des hautes eaux. Ces six cartes vont nous permettre de déterminer les directions d'écoulement des eaux souterraines, les zones d'alimentation et l'exutoire de la nappe.

V-4. a) L'inventaire des points d'eau :

Trente-six (36) points (Tableau N°15) d'eau ont été inventoriés par l'ANRH d'El Khemis (Figure N° 14) sont répartis à travers la nappe du Haut Cheliff à usage domestique et agricole ont fait l'objet de mesures de niveau statique, ont servi à l'établissement des cartes piézométriques.

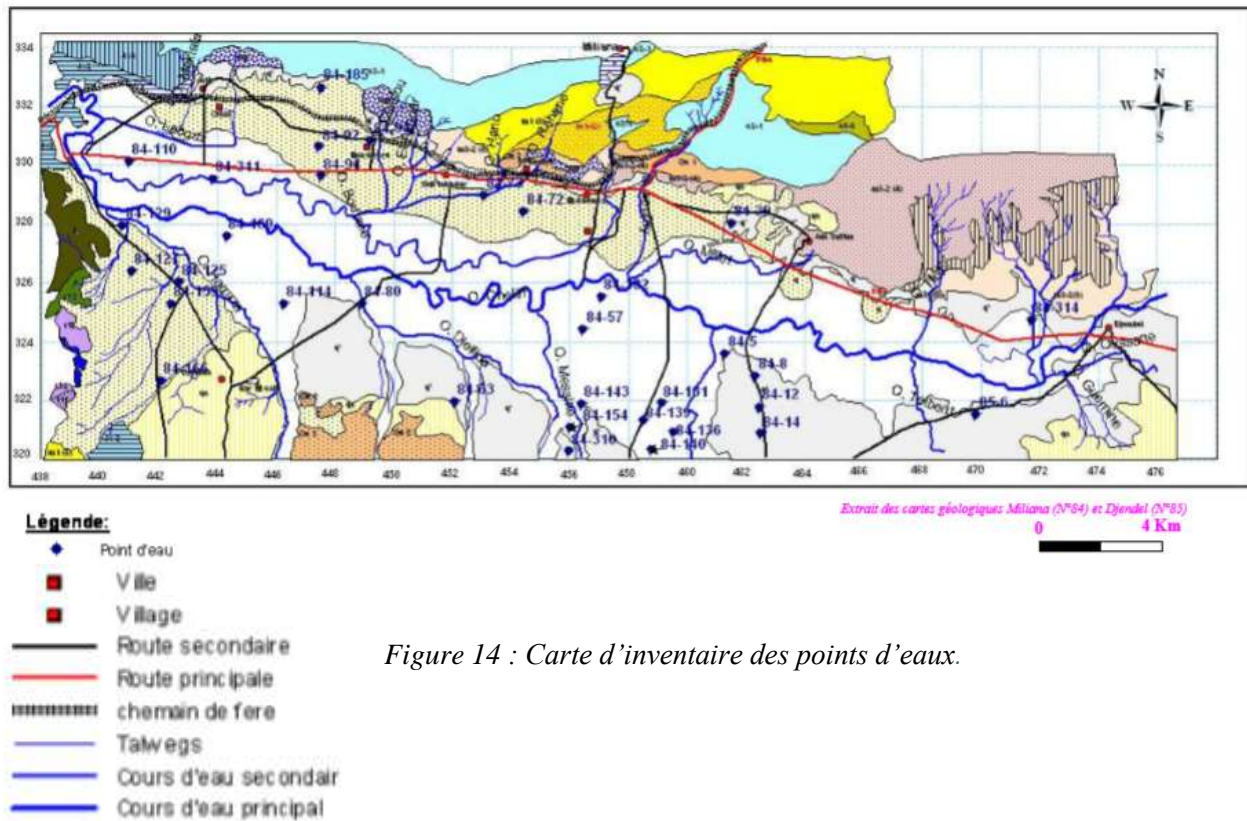


Figure 14 : Carte d'inventaire des points d'eaux.

Tableau 15: Inventaire des points d'eaux (établie par l'ANRH de Khemis-Miliana « réseau de surveillance puits et forages »).

Points	Coordonnées		Z (m)	Profondeur
	X (m)	Y (m)		
84-5	461250	323550	287.41	15.69
84-8	462300	322800	293.40	20.66
84-12	462450	321750	308.38	21.21
84-14	462470	320850	315.80	25.10
84-39	461500	328000	292.83	23.11
84-57	456425	324400	275.73	13.92
84-63	452070	321950	280.60	15.00
84-72	454400	328400	279.30	12.59
84-73	453050	328950	277.30	8.50
84-80	448900	325250	260.12	17.00
84-91	447500	329600	256.64	5.50
84-92	447450	330600	284.31	21.10
84-93	449200	330800	286.90	32.41
84-107	447250	331000	264.81	17.00
84-110	441000	330100	246.76	12.00
84-114	446250	325250	264.53	15.00
84-125	442700	326000	258.29	20.00
84-127	441050	326350	274.14	16.00
84-129	440750	327900	251.75	8.65
84-136	459100	321900	295.92	17.90
84-139	459500	320900	303.64	15.00
84-140	458500	321300	296.90	11.20
84-143	458750	320300	301.10	14.00
84-154	456400	321850	290.05	16.30
84-155	456000	321050	293.02	13.50
84-166	442400	325250	369.18	12.72
85-169	442050	322650	313.15	12.01
85-182	444300	327550	252.28	16.00
84-185	457050	325500	274.84	8.21
84-196	447500	332600	278.02	13.01
84-310	456300	322100	289.75	19.10
84-311	455950	320250	310.84	18.00
84-313	443850	329500	250.85	23.00
84-314	454550	328350	279.22	280.00
85-6	471700	324700	346.26	18.00
85-14	469820	321500	316.43	19.50

V-4. b) Calcul du gradient hydraulique :

C'est la différence du niveau piézométrique entre deux points de la surface piézométrique par unité de longueur, mesurée le long d'une ligne de courant par la formule suivante :

$$I = \frac{\Delta H}{L} = \frac{H_1 - H_2}{L} \text{-----27}$$

ΔH : Différences de charge hydraulique en m ;

L : Distance entre H_1 et H_2 en m ;

Tableau 16: Variation du gradient hydraulique pour les différents périodes.

Année	Période	Partie Est	Partie Ouest	
			Nord	Sud
Octobre 1992	Bas Eaux	$7,14.10^{-3}$	$2,94.10^{-3}$	$1,25.10^{-2}$
Septembre 2002		$7,14.10^{-3}$	$2,6.10^{-3}$	$1,66.10^{-2}$
Octobre 2008		$8,33.10^{-3}$	$2,5.10^{-3}$	1.10^{-2}
Avril 1993	Hautes Eaux	$7,14.10^{-3}$	$2,80.10^{-3}$	$1,66.10^{-2}$
Avril 2003		$8,33.10^{-3}$	$1,78.10^{-3}$	$1,25.10^{-2}$
Mai 2009		$8,33.10^{-3}$	$1,22.10^{-3}$	$8,33.10^{-2}$

V-4. c) Interprétation de la carte piézométrique :

Piézométrie de 1992-1993 :

Les cartes piézométriques d'Octobre 1992 (**Figure N° 15**) et d'Avril 1993 (**Figure N° 16**) montrent que les directions d'écoulement convergent vers l'Oued Cheliff où la nappe alimente l'Oued Cheliff. Dans la partie Est, Sud-Ouest et dans la partie Sud centrale les courbes piézométriques sont très serrées ce qui correspond à un fort gradient hydraulique compris entre ($7,14.10^{-3}$ - $1,25.10^{-3}$) par contre dans la partie Nord-Ouest où les **iso pièzes** sont éloignées ce qui signifie un faible gradient varie entre ($2,94.10^{-3}$ - $2,80.10^{-3}$).

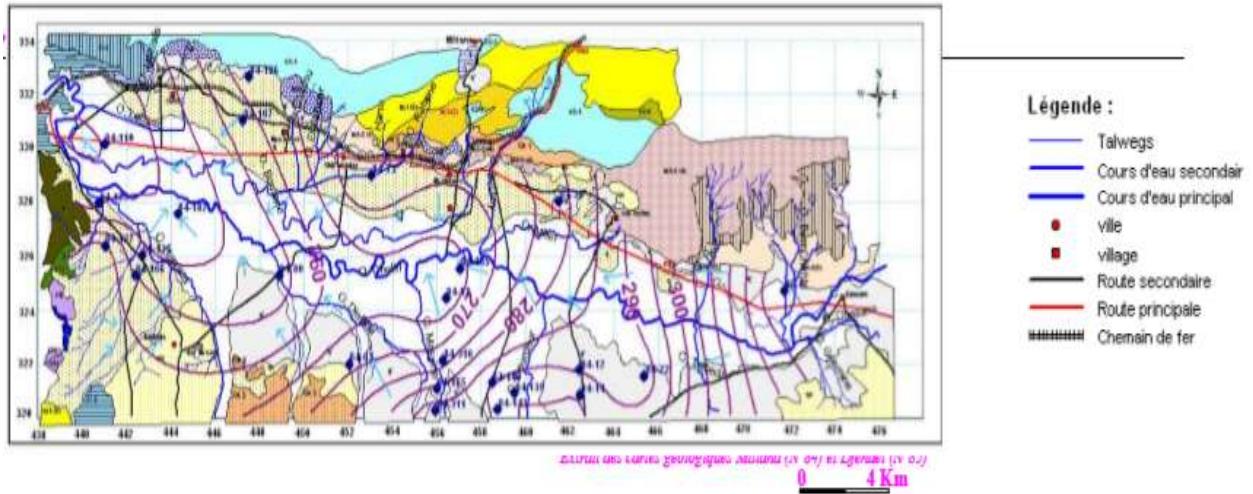


Figure 15: Carte piézométriques (Octobre 1992).

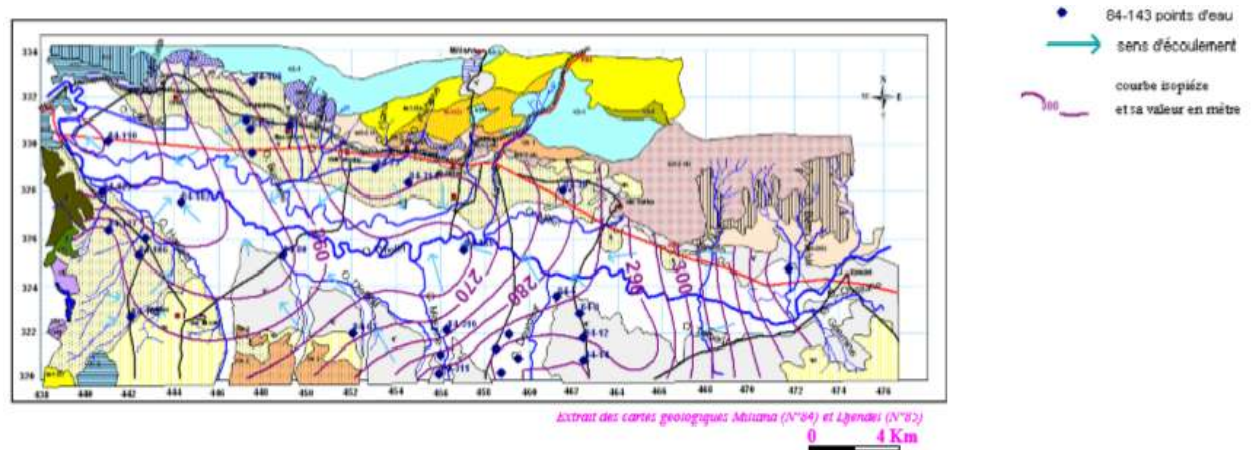


Figure 16: Carte piézométriques (Avril 1993)

Piézométrie de 2002-2003 :

D'après les cartes piézométriques de Septembre 2002 (**Figure N° 17**) et d'Avril 2003 (**Figure N° 18**) sont établies à partir de 36 points d'eau (tableau N° 37) on remarque que les directions d'écoulement convergent vers l'Oued Cheliff où la nappe alimente l'Oued Cheliff. Cependant, le gradient hydraulique est assez fort dans la partie Est bascule entre ($8,33.10^3$ - $7,14.10^3$) et dans la zone Sud-Ouest le gradient hydraulique devient très fort oscille entre ($1,66.10^{-2}$ - $-1,25.10^{-2}$), par contre dans la partie centrale et au Nord-Ouest avec un gradient hydraulique de ($1,78.10^{-3}$). Dans la partie centrale de la nappe on remarque une zone de dépression pour la période de Septembre 2002 ; celle-ci est due à l'exploitation intensive de la nappe, mise en évidence particulièrement au niveau des forages surexploité « 84-185, 84-57, 84-182 »

Piézométrie de 2008-2009 :

Les cartes piézométriques d'Octobre 2008 (**Figure N° 19**) et Mai 2009 (**Figure N° 20**) sont établies à partir de 38 points (**tableau N° 16**).

A partir de ces cartes on observe que les directions d'écoulement convergent vers l'Oued Cheliff où la nappe alimente l'Oued Cheliff avec un axe de drainage qui est orienté de l'Est vers l'Ouest et il est parallèle à l'Oued Cheliff. Cependant au niveau de la ville de Djendel et Djellida les courbes piézométriques se resserrent ce qui impliquent un fort gradient hydraulique qui varie entre ($8,33.10^{-3}$ - 1.10^{-2}), et la ville d'Ain Sultan et le Seuil de Doui les courbes piézométriques deviennent éloigner ce qui indique à un faible gradient hydraulique qui oscille de ($2,5.10^{-3}$ - $1,22.10^{-3}$).

On observe durant la période d'Octobre 2008 au niveau de la partie centrale et la partie Nord-Ouest de la plaine une zone de dépression ; celle-ci est due à l'exploitation intensive de la nappe, mise en évidence particulièrement au niveau des forages surexploité « 84-185, 84-92 » et en Mai 2009 on remarque une convergence des eaux souterraines dans la partie centrale Est et la partie centrale Ouest de la plaine au niveau des forages surexploité « 84-182, 84-8 ».

CHAPITRE V : l'Etude Hydrogéologique et les Principaux Aquifères de la Plaine

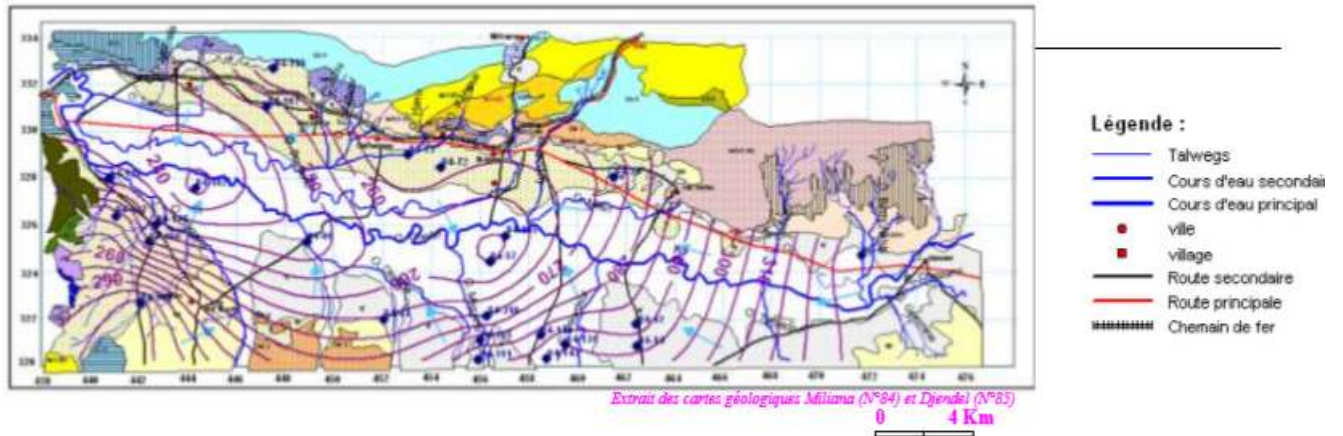


Figure 17 : Carte piézométrique (Septembre 2002).

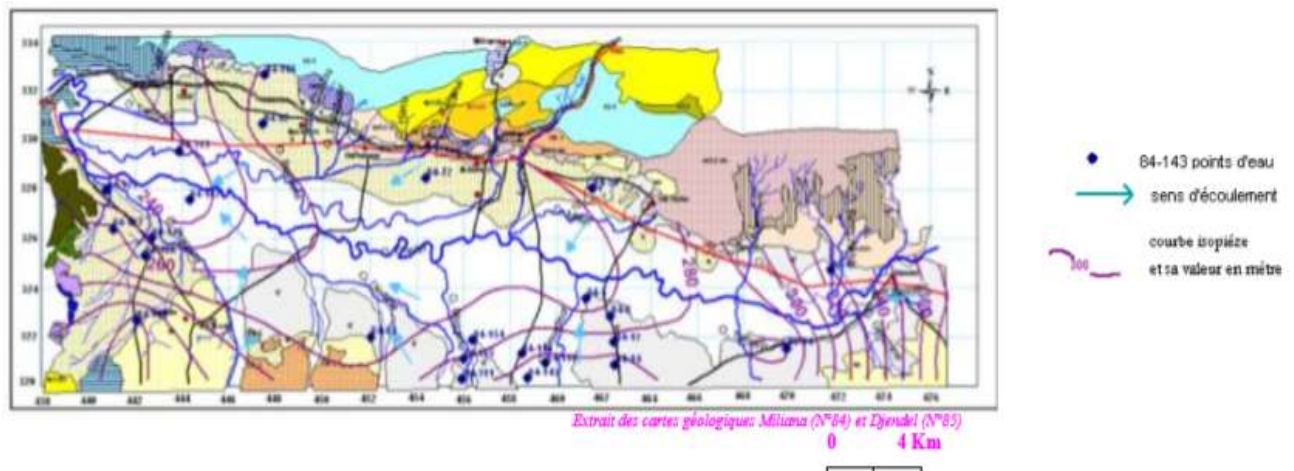


Figure 18: Carte piézométrique (Avril 2003).

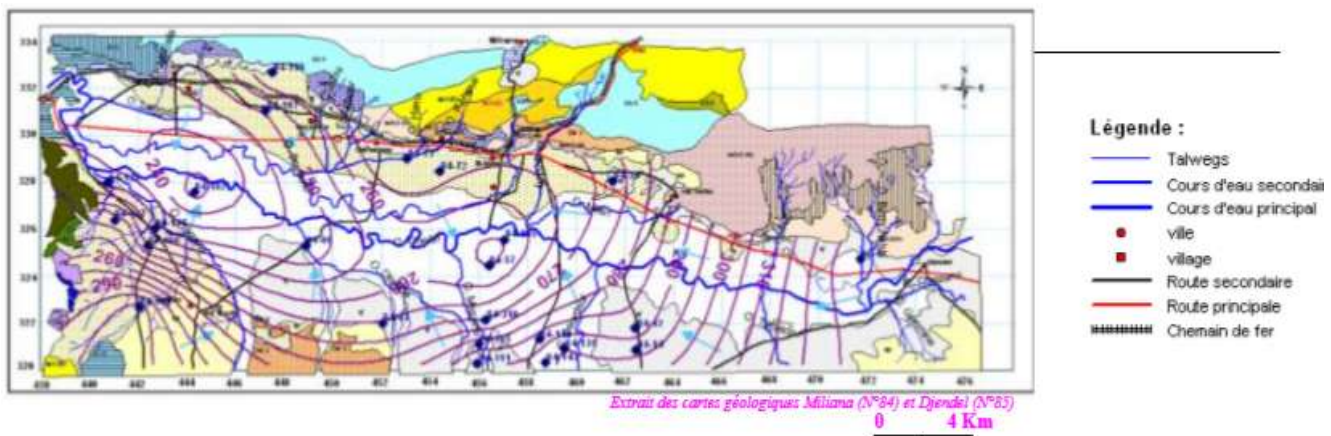


Figure 19: Carte piézométrique (Octobre 2008).

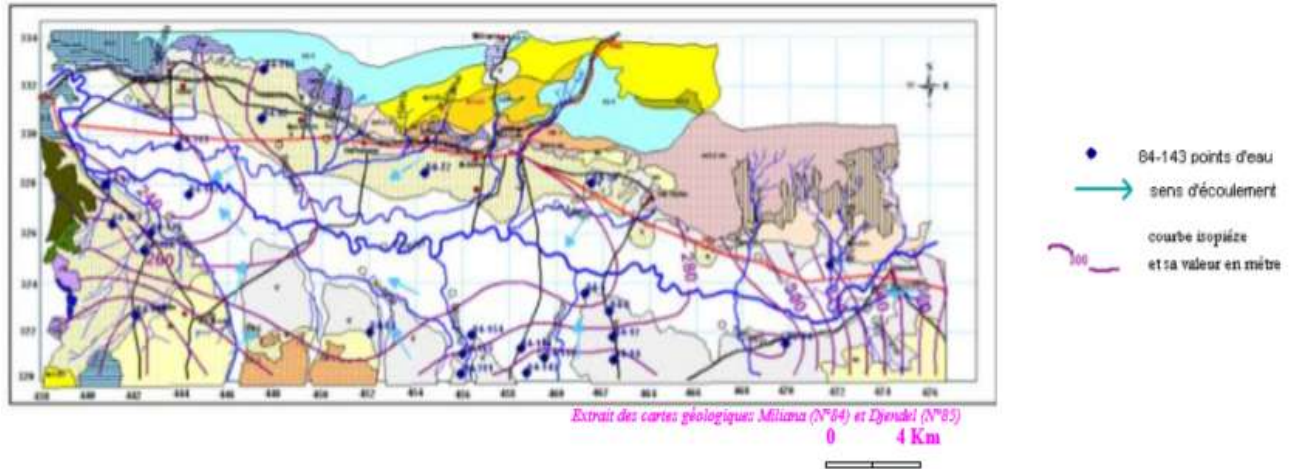


Figure 20: Carte piézométrique (Mai 2009).

V-5) Conclusion :

L'étude hydrogéologique nous a permis d'identifier les différentes formations litho stratigraphiques susceptibles d'être aquifères dans la nappe du Haut Cheliff qui sont :

- Les formations Mio-Plio-Quaternaire sont formées d'une nappe multicouche à porosité d'interstice.
- Les formations de calcaire Jurassique qui sont caractérisées par une porosité de fracture. Ainsi de déterminer le sens d'écoulement des eaux souterraines à partir des cartes piézométriques, qui se fait localement depuis les bordures vers l'axe de drainage de l'Oued Cheliff, il a noté que les forages surexploités sont 84-92, 84-185, 84-57, 84-182 et 84-8 et on a constaté que l'alimentation de la nappe alluviale du Haut Cheliff à lieu essentiellement à partir de l'infiltration des eaux de pluies d'une part, d'autre part, par les grés du Miocène de la région de Djendel à partir de l'inféroflux entre l'Oued Cheliff et la nappe alluviale.

CHAPITRE VI : l'étude de l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux souterraines

VI-1) Introduction :

Cette partie consiste à l'étude de l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux souterraines qui permet de préciser la répartition quantitative des divers éléments dissous, de suivre leur évolution spatio-temporelle et pour déterminer les différents échanges inter-aquifère.

Cette étude a porté sur l'analyse des échantillons pendant cinq (réseau de surveillance puits et forages) périodes (2010/2011, 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015) au niveau des points d'eaux, le dosage des éléments chimiques effectués au laboratoire de chimie des eaux, de L'agence Nationale des Ressources Hydrique de L.A.N.G (KHEMIS MILIANA).

VI-2) Analyse :

VI-2. a) Prélèvements :

Le premier objectif de l'échantillonnage est d'obtenir des prélèvements représentatifs de chaque point d'eau du secteur à étudier.

VI-2. a. 1) Mode de prélèvements :

- L'eau est prélevée dans des bouteilles particulièrement propres (stérilisées) et rincées plusieurs fois avec l'eau distillée.
- Les flacons sont remplis sans agiter l'eau au contact de l'air.
- Les flacons sont bouchés aussitôt que possible car certaines analyses (oxygène, gaz carbonique, PH) exigent d'éviter toute agitation et contacte avec l'air. [4] **BOULAFRAG.O et DJELLOULIM (2010-2014) : Contribution à l'étude hydrochimie des eaux souterraines dans la région. Ain Defla. (Mémoire DEUA- Centre Universitaire de Khemis-Miliana).**

VI-2. a. 2) Conservation des échantillons en vue de l'analyse :

Les techniques de conservation mises en œuvre sont diversifiées et permettent de limiter les évolutions physico-chimiques des eaux sous analyse ; le choix de matériaux de flacons doit limiter, les pertes par absorption ou au contraire éviter les réglages en fonction des éléments à doser. [4] **BOULAFRAG.O et DJELLOULIM (2010-2014) : Contribution à l'étude hydrochimie des eaux souterraines dans la région. Ain Defla. (Mémoire DEUA- Centre Universitaire de Khemis-Miliana).**

VI-2. b) Méthodes d'analyses :

Il y a deux types de méthode d'analyse :

- Méthode d'analyse in situ.
- Méthode d'analyse au laboratoire.

VI-2. b. 1) Analyse in situ

Certains paramètres peuvent évoluer pendant le transport des échantillons au laboratoire, pour cela il faut effectuer l'analyse de ces paramètres sur le terrain (PH, température et la conductivité). [4] BOULAFRAG.O et DJELLOULIM (2010-2014) : Contribution à l'étude hydrochimie des eaux souterraines dans la région. Ain Defla. (Mémoire DEUA-Centre Universitaire de Khemis-Miliana).

VI-2. b. 2) Analyse au laboratoire :

Les autres paramètres tel que (sodium Na, Potassium K, Chlorure Cl, Calcium Ca, Magnésium Mg, Résidu sec, etc.) sont mesurés au niveau de laboratoire.

VI-3) Résultats d'analyses :

Les résultats d'analyse physico-chimique d'Octobre 2010 (Basses eaux) et Avril 2010 (Hautes eaux), obtenus par le laboratoire de L'agence Nationale des Ressources Hydraulique sont regroupés dans le tableau N° 17 et tableau N° 18 les autres périodes sont mentionnés dans l'annexe.

Tableau 17: Résultats d'analyses d'Octobre 2010 (Basses eaux).

Nom	Les paramètres chimiques															
	Cations et Anions en mg/l								Cations et Anions en pourcentage (%)							
	rCa^{2+}	rMg^{2+}	rNa^+	rK^+	rCl^{2-}	rSO_4^{2-}	$rHCO_3^-$	rNO_3^-	rCa^{2+}	rMg^{2+}	rNa^+	rK^+	rCl^{2-}	rSO_4^{2-}	$rHCO_3^-$	rNO_3^-
084-129	167	65	109	17	270	237	281	78	2.33	1.50	1.32	0.12	0.88	1.14	1.57	0.90
084-166	131	46	114	2	226	110	281	56	2.24	1.29	1.69	0.02	0.95	0.68	2.02	0.83
084-115	320	349	540	4	1690	570	378	1	1.32	2.37	1.94	0.01	1.81	0.90	0.69	0.00
084-8	196	96	215	4	503	267	235	82	1.92	1.55	1.83	0.02	1.30	1.02	1.05	0.75
084-155	247	135	800	6	1390	458	265	46	1.04	0.94	2.83	0.01	1.82	0.88	0.59	0.21
084-14	218	44	120	4	375	138	209	73	2.83	0.93	1.35	0.03	1.33	0.72	1.25	0.92
084-39	218	70	119	2	470	149	195	26	2.67	1.41	1.27	0.01	1.58	0.74	1.12	0.31
084-63	262	170	216	4	833	138	307	33	1.84	1.97	1.69	0.01	1.46	1.13	0.92	0.21
084-80	218	175	393	7	925	583	271	17	1.38	1.81	2.16	0.02	1.45	1.35	0.73	0.09
084-91	89	22	18	15	60	166	183	3	3.09	1.27	0.55	0.26	0.41	1.68	2.15	0.07
084-92	148	67	66	2	238	190	278	62	2.62	1.94	1.02	0.02	0.87	1.03	1.75	0.81
084-169	148	44	295	0	350	320	268	48	1.52	0.75	2.63	0.00	1.00	1.35	1.32	0.49
084-196	144	56	73	0	200	187	352	17	2.64	1.67	1.16	0.00	0.75	1.03	2.25	0.22
084-632	274	138	269	19	708	600	363	33	1.96	1.62	1.67	0.07	1.17	1.47	1.03	0.19

Tableau 18: Resultants des analyses d'Octobre 2010.

Nom	Les paramètres chimiques															
	Cations et Anions en mg/l								Cations et Anions en pourcentage (%)							
	rCa^{2+}	rMg^{2+}	rNa^+	rK^+	rCl^{2-}	rSO_4^{2-}	$rHCO_3^-$	rNO_3^-	rCa^{2+}	rMg^{2+}	rNa^+	rK^+	rCl^{2-}	rSO_4^{2-}	$rHCO_3^-$	rNO_3^-
084-129	272	73	128	4	358	287	407	91	2.85	1.26	1.17	0.02	0.88	1.05	1.72	0.80
084-166	211	35	113	4	319	142	484	24	2.90	0.79	1.35	0.03	0.93	0.61	2.42	0.25
084-114	466	254	350	3	1250	638	638	3	2.17	1.95	1.42	0.01	1.39	1.05	1.22	0.01
084-155	436	187	610	2	1620	583	446	75	1.77	1.25	2.15	0.00	1.68	0.89	0.79	0.28
084-14	358	104	88	1	720	106	497	92	3.25	1.55	0.69	0.00	1.54	0.34	1.46	0.70
084-39	213	94	121	2	600	65	364	93	2.48	1.80	1.22	0.01	1.51	0.24	1.57	0.83
084-73	237	100	257	24	500	438	581	67	1.92	1.33	1.81	0.10	0.89	1.15	1.77	0.42
084-80	300	140	300	24	830	438	441	37	1.96	1.51	1.71	0.08	1.34	1.04	1.22	0.21
084-91	118	38	35	6	175	89	214	3	3.00	1.59	0.78	0.07	1.03	0.67	2.15	0.06
084-110	168	27	55	9	153	80	378	41	3.25	0.86	0.93	0.08	0.66	0.51	2.80	0.63
084-169	148	52	103	4	262	85	452	63	2.41	1.39	1.46	0.03	0.86	0.41	2.54	0.73
084-196	214	60	87	4	198	200	539	50	2.93	1.35	1.04	0.03	0.57	0.84	2.64	0.51

VI-3. a) Représentation de faciès chimique des eaux souterraines :

VI-3. a. 1) Méthode de calcul :

VI-3. a. 1. 1*) Méthode de classification de STABLER :

VI-3. a. 1. 1°. a) Calcul de quantité en réaction en Meq/l :

La quantité en réaction meq/l c'est le rapport de la quantité de l'élément en réaction multiplié par la valence de l'élément divisé par la masse molaire du même élément, elle est donnée par la formule suivante :

$$r = \frac{m \times valence}{M} \text{-----} 28$$

Avec

r: la quantité en réaction en Méq/l

m : la quantité en réaction en mg/l

M : la masse molaire en g/mole

VI-3. a. 1. 1°. b) Quantité en réaction par rapport à la somme des ions de même signe :

Elle est calculée à partir de la formule suivante :

$$r_{c\%} = \frac{r \times 100}{\sum r_{c+}} \text{-----} 29$$

$$r_{c\%} = \frac{r \times 100}{\sum r_{c-}} \text{-----} \mathbf{30}$$

$r_c\%$ = quantité en réaction des cations

$r_c\%$ = quantité en réaction des anions

$r_{=}$ La somme des cations et de anions en méq/l

$\sum r_{c+}$ = la somme des cations en méq/l

$\sum r_{c-}$ = la somme des anions en méq/l

Les résultats obtenus sont représentés dans les **02 tableau N°19 et N°20** en annexe pour Octobre 2010 (basses eaux) et Avril 2010 (Hautes eaux) les autres périodes sont mentionnés dans l'annexe

VI-3. a. 2) Méthode de l'utilisation des diagrammes :

Pour étudier le faciès chimique des eaux souterraines de la plaine du KHEMIS MILIANA, nous avons projeté le chimisme des points d'eau, échantillonnés dans le diagramme de Piper (**Figure N°21 - 22**) et le diagramme de Schoeler (**Figure N° 23 - 24**) où la région d'étude est divisée en trio zone tel que la zone 01 le Sud-Ouest, la zone 02 le Sud et la zone 03 le Sud-Est., les autres diagrammes sont dans l'annexe. L'utilisation de ces diagrammes a été facilitée par son automatisation grâce au **logiciel Rock Works et le diagramme du LHA.**

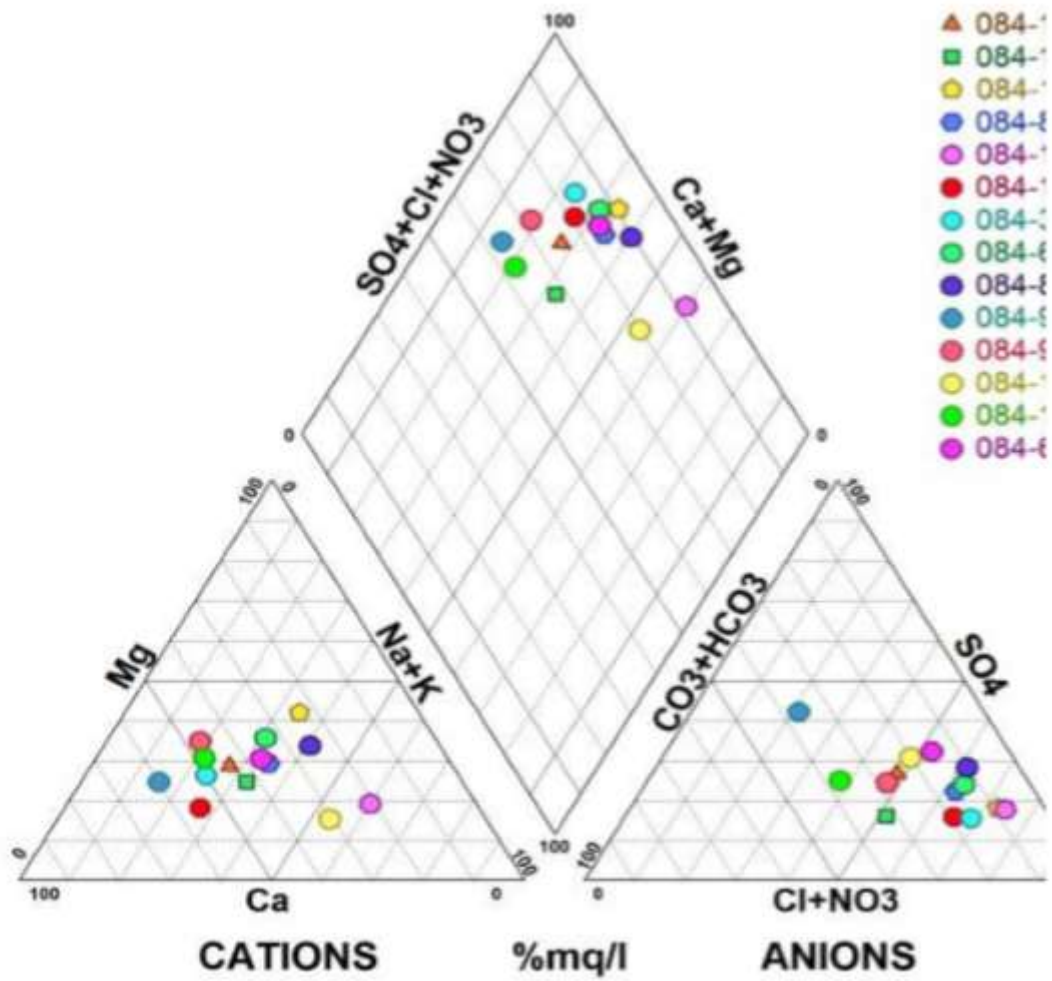


Figure 21: classification des faciès chimiques des eaux souterraines de la plaine du Khemis Miliana selon Piper (compagne d'Octobre 2010).

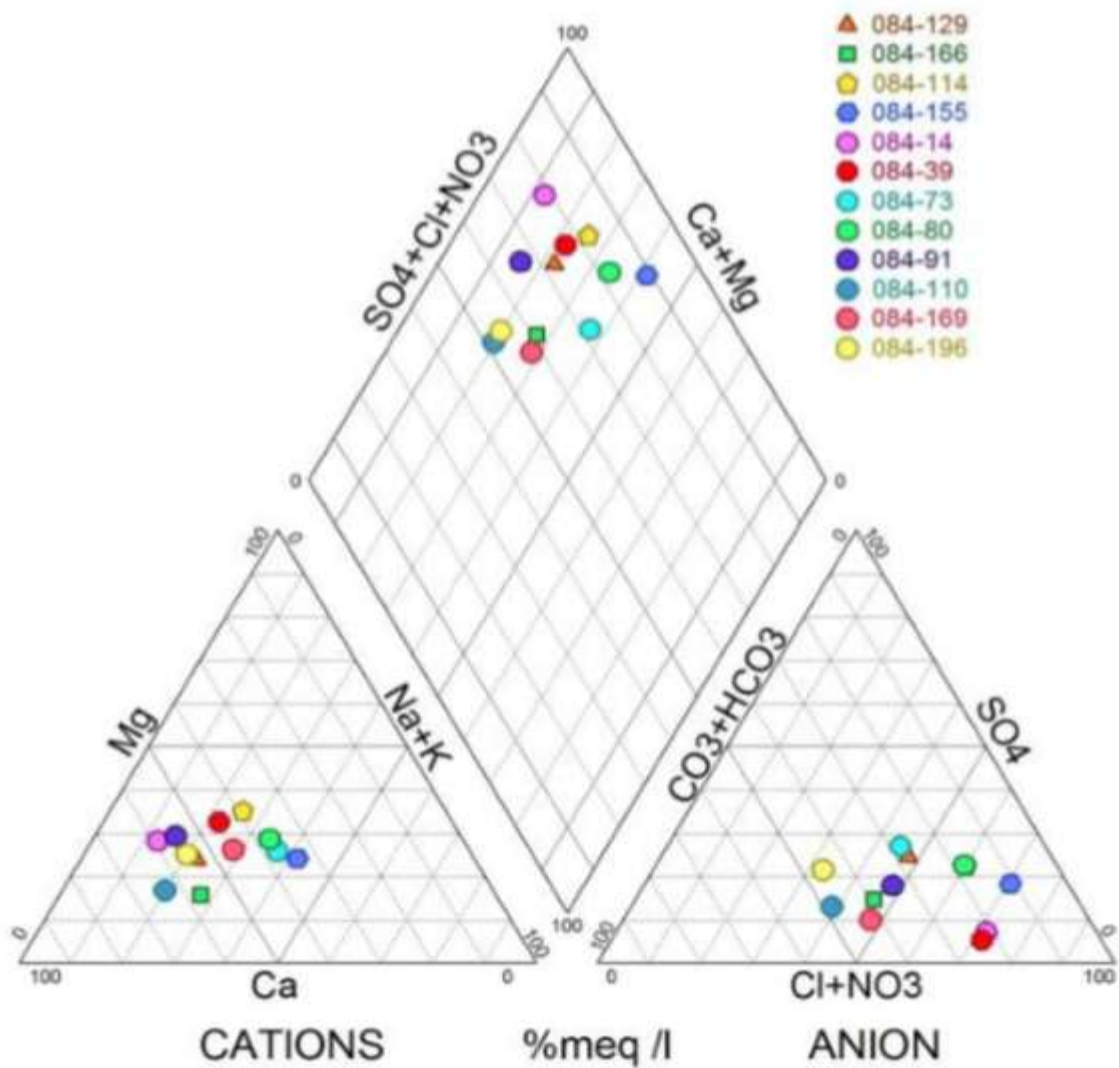


Figure 22: Evolution des faciès chimiques des eaux souterraines dans la plaine du Khemis-Miliana pour la période Hautes eaux Avril 2010 (diagramme de Piper).

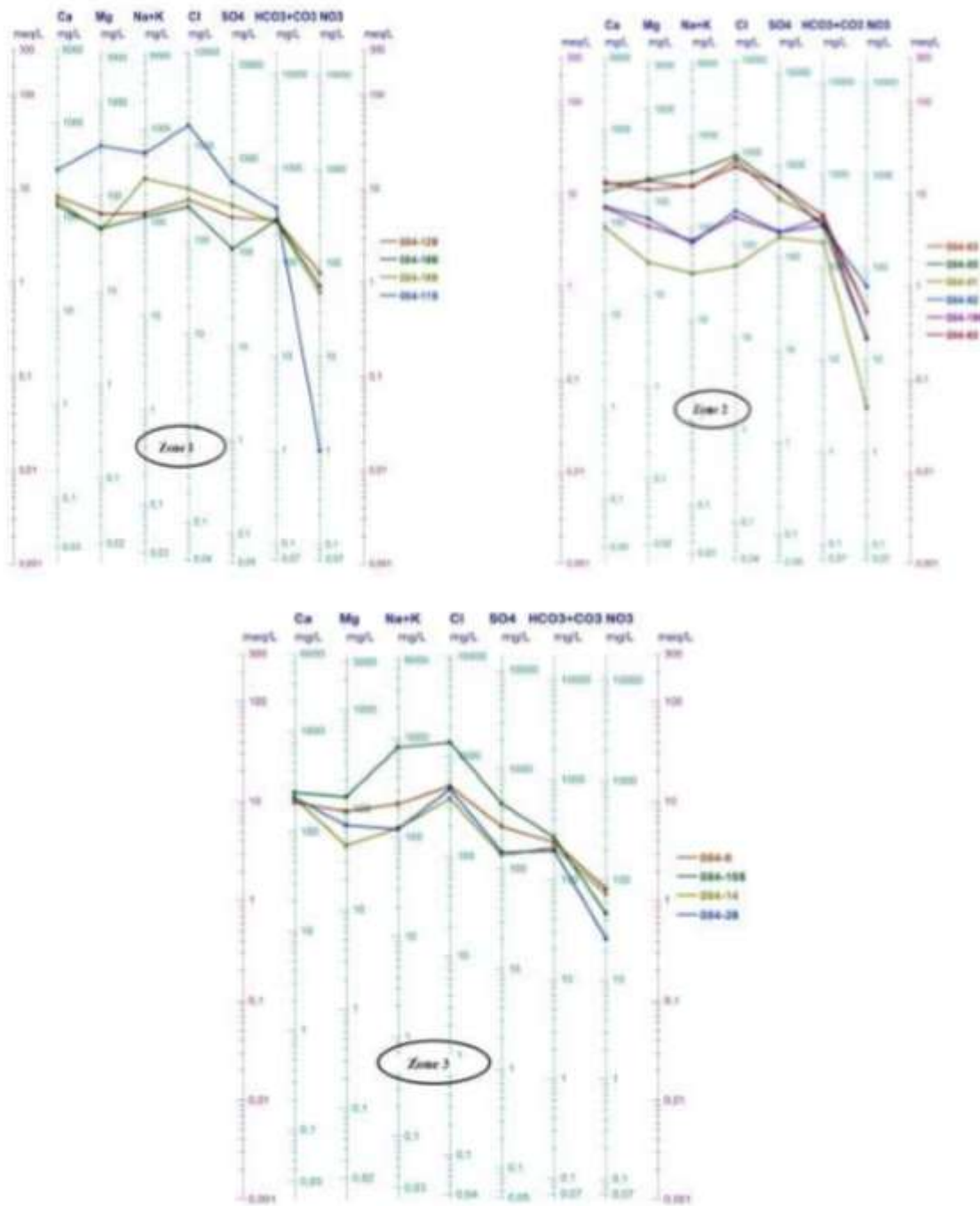


Figure 23 : Diagramme d'évolution chimique de l'eau pour les trois zones (SCHOELLER) (basses eaux 2010/2011).

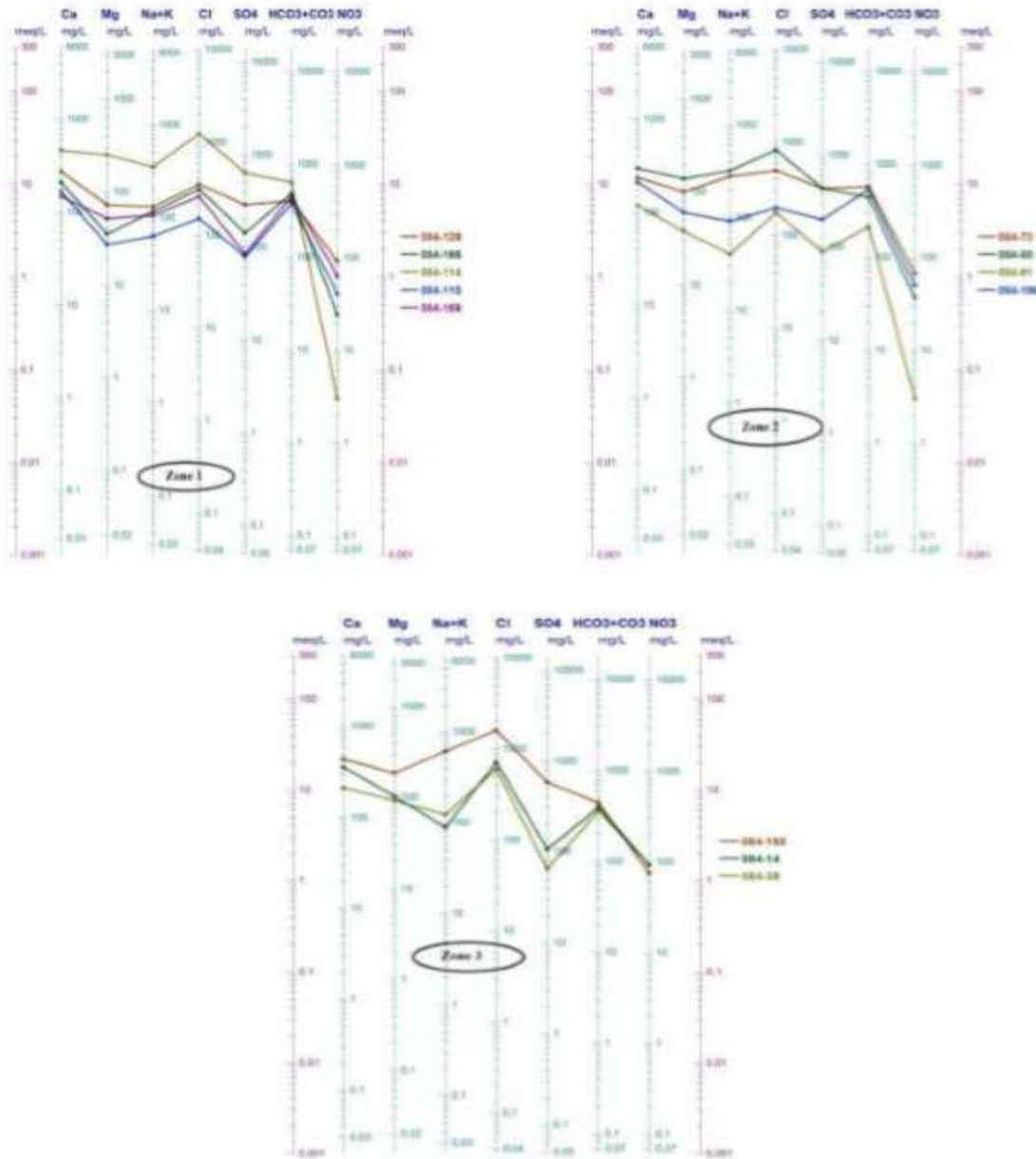


Figure 24 : Diagramme d'évolution chimique de l'eau pour les trois zones (SCHOELLER) (Hautes eaux 2010/2011)

A partir de la méthode de calcul et la méthode diagramme nous avons constaté les différents faciès chimique des eaux qui seront regroupés dans le tableau ci- dessous :

Tableau 19: Faciès chimique des eaux analysées en Octobre 2010. (Khemis Miliana)

Points d'eau	classification	le faciès chimique	Classification de Stabler
84-129	$Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- > NO_3^-$	chloruré-calcique	
84-166	$Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+}$ $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$	chloruré-calcique	
84-115	$Mg^{2+} > Na^+ > Ca^{2+}$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$	chloruré-Magnésiumne	
84-8	$Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+}$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- > NO_3^-$	chloruré-calcique	
84-155	$Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- > NO_3^-$	chloruré- Sodique	
84-14	$Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+$ $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$	chloruré-calcique	
84-39	$Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$ $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$	chloruré-calcique	
84-63	$Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^+$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- > NO_3^-$	chloruré-Magnésiumne	
84-80	$Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- > NO_3^-$	chloruré - Sodique	
84-91	$Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$ $SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^- > NO_3^-$	Sulfaté-calcique	
84-92	$Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$ $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$	chloruré-calcique	
84-169	$Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- > NO_3^-$	chloruré-Sodique	
84-196	$Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$ $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$	Bicarbonaté-calcique	
84-63	$Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- > NO_3^-$	chloruré-calcique	

CHAPITRE VI : l'étude de l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux souterraines

Tableau 20: Faciès chimique des eaux analysées en Avril 2010. (Khemis-Miliana)

<i>Points d'eau</i>	<i>classification</i>	<i>le faciès chimique</i>	<i>Classification de Stabler</i>
84-129	$Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- > NO_3^-$	chloruré-calcique	
84-166	$Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+}$ $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$	chloruré-calcique	
84-115	$Mg^{2+} > Na^+ > Ca^{2+}$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$	chloruré-Magnésiumne	
84-8	$Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+}$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- > NO_3^-$	chloruré-calcique	
84-155	$Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- > NO_3^-$	chloruré-Sodique	
84-14	$Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+$ $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$	chloruré-calcique	
84-39	$Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$ $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$	chloruré-calcique	
84-63	$Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^+$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- > NO_3^-$	chloruré-Magnésiumne	
84-80	$Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- > NO_3^-$	chloruré-Sodique	
84-91	$Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$ $SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^- > NO_3^-$	Sulfaté-calcique	
84-92	$Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$ $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$	chloruré-calcique	
84-169	$Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- > NO_3^-$	chloruré-Sodique	
84-196	$Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$ $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$	Bicarbonaté-calcique	
84-63	$Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+$ $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- > NO_3^-$	chloruré-calcique	

VI-4) Interprétation des résultats :

VI-4. a) Faciès chimique :

D'après les diagrammes de Piper, Schoeller et Stabler (les figures N° 21, 22, 23, 24) nous pouvons dire que les ions dominants sont le plus souvent les chlorures parmi les anions et parmi les cations les plus dominants sont le calcium et le Sodium. On peut constater que les eaux de la région étudiée présentent deux faciès suivant le sens d'écoulement, il s'agit de chlorurer-calcique dans la partie centrale et chloruré-sodique dans la partie Ouest, ce qui est expliqué par les formations géologiques qui ne sont pas les mêmes dans les deux parties.

VI-4. b) Les graphiques :

VI-4. b. 1) Interprétation de résultats d'analyses des Cations de l'années 2010

a) Calcium (Ca^{2+}) :

Durant l'année 2010, période des hautes eaux, le minimale de Ca^{2+} est de 100 mg/l au points (W085-38) qui respecte les normes de l'OMS de 200mg/l au part que le maximale dans le puits (W084-155) est de 436 mg/l qui dépassé deux foi la norme fixée par l'OMS. Durant la période de basses eaux, cette teneur est légèrement baissée de son minimale de 100 mg/l pour 63 mg/l et son maximale est baissée de 436 mg/l pour 371 mg/l dans les mêmes points.

b) Magnésium (Mg^{2+}) :

La teneur de 2010 dans hautes eaux, dépasse légèrement le seuil admissible fixe par l'OMS de 150 mg/l, dans les points (W084-155) qui a 187 mg/l maximales au même temps c'est inferieur dans le point (W084-38) on a 24 mg/l. Aux basses eaux y a une diminution de 24 à 22 dans points (W084-91) des mini et de 187 mg/l à 183 mg/l du point (W085-27).

c) Sodium (Na^+) :

Le Sodium en 2010, est incomparable à la norme de l'OMS de 200 mg/l aux deux périodes, dans le même point de (W084-155), qui présente 610 mg/l au période hautes eaux et 800 mg/l au période de basses et une infériorité à 35 mg/l au point (W084-91) (hautes eaux) et 18 mg/l au point (W084-91) (basses eaux).

d) Potassium (K^+) :

La teneur de Potasse de 2010 a de même histoire que les autres éléments en montant dans les maximales et diminuer drastiquement dans les minimales. Ou les maximales a dépassé 12 mg/l qui est fixe par l'OMS, 24 mg/l dans le point (W084-80) et 19 mg/l dans le point (W084-63) ; les minimales sont de 1 mg/l dans le point (W084-14) et 0 mg/l dans le point (W084-196).

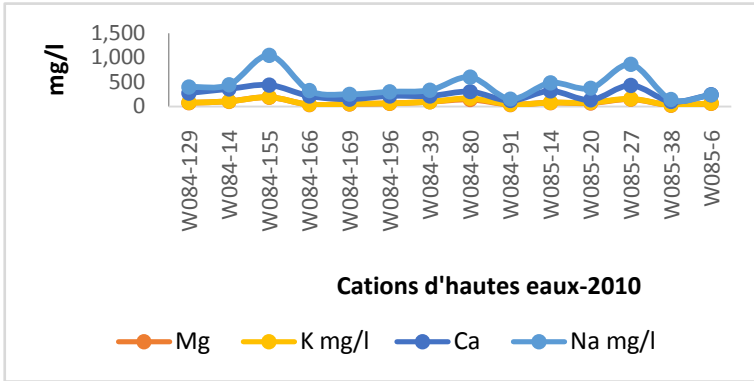


Figure 25: Variation de la teneur des Cations de l'année 2010

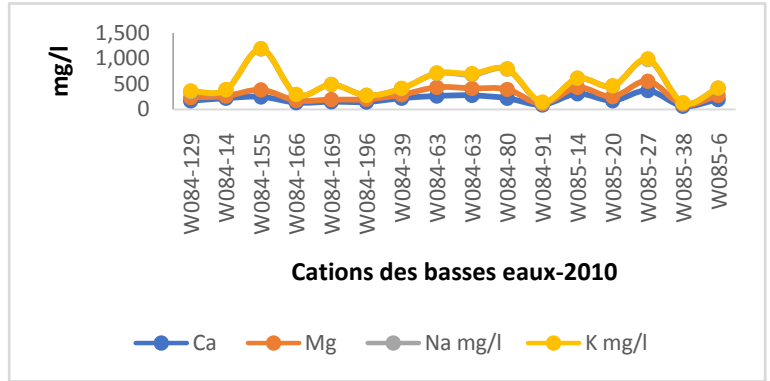


Figure 26: Variation de la teneur des Cations de l'année 2010

VI-4. b. 2) Résultats d'analyses des Cations de l'années 2011

a) Calcium (Ca^{2+}) :

Ici le Calcium de 2011 a une légère altération dans les minimales et maximales de 2010 ;

En 2010 le minimale ai été de 100 mg/l aux mêmes points, en 2011 le minimale est de 81 mg/l, il y a une baisse de 19 mg/l et au point (W085-38) on avait 63 mg/l et qui mont 117 mg/l et, est dans la norme de l'OMS fixé par 150 mg/l ; les maximales ai été 436 mg/l dans le point (W084-155) et est baisse pour 340 mg/l (dans les hautes eaux) et (dans les basses eaux) le même point ai été de 371 mg/l et est monte pour 408 mg/l dépassant la norme de l'OMS fixé par 150 mg/l.

b) Magnésium (Mg^{2+}) :

Teneur en Magnésium 2011, est 434 mg/l en point (W085-27) (hautes eaux) et 205 mg/l de même point (basses eaux), dépassent les normes de l'OMS et, le minimales de 15 mg/l de point (W085-38) (hautes eaux) et 31 mg/l de point (W084-166) (basses eaux), inferieur à la norme de l'OMS.

c) Sodium (Na^+) :

Le teneur en Sodium en 2011 est augmenté dans le point (W085-38) de 57 mg/l d'hautes eaux et un le baissement de 36 mg/l aux basses eaux (minimales). Les maximales dans le puits (W085-27) est de 640 mg/l de hautes eaux et un léger baissement de 485 mg/l du point (W084-80). Le Sodium est dépassé le 200mg/l qui est fixé par le l'OMS.

d) Potassium (K^+) :

Le Potassium est différent de ce de 2010 dans les maximale. Le Potasse est 9 mg/l dans le point (W084-129) et, est norme et 23 mg/l dans le point (W084-80), qui dépasse le 12 mg/l qui dépasse la norme de l'OMS dans basses eaux.

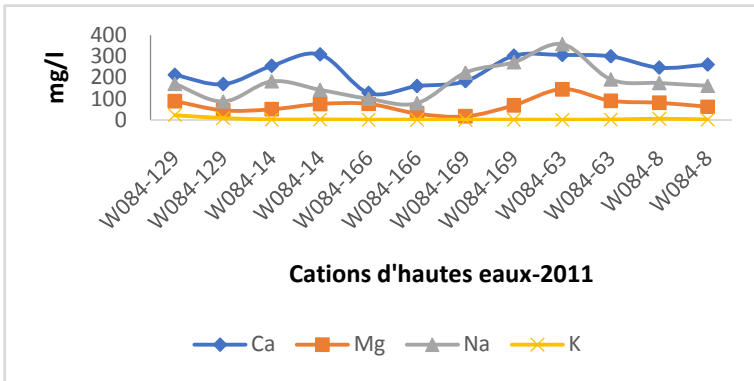


Figure 28: Variation de la teneur des Cations de l'année 2011

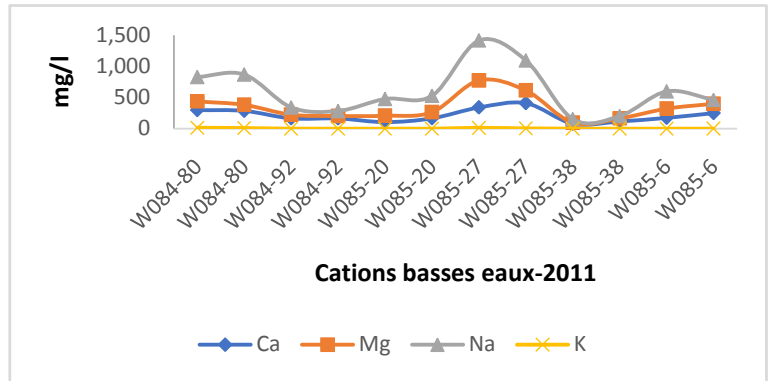


Figure 27: Variation de la teneur des Cations de l'année 2011

VI-4. b. 3) Interprétation de résultats d'analyses des Cations de l'années 2012

a) Calcium (Ca^{2+}) :

Durant l'année 2012 pour les minimales, le Calcium est de 108 mg/l au point (W084-169) et 89 mg/l au point (W084-196) et, est dans la norme ; pour les maximale le Calcium a une petite différence de 379 mg/l au point (W084-155) d'hautes eaux avec 444 mg/l dans le point (W085-14) de basses eaux et ils ont dépassé la norme de l'OMS.

b) Magnésium (Mg^{2+}) :

Durant les deux périodes de haute et basse, le Magnésium a une minimale de 32 mg/l dans point (W084-166) (basse eaux) et 36 mg/l dans le point (W085-38) (hautes eaux) et les maximales de 307 mg/l du point (W084-115), 320 mg/l du même point qui dépasse le 150 mg/l fixé par l'OMS.

c) Sodium (Na^+) :

Le Sodium dans le point (W085-38) (hautes eaux) est de 16 mg/l et le point (W084-92) (basses eaux) est 13 mg/l ; sont inférieur à la norme de l'OMS ; et le 497 mg/l du point (W084-63) et 395 mg/l du point (W084-115) sont supérieur à la norme de l'OMS.

d) Potassium (K^+) :

Le Potassium est 1 mg/l dans le point (W085-6 et 36) est dans la norme d'OMS et le point (W084-29) qui a 26 mg/l et le point (W084-91) a 17 mg/l ; dans les maximales le Potassium a dépassé la norme de l'OMS.

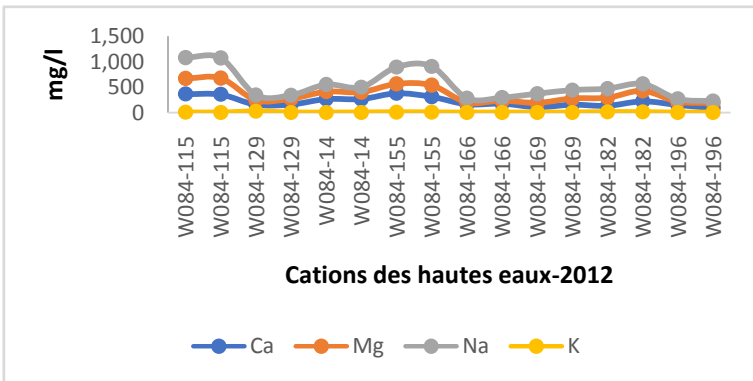


Figure 30: Variation de la teneur des Cations de l'année 2012

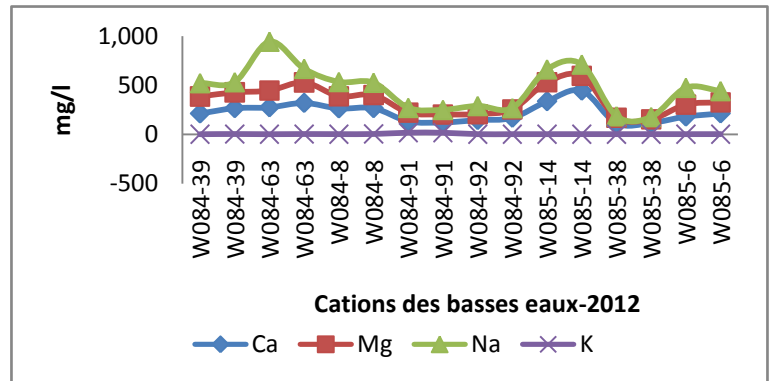


Figure 29: Variation de la teneur des Cations de l'année 2012

VI-4. b. 4) Interprétation de résultats d'analyses des Cations de l'années 2013

a) Calcium (Ca^{2+}) :

Le Calcium les minimales le point (W084-196) est de 73 mg/l dans les hautes eaux et une augmentation de 120 mg/l dans les basses eaux, toujours ils ne dépassent pas la norme fixé par

l'OMS ; la même anomalie est observée au point (W084-84) en hautes eaux est 311 mg/l et aux basses eaux, a une augmentation pour 404 mg/l du même point.

b) Magnésium (Mg^{2+}) :

Dans le point (W084-91) est 27 mg/l et au point (W085-38) est 3 mg/l ça veut dire que les minimales sont en conformité avec la norme de l'OMS et le point (W084) forage 63, est de 160 mg/l, au même point, forage 80, il a un abaissement pour 117 mg/l et dépassant la norme de l'OMS de 150 mg/l.

c) Sodium (Na^+) :

Dans le Sodium on remarque qu'il y a une augmentation dans les minimale qu'est de 34 mg/l (hautes eaux) de point (W85-38) et 36 mg/l (basses eaux), dans le point (W084-110) et est dans la norme ; les maximales de 300 mg/l aux basses eaux au point (W084-80) et 495 mg/l dans le même point. Toujours on a un dépassement de norme de 200 mg/l établie pour l'OMS.

d) Potassium (K^+) :

Le Potassium a obtenu une valeur dans les minimales de 2 mg/l pour point (W085-38) (hautes eaux) et 6 mg/l dans le point (W084-91) (basses eaux). Pour les maximales est de 23 mg/l de point (W084-110) (hautes eaux) et une grande augmentation de 48 mg/l dans le point (W084-8) (basses eaux), qui montre une forte différence avec les normes fixée par l'OMS de 12mg/l.

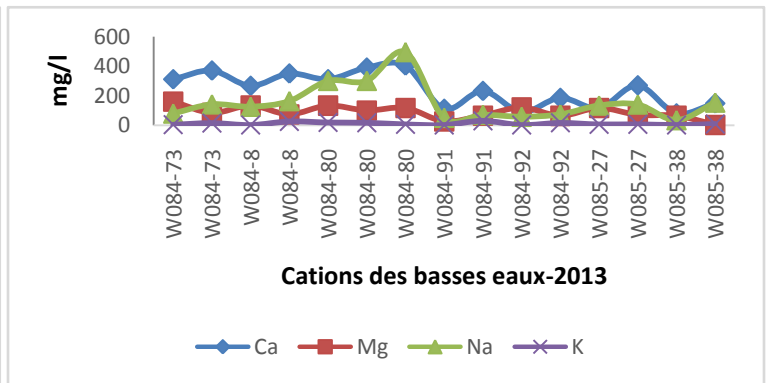
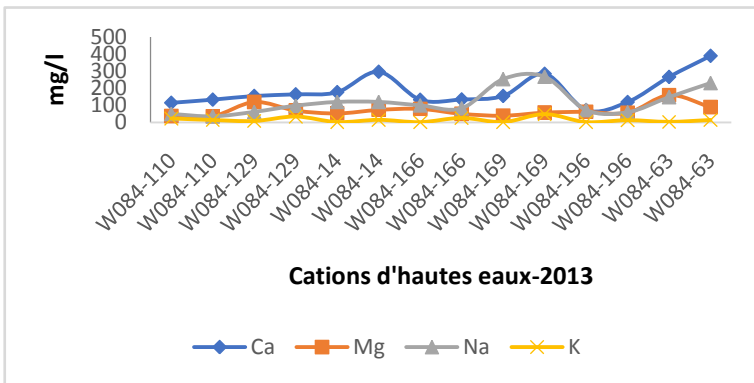


Figure 32 : Variation de la teneur des Cations de l'année 2013 Figure 31 : Variation de la teneur des Cations de l'année 2013

VI-4. b. 5) Interprétation de résultats d'analyses des Cations de l'années 2014

a) Calcium (Ca^{2+}) :

Ici vu que le Calcium en minimales, est dans la norme de l'OMS fixée pour 200 mg/l, que sont 117 mg/l du point (W084-194) d'hautes eaux et 144 mg/l du point (W084-110) de basses eaux ; pour les maximales, il y a un dépassement de 389 mg/l du point (W084-63) de hautes eaux et 407 mg/l du même point.

b) Magnésium (Mg^{2+}) :

Le Magnésium est fixé par l'OMS en 150 mg/l. Les minimales pour les hautes eaux sont de 28 mg/l du point (W084-110) et de basses eaux sont 21 mg/l du même point ; les maximales sont de 112 mg/l du point (W084-63) en hautes eaux et 103 mg/l du point (W084-80). Tous ces points sont dans la norme de l'OMS.

c) Sodium (Na^+) :

Le Sodium est dans la norme au point (W084-110), 45 mg/l du hautes eaux et le point (W084-196), 36 mg/l du basses eaux et, respectent la norme ; mais, le point (W084-115), 315 mg/l en hautes eaux et point (W084-80), 290 mg/l en basses eaux ; dépassent la norme de l'OMS fixé de 200 mg/l.

d) Potassium (K^+) :

Pour le Potassium, pour les minimales, le point (W084-169) est de 3 mg/l dans l'hautes eaux, le point (W084-92) est de 3 mg/l dans les basses eaux et, pour les maximales, le point (W084-115) est de 19 mg/l que dépassé la norme de 12 mg/l fixé par l'OMS et le point (W084-92) est de 9 mg/l et respect la norme.

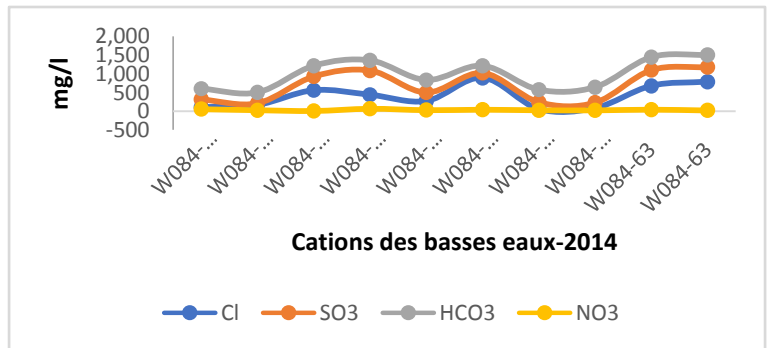
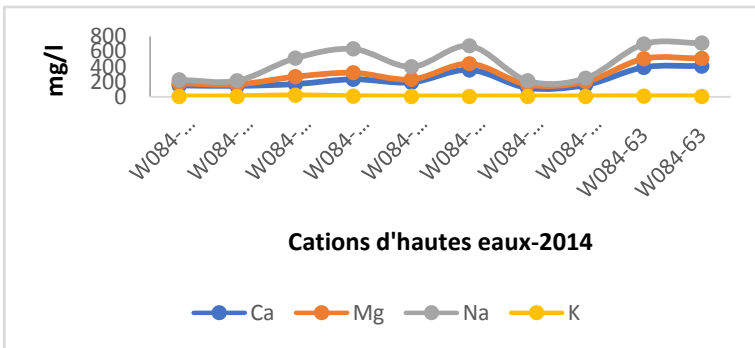


Figure 34: Variation de la teneur des Cations de l'année 2014

Figure 33: Variation de la teneur des Cations de l'année 2014

VI-4. b. 6) Interprétation de résultats d'analyses des Anions de l'années 2010

a) Chlorure (Cl^{2-}) :

Durant l'année 2010, période des hautes eaux, le minimale de Cl^{2-} est de 70 mg/l au point (W085-38) et au période de basses eaux, le minimale est de 60 mg/l au point (W084-91) qui sont inférieure la norme de l'OMS de 250 mg/l au part que les maximales sont ; dans le puits (W084-155) est de 1620 mg/l (hautes eaux) et 1390 mg/l (Basses eaux), qui dépassé fortement la norme fixée par l'OMS.

b) Sulfates (SO_4^{2-}):

La teneur de 2010 le SO_4^{2-} a une harmonisation dans les hautes et basses eaux par les maximales et les minimales ; où, les minimales sont de 38 mg/l dans le point (W085-38) inférieur à la norme de l'OMS fixé par 400mg/l et les maximales 790 mg/l dans le point (W085-27), dépassent la norme.

c) Bicarbonates (HCO_3^-) :

Le HCO_3^- en 2010, est incomparable à la norme de l'OMS de >30 mg/l pour les minimales et maximales de basses et hautes eaux tant au point (084-91) de 214 mg/l comme pour (W084-6) de 565 mg/l, respectivement le teneur est supérieur.

d) Nitrate NO_3^- :

La teneur de NO_3^- de 2010 y a la même valeur de 3 mg/l dans le point (W084-91) de hautes et basses en minimales qui est inférieur a la norme de l'OMS de 50 mg/l et les maximales au point (W084-6), 75 mg/l pour les hautes eaux et 83 mg/l pour les basses, sont supérieures à la norme.

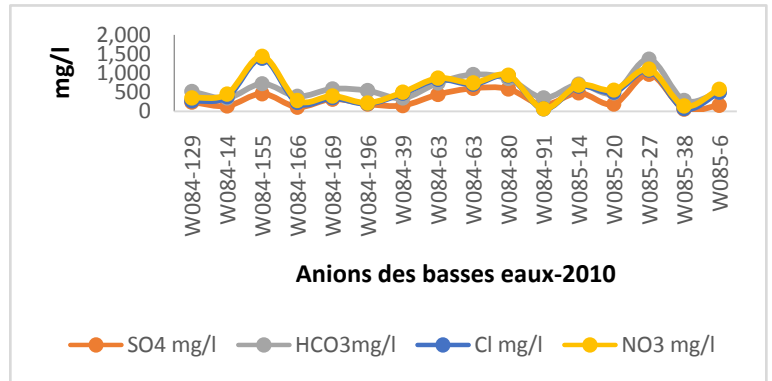
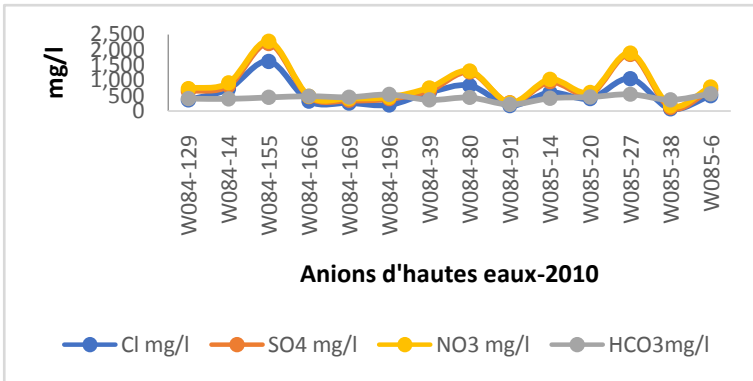


Figure 36: Variation de la teneur des Anions de l'année 2010

Figure 35: Variation de la teneur des Anions de l'année 2010

VI-4. b. 7) Interprétation de résultats d'analyses des Anions de l'années 2011

a) Chlorure (Cl^{2-}) :

Ici le Cl^{2-} de 2011 a une légère altération dans les minimales 70 mg/l par 60 mg/l dans le même point (W085-38), dans la norme et, les maximales est 1230 mg/l dans le point (W085-27) (hautes eaux) et est monté pour 1415 mg/l et (basses eaux) du même point dépassant la norme de l'OMS fixé par 250 mg/l.

b) Sulfates (SO_4^{2-}):

Teneur en SO_4^{2-} pour les minimales sont de 40 mg/l au même point (W085-38) pour l'hautes et basses eaux, inférieure à la norme de l'OMS de 250 mg/l et, les maximales sont de 1630 mg/l respectivement au même point (W085-27) dans l'hautes et basses eaux, supérieur à la norme.

c) Bicarbonates (HCO_3^-) :

Le teneur de HCO_3^- est dépassé le >30 mg/l qui est fixé par le l'OMS, pour tous les points tant pour les basses eaux et même par les hautes eaux, les minimales (W085-38 ; 214 mg/l « hautes eaux » et W084-166 ; 198 mg/l « basses eaux ») maximales (W085-6 ; 397 mg/l « hautes eaux » et W085-27 ; 458 mg/l).

d) Nitrate NO_3^- :

Le NO_3^- est fixée par 50 mg/l selon la norme de l'OMS et on remarque qui, dans les minimales, le point (W085-27) est de 10 mg/l au hautes eaux et pour basses eaux 20 mg/l. Les maximales sont de 150 mg/l au point (W084-8) et 270 mg/l au point (W085-20), sont dépassée la norme.

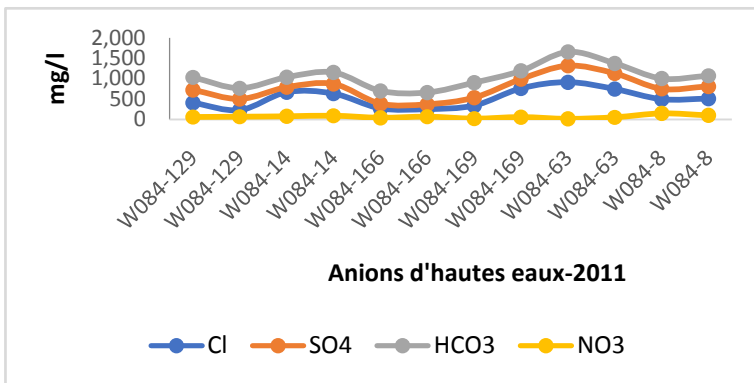


Figure 37: Variation de la teneur des Anions de l'année 2011

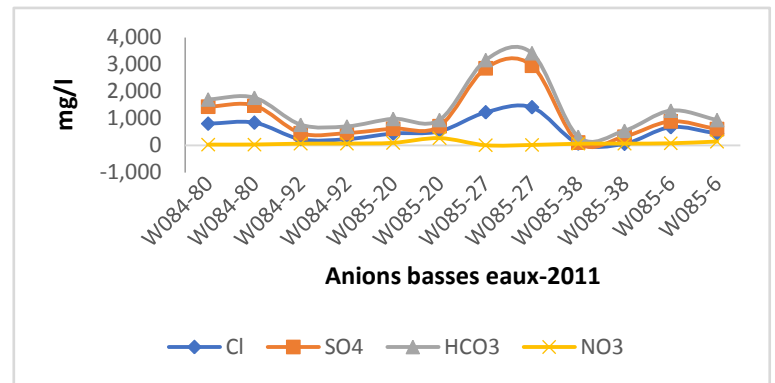


Figure 38: Variation de la teneur des Anions de l'année 2011

VI-4. b. 8) Interprétation de résultats d'analyses des Anions de l'années 2012

a) Chlorure (Cl^{2-}) :

Durant l'année 2012 pour les minimales, le (Cl^{2-} est de 135 mg/l d'hautes eaux, au point (W085-38) et 85 mg/l des basses eaux et au point (W084-196), ils sont dans la norme ; pour les maximale le Chlorure a une petite différence de 1405 mg/l au point (W084-155) d'hautes eaux avec 1385 mg/l dans le même point, de basses eaux et ils ont dépassé fortement la norme de l'OMS fixée par 250 mg/l.

b) Sulfates (SO_4^{2-}):

Durant les deux périodes de haute et basse, le SO_4^{2-} a une minimale pour les hautes et basses eaux de 109 mg/l dans même point (W084-166), ainsi que les maximales 1028 mg/l dans le même point (W084-63) pour l'hautes et basses eaux, du même point qui dépasse le 400 mg/l fixé par l'OMS.

c) Bicarbonates (HCO_3^-):

Le HCO_3^- dans les minimums du point (W084-63) (hautes eaux) est de 183 mg/l et le point (W085-38) (basses eaux) est 244 mg/l ; et la norme est de l'OMS est fixée de >30 mg/l ; et les maximales de 427 mg/l du point (W085-6) et 549 mg/l du point (W084-166) sont tous, supérieur à la norme de l'OMS.

d) Nitrate (NO_3^-):

Le NO_3^- , les minimums sont de 1 mg/l dans le point (W084-169) en hautes eaux et 0 mg/l dans le point (W084-115) en basses eaux, ils sont dans la norme d'OMS de 50 mg/l ; les maximales dans le point (W08-6) qui a 100 mg/l et le point (W084-8) a 165 mg/l ; dans les maximales le Bicarbonate a dépassé la norme de l'OMS.

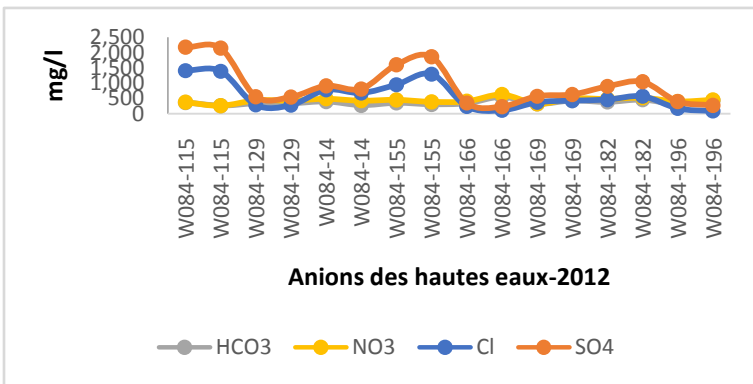


Figure 39: Variation de la teneur des Anions de l'année 2012

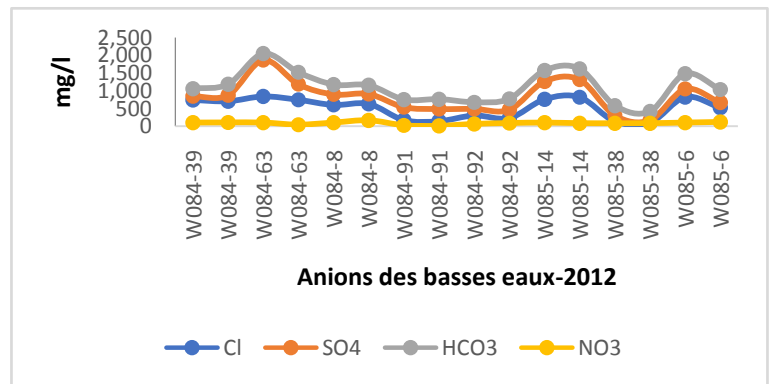


Figure 40: Variation de la teneur des Anions de l'année 2012

VI-4. b. 9) Interprétation de résultats d'analyses des Anions de l'année 2013

a) Chlorure (Cl^{2-}) :

Le Cl^{2-} les minimales le point (W08-38) est de 120 mg/l dans les hautes eaux et de 118 mg/l au point (W084-80) dans les basses eaux, toujours ils ne dépassent pas la norme fixé par l'OMS de 250 mg/l ; l'anomalie est observée au maximales du même point (W084-80) en hautes eaux est de 925 mg/l et aux basses eaux, a une augmentation pour 1380 mg/l du même point, ceci dernier est dépassée fortement la norme de l'OMS.

b) Sulfates (SO_4^{2-}):

Dans le point (W084-110)' au minimales, on a la même valeur pour l'hautes et basses eaux qu'est de 60 mg/l et le même est constaté dans maximales au point (W084-73) qu'est de 625 mg/l. ça veut dire que les minimales sont en conformité avec la norme de l'OMS et les maximales dépassant la norme de l'OMS de 400 mg/l.

c) Bicarbonates (HCO_3^-) :

Dans le HCO_3^- on les minimales sont de 153 mg/l pour les hautes et basses hautes eaux dans le point (W84-63) et 458 mg/l pour les hautes et basses eaux, dans les maximales du même point (W084-27). Toujours on a un dépassement de norme de >30 mg/l établie pour l'OMS.

d) Nitrate NO_3^- :

Le NO_3^- a obtenu une valeur dans les minimales de 6 mg/l pour point (W084-91) (hautes eaux) et 1 mg/l dans le point (W084-80) (basses eaux). Pour les maximales est de 99 mg/l de point (W084-8) (hautes eaux) et 98 mg/l dans le point (W085-27) (basses eaux), qui montre une différence avec les normes fixée par l'OMS de 50 mg/l.

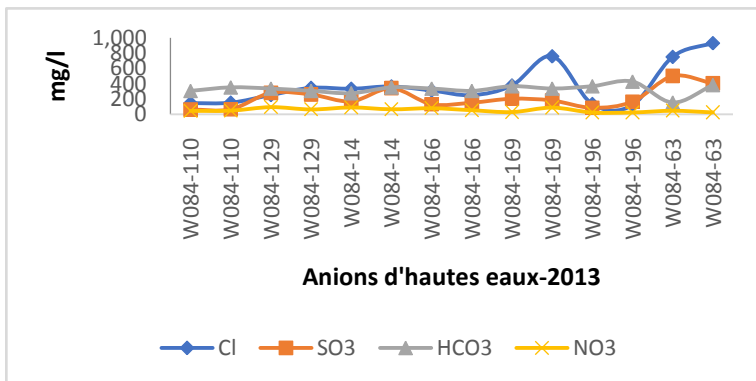


Figure 42: Variation de la teneur des Anions de l'année 2013

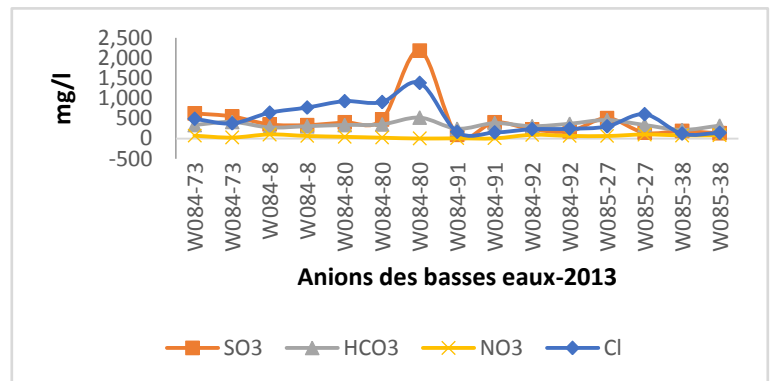


Figure 41: Variation de la teneur des Anions de l'année 2013

VI-4. b. 10) Interprétation des résultats d'analyses des Anions de l'années 2014

a) Chlorure (Cl^{2-}) :

Le Cl^{2-} sont minimales, est dans la norme de l'OMS fixée pour 250 mg/l, que sont 55 mg/l, du point (W084-196) d'hautes eaux et 82 mg/l du même point aux basses eaux ; pour les maximales, il y a 675 mg/l du point (W084-63) d'hautes eaux et 1070 mg/l du point (W084-80), dépassant la norme.

b) Sulfates (SO_4^{2-}):

Le SO_4^{2-} est fixé par l'OMS en 400 mg/l. Les minimales pour les hautes et basses eaux sont de 187 mg/l du pour le même point (W084-196); les maximales sont de 648 mg/l du point (W084-115) en hautes eaux et 155 mg/l du point (W084-8). Tous ces points sont dans la norme de l'OMS sauf le point (W084-115) en hautes eaux qui a 648 mg/l.

c) Bicarbonates (HCO_3^-) :

Le HCO_3^- au point (W084-8), 259 mg/l du hautes eaux et le point (W084-169), 195 mg/l du basses eaux et, respectent d'hors de la norme ; même le point (W084-63), 351 mg/l en hautes eaux et point (W084-196), 415 mg/l en basses eaux ; dépassent la norme de l'OMS fixé de >30 mg/l.

c) Nitrate NO_3^- :

Pour le NO_3^- , pour les minimales, le point (W084-115) est de 6 mg/l dans l'hautes eaux, le point (W084-80) est de 12 mg/l dans les basses eaux (dans la norme) et, pour les maximales, le point (W084-8) est de 155 mg/l que dépassé énormément de 50 mg/l fixé par l'OMS et le point (W084-92) est de 93 mg/l est aussi d'hors de la norme.

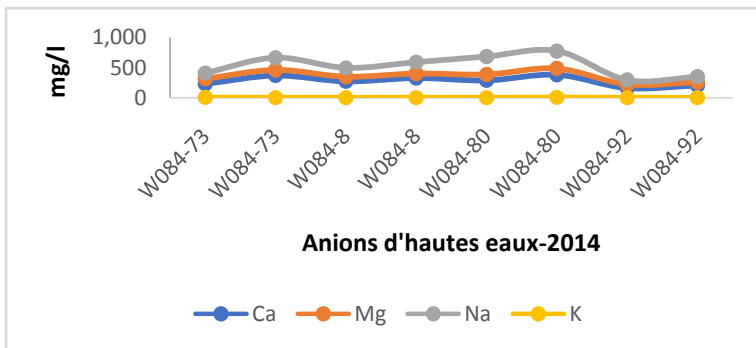


Figure 43: Variation de la teneur des Anions de l'année 2014

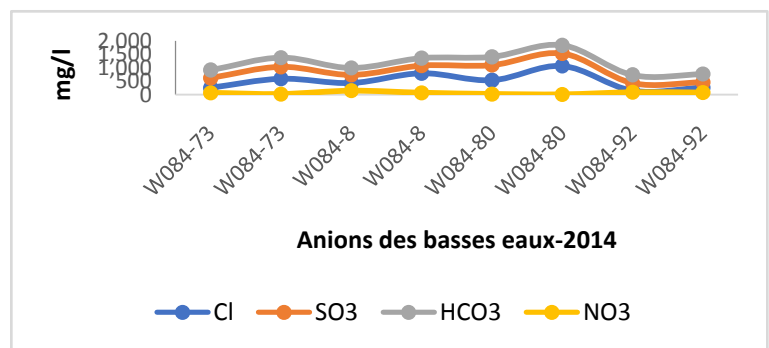


Figure 44: Variation de la teneur des Anions de l'année 2014

VI-4. c) Interprétation des résultats de Potentiel en Hydrogène (pH), hautes eaux :

Le pH les minimaux pour les hautes eaux, sont variés de 7.3 à 7.6 de sa concentration, parmi les 5 ans dans les points : (W085-6) est de 7.3, année 2010 ; (W084-29) est de 7.6, année 2011 ; (W084-115) est de 7.4, année 2012 ; (W084-166) est de 7.6, année 2013 et (W084-8) est de 7.6, année 2014. Les maximums sont variés de 7.8 à 8.3 de sa concentration et dans la norme de l'OMS qui la prévu de 6.5 à 9.5, parmi les 5 ans dans les points : (W084-39) est de 7.8, année 2010 ; (W085-38) est de 8.3, année 2011 ; (W084-182) est de 8, année 2012 ; (W084-63) est de 8.3, année 2013 et (W084-169) est de 8, année 2014 ; Tous ces points montrent la forte concentration (basicité).

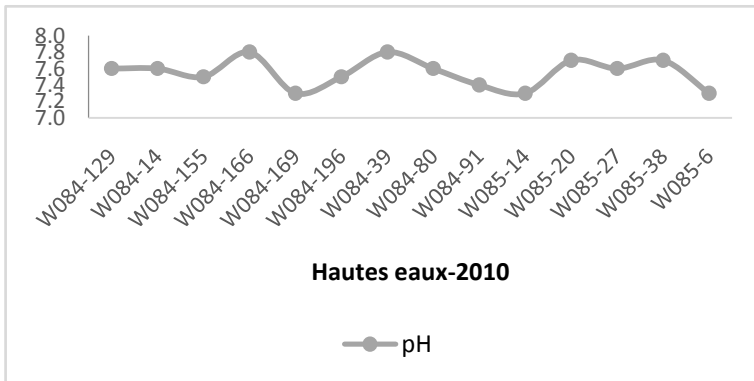


Figure 46: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2010

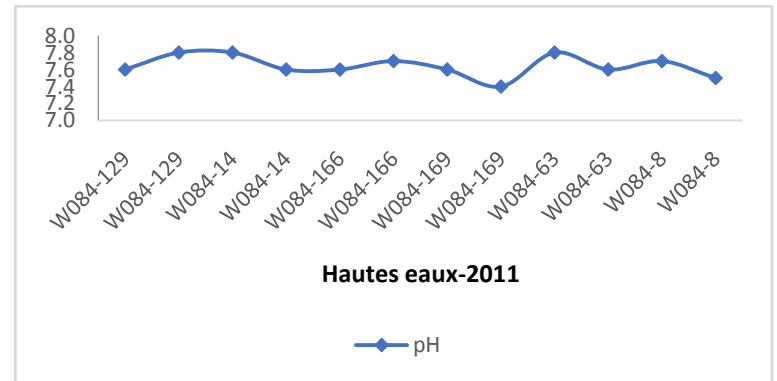


Figure 45: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2011

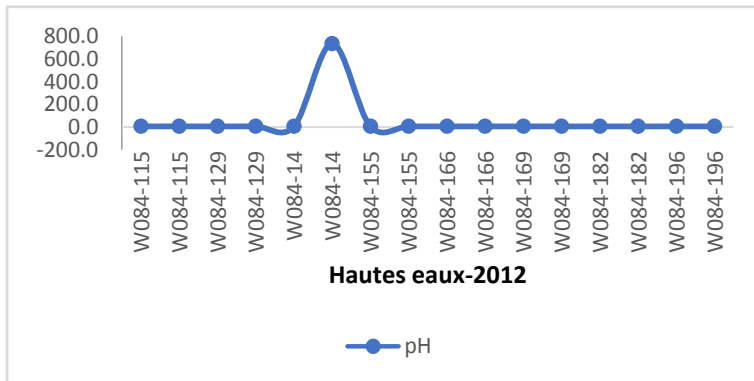


Figure 48: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2012

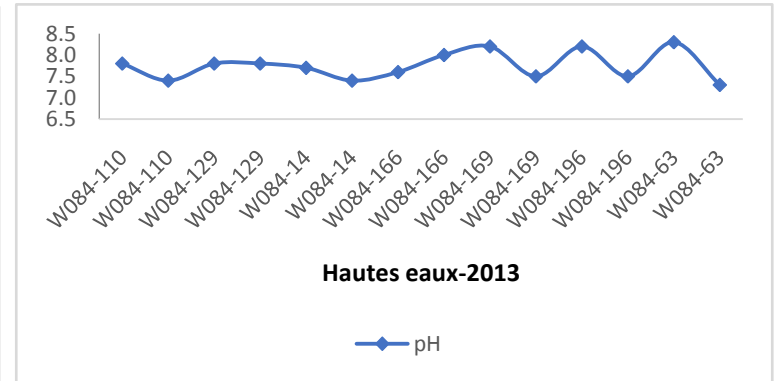


Figure 47: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2013

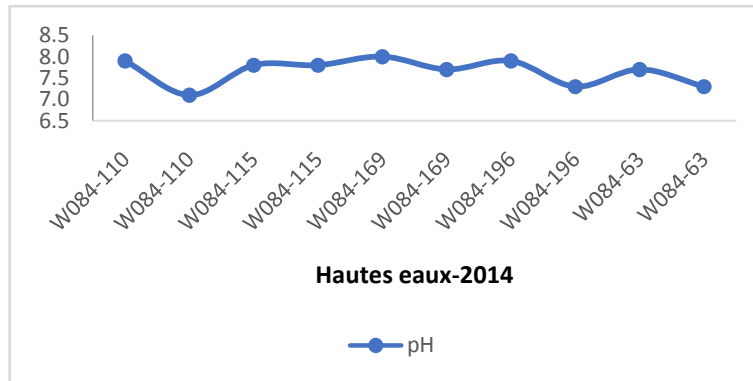


Figure 49: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2014

VI-4. c. 1) Interprétation des résultats de Potentiel en Hydrogène (pH), basses eaux :

Le pH les minimaux pour les basses eaux, sont variés de 7.8 et diminue jusqu'a 7.1 de sa concentration et dans la norme de l'OMS qui la prévu de 6.5 à 9.5, parmi les 5 ans dans les points : (W084-14) est de 7.8, année 2010 ; (W084-169) est de 7.4, année 2011 ; (W084-29) est de 7.3, année 2012 ; (W084-80) est de 7.3, année 2013 ; (W084-110) est de 7.1, année 2014. Tous ces points montrent la forte concentration (basicité). Les maximums sont variés de 7.8 à 8 dans les points : (W085-6) est de 8.3 ; (W084-129) est de 7.8 ; (W084-91) est de 8 ; (W084-8) est de 8.3 et (W084-169) est de 8. Tous ces points montrent la forte concentration (basicité).

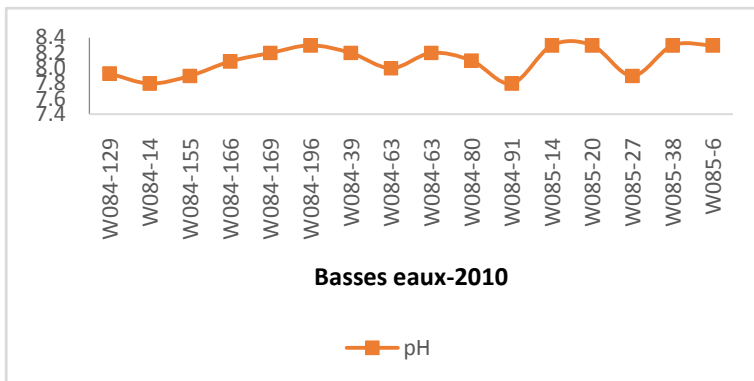


Figure 50: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2010

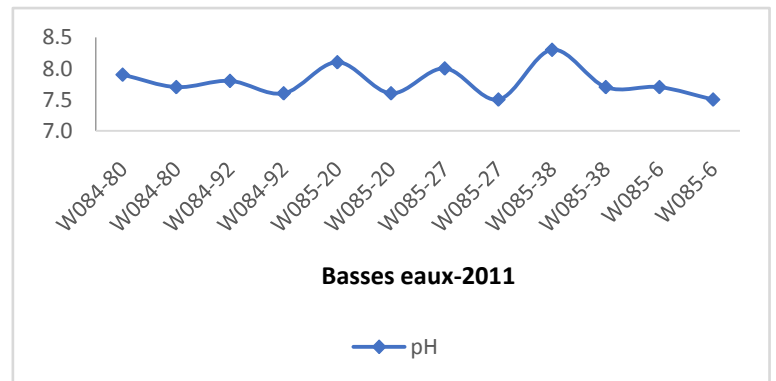


Figure 51: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2011

CHAPITRE VI : l'étude de l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux souterraines

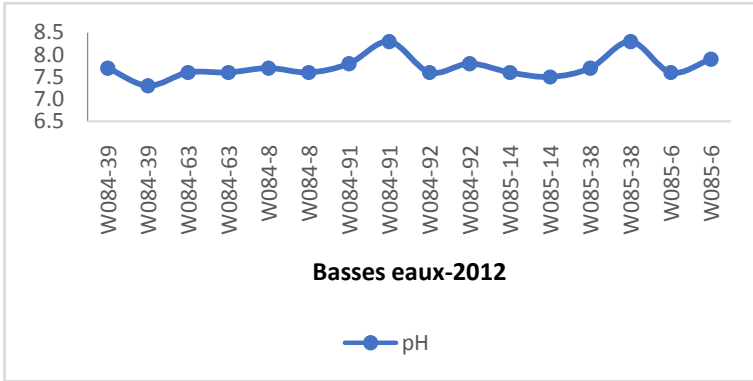


Figure 53: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2012

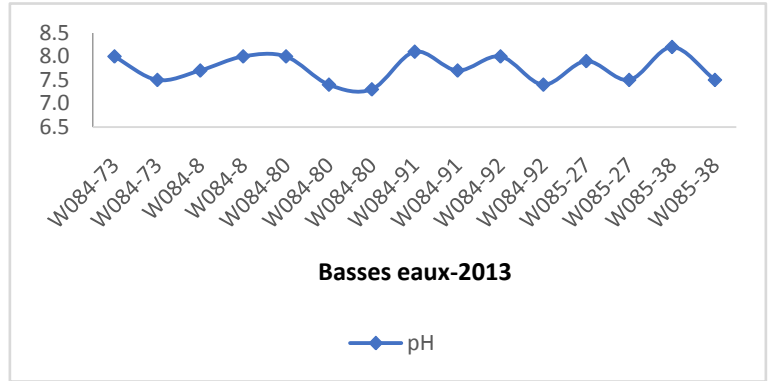


Figure 52: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2013

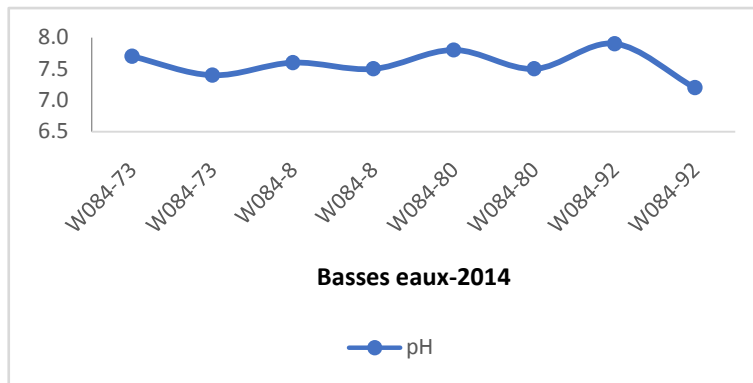


Figure 54: Variation de la teneur de Potentielle en Hydrogène des année 2014

VI-4. d) Interprétation de la Conductivité Electrique (CE), hautes eaux :

La Conductivité Electrique dans hautes eaux a soumis une normalité de 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ fixée par l'OMS dans premier 4 ans, aux points : (W085-38) est de 950 $\mu\text{s}/\text{cm}$; (W085-38) est de 749 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (W085-38) est de 333 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et (W084-91) est de 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$; sauf, le cinquième année (2014) qui a dépassée avec 1134 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) dans le point (W084-196) par leurs minimums.

Les maximums sont très dépassés la norme de l'OMS pour : 7900 $\mu\text{s}/\text{cm}$ du point W084-155 ; 8000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ du point W085-27 ; 7000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ W084-115 du point ; 4000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ du point W084-80 et 4200 $\mu\text{s}/\text{cm}$ du point W084-63.

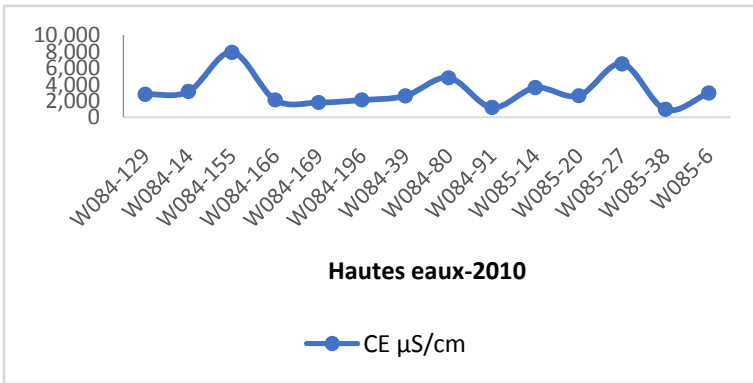


Figure 56: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2010

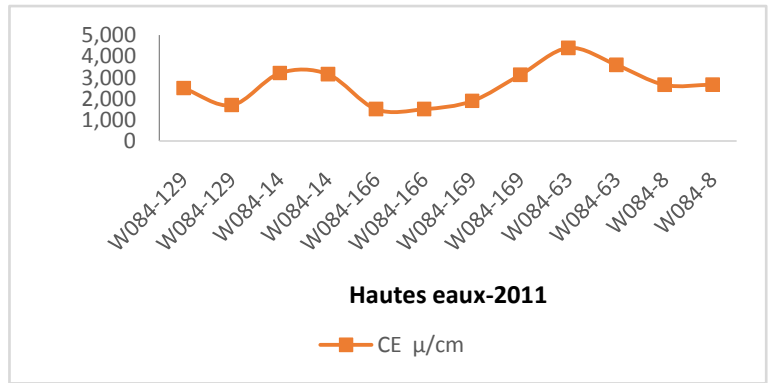


Figure 55: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2011

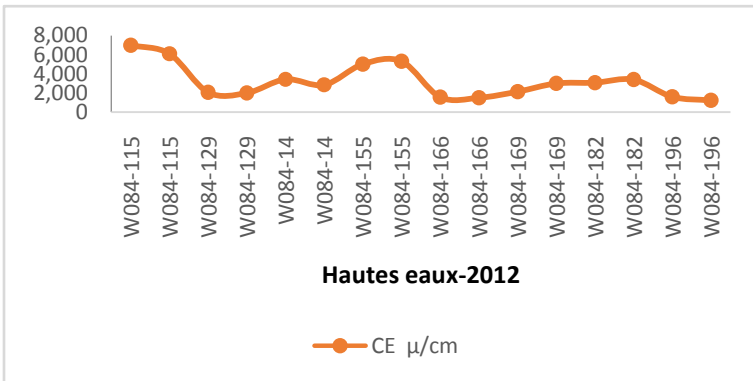


Figure 57: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2012

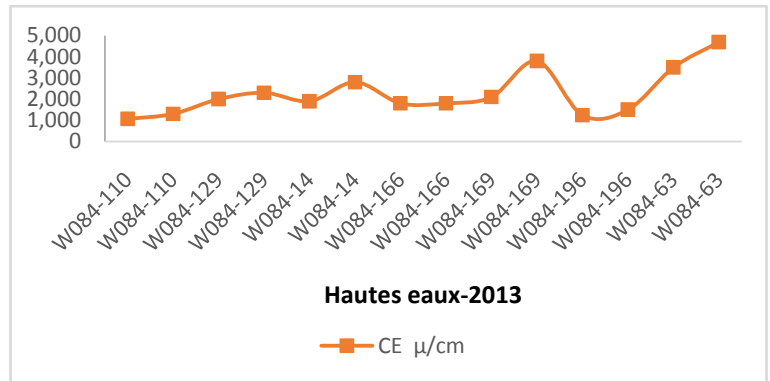


Figure 58: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2013

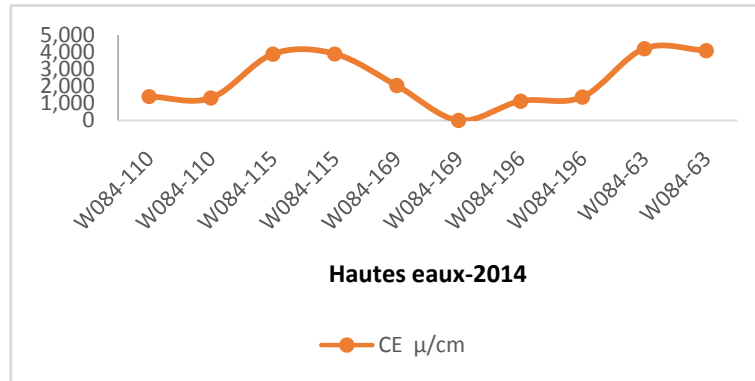


Figure 59: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2014

VI-4. d. 1) Interprétation de la Conductivité Electrique (CE), basses eaux :

Aux basses eaux CE dans les minimums le point (W085-38) qui est dans la norme avec 768 $\mu\text{s}/\text{cm}$ d'année 2010 et le point (W085-38) avec 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ d'année 2012 ; sinon, le point W085-38 avec 1200 $\mu\text{s}/\text{cm}$ d'année 2011 même point (W084-110) avec 1300 $\mu\text{s}/\text{cm}$ d'année 2013 et 1313 $\mu\text{s}/\text{cm}$ d'année 2014. Les maximums sont tous dépassé le 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ fixé par l'OMS, pour : (W085-20) 6800 $\mu\text{s}/\text{cm}$ d'année 2010 ; (W085-27) 5840 $\mu\text{s}/\text{cm}$ d'année 2011 ; (W084-114) 6100 $\mu\text{s}/\text{cm}$ d'année 2012 ; (W084-80) 6740 $\mu\text{s}/\text{cm}$ d'année 2013 et (W084-80) 4750 $\mu\text{s}/\text{cm}$ d'année 2014.

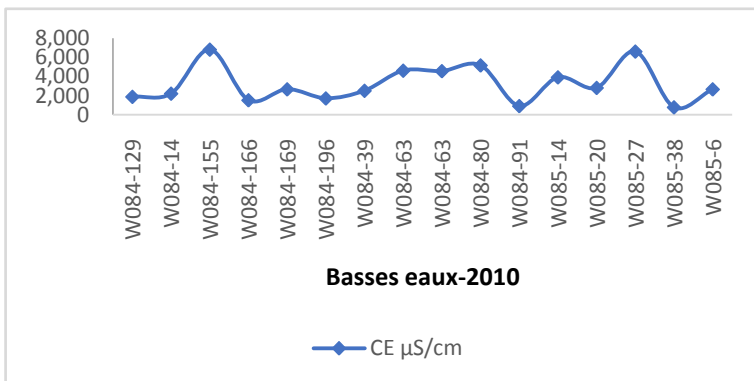


Figure 61: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2010

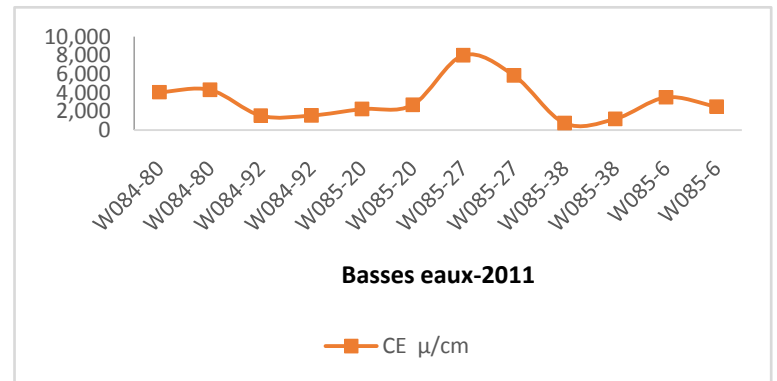


Figure 60: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2011

CHAPITRE VI : l'étude de l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux souterraines

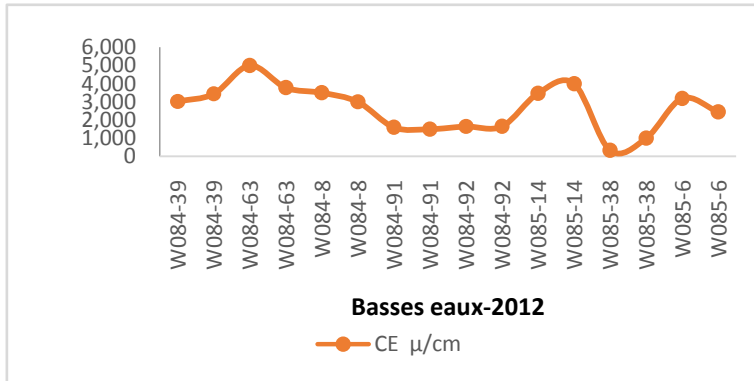


Figure 63: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2012

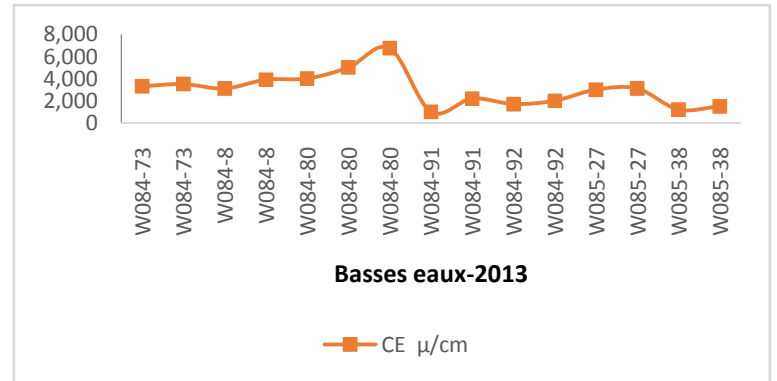


Figure 62: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2013

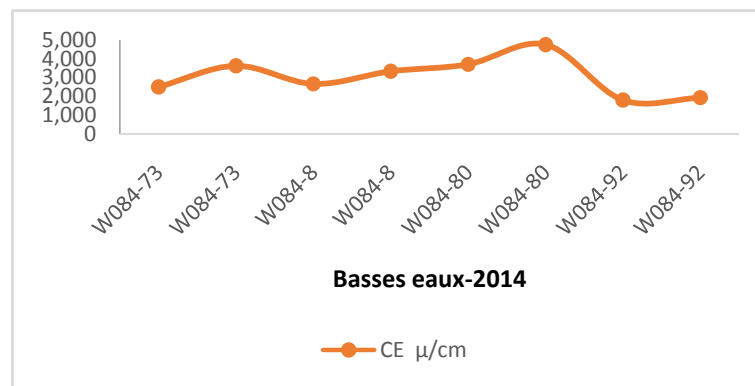


Figure 64: Variation de la teneur de Conductivité Electriques des années 2014

VI-5) Conclusion :

Les résultats des analyses physico-chimique réalisées au niveau du secteur étudié montre que :

L'évolution **des faciès chimiques depuis 2010 à 2014** avec une dominance de type Chloruré-Calcique au Nord et Chloruré-Sodique au Sud de la plaine. Les cartes des variations des divers éléments chimiques (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^-) ont permis de déterminer l'évolution de ces paramètres durant cinq périodes qui présentent un excès de certains constituant en particulier le Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} aux bordures Sud central de la plaine. En outre les concentrations les plus élevées des nitrates affectant toute la plaine.

Conclusion générale et recommandations

Conclusion générale et recommandations :

Au terme de ce travail, mené dans la région du Haut Cheliff (la Plaine de Khemis-Miliana), nous avons pu dégager les traits suivants :

Le secteur d'étude appartient au bassin versant de CHELIFF, il est caractérisé par conditions morphologiques d'une forme allongée et pente généralement faible favorisant l'infiltration au ruissèlement de fait de la lithologie perméable de la Plaine de Khemis-Miliana (Haut Cheliff), est en majeure partie constituée de plaines, les pentes des versants ne dépassant pas les 10% ;

D'autre part les conditions Climatologiques ont permis de constater le caractère semi-aride de la région d'étude, avec des influences sahariennes en été et des influences méditerranéennes en hiver, caractérisée par deux saisons distinctes : en hiver froid et en été chaud, dont on enregistre, une température moyenne annuelle estimée 18.73°C et de précipitation moyenne annuelle de 376.99mm.

Du point de vue hydrogéologique l'aquifère alluvial est localisée à l'emplacement d'une dépression subsidence constituée par des alluvions quaternaires qui recouvrent les terres miocènes et d'une épaisseur de 150m avec une perméabilité de $(8-10) \cdot 10^{-4} m^2/s$. L'établissement de la carte piézométrique nous a permis de déterminer le sens d'écoulement des eaux souterraines qui convergent vers l'Oued Cheliff.

Du point de vue hydrochimie la minéralisation des eaux de la nappe est largement influencée par la dilution, ce qui engendré des fortes teneurs au Calcium (Ca^{2+}) : 397 mg/l en 2010, 696 en 2011 et elle diminue et atteint une valeur de 406 mg/l en 2012, Magnésium (Mg^{2+}) 588 mg/l pour l'année 2010, 206 mg/l pour l'année 2010 puis augmenté à 473 mg/l pour l'année en 2010, ce qui influe sur la dureté des eaux souterraines de la plaine d'étude et fait que ces eaux sont dures à très dures donc la potabilité mauvaise à très mauvaise.

Les faciès chimiques plus prédominant dans la nappe de plaine de Khemis-Miliana (Haut Cheliff) pour les cinq années sont Chlorure-Calcique, puis Chlorure-Magnésique et de faciès et faciès secondaires du type Sulfate-Potassique, Sulfate-Magnésique et Bicarbonate-Magnésique.

Au Nitrates, les concentrations plus élevées 401 mg/l et 255 mg/l sont observées durant les années 2010-2014. La teneur en Nitrates limitée envisagée par le règlement de l'OMS est de 50 mg/l, la présence des très fortes teneurs engendrées dans la zone d'étude sont dues à l'activités des vergers occupant une grande partie de la superficie qui bénéficient l'apport abusif d'engrais, pesticides fumeurs et les rejets de collectivités.

Nous recommandons ce qui suit :

- ✓ Installer des stations d'épuration pour les agglomérations importâtes (Khemis-Miliana, Sidi Lakhdar) dont le but est de préserver la qualité des eaux d'Oued Cheliff ;
- ✓ Sensibiliser les agriculteurs et la population riveraine sur les risques que présentent les eaux des cours d'eaux afin d'éviter leurs utilisations dans l'irrigation des vergers agricoles ou dans les baignades ;
- ✓ Utiliser des quantités optimales et raisonnables des engrais et produit phytosanitaires dans le traitement des cultures agricoles pour éviter tous les risques d'infiltration des Nitrates et Phosphates aux eaux profondes et inciter les agriculteurs à profiter des Nitrates gratuites et limiter les apports d'extérieurs ;
- ✓ Mise en place d'une comité anti-pollution et établir des cartes des périmètres de protection dans la zone ;
- ✓ Surveillance périodique de la qualité des eaux ;
- ✓ Effectuer régulièrement des campagnes des mesures des niveaux piézométriques pour connaître le sens d'écoulements des eaux et éviter l'implantation des ouvrages d'AEP au niveau des berges des Oueds, car cela produirait un abaissement du niveau piézométrique dans l'ouvrage et un écoulement des eaux de l'Oueds vers la nappe, ce qui amènerait à une modification de la qualité d'eau de la nappe.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE:

- ❖ [2] - **ANDRE MUSY, CHRISTOPHE HIGY (2003)** : Hydrologie une science de la nature.
- ❖ [3] - **BENMERIDJA AHMAD (2004)** : Base de données, système d'information géographique et modélisation tridimensionnelle de la géologie, de l'hydrodynamisme et de la pollution des eaux souterraines à l'échelle locale : approche intégrée appliquée à la région du Haut Cheliff, plaine de Khemis-Miliana. (Mémoire d'ingénieur- Centre universitaire de Khemis Miliana).
- ❖ [4] - **BOULAFRAG.O et DJELLOULI.M (2002)** : Contribution à l'étude hydrochimie des eaux souterraines dans la région. Ain Defla. (Mémoire DEUA- Centre Universitaire de Khemis-Miliana).
- ❖ [5] - **BOUZIANE ERRAHMANI A (2005)** : Contribution à l'étude de la protection de la nappe Alluvial du Haut Cheliff (mémoire d'ingénieur- Centre universitaire de Khemis Miliana).
- ❖ [6] - **BOUZIANE RAHMANI (2006)** : Vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du Haut Cheliff (application de la méthode « DRASTIC » assistée par le système d'information géographique « SIG ») (mémoire d'ingénieur- Ecole National Supérieur de l'Hydraulique ARBAOUI Abdellah).
- ❖ [7] - **BRADAI. A (2006)** : Evolution de la qualité des eaux souterraines de la plaine du Moyen-Cheliff occidental « Application de la géostatistique » (mémoire de magistère- Centre universitaire de Khemis Miliana [laboratoire : Eau- Roche- Plante]).
- ❖ [8] - **CASTANY. G (1998)** : Hydrogéologie, principes et méthodes (2^e cycle)
- ❖ [9] - **DERBAL. S et BENALI. F (2004)** : Etude de l'influence de la pollution générée par Oued Soufay et Rehane sur les eaux superficielles et souterraines de la plaine de Khemis Miliana (mémoire DEUA- Centre universitaire de Khemis Miliana).
- ❖ [12]- **JEAN JACQUES COLLIN (2004)** : Les eaux souterraines « connaissance et gestion ». (brgm édition).

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- ❖ [14] - **KAHILA ASMA, ACHOUR KENZA (2008)** : Contribution à l'étude de la qualité des eaux souterraines de la plaine du Haut Cheliff. (Rapport du projet de synthèse de licence en système (L.M.D) - Centre universitaire de Khemis Miliana).
- ❖ [15] - **MESSALMI HAYET (2004)** : Essais de quantification de la ressource en eau (mémoire d'ingénieur- Centre universitaire de Khemis Miliana).
- ❖ [17] - **SARI AHMED (2002)** : Initiation à l'hydrologie de surface « cours ».
- ❖ [18] - **SADEUK BEN ABBES A (2006)** : Prévion des crues dans le bassin versant de l'oued Makerra « région de Sidi belabbes » (mémoire de magistère- Centre universitaire de Khemis Miliana).
- ❖ [20] - **TIMTAOUSSINE.H (2003)** : Impact de la pollution générée par l'oued Boutane sur les eaux superficielles et souterraines de la plaine de Khemis Miliana (mémoire d'ingénieur- Centre universitaire de Khemis Miliana).
- ❖ [21] - Site Internet : <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/chapitre2.html>

- **Cartes :**

- Carte topographique du Nord de l'Algérie au 1/500 000.
- Carte géologique de Miliana N°84 au 1/50 000.
- Carte géologique de Djendel N°85 au 1/50 000.
- Carte hydrogéologique du Nord d'Algérie 1/200 000.

- **Service administrative:**

- Agence national des ressources hydraulique (ANRH) de Blida.
- Agence national des ressources hydraulique (ANRH) de Khemis Miliana.