

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila

Institut des Sciences et de Technologie

Département des sciences et Technique



N° Ref :

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité: Sciences Hydrauliques

**Contribution à l'étude de la qualité des eaux
souterraines de la plaine de Chelghoum Laid
(W-Mila)**

Réalisé par :

- Benatmane zinelabidine
- Ghalia zoheyr

Soutenu devant le jury :

**M. Kabour
Mme. Alia
Mme. Dib**

**Abdeslam
Zineb
Imen**

**Président
Examineur
Encadreur**

Année universitaire : 2015/2016

Remerciement

Nous tenons à remercier toujours et par cette occasion, en premier et avant tout, <<ALLAH>>, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier vivement notre encadreur Mme : Dib Imen pour son précieux conseil et ses encouragements, sa patience, et son aide durant toute la période du travail.

Nos remerciements vont à tous les enseignants du département des sciences et techniques de l'université de Mila, et nous tenons tout spécialement à remercier le Docteur **KHMOUKH.S** pour son aide et sa rigueur scientifique.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenus et encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

Sommaire

Remerciements.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des figures.....	
Résumé en français.....	
Résumé en arabe.....	
Résumé en anglais.....	
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Cadre géographique	
Introduction.....	2
I.1. Situation géographique de la zone d'étude.....	2
I.2 Orographie.....	3
I.3. Climat.....	3
I.4. Végétation et culture.....	4
I.5. Réseau hydrographique.....	5
I.6. Population.....	6
I.7. Economie	6
Conclusion.....	6
Chapitre II : Cadre géologique	
Introduction.....	7
II.1. Contexte géologique régionale.....	7
II.1.1. Le domaine interne.....	7
II.1.2. Le domaine médian « ou des flyschs ».....	7
a) Les nappes mauritaniennes et massylienne.....	7
b) La nappe numidienne.....	7
II.1.3. Le domaine externe.....	8
• Les séries telliennes.....	8
a)La nappe ultra-tellienne.....	8
b) La nappe tellienne (sensu-stricto)	8
c)La nappe péni-tellienne.....	8
• Les séries de l'avant pays	8
a) L'avant pays allochtone.....	8
b) L'avant pays autochtone.....	8
II.2. Géologie locale.....	9
II.2.1 Analyse litho-stratigraphique.....	9
II.2.1.1 Formations quaternaires.....	10
a) Alluvions des plateaux.....	10
1. Alluvions récentes.....	10
2. Alluvions anciennes.....	10
b) Villafranchien.....	10
II.2.1.2. Formations tertiaires.....	10
a) Pliocène et Miocène supérieur.....	10
b) Miocène inférieur.....	10
c) Lutétien supérieur	10
d) Lutétien inférieur.....	10
e) Yprésien et Thanétien « Eocène inférieur »	10
f) Danien et Montien (Paléocène)	10
II.2.1.3 Formations Secondaires	11
1) Crétacé.....	11
a) Sénonien.....	11

b) Cénomanien et l'Albien.....	11
c) Aptien.....	11
d) Barrémien supérieur.....	11
e) Barrémien inférieur.....	11
f) Néocomien [Valanginien- l'Hauterivien]	11
2) Jurassique (J)	11
3) Trias (t)	11
Analyse tectonique et structurale.....	15
Conclusion.....	17

Chapitre III: Cadre Hydroclimatologique

Introduction.....	18
III.1. Aperçu sur le climat de l'Algérie.....	18
III.2. Zone d'étude.....	18
III.3. Données disponibles.....	18
III.4. Etude des paramètres climatiques.....	18
III.4.1 Précipitation.....	18
III.4.1.1 précipitations moyennes annuelles.....	19
III.4.1.2. Précipitations moyennes mensuelles et saisonnière.....	20
III.4.2. Températures de l'air.....	22
III.4.3. Relation température-précipitation.....	23
III.4.3.1. Diagramme Ombro-thermique de Gausson et Begnoul.....	23
III.4.3.2. Détermination de l'humidité du sol (méthode d'Euverte).....	24
III.4.3.3. Indice de "De-Martone".....	24
III.4.3.4. Climagramme d'Emberger (1955)	25
III.5 : Etude de l'évapotranspiration.....	26
III.5.1 Evapotranspiration potentielle : (E.T.P)	26
III.5.2 Evapotranspiration réelle (ETR)	27
III.5.2.1 méthodes de Turc (1954)	27
III.5.2.2 Méthode de Coutagne.....	27
III.5.2.3 Méthode de Thornthwaite.....	28
III.6 : discussion des résultats.....	29
III.7 : paramètre du bilan hydrologique.....	30
III.8 : Ruissellement superficiel.....	30
III.9 Infiltration (I)	30
Conclusion.....	31

Chapitre IV: Cadre hydrogéologique

Introduction	32
IV.1. Description des formations aquifères.....	32
IV.1.1. L'ensemble du Mio-plio-quaternaire.....	32
IV.1.2. L'ensemble de l'Eocène.....	32
IV.1.3. L'ensemble du crétacé.....	32
IV.2. Inventaire des points d'eau.....	32
IV.3. Cartographie de l'aquifère.....	34
IV.4. Définition et buts de la piézométrie.....	36
IV.5. Alimentation de la nappe superficielle.....	39
IV.6. Essai de pompage.....	40

IV.6.1. Interprétation de l'essai de pompage.....	41
Conclusion	42
Chapitre V:Etude hydrochimique	
Introduction.....	43
V.1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux.....	43
V.1.1Etude des paramètres physiques.....	43
V.1.1.1.La Température	43
V.1.1.2.Le potentiel hydrogène.....	43
V.1.1.3.Conductivité	44
V.1.2. étude des paramètres chimiques.....	46
V.1.2.1 les cations.....	46
V.1.2.2. Les anions.....	50
V.1.3. La dureté totale (Degré hydrométrique total (DHT)).....	55
V.1.4. Les rapports caractéristiques.....	55
V.1.4.1. Le rapport rMg^{2+}/rCa^{2+}	56
V.1.4.2. Le rapport rSO_4^{-2}/rCl^{-}	56
V.1.4.3. Le rapport $(r(Na^{+}+K^{+})/rCl^{-})$	57
V.2. Classification des eaux.....	57
V.2.1. Classification de Stabler.....	57
V.2.1.1. Faciès chloruré.....	57
V.2.1.2. Faciès bicarbonaté	58
V.2.1.3. Faciès sulfaté.....	58
V.2.2.Classification de Piper.....	59
V.2.3. Classification de Schoeller-Berkaloff	63
V.3. Potabilité des eaux.....	66
V.4. Aptitude de l'eau à l'irrigation.....	68
V.4.1. Risque de salinité (Diagramme du SAR).....	68
V.4.2. Classification de Wilcox.....	70
Conclusion.....	72
Conclusion générale	73
Bibliographie.....	
Annexe.....	

Liste des tableaux :

Chapitre III

Tabl. III.1	Précipitations moyennes annuelle à la station de Chelghoum Laid, période (2005-2015)	20
Tab.III 2	précipitations moyennes mensuelle et saisonnières à la station de Chelghoum laid, période (2005-2015).....	21
Tab.III.3	Températures moyennes mensuelles et saisonnières à la station de Chelghoum Laid durant la période (2005-2015)	22
Tab.III.4	Détermination de l'humidité du sol à la station de Chelghoum Laid durant la période (2005-2015).....	24
Tab.III.5	Calcul de l'évapotranspiration potentielle par la formule de Thornthwaite à la station de Chelghoum Laid, pour la série (2005-2015).).....	27
Tab. III.6	Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite à la station de Chelghoum Laid pour la série (2005-2015).....	29
Tab.III.7	Valeurs de l'ETP et l'ETR obtenues par différentes méthodes.....	30

Chapitre V

Tab. V. 1	Classification de Stabler (Mai 2011)	58
Tab. V.2	Classification de Stabler (Novembre 2015)	59
Tab. V.3	Faciès chimiques des eaux selon la méthode de SCHOELLERBERKALOFF.....	64
Tab. V.4	Potabilité des eaux (Mai 2011).....	67
Tab. V.5	Potabilité des eaux (Novembre 2015).....	68

Liste des figures:

Chapitre I

Fig. I.1	Carte représente la zone d'étude.....	2
Fig. I.2	carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien. (D'après Mebarki. A, 2005)	3
Fig. I.3	Occupation du sol du sous bassin versant Rhumel-amont..... (D'aprèsMebarki.A, 1982)	4
Fig. I.4	Réseau hydrographique du sous bassin versant Oued Rhumel- amont (D'après Mebarki. A, 1982)	5

Chapitre II

Fig. II.1	Situation actuelle de la plate-forme constantinoise par rapport au domaine des zones externes de la chaîne alpine d'Algérie nord-orientale, (Vila, 1980).....	9
Fig. II.2	Carte géologique du sous bassin versant Rhumel-amont extraite des cartes géologiques au 1/200000 de Sétif et Constantine, (J.M.Vila, 1977).....	12
Fig. II.3	Coupe géologique (NW-SE) à travers la plaine de Chelghoum Laid (G. Durozoy, 1960).....	13
Fig.II.4	Colonne litho-stratigraphique et hydrogéologique du sous bassin versant.....	14
Fig. II.5	Schéma tectonique du sous bassin Haut Rhumel (D'aprèsG.Durozoy 1960).....	16

Chapitre III

Fig. III.1	Carte des précipitations annuelles moyennes (période sur 60 ans, d'après l'ANRH, 1993).....	19
Fig. III.2	variations des précipitations moyennes annuelles (2005-2015).....	20
Fig. III.3	Variations des précipitations moyennes mensuelles à la station de Chelghoum Laid, (2005-2015).....	21
Fig.III.4	Distribution des précipitations moyennes saisonnières en pourcentage, (2005-2015).....	22
Fig.III.5	Variation des températures moyennes mensuelles à la station de Chelghoum Laid, (2005-2015).....	23
Fig.III.6	Diagramme ombro-thermique de la station de Chelghoum Laid, (2005- 2015).....	24
Fig. III.7	Climagramme d'Emberger.....	25

Chapitre IV

Fig. IV.1	Carte d'inventaire des points d'eau de la plaine de Chelghoum Laid...	33
Fig. IV.2	Carte d'iso-profondeur du sous bassin Rhumel-amont (Mai 2011).....	35
Fig.IV.3	carte d'iso-profondeur du sous bassin Rhumel-amont (Novembr2015).	36

Fig. IV.4	carte piézométrique du sous bassin Rhumel amont (Mai2011).....	38
Fig. IV.5	carte piézométrique du sous bassin Rhumel amont (Novembre2015)...	39
Fig. IV.6	Courbe de descente.....	41
Fig. IV.7	Courbe de remontée.....	42
Chapitre V		
Fig. V.1	carte d'iso-conductivité a T= 20 °C (Mai2011)	45
Fig. V.2	carte d'iso-conductivité a T= 20°C (Novembre 2015)	45
Fig.V.3a	Carte d'iso-teneur en Ca^{2+} (Mai 2011)	46
Fig.V.3b	Carte d'iso-teneur en Ca^{2+} (Novembre 2015)	47
Fig.V.4a	Carte d'iso-teneur en Mg^{++} (Mai 2011).	48
Fig.V.4b	Carte d'iso-teneur en Mg^{++} (Novembre 2015)	48
Fig.V.5a	Carte d'iso-teneur en (Na^+K^+) (Mai 2011)	49
Fig.V.5b	Carte d'iso-teneur en (Na^+K^+) (Novembre 2015)	50
Fig.V.6a	Carte d'iso-teneur en HCO_3^- (Mai 2011)	51
Fig.V.6b	Carte d'iso-teneur en HCO_3^- (Novembre 2015)	51
Fig.V.7a	Carte d'iso-teneur en SO_4^{-2} (Mai 2011)	52
Fig. V.7b	Carte d'iso-teneur en SO_4^{-2} (Novembre 2015)	52
Fig. V.8a	Carte d'iso-teneur en Cl^- (Mai 2011)	53
Fig. V.8b	Carte d'iso-teneur en Cl^- (Novembre 2015)	53
Fig. V.9a	Carte d'iso-teneur en NO_3^- (Mai 2011)	54
Fig. V.9b	Carte d'iso-teneur en NO_3^- (Novembre2015).....	55
Fig. V.10a	Rapport Caractéristique ($\text{rMg}^{2+}/\text{rCa}^{2+}$).....	56
Fig. V.10b	Rapport caractéristique ($\text{rSO}_4^{2-}/\text{r Cl}^-$).....	57
Fig. V.10c	Rapport caractéristique ($\text{r}(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/\text{rCl}^-$).....	57
Fig. V.11a	Classification des eaux d'après le diagramme Piper, période Mai 2011.....	60
Fig. V.11b	Classification des eaux d'après le diagramme Piper, période Mai 2011.....	61
Fig. V.12a	Classification des eaux d'après le diagramme Piper, période Novembre 2015.....	62
Fig. V.12b	Classification des eaux d'après le diagramme Piper, période Novembre 2015.....	63
Fig. V.13a	Classification des eaux d'après Schoeller-Berkaloff, période Mai 201.....	64
Fig. V.13b'	Classification des eaux d'après Schoeller-Berkaloff, période Novembre 2015.....	66
Fig. V.14	Classification des eaux d'irrigation d'après la méthode de SAR.....	69
Fig. V.15	Classification des eaux d'irrigation d'après la méthode de Wilcox...	70
Fig. V.16	Faciès chimique Mai 2011.....	71
Fig. V.17	Faciès chimique Novembre 2015.....	71

Résumé

La plaine de Chelghoum Laid située dans le Nord-est Algérien, elle fait partie de la zone amont du grand bassin versant de KébirRhumel, et s'étale sur une superficie de 600 km².

L'étude des différents facteurs climatiques montre que Le climat est à la limite du domaine subhumide et semi-aride, et caractérisé par une saison chaude et sèche et autre froide et pluvieuse.

L'étude hydrogéologique permet de distinguer les formations susceptibles d'être aquifères comme : l'aquifère superficiel du Mio-Plio-Quaternaire, l'aquifère de l'Eocène et l'aquifère du Crétacé.

D'après l'analyse des cartes piézométriques, les écoulements sont de direction NW-SE au niveau de la zone nord d'Oued Rhumel. Par contre, au niveau de la zone Sud d'Oued Rhumel le sens d'écoulement des eaux souterraines est SE-NW. Au centre de la plaine, ces écoulements convergent vers un grand axe d'écoulement de direction SW-NE.

Les eaux souterraines sont caractérisées par une dominance des chlorures qui semblent être liés à la nature géologique du réservoir riche en sels, en ce qui concerne la potabilité et l'aptitude à l'irrigation, une bonne partie des points d'eau analysés présentent un degré de salinité faible et une qualité moyenne à bonne.

Mots clé : plaine, qualité des eaux.

□

هضبة شلغوم العيد في شمال شرق هي الأمامية لحوض المصب كبير الرمال مساحتها 600² كما أنها تتميز بتضاريس متوسط ارتفاعها يكون 1100 مائبة

دراسة العوامل المناخية  يدل على  ينحصر على العموم في حدود المجال شبه الرطب وشبه الجاف و تبيين وجود موسمي  مختلفين  يتميز بشتاء بارد و ممطر و الثاني بصيف حار و جاف .

الهيدروجيولوجية و الجيولوجية تبين تكوينات مختلفة تتمثل في السماط السطحي الميوليوساني
مطين الايوساني و الكريتاسي تأثير مختلف الطبقات على نوعية المياه من خلال تحلل المعادن

من خلال تحليل الخرائط البيزومترية تبين وجود صرف رئيسي للمياه نحو واد الرمال .

الدراسة الهيدروجيولوجية على تحديد تأثير المتغيرات الفيزيائية على المياه الجوفية، تقديم معلومات عن أصل هذه المياه، و مختلف السحنات الكيميائية المكونة لها التي تميزت بسيادة عضو الكلور، ظهور هذا الأخير بكثرة يرجع إلى الطبيعة الجيولوجية للخران الغني.

فيما يخص الصلاحية للشرب □ قابلية المياه للـ□□ كما بينت نتائج التحاليل الفيزيائية والكيميائية اغل□□□□ تتميز□□□□

بنوعية مياه متوسطة□□□□ جيدة.

[illegible]

Summary

The Plain of Chelghoum laid is located in the North-eastern Algeria, it is part of the upstream zone of the great watershed Kébir Rhumel, and spreads over an area of 600 km².

The study of different climatic factors shows that the climate is at the boundary of sub-humid and semi-arid area, and characterized by a hot dry season and another cold and rainy.

The hydrogeological study distinguishes the training may be as aquifers like as: aquifer of Mio-Pliocene-Quaternary aquifer of Eocene and Cretaceous aquifer.

According to the analysis of piezometric maps, flows are NW-SE direction at the northern area of Wadi Rhumel. Otherwise, in the South zone of Oued Rhumel the flow of groundwater is SE-NW. At the center of the plain, these flows converge to a large flow axis of SW-NE direction.

Groundwater is characterized by a dominance of chlorides that appear to be related to the geological nature and reservoir rich salts rich, regarding the potability and suitability for irrigation, much of the analyzed water points have a low degree of salinity and a medium to high quality.

Keywords : plain , Water quality.

Introduction Générale

L'eau est un élément indispensable à la vie et revêt de l'importance pour d'innombrables activités humaines. L'eau peut être rare à certains endroits, comme les zones arides et semi-arides, ou tout simplement d'une qualité médiocre à d'autres endroits.

Depuis l'indépendance, l'accroissement démographique, le développement agricole et industriel dans la région de Chelghoum Laid ont entraîné une augmentation considérable de la demande en eau, induisant la multiplication des forages destinés à mobiliser les ressources en eau des nappes profondes. Ceci a obligé les décideurs à construire des ouvrages hydrauliques pour stocker les eaux des précipitations. Mais, pour satisfaire les besoins des différents secteurs, il est impératif de protéger cette eau contre toutes formes de pollution (Industrielle, agricole...).

La plaine de Chelghoum Laid se situe au Sud de la ville de Mila. Elle s'étale sur une superficie de 600 km². Notre étude a pour objet la connaissance des caractères géologiques, hydrologiques, hydrogéologiques et surtout hydrochimiques de cette plaine avec une mise en relief de différentes origines du chimisme des eaux et leur qualité en vue de potabilité et aptitude à l'irrigation.

Pour réaliser cette étude, nous avons adopté la méthodologie suivante :

- Un aperçu géographique pour mieux situer le secteur d'étude ;
- Une synthèse géologique qui a permis de déterminer la lithologie des formations susceptibles d'être aquifères ; et de connaître la tectonique affectant ces formations.
- Une étude hydro climatologique, basée sur des données de précipitations et des températures pour estimer les différents paramètres du bilan hydrologique ;
- Une étude hydrogéologique mettant en évidence la piézométrie de la région d'étude (zones d'alimentation et de drainage, directions d'écoulement), et l'interprétation des essais de pompage pour déterminer les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères ;
- Comparaison de l'hydrochimie des eaux souterraines de deux campagnes pour appréhender l'évolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques de ces eaux.
- Enfin, une conclusion générale qui met l'accent sur les résultats obtenus.

Chapitre I:

Cadre géographique

Introduction

Une étude hydrogéologique réussie, exige une bonne connaissance des facteurs physico-géographiques caractérisant le secteur étudié.

I.1. Situation géographique de la zone d'étude :

La plaine de Chelghoum Laid située dans le Nord-est Algérien, est l'objet de notre étude. Elle fait partie de la zone amont du grand bassin versant de Kébir Rhumel, en portant le code (10-03). Elle est entourée par des reliefs représentés successivement par Dj Djahalia au Nord-ouest, Dj Ed Dahari au Nord, DjGrouz à l'Est, le flanc Nord du Dj Toukouia au Sud-est, Djebel Chebka et les massifs d'Ouled Abd En Nour au Sud (**Fig. I.1**).

La zone d'étude est située à 33 km de la ville de Mila entre les coordonnées suivantes:

Coordonnées Lambert		Coordonnées géographiques	
Y (km)	X (km)	Longitude	Latitude
X ₁ =806.00	Y ₁ =321.00	6° 10' 0" Est	36°10' 0" Nord
X ₂ =816.00	Y ₂ =328.00		

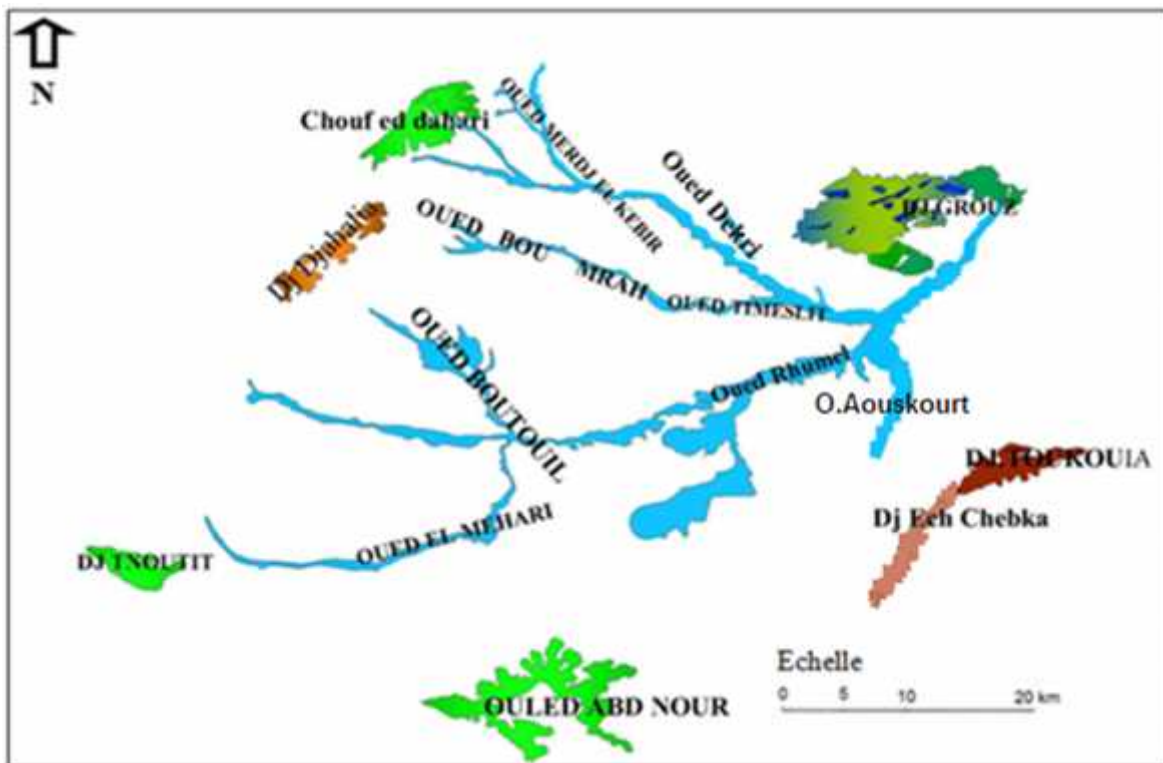


Fig. I.1 : Carte représente la zone d'étude.

I.2. Orographie :

Les reliefs du secteur sont abrupts et isolés. Leur altitude est avoisine les 1100 m dont on trouve à l'extrême Est Dj Grouz qui culmine à 1187 m, au Sud-est Dj Toukouia (1250 m) et au Nord-ouest Dj Djahalia (1107m). Quant à la plaine, elle a une altitude moyenne de 850 à 900 m et est souvent marécageuse (présence des merdjas) au centre de la dépression.

I.3. Climat :

Le climat de la région de Chelghoum Laid est de type méditerranéen semi-aride avec un hiver pluvieux et froid et un été sec et chaud dont l'écart de température est considérable entre les saisons.

L'altitude variant entre 850 à 900 m pour les plaines et 1200m pour les massifs, joue un grand rôle dans la répartition des précipitations.

Du point de vue bioclimatique, la **figure I.2** montre l'existence de deux domaines climatiques, le domaine sub-humide et le domaine semi-aride dont ce dernier est le plus répandu.

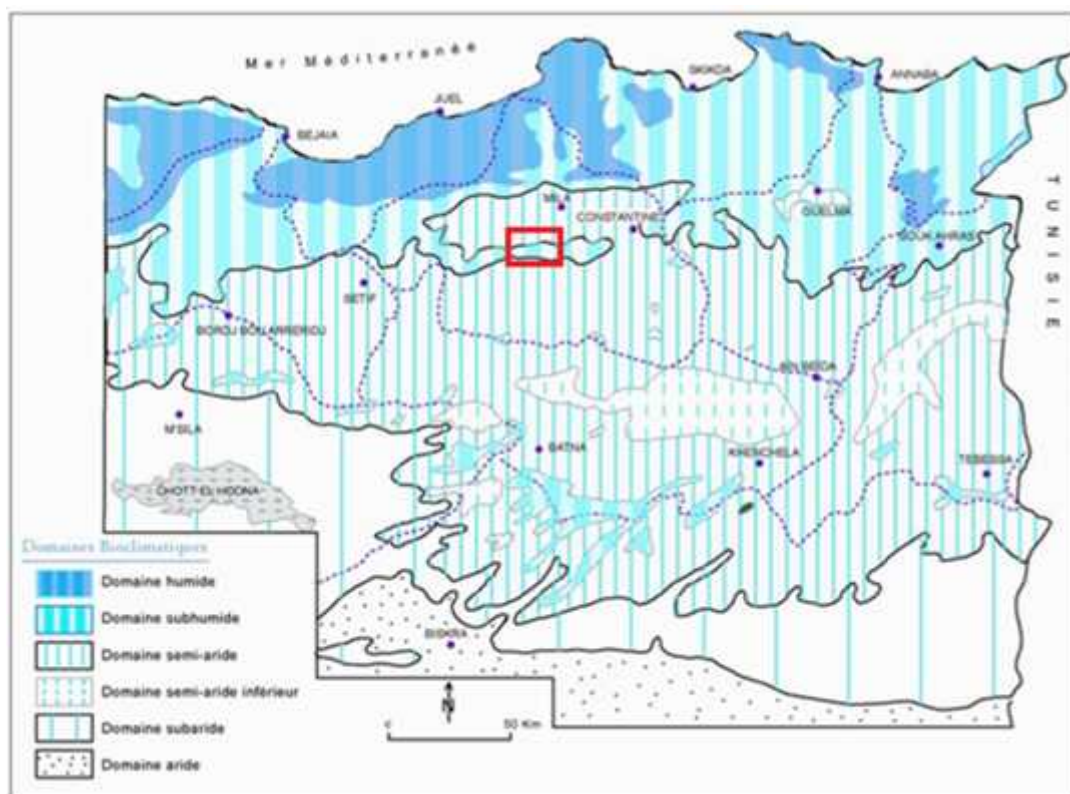


Figure I.2 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien.
(D'après Mebarki. A, 2005)

I.4. Végétation et culture :

L'aspect général de la région est typiquement celui des hautes plaines constantinoises : paysage faiblement vallonné, grandes étendues sans relief et de teinte générale rougeâtre avec peu ou pas de couvert végétal.

La zone n'est au printemps qu'un immense tapis vert moulant le relief ondulé. A l'automne après les labours, il n'y a plus qu'une seule couleur : le brun rougeâtre des marnes néogènes, interrompu par des taches claires ou grises de la croûte calcaire récente ou des marno-calcaires éocènes.

Le caractère semi-aride du climat conditionne le couvert végétal : les plaines sont vouées aux céréales (orge et blé) et aux cultures maraîchères; la zone de prairies naturelles se réduit à la vallée du Rhumel. (**Fig. I.3**)

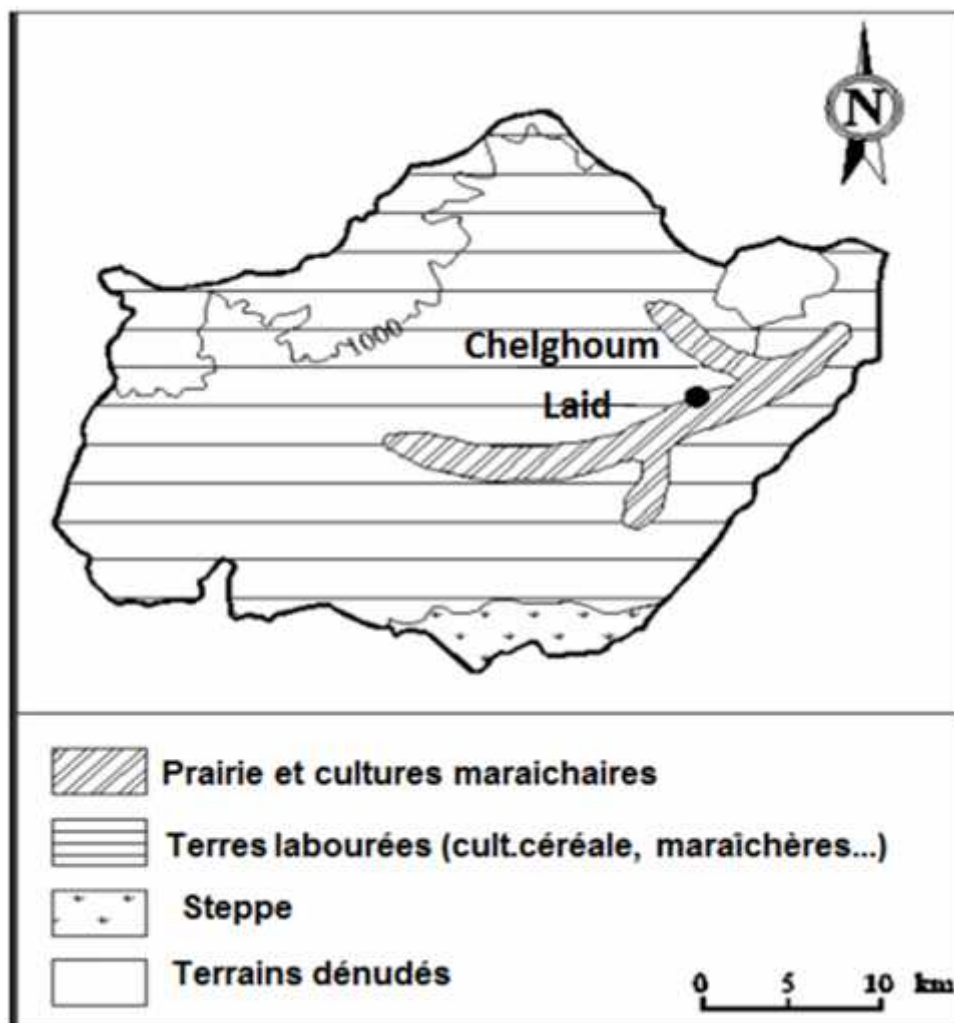


Figure I.3: Occupation du sol du sous bassin versant Rhumel-amont.
(D'après Mebarki. A, 1982)

I.5. Réseau hydrographique:

Le long de son parcours et avant d'atteindre la cluse de Hammam Grouz, Oued Rhumel reçoit plusieurs affluents tels que : Oued Dekri, Oued Aouskourt et Oued El Mahari (**Fig. I.4**), notant que tous ces oueds sont caractérisés par un écoulement permanent d'où il faut prévoir que la relation nappe -oued n'est pas exclue.

Le bassin hydrographique « 10-03 » se décompose globalement en 4 sous bassins :

- La zone hydrographique relativement inactive, au Sud de Tadjenamet.
- Le Rhumel-amont (de Belaa à Chelghoum Laïd) avec son affluent Oued El Mehari ;
- L'Oued Dekri, l'affluent le plus important par ses capacités d'écoulement ;
- Le sous bassin constitué par les affluents de la zone Sud-est s'écoulant à partir d'une ligne de Dj Chebka-Toukouia ;

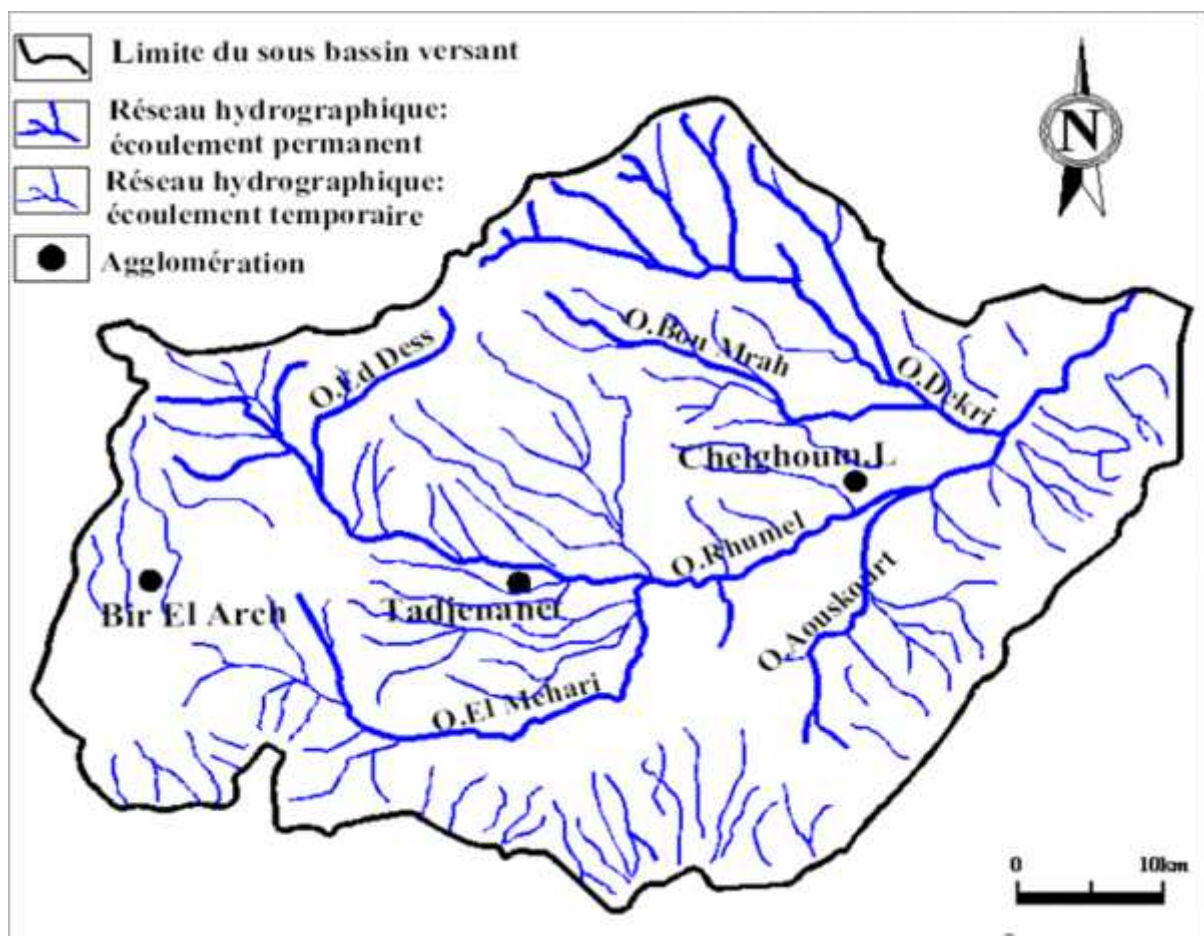


Figure. I.4: Réseau hydrographique du sous bassin versant Oued Rhumel- amont (D'après Mihoubi .N, 2007)

I.6. Population :

La ville de Chelghoum Laid s'étend sur 258,2 km² et compte 82 560 habitants d'après le dernier recensement. La densité de population est de 319,8 habitants par km² dans la ville.

La région montre une répartition irrégulière des habitations, pour cela nous avons trois types d'habitats :

- Un habitat condensé au niveau des villes et des villages : la ville de Chelghoum Laid et le village d'Aziz Ben Tellis (ou Benyahya Abderrahmène).
- Un habitat semi disposé situé au niveau de la plaine sous forme de mechtas et douars tels que : Mechta Tahmâcht et Douar Ouled Zarga.
- Un habitat dispersé sous forme de fermes ou des maisons isolées.

1.7. Economie :

L'économie de la région est fondée essentiellement sur les céréales: orge et blé (surtout blé dur), l'arboriculture et l'élevage des ovins, caprins et bovins avec l'installation de poulaillers à vocation industrielle.

La zone industrielle joue également un rôle important dans l'économie de la région et peut constituer un risque de contamination des eaux superficielles et souterraines par ses rejets.

Conclusion :

Le secteur d'étude appartient au sous bassin du Rhumel-amant avec :

- Une topographie assez plane et des reliefs plus au moins élevés représentés par les djebels tels que : Dj Toukouia, Dj Grouz...etc.
- Un climat semi-aride marqué par deux saisons bien distinguées.
- Un réseau hydrographique dense de type exoréique drainé principalement par Oued Rhumel et ses affluents (Oued Dekri, Oued Aouskourt et Oued El Mahari) pouvant alimenter la nappe d'eau superficielle en période de crue.

Chapitre II :

Cadre géologique

Chapitre II : Cadre géologique

Introduction :

La géologie est une partie très importante dans toute étude hydrogéologique et hydrochimique. Ainsi, la lithologie, la tectonique et la structure géologique influent sur la qualité des eaux suite à la dissolution des minéraux se trouvant dans la roche et sur la quantité d'eau qui ruissèle ou s'infiltre selon le type du terrain (perméable ou imperméable).

II.1. Contexte géologique régionale :

Du point de vue géologique, le sous bassin d'Oued Rhumel-amont correspond aux monts de Constantine, mais fait déjà partie à l'Ouest des hautes plaines sétifiennes, ces dernières sont positionnées dans l'ensemble de la chaîne alpine d'Algérie et plus précisément dans les zones externes, segment de la chaîne des Maghrébides qui représente la chaîne alpine d'Afrique du Nord (M. Durant Delga, 1969).

Les nappes ou les structures constituant la chaîne des Maghrébides sont issues de trois domaines paléogéographiques (Fig. II.1) :

- le domaine interne ;
- Le domaine médian ou domaine des flyschs ;
- Le domaine externe représentant la marge téthysienne du continent africain.

II.1.1. Le domaine interne :

En Algérie, il s'agit du socle Kabyle bordé au Sud par la dorsale Kabyle. Le socle Kabyle regroupe l'affleurement d'un socle métamorphique caractérisé par des formations cambriennes (phyllade et gneiss) et une couverture sédimentaire du paléozoïque au tertiaire.

Tandis que la dorsale Kabyle représente une bande étroite de formations sédimentaires allant du Permo-Trias au Lutétien supérieur.

II.1.2. Le domaine médian « ou des flyschs » :

C'est un domaine paléogéographique qui se caractérise par des formations de plaines abyssales mises en place par des courants de turbidité. Ces flyschs sédimentés depuis le Crétacé inférieur jusqu'au début du Miocène constituent de grandes nappes de charriages. En Algérie ce domaine occupe une position allochtone. Il est composé de deux types d'unités différentes :

- a) **Les nappes mauritaniennes et massylienne**, se sont des flyschs grésopélitiques du Crétacé inférieur.
- b) **La nappe numidienne**, séries gréseuses de l'oligocène qui affleurent largement suivant une orientation SW-NE, allant de Constantine-Guelma jusqu'à la Tunisie (Tabarka), ainsi que sur les chaînons de Zouagha et des Mouias, Dj.BouAffroun, Dj.Tamesguida, au NW du Dj.Edough, à l'Est du cap d'El Aouana...etc, ces sédiments postérieurs à la tectonique fini-éocène forment un étage supérieur nettement moins tectonisé.

Chapitre II : Cadre géologique

II.1.3. Le domaine externe :

Il présente une grande diversification et occupe une position méridionale dans le bassin des Maghrébides, on peut distinguer deux grands types de séries :

- les séries telliennes ;
- les séries de l'avant pays.

- **Les séries telliennes :**

Il s'agit de séries très épaisses, à dominante marneuse d'âge Jurassique à Eocène. D'après J.M.Vila(1980), ces séries sont subdivisées en trois grandes unités qui sont du nord vers le sud :

- a) La nappe ultra-tellienne :**

Caractérisée par des formations calcaireuses et marno-calcaireuses d'âge Crétacé à Eocène. Elle affleure dans la région d'Oued Zenati, entre Constantine et Guelma et dans la région de Grarem au niveau de la chaîne numidique.

- b) La nappe tellienne (sensu-stricto)**

Caractérisée essentiellement par des dépôts terrigènes du Crétacé inférieur, elle affleure essentiellement dans la région de Sétif (nappe de Djemila).

- c) La nappe péni-tellienne :**

Les unités de la nappe péni-tellienne apparaissent en lambeaux charriés sur les massifs néritiques, de Djebel Grouz, Djebel Kheneg et Chettaba. En fenêtre sous les marnes noires des nappes telliennes du Djebel Akhal, elles sont formées par une séquence de carbonates et de vase allant du Lias au paléocène.

- **Les séries de l'avant pays :**

L'avant pays correspond aux formations calcaireuses et marneuses de la plate-forme constantinoise et du domaine atlastique. Il comporte :

- a) L'avant pays allochtone :**

Ces séries ont été regroupées en trois grandes unités qui sont :

- les unités sud-sétifiennes ;
 - l'unité néritique constantinoise ;
 - l'unité des Sellaoua.

- b) L'avant pays autochtone:**

Ce sont des séries sédimentaires mésozoïques très épaisses et très plissées. Ces séries sont principalement localisées au niveau de l'Atlas saharien, des monts du Hodna, des monts de Batna et des Aurès.



Figure II.1: Situation actuelle de la plate-forme constantinoise par rapport au domaine des zones externes de la chaîne alpine d'Algérie nord-orientale, (Vila, 1980).

II.2. Géologie locale :

La région étudiée appartient en presque totalité aux hautes plaines constantinoises. La position des formations constitutives de la zone d'étude est à cheval entre les séries péni-telliennes et les formations néritiques.

Du point de vue stratigraphique, les terrains superficiels rencontrés sont d'origine continentale, en majeure partie lacustre formés dans des bassins bien limités, ainsi que des massifs rocheux carbonatés d'âge Crétacé à Eocène. (D'après G.Durozoy)

II.2.1Analyse litho-stratigraphique:

Selon G. Durozoy, on a les formations suivantes, (Fig. II.2, 3, 4 et 5) :

II.2.1.1 Formations quaternaires :

a) Alluvions des plateaux :

1. Alluvions récentes(A1) :

Elles forment généralement une mince bande souvent discontinue au fond des oueds les plus importants. Il s'agit de banquettes de limons gris et de graviers souvent inondés en dehors de la période d'étiage.

2. Alluvions anciennes(A2) :

Les formations les plus anciennes sont les alluvions caillouteuses qui se localisent au pied des grands reliefs. Le matériel est grossier (blocs, graviers) et souvent cimenté par une croûte calcaire. Le matériel de ces formations devient de moins en moins grossier au fur et à mesure qu'on s'éloigne des reliefs et que la pente s'adoucit.

b) Villafranchien(Qc)

Il est la plus part du temps inséparable au Pliocène. C'est des croûtes calcaires qui peuvent donner parfois des dalles de quelques décimètres à deux mètres d'épaisseur.

II.2.1.2. Formations tertiaires :

Le passage du Tertiaire au Quaternaire est continu.

a) Pliocène et Miocène supérieur (p^1 - m^3):

Au centre de la plaine, ils sont caractérisés par des grès et des marnes brunes avec quelques minces intercalations calcareuses. En bordure des reliefs, ils sont représentés par des conglomérats et des marnes rouges passants latéralement à des marnes rouges à intercalations lenticulaires de calcaires lacustres.

b) Miocène inférieur (m^1) :

Son épaisseur est maximum 150 m pour les marnes du Dj Chebka.

c) Lutétien supérieur (es , e^5c) :

Il est caractérisé par des marnes à bancs de lumachelles et calcaires gréseux. Son épaisseur est importante (250 à 300m).

d) Lutétien inférieur (e^5a) :

Il est représenté au Sud, par des calcaires massifs à Nummulites, visibles sur 80 à 90 m. Tandis qu'au Nord, on a les mêmes calcaires marneux ou marnes schisteuses qu'à l'Yprésien.

e) Yprésien et Thanétien « Eocène inférieur » (ei):

Ils sont représentés de façon générale par des marno-calcaires en petits bancs et des marnes calcaires schisteuses noires et de patines claires.

f) Danien et Montien (Paléocène) (d , ec) :

Au Nord de la plaine d'étude, il est représenté par des marnes noires d'épaisseur 300m

Chapitre II : Cadre géologique

II.2.1.3 Formations Secondaires :

1) Crétacé (c) :

a) Sénonien (c⁶) :

Au Dj. Grouz, l'Emshérien est seul représenté. Il montre un changement de facies spectaculaires : de marnes schisteuses à petits bancs de calcaires passants à des calcaires massifs. Ces formations ont une épaisseur de 200 m.

b) le Cénomanien et l'Albien (C^{1.3}, C^{4.5}) :

Dans le massif d'Ouled Abd En Nour, l'Albien est épais d'une cinquantaine de mètre et comprend uniquement des calcaires en bancs bien réglés qu'ils peuvent être dolomités.

Au Dj. Grouz, l'Albien est lui attribué arbitrairement de 50 m de calcaires et dolomies. Le Cénomanien est connu sous deux facies différents : à l'Ouest, 230 m de calcaires massifs quelque fois dolomités. A l'Est, on a 250 m calcaires de même nature mais admettant des intercalations de calcaires marneux, marno-calcaires et marnes schisteuses.

c) Aptien (n⁵) :

Dans le massif de Grouz, l'Aptien est principalement représenté par des calcaires.

d) Barrémien supérieur (n^{4b}) :

Il affleure partout sous forme de dépôts de calcaires massifs d'épaisseur avoisine de 40 à 60 m.

e) Barrémien inférieur (n^{4a}) :

Il affleure d'une part aux massifs d'Ouled Abd En Nour (précisément au Dj Rokbet El Djemel), avec une épaisseur de 250 m de dolomie mal litée avec rares intercalations de calcaires dolomitiques. D'autre part, au Dj Grouz par 80m de calcaires en petits bancs.

f) Néocomien [l'Hauterivien (n³) – Valanginien (n²)] :

Il existe au Dj Grouz où l'on a 70 m de marnes noires et marno-calcaires noirâtres.

2) Jurassique (J) :

Le Jurassique n'affleure pas dans la région d'étude, mais rien ne permet de supposer l'existence d'une lacune de sédimentation car on le rencontre sur les terrains environnant (Dj Friktia et Dj Chettaba). Donc, l'absence de l'affleurement n'empêche pas de le toucher par des forages très profonds.

3) Trias (t) :

Affleurant au niveau de Dj Toukouïa et aux massifs d'Ouled Abd En Nour, le Trias est le terrain le plus ancien, essentiellement constitué de gypses à cristaux de quartz, d'argiles et calcaires dolomitiques.

Le Trias n'affleure jamais en situation normale, mais sous forme de pointements diapiritiques nombreux jalonnant des accidents tectoniques, c'est le cas pour les deux affleurements au niveau du secteur d'étude.

Chapitre II : Cadre géologique

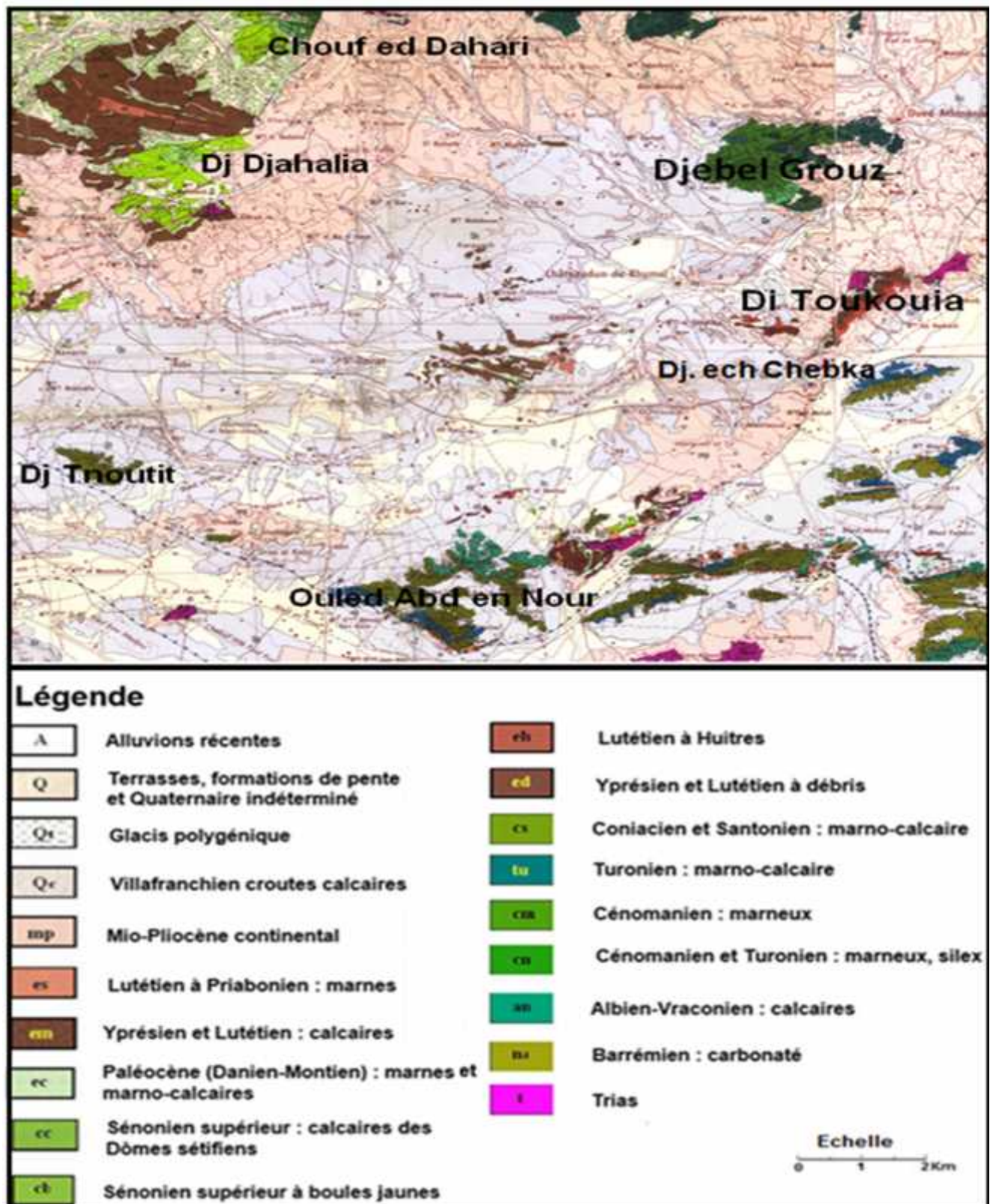


Figure. II.2 : Carte géologique du sous bassin versant Rhumel-amont extraite des cartes géologiques au 1/200000 de Sétif et Constantine, (J.M.Vila, 1977).

Chapitre II : Cadre géologique

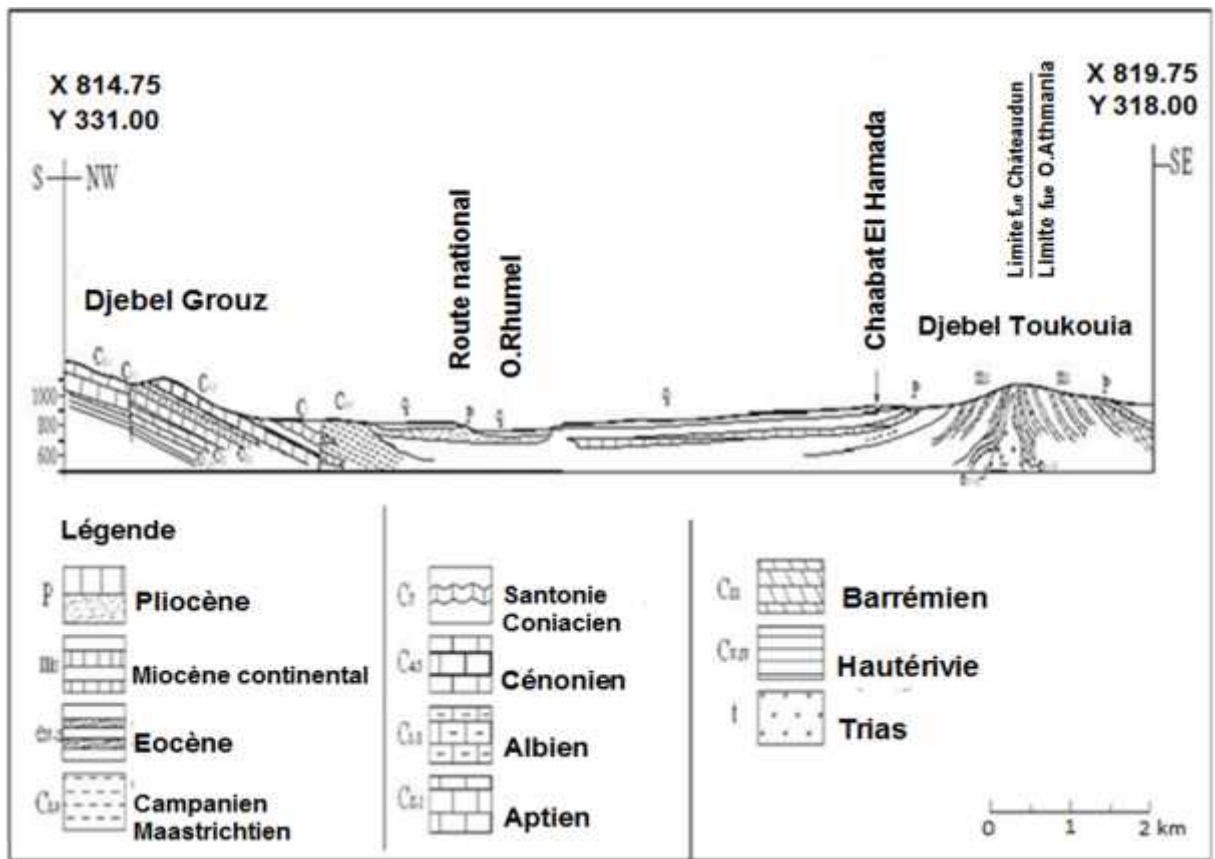


Figure II.3 : Coupe géologique (NW-SE) à travers la plaine de Chelghoum Laid (G. Durozoy, 1960).

Chapitre II : Cadre géologique

Log	Age	Lithologie	Epaisseur (m)	Affleurement	Hydrogéologie
	Quaternaire	Limons, graviers, alluvions Caillouteuses et calcaire		Au	Perméable
	TERTIAIRE	Miocène supé et pliocène	100 à 150 100 à 180	Niveau De la	Perméable
		Miocène Inférieur	Marnes	150 Plaine	Imperméable
		Lutétien Supérieur	Marnes à bancs de lumachelles et calcaires gréseux	250 à 300 SE et NW du S.BV	Imperméable
		Eocène inférieur	Marno-calcaires en petits bancs, schisteuses, noires et de patines Claires	60 à 250 SE, NW et à l'W du S.BV	Perméable
		Danien et Montien	Marnes noires	300 Au Nord de Dj Dess et au Sud de S.BV	Imperméable
		Sénonien	Marnes schisteuses et calcaire massif	200	Perméable
	SECONDAIRE	Turonien et Cénomanién	Calcaire, dolomie Marno-calcaire et marnes	300 Dj Grouz	Perméable
		Cénomanién et Albién	Calcaires en banc, et dolomie Calcaire massif	50 230 Dj. Grouz	Perméable
		Aptien	Uniquement de calcaires	/	Perméable
		Barrémien Supérieur	Calcaires massifs	40 à 60 m Dj.	Perméable
		Barrémien inférieur	Dolomie mal litée, calcaire dolomitique Petits bancs	250 80 Tnoutit Et Dj. Grouz	Perméable
		Jurassique	Dolomie et calcaire dolomitique	150 /	Perméable
		Trias	Gypses à cristaux de quartz, d'argiles et calcaires dolomitiques.	Dj Toukouia	Imperméable

Figure II.4 : Colonne litho-stratigraphique et hydrogéologique de la plaine de Chelghoum laid (D'après Mihoubi .N, 2007)

Chapitre II : Cadre géologique

Analyse tectonique et structurale :

Dans l'ensemble considéré, la structure est commandée par la présence des massifs calcaires qui ont toujours joué lors des différentes phases de plissements le rôle de socle résistant. (D'après Mihoubi. N, 2007).

Au niveau de la région d'étude, les plus importants sont :

-Dj Grouz :

Le Grouz est un massif très fracturé où le faciès calcaire est monotone avec une faune très peu abondante et une microfaune peu caractéristique.

Le dôme du Dj Grouz se trouve dans l'alignement de Dj Friktia – Chettaba (Nord-est du secteur), mais il n'en est pas le prolongement exact, se soulève à l'Ouest de la grande faille NW-SE, et le flanc Nord étend d'autre part effondré en compartiments successifs entre des failles Est-Ouest.

- Dj Toukouia :

L'anticlinal post-miocène du Dj Toukouia, masquant les structures antérieures à matériel crétacé supérieur-éocène.

Il est jalonné de pointements de Trias diapir très important en liaison avec une zone de fracture profonde de même direction qui se prolonge au Nord-Est dans le synclinerium de Chettaba et se prolonge au-delà jusqu'à la région de Constantine.

Les phases tectoniques :

Deux phases principales peuvent être distinguées :

a) Phase post-Numidienne et Post-Miocène inférieur :

C'est la plus violente de toutes celles ayant affecté au cours des temps géologiques les séries secondaires et tertiaires : les structures anciennes sont reprises et fortement accentuées. C'est comme une poussée s'exerçait en direction du Sud. Dans la partie méridionale de la région, les compartiments surélevés sont fortement écaillés et ils chevauchent vers le Sud les compartiments abaissés ; les anticlinaux sont étirés en lame.

La zone de fracture SW-NE du Dj.Chebka, jalonnée de diapirs triasiques, est fortement marquée. Le soulèvement du dôme du Grouz s'accroît, entraînant l'effondrement, entre failles parallèles, des compartiments bordiers.

Dans la partie septentrionale de la région (zone des plis de couverture) la série tertiaire est très intensément plissée et écaillée de son substratum secondaire. Malgré la désharmonie de structure très apparente entre les deux séries, des considérations de faciès empêchent de regarder l'une comme allochtone et ne permettent d'envisager que des chevauchements ou des déplacements peu importants.

Chapitre II : Cadre géologique

Les plis de cette série tertiaire (Eocène inférieur) sont, de plus amenés jusqu'à une direction NW-SE sous l'influence de la poussée venue du nord.

Le chevauchement vers le sud de l'autochtone de la partie méridionale des chaînes telliennes, si marqué à l'Ouest de Sétif, se suit vers l'Est dans notre région où il est jalonné par la ligne de fracture bordant au Sud le massif d'Ouled Abd En Nouret le chevauchement de celui-ci vers le Sud.

La couverture ici beaucoup plus rigide, n'a pas permis un développement du chevauchement. La poussée générale s'exerçant en direction du Sud peut avoir comme origine la pression exercée par les nappes de charriage du Nord de Sétif se mettant en place sous l'effet de la gravité.

b) Phase post-Pontienne et post-Pliocène :

Elle affecte tous les terrains continentaux néogènes qui couvrent de vastes superficies dans notre région d'étude.

Une part prépondérante revient aux mouvements post-pliocènes mais il s'en est produit après le Pontien, et après le villafranchien (ces derniers peu sensibles et très localisés). Les plis sont en général à grand rayon de courbure et indépendants des structures anciennes. L'anticlinalement essentiel est celui du Dj. Chebka qui se forme à la faveur de la zone de moindre résistance de la couverture, dirigée SW-NE et jalonnée par des pointements triasiques.

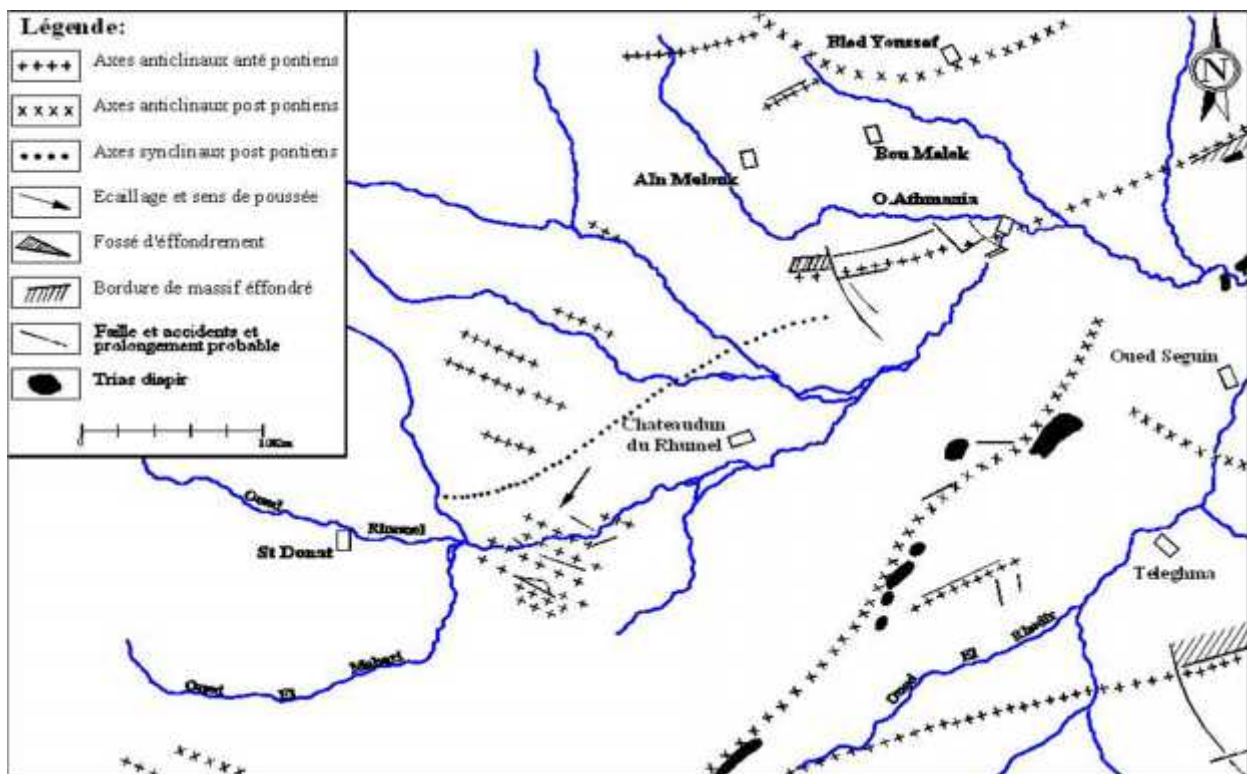


Figure II .5: Schéma tectonique du sous bassin HautRhumel.

(D'après G. Durozoy, 1960)

Chapitre II : Cadre géologique

Conclusion :

On a essayé à travers cette synthèse géologique de bien détailler la lithologie et la tectonique affectant le sous bassin du haut Rhumel afin de pouvoir mettre en évidence les différents niveaux qui peuvent présenter un intérêt hydrogéologique et de ce fait la colonne litho-stratigraphique et hydrogéologique (Fig.II.4) montre les formations susceptibles d'être aquifères comme suit :

- ✓ **Les formations du Quaternaire** : sont des calcaires lacustres et des alluvions caillouteuses.
- ✓ **Les formations du Miocène supérieur et Pliocène** : sont des grès et des conglomérats.
- ✓ **Les formations de l'Eocène (Lutétien inférieur)** : qui sont des calcaires massifs et des calcaires marneux.
- ✓ **Les formations du Crétacé** : qui sont :
 - Les calcaires et les dolomies du Barrémien.
 - Les calcaires de l'Aptien, l'Albien, le Cénomaniens et du Sénonien.

Aux formations perméables citées auparavant, s'ajoutent également les formations qui conditionnent l'existence d'aquifères et qui jouent le rôle d'une barrière étanche (substratum imperméable). Il s'agit des formations suivantes :

- Les argiles et les gypses à cristaux de quartz du **Trias** ;
- Les marnes et les marno-calcaires du **Néocomien**;
- Les marnes schisteuses du **Sénonien**;
- Les marnes du **Dano-Montien**;
- Les marno-calcaires du **Thanétien et Yprésien** ;
- Les marnes à calcaires gréseux du **Lutétien supérieur** ;
- Les marnes à intercalations calcareuses du **Mio-Pliocène**.

Chapitre III:

Cadre

Hydroclimatologique

Introduction :

L'étude des aquifères est liée à l'étude des facteurs climatiques qui sont principalement les précipitations, les températures, les vents et l'humidité. En mettant l'accent sur les quantités d'eau reçues dans la zone d'étude par les précipitations surtout les averses, ainsi les quantités d'eau perdues par l'évapotranspiration, on peut expliquer quantitativement la variation des différentes composantes du régime hydrologique du sous bassin.

III.1.Aperçu sur le climat de l'Algérie :

Etant donné son extension en latitude, le territoire algérien touche à plusieurs zones climatiques. Au Nord, il atteint la frange méridionale de la zone tempérée où le climat est de type méditerranéen.

Vers l'intérieur, le climat méditerranéen se dégrade rapidement et la tendance vers l'aridité s'amplifie. Les pluies de la saison froide deviennent insuffisantes et des climats semi-arides et arides apparaissent. Au-delà des chaînes atlastiques, le désert s'installe définitivement, précisément au Sud de l'isohyète 100 mm.

En ce qui concerne la zone d'étude qui fait partie des hautes plaines, le climat est de type méditerranéen et semi-aride. Il est caractérisé par une saison froide relativement tempérée durant laquelle des perturbations cycloniques, d'origine méditerranéenne en hiver et océanique en automne et en printemps, apportent des pluies souvent substantielles surtout sur les reliefs, suivie d'une période chaude et sèche.

III.2. Zone d'étude:

Le bassin versant de Kébir Rhumel (N° 10 d'après la codification de l'A.N.R.H) a une superficie de 8811 km², et il est subdivisé en sept sous bassins. La zone d'étude fait partie du sous bassin Rhumel-amont (10-03), il est limité par le sous bassin d'Oued El Kébir amont-Endja au Nord, le sous bassin d'Oued Rhumel-Seguin à l'Est, le bassin versant Soummam (15) à l'Ouest et le bassin versant des hauts plateaux constantinois (07) au Sud.

III.3. Données disponibles :

Les données brutes des précipitations et des températures durant la période 2005-2015, ont été recueillies de l'office national de météorologie de Constantine (O.N.M) de la station de Chelghoum Laid qui se situe entre les coordonnées Lambert suivantes : X (km) : 796.150 et Y (km) : 318.000.

III.4. Etude des paramètres climatiques :

III.4.1 Précipitation :

Le terme précipitation regroupe toutes les eaux météoriques qui tombent à la surface de la terre sous forme liquide comme les pluies qui conditionnent l'écoulement

superficiel et l'enrichissement des aquifères, que sous forme solide comme les neiges et les grêles.

III.4.1.1 Précipitations moyennes annuelles :

A l'échelle de l'Algérie, la carte pluviométrique montre une répartition géographique des précipitations décroissante du Nord vers le Sud et de l'Ouest vers l'Est suivant la variation des altitudes. La pluviométrie varie entre 2000 mm sur les hauts reliefs en bordure de la mer jusqu'à moins de 600 mm au niveau des hautes plaines pour décroître en suite jusqu'à 100 mm dans la région du Sahara central.

Au niveau de notre zone d'étude, la figure(III.1) montre que les précipitations varient entre 300-600 mm/an. Le tableau(III.1) qui mentionne les variations moyennes annuelles des précipitations, permet de constater que :

- Le maximum des précipitations moyennes annuelles est observé à l'année (2005-2006) avec 382.4mm.
- Le minimum des précipitations moyennes annuelles est observé à l'année (2014-2015) avec 816.3mm.

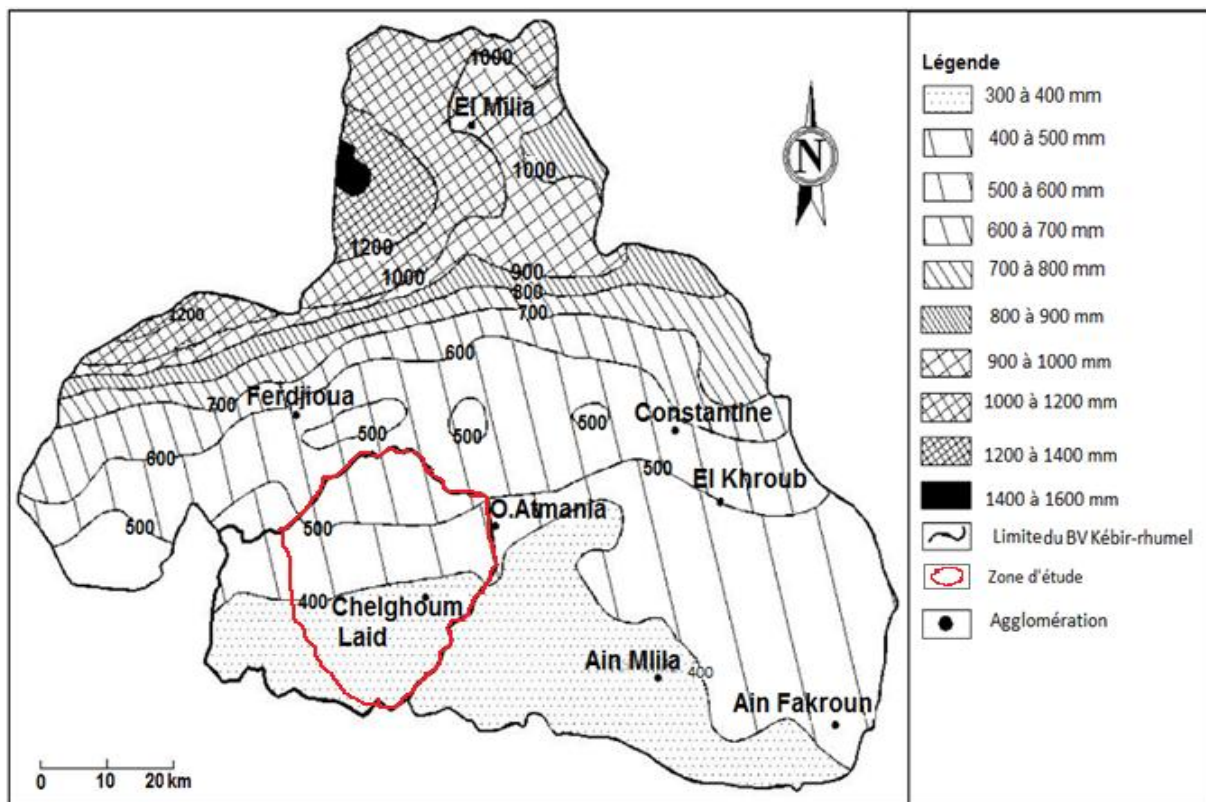


Fig.III.1 : Carte des précipitations annuelles moyennes.
(Période sur 60 ans, d'après l'ANRH, 1993)

Chapitre III: Cadre Hydro climatologique

Tab. III .1 : Précipitations moyennes annuelle à la station de Chelghoum Laid, période (2005-2015).

années	2005 2006	2006 2007	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2010 2011	2011 2012	2012 2013	2013 2014	2014 2015	Moyenne
Précipitations moyennes-en (mm)	382.4	447.6	430.7	520.4	588.6	642.7	640.1	784.7	772.9	816.3	602.64

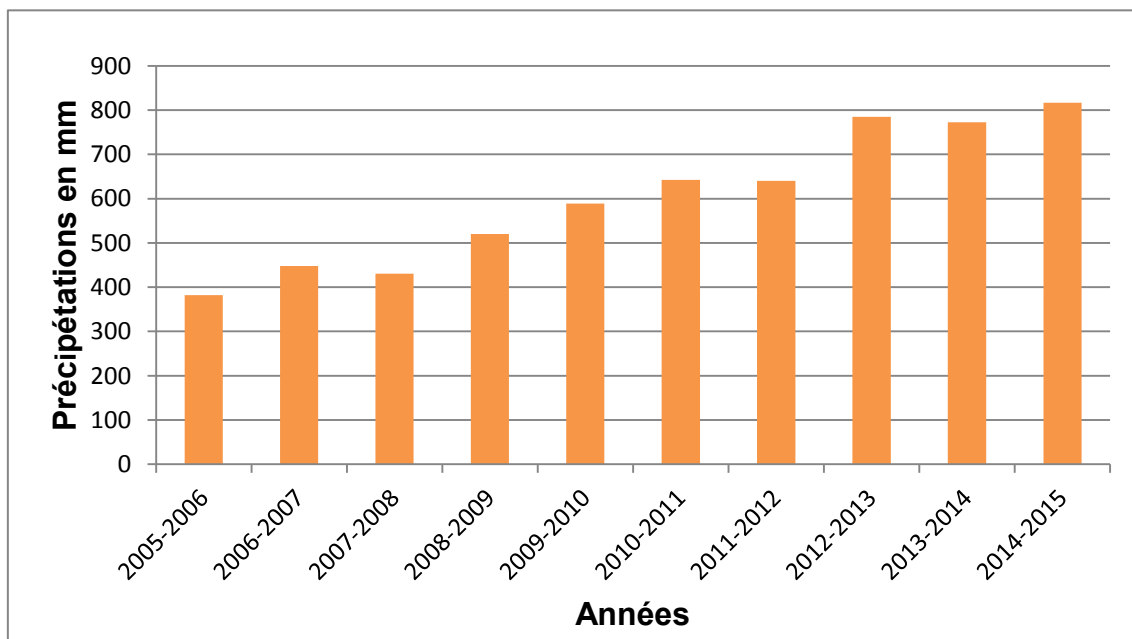


Fig.III .2 : Variations des précipitations moyennes annuelles, (2005-2015).

III.4.1.2: Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières :

Le tableau(III.2) qui mentionne les variations moyennes mensuelles et saisonnières des précipitations, permet de constater que :

- Le maximum des précipitations moyennes mensuelles est observé au mois de Février avec 97.25mm.
- Le minimum des précipitations moyennes mensuelles est observé au mois de Juillet avec 4.29mm.
- Pour le régime saisonnier, la saison la plus pluvieuse est l'hiver, avec 251mm.
- Tandis que, la saison la plus sèche est l'Eté avec : 30.04 mm.

Chapitre III: Cadre Hydro climatologique

Tab.III .2 : Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières à la station de Chelghoum Laid, période (2005-2015).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout	Total
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
Moyenne mensuelle en mm	38,68	40,09	52,4	77,64	75,8	97,25	80,33	50,7	50,72	8,95	4,29	25,8	602,64
Moyenne saisonnière en mm	131,2			251			182			39,04			602,64
Moyenne saisonnière en %	21,77%			41,59%			30,16%			6,48%			100 %

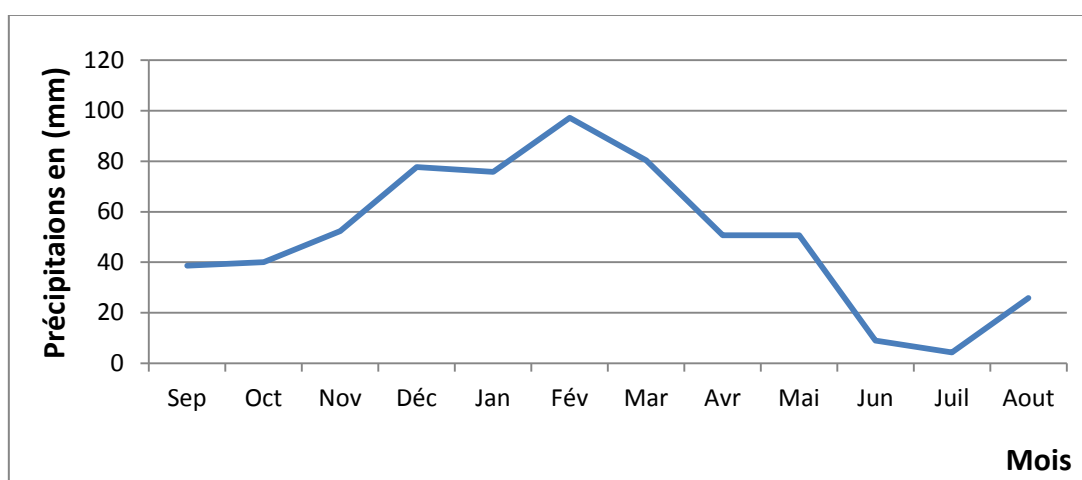


Fig. III.3 : Variations des précipitations moyennes mensuelles à la station de Chelghoum Laid, (2005-2015).

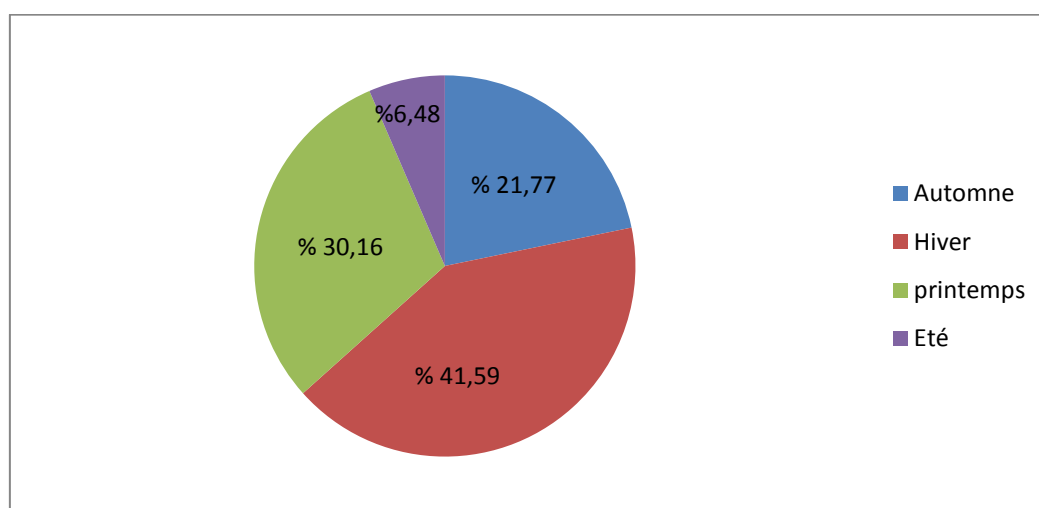


Fig.III.4 : Distribution des précipitations moyennes saisonnières en pourcentage, (2005-2015).

Chapitre III: Cadre Hydro climatologique

III.4.2. Températures de l'air :

La température est l'état atmosphérique de l'air. C'est le degré du froid ou de chaleur. C'est un facteur ayant une grande influence sur le bilan hydrologique du fait qu'il conditionne l'évapotranspiration.

D'après le tableau III.3, on remarque que :

- Le mois le plus froid est Février avec une température minimale moyenne de l'ordre de 2.85°C.
- Le mois le plus chaud est Juillet avec une température maximale moyenne de l'ordre de 35.24°C.
- L'Eté est la saison la plus chaude avec une température moyenne de 25.36°C.
- L'hiver est la saison la plus froide avec une température moyenne de 8.20°C.
- La température moyenne annuelle de la période 2005-2015 est de l'ordre de 16.34°C.

Tab.III.3 : Températures moyennes mensuelles et saisonnières à la station de Chelghoum Laid durant la période (2005-2015).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout	annuelle
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
T max (°T)	29,11	24,71	17,57	13,9	12,85	12,83	16,16	20,27	24,87	30,1	35,24	34,64	22,62
T min (°T)	15,59	12,26	7,2	3,76	2,99	2,85	4,96	7,14	10,88	15,04	18,48	18,68	9,99
T moy (°T)	22,35	18,49	12,39	8,83	7,92	7,84	10,56	13,71	17,88	22,57	26,86	26,66	16,34
Moyenne Saison (°T)	17,74			8,20			14,05			25,36			

L'analyse des courbes représentées par la figure (III.5) montre que la température de l'air décroît de Septembre jusqu'à Février puis elle augmente pour atteindre son optimum au mois de Juillet.

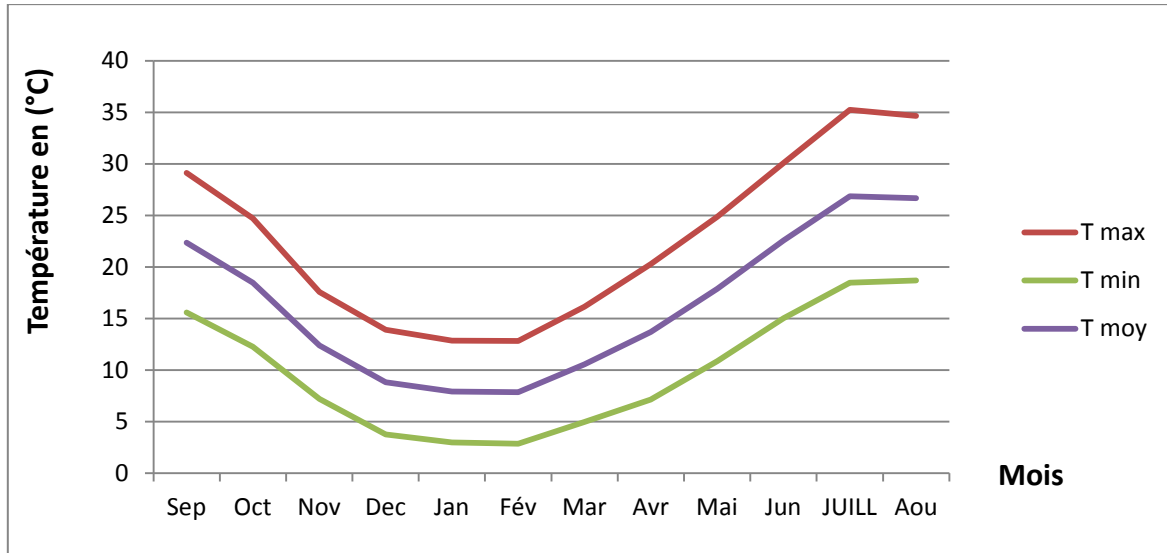


Fig.III.5 : Variation des températures moyennes mensuelles à la station de Chelghoum Laid, (2005-2015).

III.4.3. Relation température-précipitation :

III.4.3.1. Diagramme ombro-thermique de Gausсен et Bagnouls :

Le diagramme ombro-thermique est établi selon la méthode de Gausсен et Bagnouls et dont les températures sont reportées à l'échelle double des précipitations. Cela permet de déterminer la période sèche durant laquelle la moyenne mensuelle des précipitations du mois est inférieure ou égale au double de la température ($P < 2T$).

D'après le diagramme ombro-thermique Figure (III.6), la période sèche s'étale du début de la troisième semaine du mois de Mai jusqu'à la première semaine du mois Octobre avec une durée de quatre mois et deux semaines.

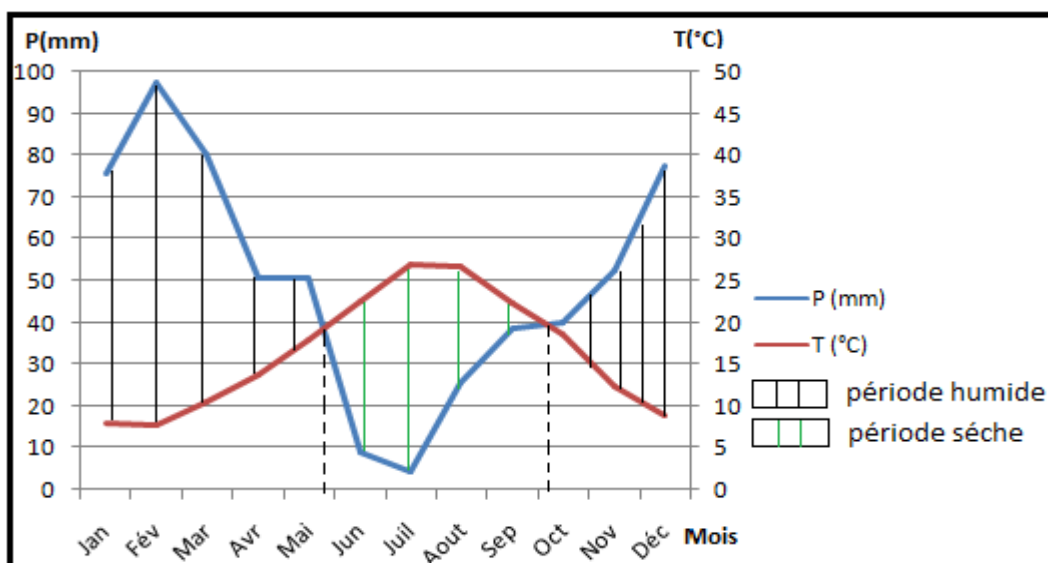


Fig.III.6 : Diagramme ombro-thermique de la station de Chelghoum Laid, (2005-2015).

III.4.3.2. Détermination de l'humidité du sol (méthode d'Euverte) :

Cette méthode est basée sur l'établissement d'un rapport entre les précipitations et les températures moyennes mensuelles (P/T) d'une même période.

Le rapport (P/T) donne une estimation approximative de l'humidité du sol et permet de distinguer 4 types de régimes:

- $P/T < 1$: Le régime est très sec.
- $1 < P/T < 2$: Le régime est sec.
- $2 < P/T < 3$: Le régime est sub-humide.
- $P/T > 3$: Le régime est humide.

Les valeurs du rapport P/T représentées dans le tableau(III.4) permettent de connaître l'évolution de l'humidité du sol pendant l'année :

- ❖ Les mois de juin, Juillet et Aout sont caractérisés par un régime très sec.
- ❖ Pour le mois de Septembre, le régime est sec.
- ❖ Le régime est sub-humide pendant les mois d'Octobre et Mai.
- ❖ Un régime humide durant les mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril.

Tab. III.4 : Détermination de l'humidité du sol à la station de Chelghoum Laid durant la période (2005-2015).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aou t
P (mm)	38,6 8	40,0 9	52,4	77,6 4	75, 8	97,2 5	80,3 3	50,7	50,7	8,95	4,29	25,8
T (°C)	22,35	18,49	12,3 9	8,83	7,92	7,84	10,56	13,7 1	17,8 8	22,5 7	26,8 6	26,6 6
P/T	1.73	2.17	4.22	8.79	9.57	12.40	7.61	3.70	2.84	0.40	0.16	0.97

III.4.3.3. Indice de "De-Martone" :

En se basant sur le régime des précipitations et des températures De-Martone a défini un indice d'aridité (A) déterminé par la relation : $A = \frac{P}{(T+10)}$

P : Désigne la précipitation moyenne annuelle, exprimée en mm.

T : Désigne la température moyenne, exprimée en °C.

De-Martone a proposé selon la valeur de (A) la classification suivante :

$20 < A < 30$: le climat est tempéré.

$10 < A < 20$: le climat semi-aride.

$5 < A < 7.5$: le climat est désertique.

$A < 5$: le climat est hyperaride.

Chapitre III: Cadre Hydro climatologique

Pour la station de Chelghoum Laid on a : $P=602.64\text{mm}$ et $T=16.34^{\circ}\text{C}$.

Donc : $A=22.88$, cette valeur définit un régime tempéré.

III.4.3.4. Climagramme d'Emberger (1955) :

Le climagramme d'Emberger est un abaque comportant en abscisses la moyenne des minimas de la saison froide et en ordonnées la valeur du ($Q2$) tirée de la formule suivante : $Q2 = 2000 \left[\frac{P}{M^2 - m^2} \right]$

- $Q2$: Quotient pluviométrique d'Emberger.
- P : Désigne les précipitations moyennes annuelles, en (mm).
- M : Moyenne des maxima du mois le plus froid, en degré absolu Kelvin ($^{\circ}\text{K}$).
- m : Moyenne des minima du mois le plus froid, en degré absolu Kelvin ($^{\circ}\text{K}$).

On a : $T (^{\circ}\text{K}) = T (^{\circ}\text{C}) + 273,15$

Donc : $M = 35.24 + 273,15 = 308.39 (^{\circ}\text{K})$ et $m = 2.85 + 273,15 = 276 (^{\circ}\text{K})$

On a : $P = 602.64 (\text{mm})$, donc : $Q2 = 63.68$.

La représentation des coordonnées (2.85, 63.68) sur le climagramme d'Emberger Figure (III.7), indique que le climat caractéristique de la région est à la limite du domaine sub-humide et semi-aride.

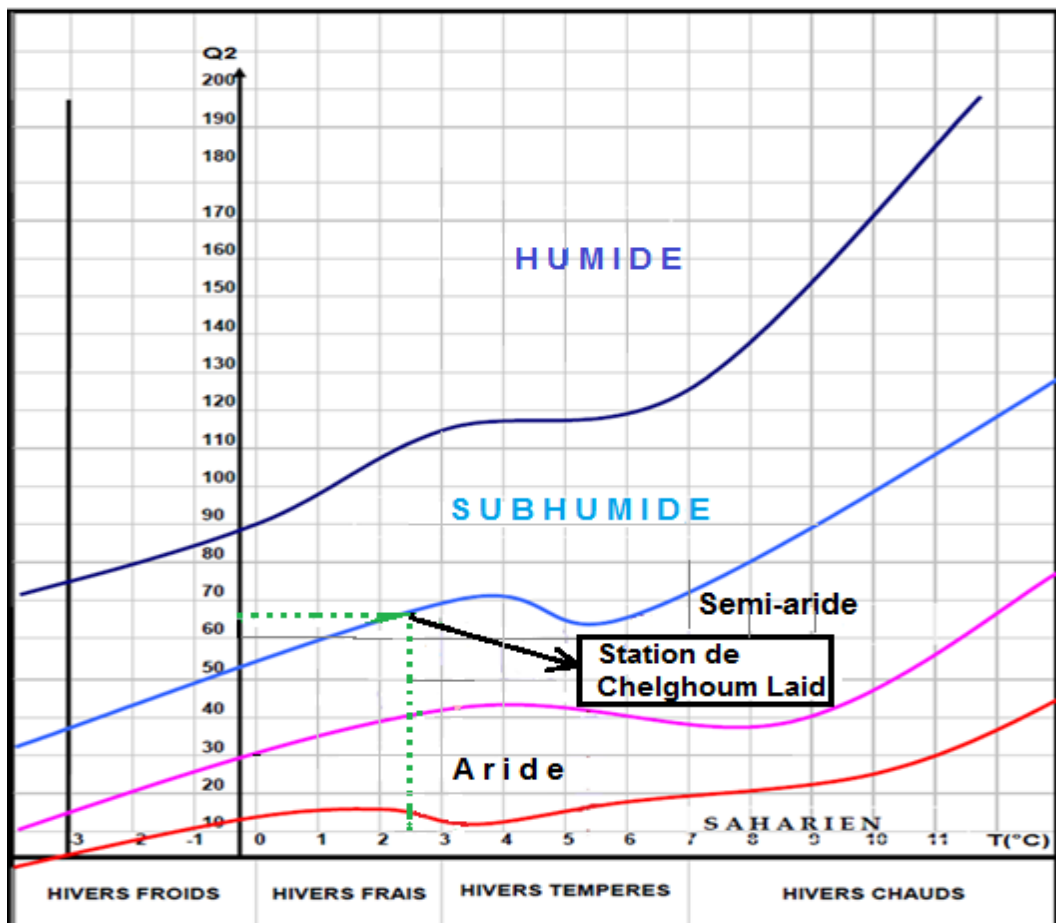


Fig.III.7 : Climagramme d'Emberger.

III.5. Etude de l'évapotranspiration :

L'évapotranspiration ou évaporation totale est l'ensemble de toutes les pertes sous forme de vapeur résultantes de deux phénomènes :

L'évaporation (E) : C'est la transformation de l'eau en vapeur à partir des surfaces d'eau libre et les sols humides.

La transpiration (T) ou évaporation physiologique : C'est l'évaporation biologique des plantes. Elle dépend de plusieurs facteurs tels que : la température, la précipitation, l'humidité de l'air et la couverture végétale.

III.5.1 Evapotranspiration potentielle : (E.T.P) :

L'évapotranspiration potentielle (E.T.P) est l'évapotranspiration à partir de la surface d'un gazon, poussant activement et recouvrant la totalité du sol d'une hauteur uniforme.

Calcul de l'E.T.P selon la formule de Thornthwaite (1948) :

Selon Thornthwaite l'évapotranspiration potentielle est la quantité d'eau qui serait évaporée sur un sol gorge d'eau, avec couverture végétale dense.

La formule est donnée comme suit :

$$E.T.P = 16 \left[10 \left(\frac{T}{I} \right) \right]^a$$

Avec : $I = \sum i$, dont : $i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$

Avec : $a = 0.016.I + 0.5$

E.T.P : Désigne l'évapotranspiration potentielle, en mm.

ETPc : Désigne l'évapotranspiration potentielle corrigée, en mm.

T : Désigne la température, en °C.

I : Désigne l'indice thermique annuel qui est la somme des indices thermiques mensuels.

a : Désigne l'exposant climatique.

i : Indice thermique mensuel.

t : Température moyenne mensuelle, en °C.

L'évapotranspiration corrigée est donnée par la relation suivante : **ETPc = ETP.K**

K : Coefficient de correction qui dépend du mois et de la latitude du bassin.

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau (III.5), avec : $I = 76.94$ et $a = 1.73$, Donc : $ETPc = 869.15 \text{ mm}$

Chapitre III: Cadre Hydro climatologique

Tab.III.5 : Calcul de l'évapotranspiration potentielle par la formule de Thornthwaite à la station de Chelghoum Laid, pour la série (2005-2015).

mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aou	Année
P (mm)	38,68	40,09	52,4	77,64	75,8	97,25	80,33	50,7	50,7	8,95	4,29	25,8	602.64
T (°C)	22,35	18,49	12,39	8,83	7,92	7,84	10,56	13,71	17,88	22,57	26,86	26,66	16.34
I	9.65	7.24	3.95	2.37	2.01	1.98	3.10	4.61	6.88	9.80	12.75	12.60	76.94
ETP (mm)	101.23	72.93	36.48	20.30	16.82	16.53	27.67	43.47	68.81	102.96	139.13	137.35	783.68
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	/
ETP c	104.27	70.74	31.37	17.05	14.63	14.05	28.5	47.82	83.26	125.61	172.52	159.33	869.15

III.5.2 Evapotranspiration réelle (ETR) :

Elle correspond à l'évapotranspiration qui se produit pendant un intervalle de temps donné, dans des conditions réelles des teneurs en eau abondantes du sol.

Ce paramètre est calculé par plusieurs méthodes empiriques prenant en compte les précipitations et les températures.

III.5.2.1 méthode de Turc (1954) :

Elle est valable pour tout type de climat. Elle est fonction de la précipitation et de la

température.
$$ETR = \frac{p}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{p^2}{L^2}\right)}}$$

ETR : Evapotranspiration réelle en (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

L : pouvoir évaporant de l'atmosphère, dont : $L = 300 + 25T + 0.05 T^3$

T : Température moyenne annuelle en °C.

Application numérique :

On a : P = 602.64mm, T = 16.34 C° et L = 926.64

On aura donc : **ETR = 523.94mm**, ce qui représente 86.94% des précipitations.

III.5.2.2 Méthode de Coutagne :

Cette formule fait intervenir la pluviométrie et la température comme suit :

$$ETR = P - \lambda P^2 \text{ Avec : } \lambda = \frac{1}{(0.8 + 0.14 T)}$$

Chapitre III: Cadre Hydro climatologique

P : Précipitation moyenne annuelle, en m.

λ : Paramètre dépendant de la température.

T : Température moyenne annuelle, en °C.

Cette formule n'est valable que pour des valeurs du P comprise entre $1/2\lambda$ et $1/8\lambda$.

Application numérique :

On a : $\lambda = 0.32$, $1/2\lambda = 1.56$ et $1/8\lambda = 0.39$

Ainsi : $P = 0.602$ m.

La valeur de P comprise dans l'intervalle $1/2\lambda$ et $1/8\lambda$, donc la formule de Coutagne est applicable.

$$ETR = 0.602 - (0.32 \times 0.602^2) = 0.486 \text{ m}$$

Donc : $ETR = 486 \text{ mm}$ (Soit 80.65% des précipitations).

III.5.2.3 Méthode de Thornthwaite :

Cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU).

On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau qui sera facilement utilisable pour les plantes, cette eau peut être reprise par l'évapotranspiration.

- On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie du mois P, de l'ETP et de la RFU.

*Si $P > ETP$, alors :

- $ETR = ETP$

- Il reste un excédent ($P - ETP$) qui est affecté en premier lieu à la RFU, et, si la RFU est complète, à l'écoulement Q.

*Si $P < ETP$: On évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit :

- $ETR = P + \min(RFU, ETP - P)$

- $RFU = 0$ ou $RFU + P - ETP$

*Si $RFU = 0$: La quantité ($Da = ETP - ETR$) représente le déficit agricole, c'est-à-dire sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas d'un manque d'eau.

Chapitre III: Cadre Hydro climatologique

- On utilise la valeur moyenne des réserves en eau du sol égale à 45 mm (d'après la DHW de la wilaya de Mila). Les résultats du bilan hydrologique obtenus par la méthode de Thornthwaite sont représentés dans le tableau (III.6), on constate :
 - A partir du mois de Novembre les précipitations sont supérieures à l'ETP, donc nous avons une reconstitution de la RFU qui atteint son maximum à 45 mm aux mois de Décembre jusqu'à Avril avec un excédent annuel égale à 230.7 mm
 - A partir du mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre la réserve en eau du sol est nulle, durant cette période sèche des valeurs variables du déficit agricole sont enregistrées.
 - La moyenne annuelle des précipitations est égale presque à l'évapotranspiration réelle plus l'excédent : $P = ETR + EX = 602.63mm$.
 - L'ETR représente par une valeur annuelle de 366.93 mm (soit 60.89 % des précipitations).

Tab.III.6 : Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite à la station de Chelghoum Laid pour la série (2005-2015).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aou	Année
P (mm)	38,68	40,09	52,4	77,64	75,8	97,25	80,33	50,7	50,7	8,95	4,29	25,8	602.64
ETPc	104.27	70.74	31.37	17.05	14.63	14.05	28.5	47.82	83.26	125.61	172.52	159.33	869.15
P-ETP	-65.59	-30.65	21.03	60.59	61.17	83.2	51.83	2.88	32.56	116.66	168.23	133.53	-
RFU	0	0	21.03	45	45	45	45	45	12.44	0	0	0	-
EX	0	0	0	36.62	61.17	83.2	51.83	2.88	0	0	0	0	235.7
Da	65.59	30.65	0	0	0	0	0	0	0	104.22	168.23	133.53	502.22
ETR	38.68	40.09	31.37	17.05	14.63	14.05	28.5	47.82	83.26	21.39	4.29	25.8	366.93

III.6 : Discussion des résultats :

Le tableau (III.7) récapitule de la valeur de l'ETPc obtenue par la méthode de Thornthwaite et les valeurs de l'ETR obtenues par différentes méthodes à la station de Chelghoum Laid. Pour l'ETR, on a pris une valeur moyenne des trois méthodes qui est de l'ordre de 561.31 mm, ce qui représente 93.14% des précipitations.

Tab. III.7 : Valeurs de l'ETP et l'ETR obtenues par différentes méthodes.

Paramètre	Méthode	Résultat en (mm)
ETP _c	Thornthwaite	869.15
ETR	Turc	523.14
	Coutagne	486
	Thornthwaite	366.93
ETR moyenne		561.31

III.7 : Paramètre du bilan hydrologique :

Le bilan hydrologique permet d'évaluer la répartition des précipitations entre les différents composants de ce bilan, à savoir : l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration. Le bilan est établi selon la formule suivante :

$$P = ETR + R + I + W$$

P : Précipitation moyenne annuelle, en mm.

ETR : Evaporation réelle moyenne annuelle, en mm.

I : Infiltration moyenne, en mm.

W : Variation des réserves, en mm.

III.7.1. Ruissellement superficiel :

Le ruissellement correspond à la part des précipitations qui s'écoule directement sur le sol lors des précipitations. Il peut donc être connu d'une façon générale par l'analyse de l'hydrogramme d'un cours d'eau ou à l'aide des méthodes empiriques qui donnent une valeur approchée. Parmi ces méthodes, on peut citer celle de Tixeront-Berkaloff. Cette formule tant qu'elle ne tienne pas compte de la nature lithologique des terrains et l'influence de la perméabilité sur le ruissellement, elle reste toujours discutable. Elle s'écrit de la manière suivante : $R = \frac{P^3}{3(ETP_c)^2}$

Avec : **R** : Ruissellement de surface, en mm.

P : Précipitation moyenne annuelle, en mm.

ETP : Evaporation potentielle d'après la formule de Thornthwaite.

Application numérique :

Pour : $ETP_c = 869.15$ mm et $P = 602.64$ mm, $R = 96.57$ mm, Soit 16.02 % des précipitations.

III.7.2. Infiltration (I) :

La lame d'eau infiltrée participe à l'alimentation des nappes d'eau souterraines, Elle résulte de la différence entre l'excédent et le ruissellement. C'est un paramètre très important du point de vue hydrogéologique, il est calculé par la formule suivante :

On a : $P = ETR + R + I$, ce qui donne : $I = P - (ETR + R)$

Après le calcul, on obtient : $I = 61.03$ mm (soit 10.13% des précipitations).

Conclusion :

L'étude des différents facteurs climatiques de la série (2005-2015) à la station de Chelghoum Laid a abouti aux conclusions suivantes :

Le climat qui règne dans la région d'étude est à la limite du domaine subhumide et semi-aride, il est caractérisé par une saison chaude et sèche et autre froide et pluvieuse.

- Le secteur d'étude appartient à une zone peu à moyennement pluvieuse, avec une précipitation moyenne annuelle de l'ordre 602.64 mm
- La température moyenne annuelle est de l'ordre de 16.34 °C.
- L'ETR représente une valeur annuelle de 561.31mm (soit 60.84 % des précipitations).
- Le déficit d'eau estimé est de l'ordre de 502.22 mm et s'étalé sur la période de cinq mois allant du Juin jusqu'à Octobre.
- Le ruissellement et l'infiltration représentent respectivement 96.57 mm et 61.03 mm ce qui représente près de 16.02 % et 10.13 % des précipitations.
- En plus de l'apport des eaux souterraines latéralement et en profondeur par drainance, les valeurs de ruissellement et d'infiltration semblent suffisantes pour l'alimentation des nappes d'eau souterraines.

Chapitre IV :

Cadre hydrogéologique

Introduction :

D'après les résultats obtenus par l'étude géologique sur les différents aquifères constituant la plaine de Chelghoum Laid (l'aquifère superficiel du Mio-Plio-Quaternaire, l'aquifère de l'Eocène et l'aquifère du Crétacé), ainsi que l'étude hydrologique qui donne un aperçu sur la lame d'eau précipitée et le sens d'écoulement des eaux superficielles, nous sommes intéressés à l'aquifère superficiel dans le but de schématiser le sens d'écoulement des eaux souterraines à l'aide de la carte piézométrique et de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques du réservoir éocène par les essais de pompage.

IV.1. Description des formations aquifères :

IV.1.1. L'ensemble du Mio-Plio-Quaternaire :

Il s'étale sur une grande superficie, qui va de Tadjenanet à Oued Athmania, passant par Chelghoum Laid au long d'Oued Rhumel. C'est un aquifère hétérogène constitué par des calcaires, sables, grès, graviers, conglomérats et des alluvions.

Ce complexe aquifère à nappe libre, a pour substratum les marnes et les argiles du Miocène et par endroits des argiles du Quaternaire en couverture.

IV.1.2. L'ensemble de l'Eocène :

Il est formé essentiellement par des calcaires marneux à lits de silex et phosphates plus ou moins fissurés. La nappe est généralement captive (un toit marneux du Miocène et un substratum de la même nature du paléocène supérieur et l'Eocène inférieur). Quand le Mio-Plio-Quaternaire est érodé, les formations de l'Eocène se trouvent à l'affleurement ce qui donne par endroit une nappe libre.

IV.1.3. L'ensemble du crétacé :

Ces formations sont de nature carbonatée, affleurent en bordures de la plaine formant les reliefs sous forme des massifs. Ces formations plongent sous une grande épaisseur des formations du recouvrement mio-plio-quaternaire.

IV.2. Inventaire des points d'eau :

Le secteur d'étude est couvert par un grand nombre de puits exploitant la nappe superficielle, et qui sont destinés en majeure partie à l'irrigation, ainsi que d'autres forages captant l'aquifère profond, destinés à l'AEP et à l'irrigation. Nous notons aussi la présence de quelques sources d'eau.

D'après les travaux de Mammeri M. et Tolbi M. (Mai 2011), la plupart des puits occupent la partie Nord, Nord-est et Sud-est de la région, avec un niveau hydrostatique variant entre 2 et 16 m. Par contre, les forages occupent la partie Sud-ouest où nous remarquons une rareté des puits (captant les formations éocènes) avec un niveau hydrostatique qui varie de 14 jusqu'à plus de 50 m.

L'inventaire des points d'eau est la phase préliminaire de toute étude des eaux souterraines. Pour ce faire, deux campagnes piézométriques sont été effectuées, la

Chapitre IV : Cadre hydrogéologique

première en Mai 2011 (réalisée par Mammeri. M et Tolbi. M) et l'autre en Novembre 2015 (réalisée par Amrani. F et Zouali. S).

Les points inventoriés sont maintenus pour les deux campagnes, afin de pouvoir déterminer l'influence des précipitations sur le comportement de la nappe. Ils exploitent l'aquifère superficielle et sont répartis sur la totalité de la plaine de Chelghoum Laid, (**Fig.IV.1**).

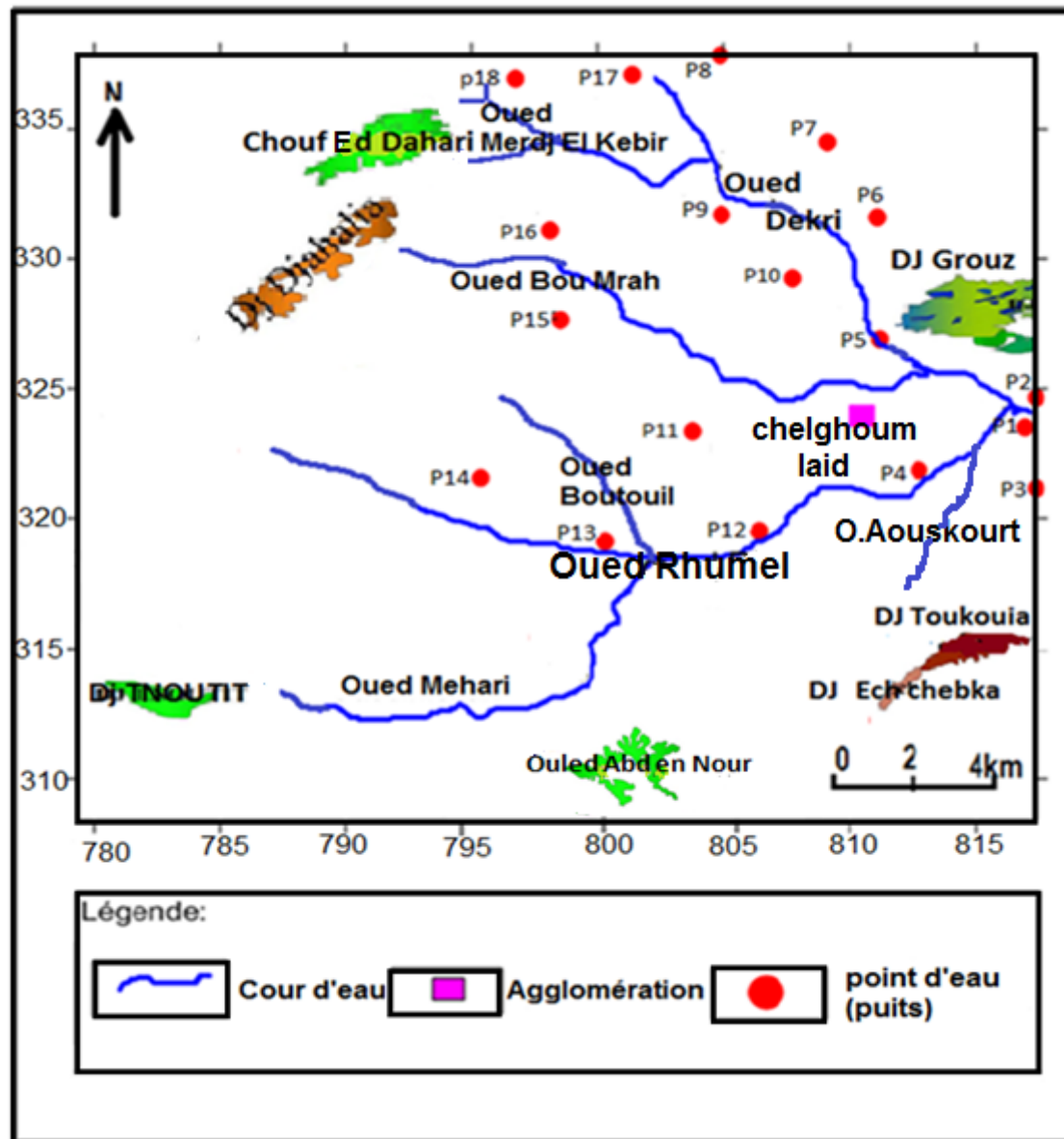


Fig. IV.1 : Carte d'inventaire des points d'eau de la plaine de Chelghoum Laid.

IV.3. Cartographie de l'aquifère :

➤ **Carte d'iso-profondeur :**

Les cartes d'iso-profondeur correspondant aux deux périodes précitées, schématisent les profondeurs des eaux et montrent leur relation directe avec la topographie du secteur d'étude (Fig. IV.2etIV.3).

La valeur minimale des profondeurs est 2.13 m dans le puits (P4) près d'Oued Rhumel pour la première campagne, et 1.44 m dans le puits (P8) au Nord du bassin versant, pour la deuxième campagne.

Concernant la valeur maximale des profondeurs, elle est enregistrée au niveau du même point d'eau (P14), avec des valeurs de 21.4 m pour la première période et 20.3m pour la deuxième période.

L'analyse et la comparaison des deux cartes d'iso-profondeur établies durant deux périodes différentes montrent que :

- Les valeurs minimales des profondeurs sont liées soit à la proximité des puits au cours d'eau (ex : P4, P8...etc.), soit à la nature des terrains dans lesquels les points d'eau sont implantés et qui sont généralement des formations perméables, plus précisément dans la croûte calcaire ;
- Les valeurs maximales des profondeurs sont caractérisées par des points d'eau implantés dans les formations peu perméables de l'aquifère Mio-Plio-Quaternaire ;
- Les courbes d'iso-profondeur montrent la même allure durant les deux périodes, avec une légère diminution des valeurs de profondeurs qui ne dépassent pas les 2 m pour la majorité des points d'eau. Cette diminution est liée à une hausse des précipitations durant les quatre années qui séparent les deux campagnes. Ces précipitations participent en grande partie à l'alimentation de l'aquifère et contrebalancent certainement l'effet de l'évaporation.

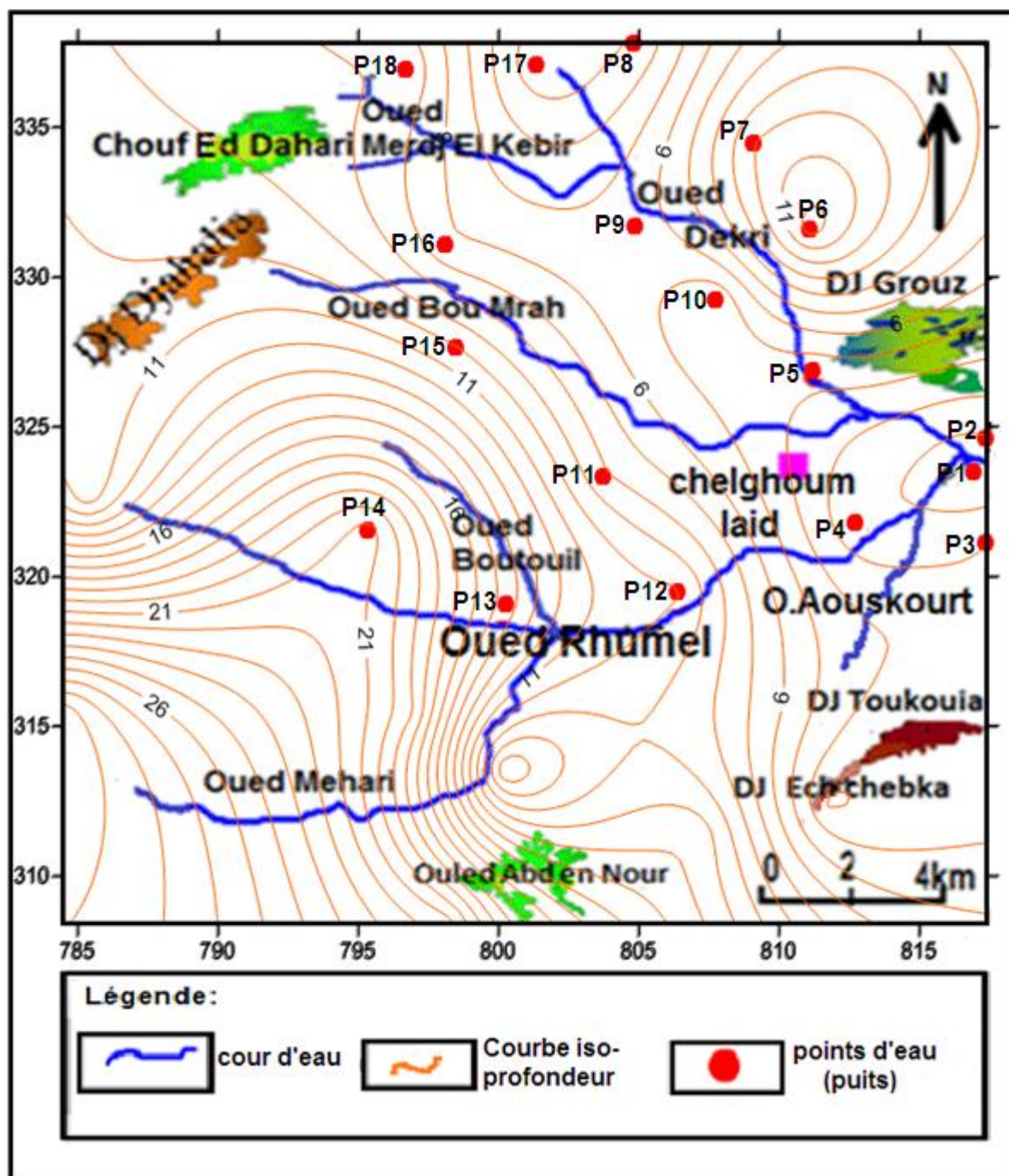


Fig. IV.2 : Carte d'iso-profondeur de la plaine de Chelghoum Laid aquifère de l'éocène (Mai 2011).

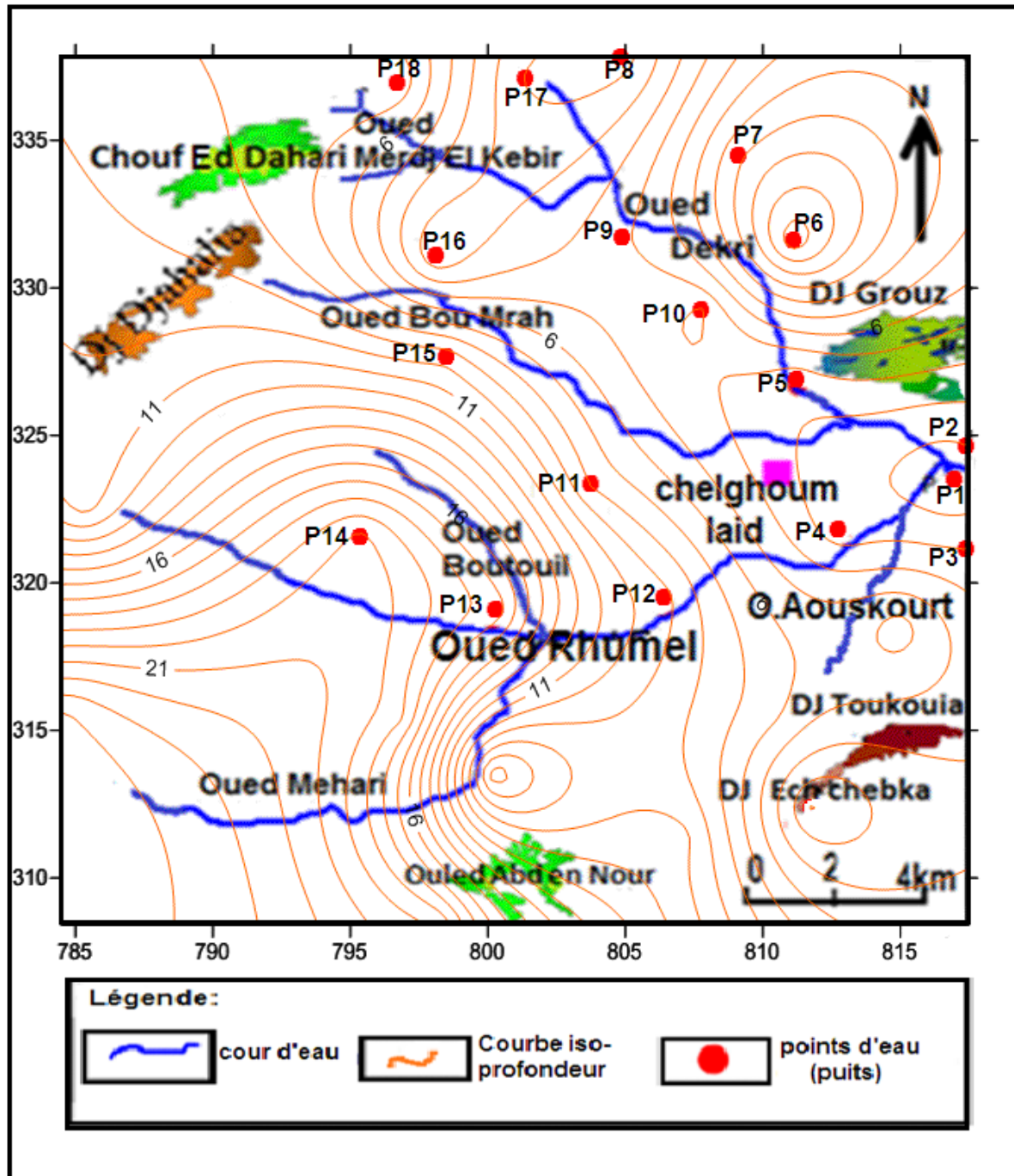


Fig. IV.3 : Carte d'iso-profondeur de la plaine de Chelghoum Laid aquifère de l'éocène (Novembre 2015).

IV.4. Définition et buts de la piézométrie :

Les puits et sondages de l'aquifère à nappe libre, rencontrés sous la surface du sol, présentent un niveau d'eau dont l'altitude (élévation au-dessous de la cote 0) est appelé par convention, le niveau piézométrique, noté H . (G.Castany.1982). Ce niveau représente l'équilibre naturel de l'eau dans l'ouvrage.

L'ensemble des niveaux piézométriques mesurés en différents points (puits et /ou forages) à une date donnée, détermine la surface piézométrique.

Chapitre IV : Cadre hydrogéologique

La surface piézométrique représente la limite hydrodynamique de l'aquifère, où elle peut s'élever ou s'abaisser dans la nappe libre, cette variation dépend de différents facteurs : soit naturels (précipitations, évaporation,...etc.), soit artificiels par pompage.

Le fait de joindre des points de même cote piézométrique donne ce qu'on appelle des courbes piézométriques ou hydro-isohypses, ces dernières représentent graphiquement une carte piézométrique de la zone étudiée pendant une période définie.

La carte piézométrique du secteur d'étude est l'élément synthétique de la configuration de l'écoulement souterrain dans la nappe superficielle. Elle permet de tirer des informations sur l'alimentation et le drainage de la nappe (en particulier la relation cours d'eau-nappe) et de calculer le gradient hydraulique qui permet de déterminer les zones favorables à l'implantation des ouvrages (gradient faible).

Le gradient hydraulique correspond à la perte de charge par unité de longueur, ou la pente de la nappe .I est la différence du niveau piézométrique entre deux points de la surface piézométrique, comme le montre la relation suivante : $I = (H_1 - H_2) / L$

H_1 et H_2 : correspondent au niveau piézométrique déterminé par deux courbes isopièzes.

L : correspond à la distance entre les deux points de niveau piézométrique déterminé par l'échelle de la carte.

Interprétation des cartes piézométriques :

L'allure générale de la carte piézométrique de Mai 2011 (Fig.IV.4) et celle de Novembre 2015 (Fig.IV.5), montre que l'axe d'écoulement générale est de direction SO-NE, il est presque parallèle avec Oued Rhumel.

Durant la première campagne (Mai2011), à l'extrême Nord de la région d'étude, la courbe isopièze fermée met en évidence une dépression piézométrique avec des lignes de courant convergeant vers le point d'eau (P17) Le module d'espacement des courbes s'accroît progressivement en se rapprochant vers cette zone.

Cette dépression peut être due à l'existence d'un drainage par le substratum constitué par les calcaires lacustres très perméables, le voisinage de cette zone à des cours d'eau (Oued Dekri et de ces affluents).

A l'exception de la dépression piézométrique précédemment mentionnée, et durant les deux campagnes piézométriques, la zone d'étude est caractérisée par un drainage convergeant vers Oued Rhumel qui la traverse d'Ouest en Est au niveau de son centre, ce qui nous amène à identifier deux zones principales :

- **La zone Nord d'Oued Rhumel :**

Cette zone bordée au Sud par l'Oued Rhumel, et au Nord par Chouf Ed Dahari où les courbes isopièzes sont subparallèles aux reliefs ce qui implique l'existence d'une alimentation à partir de ces reliefs. Le gradient hydraulique est de l'ordre de 5‰ en (Mai 2011) et de 9.38 ‰ en (Novembre 2015). La

Chapitre IV : Cadre hydrogéologique

direction NW-SE est la direction principale des axes d'écoulement au niveau de cette zone.

- **La zone Sud d'Oued Rhumel :**

Les courbes isopièzes présentent un espacement un peu plus grand que celui de la zone Nord avec un gradient hydraulique qui passe de 1% pour la première compagne à de 2.89 % pour la deuxième compagne. La direction d'écoulement dans cette région est SO-NE,

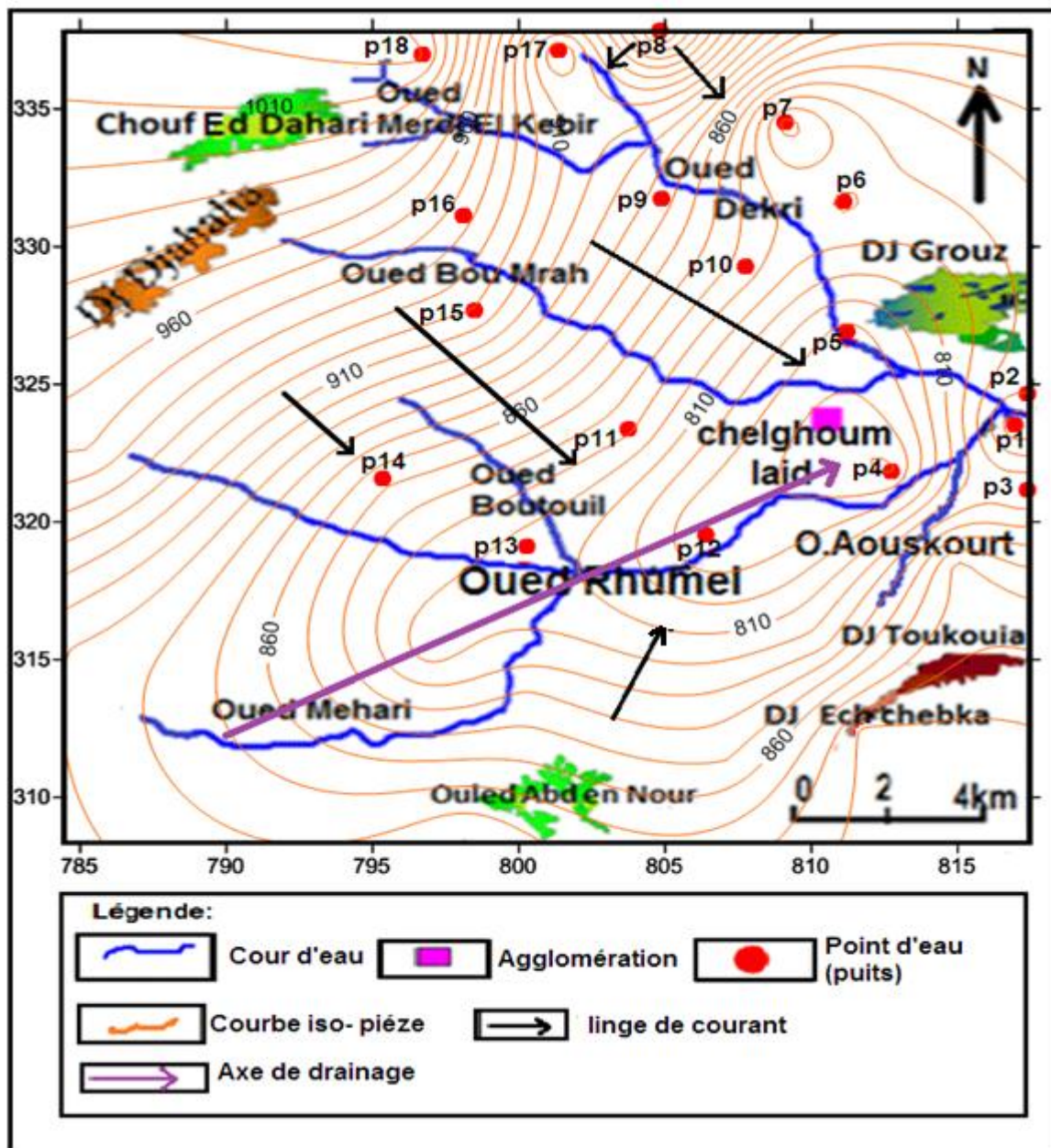


Fig. IV.4 : Carte piézométrique de la plaine de Chelghoum Laid (Mai 2011).

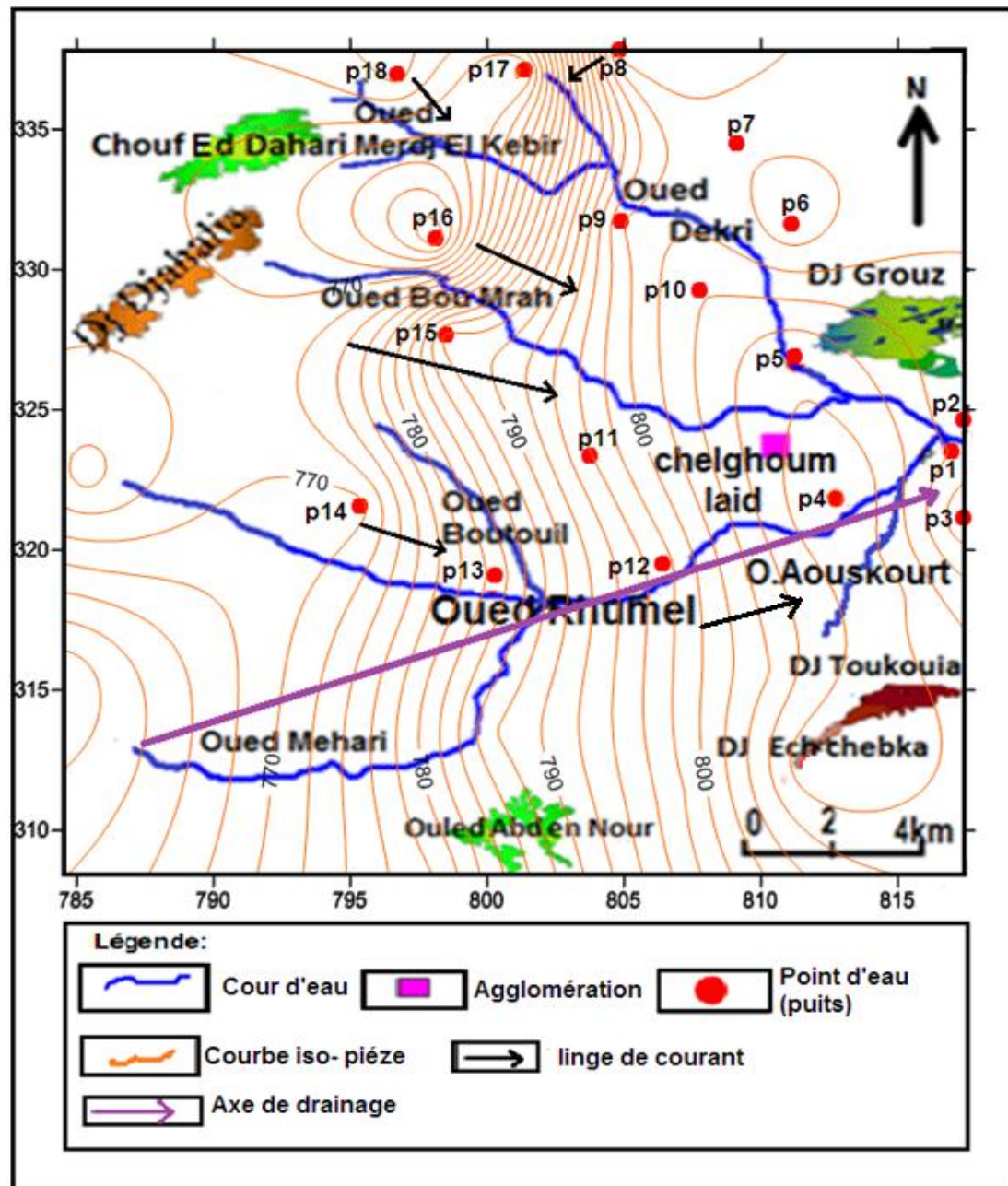


Fig. IV.5 : Carte piézométrique de la plaine de Chelghoum Laid
(Novembre 2015).

IV.5. Alimentation de la nappe superficielle :

La pluviométrie joue un rôle très important dans la distribution des ressources en eau et la fluctuation de la surface piézométrique mais l'efficacité des eaux météoriques qui participent à l'alimentation de la nappe reste liée à la perméabilité des formations traversées et à la profondeur de la nappe. L'étude des cartes piézométriques met en évidence d'autres sources d'alimentation de la nappe qui sont :

- les eaux qui dévalent des flancs des massifs (Chouf Ed Dahari, Dj Djahaliaet Dj Grouz) qui sont généralement à pluviométrie importante.

Chapitre IV : Cadre hydrogéologique

-les nombreux oueds permanents existant dans la zone d'étude tels que : O.Rhumel, O.Dekri, O.Mehari et O.Aouskourt.

IV.6. Essai de pompage :

Pour une étude hydrogéologique, il est toujours souhaitable de réaliser des essais de pompage afin d'estimer les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères et définir qualitativement d'autres caractéristiques particulières, telles que les conditions aux limites.

Les interprétations sont effectuées par résolution graphique des expressions d'hydrodynamique souterraine en régime transitoire (G. Castany 1982).

L'interprétation de l'essai de pompage est basée sur l'expression d'approximation logarithmique de C.E. Jacob (1950) :

Durant la période de pompage :

$$s = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{2.25Tt}{x^2S}$$

Avec :

S : Le rabattement, en (m).

Q : Le débit, en (m³/s).

T : La transmissivité, en (m²/s).

t : Le temps, en (s).

S : Le coefficient d'emménagement.

x : La distance séparant le puits de pompage du puits d'observation, en (m).

Cette expression permet de calculer la transmissivité T selon la relation suivante :

$$T = \frac{0.183 Q}{C}$$

Avec **C** : La pente de la droite représentative déterminée par l'accroissement du rabattement pour un module logarithmique.

Le coefficient d'emménagement est obtenu par calcul numérique dans le deuxième

terme de l'expression de Jacob. On obtient : $S = \frac{2.25T t_0}{r^2}$

Où : **t₀** : obtenu par le prolongement de la droite tangente à la courbe expérimentale, jusqu'au point où s=0.

Après l'arrêt du pompage :

On utilise l'expression suivante : $s_r = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{t+t'}{t'}$

Dont : **s_r** : Rabattement résiduel mesuré à un instant donné pendant la remontée, en mètre

t : Temps écoulé depuis le début du pompage, en secondes.

t' : Temps écoulé depuis l'arrêt du pompage (temps de remontée).

IV.6.1. Interprétation de l'essai de pompage effectué au niveau du forage de Bouachiba.R :

Ce forage est implanté à l'Ouest de la région étudiée de la plaine et de 90 m de profondeur, donc il capte l'aquifère des calcaires éocènes. L'essai qui a été réalisé par la subdivision de l'hydraulique de Chelghoum Laida duré de 7 heures et demi pour la descente et avec un débit constant de 12.51 l/s. Les données de cet essai sont mentionnées dans l'annexe 2 et 3.

Courbe de descente : (Fig.IV.6)

On a: $T = \frac{0.183Q}{c}$ formule de (G. Castany 1982).

Et : $C=0.2$ et $Q= 12.51 \times 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{s)}$.

Donc : $T_d= 1.14 \times 10^{-2} \text{ (m}^2/\text{s)}$.

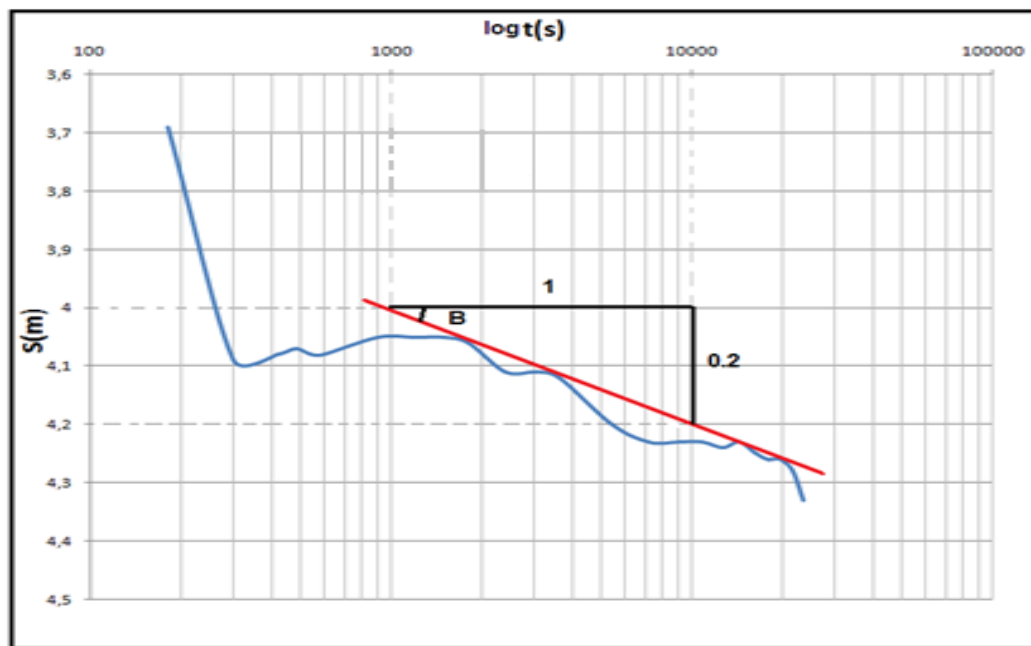


Fig. IV.6 : Courbe de descente.

Courbe de remontée :

A partir de la figure(IV.7), on a pu calculer la pente de la droite qui est $C = 0.58$. On connaît le débit du pompage : $Q= 12.51 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. Alors, on obtient la transmissivité lors de la remontée qui est $T_r= 3,95 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

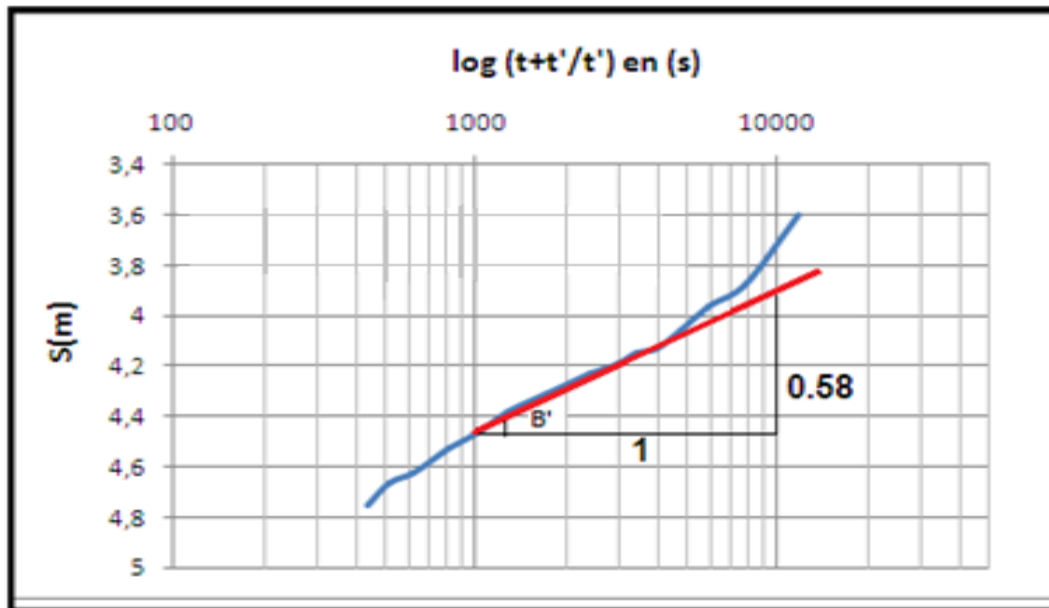


Fig. IV.7 : Courbe de remontée.

Donc, la transmissivité moyenne est : $T_{\text{moy}} = (T_d + T_r)/2 = 9.24 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Remarque :

- La valeur de l'épaisseur de l'aquifère est inconnue pour calculer la perméabilité (k) de la nappe.
- La valeur de la transmissivité reste relative du fait que la durée de l'essai de pompage est courte.

Conclusion :

L'aperçu hydrogéologique nous a montré que la région étudiée est composée principalement de trois aquifères, le premier est d'âge Mio-Plio-Quaternaire, à formations hétérogènes. Le second est celui de l'Eocène, formé essentiellement par des calcaires marneux et le dernier, d'âge crétacé et est de formations carbonatées.

D'après l'analyse des cartes piézométriques de Mai 2011 et de Novembre 2015, les écoulements sont de direction NW-SE au niveau de la zone nord d'Oued Rhumel, avec un gradient hydraulique variant entre 5‰ pour la première campagne et 9.38 ‰ pour la deuxième campagne. Par contre, au niveau de la zone Sud d'Oued Rhumel le sens d'écoulement des eaux souterraines est SE-NO avec un gradient hydraulique qui passe de 1‰ (en Mai 2011) à 2.89 ‰ en (Novembre 2015). Au centre de la plaine, ces écoulements convergent vers un grand axe d'écoulement de direction SW-NE.

Pour l'aquifère Eocène, l'interprétation de l'essai de pompage permet d'obtenir une valeur de transmissivité de l'ordre de $9.24 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Chapitre V :

Cadre hydrochimique

Chapitre V : Cadre hydrochimique

Introduction :

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, ce qui influera sur les possibilités soit de son utilisation pour l'alimentation en eau potable, soit pour d'autres usages.

Dans la plaine de Chelghoum Laid, la chimie des eaux souterraines est conditionnée soit par les formations géologiques traversées, soit par les incidences anthropiques.

V.1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux :

Les échantillons d'eau ont été prélevés au niveau de l'aquifère Mio-Plio-Quaternaire, durant deux périodes, la première en Mai 2011 (effectuée par Mammeri M. et Tolbi.M) et la deuxième en Novembre 2015(réalisée par Amrani.F et Zouali.S).

Dans ce qui suit, on va essayer de comparer entre les résultats des analyses physico-chimiques obtenus durant ces deux périodes pour suivre l'évolution des eaux souterraines dans l'espace et dans le temps.

Un certain nombre de paramètres a fait l'objet de mesures et d'analyse au laboratoire. Les résultats obtenus seront la base de nos interprétations.

Les analyses effectuées portent sur deux types de paramètres :

- les paramètres physiques mesurés généralement sur terrain, il s'agit de la température et de la conductivité.
- les paramètres chimiques, ce sont les ions : les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- et NO_3^-).

V.1.1.Etude des paramètres physiques :

V.1.1.1.La Température :

Le paramètre température joue un rôle très important dans la solubilité des sels, la dissociation des sels dissous et par conséquent la conductivité et le PH, il a aussi une influence sur l'activité biologique des organismes vivant dans l'eau. Ce paramètre est influencé à la fois par la profondeur à laquelle se fait l'écoulement souterrain et également par la température de l'air du jour d'échantillonnage et de mesure.

Pour notre cas, il s'agit d'un aquifère peu profond, donc les températures sont soumises beaucoup plus à des influences atmosphériques où la température de l'air est d'une moyenne de 15°C, alors que les valeurs mesurées au niveau des points d'eau tournent autour de 16.5°C durant la période Mai 2011, alors que la durant la période Novembre 2015, ce paramètre varie entre 18.7 -21.5°C (**annexe 4 et 5**).

V.1.1.2.Le potentiel hydrogène :

Il exprime la concentration d'ion H^+ d'une solution, c'est-à-dire l'alcalinité ou l'acidité de l'eau. Par définition le PH est le logarithme décimal de l'inverse de la concentration : $\text{PH} = \text{Log} (1/\text{H}^+)$.

Chapitre V : Cadre hydrochimique

L'échelle de PH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique, si :

- $\text{PH} < 7 \rightarrow$ l'eau est acide.
- $\text{PH} > 7 \rightarrow$ l'eau est basique.
- $\text{PH} = 7 \rightarrow$ l'eau est neutre.

Les valeurs mesurées du PH dans l'eau sont comprises entre 6.8 et 7.3, durant la période Mai 2011 et entre 7.1 et 7.8, durant la période Novembre 2015, à l'exception du point d'eau P12 qui présente une valeur de 6.8, (**annexe 4 et 5**).

Ces valeurs indiquent la basicité de la moitié des points d'eau durant la première période (Mai 2011), alors que durant la seconde, toutes les eaux indiquent une réaction alcaline.

V.1.1.3. Conductivité électrique :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est fonction de la température et de la minéralisation de l'eau. Exprimé en mho/cm et corrigé à une température de 20 °C.

Les conductivités mesurées au niveau des points d'eau, montrent des valeurs qui varient entre 660 et 3960 mho/cm durant la période Mai 2011 et entre 610 et 3450 durant la période Novembre 2015. (**Fig. V.1 et V.2**).

L'eau naturelle joue généralement un rôle de solvant pour un certain nombre de sels, ce qui explique les valeurs élevées rencontrés au niveau de l'Oued Rhumel et de ces affluents, Oued Mehari et Oued Dekri.

En comparant la carte d'iso-conductivité avec celle piézométrique, il paraît que la conductivité augmente généralement avec le sens d'écoulement, et les zones qui montrent les valeurs de conductivité les plus élevées, sont les zones de convergence des eaux.

Chapitre V : Cadre hydrochimique

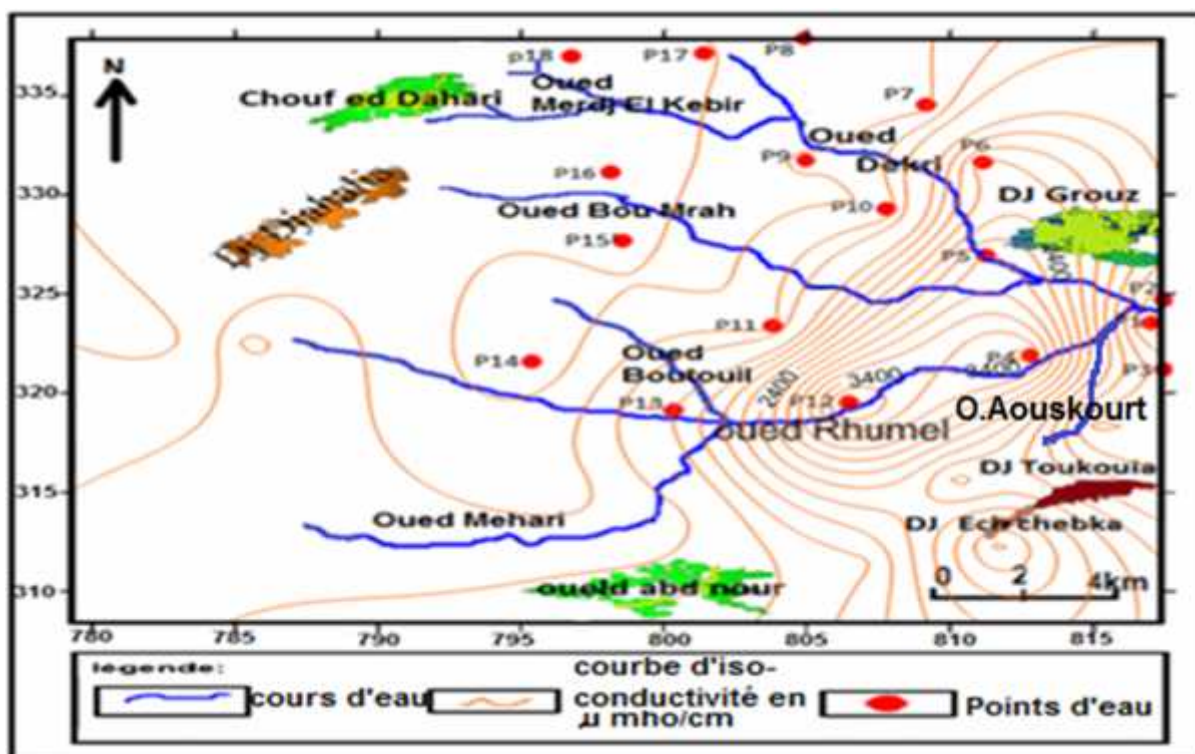


Fig. V.1 : Carte d'iso-conductivité à T= 20 °C (Mai 2011).

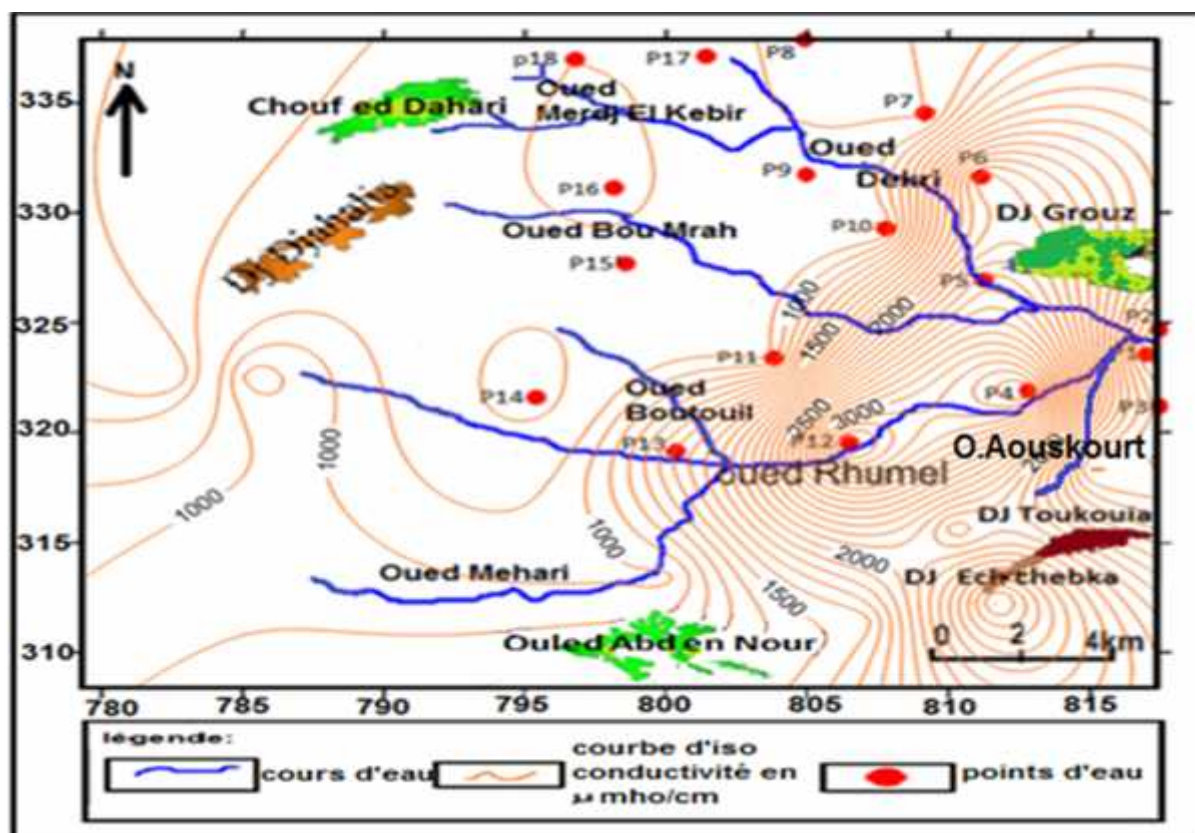


Fig. V.2 : Carte d'iso-conductivité à T= 20°C (Novembre 2015).

Chapitre V : Cadre hydrochimique

V.1.2. Etude des paramètres chimiques :

Les paramètres chimiques sont représentés essentiellement par l'ensemble des cations et des anions.

V.1.2.1 les cations :

- **Le calcium (Ca^{++}) :**

Le calcium est le plus abondant dans les eaux, est un élément de la dureté totale. Il provient essentiellement de la dissolution des formations carbonatées (contenant la calcite et la dolomite), telles que les calcaires lacustres de la région d'étude.

Les teneurs du calcium oscillent entre 56.11 à 336.67mg/l aux puits (p14, p4) durant la période (Mai 2011) et entre 52.14 à 374.72 mg/l aux puits (p14, p12) durant la seconde période (Novembre 2015). Donc, les valeurs faibles sont enregistrées au niveau des puits situés en amont d'Oued Rhumel, tandis que les valeurs élevées sont remarquées aux puits localisés en aval, (**Fig. V.3a et Fig. V.3b**).

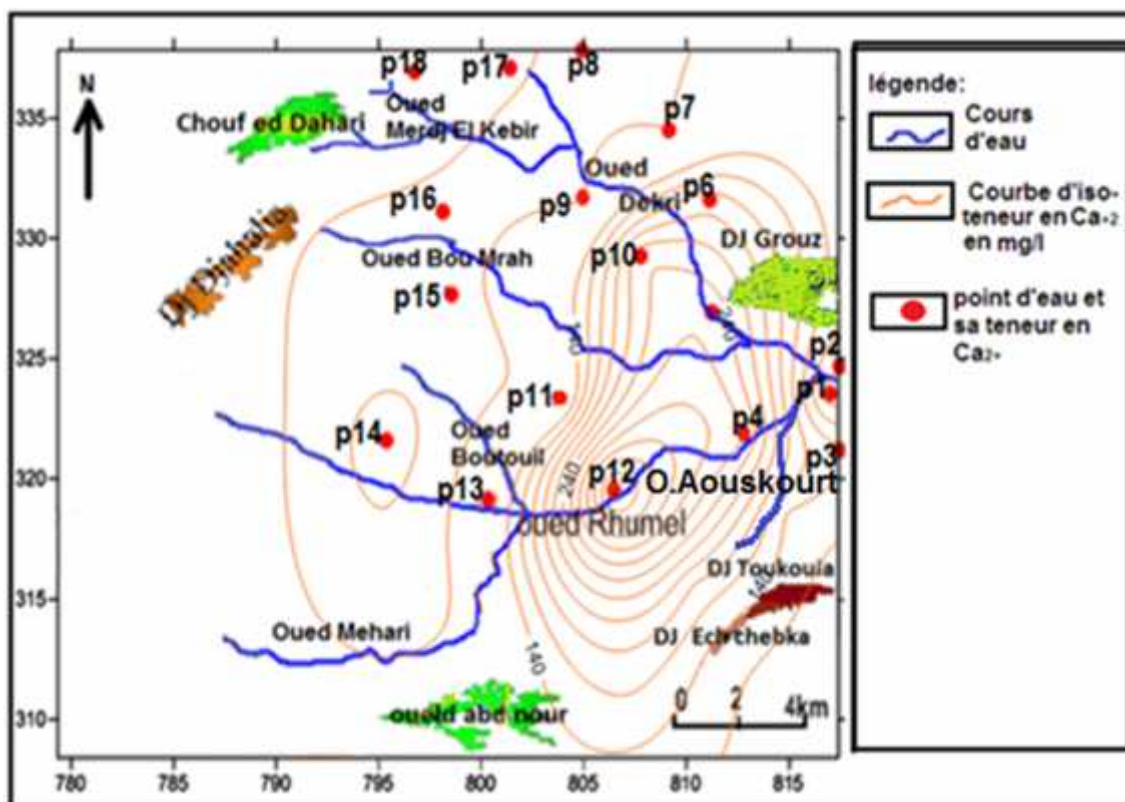


Fig. V.3a : Carte d'iso-teneur en Ca^{2+} (Mai 2011).

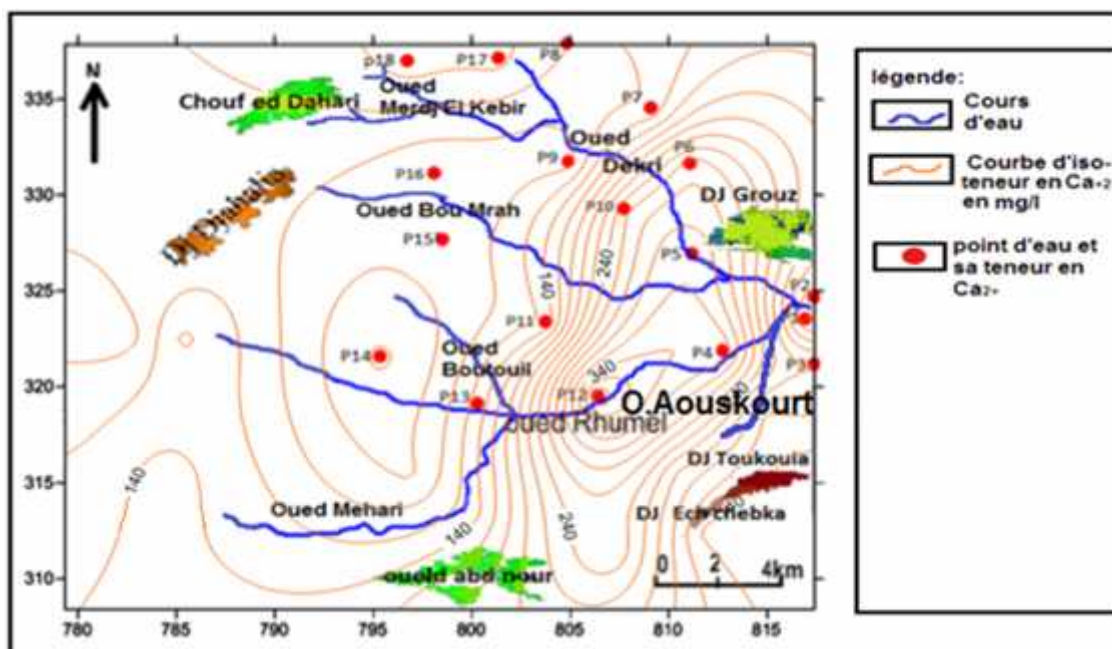


Fig. V.3b : Carte d'iso-teneur en Ca^{2+} (Novembre 2015).

- **Magnésium (Mg^{++}) :**

C'est le deuxième élément de la dureté totale, qui présente une origine semblable à celle du calcium. Il provient généralement des formations dolomitiques par l'attaque des eaux en présence du gaz carbonique et de la dissolution de magnésium dans les terrains gypsifères surtout celui du Trias qui affleure au Dj Toukouia.

Les valeurs de Mg^{++} varient entre 16.88 à 171 mg/l aux puits (p7, p12), durant la période Mai 2011 et entre 21.6 à 146.84 mg/l aux puits (p14, p12), durant la période Novembre 2015. Cette répartition des valeurs confirme que le calcium et le magnésium sont généralement associés, (Fig. V.4a et Fig. V.4b).

Chapitre V : Cadre hydrochimique

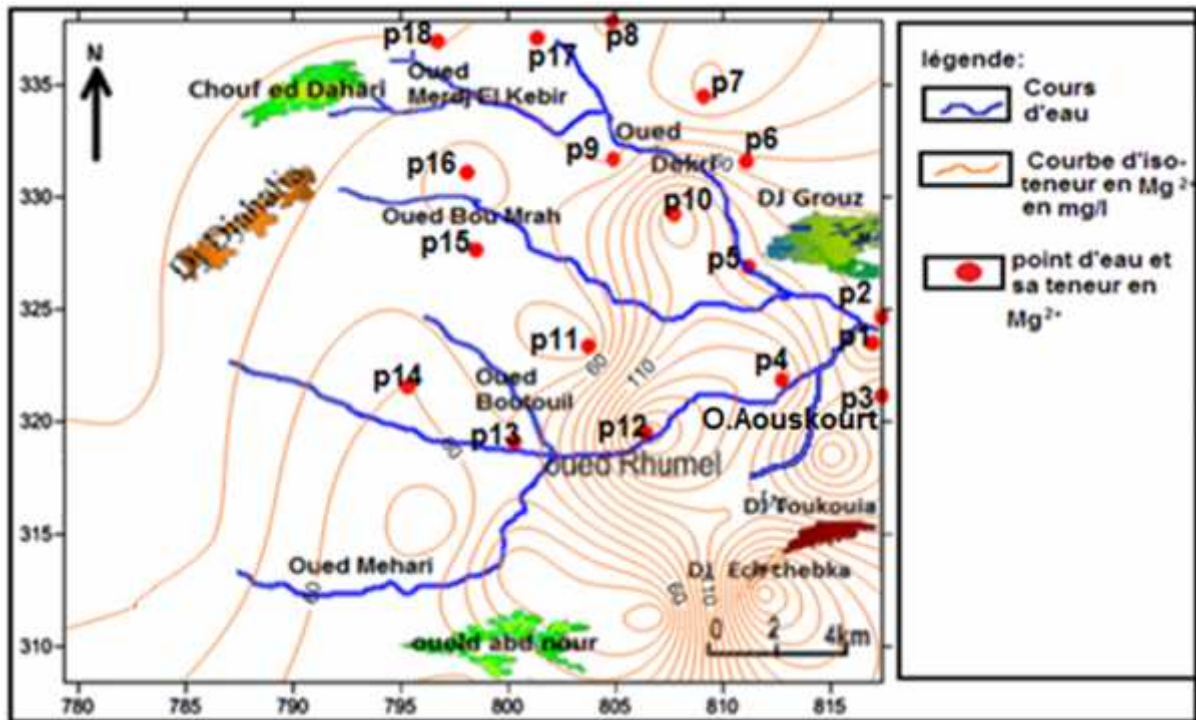


Fig. V.4a : Carte d'iso-teneur en Mg^{++} (Mai 2011).

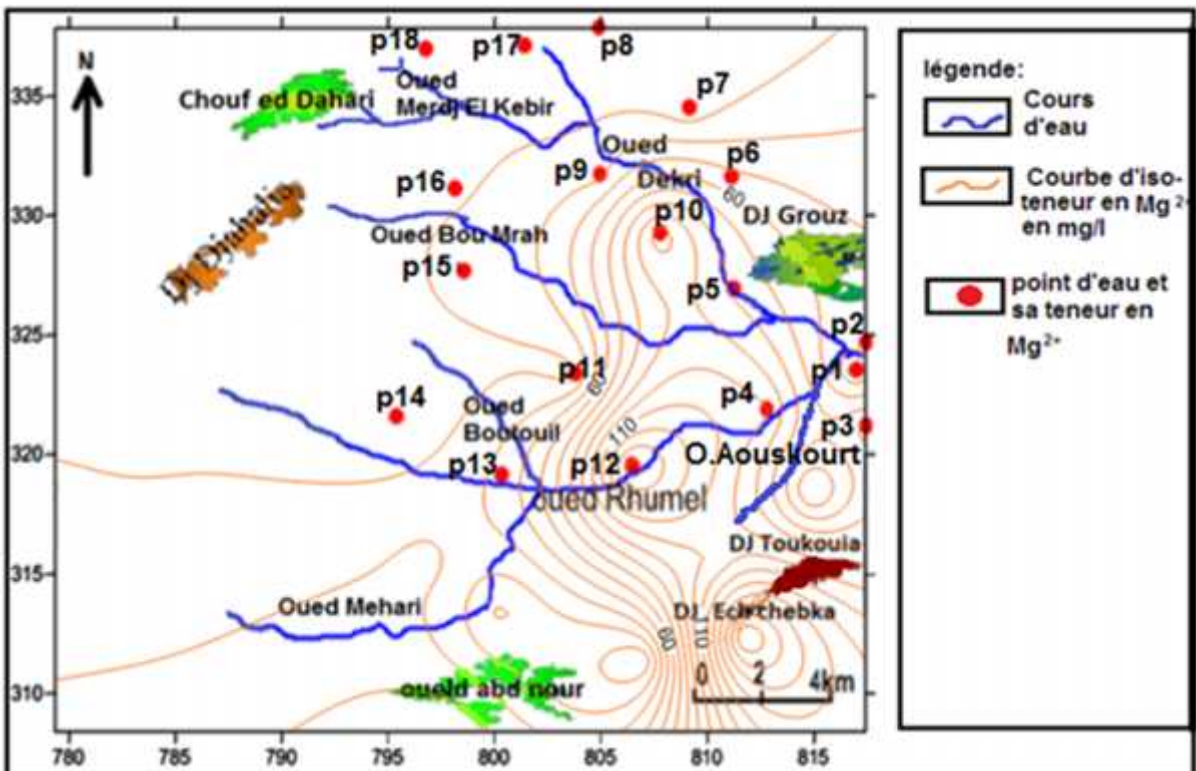


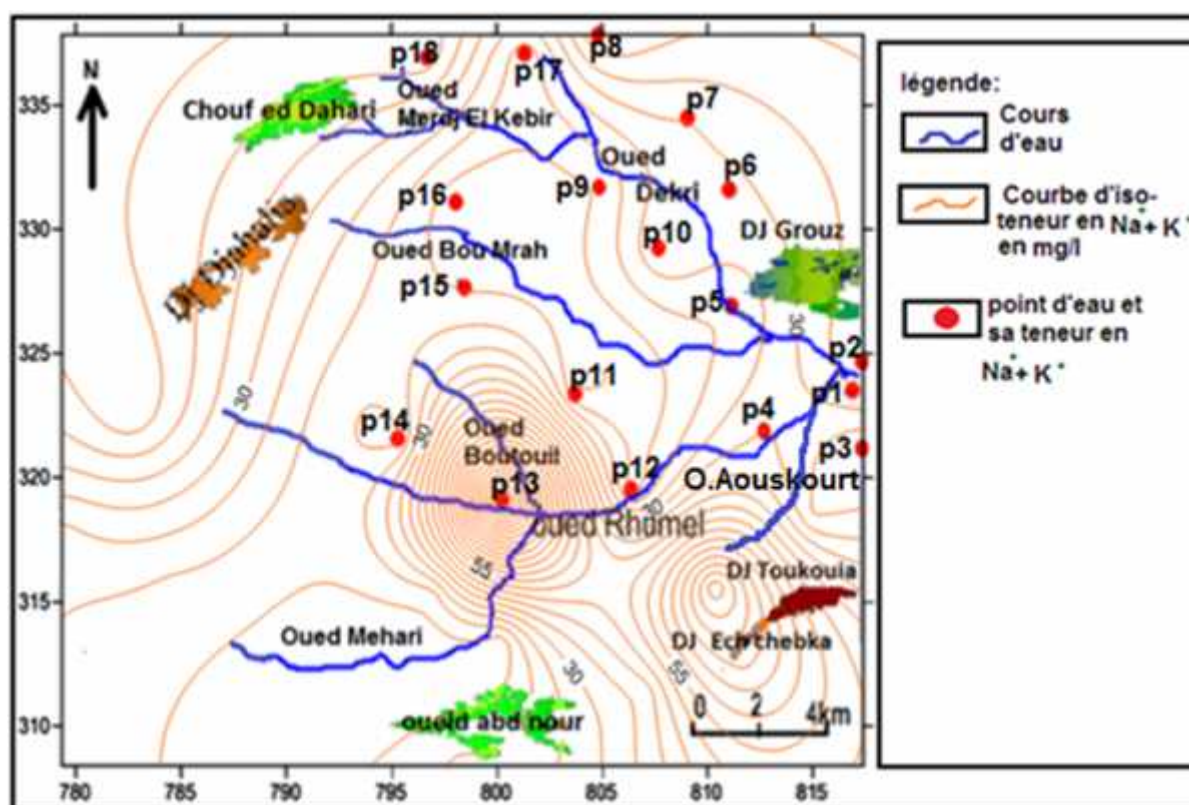
Fig. V.4b : Carte d'iso-teneur en Mg^{++} (Novembre 2015).

Chapitre V : Cadre hydrochimique

• Sodium et Potassium (Na+K) :

Le sodium est beaucoup plus abondant que le potassium et il est toujours présent dans les eaux naturelles avec des proportions très variables. Il provient du lessivage des formations riches en NaCl (l'argile et la marne), et des eaux usées d'origine industrielle et domestique. Ainsi, les engrais utilisés dans les terrains agricoles constituent également l'une des sources de ces deux éléments.

Les valeurs du sodium et du potassium, varient de 9.80 mg/l au puits p16 à 155.90 mg/l au puits p13, durant la période Mai 2011 et entre 10.02 mg/l au puits p11 à 128.23mg/l au puits p13,durant la période Novembre2015. On remarque que les valeurs élevées sont enregistrées près de l'Oued Rhumel où les rejets domestiques et industriels sont déversés directement le long de ce cours d'eau. (Fig. V.5a et Fig. V.5b).



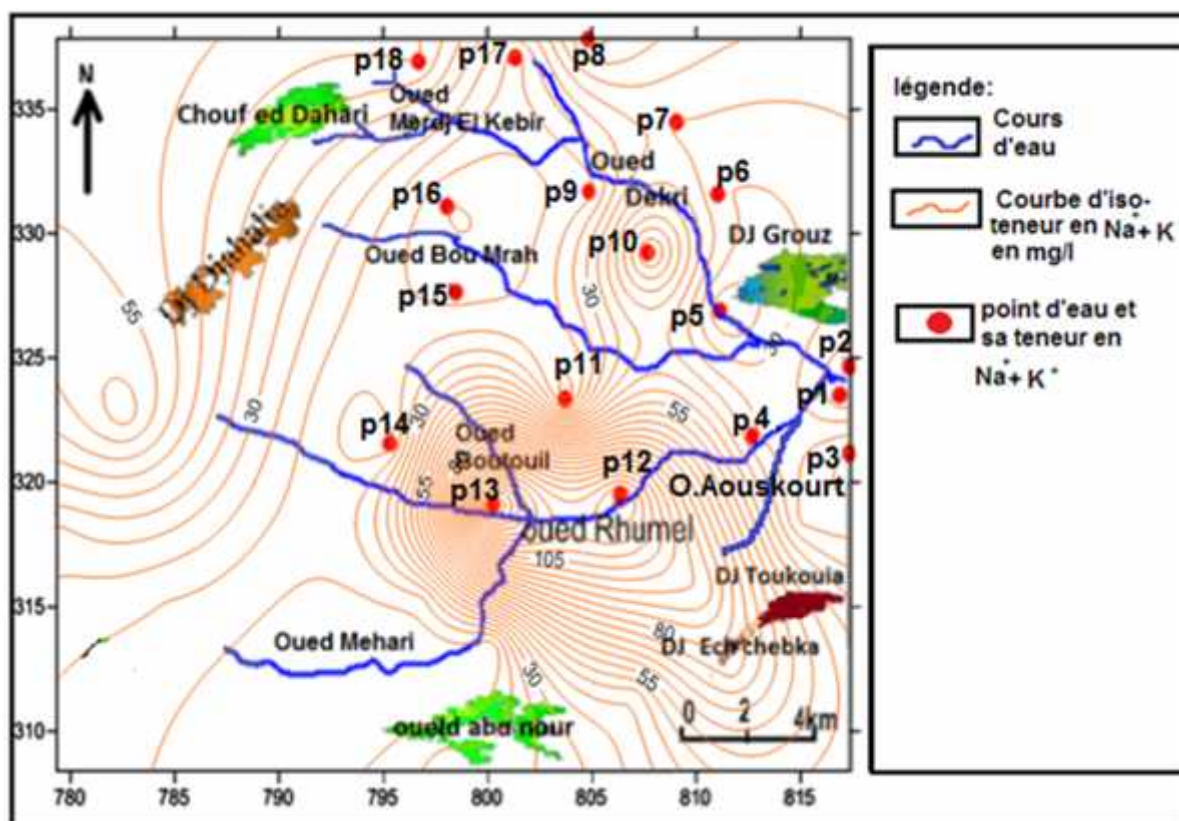


Fig. V.5b : Carte diso-teneur en ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) (Novembre 2015).

V.1.2.2. Les anions :

• Bicarbonates (HCO_3^-) :

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique.

La dissolution des roches carbonatées existantes au niveau du secteur étudié, est liée à la grande superficie couverte par les calcaires lacustres qui forment la source principale des bicarbonates contenus dans l'eau.

Les concentrations en HCO_3^- varient entre 134.20mg/l au puits p6 à 488 mg/l au puits p3 durant la période Mai 2011 et entre 91.5 mg/l au puits p11 à 427 mg/l au puits p3 durant la période Novembre 2015. (Fig. V.6a et Fig. V.6b)

Chapitre V : Cadre hydrochimique

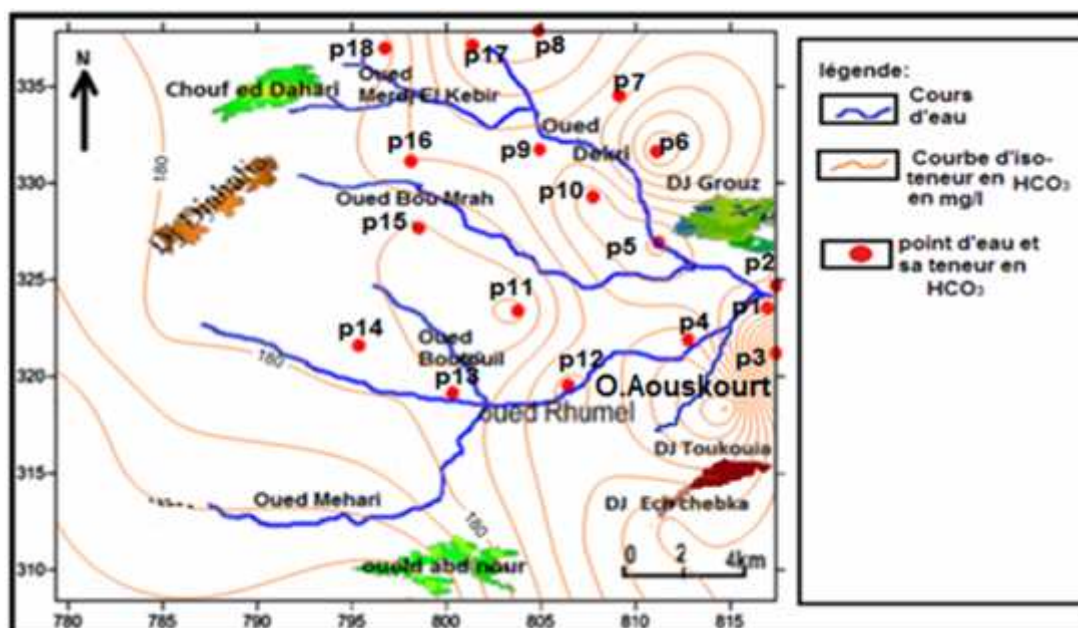


Fig. V.6a : Carte d iso-teneur en HCO_3^- (Mai 2011).

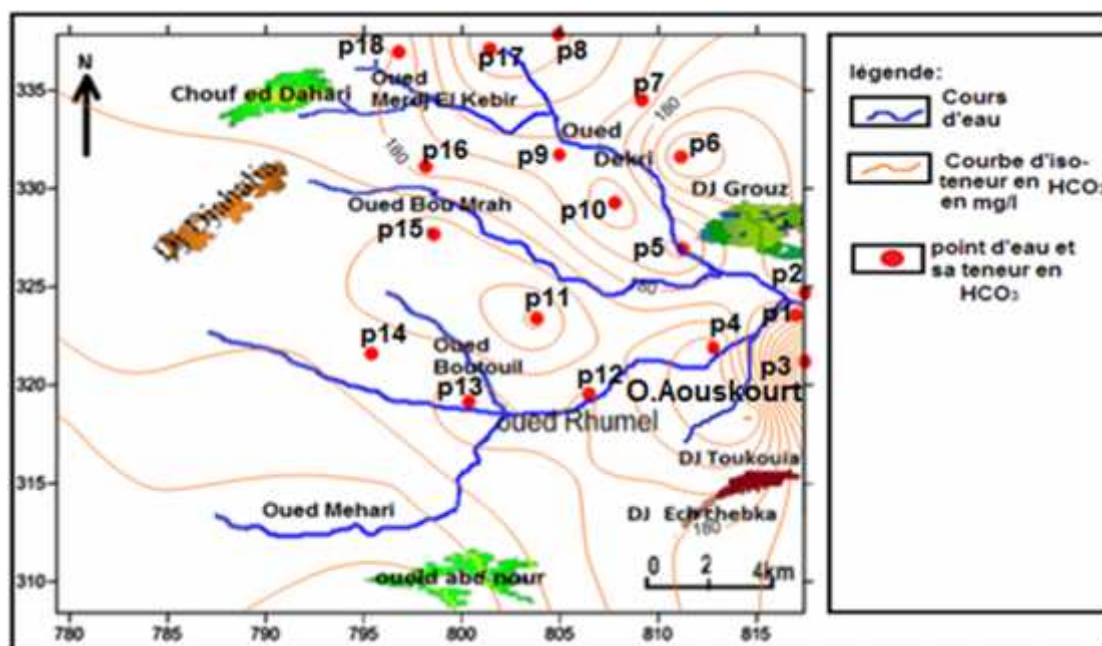


Fig. V.6b : Carte d'iso-teneur en HCO_3^- (Novembre 2015).

•Sulfates (SO_4^{2-}) :

Les sulfates sont présents dans l'eau en teneurs très variables et leur présence est liée en premier lieu à la dissolution des argiles et des marnes du Mio-Pliocène et les gypses du Trias.

La concentration des sulfates varie autour de 27 mg/l au puits p 16, et atteint une valeur maximale qui tourne autour de 1510 mg/l au niveau du point d'eau p 12 durant la période Mai 2011 et entre 18 mg/l au puits p14 à 730 mg/l au puits p4 durant la période Novembre 2015.

Chapitre V : Cadre hydrochimique

Les deux cartes (Fig. V.7a et Fig. V.7b) montrent que la concentration des sulfates augmente dans la partie nord d'Oued Rhumel selon la direction Nord ouest-Sud est.

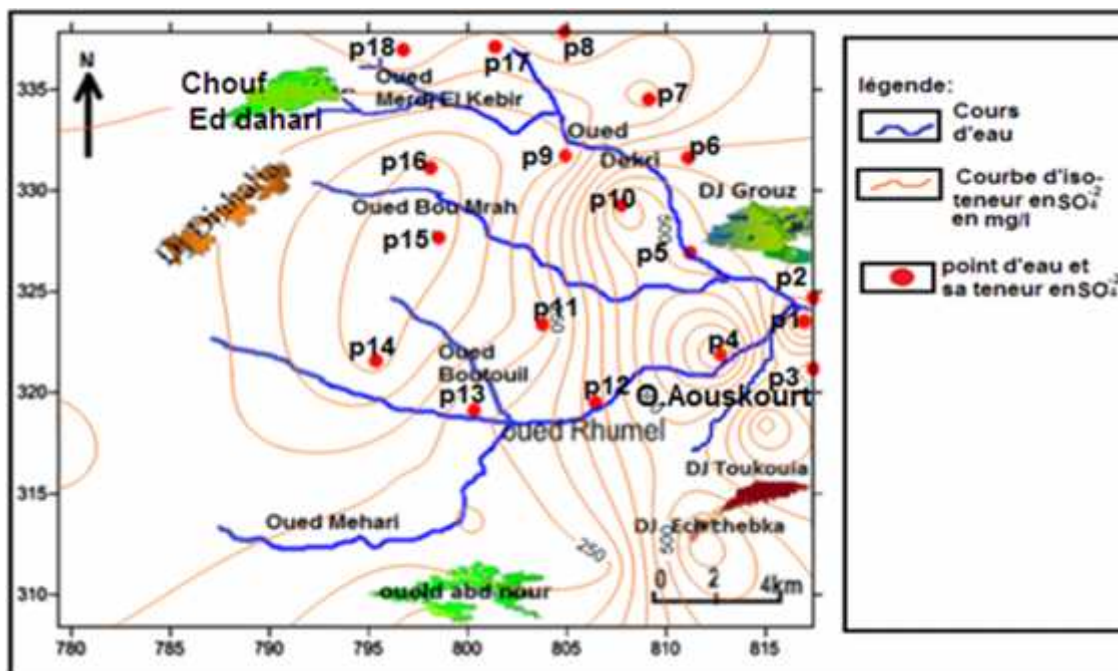


Fig. V.7a : Carte d'iso-teneur en SO_4^{2-} (Mai 2011).

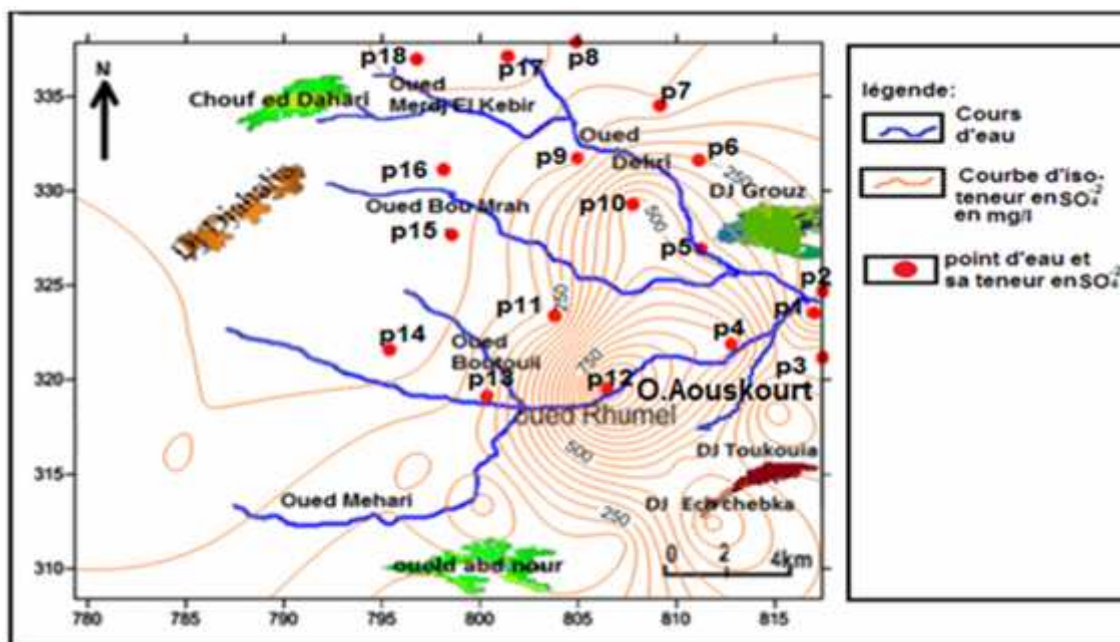


Fig.V.7b : Carte d'iso-teneur en SO_4^{2-} (Novembre 2015).

• Chlorures (Cl^-) :

Ils sont rencontrés en grandes quantités dans les eaux souterraines. Elles peuvent provenir de la contamination par les eaux usées d'origine domestique et industrielle, et de la dissolution des sels naturels par le lessivage des terrains salés.

Chapitre V : Cadre hydrochimique

Les concentrations en chlorures montrent des valeurs variables, qui dépassent parfois les normes fixées par l'OMS (250 mg/l). Durant la période Mai 2011, la valeur minimale est 17.75 mg/l au niveau du puits p8 et la valeur maximale est autour de 337.7 mg/l au puits p5. Tandis que, les valeurs varient entre 12.25 mg/l au puits p8 à 327.2 mg/l au puits p5 pendant la période Novembre 2015. Ces valeurs indiquent que les concentrations augmentent dans la direction d'écoulement des eaux, (Fig. V.8a et Fig. V.8b).

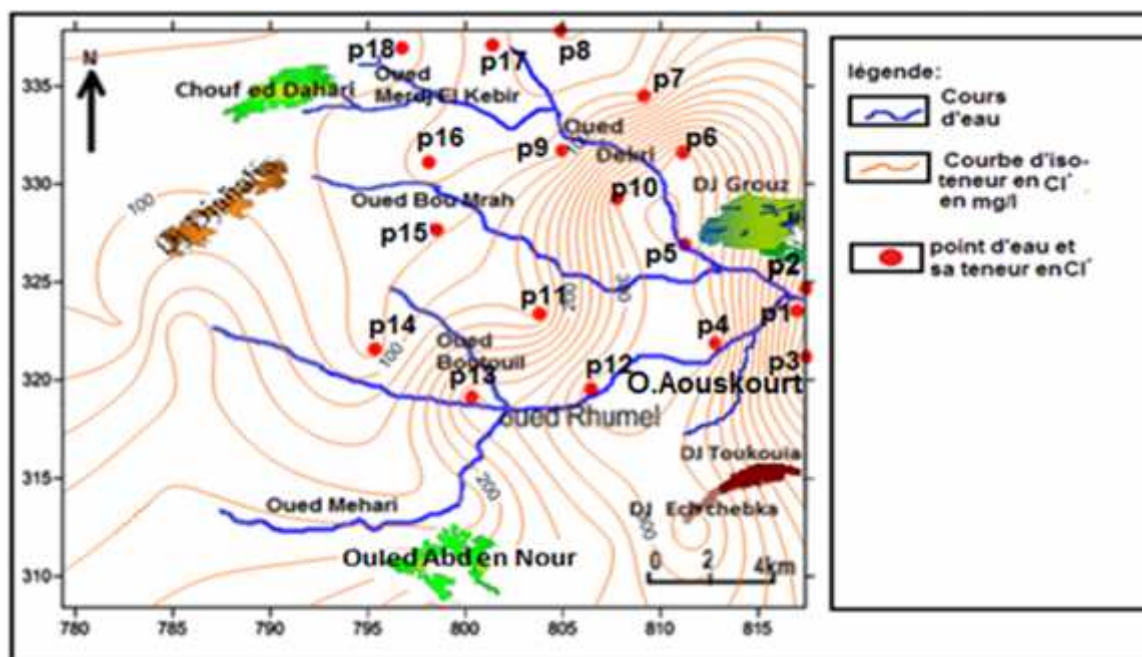


Fig. V.8a : Carte d'iso-teneur en Cl^- (Mai 2011).

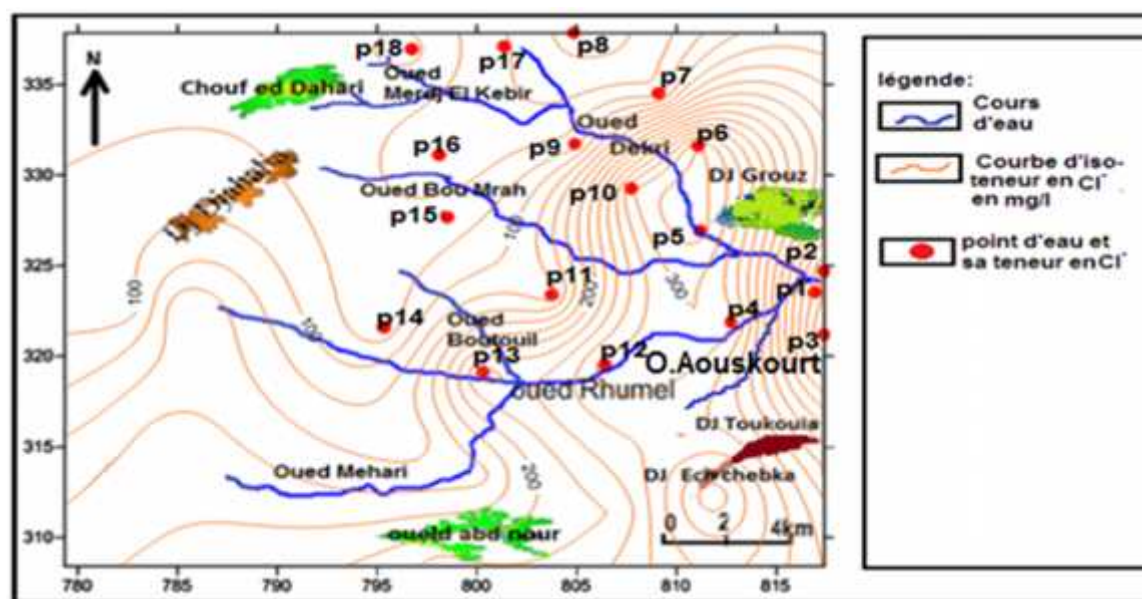


Fig. V.8b : Carte d'iso-teneur en Cl^- (Novembre 2015).

Chapitre V : Cadre hydrochimique

• Nitrates (NO_3^-) :

Les nitrates constituent le stade ultime d'oxydation de l'azote. Ce sont des éléments Indésirables pour l'alimentation en eau potable, et leur présence dans leseaux naturelles est due aux :

- lessivage des sols et l'entraînement des fertilisants azotés solubles non consommés par les plantes.
- rejets d'eau usée d'origine domestique, industrielle et agricole.

Le seuil admissible de 50 mg/l est fixé par l'OMS. Cependant, dans notre cas, ce seuil est parfois dépassé au niveau de quelques points d'eau. Il s'agit du puits p12 avec des valeurs de l'ordre de 70 mg/l, durant la période Mai 2011 et de 60.5 mg/l, durant la période Novembre 2015 et le puits p6 avec une concentration de 81mg/l durant la période Mai 2011, (Fig. V.9a et Fig. V.9b).

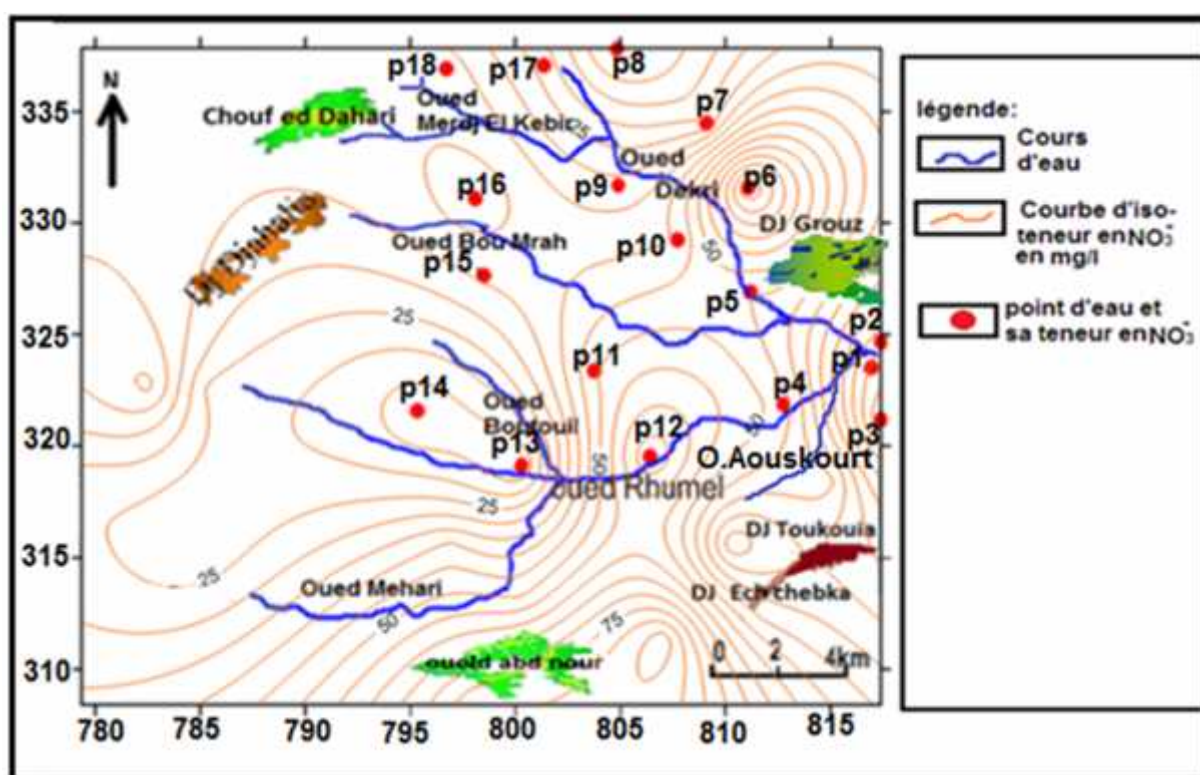


Fig. V.9a : Carte d'iso-teneur en NO_3^- (Mai 2011).

Chapitre V : Cadre hydrochimique

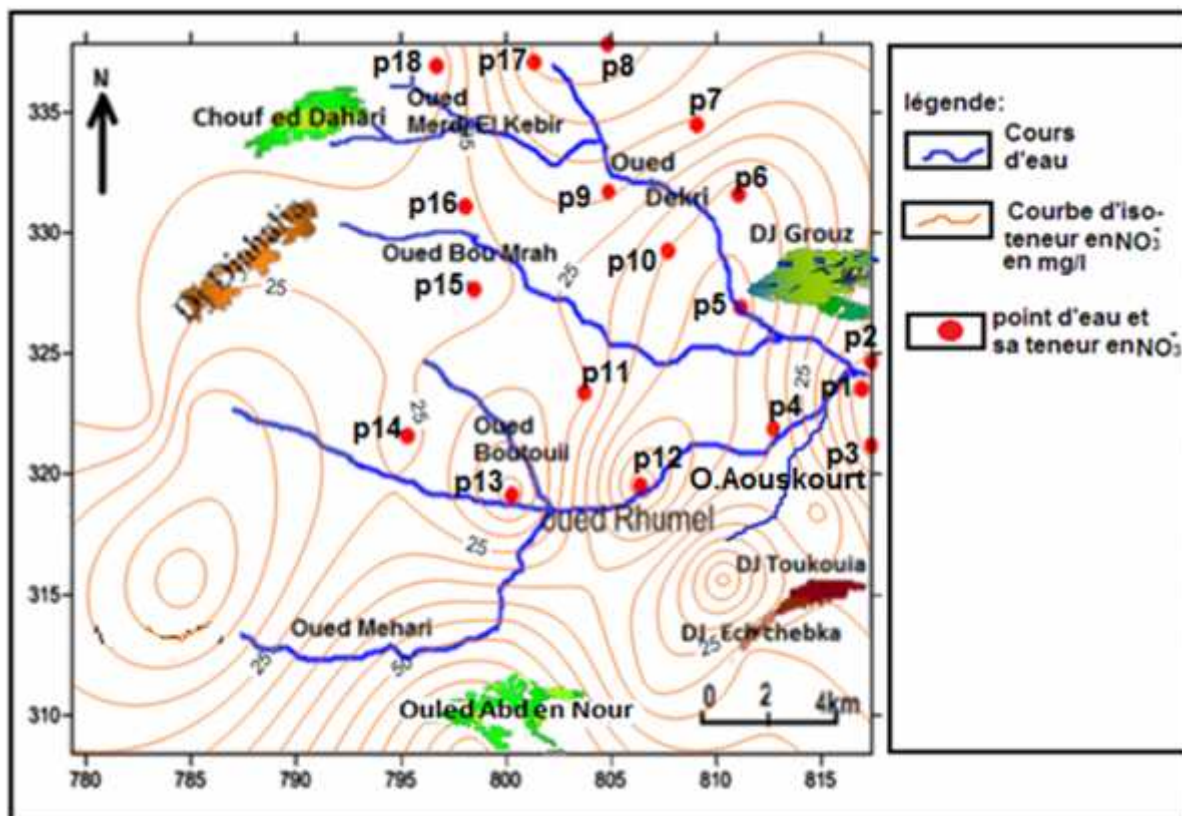


Fig. V.9b : Carte d'iso-teneur en NO_3^- (Novembre 2015).

V.1.1.4. La dureté totale (Degré hydrométrique total (DHT)) :

Elle indique la teneur totale de l'eau en sels de calcium (Ca^{2+}) et de magnésium (Mg^{2+}). Elle est exprimée en degré français et est calculée selon la formule suivante :

$$\text{D.H.T} = 5 (r \text{ Ca}^{++} + r \text{ Mg}^{++}) ^\circ\text{F}$$

Où :

$r\text{Ca}^{2+}$ et $r\text{Mg}^{2+}$: désigne respectivement les quantités en réaction de calcium et de magnésium, en méq/l.

Les résultats de calcul de DHT sont représentés dans les tableaux des annexes (4 et 5).

Selon l'OMS, les eaux potables de bonne qualité ont une dureté totale inférieure à 15 °F mais acceptable jusqu'à 50 °F, si elle dépasse cette valeur, leur utilisation devient extrêmement difficile et cause des problèmes pour la consommation et pour certains usages domestiques.

Dans l'ensemble, les eaux analysées de la nappe phréatique présentent des valeurs variant entre 38.40 à 170.40 °F aux puits (p7-p12), durant Mai 2011 et entre 27 à 144 °F aux puits (p14, p12), durant Novembre 2015.

V.1.3. Les rapports caractéristiques :

Les rapports des quantités en réaction de certains éléments chimiques, peuvent nous renseigner sur les zones d'alimentation et la circulation des eaux souterraines.

Chapitre V : Cadre hydrochimique

Les résultats de calcul des rapports rMg^{2+}/rCa^{2+} , rSO_4^{2-}/rCl^- et $r(Na^++K^+)/rCl^-$ sont mentionnées dans l'annexe 6 et 7.

V.1.3.1. Le rapport rMg^{2+}/rCa^{2+} :

Ce rapport est inférieur à 1 pour la plupart des points d'eau durant les deux périodes. Cela traduit une prédominance du calcium qui due à la dissolution des formations carbonatées présentent dans le terrain d'étude.

Le rapport est supérieur à 1 au niveau des points d'eau P14 et P16 de la seconde période (Novembre 2015), Cela indique la prédominance de magnésium au niveau de ces puits, et également un indice de circulation des eaux dans la dolomie du Crétacé inférieur, (Fig. V.10a).

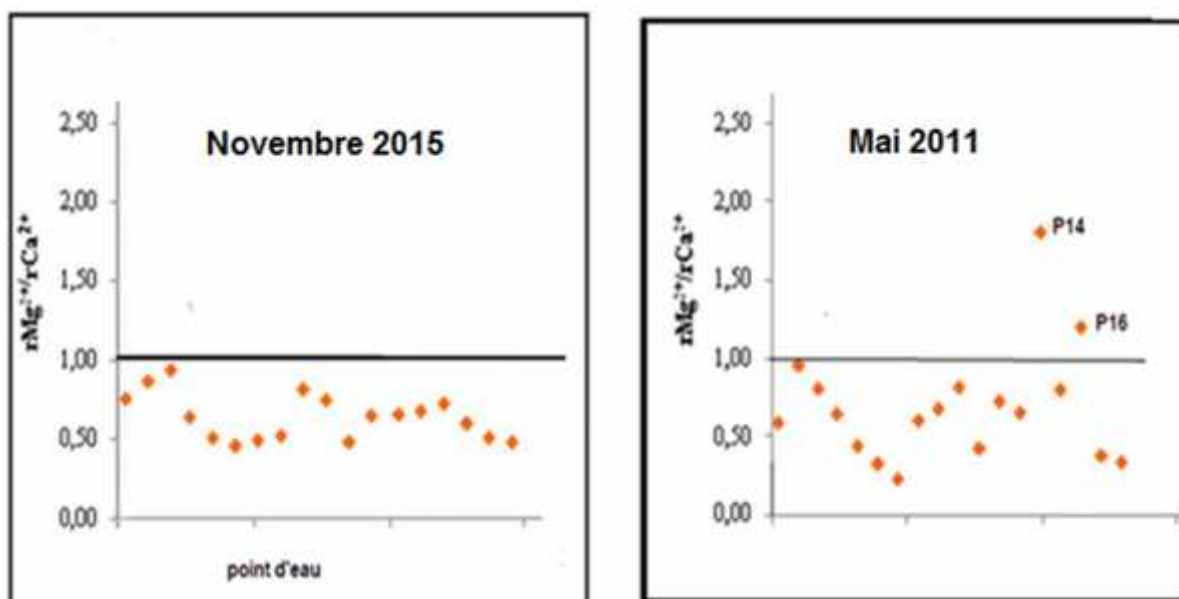


Fig. V.10a : Rapport Caractéristique (rMg^{2+}/rCa^{2+}).

V.1.3.2. Le rapport rSO_4^{2-}/rCl^- :

Le rapport caractéristique est inférieur à 1, pour la majorité des points d'eau durant la période 2011, cela traduit la prédominance des chlorures. Cependant, le rapport caractéristique pour la majorité des points d'eau durant la période 2015, sont supérieur à 1. Cela s'explique par une hausse de la concentration des sulfates dans le temps, (Fig. V.10b).

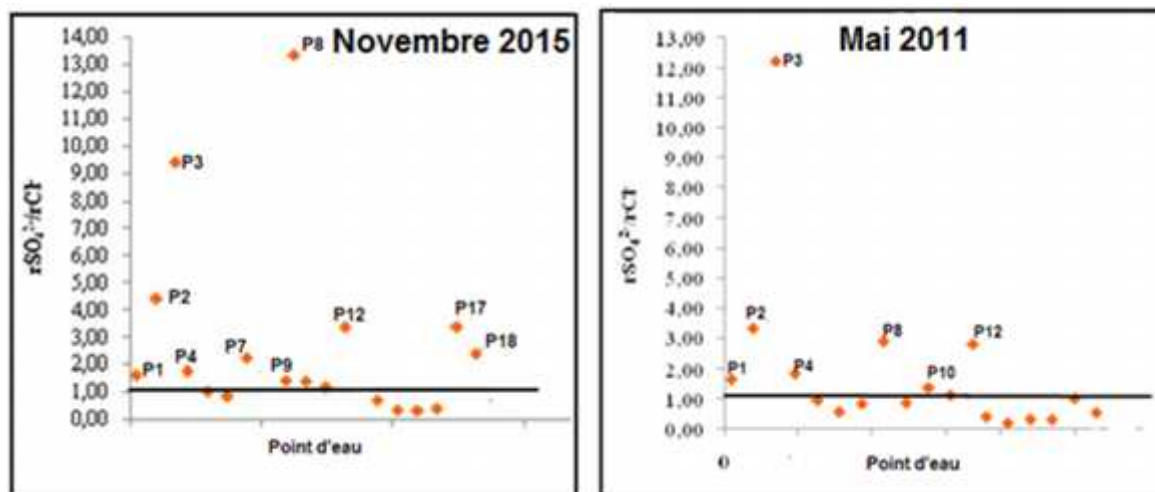


Fig. V.10b : Rapport caractéristique ($r\text{SO}_4^{2-}/r\text{Cl}^-$)

V.1.3.3. Le rapport $r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/r\text{Cl}^-$:

La prédominance des chlorures est confirmée par le rapport caractéristique $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/r\text{Cl}^-$ qui est inférieur à 1, au niveau de tous les points d'eau à l'exception de p8, durant les deux périodes. Cela est certainement dû à la circulation des eaux dans les marnes et les argiles du Mio-Pliocène, (Fig. V.10c).

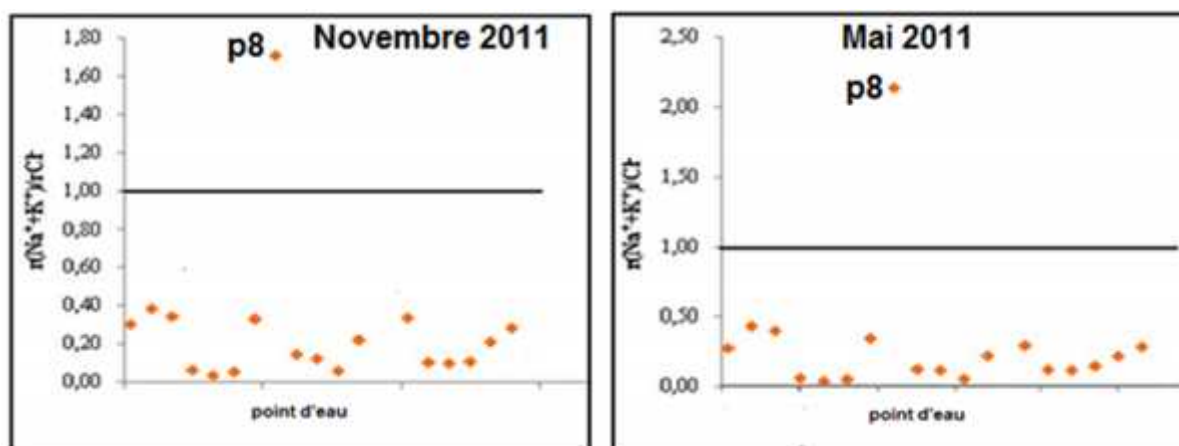


Fig. V.10c: Rapport caractéristique $r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/r\text{Cl}^-$

V.2. Classification des eaux:

Les résultats des analyses chimiques reportées dans les tableaux des annexes 6 et 7 sont la base de tous les classifications établies ci-après.

V.2.1. Classification de STABLER :

Cette classification est basée sur les formules ioniques des différents éléments chimiques, réduits en quantité en réaction en pourcent, et classés par ordre décroissant dans différentes catégories (Tab. V.1 et Tab. V.2).

V.2.1.1. Faciès chloruré :

Il s'agit d'un faciès chloruré calcique, durant les deux périodes.

Chapitre V : Cadre hydrochimique

V.2.1.2. Faciès bicarbonaté :

Ce faciès est représenté par deux sous familles: bicarbonatée calcique et bicarbonatée magnésienne durant les deux périodes.

V.2.1.3. Faciès sulfaté :

Ce faciès est représenté par la sous famille de sulfaté calcique durant les deux périodes.

Interprétation des résultats :

Le faciès bicarbonaté calcique est influencé par les formations carbonatées environnantes (Dj Grouz), c'est le cas du point d'eau **P1**, ainsi que les points d'eau implantés au niveau de la croute calcaire.

Le faciès chloruré « calcique » et sulfaté « calcique et magnésien » sont probablement dû aux rejets d'eaux usées et surtout au lessivage des formations argileuses et marneuses du Mio-Pliocène ainsi les formations évaporitiques du Trias, c'est le cas des points d'eau **P2** et **P3** situés près des affleurements du Trias au niveau de Dj. Toukouia. La présence de la sous famille bicarbonatée magnésienne, montre que les eaux de la nappe superficielle sont influencées par les formations dolomitiques du Crétacé inférieur.

N° du point	Formules caractéristiques ioniques		Faciès chimique et % d'échantillon
P5	$r \% Cl^- > r \% SO_4^{-2} > r \% HCO_3^-$	$r \% Ca^{+2} > r \% Mg^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	chloruré calcique (16.67%)
P6	$r \% Cl^- > r \% SO_4^{-2} > r \% HCO_3^-$	$r \% Ca^{+2} > r \% Mg^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	
P13	$r \% Cl^- > r \% SO_4^{-2} > r \% HCO_3^-$	$r \% Ca^{+2} > r \% Mg^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	
P1	$r \% HCO_3^- > r \% SO_4^{-2} > r \% Cl^-$	$r \% Ca^{+2} > r \% Mg^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	Bicarbonaté calcique (38.89%)
P7	$r \% HCO_3^- > r \% Cl^- > r \% SO_4^{-2}$	$r \% Ca^{+2} > r \% Mg^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	
P8	$r \% HCO_3^- > r \% SO_4^{-2} > r \% Cl^-$	$r \% Ca^{+2} > r \% Mg^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	
P9	$r \% HCO_3^- > r \% Cl^- > r \% SO_4^{-2}$	$r \% Ca^{+2} > r \% Mg^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	
P14	$r \% HCO_3^- > r \% Cl^- > r \% SO_4^{-2}$	$r \% Ca^{+2} > r \% Mg^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	
P15	$r \% HCO_3^- > r \% Cl^- > r \% SO_4^{-2}$	$r \% Ca^{+2} > r \% Mg^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	
P16	$r \% HCO_3^- > r \% Cl^- > r \% SO_4^{-2}$	$r \% Ca^{+2} > r \% Mg^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	
P17	$r \% HCO_3^- > r \% Cl^- > r \% SO_4^{-2}$	$r \% Mg^{+2} > r \% Ca^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	Bicarbonaté magnésienne (11.11 %)
P18	$r \% HCO_3^- > r \% Cl^- > r \% SO_4^{-2}$	$r \% Mg^{+2} > r \% Ca^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	Sulfaté calcique (33.33%)
P2	$r \% SO_4^{-2} > r \% HCO_3^- > r \% Cl^-$	$r \% Ca^{+2} > r \% Mg^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	
P3	$r \% SO_4^{-2} > r \% HCO_3^- > r \% Cl^-$	$r \% Ca^{+2} > r \% Mg^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	
P4	$r \% SO_4^{-2} > r \% Cl^- > r \% HCO_3^-$	$r \% Ca^{+2} > r \% Mg^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	
P10	$r \% SO_4^{-2} > r \% Cl^- > r \% HCO_3^-$	$r \% Ca^{+2} > r \% Mg^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	
P11	$r \% SO_4^{-2} > r \% Cl^- > r \% HCO_3^-$	$r \% Ca^{+2} > r \% Mg^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	
P12	$r \% SO_4^{-2} > r \% Cl^- > r \% HCO_3^-$	$r \% Ca^{+2} > r \% Mg^{+2} > r \% Na^+ + K^+$	

Tab. V. 1 : Classification de Stabler (2011).

Chapitre V : Cadre hydrochimique

N° du point	Formules caractéristiques ioniques		Facies chimique et % d'échantillon
P6	$r \% \text{Cl}^- > r \% \text{SO}_4^{-2} > r \% \text{HCO}_3^-$	$r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	chloruré calcique (11.11 %)
P13	$r \% \text{Cl}^- > r \% \text{SO}_4^{-2} > r \% \text{HCO}_3^-$	$r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
P1	$r \% \text{HCO}_3^- > r \% \text{SO}_4^{-2} > r \% \text{Cl}^-$	$r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique (22.22%)
P9	$r \% \text{HCO}_3^- > r \% \text{SO}_4^{-2} > r \% \text{Cl}^-$	$r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
P15	$r \% \text{HCO}_3^- > r \% \text{SO}_4^{-2} > r \% \text{Cl}^-$	$r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
P17	$r \% \text{HCO}_3^- > r \% \text{Cl}^- > r \% \text{SO}_4^{-2}$	$r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
P14	$r \% \text{HCO}_3^- > r \% \text{Cl}^- > r \% \text{SO}_4^{-2}$	$r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	Bicarbonaté magnésienne (11.11 %)
P16	$r \% \text{HCO}_3^- > r \% \text{Cl}^- > r \% \text{SO}_4^{-2}$	$r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
P2	$r \% \text{SO}_4^{-2} > r \% \text{HCO}_3^- > r \% \text{Cl}^-$	$r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	Sulfaté calcique (55.56%)
P3	$r \% \text{SO}_4^{-2} > r \% \text{HCO}_3^- > r \% \text{Cl}^-$	$r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
P7	$r \% \text{SO}_4^{-2} > r \% \text{HCO}_3^- > r \% \text{Cl}^-$	$r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
P8	$r \% \text{SO}_4^{-2} > r \% \text{HCO}_3^- > r \% \text{Cl}^-$	$r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
P18	$r \% \text{SO}_4^{-2} > r \% \text{HCO}_3^- > r \% \text{Cl}^-$	$r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
P4	$r \% \text{SO}_4^{-2} > r \% \text{Cl}^- > r \% \text{HCO}_3^-$	$r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
P5	$r \% \text{SO}_4^{-2} > r \% \text{Cl}^- > r \% \text{HCO}_3^-$	$r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
P10	$r \% \text{SO}_4^{-2} > r \% \text{Cl}^- > r \% \text{HCO}_3^-$	$r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
P11	$r \% \text{SO}_4^{-2} > r \% \text{Cl}^- > r \% \text{HCO}_3^-$	$r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
P12	$r \% \text{SO}_4^{-2} > r \% \text{Cl}^- > r \% \text{HCO}_3^-$	$r \% \text{Ca}^{+2} > r \% \text{Mg}^{+2} > r \% \text{Na}^+ + \text{K}^+$	

Tab. V.2: Classification de Stabler (Novembre 2015).

V.2.2. Classification de PIPER :

La classification des eaux d'après le diagramme de Piper, montre que les points d'eau se regroupent dans le losange supérieur, indiquant une prédominance du faciès chloruré calcique et magnésien, durant les deux périodes. Tandis que, 11% à 22 % d'échantillons représentent un faciès bicarbonaté calcique et magnésien durant les campagnes de Mai 2011 et Novembre 2015 respectivement, (**Fig. V.11a, Fig. V.11b, Fig. V.12a et Fig. V.12b**).

Chapitre V : Cadre hydrochimique

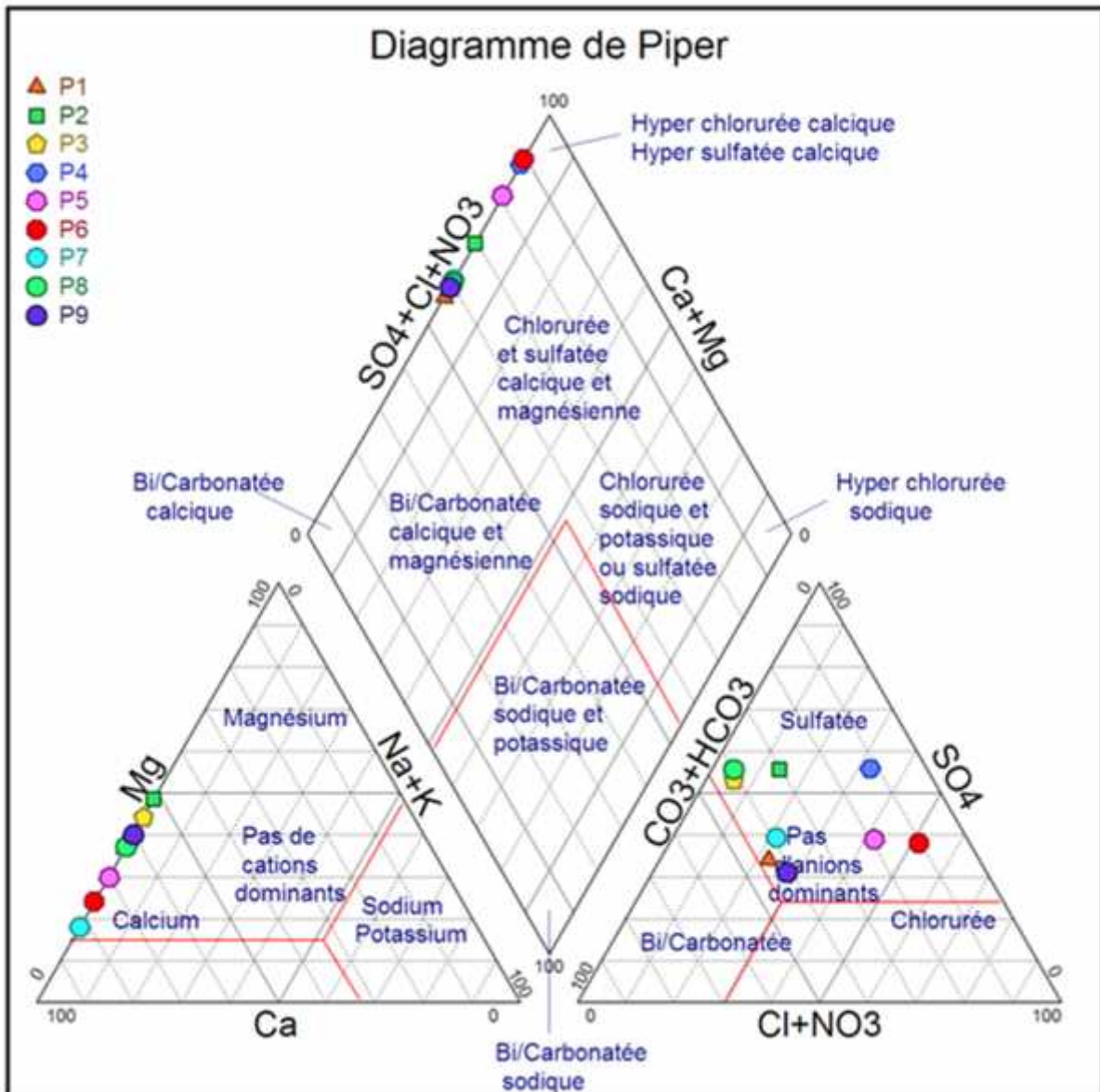


Fig. V.11a: classification des eaux d'après le diagramme Piper, période Mai 2011.

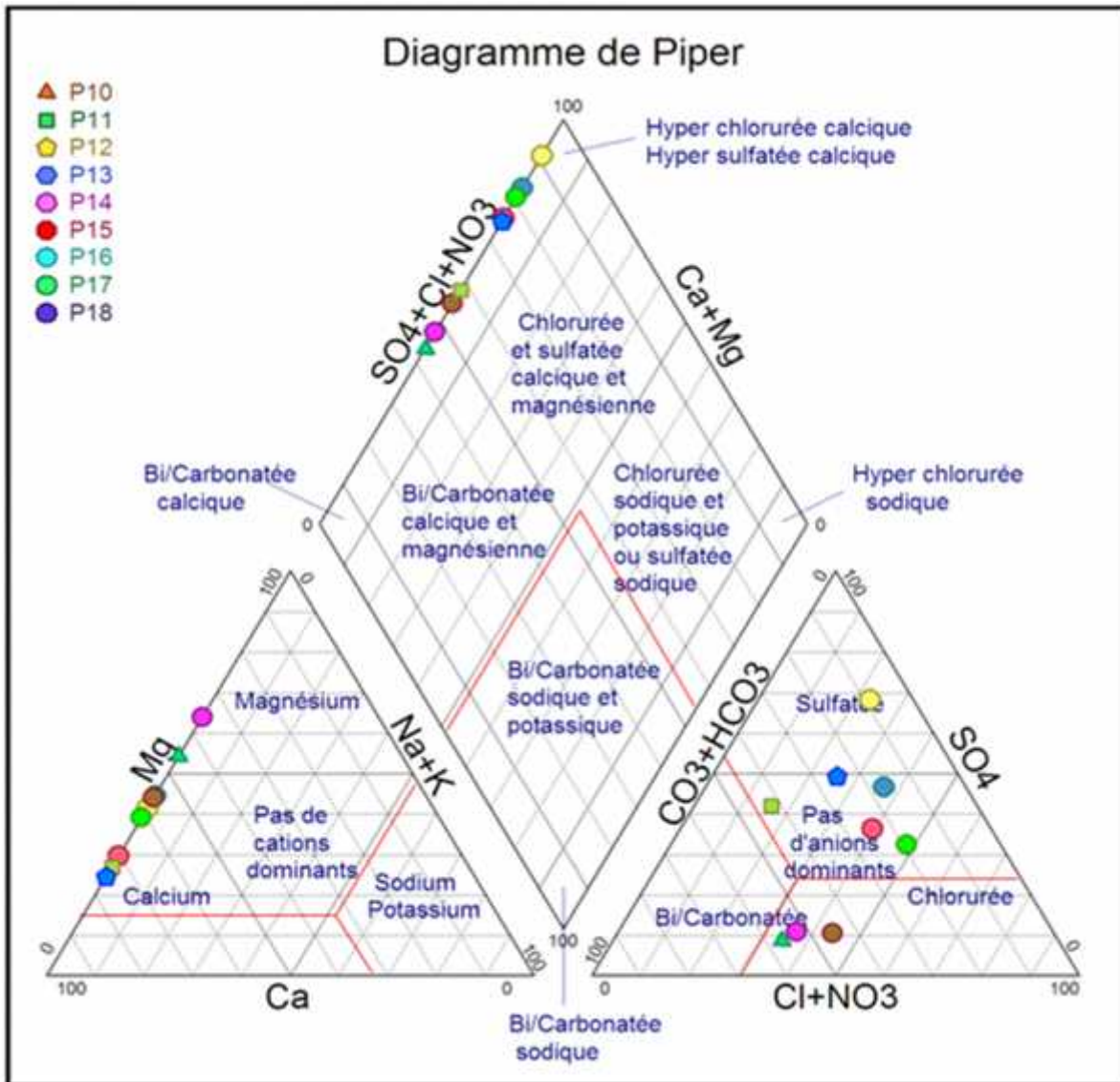


Fig. V.11b : classification des eaux d'après le diagramme Piper, période Mai 2011.

Chapitre V : Cadre hydrochimique

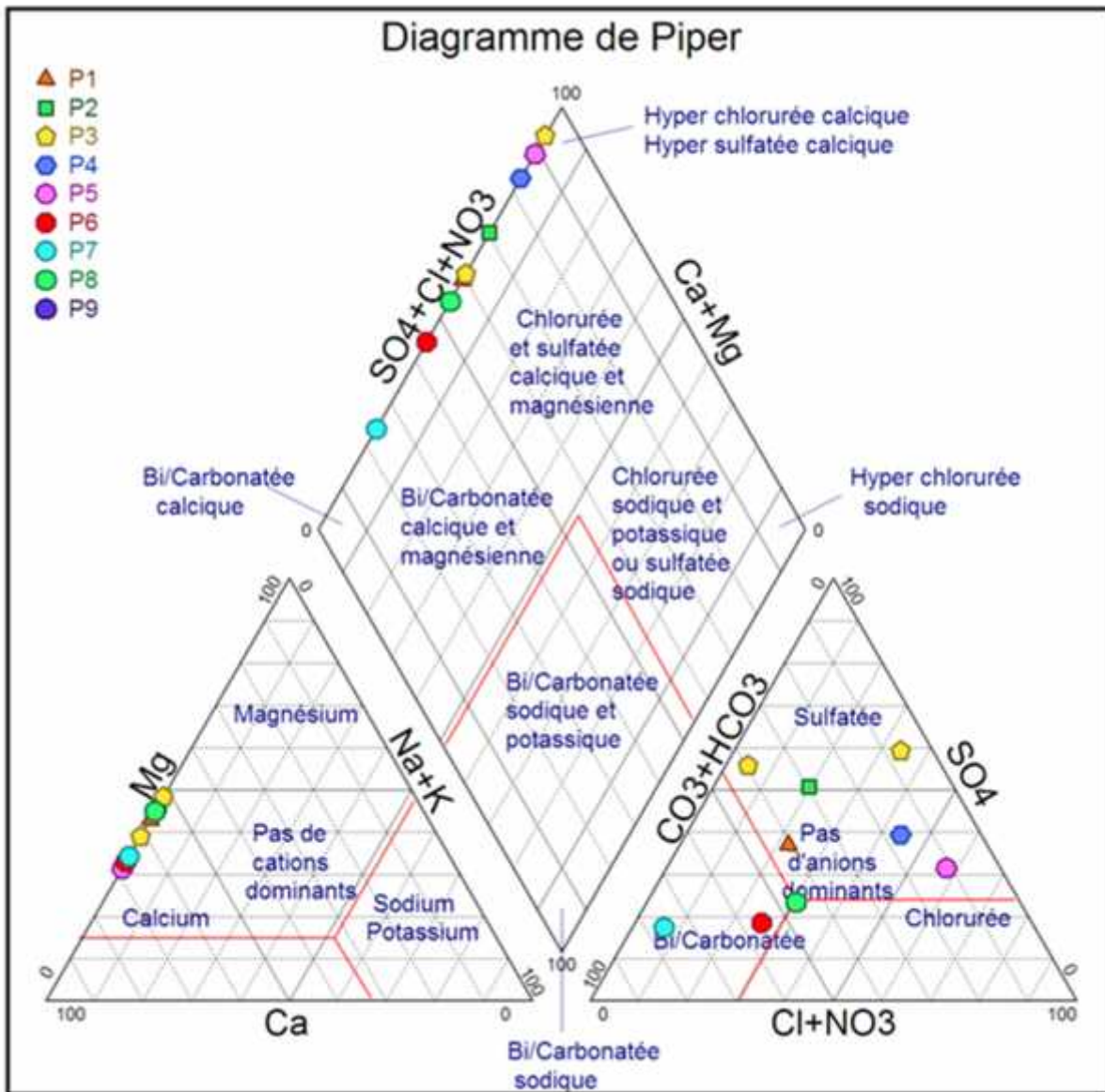


Fig. V.12a : classification des eaux d'après le diagramme Piper, période Novembre 2015.

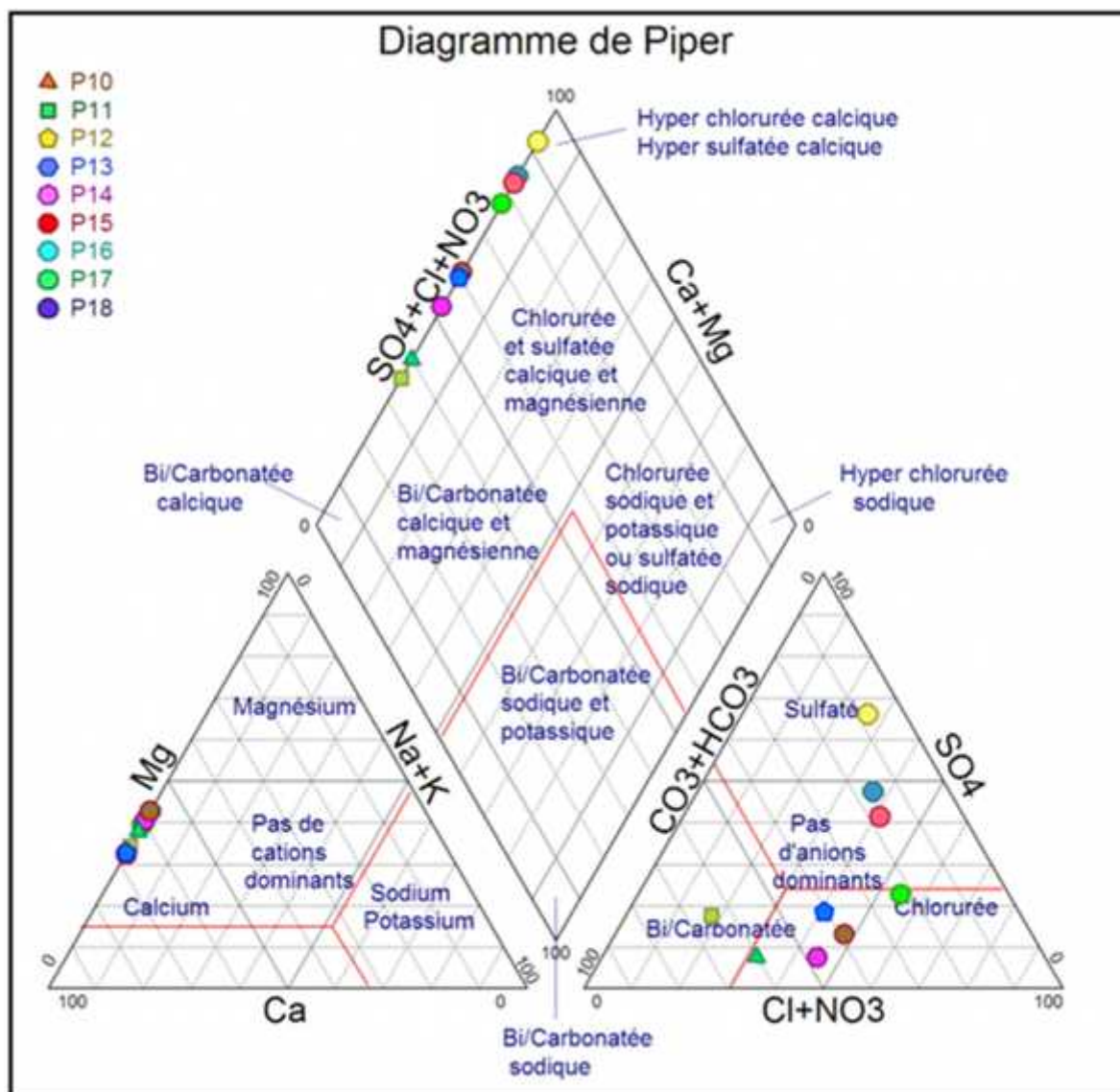


Fig. V.12b : Classification des eaux d'après le diagramme Piper, période Novembre 2015.

V.2.3. Classification de Schoeller-Berkaloff :

Le rapport des résultats d'analyses chimiques sur le diagramme Schoeller-Berkaloff, permet de confirmer l'abondance des faciès précédemment cités, et de classer les eaux selon leur caractère agressif ou incrustant en comparant le pH d'équilibre et le pH mesuré, (annexe 8).

Les diagrammes logarithmiques (Fig. V.13a, 13a' et Fig. V.13b, 13b') ont permis d'identifier les grandes familles chimiques qui sont mentionnées dans le tableau (V.3).

Chapitre V : Cadre hydrochimique

Faciès chimique		Mai 2011	Novembre 2015
		pourcentage	pourcentage
Famille des eaux bicarbonatées	Bicarbonatée calcique	22.22	50
	Bicarbonatée magnésienne	11.11	-
Famille des eaux Chlorurées	Chlorurée calcique	11.11	11.11
Famille des eaux Sulfatées	Sulfatée calcique	55.56	38.89

Tab. V.3 : Faciès chimiques des eaux selon la méthode de SCHOELLER-BERKALOFF

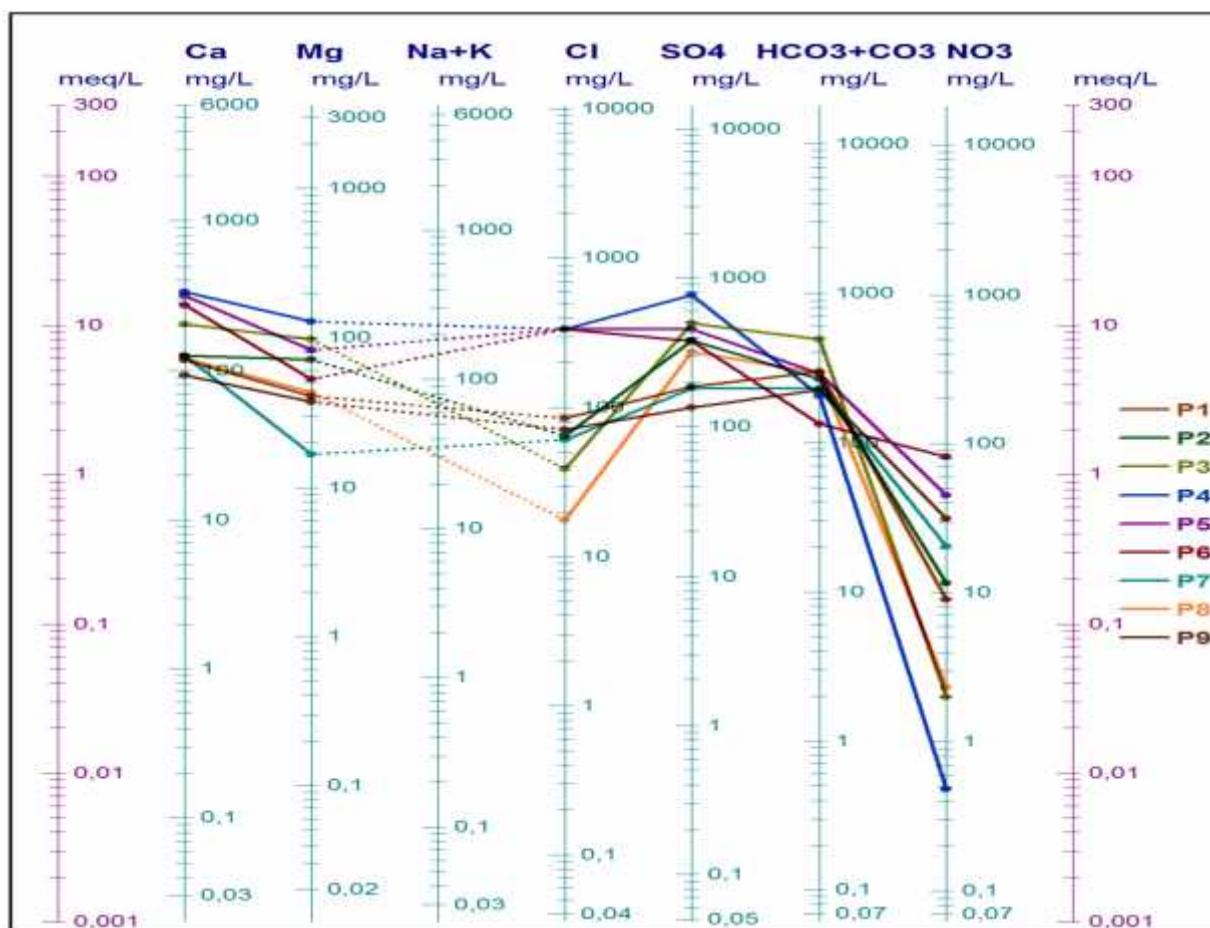


Fig. V.13a : Représentation des eaux souterraines sur le diagramme Schoeller-Berkaloff (Mai 2011).

Chapitre V : Cadre hydrochimique

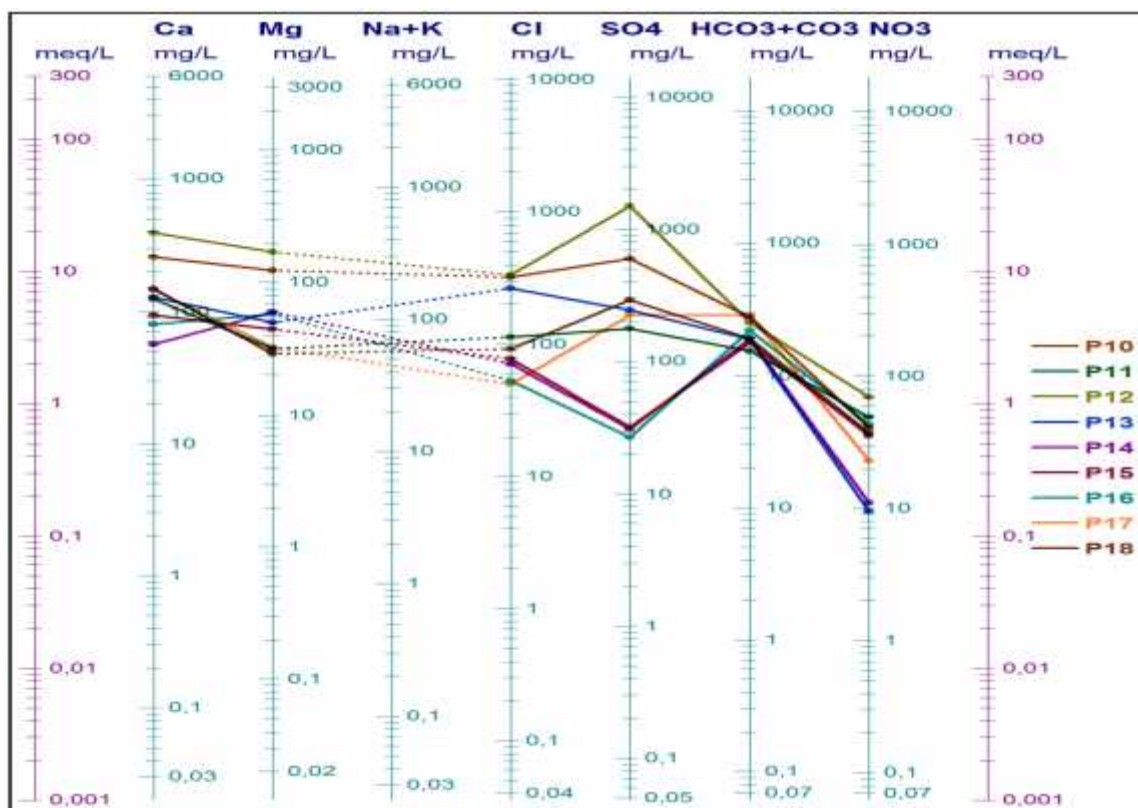


Fig. V.13a' : Représentation des eaux souterraines sur le diagramme Schoeller-Berkaloff (Mai 2011).

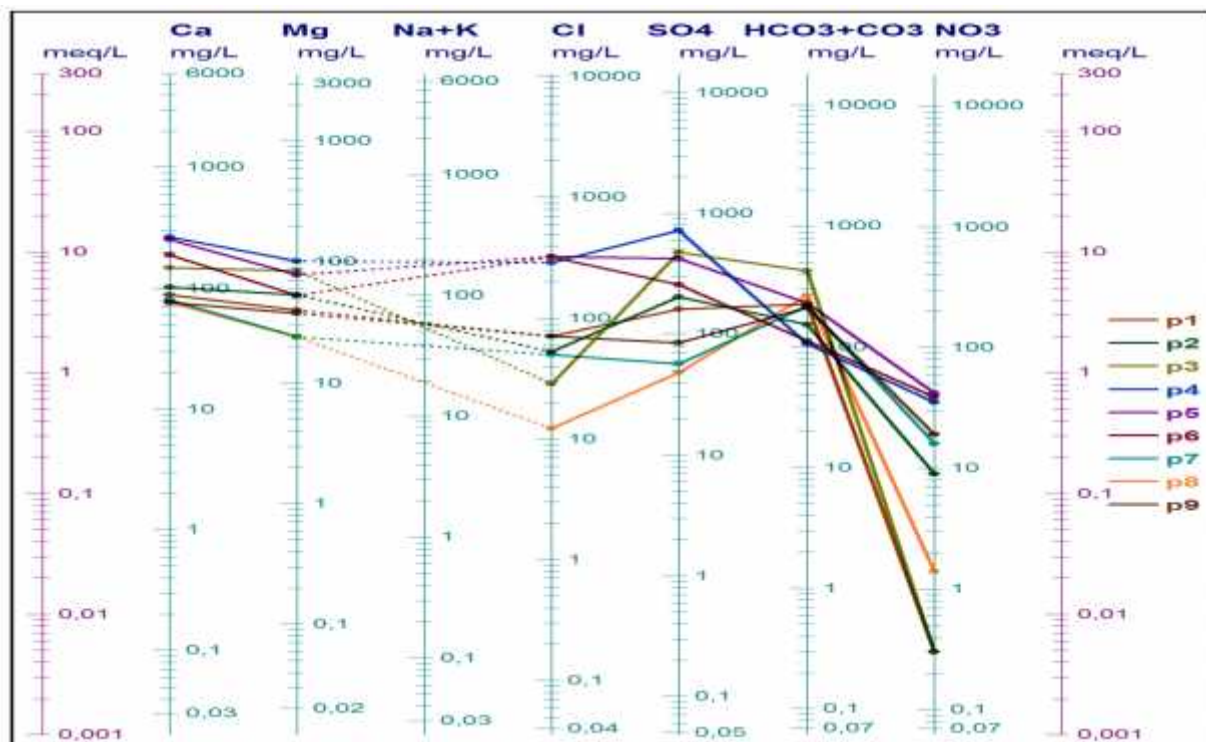


Fig. V.13b : représentation des eaux sur le diagramme Schoeller-Berkaloff (Novembre 2015).

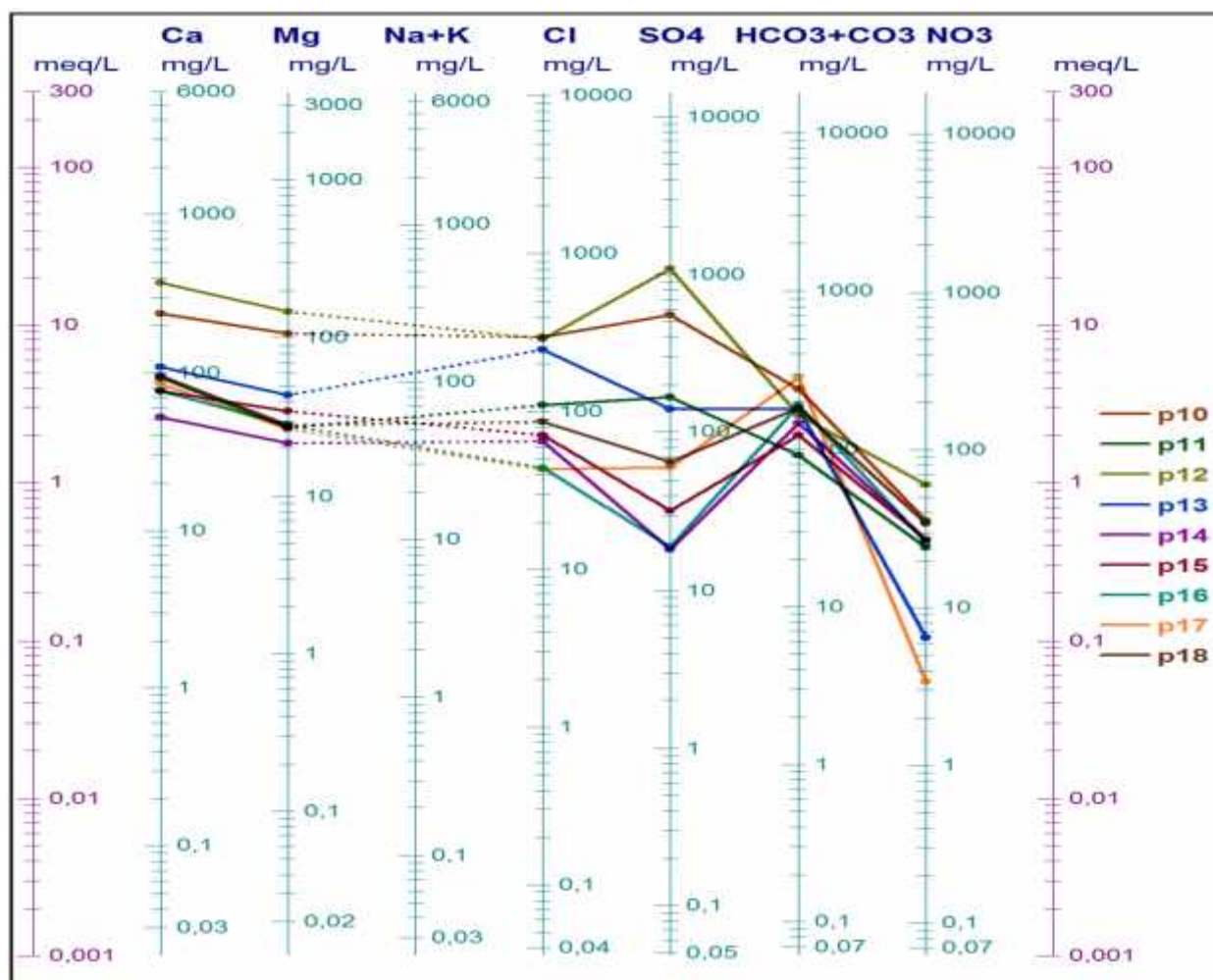


Fig. V.13b' : représentation des eaux souterraines sur le diagramme Schoeller - Berkaloff (Novembre 2015).

V.3. Potabilité des eaux:

L'eau destinée à la consommation humaine est complètement dépourvue d'impureté et d'agents polluants, mais elle contient toujours une certaine quantité de sels dissous qui lui confèrent une certaine saveur, odeur et couleur. Par contre, une eau souterraine n'est jamais chimiquement pure.

Les eaux souterraines destinées à la consommation, sont définies par un certain seuil de potabilité ou norme qui est déterminé par différents organismes dont le plus important est l'Organisation Mondiale de la Santé « O.M.S ». La concentration de ces eaux ne doit pas dépasser les normes déjà fixées.

D'après les tableaux (V.4 et V.5), une bonne partie des points d'eau analysés présentent une qualité moyenne à bonne, avec un nombre non négligeable des puits qui représentent une mauvaise qualité. Ces derniers et suite à l'influence de la pollution des Oueds, sont généralement situés près des cours d'eau.

Chapitre V : Cadre hydrochimique

Normes de l'O.M.S	140	150	250	250	50	50	Qualité des eaux
Paramètre Physico-chimique	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Dureté (°F)	
P1	116.23	40.62	85.20	185	9	46	Potable
P2	125.04	71.40	63.9	380	11.50	61	Moyenne
P3	204.40	98.16	39.03	495	0.20	92	Non Potable
P4	336.67	129.24	333.7	785	48	138	Non Potable
P5	318.23	82.68	337.7	457	45	114	Non Potable
P6	274.14	52.56	60.35	378	81	90.40	Non Potable
P7	125.85	16.68	333.70	180	20.50	38.40	Moyenne
P8	120.24	43.08	60.35	320	2.30	48	Moyenne
P9	92.98	37.44	17.75	135	31.50	38.80	Potable
P10	256.51	124.56	71	360.2	40.50	116.00	Non Potable
P11	124.24	31.08	323.05	178	49.50	44	Potable
P12	369.38	171.00	113.60	1510	70	170.40	Non Potable
P13	128.25	49.80	266.25	247	9.5	52.80	Moyenne
P14	56.11	60.48	71	31	11	39.20	Potable
P15	93.78	44.64	78.10	32	36	42	Potable
P16	80.16	57.50	53.25	27	43.50	44	Potable
P17	145.89	32.52	49.70	225	23	50	Potable
P18	149.29	29.16	92.50	295	37.50	49.20	Moyenne

Tab. V.4: Potabilité des eaux (Mai 2011).

Chapitre V : Cadre hydrochimique

Valeurs OMS	140	150	250	250	50	50	Qualité des eaux
Paramètre Physico-chimique	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Dureté (°F)	
P1	88.17	40.20	71	160	0.30	40	Potable
P2	102.6	53.64	53.25	240	9	48	Potable
P3	148.29	83.88	28.75	475	0.30	72	Non Potable
P4	264.48	102.12	290.80	730	35	100	Non Potable
P5	254.4	78.16	327.15	425	42	92	Non Potable
P6	190.78	52.84	323.05	256	39	78	Non Potable
P7	80.16	23.90	49.70	57	16	30	Potable
P8	76.15	24	12.25	48	1.40	29	Potable
P9	76.15	37.52	71	84	19	38.80	Non Potable
P10	235.56	106.16	298.25	560	35.5	106	Non Potable
P11	92.18	26.88	110.05	169	24	34.20	Potable
P12	374.72	146.84	290	1100	60.5	144	Non Potable
P13	108.21	43.48	248.50	140	6.4	56	Potable
P14	52.14	21.60	65.2	18	27	27	Potable
P15	76.95	34.08	71	32	27	33.4	Potable
P16	76.95	28.32	43.90	19	26	31	Potable
P17	84.16	26.40	43.25	60	3.4	32	Potable
P18	94.58	28.02	86.5	65	34	37	Potable

Tab. V.5: Potabilité des eaux (Novembre 2015).

V.4. Aptitude de l'eau à l'irrigation :

La qualité chimique des eaux influe directement sur le rendement des terres agricoles et sur la préservation des sols. A cet effet et étant donné que la zone d'étude est à vocation agricole, une étude chimique des eaux pour l'irrigation est indispensable pour mettre en évidence le danger que peut présenter certains éléments chimiques pour la santé publique, pour les plantes et enfin pour les sols.

V.4.1. Risque de salinité (Diagramme du SAR):

Le danger que représentent les concentrations élevées en éléments chimiques tels que le sodium (Na⁺⁺), implique une étude de l'évolution de la minéralisation de l'eau

Chapitre V : Cadre hydrochimique

pour l'irrigation. Le principe consiste à une représentation graphique qui met en évidence les valeurs de la conductivité en fonction du Sodium Absorption Ratio (S.A.R.). Le SAR est défini comme étant une mesure de pouvoir de remplacement des ions Ca^{++} et Mg^{++} par le sodium (Na^+) dans les argiles et les colloïdes, il peut être estimé par la relation de RICHARD (1954) :

$$(\text{SAR}) = \frac{N^{+2}}{\sqrt{(C^{+2} + M^{+2})/2}}$$

La combinaison du SAR et de la conductivité électrique de l'eau permet de faire une classification de l'eau destinée à l'irrigation.

Après avoir reporté les différentes valeurs sur le graphe **Fig. (V.14)**, nous remarquons que les points d'eau de notre zone d'étude présentent en général un degré de salinité faible pour les deux périodes. D'autre part, en ce qui concerne la conductivité la majorité des points d'eau présentent des valeurs élevées par rapport aux autres points. Les eaux de la région étudiée sont réparties sur les trois classes suivantes :

- **Classe (C2 S1) :** faible salinité et conductivité moyenne avec un pourcentage de 16.67 % pour les deux périodes, aux puits (p8, p13, p14).
- **Classe (C3 S1) :** faible salinité et conductivité élevée avec un pourcentage égal à 66.67% durant les deux périodes, aux puits (P1, p2 p3, p6, p7, p9, p10, p11 p15, p16, p17, p18).
- **Classe (C4 S1) :** faible salinité et conductivité très élevée avec un pourcentage de 16.67% pour les deux périodes, aux puits (p4, p5, p12).

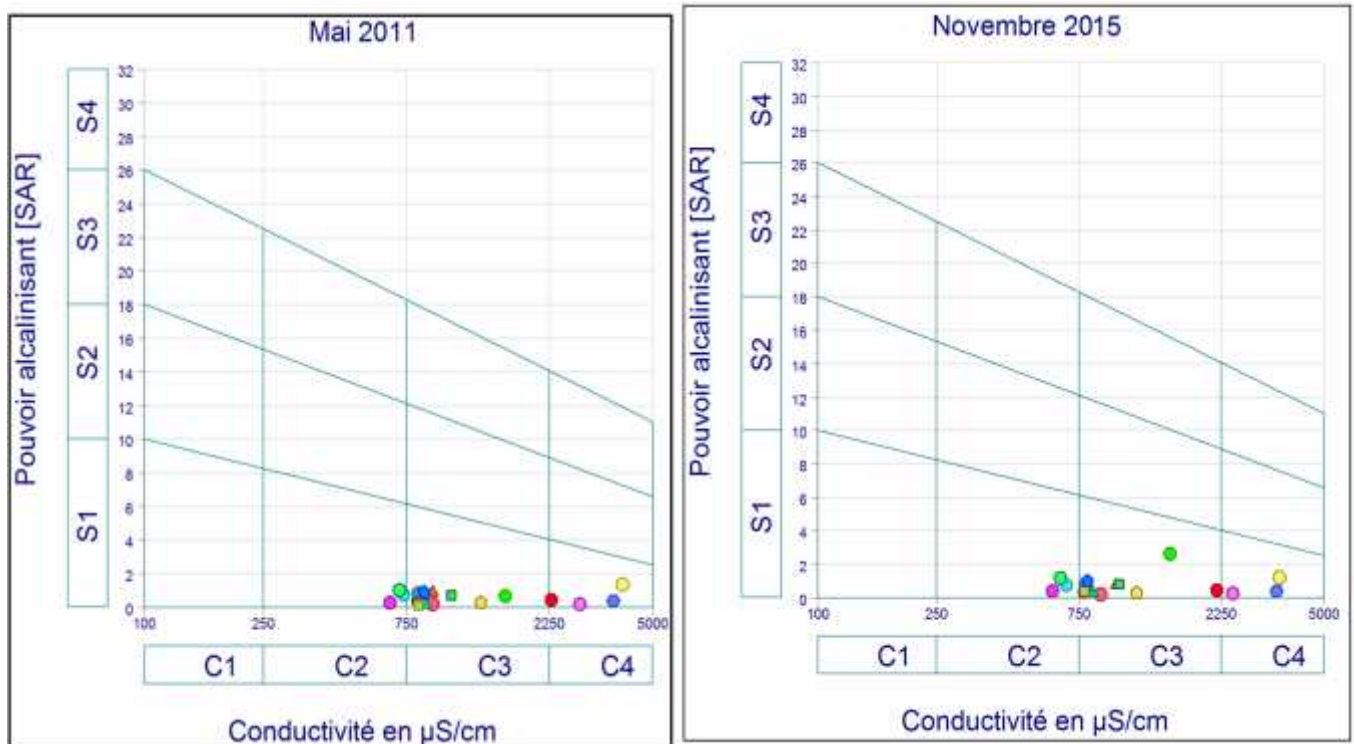


Fig. V.14 : Classification des eaux d'irrigation d'après la méthode de SAR

- Avec : C1 : Faible, C2 : Moyenne, C3 : Elevée et C4 : Très élevée.

Chapitre V : Cadre hydrochimique

- S1 : Faible, S2 : Moyen, S3 : Elevé et S4 : Très élevé.

V.4.2. Classification de Wilcox :

Cette classification basée sur la conductivité et le pourcentage du sodium (Na^+) soluble est définie par la formule suivante :

$$N^{+}\% = \frac{N^{+}}{(C^{+2} + M^{+2} + N^{+2} + K^{+})} \times 100$$

Tous les éléments sont exprimés en méq/l.

Cette formule nous donne la charge du sodium (Na^+) dans l'eau d'irrigation, puisque si le nombre de Na^+ combiné avec celui du sol augmente on aura une dégradation de la structure avec un gonflement des argiles, ce qui rend le milieu imperméable. L'augmentation de la charge de Na^+ influence négativement le développement des plantes.

Le diagramme de Wilcox est une représentation graphique du pourcentage du sodium (%Na) en fonction de la conductivité électrique, permettant de déterminer le risque de salinité des eaux.

Selon la figure V.15, on remarque que 61.11 % des points d'eau sont de bonne qualité durant les deux périodes aux puits.

D'autre part, il ya trois points qui représentent une qualité d'eau excellente aux puits (p7, p8, p14) durant les deux périodes, et seulement deux points qui représentent des qualités d'eau médiocre et mauvaise respectivement pour les puits (p5,p6) et (p4,p12), durant les deux périodes.

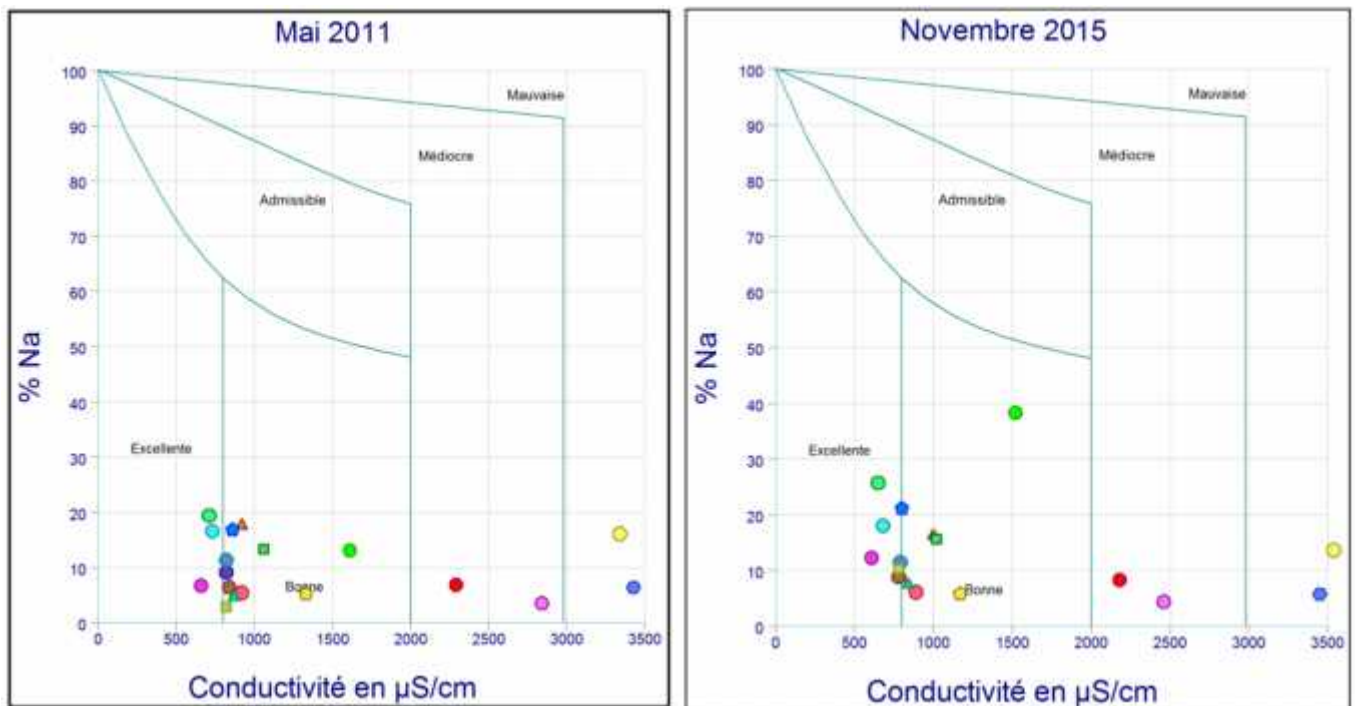


Fig. V.15 : Classification des eaux d'irrigation d'après la méthode de Wilcox.

Chapitre V : Cadre hydrochimique

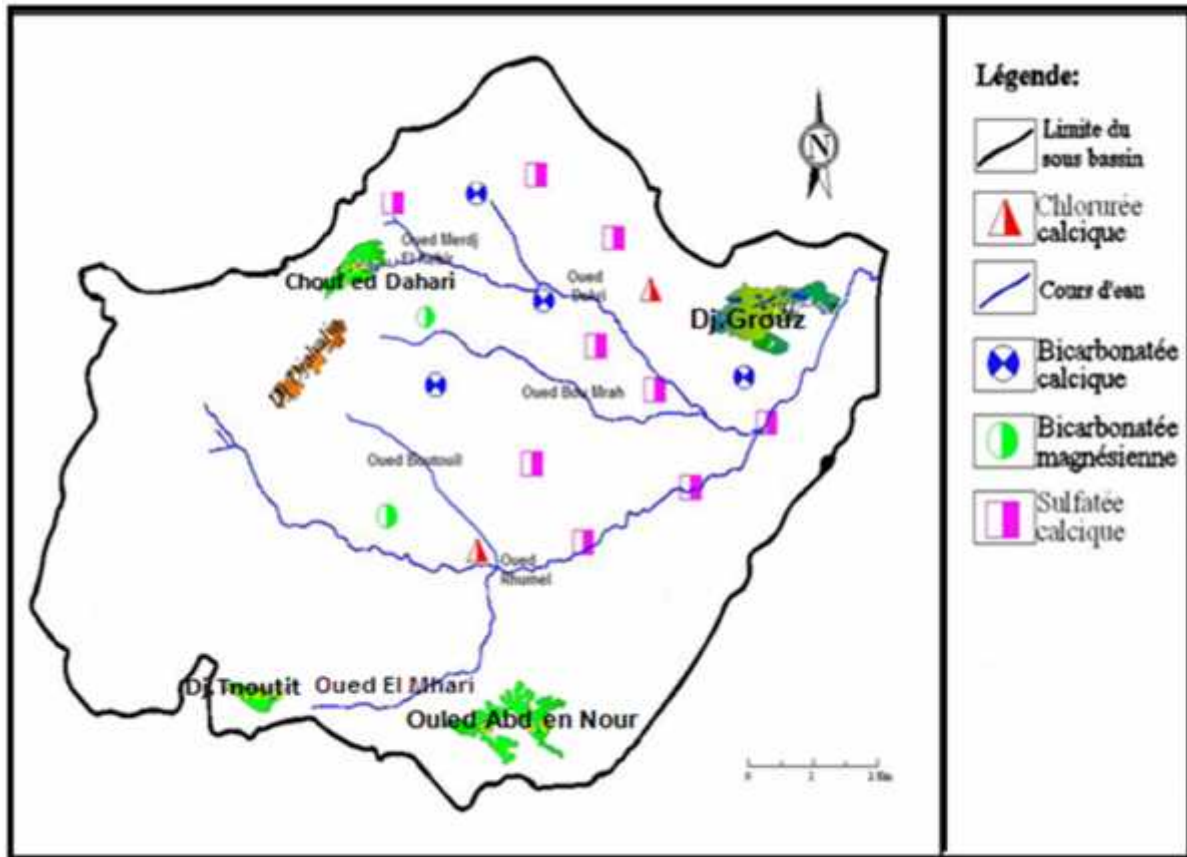


Fig. V.16 : Faciès chimique (Mai 2011).

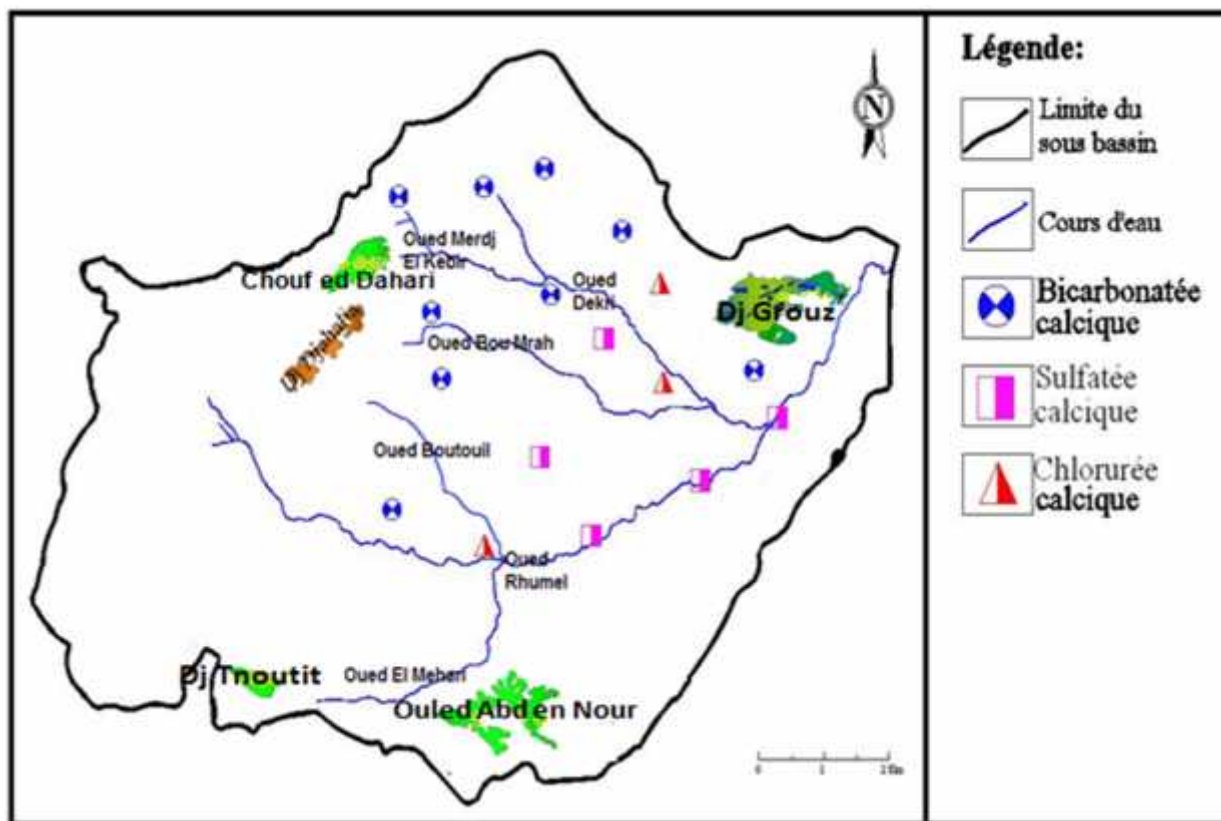


Fig. V.17 : Faciès chimique (Novembre 2015).

Chapitre V : Cadre hydrochimique

Conclusion :

L'étude hydrochimique nous a permis de déterminer les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines. Pour notre cas, la température de l'eau s'échelonne entre 16.5 et 21.5 °C, durant les deux périodes respectivement. Les valeurs mesurées du PH indiquent la basicité de la moitié des points d'eau durant la première période, alors que durant la seconde, toutes les eaux indiquent une réaction alcaline.

La classification des eaux selon Stabler montre qu'il ya des faciès chimiques variés : bicarbonaté calcique et magnésien, sulfaté et chloruré calcique, durant les deux compagnes.

La classification d'après le diagramme de Piper montre une prédominance du faciès chloruré calcique et magnésien, durant les deux périodes avec des pourcentages de l'ordre de 11% à 22 %. Enfin, le report des résultats d'analyses chimiques sur le diagramme Schoeller-Berkaloff permet de confirmer l'abondance des faciès précédemment cités. Ces trois classifications précédentes confirment que les eaux de la plaine de Chelghoum Laid sont caractérisées par une dominance des chlorures qui semble être liée à la nature géologique du réservoir riche en sels.

En ce qui concerne la potabilité, une bonne partie des eaux souterraines destinées à la consommation présentent une qualité moyenne à bonne.

Enfin, pour mieux connaître l'aptitude de l'eau à l'irrigation, nous remarquons d'après le digramme du SAR et de Wilcox, que les points d'eau de la zone d'étude présentent en général un degré de salinité faible.

Conclusion générale

D'après l'analyse géologique de la plaine de Chelghoum Laid, on a pu distinguer les formations susceptibles d'être aquifères suivantes : les formations du recouvrement d'âge Mio-Plio-Quaternaire, constituées par des calcaires, sables, grès, graviers, conglomérats et des alluvions, les formations de l'Eocène qui sont essentiellement des calcaires marneux et les formations carbonatées du Crétacé.

L'étude des différents facteurs climatiques a abouti que le climat qui règne dans la région d'étude est de type subhumide, il est caractérisé par une saison chaude et sèche et autre froide et pluvieuse, avec une température moyenne annuelle proche de **16.34 °C**. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre **602.64 mm** avec un déficit d'écoulement de **502.22 mm**, tandis que, le ruissellement et l'infiltration sont respectivement **96.57 mm** et **61.03 mm**, ce qui représente **16.02 %** et **10.13 %** des précipitations. Ces valeurs semblent suffisantes pour l'alimentation des nappes d'eau souterraines.

D'après l'analyse des cartes piézométriques, les écoulements d'eau sont de direction NO-SE au niveau de la zone nord d'Oued Rhumel, avec un gradient hydraulique de l'ordre de 5‰ et 9.38 ‰ durant la première et la deuxième campagne respectivement. Par contre, au niveau de la zone Sud d'Oued Rhumel le sens d'écoulement des eaux souterraines est SE-NO avec un gradient hydraulique de l'ordre de 1‰ et 2.89 ‰ durant Mai 2011 et Novembre 2015 respectivement. Au centre de la plaine, ces écoulements convergent vers un grand axe d'écoulement de direction SO-NE. Pour l'aquifère Eocène, l'interprétation de l'essai de pompage permet d'obtenir une valeur de transmissivité de l'ordre de $9.24 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Enfin, l'étude hydrochimique révèle que les eaux souterraines sont caractérisées par une dominance des chlorures qui semblent être liés à la nature géologique du réservoir riche en sels. Par contre, les valeurs mesurées du pH indiquent la basicité de la moitié des points d'eau durant la première période, alors que durant la seconde, toutes les eaux indiquent une réaction alcaline. En ce qui concerne la potabilité et l'aptitude à l'irrigation, une bonne partie des points d'eau analysés présentent une qualité moyenne à bonne et un degré de salinité faible.

Références bibliographiques

AMRANI .F, ZOUALI .S(2015) : Etude hydrogéologique du secteur du Haut-Rhumel (Belaà- Tadjenanet- Chelghoum Laid)-Mila. Mémoire de Master. Université frères Mentouri, Constantine

BOUAYAD .A, NACEB .A(2004) : Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine Nord de Chelghoum Laid. Mémoire d'ingénieur. Université frères Mentouri, Constantine.

Castany. G. 1982 : Principales méthodes de l'hydrogéologie.

DURAND-DELGA M., (1969) : Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Publ. Serv. Géol. Algérie, n°39, 89-131.

Durozoy .G. 1960 : Etude géologique de la région de Châteaudun du Rhumel.

MAMMERI .M, TOLBI .M(2011) : Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Chelghoum Laid Wilaya de Mila. Mémoire d'ingénieur. Université frères Mentouri, Constantine.

MIHOUBI .N(2007) : Fonctionnement et gestion hydrogéologique et hydrologique des ressources en eau du bassin de Hammam Grouz. Mémoire de Magistère. Université des frères Mentouri, Constantine.

MEBARKI. A, 2005, Hydrologie des bassins de l'Est algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement, Thèse de doctorat d'Etat, Université Mentouri de Constantine, Faculté des sciences de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire, Département de l'aménagement du territoire, 360 p.

MEBARKI. A, 1982, Le bassin du Kebir Rhumel, Ressources en eaux et aménagement en Algérie, Thèse doctorat 3ème cycle, Université de Nancy II, 303p.

Office national de météorologie : Données climatiques de la station de Chelghoum Laid.

Cartes:

Villa. J.M, 1977 : Cartes géologiques au 1/200000 de Sétif et Constantine.

A.N.R.H, 1993 : Carte des précipitations moyennes annuelles, période sur 60 ans (1922/1960-1969/1989).

Annexe

Annexe

Annexe 01 : inventaire des points d'eau durant les deux périodes.

Point d'eau	localité	X(Km)	Y(Km)	z(m)	1 ^{er} campagne (Mai 2011)		2 ^{ème} campagne (Novembre 2015)	
					Profondeur (Eau/Sol) (m)	Cote Piézo (m)	Profondeur (Eau/Sol) (m)	Cote Piézo (m)
P1	Mta El Hadj Rahmani	816,95	323,5	770				
P2	MtaBoufoula	817,4	324,65	756				
P3	MtaBourioune	817,4	321,15	809				
P4	OuleudAmeur	812,75	321,85	770	2,13	767,9	2,35	810
P5	Oued Dekri	811,2	326,9	790	4,4	785,6	3,45	808
P6	MtaDerfoul	811,1	331,6	845	12,51	832,5	12,7	798
P7	Mta Ed Douhl	809,1	334,5	815	10	805	8,8	800
P8	Ain Boudouah	804,85	337,85	990	3,1	986,9	1,44	803
P9	MtaKhalouta	804,9	331,7	880	5,6	874,4	4,9	800
P10	Mta El Bakhbakha	807,75	329,25	840	4,2	835,8	3,9	804
P11	MtaTahamacht	803,75	323,35	840	8,1	831,9	7,87	796
P12	MtaEdakhla	806,4	319,5	790	10,1	779,9	9,34	797
P13	KasmiaMouhamed	800,3	319,1	830	14,5	815,5	17,6	783
P14	MtaOuledBelkheir	775,35	321,55	874	21,4	852,6	20,3	769
P15	OuledMohra	798,5	327,65	929	10	919	9,6	789
P16	Aziz Ben teliss	798,1	331,1	950	6,2	943,8	2,1	796
P17	Merdj El Kebir	801,35	337,1	890	2,2	887,8	1,9	799
P18	MtaRirha	796,7	336,95	1030	7,85	1022	7,75	789
P19	Ain Falouss	814.95	318.50	879	6.45	872.55	6.5	808.45
P20	MtaEl Arbi	810.30	315.65	831	5.83	825.17	6.39	803.91

Annexe

Annexe 02:

Essai de pompage du forage de Bouachiba.R effectué le 30/06/2008 :

1. La Descente.

- Coordonnées : (X =804.703km, Y=318.384 km, Z=790m).
- Diamètre du forage : 0.34 m.
- Profondeur du forage : 90 m.
- Pompe immergée à 44 m.
- Débit : 12.51 l/s
- Niveau statique : 27.52 m.
- Durée du pompage est de 7 h 29 minutes.

Tableau des données des essais de pompage du forage de Bouachaiba R. effectué durant la descente.

Temps du pompage (heures et Minutes)	t (min)	t(s)	Niveau dynamique (m)	Rabatement (m)
10 h 39	3	180	31,21	3,69
10 h 41	5	300	31,61	4,09
10 h 43	7	420	31,6	4,08
10 h 44	8	480	31,59	4,07
10 h 45	9	540	31,6	4,08
10 h 46	10	600	31,6	4,08
10 h 51	15	900	31,57	4,05
10 h 56	20	1200	31,57	4,05
11 h 01	25	1500	31,57	4,05
11 h 06	30	1800	31,58	4,06
11 h 16	40	2400	31,63	4,11
11 h 26	50	3000	31,63	4,11
11 h 36	60	3600	31,64	4,12
12 h 06	90	5400	31,72	4,2
12 h 36	120	7200	31,75	4,23
13 h 06	150	9000	31,75	4,23
13 h 36	180	10800	31,75	4,23
14 h 06	210	12600	31,76	4,24
14 h 36	240	14400	31,75	4,23
15 h 06	270	16200	31,77	4,25
15 h 36	300	18000	31,78	4,26
16 h 06	330	19800	31,78	4,26
16 h 36	360	21600	31,8	4,28
17 h 06	390	23400	31,85	4,33

Annexe

Annexe 03:

2. La remontée.

- Niveau statique : 31.85 m.
- Débit : 12.51 l/s.

Tableau des données des essais de pompage du forage de Bouachaiba. R effectué durant la remontée.

Temps de remontée	t' (min)	(t + t') (min)	(t + t') / t' (min)	niveau dynamique (m)	Rabatement (m)
17 h 06	0	390	0	31,85	0
17 h 07	1	391	391	/	/
17 h 08	2	392	196	28,25	3,6
17 h 09	3	393	131	27,98	3,87
17 h 10	4	394	98,5	27,89	3,96
17 h 11	5	395	79	27,79	4,06
17 h 12	6	396	66	27,72	4,13
17 h 13	7	397	56,71	27,7	4,15
17 h 14	8	398	49,75	27,66	4,19
17 h 15	9	399	44,33	27,64	4,21
17 h 16	10	400	40	27,62	4,23
17 h 20	14	404	28,86	27,54	4,31
17 h 25	19	409	21,53	27,47	4,38
17 h 30	24	414	17,25	27,39	4,46
17 h 37	31	421	13,58	27,32	4,53
17 h 47	41	431	10,51	27,23	4,62
17 h 57	51	441	8,65	27,19	4,66
18 h 07	61	451	7,39	27,1	4,75

Annexe

Annexe 04 : Paramètres physico-chimiques des points d'eau.

Point d'eau	première campagne (Mai 2011)						
	T(C°)	CND (ms/cm)	CND (µmho/cm)	PH	TAC (méq)	R/S (mg/l)	DHT (°F)
P1	16.7	0.92	920	6.90	4.90	0.39	46
P2	16.5	1.06	1060	6.90	4.36	0.73	61
P3	16.5	1.33	1330	7.30	8	1	92
P4	16.5	3.68	3680	6.90	3.40	2.99	138
P5	16.5	2.84	2840	6.80	4.74	2.23	114
P6	16.5	2.29	2290	7.10	2.20	1.91	90.40
P7	16.5	0.73	730	6.80	3.74	0.56	38.40
P8	16.5	0.71	710	6.90	7.80	0.55	48
P9	16.5	0.82	820	7.20	3.72	0.54	38.80
P10	16.5	0.82	820	6.90	4.52	2.31	116.00
P11	16.4	0.92	920	7.20	2.48	0.76	44
P12	16.5	3.96	3960	6.70	4.12	3.37	170.40
P13	16.5	1.61	1610	6.80	4.70	1.07	52.80
P14	16.6	0.66	660	7.10	3.12	51	39.20
P15	16.5	0.84	840	7.10	2.88	1.69	42
P16	16.5	0.87	870	7.30	3.60	0.73	44
P17	16.5	0.82	820	6.80	4.70	0.58	50
P18	16.4	0.86	860	7.30	3.12	0.71	49.20

Annexe

Annexe 05 : paramètre physico-chimiques des points d'eau.

Point d'eau	deuxième campagne (Novembre2015)						
	T(C°)	CND (ms/cm)	CND (µmho/cm)	PH	TAC (méq)	R/S (mg/l)	DHT (°F)
P1	21,2	1	1000	7,4	3,7	0,72	40
P2	21,3	1,02	1020	7,7	2,5	0,99	48
P3	21,4	1,17	1170	7,3	7	1,13	72
P4	21,3	3,45	3450	7,3	1,72	2,92	100
P5	19	2,46	2460	7,1	5,4	2,87	92
P6	19	2,18	2180	7,5	2,5	2,74	78
P7	19	0,68	680	7,3	4,7	0,66	30
P8	19	0,65	650	7,3	6	0,65	29
P9	19	0,78	780	7,5	5,08	0,77	38.80
P10	19	0,79	790	7,1	5,56	3,8	106
P11	21,5	1,89	890	7,4	1,5	0,69	34.20
P12	21,5	3,45	3540	6,8	2,84	4,81	144
P13	21,4	1,52	1520	7,2	2,92	1,07	56
P14	18,8	0,61	610	7,8	4,04	0,48	27
P15	18,7	0,78	780	7,5	3,64	0,61	33.4
P16	18,7	0,84	840	7,4	6,2	1	31
P17	18,7	0,78	780	7,1	4,6	0,7	32
P18	18,7	0,8	800	7,7	3,28	0,89	37

Annexe

Annexe 06:Données des analyses chimiques de la première campagne (Mai 2011)

points d'eau	Unité	Cations				Anions					Rapports Caractéristiques		
		Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺ +K ⁺	$\sum \frac{meq}{l}$	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	No ₃ ⁻	$\sum \frac{meq}{l}$	$\frac{r^{+2+}}{r^{+2+}}$	$\frac{r^{+4-2}}{r^{-}}$	$\frac{r(N^{+} + K^{+})}{r^{-}}$
P1	mg/l	116.3	40.68	44.85	11.15	298.9	185	85.2	9	11.3	0.58	1.61	0.30
	mé/l	5.81	3.39	1.95		4.9	3.85	2.4	0.15				
	r%	52.11	30.4	17.49		43.37	34.11	21.24	1.28				
P2	mg/l	125.4	71.4	42.78	14.06	265.9	380	63.9	11.5	14.26	0.95	4.40	0.38
	mé/l	6.25	5.95	1.86		4.36	7.92	1.8	0.19				
	r%	44.45	42.32	13.23		30.57	55.51	12.62	1.3				
P3	mg/l	204.4	98.16	23.3	19.41	488	495	39.03	0.2	19.42	0.80	9.38	0.34
	mé/l	10.22	8.18	1.01		8	10.31	1.1	0				
	r%	52.65	42.14	5.2		41.2	53.12	5.66	0.02				
P4	mg/l	336.7	129.24	35.65	29.15	204.7	785	333.7	48	29.93	0.64	1.74	0.06
	mé/l	16.83	10.77	1.55		3.4	16.35	9.4	0.77				
	r%	57.74	36.95	5.32		11.36	54.64	31.41	2.59				
P5	mg/l	318.3	82.68	19.32	23.64	289.14	457	337.7	45	24.5	0.43	1	0.03
	mé/l	15.91	6.89	0.84		4.74	9.52	9.51	0.73				
	r%	15.91	6.89	0.84		19.35	38.86	38.83	2.96				
P6	mg/l	274.4	52.56	30.36	19.41	134.2	378	333.7	81	20.78	0.32	0.84	0.05
	mé/l	13.71	4.38	1.32		2.2	7.88	9.4	1.31				
	r%	70.63	22.57	6.8		10.59	37.89	45.23	6.29				
P7	mg/l	125.5	16.68	34.73	9.19	228.4	180	60.35	20.5	9.52	0.22	2.21	0.33
	mé/l	6.29	1.39	1.51		3.74	3.75	1.7	0.33				
	r%	68.44	15.13	16.43		39.31	39.37	17.85	3.47				
P8	mg/l	120.4	43.08	52.9	11.9	292.8	320	17.75	2.3	12	0.60	13.33	1.71
	mé/l	6.01	3.59	2.3		4.8	6.67	0.5	0.04				
	r%	50.50	30.17	19.33		39.99	55.54	4.17	0.31				
P9	mg/l	92.98	37.44	17.76	8.54	226.9	135	71	31.5	9.04	0.67	1.41	0.14
	mé/l	4.65	3.12	0.77		3.72	2.81	2	0.51				
	r%	54.45	36.53	9.02		41.15	31.11	22.12	5.62				
P10	mg/l	256.1	124.56	68.08	26.17	275.72	602	323.05	40.5	26.81	0.81	1.38	0.12
	mé/l	12.83	10.38	2.96		4.52	12.54	9.1	0.65				
	r%	49.03	39.66	11.31		16.86	46.77	33.94	2.44				
P11	mg/l	124.24	31.08	11.4	9.3	151.28	178	113.6	49.5	10.19	0.42	1.16	0.06
	mé/l	6.21	2.59	0.5		2.48	3.71	3.2	0.8				
	r%	66.77	27.85	5.38		24.35	36.4	31.41	7.84				

Annexe

points d'eau	Unité	Cations				Anions					Rapports Caractéristiques		
		Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺ +K ⁺	$\sum \frac{meq}{l}$	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	$\sum \frac{meq}{l}$	$\frac{r^{+2+}}{r^{+2+}}$	$\frac{r^{+4-2}}{r^{-}}$	$\frac{r(N^{+} + K^{+})}{r^{-}}$
P12	mg/l	396.38	171	128.34	39.65	251.32	1510	333.7	70	46.11	0.72	3.35	0.22
	mé/l	19.82	14.25	5.58		4.12	31.46	9.4	1.13				
	r%	49.99	35.94	14.07		8.94	68.23	20.39	2.45				
P13	mg/l	128.25	49.8	155.9	12.12	186.7	247	266.25	9.5	15.86	0.65	0.69	0.34
	mé/l	6.41	4.15	1.56		3.06	5.15	7.5	0.15				
	r%	52.89	34.24	12.78		19.3	32.45	47.29	0.97				
P14	mg/l	56.11	60.48	12.6	8.4	190.32	31	71	11	5.94	1.80	0.32	0.1
	mé/l	2.81	5.04	0.55		3.12	0.65	2	0.18				
	r%	33.45	60	6.55		52.5	10.87	33.65	2.99				
P15	mg/l	93.78	44.64	13.2	8.98	175.68	32	78.1	36	6.33	0.79	0.30	0.1
	mé/l	4.69	3.72	0.57		2.88	0.67	2.2	0.58				
	r%	52.23	41.43	6.35		45.52	10.54	34.77	9.18				
P16	mg/l	80.16	57.5	9.8	9.23	219.6	27	53.25	43.5	6.36	1.20	0.38	0.11
	mé/l	4.01	4.79	0.43		3.6	0.56	1.5	0.7				
	r%	43.45	51.89	4.66		56.57	8.84	23.57	11.02				
P17	mg/l	145.89	32.52	18.11	11.82	286.7	225	49.7	23	11.16	0.37	3.35	0.21
	mé/l	7.29	2.71	0.29		4.7	4.69	1.4	0.37				
	r%	70.85	26.34	2.82		42.12	42.01	12.55	3.32				
P18	mg/l	148.29	29.16	45.54	11.82	190.32	295	92.5	37.5	12.48	0.33	2.36	0.28
	mé/l	7.41	2.43	1.98		2.61	0.6	6.15	7.41				
	r%	62.69	20.56	16.75		20.88	4.85	49.26	70.09				

Annexe

Annexe 07: Données des analyses chimiques de la deuxième campagne (Novembre 2015).

points d'eau	Unité	Cations				Anions					Rapports Caractéristiques		
		Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺ +K ⁺	$\sum \frac{mé}{l}$	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	$\sum \frac{mé}{l}$	$\frac{r^{+2+}}{r^{+2+}}$	$\frac{r^{+4-2}}{r^{-}}$	$\frac{r(N^{+} + K^{+})}{r^{-}}$
P1	mg/l	88,17	40,2	34,28	9,25	225,7	160	71	0,3	9,04	0.76	1.67	0.28
	mé/l	4,41	3,35	1,49		3,7	3,33	2	0				
	r%	47,67	36,21	16,1		32,75	29,5	17,7	0,04				
P2	mg/l	102,6	53,64	40,56	11,4	152,5	204	53,3	9	9,15	0.87	3.33	0.44
	mé/l	5,13	4,47	1,76		2,5	5	1,5	0,15				
	r%	45,15	39,34	15,49		17,53	35,06	10,5	1,02				
P3	mg/l	148,29	83,88	20,24	15,3	427	475	28,8	0,3	17,71	0.94	12.22	0.40
	mé/l	7,41	6,99	0,88		7	9,9	0,81	0				
	r%	48,49	45,74	5,75		36,05	50,97	4,17	0,02				
P4	mg/l	264,48	102,12	30,35	23,1	104,9	730	291	35	25,68	0.64	1.86	0.06
	mé/l	13,22	8,51	1,32		1,72	15,21	8,19	0,56				
	r%	57,35	36,91	5,72		5,75	50,82	27,4	1,89				
P5	mg/l	254,4	78,16	20,34	20,1	229,4	425	327	42	22,51	0.51	0.96	0.04
	mé/l	12,72	6,51	0,88		3,76	8,85	9,22	0,68				
	r%	63,25	32,37	4,37		15,35	36,14	37,6	2,77				
P6	mg/l	190,78	52,84	28,67	15,2	112,5	256	323	39	16,91	0.46	0.59	0.05
	mé/l	9,54	4,4	1,25		1,84	5,33	9,1	0,63				
	r%	62,8	28,96	8,22		8,87	25,66	43,8	3,03				
P7	mg/l	80,16	23,9	30,24	7,31	216,7	57	49,7	16	6,4	0.50	0.85	0.35
	mé/l	4,01	1,99	1,31		3,55	1,19	1,4	0,26				
	r%	54,85	27,22	17,92		37,3	12,47	14,7	2,71				
P8	mg/l	76,15	24	45,85	7,8	266	48	12,3	1,4	5,73	0.53	2.90	2.14
	mé/l	3,81	2	1,99		4,36	1	0,35	0,02				
	r%	48,84	25,64	25,51		36,33	8,33	2,87	0,19				
P9	mg/l	76,15	37,52	15,46	7,61	209,9	84	71	19	7,5	0.82	0.88	0.12
	mé/l	3,81	3,13	0,67		3,44	1,75	2	0,31				
	r%	50,06	41,13	8,8		38,06	19,36	22,1	3,39				
P10	mg/l	235,6	106,16	60,68	23,6	239,2	560	298	35,5	24,56	0.75	1.39	0.12
	mé/l	11,78	8,85	2,64		3,92	11,67	8,4	0,57				
	r%	50,62	38,03	11,34		14,62	43,51	31,3	2,14				
P11	mg/l	92,18	26,88	10,2	7,29	91,5	169	110	24	8,51	0.49	1.14	0.05
	mé/l	4,61	2,24	0,44		1,5	3,52	3,1	0,39				
	r%	63,23	30,72	6,03		14,73	34,56	30,4	3,8				
P12	mg/l	374,72	146,84	12,35	35,9	163,4	1100	290	60,5	34,74	0.65	2.81	0.22
	mé/l	18,74	12,24	4,88		2,68	22,92	8,17	0,98				
	r%	52,25	34,13	13,6		5,81	49,7	17,7	2,12				

Annexe

points d'eau	Unité	Cations				Anions					Rapports Caractéristiques		
		Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺ +K ⁺	$\sum \frac{mé}{l}$	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	$\sum \frac{mé}{l}$	$\frac{r^{+2+}}{r^{+2+}}$	$\frac{r^{+4-2}}{r^{-}}$	$\frac{r(N^{+} + K^{+})}{r^{-}}$
P13	mg/l	108,21	43,48	128,2	14,6	178,1	140	249	6,4	12,94	0.67	0.42	0.30
	mé/l	5,41	3,62	5,58		2,92	2,92	7	0,1				
	r%	37,02	24,77	38,19		18,41	18,39	44,1	0,65				
P14	mg/l	52,14	21,6	13,72	5,01	146,4	18	65,2	27	5,05	0.69	0.20	0.12
	mé/l	2,61	1,8	0,6		2,4	0,38	1,84	0,44				
	r%	52,09	35,92	11,97		40,39	6,31	30,9	7,33				
P15	mg/l	76,95	34,8	14,54	7,32	122	32	71	27	5,1	0.74	0.33	0.12
	mé/l	3,85	2,84	0,63		2	0,67	2	0,44				
	r%	52,59	38,79	8,6		31,62	10,54	31,6	6,88				
P16	mg/l	76,95	28,32	11,35	6,7	188,2	19	43,9	26	5,14	0.61	0.32	0.15
	mé/l	3,85	2,36	0,49		3,09	0,4	1,24	0,42				
	r%	57,46	35,22	7,31		48,48	6,22	19,4	6,59				
P17	mg/l	84,16	26,4	16,58	7,13	280,6	60	43,3	3,4	7,12	0.52	1.03	0.22
	mé/l	4,21	2,2	0,72		4,6	1,25	1,22	0,05				
	r%	59,04	30,85	10,09		41,22	11,2	10,9	0,49				
P18	mg/l	94,58	28,02	43,25	8,95	180,1	65	86,5	34	7,29	0.49	0.56	0.29
	mé/l	4,73	2,34	1,88		2,95	1,35	2,44	0,55				
	r%	52,84	26,14	21		23,66	10,85	19,5	4,4				

Annexe

Annexe 08:Caractères de l'eau selon le pH d'équilibre et le pH mesuré.

Première Compagne (Mai 2011)					Deuxième Compagne (Novembre 2015)				
Point d'eau	CO₂ (mg/l)	PH Terrain	PH d'équilibre	Nature d'eau	Point d'eau	CO₂ (mg/l)	PH (Terrain)	PH (d'équilibre)	Nature d'eau
P1	45,08	6,90	7,38	Agressive	P1	21,50	7,40	7,31	Incrustante
P2	40,00	6,90	7,40	Agressive	P2	6,50	7,70	7,40	Incrustante
P3	30,00	7,30	6,93	Incrustante	P3	55,00	7,30	6,80	Incrustante
P4	32,00	6,90	7,08	Agressive	P4	13,00	7,30	7,18	Incrustante
P5	55,00	6,80	6,94	Agressive	P5	43,50	7,10	6,88	Incrustante
P6	12,74	7,10	7,35	Agressive	P6	9,00	7,50	7,26	Incrustante
P7	44,00	6,80	7,46	Agressive	P7	27,00	7,30	7,80	Agressive
P8	44,00	6,90	7,38	Agressive	P8	34,00	7,30	7,30	Agressive
P9	16,80	7,20	7,59	Agressive	P9	16,00	7,50	7,40	Incrustante
P10	42,00	6,90	7,08	Agressive	P10	47,00	7,10	6,87	Incrustante
P11	10,50	7,20	7,63	Agressive	P11	9,20	7,40	7,67	Agressive
P12	60,72	6,70	7,93	Agressive	P12	65,00	80	6,83	Agressive
P13	36,00	6,80	7,52	Agressive	P13	28,00	7,20	7,34	Agressive
P14	17,88	7,10	7,87	Agressive	P14	5,80	7,80	7,71	Incrustante
P15	16.51	7.1	7.7	Agressive	P15	7.63	7.5	7.63	Agressive
P16	13.12	7.3	7.66	Agressive	P16	7.45	7.4	7.45	Agressive
P17	55	6.80	7.3	Agressive	P17	7.23	7.10	7.23	Agressive
P18	11.50	7.3	7.46	Agressive	P18	7.36	7.70	7.39	Incrustante