

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE de TLEMCEM
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

Laboratoire de recherche n°66 : Chimie analytique et d'électrolyse

MEMOIRE

Présenté par

CHETOUANE Sarra et TALEB Hadjer

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Hydrogéologie

Thème

**Evaluation de la qualité des eaux souterraines de la plaine de
Remchi (NW Algérien) : Approche statistique**

Soutenu le 25 / 09 / 2019, devant les jurys composé de :

Président	Mme. BOUDJEMAA S.	MCB	Université de Tlemcen
Encadreur	Mme. MAHI YEBDRI L.	MAA	Université de Tlemcen
Examineur	Mme. KERZABI S.	MCB	Université de Tlemcen
Invité	M. HAREK Y.	Pr	Université de Tlemcen

Année universitaire 2018/2019

Résumé

Dans un objectif, d'évaluer la qualité des eaux souterraines de la plaine de Remchi, et de comprendre les phénomènes liés à l'origine de la minéralisation de ces eaux, plusieurs traitements (analytiques, descriptives et statistiques), ont été réalisés sur des données chimiques des forages et puits, datées entre 2002 et 2019.

L'acquisition du chimisme des eaux souterraines de l'aquifère gréseux Serravalien à nappe captive, et de l'aquifère alluviale Plio-Quaternaire, est principalement, influencée par le phénomène de dissolution des formations évaporitiques et dépôts marneux et argileux dominants dans la dépression de Remchi.

Les méthodes d'analyse multivariées (ACP et CHA), ont permis l'identification de trois grands groupes pour : Celui de la forte minéralisation (avec E.C maximale de 6613,300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ soit 4,6mg/L de TDS), Celui de la moyenne minéralisation et le troisième caractérisé par une minéralisation faible.

D'après les caractéristiques physico-chimiques et chimiques des 16 points d'eau de la campagne d'Avril 2019 de la plaine de Remchi. Plus de 68% des échantillons présentent un goût prononcé due aux fortes teneurs en Cl^- (Max= 1225mg/L), en Na^+ (Min= 92 mg/L et Max= 782 mg/L) et en NO_3^- (moy= 92,535 mg/L). Ces valeurs dépassent largement les valeurs guides recommandées par les normes algériennes de potabilité (JORA 2011) et celles de l'organisation mondiale de la santé (OMS 2017).

Mots clés : Plaine de Remchi, Minéralisation, Normes, Qualité, Traitement.

Abstract:

In order to assess the quality of groundwater in the Remchi plain and to understand the phenomena linked to the origin of the mineralization of these waters, several treatments (analytical, descriptive and statistical) were carried out on chemical data from boreholes and wells, dated between 2002 and 2019.

The acquisition of groundwater chemistry from the Serravalian captive aquifer sandstone aquifer, and the Plio-Quaternary alluvial aquifer, is mainly influenced by the phenomenon of dissolution of the dominant evaporite formations and marl and clay deposits in the Remchi plain.

Multivariate analysis methods (ACP and CHA) identified three main groups for: The high mineralization (with a maximum E.C. of 6613,300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ or 4.6mg/L of TDS), the medium mineralization and the third characterized by low mineralization.

According to the physico-chemical and chemical characteristics of the 16 water points in the April 2019 campaign of the Remchi plain, more than 68% of the samples show a pronounced taste due to the high contents of Cl^- (Max= 1225mg/L), of Na^+

(Min= 92 mg/L and Max= 782 mg/L) and NO_3^- (average= 92.535 mg/L). These values far exceed the guide values recommended by the Algerian drinking standards (JORA 2011) and those of the World Health Organization (WHO 2017).

Keywords: Remchi Plain, Mineralization, Standards, Quality, Treatment.

ملخص :

يهدف تقييم جودة المياه الجوفية في سهل الرمشي وفهم الظواهر المتعلقة بأصل تمعدن هذه المياه ، تم إجراء العديد من العلاجات (التحليلية ، الوصفية والإحصائية) على البيانات الكيميائية من الآبار ، مؤرخة بين عامي 2002 و 2019. إن الطبيعة الكيميائية للمياه الجوفية للخزان الرملي السيراغالي وخزان المياه الجوفية الغرينية للعصر الجيولوجي الرابع، تتأثر أساسا من ظاهرة تشكيلات المتبخرات والرسوبيات الطينية المتواجدة. في منطقة الرمشي. طرق التحليل متعدد المتغيرات (ACP وCHA)، يسمح بتحديد ثلاث مجموعات رئيسية هي: ملوحة عالية (مع أقصى قدر للناقلية الكهربائية 6613.300 ميكروسيامانس/سم أو 4.6 ملغ /لتر TDS) ، ملوحة متوسطة وقليلة الملوحة . وفقا لخصائص الفيزيوكيميائية والكيميائية للآبار 16 خلال حملة أبريل 2019 في منطقة الرمشي. أكثر من 68% من العينات لها طعم قوي بسبب مستويات عالية من الكلور (الحد الأقصى=1225ملغ/لتر)، الصوديوم(الحد الأدنى = 92 ملغ/لتر والحد الأقصى = 782 ملغ / لتر) و النترات (المتوسط = 92,535 ملغ /لتر). هذه القيم تتجاوز الى حد كبير قيم معايير مياه الشرب الجزائرية (2011 JORA) وتلك الخاصة بمنظمة الصحة العالمية (OMS 2017).

الكلمات المفتاحية: سهل الرمشي، تمعدن ، معايير ، جودة ، معالجة.

Remerciements

Nous remercions tout d'abord **Allah** qui nous a aidés à réaliser ce travail, et pour sa grâce tout au long de notre vie professionnelle et personnelle.

Nous tenons à remercier et à exprimer nos sincères reconnaissances à Madame **MAHI YEBDRI L.**, Maître assistante, de nous avoir encadré et guidé, par ses conseils et ses remarques judicieuses, tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous la remercions également pour le temps que vous nous avez accordé dans une atmosphère de confiance et d'autonomie de nos recherches.

Nous tenons à remercier Madame **BOUDJEMAA S.**, Maître de conférences, qui a acceptée de présider le jury de soutenance.

Nous remercions aussi Madame **KERZABI S.**, Maître de conférences, d'avoir accepté d'examiné ce travail.

On adresse aussi nos sincères remerciements au directeur du laboratoire de recherche n°66 (Chimie analytique et d'électrolyse), Professeur **HAREK Y.**, qui nous a permis de réaliser toutes les analyses indispensables pour notre étude.

Nous remercier également tous les enseignants du département des Sciences de la terre et de l'Univers, avec une mention particulière à M. **KARZABI R.**, et Madame **KAZI S.**, pour leurs précieuses aides.

Enfin, à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je remercie tout d'abord Dieu qui ma donné la force et le courage pour réaliser ce modeste travail que je dédie :

A mes très chers parents pour leurs sacrifices et leurs encouragements durant toutes mes études.

A ma chère sœur Zineb.

A ma tante et ma seconde sœur Hamida et son fils Abdel Fettah.

A mon oncle Boumediene et sa petite famille.

A ma grand-mère et A tout la famille CHETOUANE et ZERIOUH.

A mes amis Ibtissem, Meriem, Hadjer, Khadija Lamia, Zahia, Nabila, Bouchra.....

A mon encadreur Madame MAHI YEBDRI Lamia.

A tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

Sarra

Dédicaces

Avec l'aide de dieu le tout puissant, j'ai réalisé ce travail de recherche que je dédie avec toute modestie à :

Mes chers parents : Abdelhakim, Soriya, ma belle mère Fatima . Qui ont toujours veillé à me fournir une bonne éducation et à élargir mon savoir.

A mon cher fiancé : Mounir

A mes frères : Salah, Younes

A mes sœurs : Meriem, Douaa, Zineb, Soundous , Nesrine

A mes amies : Asmae, Yousra , Sarra

Aux familles : Taleb, Zeddoune

A tous les camarades de ma promotion.

A mon encadreur Madame MAHI YEBDRI Lamia

A tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

Hadjer

Listes des Figures et Tableaux

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 01	Situation géographique de la région d'étude	03
Figure 02.a	Carte des tranches d'altitudes	04
Figure 02.b	Carte des pentes	04
Figure 03	Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Zenâta	05
Figure 04	Variation des précipitations saisonnières	06
Figure 05	Variation des précipitations moyennes annuelles de la station de Zenâta	06
Figure 06	Variation des températures mensuelles (Moyennes, minimales et maximales) de la période (1982/18)	08
Figure 07	Variation de températures moyennes annuelles de la station de Zenâta	09
Figure 08	Diagramme de Bagnouls et Gaussien	10
Figure 09	Abaque de De Martonne	11
Figure 10	Diagramme d'Emberger	13
Figure 11	Abaque de VERDEIL	17
Figure 12	L'Abaque de Wundt	18
Figure 13	Extrait de la carte géologique de l'oranaise (d'après GUARDIA, 1975 échelle, 1/500000 <i>in</i> Faradji 2017)	20
Figure 14	Coupe géologique du bassin moyen de la Tafna (Boucif. 2006 <i>in</i> Aidouni et Cherrat 2008)	21
Figure 15	Log Litho Stratigraphique du secteur d'étude (d'après Benest et al. 1999 <i>in</i> Kerzabi 2007)	23
Figure 16.a	Carte de situation des différents forages et corrélation	24
Figure 16.b	Coupe des corrélations entre les forages	25
Figure 17	La carte de situation des points d'eau utilisés pour les analyses chimiques de la plaine Remchi	27
Figure 18	Faciès hydrogéochimiques sur Diagramme de PIPER : (a) série ancienne (2002-2009), (b) série récente (Avril 2019)	37
Figure 19	Représentation des faciès chimiques selon le diagramme de STIFF : (a) Série ancienne (2002-2009), (b) Série récente (Avril 2019)	38
Figure 20	Représentation des faciès chimiques selon le diagramme de STABLER : (a) Série ancienne (2002-2009), (b) Série récente (Avril 2019)	39
Figure 21	Variations des valeurs de l'indice de saturation des minéraux évaporitiques et carbonatés de la série ancienne (2002 -2009)	42

Listes des Figures et Tableaux

Figure 22	Variations des valeurs de l'indice de saturation des minéraux évaporitiques et carbonatés de la série récente (campagne d'Avril 2019)	42
Figure 23	Corrélation entre les cations et les anions : (a) série ancienne (2002-2009), (b) série récente (Avril 2019)	43
Figure 24	Représentation des valeurs propres des axes et leurs contributions : (a) Série ancienne, (b) Série récente	45
Figure 25	Projection des variables (a) et des individus (b) des eaux souterraines de l'aquifère captive (Grès Sérravalien) de la plaine de Remchi sur le plan factoriel F1-F2	47
Figure 26	Classification Hiérarchique Ascendante : Dendrogrammes des forages d'eau identifiés de l'aquifère captive (Grès Sérravalien) de la plaine de Remchi	47
Figure 27	Projection des variables (a) et des individus (b) des eaux souterraines de l'aquifère alluviale (Plio-quadernaire) de la plaine de Remchi sur le plan factoriel F1-F2	48
Figure 28	Classification Hiérarchique Ascendante : Dendrogrammes des forages d'eau identifiés des points d'eau (aquifère alluviale) de la plaine de Remchi	48
Figure 29	Variation de l'indice Kelly's Ratio	54
Figure 30	Variation du Pourcentage en Sodium	55
Figure 31	Classification des eaux par le Diagramme de Wilcox	56
Figure 32	Classification du Sodium Absorption Ratio (SAR)	57
Figure 33	Diagramme de Richards	59

Listes des Figures et Tableaux

LISTE DES TABLEAUX

	Page	
Tableau 01	Caractéristique de la station de Zenâta	05
Tableau 02	Coefficients pluviométriques durant la période (1982/83-2017/18) (Station du Zenâta)	07
Tableau 03	Les valeurs des précipitations et des températures moyennes mensuelles	09
Tableau 04	Indice d'aridité de De Martonne	10
Tableau 05	Valeur des indices d'aridité mensuels	12
Tableau 06	Valeurs de l'Indice mensuel de Moral et type de climat.	14
Tableau 07	Valeur d'ETP mensuelle à la station de Zenâta	15
Tableau 08	Bilan hydrique de la station de Zenâta (1982/18)	15
Tableau 09	Déficit d'écoulement selon Wundt	17
Tableau 10	Principales directives de la qualité des eaux d'irrigation FAO (Ayers et westcot 1985)	33
Tableau 11	Classification des eaux d'irrigation selon les %Na	34
Tableau 12	Classification des eaux selon le diagramme de Richards	35
Tableau 13	Faciès chimiques selon le diagramme de Stiff et Stabler	36
Tableau 14	L'indice de saturation selon le logiciel Phreeq	40
Tableau 15	Résultats de l'analyse statistique descriptive des deux séries de données de la plaine de Remchi	41
Tableau 16	Matrice des corrélations des variables chimiques de l'ancienne série (2002-2009)	44
Tableau 17	Matrice des corrélations des variables chimiques de la série récente	44
Tableau 18(a)	Corrélation entre les variables et les axes de la série ancienne (2002-2009)	45
Tableau 18(b)	Corrélation entre les variables et les axes de la série récente (Avril 2019)	45
Tableau 19	Normes de potabilité utilisées	49
Tableau 20	Minéralisation des eaux selon leurs valeurs de conductivité	50
Tableau 21	Principales Directives de la qualité des eaux irrigation FAO (Ayers et Westcot 1985)	52
Tableau 22	les résultats de L'indice Kelly's Ratio (KR)	53
Tableau 23	Classification des eaux d'irrigation selon le %Na	54
Tableau 24	Classification des eaux d'irrigation selon le SAR	56

Tableau 25 Classification des eaux selon le diagramme de Richards

Table des Matières

Résumé	
Remerciements	
Dédicaces	
Liste des figures et tableaux	
Table des matières	
INTRODUCTION GENERALE	01

PARTIE I : GENERALITES

CHAPITRE I	CONTEXTES GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE	
I. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE		03
1. Situation géographique		03
2. Aperçu géomorphologique		03
II. CONTEXTE CLIMATIQUE		05
1. Précipitation		05
1.1. Variabilité mensuelle		05
1.2. Variabilité saisonnière		06
1.3. Variabilité interannuelle		06
1.4. Coefficient d'irrégularité du régime des précipitations		07
1.5. Coefficient pluviométrique		07
2. Température		08
2.1. Températures mensuelles		08
2.2. Température annuelles		08
3. Synthèse climatique		09
3.1. Méthode graphique de Bagnouls et Gaussen		09
3.2. Indice d'aridité annuel de De Martonne		10
3.3. Indice d'aridité mensuel de De Martonne		11
3.4. Indice d'Emberger		12
3.5. Indice de moral		13
3.5.1. Indice annuel de Moral		13

Table des Matières

3.5.2. Indice mensuel de Moral	13
4. Bilan hydrique	14
4.1.Evapotranspiration potentielle	14
4.2.Bilan annuel	15
• Méthode de Thornthwaite	15
4.3.Déficit d'écoulement	16
• Méthode de Turc	16
• Méthode de Verdeil	16
• Méthode de Wundt	17
Conclusion	18
CHAPITRE II	CONTEXTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE
I. CONTEXTE GEOLOGIQUE	19
1. Plan stratigraphique	19
1.1. Miocène	19
1.1.1. Miocène synchro-nappes	19
1.1.2. Miocène du premier cycle post-nappes	19
1.1.3. Miocène deuxième cycle post-nappes	19
1.2.Quaternaire	20
2. Au plan structural	20
II. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	22
1. Formation de l'aquifères	22
1.1.Grès de Miocène	22
1.1.1. Grès Serravaliens	22
1.1.2. Grès Tortoniens	22
1.2.Les alluvions du Plio-Quaternaire	22
2. Coupes lithostratigraphique des forages et essai de corrélation	23

Table des Matières

Conclusion	24
PARTIE II : QUALITE DES EAUX	
CHAPITRE III	MATERIELS ET METHODES
I. DONNEES ET ANALYSES	26
II. METHODES	27
1. Faciès hydrogéochimiques	28
1.1.Le diagramme de piper	28
1.2.Le diagramme de Stiff	28
1.3.Le diagramme de Stabler	28
2. Interaction eau-roche : minéralisation des eaux souterraines	28
2.1.Indice de saturation	29
3. Approche statistique	29
3.1.Représentation graphique	29
3.2.Classification hiérarchique Ascendante	30
3.3.Analyses en composante principale (ACP)	30
3.3.1. Principe de l'A.C.P	31
3.3.2. Utilisation de l'A.C.P	31
3.3.3. Etapes de l'étude A.C.P	31
a. Analyse statistique multi variable	31
b. Matrice de corrélation	31
c. Analyse factorielle	32
d. Cercle de corrélations	32
4. Qualité des eaux souterraines	32
4.1. Qualité des eaux souterraines pour la consommation humaine (Potabilité)	32
4.2.Qualité des eaux à des fins d'irrigation	32
4.2.1. Quelques indices d'irrigation	33

Table des Matières

a. L'indice Kelly's Ratio (KR)	33
b. Pourcentage de Sodium (Na ⁺ %)	33
c. La méthode de Wilcox	34
d. Sodium Absorption Ratio (S.A.R.)	34
E. Classification des eaux par la méthode de Richards	34
CHAPITRE IV: RESULTATS ET DISCUSSIONS	
I. FACIES HYDROGEOCHIMIQUE	36
II. INTERACTION EAU-ROCHE : MINERALISATION DES EAUX SOUTERRAINES	40
1. Indice de saturation	40
III. APPROCHE STATISTIQUE	41
1. Statistique descriptive	41
2. Corrélations entre variables chimiques	43
2.1.Corrélation entre les cations et les anions	43
2.2.Matrice des corrélations (Pearson (n))	43
2.3.Analyse des graphiques	45
2.3.1. Calcul des axes de l'ACP	45
2.3.2. Spatialisation des variables et des individus	46
IV. QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA REGION DE REMCHI	49
1. Qualité des eaux souterraines pour la consommation humaine	49
1.1.Paramètres physico-chimiques	49
1.1.1. Température	49
1.1.2. pH	50
1.1.3. Conductivité électrique	50
1.1.4. TDS et Minéralisation	50
1.2.Paramètres chimiques	50
1.2.1. Calcium (Ca ²⁺)	50

Table des Matières

1.2.2. Magnésium (Mg^{2+})	51
1.2.3. Sodium (Na^+)	51
1.2.4. Potassium (K^+)	51
1.2.5. Chlorure (Cl^-)	51
1.2.6. Sulfates (SO_4^{2-})	51
1.2.7. Bicarbonates (HCO_3^-)	51
1.2.8. Nitrates (NO_3^-)	51
2. Qualité des eaux à des fins d'irrigation	52
2.1. Recommandations de la qualité des eaux d'irrigation (FAO)	52
2.2. Quelques indices d'irrigation	53
2.2.1. Kelly's Ratio (KR)	53
2.2.2. Pourcentage de Sodium (% Na^+) et classification des eaux par la méthode Wilcox	54
a. Pourcentage de Sodium (% Na^+)	54
b. Classification des eaux selon Wilcox	55
2.2.3. Sodium Absorption Ratio (SAR) ou Pouvoir Alcalinisant	56
DISCUSSION	59
CONCLUSION GENERALE	61
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES	63
ANNEXES	

INTRODUCTION GENERALE

L'eau constitue un élément essentiel dans la vie et l'activité humaine. C'est une composante majeure des mondes minéral et organique. Dans le monde présent, l'eau participe à toutes les activités quotidiennes notamment, domestiques, industrielles et agricoles ce qui la rend un élément récepteur exposé à tous les genres de pollution. Le phénomène de la pollution contribue de façon considérable à la limitation des ressources en eau potable (Achour 2001).

La dégradation de l'état de l'eau de consommation à différents impacts directs ou indirects sur la santé des populations humaines en contact avec cette eau.

De par sa situation géographique, l'Algérie est soumise à un climat semi-aride à aride sur plus de 90% de son territoire. Par voie de conséquence, le développement intense en matière d'infrastructure hydraulique, durant plus de trois décennies, a permis de comprendre que le développement durable du pays devait passer incontestablement par une prise en charge de la gestion de l'eau sous ses multiples facettes. Cette prise de conscience a été rendue nécessaire pour s'adapter à toutes les mutations nées des bouleversements climatiques, notamment une sécheresse récurrente et persistante que vit l'ouest algérien et à une crise économique de l'activité dominante (agropastoralisme), contribuant lourdement au phénomène de désertification des espaces fertiles. (Yamani 2005)

La plaine de Remchi, située en aval du bassin versant de la Tafna, elle correspond à une dépression tectonique dont le remplissage est constitué, de formations Plio-quadernaire, et Miocène (grès et marnes) qui reposent sur une assise Jurassique.

Plusieurs études ont déjà été réalisées sur cette région, dont des mémoires d'ingénieur, des mémoires de magistères et aussi des thèses de Doctorat. Ces dernières nous ont permis l'acquisition d'un certain nombre de données concernant les caractéristiques géologiques, hydrogéologiques.

Dans cette présente étude, nous allons suivre ces travaux, et essayer de répondre à deux principales questions :

- Quelle est l'origine de la minéralisation des eaux souterraines de plaine de Remchi?
- Et quelle est l'état actuel de la qualité de ces eaux, du point de vue consommation humaine et aussi, utilisation agricole ?

Pour répondre à ces questions, des données hydrochimiques des forages implantés entre 2002 et 2009, ont été étudiées, parallèlement avec des données chimiques d'une nouvelle campagne effectuée en Avril 2019.

Le présent mémoire, comporte deux parties :

➤ La première partie comportant les généralités sur la région de Remchi, dans laquelle seront décrits;

- Dans un premier chapitre : les contextes géographique, et climatique de la région de d'étude ;

- Dans le second : les descriptions géologiques et hydrogéologiques seront présentées.
- La deuxième partie, composée de l'étude hydrogéochimique et qualité des eaux souterraines du secteur d'étude, elle est constituée du :
 - Troisième chapitre : montre un aperçu théorique et la méthodologie du travail.
 - Le dernier chapitre : est destiné à la présentation des résultats et les interprétations des données préalablement acquises.
- Et enfin une conclusion, comme synthèse générale des résultats obtenus de ce projet de fin d'étude.

Partie I :

GENERALITES

Chapitre I :

***CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET
CLIMATIQUE***

I. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

1. Situation géographique :

La commune de Remchi se situe à 25 km au nord de la wilaya de Tlemcen et se trouve au pied de deux zones montagneuses Traras orientaux et Sebâa Chioukh, elle s'étend sur une superficie de 3600 ha. Elle est constituée des plaines et des plateaux intérieurs entaillés par les cours d'eau de la Tafna et de l'Oued Isser. Elle est limitée:

- Au nord par la wilaya d'Ain Témouchent (El Emir Abdelkader).
- Au nord-est et à l'est par la commune de Sebâa Chioukh.
- Au sud-est par la commune d'Ain Youcef.
- Au sud par la commune de Hennaya et Zenâta.
- A l'ouest et sud-ouest par la commune de Béni Ouarsous.
- Au nord-ouest par la wilaya d'Ain Témouchent (Sidi Ouriache) (Fig.1).

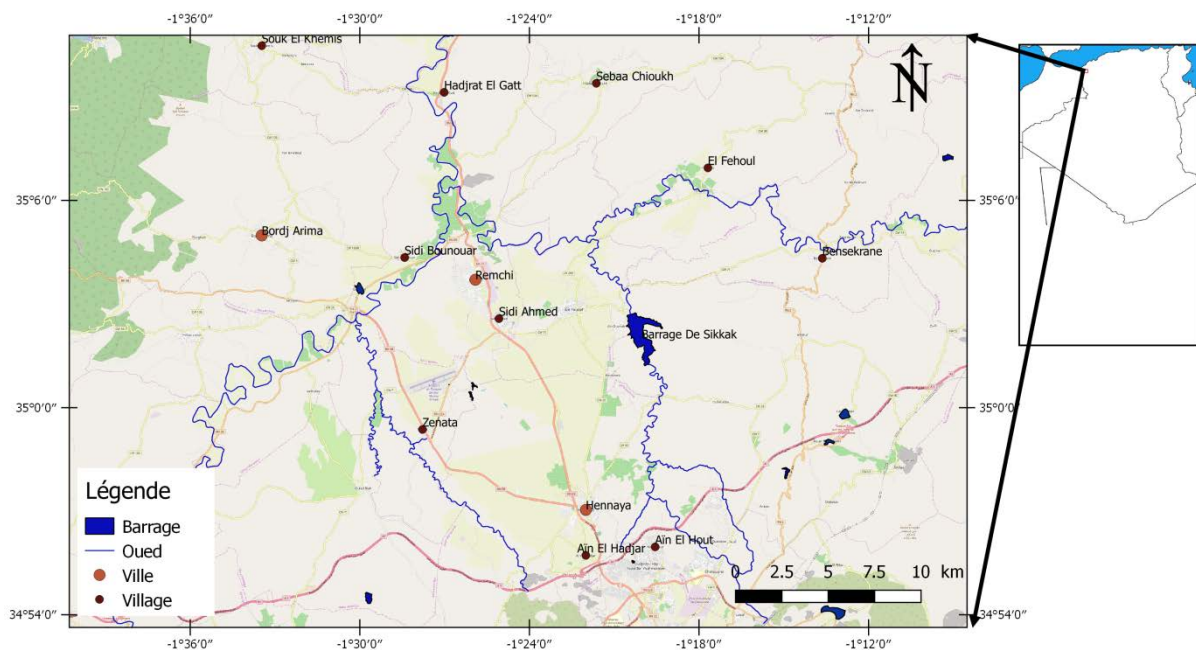


Figure 01 : Situation géographique de la région d'étude.

2. Aperçu géomorphologique

Elle est caractérisée au sud par un plateau relativement homogène, au nord et à l'est par la vallée de Tafna, Isser et Sikkak séparant les monts de Traras et Sebâa Chioukh. A l'est et au nord par les piémonts broussailleux, légèrement accidentés (Bennazza et al. 2009 *in* Mébarèk, 2014).

Les points les plus élevés sont à environ 350m d'altitude et le point les plus bas sont à 100 m (Fig.2.a), la pente de relief de la plaine est variable, mais ne dépasse pas les 20 ° (Fig. 2.b).

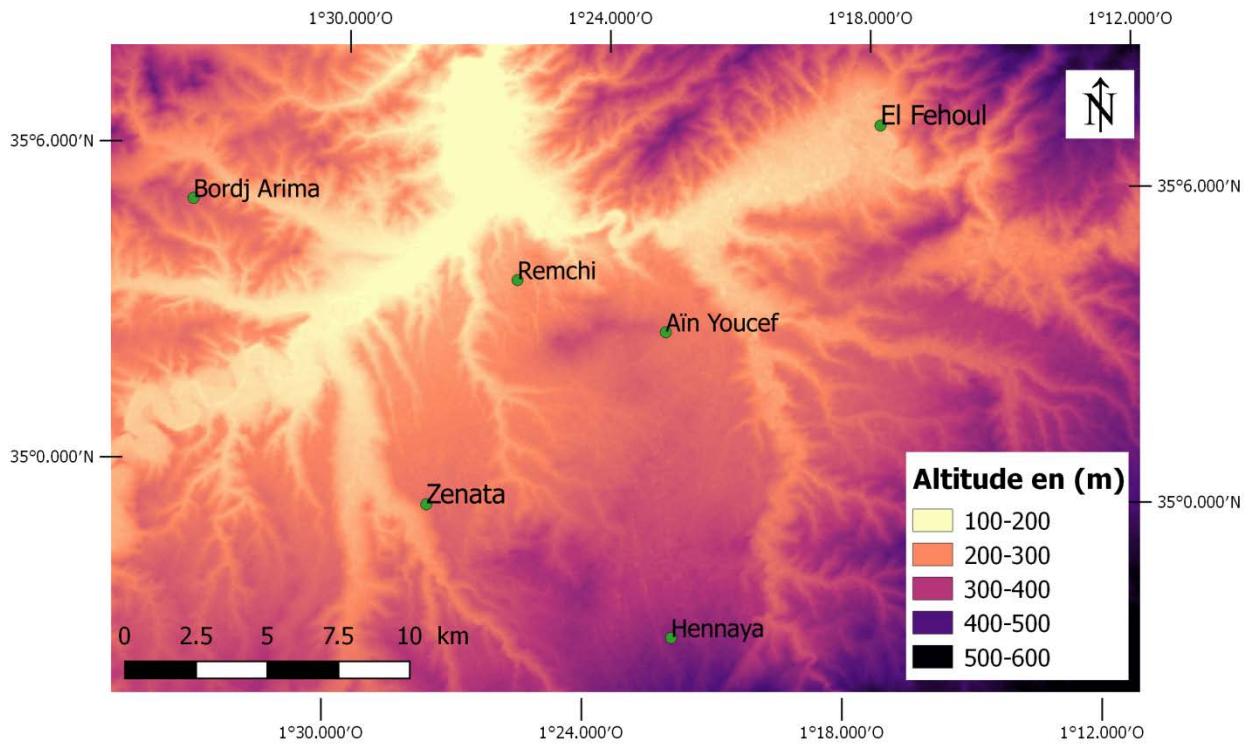


Figure 02.a : Carte des tranches d'altitudes

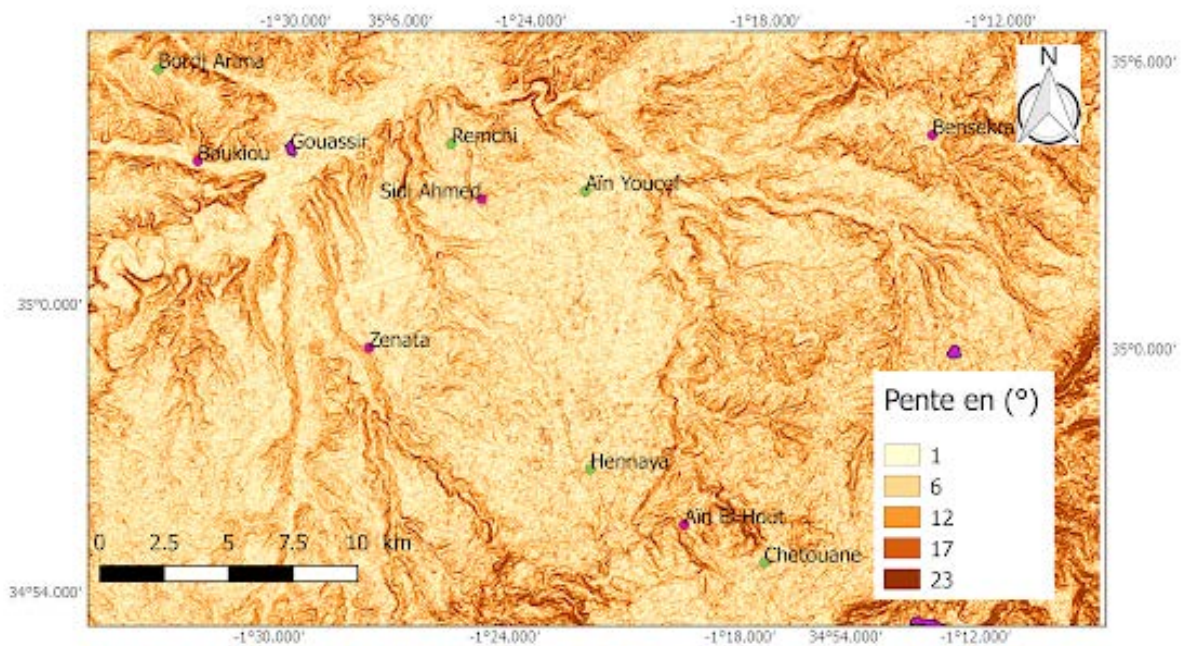


Figure 02.b : Carte des pentes

II. CONTEXTE CLIMATIQUE

L'interprétation des comportements hydrologique et hydrogéologique d'une zone géographique, dépend de la connaissance de l'évolution pluviométrique et thermique à l'échelle spatiale et temporelle.

L'étude du climat de la zone d'étude, a été réalisée par l'utilisation des données climatiques (Précipitations et Températures) enregistrées au niveau de la station météorologique de Zenâta (Tab.01), étendues sur une chronique de 36 ans (1982 à 2018), ces données sont extraites du site : www.infoclimat.fr (Annexe I).

Tableau 01 : Caractéristique de la station de Zenâta.

Station	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Période d'observation
Zenâta	247	35°0'50''N	01°27'25''W	1982/18

1. Précipitations

Les précipitations constituent l'un des plus importants paramètres climatiques du bilan hydrologique, c'est le facteur primordial qui permet de déterminer le type de climat.

Une étude de variabilité des données de précipitations (mensuelles, saisonnières, et annuelles) à l'aide de représentation graphique a été réalisée, afin d'établir une évaluation pluviométrique de la chronique d'étude.

1.1. Variabilité Mensuelle

Les valeurs des précipitations moyennes mensuelles enregistrées à la station de Zenâta durant la période (1982/83 à 2017/18) sont représentées en (Annexe I).

Les variations des précipitations moyennes mensuelles de la chronique de 36 ans, sont présentées sur la (Fig.03).

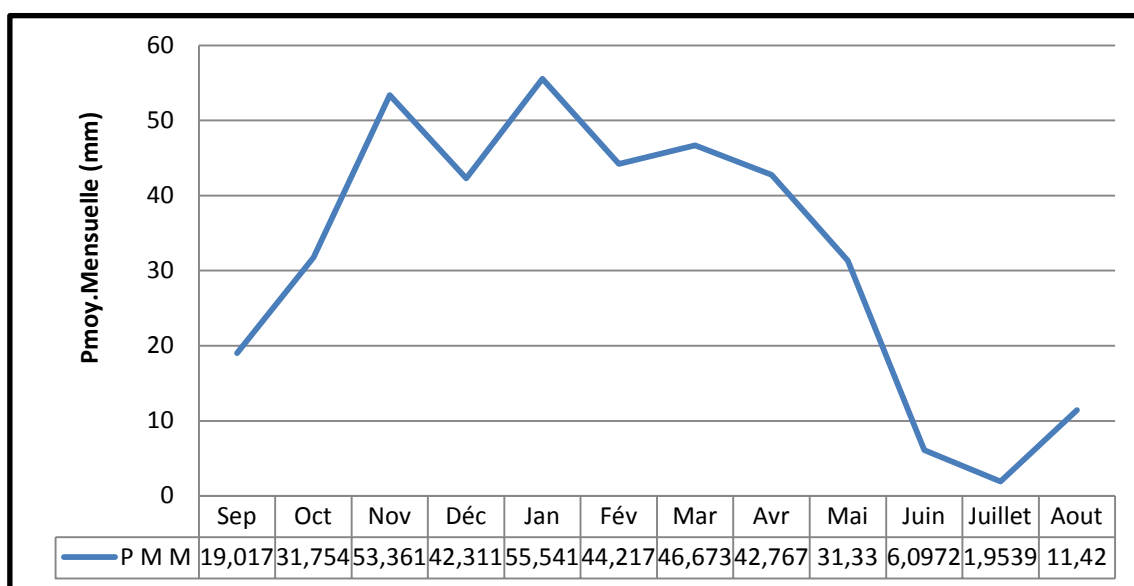


Figure 03 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Zenâta.

La pluviométrie moyenne mensuelle maximale est enregistrée au mois de Janvier (Mois plus pluvieux avec une valeur de 55,54 mm de précipitations moyennes mensuelles), alors que La valeur minimale est de 1,95 mm, relevée au mois de Juillet (Mois le plus sec).

1.2. Variabilité Saisonnière

L'histogramme des précipitations moyennes saisonnières de la période d'étude (Fig. 04), montre que l'hiver est la saison la plus humide (P moy. = 142,06 mm), suivi par le printemps et l'automne (avec des valeurs moyennes successives de 120,77 et 104,13 mm), alors que l'été est la saison la plus sèche (avec une valeur égale de 19,49mm).

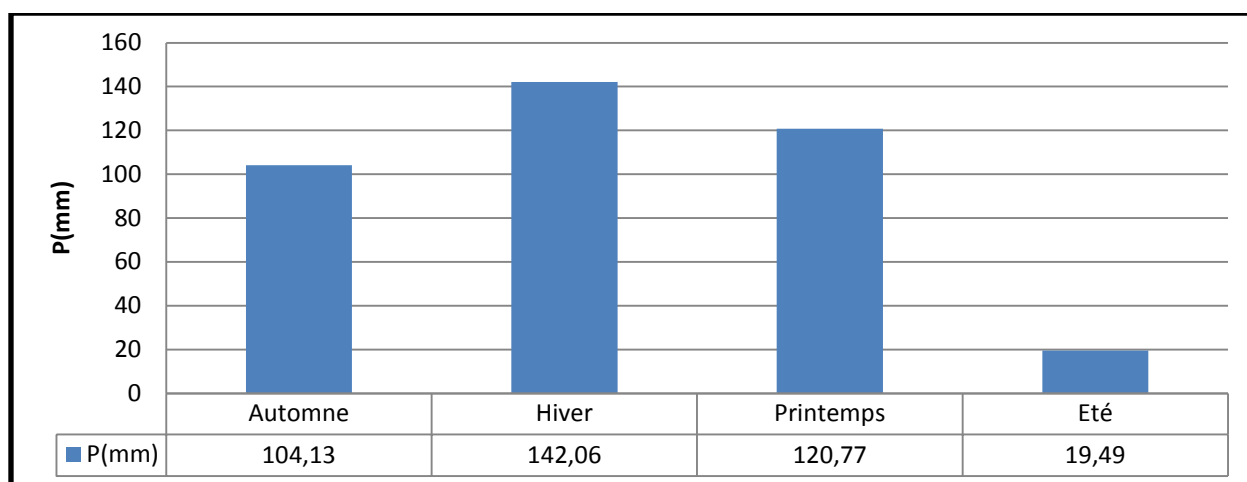


Figure 04 : Variation des précipitations saisonnières.

1.3. Variabilité interannuelle

Les variations des précipitations moyennes annuelles de la période d'étude (1982/83-2017/18) sont représentées sur la (Fig.05).

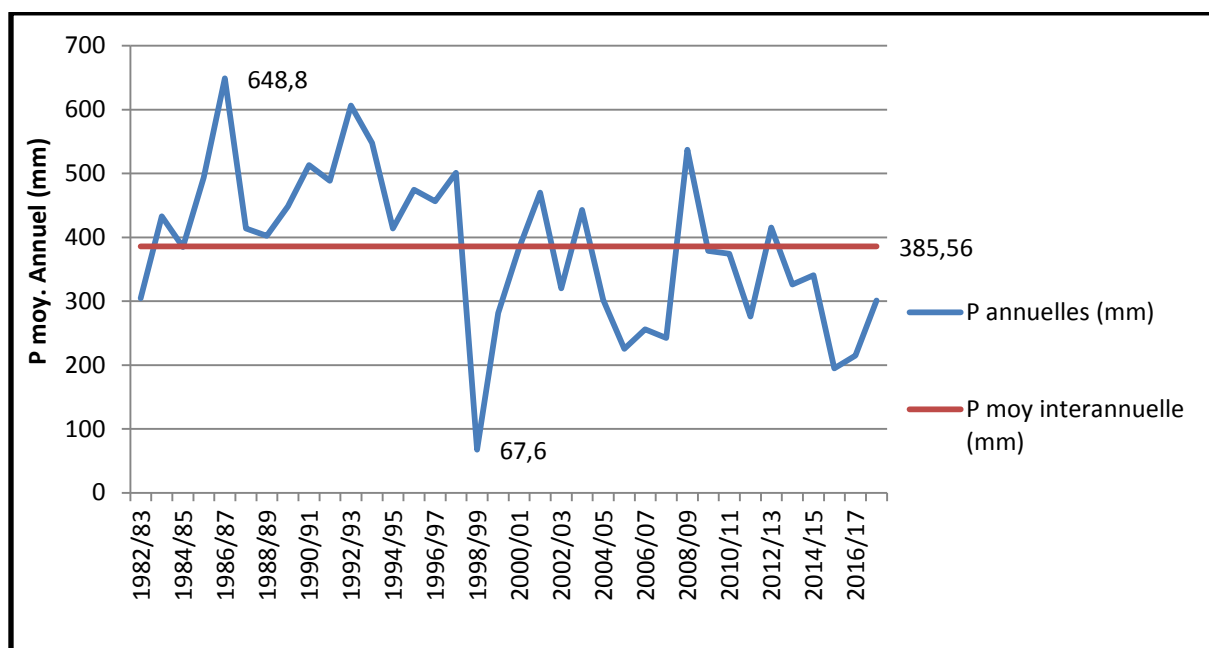


Figure 05 : Variation des précipitations annuelles de la station de Zenâta.

L'analyse de la courbe des variations annuelles des précipitations effectuée sur cette période d'étude montre que :

- ✓ La moyenne interannuelle est égale à 385,56 mm ; avec une importante fluctuation des données de précipitations annuelles observée sur la courbe (Fig.05) ;
- ✓ L'année 1986/87 est la plus pluvieuse, avec des précipitations de 648,8 mm ;
- ✓ L'année 1998/99 est la plus sèche, avec une valeur de 67,6 mm

1.4. Coefficient d'irrégularité du régime des précipitations

Le coefficient d'irrégularité du régime des précipitations annuelles sont donnés par le rapport du module de l'année la plus humide PM à celui de l'année sèche Pm.

$$PM/Pm = 648,8/67,6 = 9,59$$

1.5. Coefficient pluviométrique

Pour mieux caractériser la pluviométrie annuelle et déterminer les années excédentaires ou déficitaires, on tient compte du coefficient pluviométrique (CP).

Il est obtenu par le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne d'une série, à une station donnée (Moulay et Yahiaoui 2016).

$$CP = P_i / P̄$$

CP: Coefficient pluviométrique

P_i : Pluviométrie d'une année (mm)

P̄ : Pluviométrie moyenne (mm) = 385,56 mm

Si : CP > 1 : l'année est excédentaire

CP < 1 : l'année est déficitaire

Tableau 02: Coefficients pluviométriques durant la période (1982/83-2017/18) (Station du Zenâta)

Année	CP	Année	CP	Année	CP	Année	CP
1982/83	0,78	1991/92	1,26	2000/01	0,99	2009/10	0,98
1983/84	1,12	1992/93	1,57	2001/02	1,21	2010/11	0,97
1984/85	0,99	1993/94	1,42	2002/03	0,82	2011/12	0,71
1985/86	1,27	1994/95	1,07	2003/04	1,14	2012/13	1,07
1986/87	1,68	1995/96	1,23	2004/05	0,78	2013/14	0,84
1987/88	1,07	1996/97	1,18	2005/06	0,58	2014/15	0,88
1988/89	1,04	1997/98	1,29	2006/07	0,66	2015/16	0,50
1989/90	1,16	1998/99	0,17	2007/08	0,62	2016/17	0,55
1990/91	1,33	1999/20	0,73	2008/09	1,39	2017/18	0,78

❖ **les années excédentaires sont:**

1983/84, 1985/86, 1986/87, 1987/88, 1988/89, 1989/90, 1990/91, 1991/92, 1992/93, 1993/94, 1994/95, 1995/96, 1996/97, 1997/98, 2001/02, 2003/04 et 2008/09 (17 années sur 36 sont excédentaires).

❖ **Les années déficitaires sont:** le reste des années (19 sur 36) sont déficitaires

2. Températures

La température est un élément essentiel du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur le degré d'évapotranspiration. Toutefois elle joue un rôle très important dans la variation du composant du bilan hydrologique.

Les données des températures mensuelles et annuelles sont classées en Annexe I.

2.1. Températures Mensuelles

La représentation graphique de la variation des températures moyennes mensuelles (Fig. 06), montre que le mois de Janvier est le plus froid (11,11°C) par contre celui d'Août est le plus chaud (26,8°C).

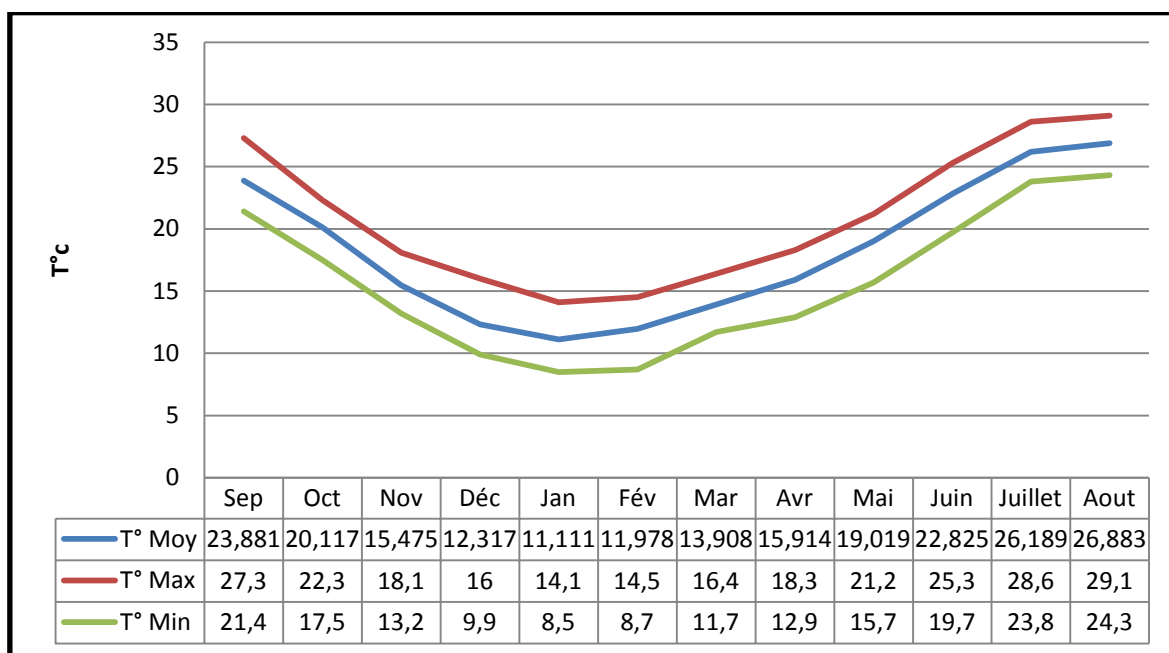


Figure 06 : Variation des températures mensuelles (Moyennes, minimales et maximales) de la période (1982/18) à la station de Zenâta.

2.2. Températures Annuelles

La variation de température moyenne annuelle de la période d'étude (Fig. 07), affiche une valeur minimale enregistrée en 1982/83 (16,9 °C) et une maximale enregistrée en 2016/17 (19,29 °C), ainsi qu'une moyenne interannuelle de 18,3°C.

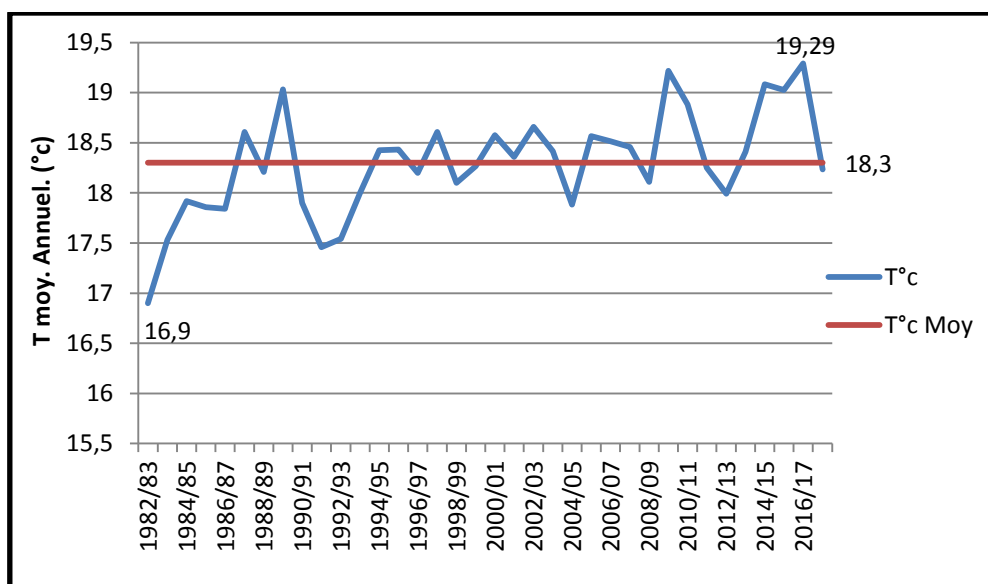


Figure 07 : Variation de températures moyennes annuelles de la station de Zenâta.

3. Synthèse climatique

L'étude du climat est basée sur deux types de méthode :

- Méthode graphique : permet de déterminer les périodes sèche et humide.
- Méthode de calcul des indices : permet de déterminer le type du climat de la région à partir des valeurs des précipitations et des températures.

3.1. Méthode graphique de Bagnouls et Gausson

Le diagramme pluviothermiques de Bagnouls et Gausson est t établis selon la relation

$$P = 2T$$

Sur le diagramme, sont reportés :

- En abscisses : les mois de l'année
- En ordonnées, à droite : les températures moyennes mensuelles, en °C ;
- En ordonnées, à gauche : Les précipitations moyennes mensuelles, en mm, à une échelle double de celle les températures.

- Pour la période sèche, la courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations.
- Pour la période humide, la courbe des précipitations passe au-dessus de celle des températures

Les valeurs des précipitations et des températures moyennes mensuelles sont reportées dans le tableau suivant (Tab. 03).

Tableau 03 : Les valeurs des précipitations et des températures moyennes mensuelles

P	19,02	31,75	53,36	42,31	55,54	44,22	46,67	42,77	31,33	6,10	1,95	11,42
2T	47,76	40,23	30,95	24,63	22,22	23,96	27,82	31,83	38,04	45,65	52,38	53,77

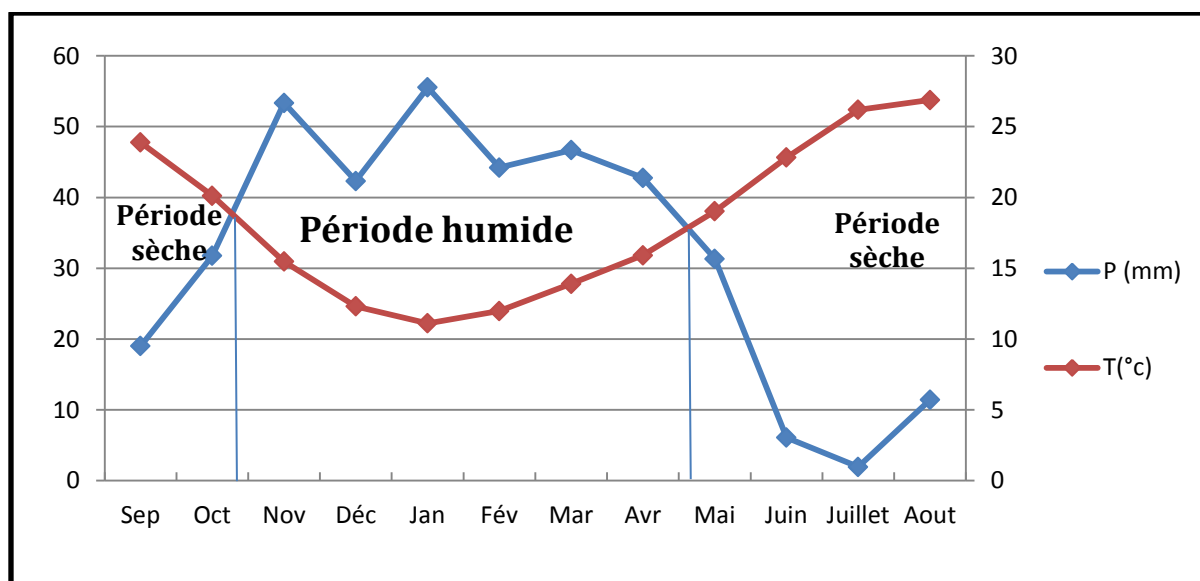


Figure 08 : Diagramme de Bagnouls et Gaussen.

Ce diagramme de Bagnouls et Gaussen (Fig.08), établit à partir des données pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles calculées sur une période de 36 ans, expose, une période humide qui s'étale de la fin du mois d'Octobre jusqu'au début du mois de Mai, les autres mois représentent la période sèche de l'année hydrologique.

3.2. Indice d'aridité annuel de De Martonne

L'indice d'aridité de De Martonne, noté I, permet de déterminer le degré d'aridité d'une région.

L'indice d'aridité annuel
$$I = \frac{P}{T+10}$$

P : précipitations moyennes annuelles (mm)

T : température moyenne annuelle (°C)

L'indice d'aridité de De Martonne calculé à partir des précipitations et températures moyennes annuelles enregistrées au niveau de la station de Zenâta (Tab.04), reporté sur l'abaque de De Martonne (Fig.09), indique un climat semi-aride, à écoulement temporaire.

Tableau 04 : Indice d'aridité de De Martonne.

P (mm)	T (°C)	I
385,56	18,3	13,62

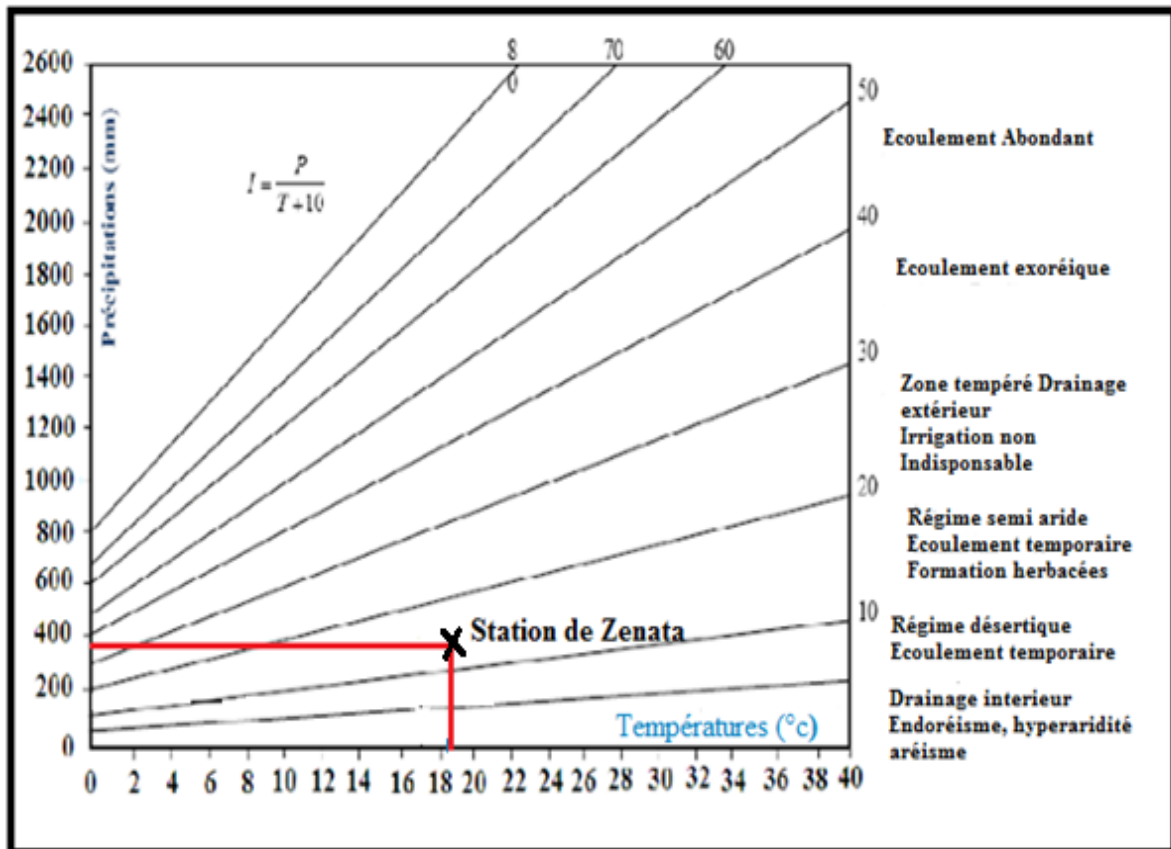


Figure 09 : Abaque de De Martonne.

3.3. Indice d'aridité mensuel de De Martonne

Cet indice est défini par la formule suivant :

$$i = \frac{12p}{t + 10}$$

p : précipitations moyennes mensuelles.

T : températures moyennes mensuelles.

Avec

- $i < 5$: climat hyperaride (HA)
- $5 < i < 7,5$: climat désertique (D)
- $7,5 < i < 10$: climat steppique (S)
- $10 < i < 20$: climat semi-aride (SA)
- $20 < i < 30$: climat tempéré. (T)

Les résultats du calcul de l'indice d'aridité mensuelle "i" de De Martonne, sont représentés sur le (tab. 05).

Tableau 05 : Valeur des indices d'aridité mensuels.

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout
P (mm)	19,01	31,75	53,36	42,31	55,54	44,21	46,67	42,76	31,33	6,09	1,95	11,41
T (°c)	23,88	20,11	15,47	12,31	11,11	11,97	13,90	15,91	19,01	22,82	26,18	26,88
i	6,73	12,65	25,14	22,75	31,57	24,14	23,43	19,76	12,95	2,22	0,64	3,71
Type	D	SA	T	T	T	T	T	SA	SA	HA	HA	HA

D'après les résultats du tableau ci-dessus (Tab.05), on constate la présence de 4 régimes :

- Tempéré ($20 < i < 30$) → Mois de Novembre/Décembre/Janvier/Février et Mars.
- Semi-aride ($10 < i < 20$) → Mois d'Octobre/ Avril et Mai.
- Hyper Aride ($i < 5$) → Mois de Juin/Juillet/Aout.
- Désertique ($5 < i < 7,5$) → Pour le mois de Septembre.

3.4. Indice d'Emberger

Emberger propose la relation suivante pour le calcul de son indice d'aridité :

$$Q_2 = \frac{1000P}{(M + m)(M - m)/2}$$

Où :

P : moyenne des précipitations annuelles (mm)

M : moyenne des Maxima du mois le plus chauds (°K), avec ($M = 26,88 + 273 = 299,88^\circ\text{K}$). m : moyenne des Minima du mois le plus froid (°K), avec ($m = 11,11^\circ\text{C} + 273 = 284,11^\circ\text{K}$).

La valeur Q_2 égale à 83,76, reportée sur le diagramme d'Emberger (Fig.10), montre que le climat régnant dans le secteur d'étude est de type Semi-aride.

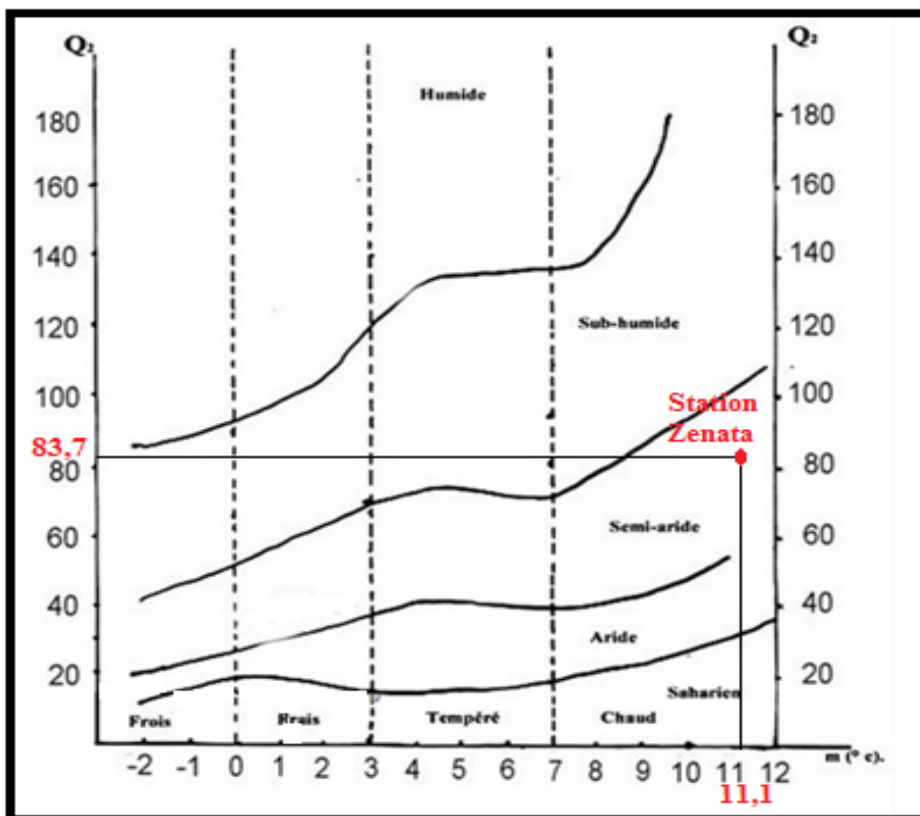


Figure 10 : Diagramme d'Emberger.

3.5. Indice de Moral

3.5.1. Indice annuel de Moral

$$IM = \frac{P}{T^2 - 10T + 200}$$

Où :

P : précipitations moyennes annuelles (mm)

T : température moyenne annuelle (°C)

Cet indice permet de dire :

- Si, $IM < 1$ => climat sec, et si $IM > 1$ => climat humide.

$IM = 1,09$, donc supérieure à 1, donc la zone d'étude est caractérisée par un climat humide.

3.5.2. Indice mensuel de Moral

$$Im = \frac{P}{0.1t^2 - t + 20}$$

Où :

P : précipitations moyennes mensuelles (mm)

T : température moyenne mensuelle (°C)

Avec les conditions

- Mois pluvieux (P) : $P > 0,1t_2 - t + 30$
- Mois humide (H) : $0,1t_2 - t + 30 > P > 0,1t_2 - t + 20$
- Mois Sec (S) : $0,1t_2 - t + 20 > P > 0,05t_2 - t + 10$
- Mois aride (A) : $0,05t_2 - t + 10 > P$

Tableau 06 : Valeurs de l'Indice mensuel de Moral et type de climat.

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout
P (mm)	19,01	31,75	53,36	42,31	55,54	44,21	46,67	42,76	31,33	6,09	1,95	11,41
T (°c)	23,88	20,11	15,47	12,31	11,11	11,97	13,90	15,91	19,01	22,82	26,18	26,88
Im	0,35	0,78	1,87	1,85	2,61	1,97	1,83	1,45	0,84	0,12	0,03	0,17
0,1t₂- t+30	63,14	50,33	38,46	32,84	31,23	32,35	35,42	39,40	47,12	59,26	72,35	75,37
0,1t₂- t+20	53,14	40,33	28,46	22,84	21,23	22,35	25,42	29,40	37,12	49,26	62,35	65,37
0,05t₂- t+10	14,63	10,11	6,49	5,26	5,06	5,19	5,76	6,74	9,05	13,21	18,08	19,24
type	S	S	P	P	P	P	P	P	S	A	A	A

Après l'utilisation de la formule précédente et ses conditions spécifiques, Les valeurs des indices mensuels de Moral affichées sur le tableau 06, montrent que les mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril sont des mois pluvieux, et les mois Juin, Juillet et Août sont arides, et les mois Septembre, Octobre et Mai sont des mois sec.

4. Bilan hydrique

Le bilan hydrique est réalisé, en traitant et comparant les précipitations et l'évapotranspiration du même lieu et durant la même période. Les réserves d'eau souterraine des périodes ultérieures sont aussi prises en compte dans ce bilan.

Un bilan hydrique a été établi afin d'actualiser l'étude climatique de notre région d'étude pour la période 1982/83 – 2017/18.

4.1. Evapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration correspond à un phénomène complexe regroupant à la fois l'évaporation physique de l'eau contenue dans le sol et dans l'atmosphère et les processus de transpiration des végétaux. (Musy 2005).

$$ETP = 1.6\left(\frac{10T}{I}\right)^a$$

$$a = \frac{1.6}{100}I + 0.5$$

$$I = \sum i$$

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$$

- I: Somme des 12 indices thermiques mensuels.

- T : Température moyenne mensuelle.

- $\Delta U = P - ETP$

• $P > ETP$: l'évaporation réelle sera égale à l'ETP, il y aura écoulement et constitution de réserves, la période sera dite excédentaire.

• $P < ETP$: l'évaporation réelle sera égale à P ; il y aura prélèvement sur les réserves, absence d'écoulement ; la période sera dite déficitaire

Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP) relatives aux 12 mois de l'année sont consignées au tableau suivant, sachant que latitude de station de Zenâta est 35N.

Tableau 07 : Valeur d'ETP mensuelle à la station de Zenâta.

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Année
T (°C)	23,88	20,11	15,47	12,31	11,11	11,97	13,90	15,91	19,01	22,82	26,18	26,88	18.3
i	10,66	8,22	5,52	3,91	3,34	3,74	4,70	5,76	7,55	9,95	12,26	12,76	88,37
ETP Non corrigée	10,72	7,71	4,67	3,01	2,47	2,85	3,80	4,93	6,93	9,83	12,78	13,45	83,15
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	/
ETP corrigée	11,04	7,47	4,01	2,55	2,14	2,42	3,91	5,37	8,38	11,89	15,71	15,60	90,49

ETP:(cm), K : Coefficient d'ajustement mensuel, i : indice thermique mensuel.

4.2. Bilan annuel

- Méthode de Thornthwaite :

La méthode de Thornthwaite permet d'établir un bilan hydrologique en tenant compte des éléments déjà cités. Ce bilan est donné dans le tableau pour la série (1982/18).

Tableau 08: Bilan hydrique à la station de Zenâta (1982/18).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Année
P (mm)	19,01	31,75	53,36	42,31	55,54	44,21	46,67	42,76	31,33	6,09	1,95	11,41	385.56
T (°c)	23,88	20,11	15,47	12,31	11,11	11,97	13,90	15,91	19,01	22,82	26,18	26,88	18.3
ETP (mm)	110,4	74,7	40,1	25,5	21,4	24,2	39,1	53,7	83,8	118,9	157,1	156	904,9
ΔU	-91,39	-42,95	13,26	16,81	30,3	20,01	7,57	-10,94	-52,47	-112,8	-155,15	-144,5	
RU (90mm)	0	0	13,26	30,07	60,37	80,38	87,95	0	0	0	0	0	

ETR (mm)	19,01	31,75	40,1	25,5	21,4	24,2	39,1	42,76	31,33	6,09	1,95	11,41	382,55
D.A (mm)	91,39	42,95	0	0	0	0	0	10,94	52,47	112,8	155,15	144,5	681,12
Exc (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(**R.U** = 90 mm la nature du sol), **P** : précipitations (mm), **ETP** : évapotranspiration potentielle (mm), ΔU : Variation de la réserve, **RU** Réserve utile (mm), **ETR** : évapotranspiration réelle (mm), **D.A**: déficit agricole (mm), **Exc.** : excédent (mm), **E** : écoulement (mm).

L'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle a été évaluée à environ 904,5 mm (Tab.08). Cette valeur calculée représente environ deux fois la valeur de la moyenne des précipitations annuelles (385,56 mm). Le déficit agricole est estimé à plus de 681 mm.

4.3. Déficit d'écoulement

- **Méthode de TURC :**

Cette méthode fait intervenir la température moyenne mensuelle (T). Dans ce cas, l'ETR est exprimée en (mm) selon les formules suivantes :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

- ETR : Evapotranspiration réelle annuelle (mm)
- P : Précipitation moyenne annuelle (mm) : 385,56
- T : Température moyenne annuelle (°C) : 18,3
- L: $300 + 25T + 0,05T^3 = 1063,92$

$$ETR = \frac{385,56}{\sqrt{0,9 + \frac{385,56^2}{1063,92^2}}} \quad ETR = 379,65 \text{ mm}$$

- **Méthode de VERDEIL :**

L'abaque de Verdeil (Fig.11), a été établi en Algérie pour déterminer le déficit d'écoulement (D en mm); la valeur est obtenue directement d'après l'abaque en fonction de la précipitation moyenne annuelle.

Pour la période d'étude (1982/18), le déficit d'écoulement est de

D = 380 mm soit 98,5% des précipitations

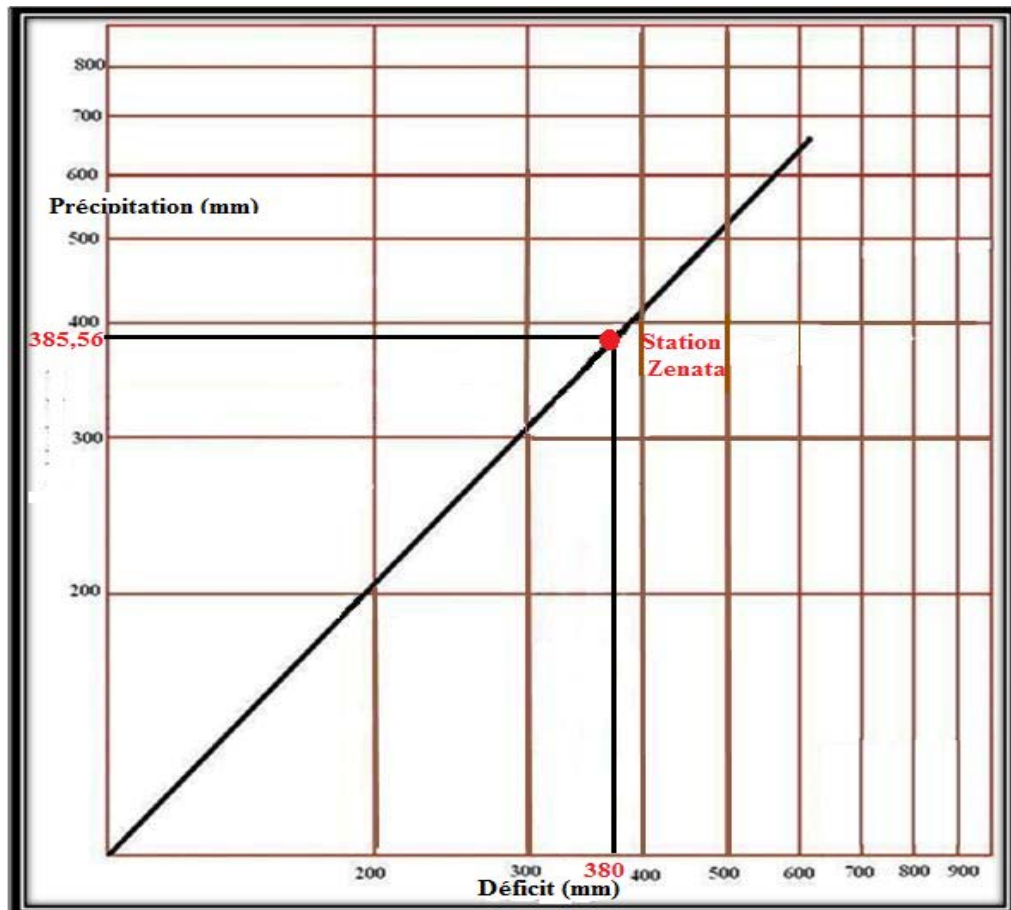


Figure 11 : Abaque de VERDEIL

- **Méthode de Wundt :**

Cet auteur définit le déficit d'écoulement en fonction de 02 paramètres, la précipitation moyenne annuelle et la température moyenne annuelle, d'après l'abaque de Wundt (Fig.12),

La valeur du déficit est de 380mm.

Tableau 09 : Déficit d'écoulement selon Wundt

Station	P (mm)	T (°c)	D (mm)	P-D (mm)
Zenâta	385,56	18,3	380	5,56

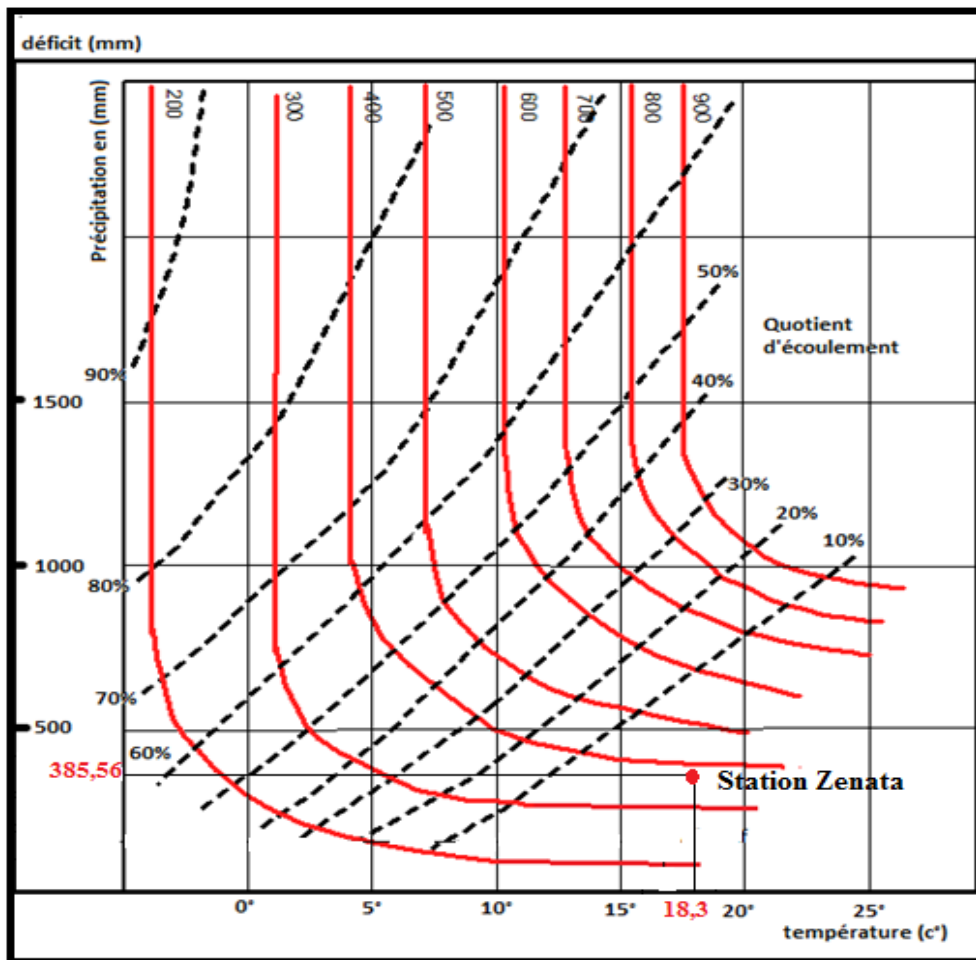


Figure 12 : L'Abaque de Wundt.

Parmi les méthodes de calcul de l'évapotranspiration réelle annuelle correspondante au déficit d'écoulement, la méthode de VERDEIL donne $D = 380$ mm et la méthode de WUNDT donne $D = 380$ mm avec un $ETR = 379,65$ mm selon TURC.

Conclusion

La région de Remchi se trouve au pied de deux zones montagneuses Traras orientaux et Sebâa Chioukh, elle s'étend sur une superficie de 3600 Hectare. Comprises entre 100 m et 350m d'altitude, elle est constituée des plaines et des plateaux intérieurs entaillés par les cours d'eau de la Tafna et de l'Oued Isser ;

Elle est caractérisée par un climat de type semi-aride. Sur une chronique de 36 ans s'étalant de 1982 à 2018, la température moyenne interannuelle est de $18,3^{\circ}\text{C}$ et des précipitations interannuelles de 385.56 mm. La période humide comprend les mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai, et les autres mois représentent la période sèche de l'année hydrologique.

Le bilan hydrique montre que, L'évapotranspiration potentielle moyenne interannuelle s'élève à environ 904,5 mm, alors que l'évapotranspiration réelle est de 382,55mm. Cette valeur équivalente à celle des précipitations, nous laisse conclure que le bilan hydrique de cette période est faiblement déficitaire.

Chapitre II :

***CONTEXTE GEOLOGIQUE ET
HYDROGEOLOGIQUE***

Renou (1843), Pouyanne J. (1877), Gentil L.(1902), Flamand G.F.M. (1911), Doumergue F. (1926), Lucas G. (1942), Perrodon A. (1957), Ville L. (1958), Auclair D. et Biehler J. (1967), puis Elmi S. (1969-1982), Benest M (1969-1997), et bien d'autres chercheurs, se sont intéressés la région oranaise, dans leurs projets de recherches scientifiques concernant les domaines géologiques, principalement lithostratigraphiques et structurales.

Leurs documents publiés, sont considérés comme une base pour toutes les études géologiques ultérieures.

Dans notre synthèse géologique et hydrogéologique de la région de Remchi, nous nous sommes référés principalement des travaux de Guardia P. (1975), Hayane S.M. (1983) et de Kerzabi R. (2008).

I. CONTEXTE GEOLOGIE

La plaine de Remchi représente une plaine généralement aplatie, orientée Ouest-Est. La partie méridionale est très calme ne montre aucuns plis tandis qu'au partie septentrionale, toutes les formations sont plissés.

Le pendage des séries géologiques atteint 90° au Nord et plus précisément au niveau de Hadjret El Gate. Ce qui indique la stabilité de la partie méridionale par rapport à la partie septentrionale. Pratiquement, toute la plaine de Remchi est représentée par une épaisse série globalement argileuse d'âge Miocène. L'ensemble étant recouvert par des formations continentales tabulaires correspond aux dépôts de terrasse. (*in* Feradji 2017).

1. Plan stratigraphique

La série stratigraphique de la plaine de Remchi est représentée de bas en haut par la succession lithostratigraphique suivante (Fig.15) :

1.1. Miocène

Domine largement la carte (Fig.13), plus précisément la partie septentrionale où affleurent des belles coupes. Il représente environ plus de 2000 m d'épaisseur, il est constitué essentiellement par des marnes, d'argile, de grès et de calcaire. Le Miocène est subdivisé en trois parties :

1.1.1. Miocène synchro-nappes : c'est des argiles carbonatées de couleur grises-verdâtres, renfermant de la faune marine, d'âge Miocène cette série est formée par des marnes gris verdâtres et des grès gris à roux, avec des grains fins mais parfois contient des passages des grès grossiers et des poudingues, à ciment argileux. Ces grès se présentent en bancs centimétriques à métriques (jusqu'à 20 m), d'aspect massif et renfermant une faune mal conservée de bivalves et des traces d'activité organique. Au niveau de Sebâa Chioukh, cette série dépasse les 200 m d'épaisseur.

1.1.2. Miocène du premier cycle post-nappes : Il est marqué par une série détritique continentale (argilo-gréseux rougeâtre), d'âge Serravalien supérieur à Tortonien inférieur, d'une épaisseur variable. Cet intervalle lithologique se distingue également par la présence d'une épaisse formation conglomératique rougeâtre. Ces dernières sont bien exposées au Nord de Sebâa Chioukh.

1.1.3. Miocène deuxième cycle post-nappes : Il comprend des marnes sableuses, surmontées par un faciès carbonaté. Ce dernier est représenté par des calcaires coquilliers, blanchâtre, renfermant des algues et des polypiers. Ces calcaires sont formés à la fin de Tortonien, dans un milieu marin peu profond.

Le passage Tortonien supérieur-Messinien inférieur est souligné par une série continentale rougeâtre, de plaine alluviale « formation rouge de la Tafna ». Cette dernière affleure depuis Sebâa Chioukh et les Monts de Traras au Nord, jusqu'à Maghnia au Sud (Perrodon 1957 *in* Kerzabi 2008).

1.2. Quaternaire

Il constitue le dernier élément de la série stratigraphique. Il correspond aux dépôts continentaux (alluvions récentes et anciennes), caractérisés par la présence de sable ; argile limoneuses, considérés dans leur ensemble, comme semi-perméable, visibles surtout le long des oueds.

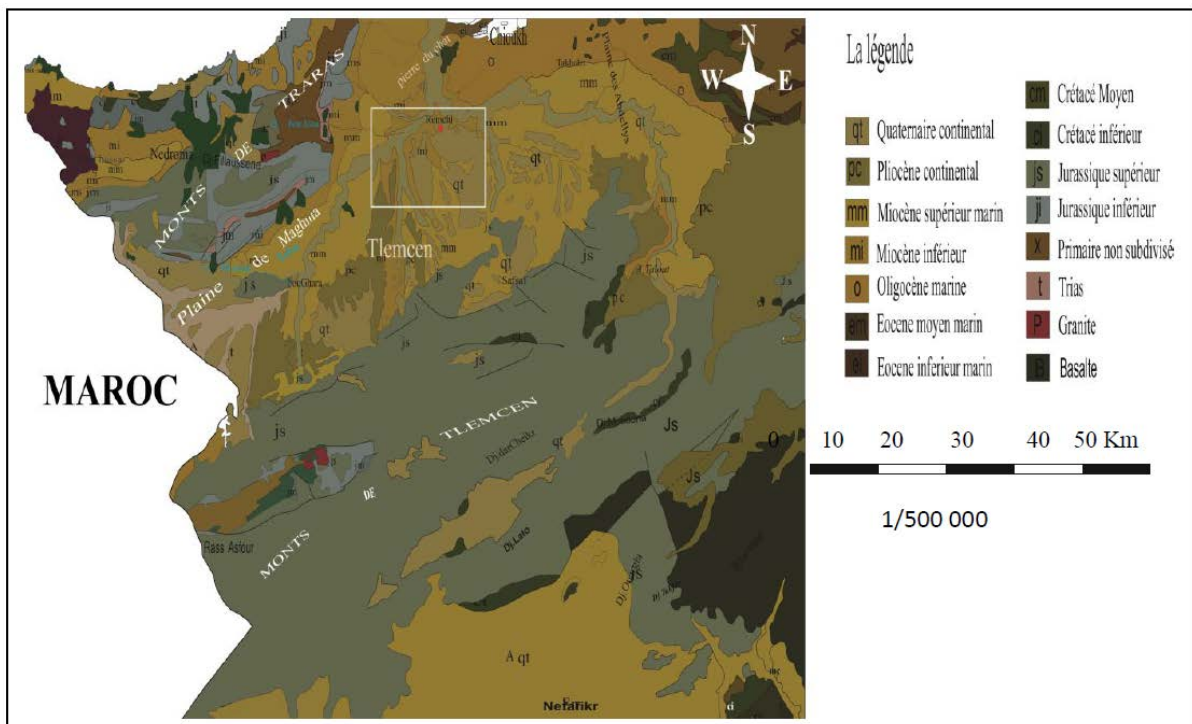


Figure 13 : Extrait de la carte géologique de l'oranaise, échelle : 1/500000 (d'après Guardia, 1975 *in* Faradji, 2017).

2. Au plan structural

D'après Guardia 1975, dès le début du Miocène et au cours de celui-ci d'importants mouvements affectant le bassin de Tafna. Les grands traits structuraux de la région seraient acquis avant la transgression de Miocène. Ainsi les principales phases responsables de structures appartiennent à l'orogénèse atlasique.

La plaine de Remchi est affectée par deux types de tectonique : souple et cassante (Fig. 14, dont la première est de direction N20, N60à N90 et la deuxième est de direction N40-N90 (*in* Faradji 2017)).

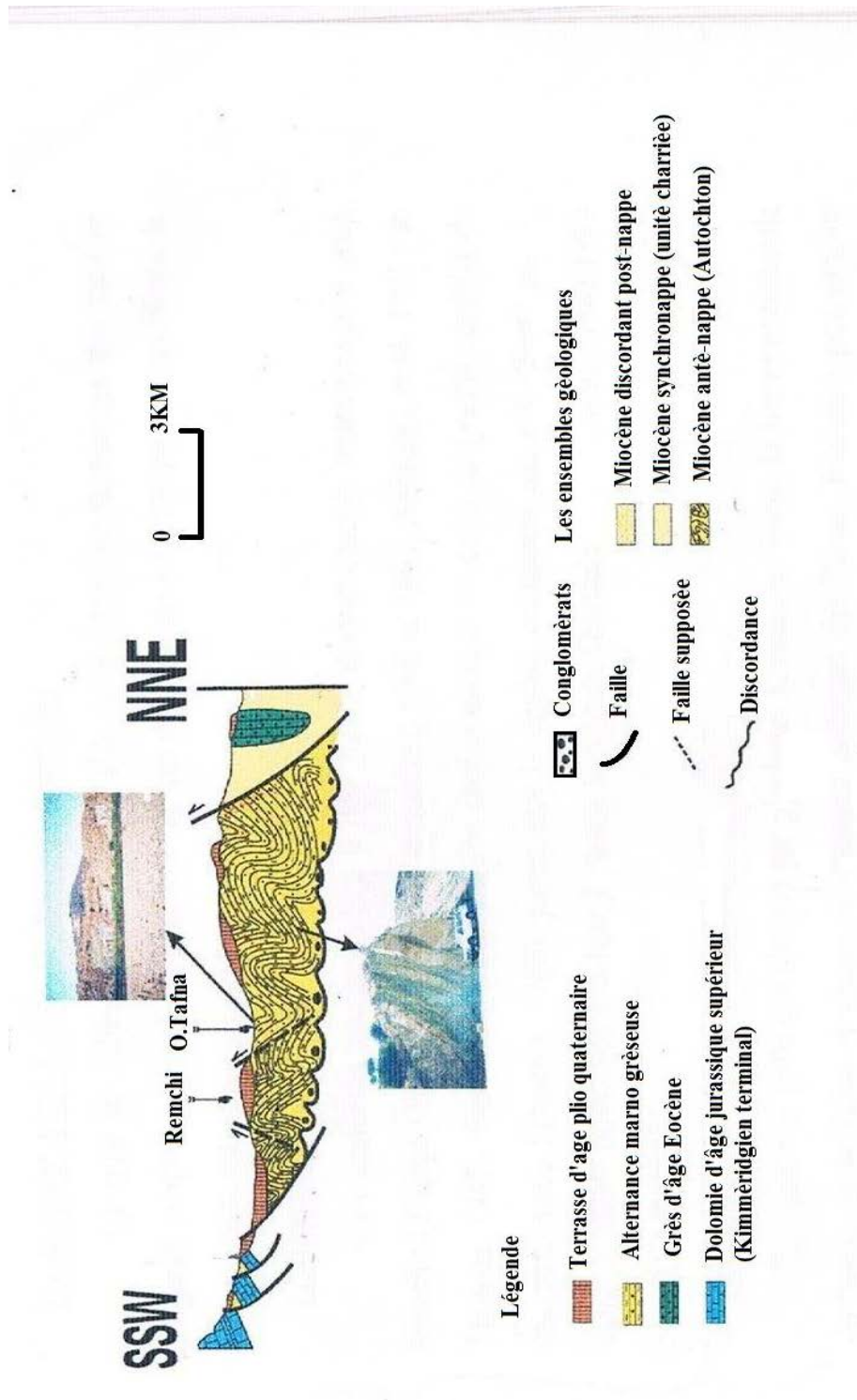


Figure 14 : Coupe géologique du bassin moyen de la Tafna (Boucif 2006 *in* Aidouni et Cherrat 2008)

II. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

1. Formations aquifères

A l'échelle régionale, en suivant, le log lithostratigraphique (Fig. 15) établi par Benest et ses collaborateurs (1999), les dolomies de Tlemcen et les calcaires qui leur associés, ainsi que les dolomies de Terny, sont les formations aux plus vastes affleurements, elles renferment les deux aquifères les plus importants de la région, caractérisés par leur forte perméabilité due à la fissuration et à la karstification (Hayane 1983), suivis par les grès Tortoniens abondants au piedmont.

Le reste de la série : les grès de Boumediene, les marno-calcaires de Raouraï et de Hariga, les niveaux d'alternance de marne et de grès de l'Eocène, ainsi que les marnes gréseuses du Miocène inférieur (Hayane 1983), sont des formations peu perméables à imperméables (Fig. 15). A l'échelle de la zone d'étude, seules les formations citées ci-dessous, sont susceptibles de constituées des aquifères potentiels :

1.1. Grès du Miocène

1.1.1. Grès Serravaliens

Le miocène était surtout représenté par une série marneuse (atteignant les 250m d'épaisseur au plateau de Zenâta), avec quelques bancs de grès piégés.

Ces bancs gréseux peuvent devenir suffisamment abondants pour être exploitables par forage puisqu'ils peuvent contenir une nappe captive avec une charge hydraulique très importante (kerzabi 2008).

Ces grès gris se sont avérés très fissures, l'épaisseur des marnes à tendance à augmenter de L'Est vers l'Ouest et du Nord vers le Sud. (Aidouni et Cherrat 2008).

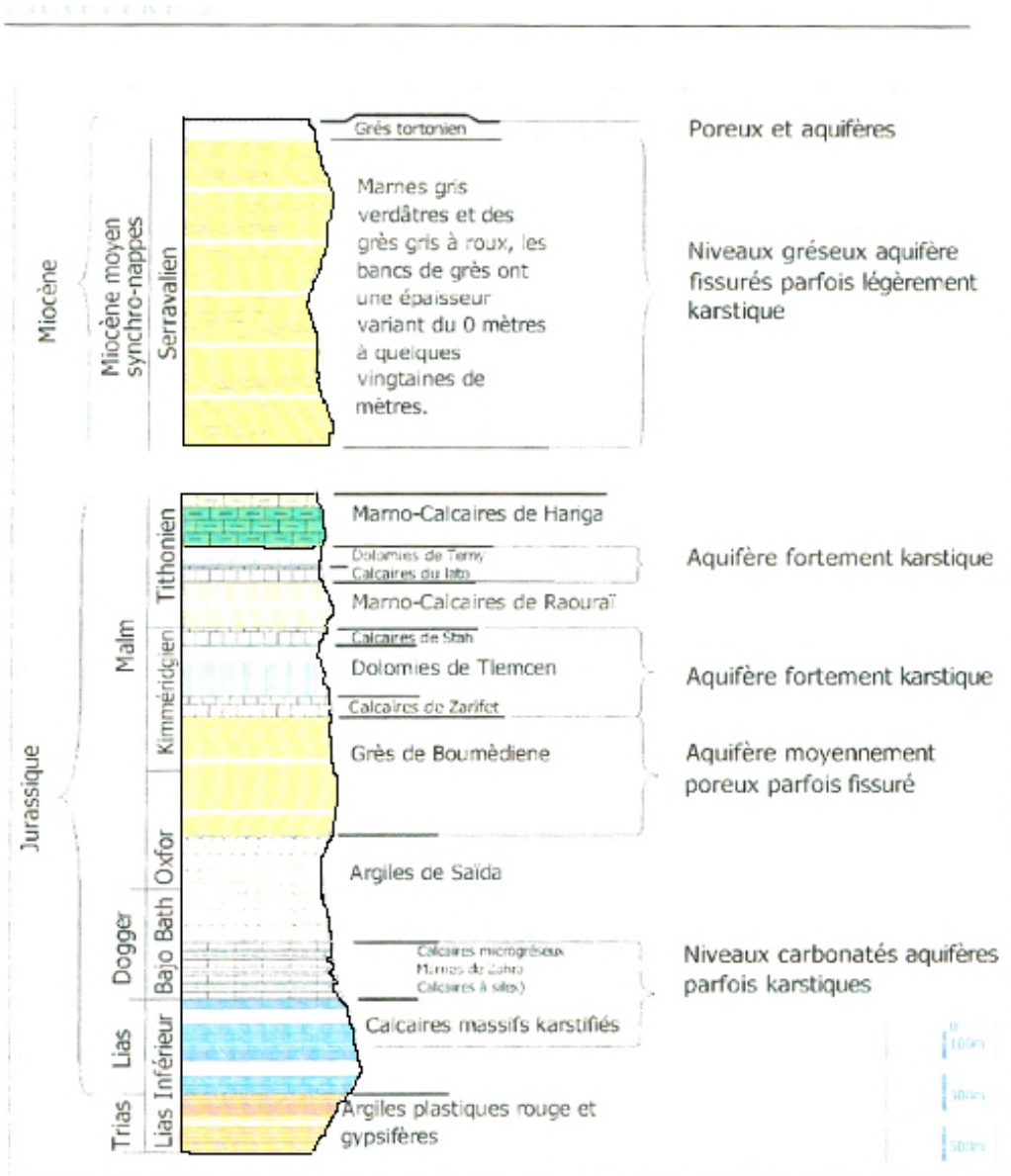
1.1.2. Grès Tortoniens

Ils sont plus abondants près des reliefs (piémont). Ce sont des grès jaune d'or ou citron, ils sont durs, mal lités, parfois consolidés à subhorizontaux (Hayane 1983), Ils ont une perméabilité de fissures et d'interstices. Leur épaisseur peut atteindre 90m avec de minces passées marneuses.

La tectonique dans la région (de type cassante) joue un rôle dans l'hydrogéologie de certaines formations telles que les grès du Tortonien par l'existence d'un réseau de failles assez importantes qui favorisent l'infiltration ou l'écoulement des eaux de surface. Les pompages d'essai ont donné une transmissivité de l'ordre de 10^{-2} à 10^{-4} m²/s. les marnes serravaliennes jouent le rôle du substratum imperméable a l'aquifère sous-jacent. (Aidouni et Cherrat 2008).

1.2. Alluvions du Plio-Quaternaire

Elles sont représentées essentiellement par des alluvions anciennes et récentes. Elles peuvent constituer localement de bons aquifères, le plus souvent de faible extension et peuvent fournir de très bons débits. Les valeurs de transmissivité varient de 2.10^{-2} à 3.10^{-4} m²/s avec un coefficient d'emmagasinement inférieur à 10% (Bensaoula 2006).



Figur15 : Log Litho Stratigraphique du secteur d'étude (Benest et al. 1999 *in* Kerzabi 2008).

2. Coupes lithostratigraphiques des forages et essai de corrélation:

D'après les logs stratigraphiques illustrés en annexe II, nous avons établi des corrélations au niveau des sondages implantés dans le secteur d'étude selon des directions SW-NE, SSE-NNW et E-W (Fig.16.a), ces différentes corrélations mettent en évidence, les variations latérales des épaisseurs ainsi que les faciès.

La figure 16.b, représente les différentes corrélations entre forages selon 3 directions. Nous pouvons constater que :

- Les affleurements calcaires en surface, et conglomérats, ont des épaisseurs atteignant les 10 m, peuvent constitués un aquifère alluviale potentiel dans région,
- La diversité d'alternances entre les couches gréseuses et argileuses où marneuses dans les différents logs litho stratigraphiques, empêche la détermination des épaisseurs

exacts des formations. Ces alternances peuvent engendrer une mauvaise interconnexion hydraulique entre les blocs. (Kerzabi 2008)

- Les épaisseurs des marnes diminuent d'est en ouest.
- D'après l'allure des diagrammes de stiff, nous pouvons déduire que les faciès hydrogéochimiques des eaux sont relativement semblables dans la plupart des forages corrélés.

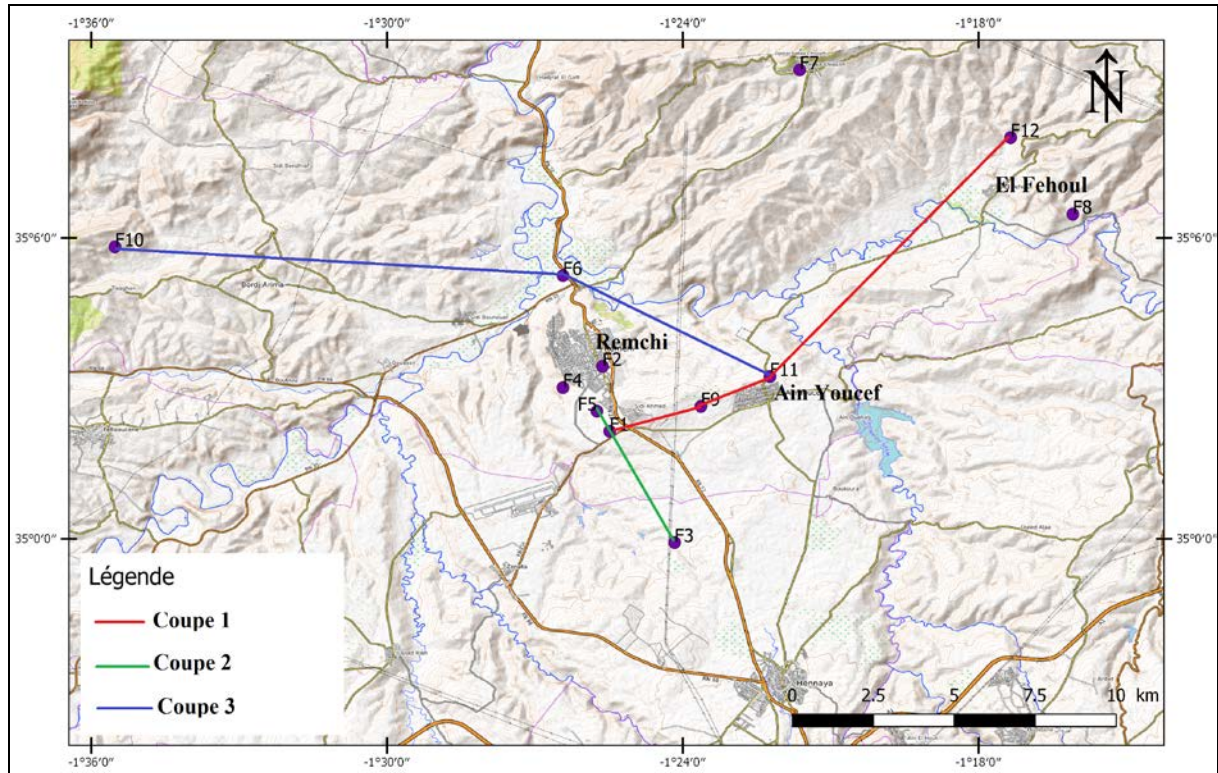


Figure 16.a : Carte de situation des différents forages et corrélation

Conclusion

La plaine de Remchi représente une plaine généralement aplatie, orientée Ouest-Est. Remplie de dépôts d'âge Miocène et quaternaire. Elle est caractérisée par une partie méridionale stable et calme et une partie septentrionale très plissées (Pendage atteint 90°).

Sur le plan hydrogéologique, dans notre zone d'étude, les bancs gréseux principalement Sérravalien, piégés dans l'épaisse série marneuse du Miocène, forment un aquifère à nappe captive, avec une charge hydraulique très importante (kerzabi 2008).

Les alluvions anciennes et récentes d'âge Pio-quaternaire et Quaternaire, peuvent constituer localement des aquifères, à faible extension, mais qui peuvent fournir des bons débits (Bensaoula 2006).

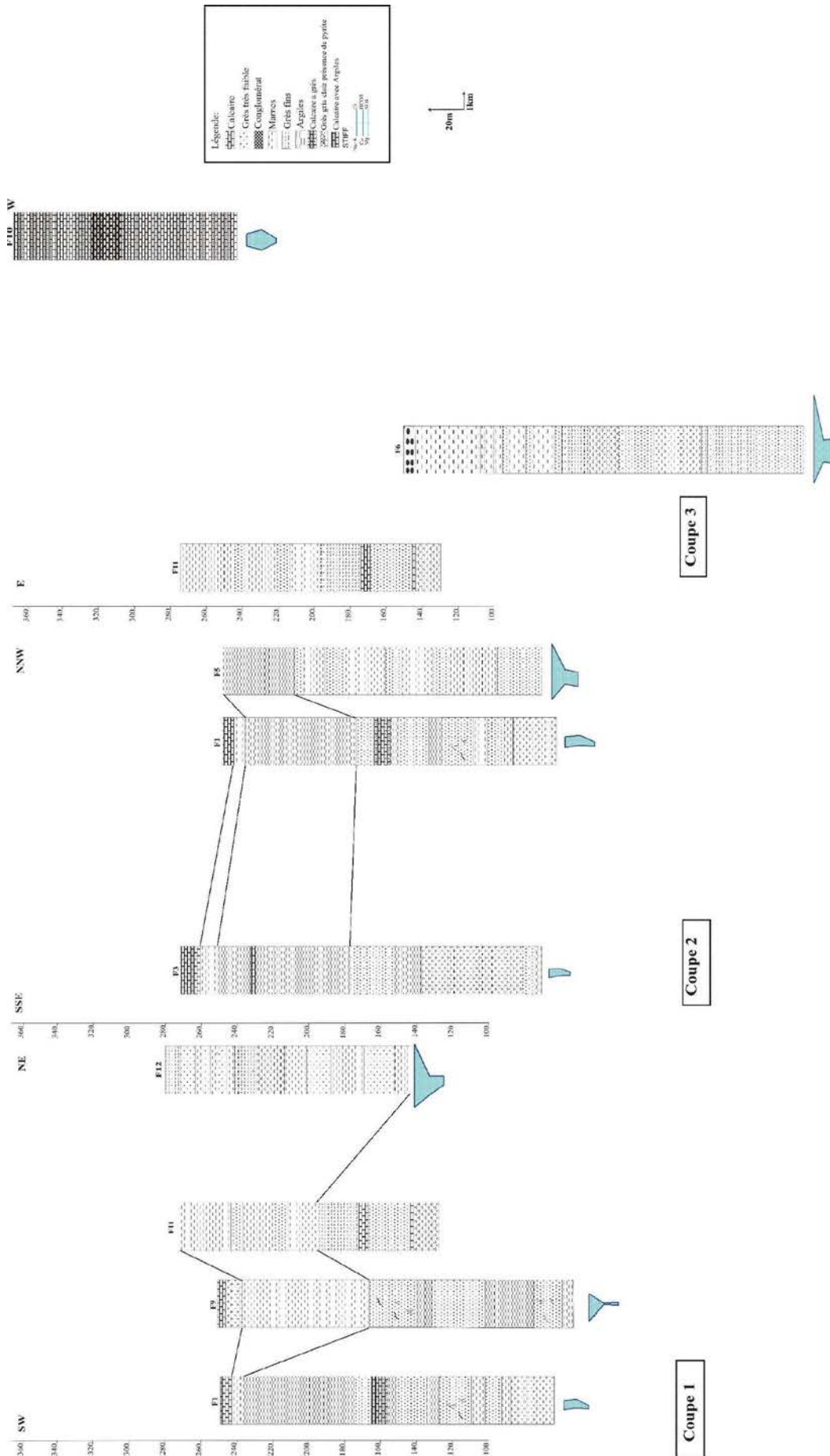


Figure 16.b : Coupes des corrélations entre les forages

Partie II :

QUALITE DES EAUX

Chapitre III :

MATERIELS ET METHODES

Cette deuxième partie du mémoire, demeure une contribution à la compréhension du chimisme des eaux souterraines de la plaine de Remchi. Nous tenterons dans cette présente étude, d'identifier les facies hydrogéochimiques, d'estimer l'origine des eaux souterraines, en les corrélant avec la géologie, ainsi qu'apprécier leur qualité, du point de vue potabilité, et irrigation.

Dans un premier temps, nous présenterons dans ce présent chapitre, la méthodologie adoptée pour l'étude hydrogéochimique. Les résultats et discussions seront présentés dans le chapitre suivant.

I. DONNEES ET ANALYSES

Un total de 29 points d'eau (10 Forages et 19 puits), répartis sur la plaine de Remchi, utilisés pour la consommation humaine et l'usage agricole, ont été étudiés hydrochimiquement (Fig. 17), en utilisant de plusieurs séries de données d'analyse.

Deux répartitions temporelles ont été choisies pour le suivi chimique de notre projet d'étude :

La première appelée « Série ancienne », comprend des données d'analyse chimiques datée entre 2002 et 2009, collectées aux niveaux des organismes étatiques (Hydraulique, Agence Nationale des Ressources Hydriques ANRH, et Algérienne des Eaux ADE) de la Wilaya de Tlemcen, sur 08 forages localisés sur notre secteur d'étude.

Ces forages, de profondeur allant de 190 à 400 m; captant l'aquifère Serravalien formé par les formations gréseuse et argileuse du Miocène, ont été échantillonnés et analysés, en même période d'achèvement de chaque forage. (Annexe III).

Les analyses chimiques de cette série, concernent: le pH, la conductivité électrique, la minéralisation, la turbidité et les éléments majeurs : Les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), et les anions (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-).

La deuxième série, dite « Série récente », correspond à une nouvelle campagne réalisée en 23, 24 et 25 avril 2019, sur un nombre de 21 points d'eau : 19 puits de profondeur comprise entre 3 et 26 m, captant l'aquifère alluviale Plio-quadernaire et 2 forages de Profondeur 150 m forés dans l'aquifère Serravalien) (Fig. 17). Les échantillons ont été prélevés dans des flacons en plastique d'une capacité de 250 ml ; stockés et transportés à l'aide de glacière et sac thermique. Les analyses ont été basées sur 4 paramètres physico-chimiques (La température, le pH, la Conductivité électrique et le total des solides dissous) analysés in-situ, à chaque point d'échantillonnage ; et les éléments majeurs: cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), et anions (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-), ont été dosés par la méthode de la chromatographie ionique (Annexe III), alors que les bicarbonates (HCO_3^-) ont été analysés par méthode volumétrique (Annexe III), au niveau du laboratoire de recherche n°66 : Chimie analytique et d'électrolyse, à l'université de Tlemcen.

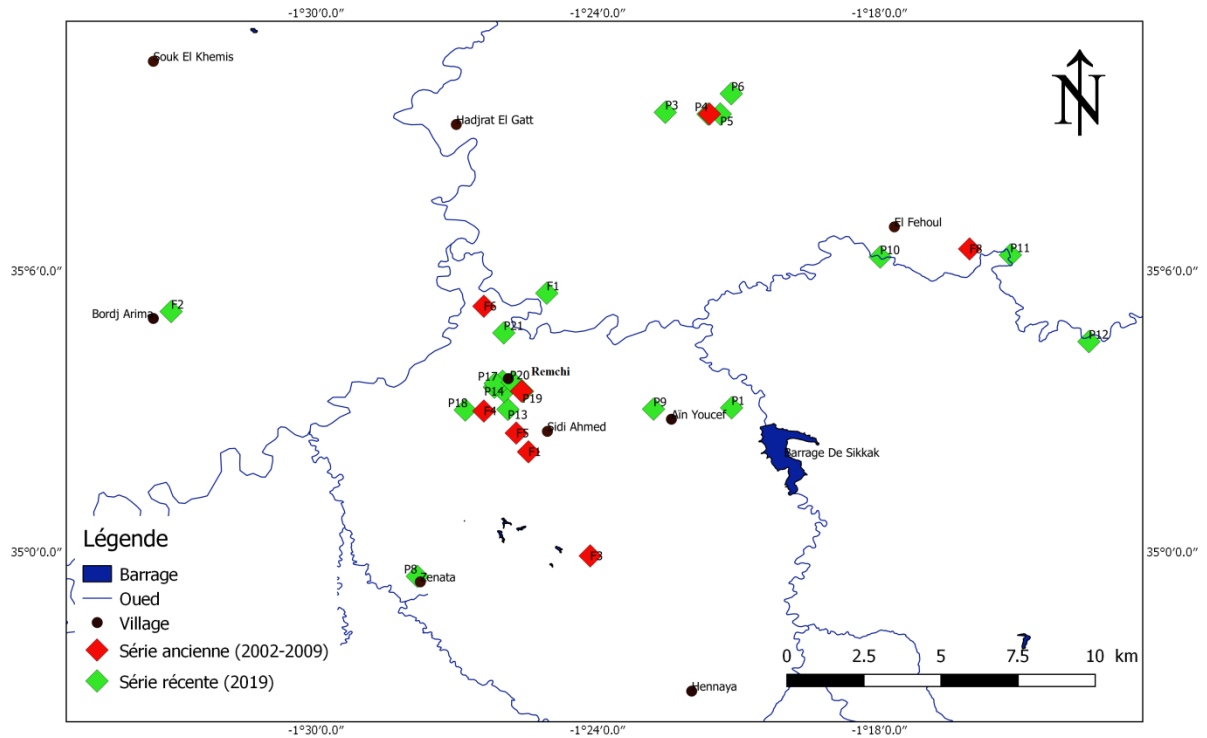


Figure 17 : La carte de situation des points d'eau utilisés pour les analyses chimiques de la plaine de Remchi

II. METHODES

Après vérification de la fiabilité des données chimiques des deux séries d'étude, par l'utilisation de la méthode de la balance ionique « BI » qui s'exprime par la relation :

$$BI = \frac{|\sum cations - \sum anions|}{\sum cations + \sum anions} \times 100$$

Avec :

- $BI < 2 \Rightarrow$ Une bonne analyse.
- $2 < BI < 5 \Rightarrow$ Une analyse acceptable.
- $BI > 5 \Rightarrow$ Une mauvaise analyse.

L'étude hydrogéochimique des eaux souterraines de cette zone, portent sur :

- Une classification des faciès hydrogéochimiques, par l'utilisation de la formule caractéristique et des représentations graphiques.
- Un essai de détermination de l'origine de la minéralisation des eaux souterraines de la région de Remchi, à travers la modélisation de PHREEQ ainsi que l'utilisation de plusieurs méthodes statistiques (Descriptives, Matrice de corrélation de Pearson, CHA, ACP) calculées à l'aide du programme Excel Stat. (XLSTAT 2015), pour décrire les interrelations entre les paramètres étudiés et essayer de distinguer leurs sources.

➤ Une étude qualitative du point de vue consommation humaine et utilisation à des fins agricoles ont été tentés pour la nouvelle série (campagne environnementale d'avril 2019), en effectuant des comparaisons entre les résultats trouvés et les normes de potabilités publiées par le journal officiel de la république algérienne (JORA 2011) et aussi aux normes de l'organisation mondiale de la santé (OMS 2017) et aussi aux directives éditées par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) (Ayers and Westcot 1985).

1. Faciès hydrogéochimiques

Les faciès hydrogéochimiques sont couramment utilisés en hydrochimie, pour la description de la composition des eaux naturelles. Ça nécessite d'une comparaison aisée, voire une classification des eaux naturelles par l'utilisation des représentations graphiques. (Hajhouji 2010).

Pour atteindre cet objectif, on a eu recours aux diagrammes de Piper, Stiff et celui de Stabler.

1.1. Le diagramme de piper : est utilisé pour définir le faciès type des eaux. Il permet de présenter sur un même schéma un grand nombre d'analyses qui peuvent être comparées visuellement de façon simple.

1.2. Le diagramme de Stiff : permet d'obtenir une figure géométrique polygonale caractéristique d'une famille d'eau donnée. Les données d'analyse des ions majeurs sont reportées sur des axes horizontaux de part et d'autre de l'axe vertical d'origine. Les cations sont représentés à gauche et les anions à droite.

1.3. Le diagramme de Stabler : représente la contribution de chaque espèce ionique à la somme cationique où la somme anionique. Le diagramme se décompose en deux barres, l'une pour les anions, l'autre pour les cations. Elles ont donc même longueur car les solutions sont électriquement neutres et la somme des anions égale à la somme des cations.

La réalisation de ces diagrammes, a été faite en utilisant le logiciel **DIAGRAMME** (Version 6.5), conçu par Roland Simler du Laboratoire d'hydrogéologie, de l'Université d'Avignon.

2. Interaction eau-roche : minéralisation des eaux souterraines

La détermination de la minéralisation, peut donner des informations importantes sur l'origine de la salinité eaux souterraines, le support géologique des aquifères, ainsi que sur les processus géochimiques qui ont lieu.

Les études menées jusque-là ont porté essentiellement sur la localisation des ressources en eau du secteur d'étude, et sur la qualité des eaux de Remchi. Il est entendu que généralement les propriétés géochimiques des eaux souterraines sont en dehors des facteurs climatiques et anthropogènes, tributaires des caractéristiques des roches, surtout des roches basiques vulnérables à l'altération encaissantes (Jacks 1973 ; Bartarya 1993 ; Rajmohan et al. 2000 ; Mohan et al. 2000 *in* Moucheron et al. 2011). Il est question dans cette étude d'explorer les propriétés géochimiques et de retrouver l'encaissant, qui a été à l'origine de la minéralisation des eaux souterraines de la région de Remchi à travers la modélisation de PHREEQ

PHREEQ est un programme écrit par David L. Parkhurst et C.A.J. Appelo en 1980; il est diffusé par l'US geological survey. Il est utilisé pour voir la spéciation en solution, simuler des réactions chimiques et du transfert dans des eaux naturelles et polluées. (Ben hamza 2007 *in* Benfdel 2015).

2.1. Indice de saturation

Les indices de saturations constituent un outil précieux pour la compréhension des mécanismes chimiques au sein d'un aquifère, en effet les concentrations de nombreux ions peuvent être expliquées par la présence de minéraux dans les sédiments (Hidaoui et Louannas 2015).

Les indices de saturation constituent un outil précieux pour la compréhension des mécanismes chimiques au sein d'un aquifère, ils permettent de connaître le degré de saturation des eaux par rapport aux minéraux présents ou ceux susceptibles de se précipiter dans l'aquifère. La dissolution de ces minéraux se fait de manière congruente ou incongruente. (Adiaffi 2008).

Ces indices permettent de déterminer l'état thermodynamique du milieu aquifère par rapport à certains minéraux, sur cette base, nous avons songé à faire une évaluation de la tendance des formes chimiques entre la phase dissoute et la phase minérale des eaux de la nappe alluviale Plio-Quaternaire et Serravalien de Remchi.

L'indice de Saturation calculé exprime le degré d'équilibre chimique entre l'eau et le minéral dans la matrice de la nappe et peut être considéré comme une mesure du processus de dissolution et/ou précipitation concernant l'interaction eau-roche (El Hammoumi 2012).

Un indice de saturation nul signifie que l'eau est en équilibre avec le minéral étudié. L'eau sera sous saturée si $IS < 0$ (dissolution du minéral) et sursaturée si $IS > 0$ (Précipitation du minéral) (Peter-Borie et al 2009 *in* Benfdel 2015).

• **Les minéraux évaporitiques dans l'eau** : Les principaux minéraux évaporitiques sont le gypse ($Ca^{2+} SO_4^{2-} \cdot H_2O$) et l'anhydrite ($Ca^{2+} SO_4^{2-}$).

• **Les minéraux carbonatés dans l'eau** : L'aragonite ou la calcite composé de carbonate naturel de calcium a une formule de $Ca^{2+} CO_3$, la dolomite formée de carbonate de calcium et de magnésium de formule $Ca^{2+} Mg^{2+} (CO_3)_2$.

3. Approche statistique

L'application statistique de notre présent travail, va être concentrée sur l'utilisation de l'Analyse en Composantes Principales ACP, ainsi que la classification hiérarchique Ascendante ACH, utilisées pour interpréter les données hydrochimique, en identifiant les regroupements des eaux souterraines et les facteurs responsables de ces rapprochements ; afin de mieux comprendre les phénomènes de minéralisation des eaux de la nappe alluviale (Plio-Quaternaire et Serravalien) de la région de Remchi.

3.1. Représentation graphique

L'analyse graphique est une bonne manière de comprendre les différentes caractéristiques énumérées ci-dessous. Les graphiques binaires sont l'outil privilégié pour l'étude de la corrélation entre les variables. L'intérêt est multiple : nous pouvons situer les proximités entre les individus; étudier la forme globale des points, voir notamment s'il existe une forme de

liaison ou de régularité; détecter visuellement les points qui s'écartent des autres, les observations atypiques; vérifier s'il n'y a pas de regroupement suspects.

- Corrélation entre variables

La mesure de cette corrélation est obtenue par le calcul du coefficient de corrélation linéaire, elle a pour objet de mesurer l'intensité de la liaison linéaire entre les deux variables, sa valeur est comprise entre -1 et 1.

$$r = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma(x)\sigma(y)}$$

Pour pouvoir parler de forte liaison entre x et y il faut que la valeur absolue de « r » atteigne au moins 0.87

Dont

$$r = \sqrt{R^2}$$

- R^2 : coefficient de détermination obtenu par Excel.
- r : coefficient de corrélation linéaire.

Deux variables peuvent être :

- En corrélation positive; qui traduit, une augmentation, diminution, ou constance simultanée des valeurs des deux variables.
- En corrélation négative; lorsque les valeurs de l'une augmentent, et les valeurs de l'autre diminuent.

La corrélation entre l'ensemble des concentrations des cations et celle des anions, nous permettent d'avoir une idée globale et générale sur la qualité de notre analyse.

3.2. Classification hiérarchique Ascendante

Le principe de la CAH est de rassembler des individus selon un critère de ressemblance défini au préalable qui s'exprimera sous la forme d'une matrice de distances, exprimant la distance existant entre chaque individu pris deux à deux. Deux observations identiques auront une distance nulle. Plus les deux observations seront dissemblables, plus la distance sera importante. La CAH va ensuite rassembler les individus de manière itérative afin de produire **un dendrogramme** ou arbre de classification.

La classification est *ascendante* car elle part des observations individuelles ; elle est *hiérarchique* car elle produit des classes ou groupes de plus en plus vastes, incluant des sous-groupes en leur sein. En découpant cet arbre à une certaine hauteur choisie, on produira la partition désirée. (Lamanage et al, 2017).

3.3. Analyses en composante principale (ACP)

L'analyse en composantes principales est une méthode statistique essentiellement descriptive, son objectif est de présenter sous forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données. L'ACP sert à mettre en évidence des similarités ou des

oppositions entre variables et à repérer les variables les plus corrélées entre elles. (Benyazza 2014).

3.3.1. Principe de l'A.C.P

L'Analyse en Composante Principales (ACP) est un grand classique de l'analyse des données, pour l'étude exploratoire ou de la compression d'un grand nombre de données quantitatives (Tableau $n \times p$). (Jolliffe 2002). L'ACP est l'estimation des paramètres d'un modèle, afin de préciser la signification statistique des résultats obtenus.

Cette analyse porte sur au moins deux variables, ce qui permet une représentation graphique, construite à partir de la matrice de corrélation, des liens entre variables n et des positions des individus p par rapport aux facteurs choisis.

Ces graphiques sont projetés dans un cercle de rayon 1. Plus la coordonnée de la variable est forte (proche de 1 ou -1) sur un facteur, plus la variable a de liens avec ce facteur. La position des variables est donc déterminée par leurs coordonnées selon les facteurs. Plus deux variables sont proches, plus leur lien est censé être fort.

L'interprétation des résultats se restreint généralement aux deux premiers plans factoriels, sous réserve que ceux-ci expliquent la majeure partie de la variance du nuage des variables initiales. (Benyazza 2014).

3.3.2. Utilisation de l'A.C.P

Il existe plusieurs applications pour l'Analyse en Composantes Principales, parmi lesquelles

- l'étude et la visualisation des corrélations entre les variables, afin d'éventuellement limiter le nombre de variables à mesurer par la suite ;
- l'obtention de facteurs non corrélés qui sont des combinaisons linéaires des variables de départ, afin d'utiliser ces facteurs dans des méthodes de modélisation telles que la régression linéaire, la régression logistique ou l'analyse discriminante ;
- la visualisation des observations dans un espace à deux ou trois dimensions, afin d'identifier des groupes homogènes d'observations, ou au contraire des observations.

3.3.3. Etapes de l'étude A.C.P.

L'objectif de cette analyse étant de décrire ou de classer les données, pour permettre l'interprétation du fonctionnement hydrogéochimique des aquifères. Au cours de ce travail, l'analyse statistique (ACP) a été effectuée dans le but d'orienter l'étude hydrogéochimique, elle a été réalisée sur des variables centrées réduites à l'aide du logiciel STATISTICA version7.

a. Analyse statistique multi variable

L'analyse en composante principale (ACP) est une méthode de réduction du nombre de variables permettant leur représentation géométrique. Cette réduction n'est possible que si les variables initiales ne sont pas indépendantes et ont des coefficients de corrélation non nuls (Benfdal 2015).

b. Matrice de corrélation

La matrice de corrélation est tout simplement la matrice des coefficients de corrélation calculée sur plusieurs variables prises deux à deux.

C'est une technique qui permet d'étudier la relation qui pourrait exister entre deux variables quantitatives X et Y (les ions majeurs de l'eau)

- **Corrélation positive :** Toute augmentation au niveau de X correspond à une augmentation au niveau de Y. Les deux variables varient dans le même sens et avec une intensité similaire.
- **Corrélation négative :** Toute augmentation au niveau de X correspond à une diminution au niveau de Y. Les deux variables varient dans deux sens opposés et avec une intensité similaire.
- **Coefficient de corrélation nul :** Absence de corrélation linéaire.

c. Analyse factorielle

L'analyse factorielle est une technique statistique aujourd'hui surtout utilisée pour dépouiller des enquêtes : elle permet, quand on dispose d'une population d'individus pour lesquelles on possède de nombreux renseignements concernant, d'en donner une représentation géométrique 1, c'est-à-dire en utilisant un graphique qui permet de voir les rapprochements et les oppositions entre les caractéristiques des individus. (Cibois 2006 *in* Kerai 2017)

d. Cercle de corrélations

Corrélation entre les axes factoriels et les variables. Chaque axe factoriel décrit une corrélation entre les variables analysées, les axes factoriels représentent les axes des éléments chimiques. Sur le plan factoriel, les analyses des données se distribuent avec de nouvelles coordonnées qui dépendent du comportement des variables.

4. Qualité des eaux souterraines

La qualité de l'eau est une notion relative des usages (eau potable, eau industrielle, etc.) et fonctions auxquels l'eau est destinée. Dans ce cadre, une étude qualitative des eaux de la région de Remchi, est élaborée, de manière à évaluer son aptitude à la consommation humaine et aussi à des fins d'irrigation.

4.1. Qualité des eaux souterraines pour la consommation humaine (Potabilité)

Du point de vue chimique ; une eau potable doit contenir, sans excès, un certain nombre d'éléments minéraux dont la présence lui confère une saveur agréable à l'exclusion de ceux qui seraient l'indice de contamination ainsi que tout autre substance toxique. (Albinet 1963).

Les résultats des différents paramètres analysés, pour la totalité des points d'eau, sont comparés aux normes algériennes de potabilité publiées sur le Journal officiel de la République Algérienne (JORA 2011) ainsi que normes de l'organisation mondiale de la santé (OMS 2017).

4.2. Qualité des eaux à des fins d'irrigation

Pour apprécier l'aptitude des eaux souterraines de la plaine de Remchi, à des fins d'irrigation, nous avons eu recours à l'utilisation des normes sur la qualité des eaux d'irrigation publiés par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture FAO (Tab. 10) (Ayers et Westcot 1985), ainsi qu'au calcul de quelques indices qui peuvent donner des indications pertinentes sur la qualité.

Tableau 10: Principales directives de la qualité des eaux irrigation FAO (Ayers et Westcot 1985).

Problèmes potentiels d'irrigation	paramètre	unité	aucun	Faible à Modéré	Sévère (important)
Salinité	TDS	mg/L	<450	450-2000	>2000
	CE	Ds/m	< 0,7	0,7-3,0	>3,0
Infiltration	SAR et CE				
	SAR 0 - 3 et C.E =		<0,7	0,7 - 0,2	>0,2
	SAR 3 - 6 et C.E =		<1,2	1,2 - 0,3	>0,3
	SAR 6 - 12 et C.E =		<1,9	1,9 - 0,5	>0,5
	SAR 12 - 20 et C.E =		<2,9	2,9 - 1,3	>1,3
	SAR 20 40 et C.E =		<5	5 - 2,9	>2,9
Toxicité ionique spécifique	Na ⁺	meq/L	<3	3-9	>9
	Cl ⁻	meq/L	<4	4-10	>10
Effet divers	NO ₃ ⁻	mg/L	<5	5-30	>30
	HCO ₃ ⁻	meq/L	<1,5	1,5-8,5	>8,5
	pH		6,5-8,4		

4.2.1. Quelques indices d'irrigation

a. L'indice Kelly's Ratio (KR)

Cet indice est représenté par le rapport des concentrations de Na⁺ (meq/L) et la somme de Ca²⁺ (meq/L) et Mg²⁺ (meq/L). (Paliwal K. 1967 *in* Bensedjad 2011). Il est parmi les indices constituant une base pour la détermination de l'aptitude des eaux à l'irrigation.

Une grande concentration en Na⁺ dans l'eau d'irrigation est considérée comme inappropriée pour son utilisation, cet indice est donné par la relation suivante :

$$KR = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$$

- KR < 1 : l'eau est considérée comme bonne pour l'irrigation.
- KR > 1 : l'eau est mauvaise pour l'irrigation (elle est déconseillée).

b. Pourcentage de Sodium (Na⁺%)

Le Na⁺% peut être calculé par la relation suivant :

$$Na^+ \% = \frac{Na^+ + K^+}{Na^+ + K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}} 100$$

Tableau 11 : Classification des eaux d'irrigation selon les %Na.

paramètre	Classe I Très bonne	Classe II Bonne	Classe III Admissible	Classe IV Médiocre	Classe V mauvaise
%Na	<20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	>80

c. La méthode de Wilcox

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau exprimée en pourcentage. La représentation des différents échantillons sur le diagramme permet la caractérisation des eaux pour leur aptitude à l'irrigation.

d. Sodium Absorption Ratio (S.A.R.)

Le sodium est un élément des bases alcalines, joue un rôle important dans le maintien de la perméabilité des sols pour l'irrigation. Pour déterminer ce risque, Riverside a créé une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par la minéralisation totale (Dahali 2013 *in* Aziz 2014).

La toxicité en sodium a lieu avec son accumulation dans les tissus des plantes. Une augmentation du SAR des eaux d'irrigation augmente celle des solutions du sol et de ce fait le sodium échangeable du sol (Moudjib 2010).

Le SAR peut être déterminé par l'équation suivante:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}}$$

- S.A.R. < 10 : Eaux excellentes (eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation des sols)
- 10 ≤ SAR. ≤ 18 : Eaux bonnes (eaux utilisées avec un danger appréciable d'alcalinisation)
- 18 ≤ SAR. ≤ 26 : Eaux convenables (eaux pouvant provoquer un danger d'alcalinisation)
- SAR > 26 : Eaux médiocres (eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort).

e. Classification des eaux par la méthode de Richards

Cette classification a été proposée par Richards, chercheur à l'USDA de Riverside en Californie, en 1954, elle a été très utilisée et l'est encore de nos jours. Elle est très utile et fiable pour caractériser une eau d'irrigation. Cependant, elle ne peut pas servir pour estimer un risque de salinisation ou de sodisation.

En effet, cette classification ne peut prendre en compte l'évolution des caractéristiques de l'eau lorsque sa minéralité augmente dans les sols des zones arides ou semi- arides auxquels elle est destinée. Elle donne une vision sur l'état actuel de ces caractéristiques mais ne permet pas d'anticiper sur le devenir de cette eau.

Tableau 12: Classification des eaux selon le diagramme de Richards.

Degrés	Qualité	Classe	L'état d'utilisation
1	Excellente	C1 – S2	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol.
2	Bonne	C2 – S1 C2 – S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité.
3	Admissible	C3 – S1 C3 – S2 C2 – S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée
4	Médiocre	C4 –S1 C4 – S2 C3 – S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols biens drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3 – S4 C4 – S3 C4 – S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisé sous certaines conditions : sol très perméable, bon lessivage et plantes tolérantes très bien au sel

Chapitre IV :

RESULTATS ET DISCUSSIONS

La vérification des résultats des analyses chimiques des points d'eau des deux séries (Ancienne 2002-2009 et récente d'Avril 2019, par le calcul des pourcentages des balances ioniques, mentionnées en Annexe III, montre que, pour la série ancienne, tous les forages étudiés affichent des analyses entre acceptables et bonnes.

Pour la série récente (Campagne d'Avril 2019), dès 21 points d'eau analysés, 5 (4 puits et 1 forage) ont de mauvaises analyses, les autres ont des analyses entre acceptables et bonnes. (Annexe III.).

I. FACIES HYDROGEOCHIMIQUE

Le report de résultats des analyses des 24 échantillons des eaux souterraines de la plaine de Remchi, sur les diagrammes (Piper, Stiff et Stabler), sont représentés successivement sur les figures 18, 19 et 20.

D'après le diagramme de Piper, les eaux souterraines de la région d'étude appartiennent à 3 grandes familles de faciès.

Pour les eaux de l'aquifère gréseux Serravalien, nous constatons que les forages se divisent en 2 groupes, le premier contenant (F1, F3, F4 et F8) est de la famille Bicarbonatée sodique et potassique, le deuxième (F2, F5, F6 et F7) fait partie de la famille chlorurée sodique et potassique et sulfatée sodique.

Alors que pour les eaux de l'aquifère Plio-quaternaire, la dominance est chlorurée et cela par l'existence des deux familles : Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne (P3, P4, P6, P10, et P11 et P12) et celle chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique (P1, F1, P5, P8, P9, P17, P18 et P20), P15 et P16 se trouvent à la limite entre cette famille et celle des Bicarbonatées sodiques.

Sur les diagrammes de Stiff et Stabler (Fig. 19 et 20), les représentations des teneurs chimiques des différents points d'eau, montrent que :

Le faciès dominant des eaux souterraines est chloruré sodique trouvé en : F2, F5, F6 et F7 de l'ancienne série de données et P1, F1, P5, P8, P9, P10, P11, P17, P18 et P20 de la Série récente (Tab. 13), suivis par le faciès bicarbonaté sodique aux F1, F3, F4 et F8 et P12, P15 et P16, puis le faciès chloruré calcique observé aux P3, P4 et P6 de la campagne d'Avril 2019 (Série récente). (Tab. 13).

Tableau 13: Faciès chimiques selon le diagramme de Stiff et Stabler.

Point d'eau	Faciès chloruré sodique	Faciès bicarbonaté sodique	Facies chloruré calcique
Série ancienne	F2-F5-F6-F7	F1-F3-F4-F8	/
Série récente	P1-F1-P5-P8-P9-P10-P11-P17-P18-P20	P12-P15-P16	P3-P4-P6

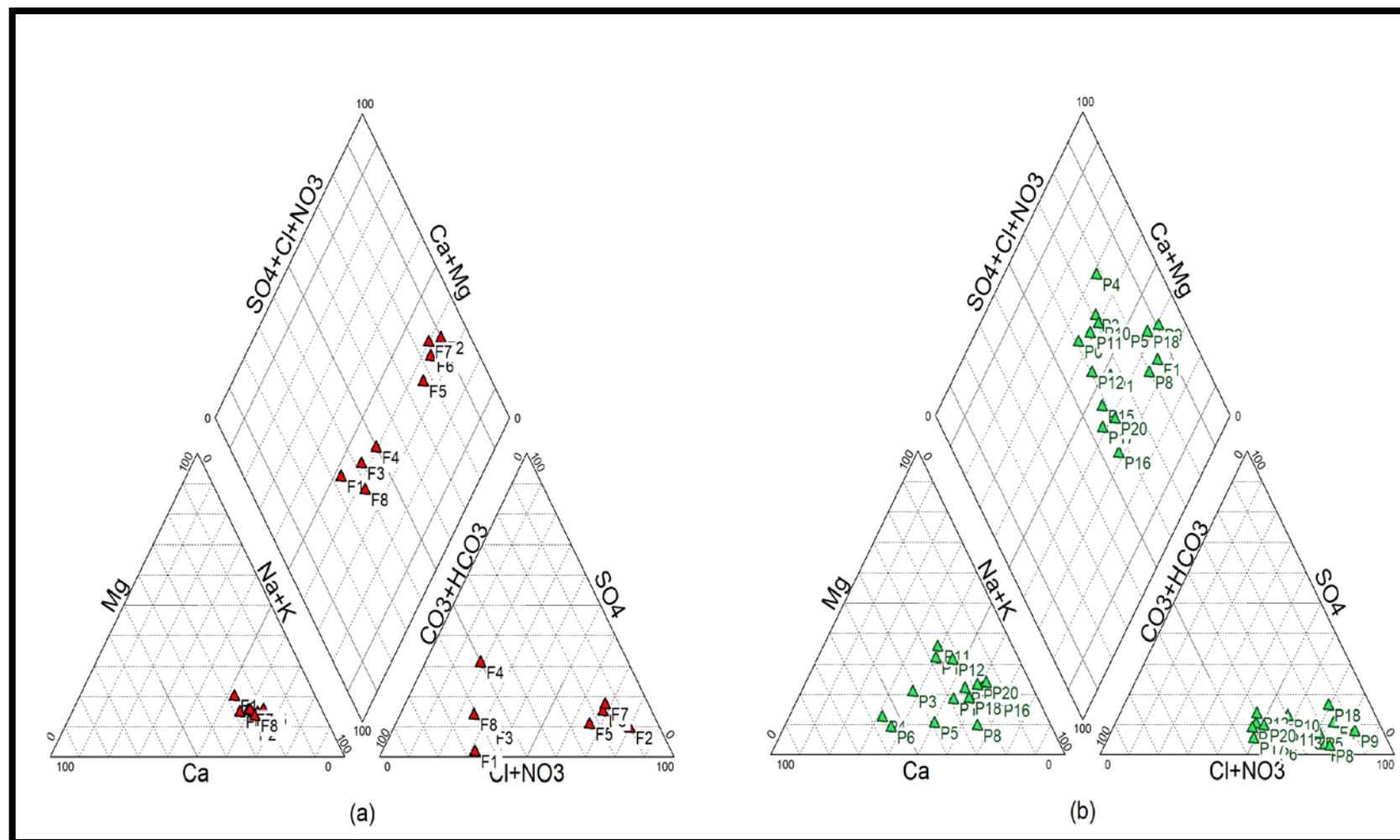


Figure 18 : Faciès hydrogéochimiques sur Diagramme de PIPER : (a) série ancienne (2002-2009), (b) série récente (Avril 2019).

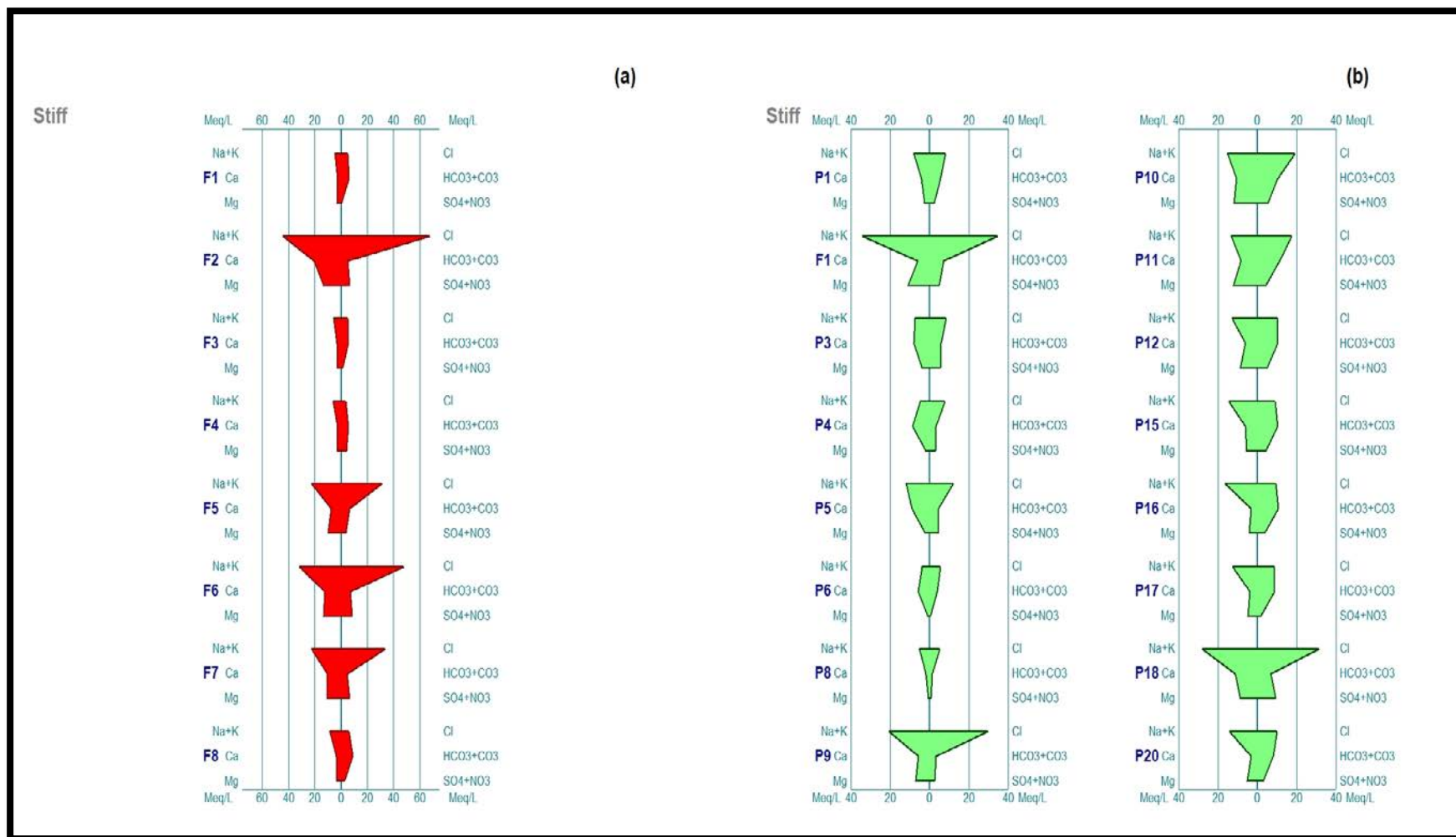


Figure 19: Représentation des faciès chimiques selon le diagramme de STIFF : (a) Série ancienne (2002-2009), (b) Série récente (Avril 2019).

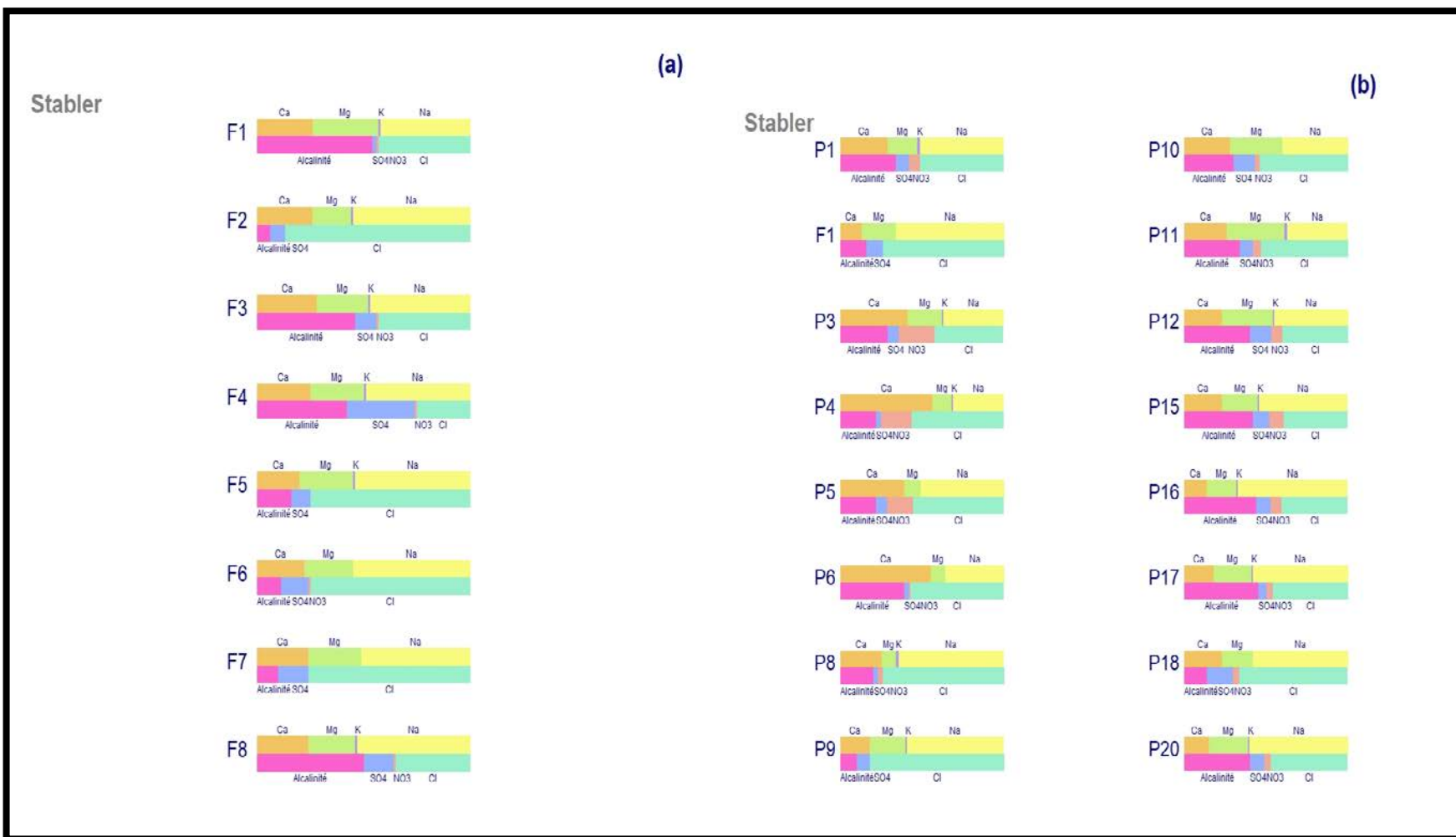


Figure 20: Représentation des faciès chimiques selon le diagramme de STABLER : (a) Série ancienne (2002-2009), (b) Série récente (Avril 2019).

II. INTERACTION EAU-ROCHE : MINÉRALISATION DES EAUX SOUTERRAINES

1. Indice de saturation

L'utilisation du programme Phreeq sur le logiciel Diagramme, nous a permis de calculer les indices de saturation des minéraux carbonatés (calcite, de l'aragonite et la dolomite), des minéraux évaporitiques (gypse, l'anhydrite et l'halite).

Les résultats de tous les points d'eau analysés sont mentionnés sur le Tableau 14.

SI < 0

SI > 0

Tableau 14 : L'indice de saturation selon le logiciel Phreeq

	Anhydrite	Gypse	Halite	Dolomite	Aragonite	Calcite
Série ancienne (Données 2002-2009)						
Sidi M'Barek 01_(F1)	-3,06	-2,84	-6,33	0,51	0,01	0,15
Remchi piscine (F2)	-1,21	-0,99	-4,33	1,32	0,53	0,67
Bentayeb (F3)	-2,21	-1,99	-6,22	0,83	0,24	0,38
Sidi M'Barek 02 (F4)	-1,71	-1,49	-6,38	0,41	0	0,14
Remchi (F5)	-1,62	-1,4	-4,91	0,78	0,12	0,27
Berrached (F6)	-1,22	-1	-4,61	2,18	0,87	1,01
Sebâa Chioukh (F7)	-1,31	-1,09	-4,88	0,29	-0,07	0,07
El Fhoul02 (F8)	-1,88	-1,66	-5,99	0,34	-0,02	0,12
Série récente (Campagne Avril 2019)						
P1	-2,06	-1,84	-5,88	1,08	0,43	0,57
F1	-1,63	-1,41	-4,69	0,91	0,13	0,28
P3	-1,87	-1,65	-5,91	1,38	0,63	0,77
P4	-2,26	-2,04	-6,1	1,05	0,64	0,79
P5	-1,79	-1,57	-5,57	0,95	0,55	0,69
P6	-2,45	-2,23	-6,33	1	0,68	0,82
P8	-3,05	-2,83	-6,23	0,29	0,15	0,29
P9	-1,81	-1,59	-4,96	1,03	0,26	0,4
P10	-1,44	-1,22	-5,28	2,22	0,87	1,02
P11	-1,72	-1,5	-5,39	2,47	0,95	1,1
P12	-1,67	-1,45	-5,6	1,86	0,65	0,8
P15	-1,79	-1,57	-5,59	1,23	0,42	0,56
P16	-2,09	-1,87	-5,52	1,78	0,62	0,77
P17	-2,3	-2,08	-5,66	1,44	0,46	0,6
P18	-1,21	-0,99	-4,82	2,08	0,88	1,02
P20	-2,08	-1,86	-5,57	1,37	0,38	0,52

Les résultats obtenues dans le (Tab. 14 et la Fig. 21 et 22) montrent que :

Globalement, les eaux des forages et puits, sont sous saturées (IS<0), par rapport aux minéraux évaporitiques, et sur saturées (IS>0) en ce qui concerne les minéraux carbonatés.

- **Les minéraux évaporitiques** sont à l'état de sous saturation (IS<0), particulièrement la halite (-6,38<IS<-4,33) , pour les deux aquifères de la région; suivie d'anhydrite et du gypse (Fig. 21 et 22) ; cela est dû à la dissolution plus rapide du sel gemme par rapport aux autres, la dissolution de ces espèces, entraîne un enrichissement de l'eau, en sodium, chlorures, et en sulfate lors de son passage par les dépôts marins (principalement du Miocène) qui couvrent toute la région de Remchi.

- Les **minéraux carbonatés** sont en état de sursaturation pour les trois espèces minérales, notamment la dolomite avec des valeurs supérieures aux autres, (Fig. 21 et 22), ce qui implique des précipitations probables des éléments chimiques qui la composent. Tandis que les eaux des forages F1, F4, F7 et F8 de l'ancienne série de données, se trouvent relativement en équilibre par rapport à l'aragonite et la calcite.

III. APPROCHE STATISTIQUE

1. Statistique descriptive

Le tableau 15 englobe les résultats des analyses descriptives des données chimiques enregistrées pour les deux aquifères étudiés de la plaine de Remchi

Tableau 15 : Résultats de l'analyse statistique descriptive des deux séries de données de la plaine de Remchi

Série ancienne (Données 2002-2009)					
Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
pH	8	7,050	7,770	7,347	0,243
TDS (mg/L)	8	479,660	5016,250	1751,892	1629,414
CE (μ S/cm)	8	670,000	6613,300	2319,141	2139,747
Turb. NTU	8	0,000	581,000	77,468	203,528
Ca ²⁺ (mg/L)	8	60,000	417,600	166,419	127,706
Mg ²⁺ (mg/L)	8	36,000	173,000	95,313	61,112
Na ⁺ (mg/L)	8	108,000	1012,300	421,350	331,466
K ⁺ (mg/L)	8	5,000	16,000	8,614	4,102
Cl ⁻ (mg/L)	8	116,000	2394,670	879,615	852,948
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	8	8,330	373,750	190,323	126,433
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	8	261,000	537,000	367,245	83,752
NO ₃ ⁻ (mg/L)	8	4,000	22,250	10,194	7,039
Série Récente (Campagne Avril 2019)					
Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
T °C	16	18,000	26,200	21,444	2,456
pH	16	7,250	8,210	7,664	0,222
CE (μ S/cm)	16	950,000	5900,000	2675,000	1295,330
TDS (mg/L)	16	720,610	4475,400	2025,161	984,552
Ca ²⁺ (mg/L)	16	40,000	229,000	132,950	55,564
Mg ²⁺ (mg/L)	16	9,120	148,560	71,490	46,398
Na ⁺ (mg/L)	16	92,000	782,000	320,160	188,133
K ⁺ (mg/L)	16	0,000	21,450	7,459	5,164
Cl ⁻ (mg/L)	16	192,500	1225,000	508,375	335,206
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	16	9,600	371,520	116,520	94,663
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	16	91,500	688,690	431,003	190,478
NO ₃ ⁻ (mg/L)	16	0,000	269,700	92,535	77,599

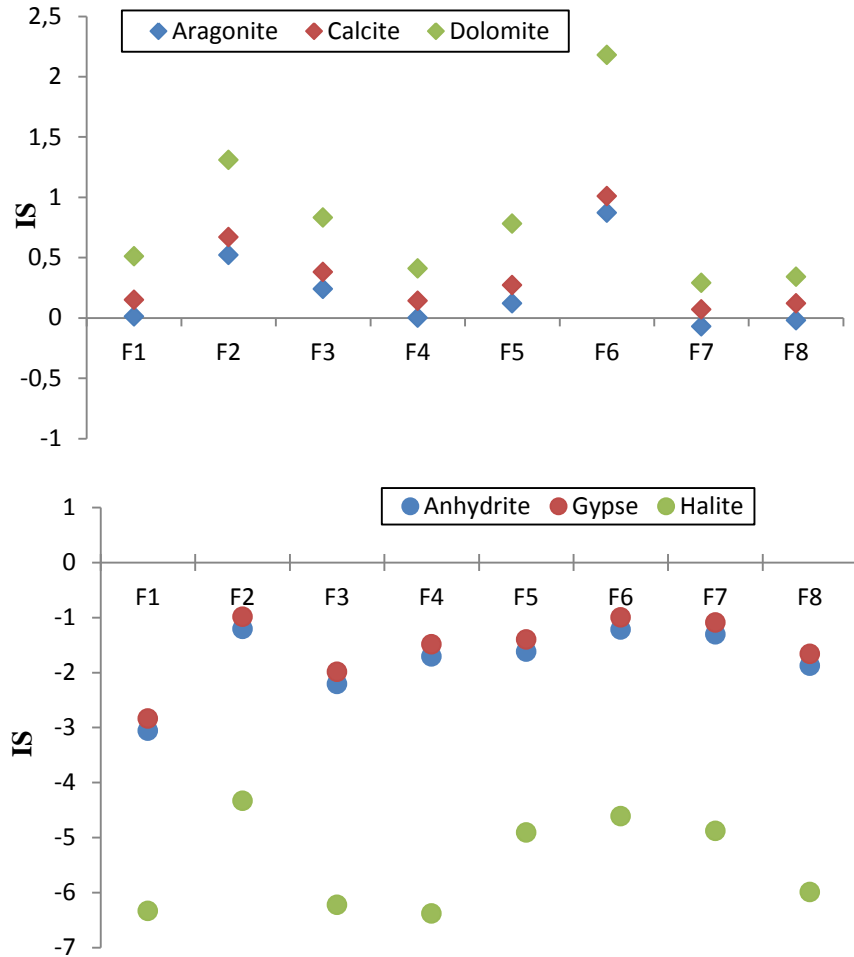


Figure 21 : Variations des valeurs de l'indice de saturation des minéraux évaporitiques et carbonatés de la série ancienne (2002 -2009).

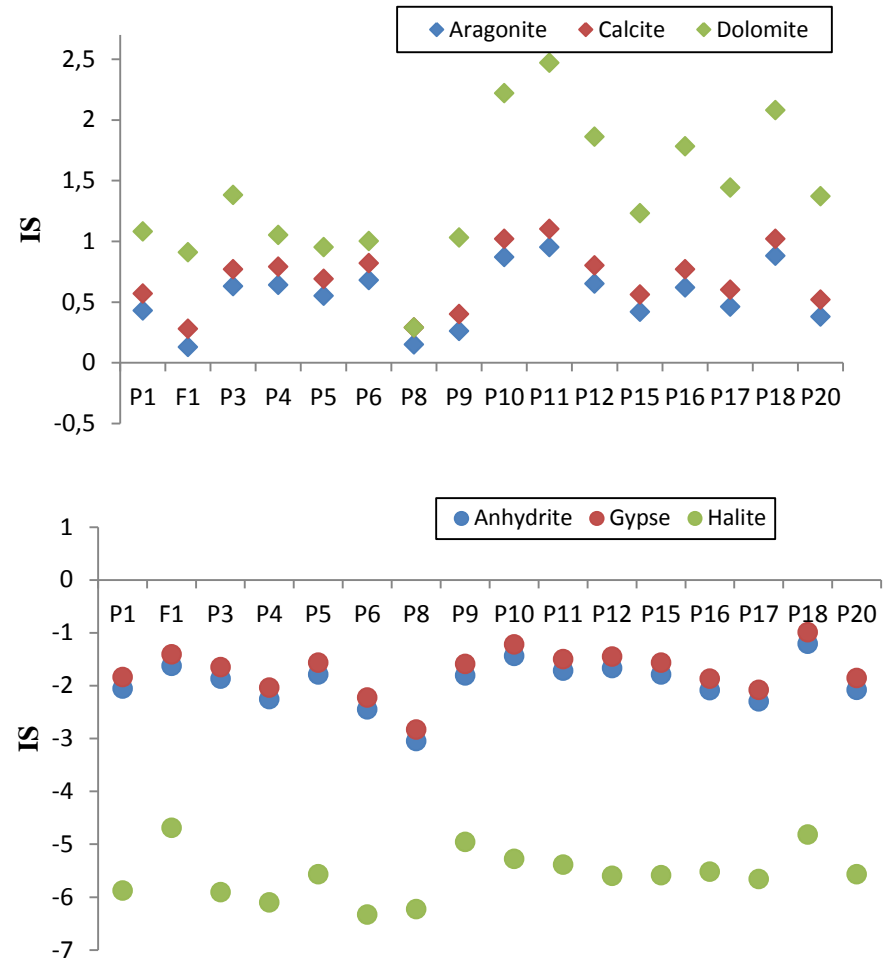


Figure 22 : Variations des valeurs de l'indice de saturation des minéraux évaporitiques et carbonatés de la série récente (campagne d'Avril 2019)

Les résumés statistiques des paramètres physicochimiques et chimiques des eaux souterraines de la plaine de Remchi durant les deux périodes, sont représentés sur le tableau 15.

En termes de concentration, les paramètres analysés sont très variables, par rapport à l'échelle spatiale de notre zone d'étude.

En général, les valeurs minimales, maximales, et moyennes des paramètres mesurés ont de grandes similitudes entre les deux séries (Celles des données des forages 2002-2009, et de la nouvelle campagne d'Avril 2019), excepté, les nitrates qui affichent des valeurs très importantes dans la dernière (moy.=92,53 mg/L (Série Récente), et 10,19 mg/L (Série Ancienne), ce qui pourrait s'expliquer, par une vulnérabilité plus importante de l'aquifère alluviale Plio-quadernaire à la pollution de surface par rapport à l'aquifère à nappe captive gréseux Serravalien.

2. Corrélations entre variables chimiques

1.1. Corrélation entre les cations et les anions

Pour l'interprétation, les facteurs de corrélation entre les bi-variables supérieurs à 0,7 sont considérés comme bons et satisfaisants, et ceux inférieurs à 0.3 sont insignifiants (Shaug et al. 1990, Nowak 1998)

La liaison linéaire entre les éléments dosés (Cations et Anions) observée sur la figure 23.a et b, est très importante, avec un coefficient de corrélation de $r = 0,9$ pour les deux séries de données, par conséquent, nous considérons que les analyses sont bonnes et aptes pour traitement statistique.

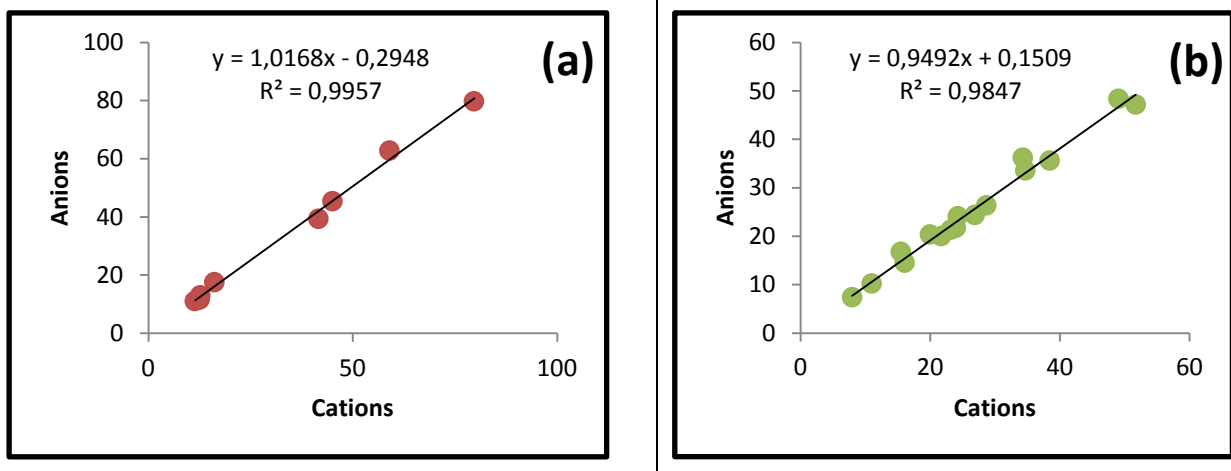


Figure 23: Corrélation entre les cations et les anions : (a) série ancienne (2002-2009), (b) série récente (Avril 2019)

2.2. Matrice des corrélations (Pearson (n))

Afin de décrire les interrelations entre les paramètres étudiés et essayer de distinguer leurs sources, plusieurs coefficients de corrélation ont été calculés entre les 11 variables disponibles pour chaque série de données chimiques

D'après les coefficients de corrélation du tableau 16 et 17, nous remarquons que les eaux souterraines de la zone d'étude, présentent les caractéristiques suivantes :

Pour la série ancienne (Données chimiques des forages datés de 2002-2009)

- Les valeurs de coefficient de corrélation varient entre -0,402 jusqu'à 0,998;
- Les matrices de corrélation fortes à bonnes entre les ions (Na^+ , K^+ , Cl^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} et SO_4^{2-} et NO_3^-) sont positive, c'est-à-dire que les variables varient dans le même sens ;
- Les très fortes corrélations ($r > 0,9$) sont entre Cl^- et les éléments Na^+ , Ca^{2+} , et Mg^{2+} ;
- Les corrélations satisfaisantes ($0,7 < r < 0,8$) sont entre la conductivité (CE), et la turbidité (Turb.), ainsi qu'avec Ca^{2+} , Na^+ , K^+ et Cl^- .
- Et les mauvaises corrélations sont observées entre pH et les autres paramètres, sauf pour le pH et NO_3^- qui ont une corrélation moyenne (0,574) ; et entre les HCO_3^- et le reste des paramètres qui affichent des corrélations négatives et inférieures à 3.

Tableau 16 : Matrice des corrélations des variables chimiques de l'ancienne série (2002-2009)

Variables	pH	CE	Turb.	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-
pH	1										
CE	-0,402	1									
Turb.	0,028	0,809	1								
Ca^{2+}	0,126	0,795	0,785	1							
Mg^{2+}	0,116	0,661	0,501	0,921	1						
Na^+	0,131	0,762	0,711	0,986	0,960	1					
K^+	0,020	0,793	0,721	0,829	0,797	0,870	1				
Cl^-	0,145	0,759	0,707	0,988	0,964	0,998	0,862	1			
SO_4^{2-}	0,179	0,406	0,293	0,747	0,837	0,784	0,467	0,771	1		
HCO_3^-	-0,058	-0,378	-0,253	-0,294	-0,241	-0,219	-0,109	-0,257	-0,208	1	
NO_3^-	0,574	0,344	0,571	0,830	0,767	0,822	0,546	0,821	0,789	-0,121	1

Pour la série récente (Données chimiques des puits et forages de la campagne d'Avril 2019)

- Les valeurs de coefficient de corrélation varient entre -0,681 jusqu'à 0,957;
- Les très fortes corrélations positives, sont deux à deux entre Conductivité électrique (CE) et Na^+ , Cl^- ;
- Les bonne corrélations sont affichées entre CE, Mg^{2+} , SO_4^{2-}
- Des corrélations moins significatives (moyennes corrélées) négatives sont observées entre le pH, Température (T), CE et Na^+ et moyennes positives entre ($\text{HCO}_3^-/\text{Mg}^{2+}$) et ($\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$).

Tableau 17 : Matrice des corrélations des variables chimiques de la série récente

Variables	T C°	PH	CE	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
T	1										
pH	-0,681	1									
CE	0,453	-0,552	1								
Na^+	0,553	-0,516	0,957	1							
K^+	0,059	-0,116	0,134	0,197	1						
Ca^{2+}	-0,151	-0,192	0,436	0,250	-0,144	1					
Mg^{2+}	0,387	-0,484	0,783	0,680	0,338	0,466	1				
Cl^-	0,286	-0,342	0,934	0,904	0,219	0,435	0,707	1			
NO_3^-	-0,143	-0,149	-0,159	-0,238	-0,109	0,482	-0,154	-0,268	1		
SO_4^{2-}	0,384	-0,344	0,878	0,839	0,093	0,552	0,771	0,812	-0,054	1	

HCO ₃ ⁻	0,579	-0,537	0,320	0,307	0,315	0,124	0,661	0,085	0,075	0,404	1
-------------------------------	-------	--------	-------	-------	-------	-------	--------------	-------	-------	-------	----------

2.3. Analyse des graphiques

L'analyse graphique a été établie sur la base de l'utilisation de la classification hiérarchique ascendante (CHA) ainsi que l'analyse en Composantes Principales (ACP). Ces deux méthodes réalisées à partir des valeurs moyennes des paramètres chimiques, des deux séries d'étude, ont permis de classer les points d'eau (Forages et puits) en Groupe. Ce traitement a été fait sous le logiciel XLSTAT 2015.

2.3.1. Calcul des axes de l'ACP

D'après la figure 24 et les tableaux 18.a et 18.b, les composantes principales les plus intéressantes pour observer la distribution des variables (paramètres chimiques) et des individus (points d'eau) sont réalisées suivant les plans factoriels F1-F2

Pour l'ancienne série des données des forages de la plaine de Remchi (2002-2009), les deux premiers axes principaux (F1, F2) expriment 80,40% de la variance totale, avec 65,15% pour le premier facteur, et 15,25% pour le deuxième facteur (Fig. 24.a)

Le plan factoriel F1-F2 de la nouvelle campagne d'Avril 2019 (Série récente), expose 64,73% de l'inertie total (soit 49,10% pour F1 et 15,63% pour F2). (Fig.24.b)

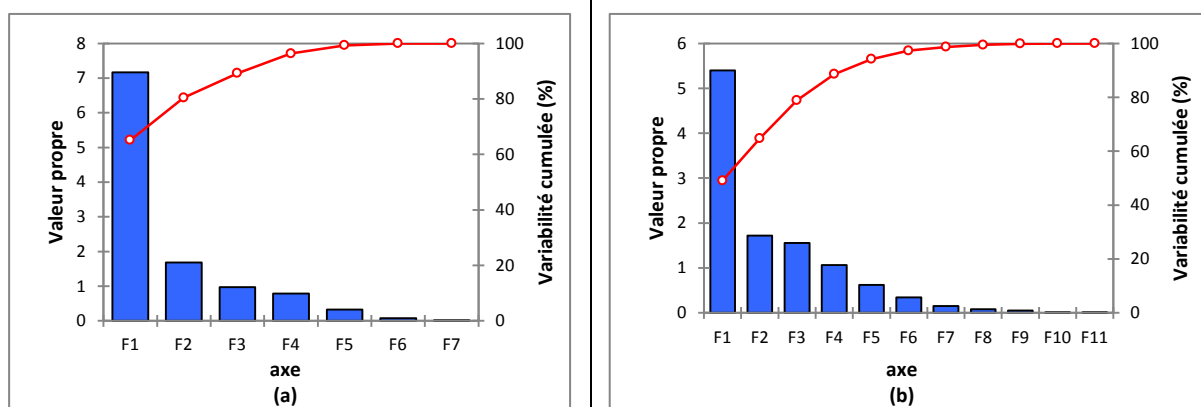


Figure 24: Représentation des valeurs propres des axes et leurs contributions : (a) Série ancienne, (b) Série récente

Tableau 18.a : Corrélation entre les variables et les axes de la série ancienne (2002-2009)

	F1	F2
pH	0,139	-0,879
CE	0,790	0,606
Turb.	0,761	0,284
Ca ²⁺	0,994	0,012
Mg ²⁺	0,938	-0,090
Na ⁺	0,994	-0,025
K ⁺	0,861	0,210
Cl ⁻	0,993	-0,028
SO ₄ ²⁻	0,771	-0,320
HCO ₃ ⁻	-0,299	-0,166
NO ₃ ⁻	0,823	-0,524

Tableau 18.b : Corrélation entre les variables et les axes de la série récente (Avril 2019)

	F1	F2
T C°	0,589	-0,583
PH	-0,641	0,285
CE	0,954	0,145
Na ⁺	0,921	-0,014
K ⁺	0,252	-0,377
Ca ²⁺	0,438	0,785
Mg ²⁺	0,881	0,000
Cl ⁻	0,860	0,240
NO ₃ ⁻	-0,125	0,458
SO ₄ ²⁻	0,893	0,264
HCO ₃ ⁻	0,548	-0,428

2.3.2. Spatialisation des variables et des individus

D'après les tableaux 18.a et b, indiquant les corrélations entre les variables et axes factoriels F1 et F2, deux regroupements peuvent être distingués :

Pour la série ancienne :

Le premier groupement, autour de l'axe factoriel F1, qui prend en compte, pour la série ancienne: Sodium, Chlorure, Magnésium et Calcium, puis à un degré moindre Potassium, Nitrate et Sulfate, et pour la série récente : Conductivité électrique, Sodium suivis par Magnésium, Chlorure et sulfates. Ce regroupement met en évidence une minéralisation de l'eau par le phénomène de dissolution de la roche. Le Facteur F1 définit donc l'axe de minéralisation générale de l'eau.

Le facteur 2 est déterminé principalement par le pH (Négativement corrélés) et CE (Positivement corrélé) pour l'ancienne série et le Calcium (corrélation positive), les Bicarbonate et température (corrélation négative) pour la série récente. Ce regroupement explique que ces paramètres varient dans des sens opposés (Fig. 25 et 27), l'enrichissement implique l'appauvrissement de l'autre dans les eaux souterraines.

Les dendrogrammes issus de la CHA, et la projection des variables et des individus (ACP) des eaux souterraines de la plaine de Remchi, ont donné les regroupements suivants :

Pour la série ancienne (2002-2009), les figures 25 et 26 illustrent 3 principaux groupes :

- Groupe 1 : nommé C1, contient F4, F8, F3, F1 et F6, présentant une minéralisation relativement faible, l'isolement de F6 du groupe (Fig. 25.b) est dû aux concentrations élevées en Sulfates et Nitrates par rapport aux forages du groupe.
- Groupe 2 : nommé C2, F2 localisé au village de Remchi (Fig. 17), ce groupe contient le forage caractérisé par la minéralisation la plus forte.
- Groupe 3 : nommé C3, renferme F5 (Remchi) et F7 (Sebâa Chioukh), centrés sur la figure 25.b, ils sont caractérisés par une minéralisation moyenne.

On ce qui concerne la série récente d'Avril 2019, les groupes observés sont :

- Groupe 1 : nommé C1, il concerne les puits P1, P3, P4, P6 et P8, ce groupe affiche une minéralisation faible (Conductivité électrique de l'ordre de 1500 μ S/cm et un pH basique moyen de 7,8).
- Groupe 2 : nommé C2, constitué de F1 et P18, qui traduisent une très forte minéralisation (CE moyenne de 5325S/cm), surtout par rapport aux concentrations en chlorures, sodium et sulfates, de l'ordre de 1167,775 mg/L (Cl⁻), 715 mg/L (Na⁺) et 230 mg/L (SO₄²⁻)
- Groupe 3 : nommé C3, il contient les puits P5, P11, P12, P15, P16, P17 et P20, qui présentent une minéralisation relativement moyenne (CE moyenne de 2452,85 μ S/cm) mais caractérisés par de fortes teneurs de nitrates (de l'ordre de 110 mg/L).

- Groupe 4 : nommé C4, ne contient que P9 et P10 qui affichent comme pour le C3, une minéralisation moyenne, mais avec de faibles concentrations de Nitrate (une moyenne de 30mg/L)

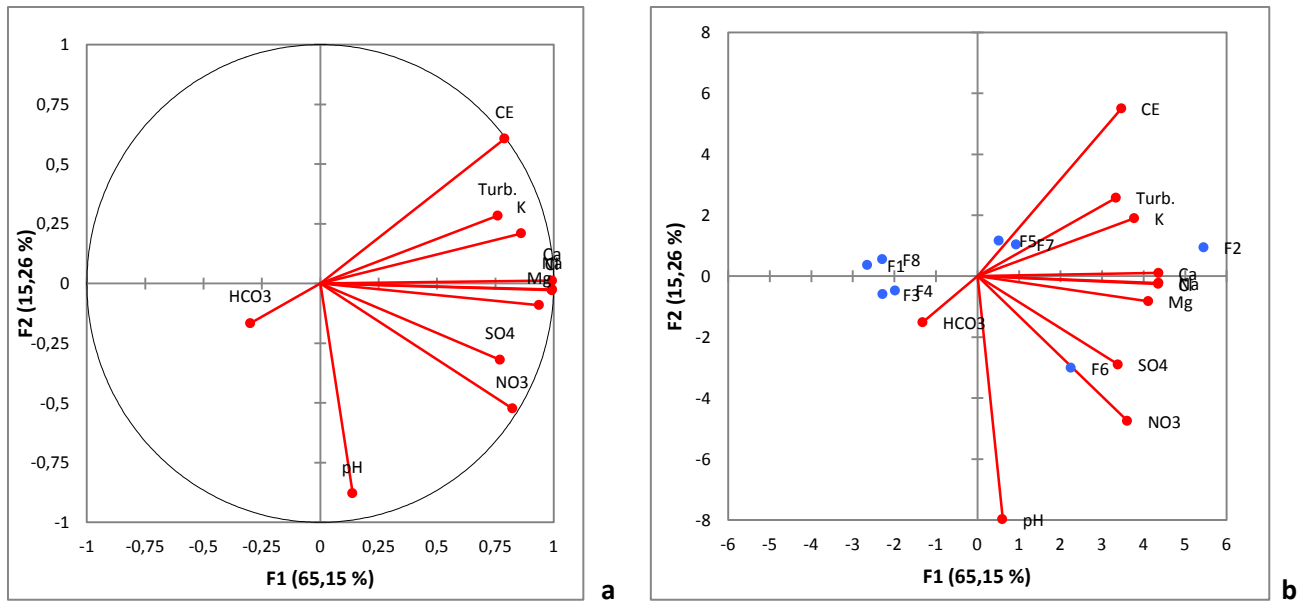


Figure 25: Projection des variables (a) et des individus (b) des eaux souterraines de l'aquifère à nappe captive (Grès Serravalien) de la plaine de Remchi sur le plan factoriel F1-F2

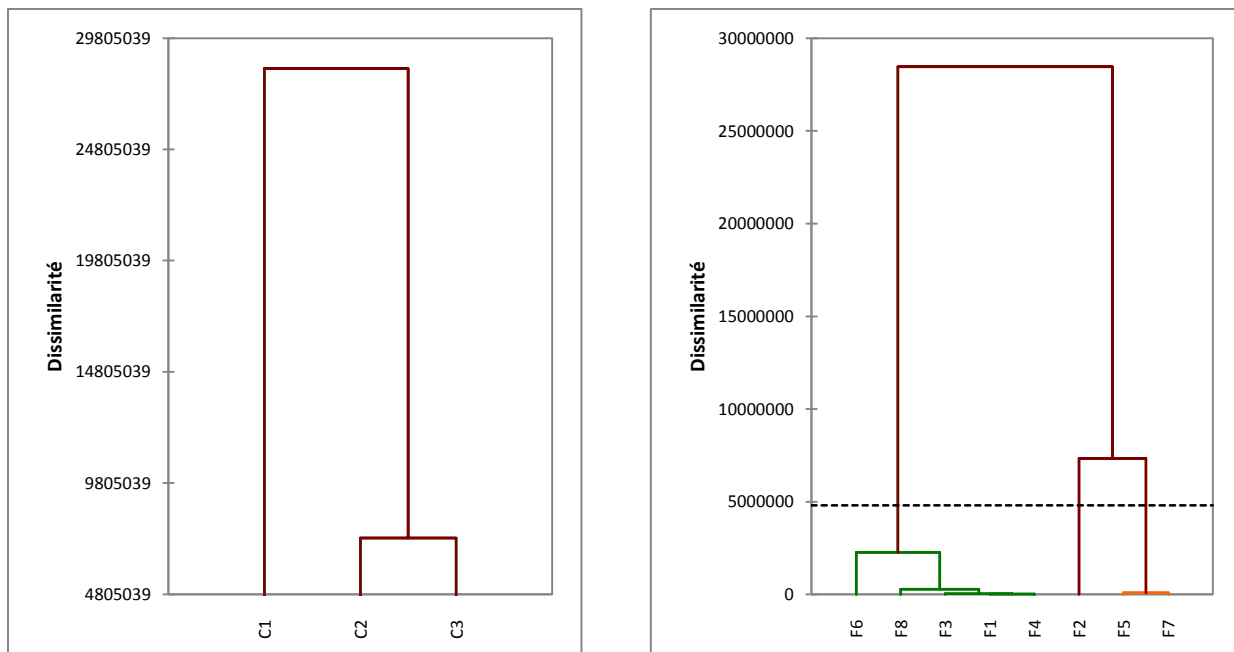


Figure 26: Classification Hiérarchique Ascendante : Dendrogrammes des forages d'eau identifiés de l'aquifère à nappe captive (Grès Serravalien) de la plaine de Remchi

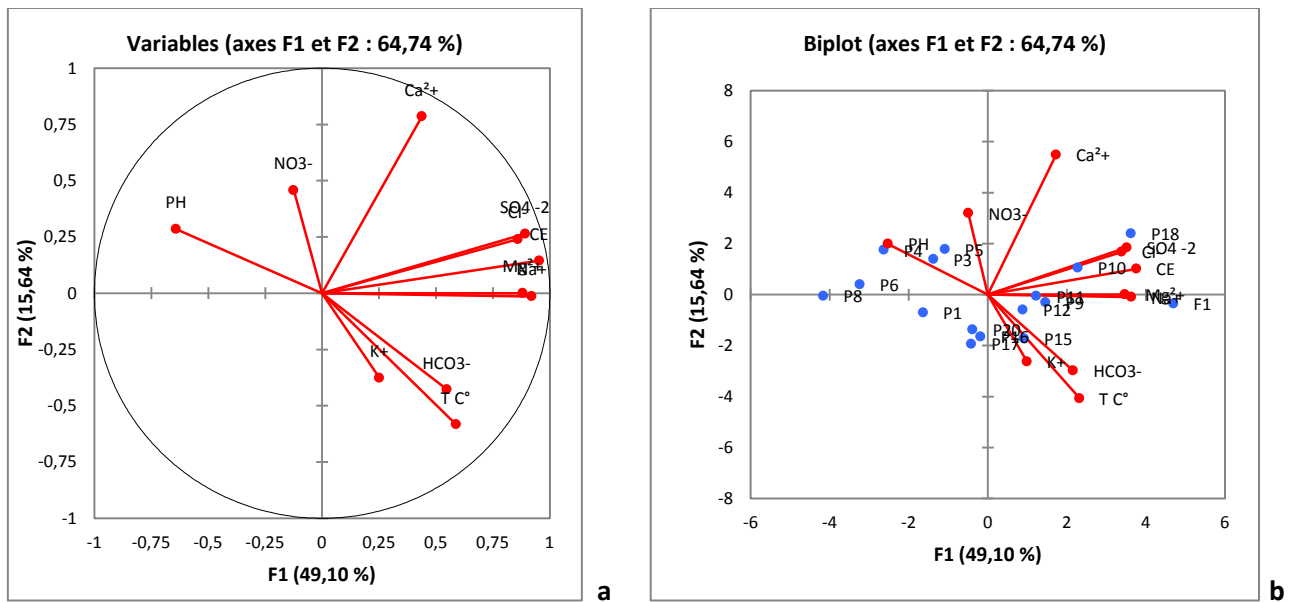


Figure 27: Projection des variables (a) et des individus (b) des eaux souterraines de l'aquifère alluviale (Plio-quadernaire) de la plaine de Remchi sur le plan factoriel F1-F2

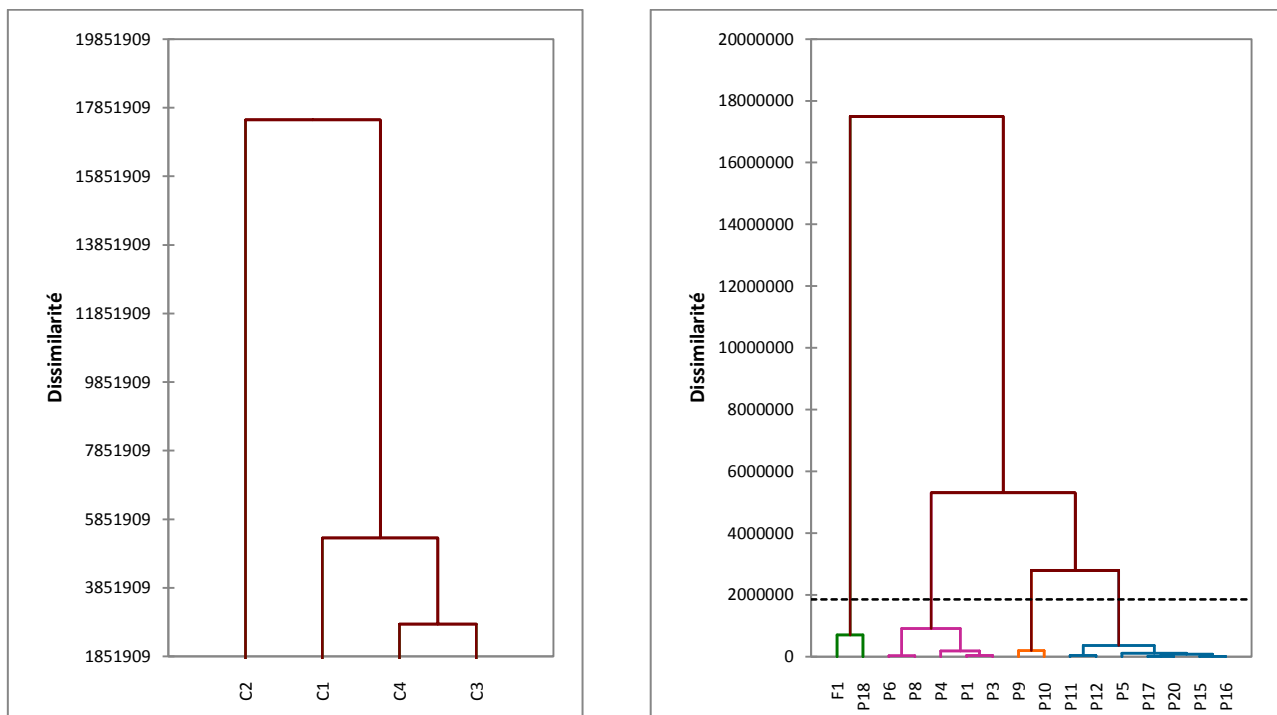


Figure 28: Classification Hiérarchique Ascendante : Dendrogrammes des forages d'eau identifiés des points d'eau (aquifère alluviale) de la plaine de Remchi

IV. QUALITE DES EAUX SOUTERRAINE DE LA REGION DE REMCHI

1. Qualité des eaux souterraines pour la consommation humaine

La qualité de l'eau de consommation humaine est appréciée sur la base des normes de potabilité, définies par la réglementation. Si un des paramètres dépasse la concentration seuil autorisée, il y a absence de conformité aux normes établies.

Les résultats d'analyse physico-chimique et chimique, des eaux souterraines de la plaine de Remchi, de la campagne environnementale d'Avril 2019, ont été comparées, aux normes de potabilité algérienne (JORA 2011), ainsi qu'aux normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS 2017), citées au tableau ci-dessous :

Tableau 19: Normes de potabilité utilisées

Paramètres	JORA 2011	OMS 2017
T (°C)	25	/
pH	6,5-9	6,5-8,5
C.E (µS/cm)	2800	/
TDS (mg/L)	/	dépasse 1000
Ca ²⁺ (mg/L)	/	/
Mg ²⁺ (mg/L)	/	/
Na ⁺ (mg/L)	/	200
K ⁺ (mg/L)	/	/
Cl ⁻ (mg/L)	500	250
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	400	500
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	/	/
NO ₃ ⁻ (mg/L)	50	50

1.1. Paramètres physico-chimiques

1.1.1. Température

L'eau froide est généralement plus appréciée que l'eau chaude et la température aura un impact sur l'acceptabilité d'un certain nombre de constituants inorganiques et de contaminants chimiques qui peuvent affecter le goût. Une température élevée de l'eau stimule la croissance des micro-organismes et peut accroître les problèmes liés au goût, à l'odeur, à la coloration et à la corrosion (OMS 2017).

Les valeurs de la température des eaux de notre région d'étude, sont comprises entre 18 et 26,2°C. Avec cette valeur maximale, seul le puits P15 enregistre une valeur supérieure à la norme fixée par JORA 2011, l'OMS n'affiche aucune valeur limite.

1.1.2. pH

Le potentiel Hydrogène ou pH d'une solution varie en fonction de la concentration en ions (H_3O^+) ou (H^+). Il est lié à la nature des terrains traversés. Dans notre secteur d'étude, les valeurs du pH sont comprises entre 7,25 et 8,21. Ils traduisent donc un pH légèrement basique, la moyenne et l'écart type sont successivement de 7,66 et 0,22 (Tab. 15).

Les valeurs du pH des eaux souterraines du secteur d'étude, se trouvent dans les intervalles de la norme de potabilité fixée par le JORA 2011 (pH entre 6,5-9) et celle de l'OMS, 2017 (fixé entre 6,5-8,5).

1.1.3. Conductivité électrique

C'est une expression numérique de la capacité d'une solution pour transporter un courant électrique, les valeurs de conductivité sont comprises entre 950 $\mu S/cm$ et 5900 $\mu S/cm$.

La plupart des points d'eau (Puits et Forage) de la plaine de Remchi, ont des valeurs inférieures à 2800 $\mu S/cm$ valeurs guide fixée par JORA, sauf pour F1, P18, P9 et P10 qui ont des valeurs supérieures à cette norme. OMS, n'a fixée aucune valeur limite.

1.1.4. TDS et Minéralisation

Le degré de la minéralisation des eaux souterraines est déterminé à partir de la valeur de la conductivité (Tab. 20) :

Tableau 20 : Minéralisation des eaux selon leurs valeurs de conductivité

Conductivité	Minéralisation
Conductivité < 100 $\mu S/cm$	Minéralisation très faible
100 $\mu S/cm$ < Conductivité < 200 $\mu S/cm$	Minéralisation faible
200 $\mu S/cm$ < Conductivité < 333 $\mu S/cm$	Minéralisation moyenne
333 $\mu S/cm$ < Conductivité < 666 $\mu S/cm$	Minéralisation moyenne accentuée
666 $\mu S/cm$ < Conductivité < 1000 $\mu S/cm$	Minéralisation importante
Conductivité > 1000 $\mu S/cm$	Minéralisation élevée

Les valeurs de la conductivité montrent que les eaux souterraines de la plaine de Remchi sont caractérisées par une minéralisation importante ou élevée

Les teneurs de la minéralisation exprimées en Totale matières dissoutes (TDS) sont comprises entre 720,61 mg/L (P8) et 4475,4 mg/L (F1), avec une moyenne et un écart-type, successivement, de 2025,16 mg/L et 984,55 mg/L.

La saveur de l'eau dont le niveau de matières solides totales dissoutes (TDS) est inférieur à environ 600 mg/L est généralement considérée comme bonne ; l'eau de boisson devient significativement et progressivement imbuvable quand les niveaux de TDS dépassent environ 1000 mg/L (OMS 2017) ; de ce fait nous pouvons considérer que les eaux souterraines de notre zone d'étude, sont classées entre mauvaises à imbuvable.

1.2. Paramètres chimiques

1.2.1. Calcium (Ca^{2+}) :

Faisant partie des alcalino-terreux, C'est un élément de la dureté totale, sa dissolution du calcium résulte principalement de l'infiltration des eaux dans les formations carbonatées ou gypseuses (Rodier 2009).

Les valeurs de Ca^{2+} des eaux souterraines sont comprises entre 40mg/L (P8) et 229mg/L (P18). Aucune valeur limite n'est fixée pour cet élément.

1.2.2. Magnésium (Mg^{2+})

Métal alcalino-terreux aussi, ces ions résultent principalement de la dissolution des roches magnésiennes du gypse et des minéraux ferromagnésiens et surtout de la mise en solution des dolomies et des calcaires dolomitiques.

Les teneurs en magnésium sont de l'ordre de 9,12 mg/L (P8) et 148,5 mg/ (P11), avec une moyenne de 71,49 mg/L et un écart-type de 46,36. Pas de valeur seuil recommandée par la réglementation de potabilité (Tab. 19).

1.2.3. Sodium (Na^+)

À température ambiante, le seuil moyen de détection par le goût, pour le sodium est d'environ 200 mg/L. Aucune valeur guide reposant sur des arguments sanitaires n'a été déterminée (OMS 2017). Les concentrations de Na^+ varient entre 92 mg/L (P6) et 782 mg/L (F1) ; nous laissons conclure que mise à part 5 puits (P1, P3, P4, P6 et P8) qui enregistrent des concentrations inférieures à la valeur guide, tous les autres points d'eau, doivent avoir un goût prononcé.

1.2.4. Potassium (K^+)

Le potassium est un élément essentiel pour l'homme et l'apport quotidien recommandé est supérieur à 3000 mg. (OMS 2017)

Les eaux des puits et forages de notre zone d'étude, sont caractérisées par une concentration minimale nulle (P10) et une valeur maximale égale à 21,45mg/L (P11), avec une moyenne de 7,45 et un écart-type de 5,16. Ces valeurs restent faibles et ne présentent aucun risque pour la santé humaine.

1.2.5. Chlorure (Cl^-)

Les valeurs des concentrations des chlorures sont comprises entre 192,5 mg/L (P8) et 1225 mg/L (F1) et dépassant ainsi 500 mg/L fixés par JORA 2011, dans 5 points d'eau (F1, P9, P10, P11 et P18). Pas de valeur n'est recommandée par OMS, à part le goût à partir de 250 mg/L.

1.2.6. Sulfates (SO_4^{2-})

Les normes algériennes de potabilité et l'OMS, fixent les valeurs respectives de 400 mg/L et 500 mg/L comme concentrations limites pour cet élément. Avec des teneurs comprises entre 9,6 mg/L et 371,5 mg/L, tous les puits et forages respectent ces limites.

1.2.7. Bicarbonates (HCO_3^-)

Les valeurs des concentrations en bicarbonate varient entre 91,5 mg/L (P8) et 688,6 mg/L (P11) avec une moyenne de 431 mg/L et un écart-type de 190,47.

Aucune valeur guide n'est présente sur JORA 2011 et OMS 2017 pour les Bicarbonates (HCO_3^-).

1.2.8. Nitrates (NO_3^-)

Les taux de concentrations de nitrate varient entre 0 mg/L (P9) et 269,7 mg/L (P3), 11 points d'eau sur 16, soit 68,75% des points d'eaux, ont une concentration en nitrate supérieure aux normes algériennes et celle de l'OMS (2017) fixée à 50 mg/L.

2. Qualité des eaux à des fins d'irrigation

2.1. Recommandations de la qualité des eaux d'irrigation (FAO)

Le report des résultats des paramètres chimiques, sur le tableau de classification de la qualité des eaux d'irrigation selon le FAO (Tab. 21), indique que :

- Du point de vue salinité, 10 puits sont classés dans la classe problème faible à modérée pour l'irrigation, le reste des points d'eau sont classée dans la case à problèmes sévères pour l'irrigation.
- Pour l'infiltration, relative aux valeurs du SAR (Calculées) en fonction de la conductivité, la majorité des points d'eau, présentent des problèmes sévères pour l'irrigation, à l'exception de P3, P4, P6 et P10 qui ont des problèmes faibles à modérés
- Concernant les ions toxiques spécifiques (Sodium et Chlorures), les points d'eau sont divisés entre les deux catégories, (problèmes sévères pour l'irrigation et problèmes faibles à modérés).
- Tandis que pour les différents effets sur les cultures sensibles, globalement les eaux souterraines de la plaine de Remchi, présentent des problèmes sévères pour l'irrigation, sauf au niveau de F1-P6-P8 et P9 qui se classent dans la case faible à modéré pour les problèmes liés aux nitrates, inversement pour les bicarbonates, les points d'eau partagent les deux catégories : Faible à modéré et Sévère. Les eaux souterraines de la région appartiennent au rang des pH normal.

Tableau 21 : Principales Directives de la qualité des eaux irrigation FAO (Ayers et Westcot 1985)

Problèmes potentiels d'irrigation	paramètre	aucun	Faible à Modéré	Sévère (important)
Salinité	TDS (mg/L)		P1-P3-P4-P5-P6-P8-P15-P16-P17-P20	F1-P9-P10-P11-P12-P18
	CE (Ds/m)		P1-P3- P4-P5-P6-P8-P11-P12-P15-P16-P17-P20	F1- P9-P10-P18
Infiltration	SAR et CE		P3-P4-P6-P10	P1-F1-P5-P8-P9-P11-P12-P15-P16-P17-P18-P20

Toxicité ionique spécifique	Na⁺ (meq/L)		P1-P3-P4-P6-P8	F1-P5-P9-P10-P11-P12-P15-P16-P17-P18-P20
	Cl⁻ (meq/L)		P1-P3-P4-P6-P8-P15-P16-P17-P20	F1-P5-P9-P10-P11-P12- P18
Effet divers	NO₃⁻ (mg/L)		F1-P6-P8-P9	P1-P3-P4-P5-P10-P11-P12-P15-P16-P17-P18-P20
	HCO₃⁻ (meq/L)		P1-F1-P3-P4-P5-P6-P8-P9-P18-P20	P10-P11-P12-P15-P16-P17
	pH	Tous		

2.2. Quelques indices d'irrigation

2.2.1. Kelly's Ratio (KR)

D'après la figure 29 et le tableau 22, nous remarquons que plus que la moitié des points d'eau ont des valeurs de KR supérieures à 1, indiquant une mauvaise qualité pour l'irrigation, le reste (P3, P4, P6, P10 et P11) affichent des valeurs inférieure à 1, traduisant une bonne qualité pour l'irrigation (Annexe III).

Tableau 22 : les résultats de L'indice Kelly's Ratio (KR)

	KR>1	KR<1
Points d'eau	P1-F1-P5-P8-P9-P12-P15-P16-P17-P18-P20	P3-P4-P6-P10-P11

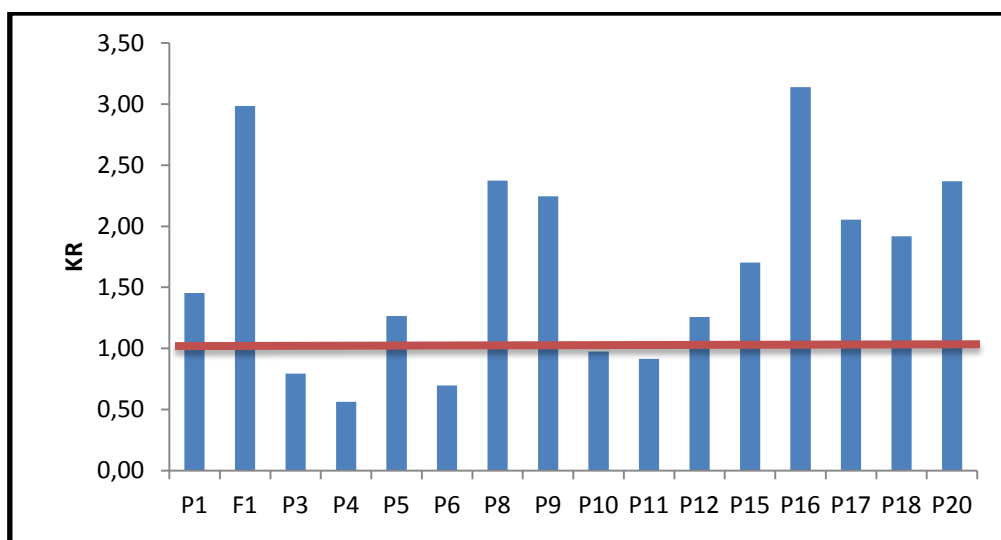


Figure 29 : Variation de l'indice Kelly's Ratio

1.2.1 Pourcentage de Sodium (% Na⁺) et classification des eaux par la méthode Wilcox

a. Pourcentage de Sodium (% Na⁺)

D'après le tableau 23 et la figure 30, la plupart des points d'eau font partie de la classe IV (Médiocre), excepté P3, P5, P6, P10, P11 et P12, qui occupent la classe III (Admissible) et seul P4 est placé en classe II (Bonne) (Annexe III).

Tableau 23 : Classification des eaux d'irrigation selon le %Na

paramètre	Classe I Très bonne	Classe II Bonne	Classe III Admissible	Classe IV Médiocre	Classe V mauvaise
%Na	<20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	>80
Points d'eau	/	P4	P3-P5-P6-P10-P11-P12	P1-F1-P8-P9-P15-P16-P17-P18-P20	/

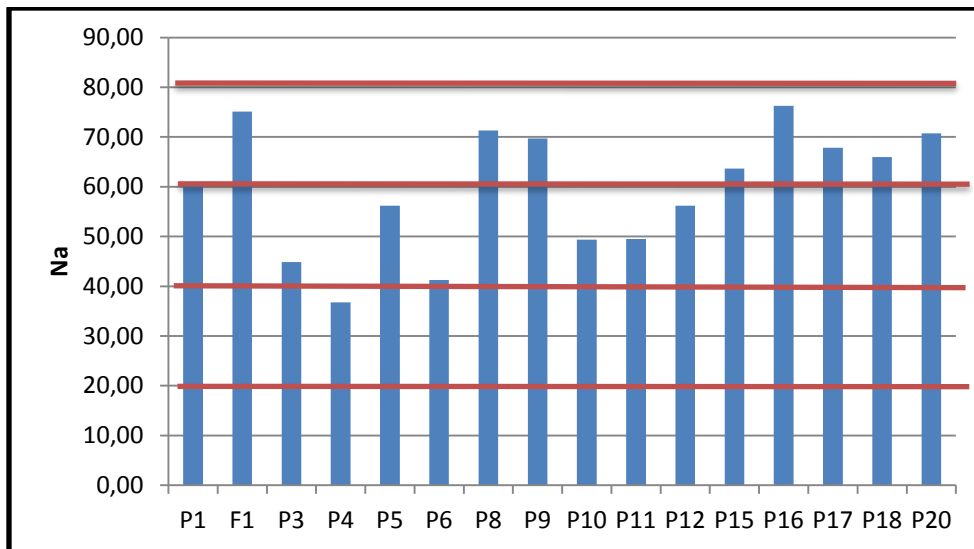


Figure 30 : Variation du Pourcentage en Sodium

b. Classification des eaux selon Wilcox

Le report des valeurs du pourcentage en Sodium en fonction de celles de la conductivité sur le diagramme de Wilcox (Fig. 31) permet de voir une autre classification des eaux souterraines concernant leur aptitude à l'irrigation.

Le diagramme montre que les points d'eau de la plaine de Remchi sont réparties sur les quatre classes : bonne, admissible, médiocre et mauvaise.

Nous pouvons les classer comme suit :

- La classe **BONNE**: cette classe regroupe deux points d'eau (P4 et P6), elle représente des eaux faiblement minéralisées. On les retrouve, au Nord-Est de la région de Remchi.
- La classe **ADMISSIBLE** : Avec deux points d'eau (P1 et P8), elle représente des eaux moyennement minéralisées.
- La classe **MÉDIOCRE** : Les points d'eau (P3-P5-P11-P12-P15-P16-P17 et P20) font partie de cette classe, leurs eaux sont, plus minéralisées que celles de la classe précédente. On les retrouve, au Nord Est et au centre de la région d'étude.
- La classe **MAUVAISE** : comporte quatre points d'eau (F1, P9, P10 et P18) Avec des valeurs supérieures à $3500\mu\text{S}/\text{cm}$, leurs eaux sont très minéralisées.

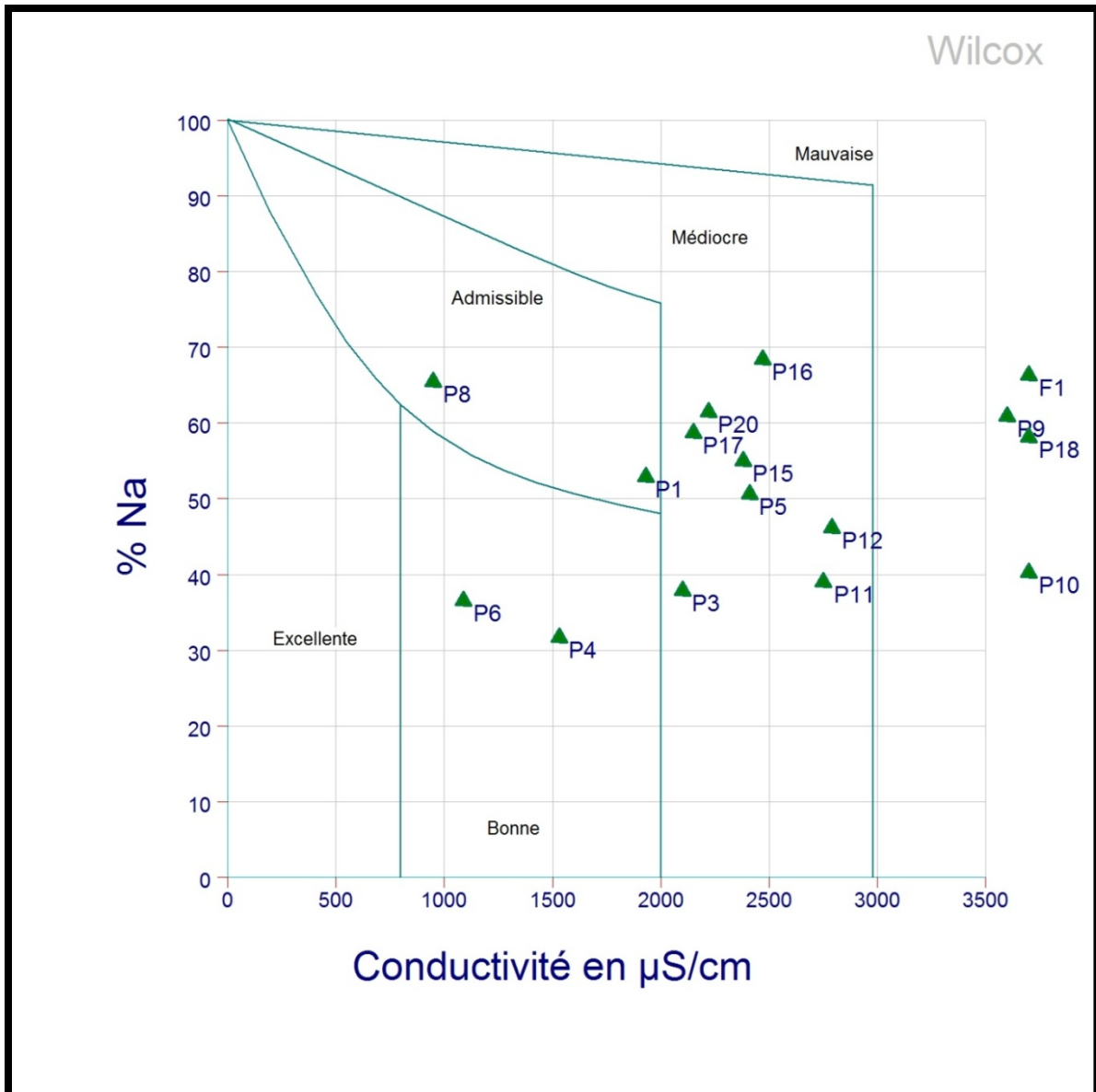


Figure 31 : Classification des eaux par le Diagramme de Wilcox

1.2.2 Sodium Absorption Ratio (SAR) ou Pouvoir Alcalinisant

La classification des eaux d’irrigation est présentée sur le tableau ci-dessous :

Tableau 24: Classification des eaux d’irrigation selon le SAR

SAR	$\text{SAR} < 10$	$10 < \text{SAR} < 18$	$18 < \text{SAR} < 26$	$\text{SAR} > 26$
Description	Eaux excellent (eaux utilisées avec peu de Danger d’alcalinisation des sols)	Eaux médiocres (eaux présentant un danger d’alcalinisation très fort)	Eaux convenables (eaux pouvant provoquer un danger d’alcalinisation)	Eaux médiocres (eaux présentant un danger d’alcalinisation très fort)

Points d'eau		P3-P4-P6	P1-P8-P11	F1-P5-P9-P10- P12-P15-P16- P17-P18-P20
--------------	--	----------	-----------	--

D'après la classification du Sodium Absorption Ratio (Fig. 32 et Tab. 24), montre, que presque tous les points d'eau ont des valeurs supérieures à 26, qualifiant leurs eaux sont médiocres présentant un danger d'alcalinisation très forte, suivis de P1, P8 et P11 (Annexe III), se classent dans la catégorie convenable, seul P3, P4 et P6, se casent en groupe des eaux médiocres (eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort).

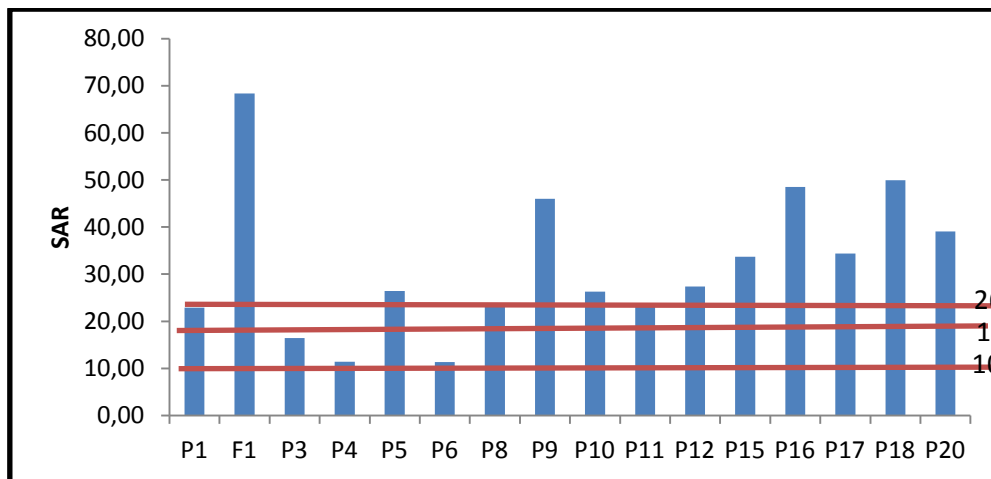


Figure 32 : Classification du Sodium Absorption Ratio (SAR)

Le report des valeurs du SAR en fonction de la conductivité (Salinité-Sodicité) expose la présence de trois catégories des eaux souterraines quant à leurs utilisations à des fins d'irrigation. (Tab. 25 et Fig. 33) Ce sont :

- La première catégorie concerne la classe C3-S1 et C3-S2, de qualité Admissible, comprenant (P1, P3, P4, P6, P8, P17 et P20) dans cette catégorie, jugée comme une eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, et sur des sols bien drainés.
- La deuxième catégorie correspondant aux classes C4-S2 et C3-S3, de qualité médiocre, comprenant (P5, P10, P11, P12, P15, P16), Leurs eaux sont fortement minéralisées.
- La troisième catégorie concerne la classe C4-S3, de qualité mauvaise, comprenant (F1, P9 et P18), dans cette catégorie, leurs eaux sont très minéralisées.

Tableau 25 : Classification des eaux selon le diagramme de Richards.

Degrés	Qualité	Classe	L'état d'utilisation	Points d'eau
1	Excellente	C1 – S2	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol.	
2	Bonne	C2 – S1 C2 – S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité.	
3	Admissible	C3 – S1 C3 – S2 C2 – S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée	P1-P3-P4-P6- P8-P17-P20
4	Médiocre	C4 – S1 C4 – S2 C3 – S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols biens drainés et lessivés.	P5-P10-P11- P12-P15-P16
5	Mauvaise	C3 – S4 C4 – S3 C4 – S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisé sous certaines conditions : sol très perméable, bon lessivage et plantes tolérantes très bien au sel	F1-P9-P18

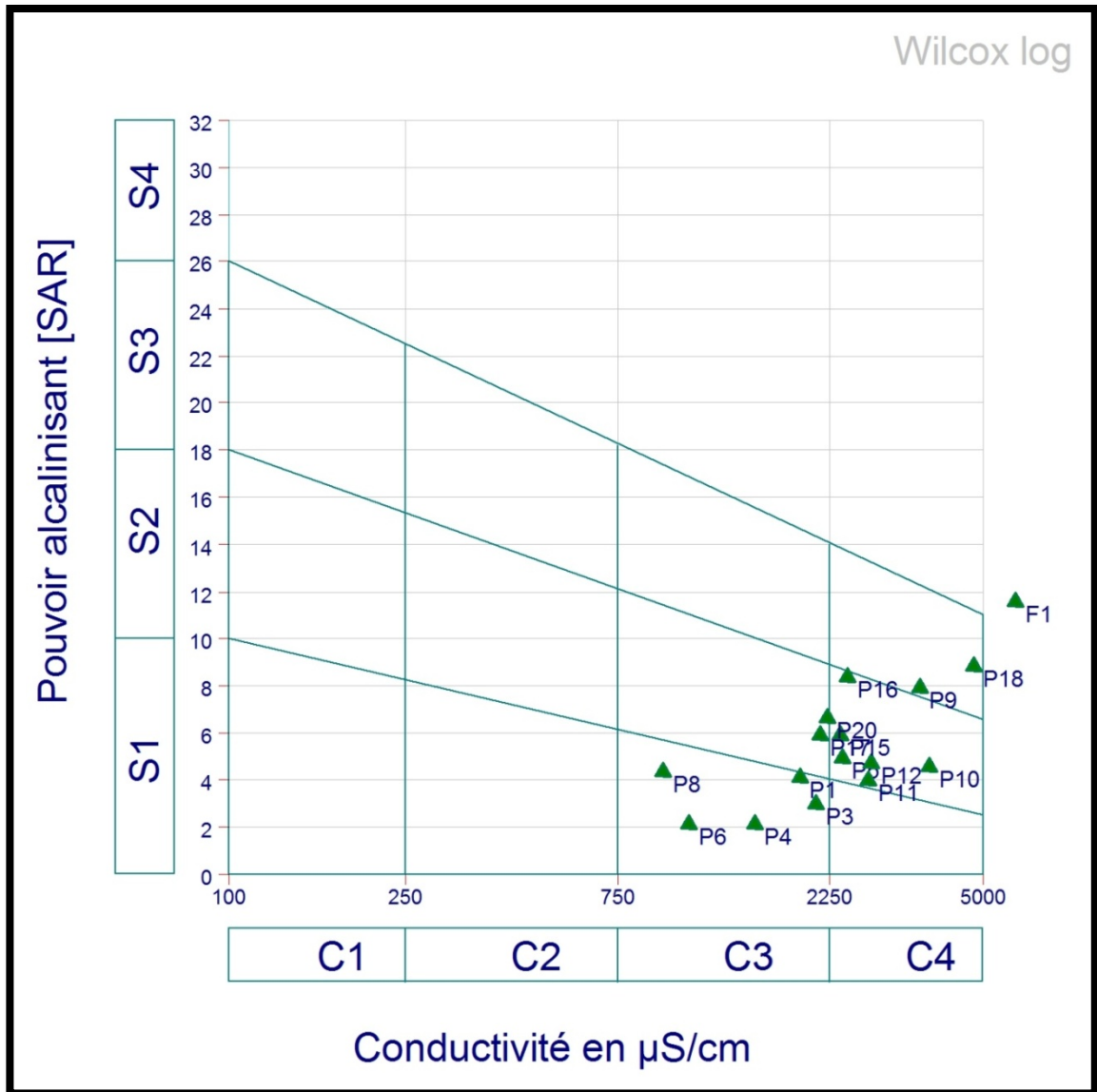


Figure 33 : Diagramme de Richards

V. DISCUSSION

L'étude hydrogéochimique faite sur les eaux souterraines de la plaine de Remchi montre que :

Les faciès hydrogéochimiques des eaux souterraines de la région sont de type Chloruré sodique et calcique et bicarbonaté sodique ;

La classification hydrogéochimique par l'utilisation des indices de saturations des minéraux carbonatés et évaporitiques, à permis de montrer que l'acquisition du chimisme des eaux souterraines de l'aquifère gréseux Serravalien, et de l'aquifère alluviale Plio-Quaternaire, est en grande partie influencée par le passage des eaux dans les dépôts marins principalement marneux et argileux dominants dans la dépression de Remchi.

Les minéraux évaporitiques sont en état de sous saturation, cela est dû, à la dissolution des espèces minérales responsables (Halite, Gypse, Anhydrite), entraînant un enrichissement distingué de l'eau, en sodium, chlorures, puis en sulfates lors de son passage par les formations évaporitiques du Miocène de la région.

Les minéraux carbonatés sont en états de sursaturation, ce qui implique que les eaux souterraines lors de leur passage, à travers les formations carbonatées (calcaire et dolomie) présentes dans les piedmonts de Tlemcen et ainsi à leurs contacts avec les formations argileuses abondantes dans la plaine, des échanges cationiques se sont effectués, les eaux se sont chargées majoritairement en ions calciques, magnésiens, jusqu'à saturation, provoquant leurs précipitations.

Le traitement statistique, porté sur les matrices, les facteurs, et les représentations graphiques par CHA et les cercles de corrélation d'ACP, a confirmé le mode de minéralisation des eaux souterraines de la plaine de Remchi :

Les forages et puits des deux séries de données (2002-2009 et Avril 2019), sont divisés en trois groupes, l'un de très forte minéralisation, caractérisé par de très fortes teneurs en Chlorure, en Sodium et Magnésium, Calcium, confirmant les faciès géochimiques dominants des eaux souterraines, d'où l'hypothèse d'une provenance des lessivages des formations évaporitiques et argileuses abondantes dans la région. Le deuxième groupe est caractérisé par les forages et puits moyennement minéralisés réparties sur l'étendue de la plaine.

Le dernier groupe, faiblement minéralisé, mais caractérisé par des puits contaminés par les éléments indicateurs de pollution (pH, NO_3^- , Température), indiquant une probable pollution d'origine agricole et où domestique dans la plaine de Remchi, et confirmant une vulnérabilité plus importante de l'aquifère alluviale Plio-quadernaire à la pollution de surface par rapport à l'aquifère à nappe captive, gréseux Serravalien.

Du point de vu, potabilité, la campagne environnementale d'Avril 2019, indique que, la plupart des eaux souterraines de la zone d'étude, présentent des teneurs assez élevées en Chlorure, Sodium et en Nitrate, qui dépassent dans largement les valeurs seuils fixées par les normes algériennes de potabilité (JORA 2011) et celles de l'organisation mondiale de la santé (OMS 2017).

Pour l'usage agricole, le calcul de plusieurs indices (KR, Na, Diagramme de Wilcox, de Richard, et le SAR,) explique que les points d'eau de la région d'étude, se classent dans les catégories bonne, admissible, médiocre, à mauvaise pour l'irrigation.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

A l'achèvement de ce travail, qui a pour objectif d'évaluer la qualité des eaux souterraines de la plaine de Remchi, par l'utilisation de quelques méthodes hydrogéochimiques, il convient de faire un récapitulatif des principaux résultats obtenus :

La région de Remchi se situe à 25 km au nord de la wilaya de Tlemcen, elle se trouve au pied de deux zones montagneuses Traras orientaux et Sebâa Chioukh, et s'étend sur une superficie de 3600 Hectare. Comprises entre 100 m et 350m d'altitude, elle est constituée des plaines et des plateaux intérieurs entaillés par les cours d'eau de la Tafna et de l'Oued Isser.

Elle est caractérisée par un climat de type semi-aride. Sur une chronique de 36 ans s'étalant de 1982 à 2018, la température moyenne interannuelle est de 18,3°C et des précipitations interannuelles de 385,56 mm. Le bilan hydrique donne une valeur de l'évapotranspiration réelle égale à 379,65 mm. Cette valeur équivalente à celle des précipitations, nous laisse conclure que le bilan de cette période est faiblement déficitaire.

L'étude hydrogéochimique et qualitative les eaux souterraines de la plaine de Remchi a été faite par l'utilisation de deux séries de données appelées :

- Série ancienne : qui contient des données chimiques analysées en période d'exploration de forages implantés dans la région, entre la période 2002 à 2009.
- Et Série récente : inclue une campagne environnementale effectuée en Avril 2019, sur les forages et puits du secteur d'étude.

Le traitement de ces bulletins chimiques démontre que :

Les faciès hydrogéochimiques des eaux souterraines de la région sont de type Chloruré sodique et calcique et bicarbonaté sodique ;

L'acquisition du chimisme des eaux souterraines de l'aquifère gréseux Serravalien à nappe captive, et de l'aquifère alluviale Plio-Quaternaire, est en grande partie influencée par le passage des eaux dans les dépôts principalement marneux et argileux dominants dans la dépression de Remchi.

L'approche statistique, par l'utilisation des matrices, des indices factoriels, et les représentations graphiques par CHA et les cercles de corrélation d'ACP, a confirmé le mode de minéralisation des eaux souterraines de la plaine de Remchi :

De part leurs minéralisations et concentrations en sels dissous, trois grands groupes, sont affichés : le premier caractérisé par une forte minéralisation, très riches en sels (Chlorure, en Sodium) et en éléments alcalino-terreux, confirmant les faciès géochimiques dominants des eaux souterraines, d'où l'hypothèse d'une provenance des lessivages des formations évaporitiques et argileuses abondantes dans la région. Le deuxième moyennement minéralisé, et le dernier groupe, faiblement minéralisé, mais caractérisé par des puits contaminés surtout par les nitrates (valeurs atteignant les 269,7mg/L), indiquant une pollution soit domestique ou agricole dans la région d'étude.

L'étude qualitative des eaux souterraines de la plaine de Remchi, indique que, la plupart des eaux souterraines de la zone d'étude, ont une minéralisation élevée avec une moyenne de 2025,16 mg/L, elles est due aux fortes teneurs en Chlorure (Min= 192,5 mg/L et Max=1225mg/L), en Sodium (valeurs comprises entre 92 et 782 mg/L) et en Nitrate (concentrations moyenne de 92,535 mg/L), qui dépassent largement les valeurs seuils fixées par les normes algériennes de potabilité (JORA 2011) et celles de l'organisation mondiale de la santé (OMS 2017).

CONCLUSION GENERALE

Pour l'usage agricole, le calcul de plusieurs indices (KR, Na, Diagramme de Wilcox, de Richard, et le SAR,) explique que les points d'eau de la région d'étude, se classent dans les catégories bonne, admissible, médiocre, à mauvaise pour l'irrigation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Achour S., 2001. Incidence des procédés de chloration de floculation et d'adsorption sur l'évolution de composés organiques et minéraux des eaux naturelles. Th. Doc. Univ. Tizi-Ouzou.

A.D.E Unité de Tlemcen : les fiches techniques des forages

Adiaffi B., 2008. Apport de la géochimie isotopique de l'hydrochimie et de la télédétection à la connaissance des aquifères de la zone de contact (socle-bassin sédimentaire) du Sud Est de la cote d'ivoire. Th. Doc. Science de la Terre. Univ. Paris. France. 126p.

Aidouni A., Cherrat A., 2008. Etude hydrogéologique et hydrochimique des eaux thermales de la région de Remchi. Mém. Master. Univ. Tlemcen. Algérie.

Albinet A., 1963. La pollution des eaux souterraines, Etude Documentaire, Paris. p2

A.N.R.H Unité de Tlemcen : résultat des anciennes analyses

Ayers RS., Westcot DW. 1985. Water quality for agriculture, FAO Irrigation and Drainage. Rev I, Rome, Italy, 29p

Aziz H., 2014. Application de quelques traitements statistiques aux données hydrochimique de la nappe alluviale du fossé de Sebdu (Nord-Ouest de l'Algérie). Mém. Master. Univ. Tlemcen. Algérie. 101p.

Benfdal F., 2015. Etude Hydrogéochimique des eaux souterraines de la Région de Remtha (Asla)-Ain Sefra (Ouest -Algérien) : Application de quelques méthodes de traitement statistique, Mém. Master, Univ. Tlemcen, Algérie. 83p.

Bensaoula F., 2006. Karstification, Hydrogéologie et vulnérabilité des eaux karstique, mise en point d'outils pour leur protection (Application aux Monts de Tlemcen .Ouest oranais). Th. doc. Univ. Tlemcen. Algérie.

Bensedjad A., 2011: Aptitude des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbas à des fins d'irrigation. Mém. Ing. Univ. Tlemcen, Algérie. p23-45.

Benyazza A., 2014. Evaluation des faciès hydro-chimique des eaux souterraines de la région d'In Salah (wilaya de Tamanrasset). Mém. Master. Univ. Ouargla. Algérie. 67p.

EL Hammoumi N., Sinan M., Lekhlif B., EL Mahjoubb L., 2012. Évaluation de la qualité des eaux souterraines pour l'utilisation dans l'eau potable et l'agriculture : plaine de Tadla, Maroc. Article. Journal. ISSN 1813-548X Afrique Science(1), p 54 – 66.

Feradji R., 2017. Évaluation technique et économique de la faisabilité de l'exploitation d'une carrière d'argiles. Mém. Master. Univ. Tlemcen, Algérie. 32p.

Guardia P., 1975. Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'oranie Nord- occidentale, Relations structurales et paléogéographiques entre le rif externe, le tell et l'avant pays atlasique. Th. Doc. Univ. Nice 289p.

Hajhouji Y., 2010. L'hydrochimie et qualité des eaux de surfaces et souterraines du Haouz (Maroc), Mém. Licence, Univ. Cadi Ayyad, Maroc. p19.

Hayane S. M., 1983. Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'Oued Sikkak (région de Tlemcen). Th. doc. 3 Cycle. Univ. Oran. Algérie. 236P.

Hidaoui A., Louannas A., 2015. Etude de système traditionnel d'irrigation au Sahara. Mém. Master. Univ. Tlemcen. Algérie. 83p.

Jolliffe I., 2002. Principal Component Analysis, 2nd edition éd., Springer-Verlag.

JORA, 2011. Objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eaux potable des populations Journal officiel de la république Algérienne démocratique et populaire N° 34, Algérie, 23p.

Kerai Y., 2017. Evaluation qualitative des eaux souterraines de la plaine de sidi bel abbés approche hydrogéochimique. Mém. Master, Univ. Tlemcen, Algérie, 66p.

Kerzabi R., 2008. Identification de l'aquifère des grès Serravaliens du bassin Miocène dans la région de Remchi – Hennaya- Bensekrane et Ouled Mimoun. Mém. Mag. Univ. Tlemcen. Algérie. 60p.

Larmarange J., Barnier J., Biaudet J., Briatte F., Bouchet-Valat M., Giraud F., Gombin J., Kauffmann M., RobetteN., 2017. Introduction à l'analyse d'enquête avec R. Support cours, IRD (Institut de Recherche pour le Développement), France.

Mebarek A., 2014. Contribution à l'étude bioécologique de la faune des Invertébrés dans trois stations de – *Withania frutescens* L. (Solanacées) dans la zone de Remchi (Wilaya de Tlemcen). Mém. Master, Univ. Tlemcen, Algérie, 76p.

MoudjibA., 2010. L'aptitude des eaux de la région d'Ain-Sefra à des fins d'irrigations, Mémoire d'Ingénieur d'Etat, Univ. Tlemcen, Algérie, p15

Moulay Z., et Yalaoui Z., 2016. Etude hydrogéologique et hydrochimique de la région d'oued Sud-Est Algérien. Mém. Master, Univ. Tlemcen, Algérie, 110p.

Moucherou O. F., Moundi A., Ngoupayou J. R. N., Ako A. A., et WandjiP., 2011. Paramètres chimiques et source lithologique de la minéralisation des eaux souterraines des aquifères du Plateau Bamoun, Ligne Volcanique du Cameroun (LVC). Yaoundé, Cameroun, Article. Journal, vol. 72, part 1–3. p 67–78.

Musy A., 2005. Cours d'Hydrologie générale. Cours en ligne.

Nowak, B., 1998. Contents and relationship of elements in human hair for a non-industrialised population in Poland. Journal. Science of The Total Environment 209, p59–68.

OMS, 2017. Organisation mondiale de la santé, directives de qualité pour l'eau de boisson, 4^e éd. Organisation mondiale de la Santé, 539p

Rahou M. 2017. Régime alimentaire de *Pamphagus caprai* (Thunberg, 1815) dans la région de Remchi (wilaya de Tlemcen). Mém. Master, Univ. Tlemcen, Algérie, 72p.

Rodier J., Legube B., Merlet N., et Coll, 2009. L'analyse de l'eau, 9^{ème} Edition, Ed. Dunod, Paris. 1207p

Schaug, J., Rambæk, J.P., Steinnes, E., Henry, R.C. (1990). Multivariate analysis of trace element data from moss samples used to monitor atmospheric deposition. Journal. Atmospheric Environment. Part A. General Topics 24, 2625–2631.

Yamani K., 2005. Contribution au développement d'une méthodologie pour étude d'un bilan hydrologie à l'échelle d'un bassin versant (cas de région de Brézina) (Wilaya d'El Bayadh). Mém. Ing. D'état, Univ. Mascara, Algérie, 130p.

ANNEXES

ANNEXE I

Tableau 01 : Précipitations moyennes mensuelles (mm), enregistrées à la station météorologique de Zenâta.

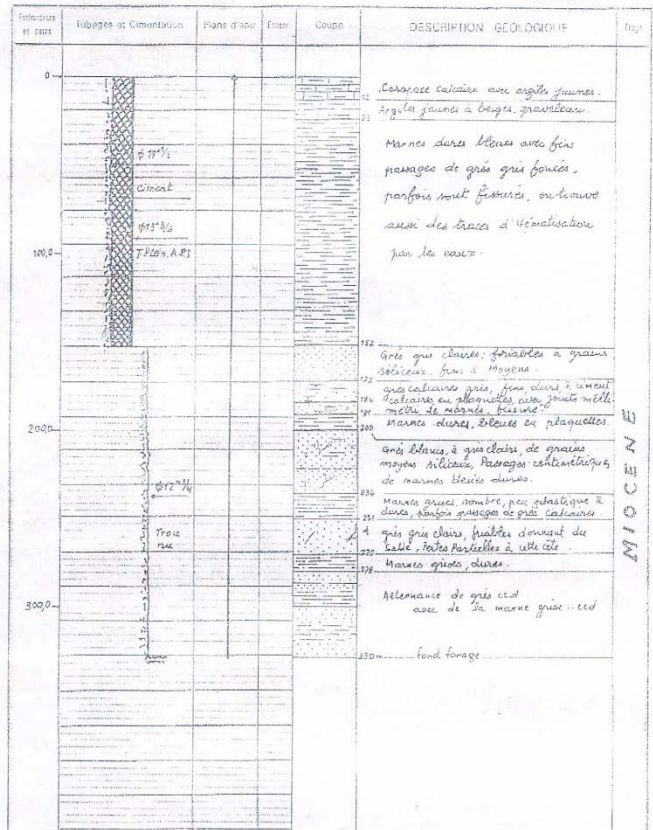
Années	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juillet	Aout
1982/83	4,5	42,4	127,5	51	0	44,8	19	4,3	10,6	0	0,3	0
1983/84	0,6	0	26,6	102,8	83,8	33,4	39,6	9,3	128,2	8,6	0	0
1984/85	13,5	4	101	10,4	65,2	28,6	50,7	54,1	57,4	0	0	0
1985/86	12,6	0	55,1	34,1	55,1	128,2	132,2	54,8	10,4	3	0	8
1986/87	33,4	67,5	87,2	38,2	123	121	8	112,7	32,6	0,3	17,4	7,5
1987/88	8	152,5	22	41,6	43,2	58,2	6,8	32,1	23,4	24,1	2	0
1988/89	36,3	24,4	25,9	6	23,6	53	111	68,5	31,4	8,8	1,5	12
1989/90	32	10,3	65,1	46	125,2	1,3	47,7	90,6	15,2	9,4	4	1,5
1990/91	27	15,1	63,1	61,9	53,3	85,1	174,6	15,5	14,1	0	1,8	1,5
1991/92	6,6	48,1	23,1	23,5	7,5	27,4	114	41,1	122,9	65,1	9	0,3
1992/93	1	22,1	29,1	20,3	1	71,6	69,6	66	67,5	0	0	258,3
1993/94	8,3	9	125,3	15,6	142,8	55,1	6	136	27,6	0	8,1	14,1
1994/95	18,1	19,9	50,1	23,5	20,5	56	196	26,1	1,5	2,3	0	0
1995/96	31,3	13	19,1	86,5	67,8	114,3	43,6	38,3	55	2	2	1,5
1996/97	52	26,6	0,3	59,1	179,4	0	2	84,7	19,9	7	5,5	20,1
1997/98	73,6	35,7	61,9	50,2	54,3	46,1	36	48,1	83,1	1	4	7
1998/99	14	4,3	48,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
1999/00	0	29,1	79	79,8	0	0	13	33,6	46,1	0	0	1
2000/01	10,1	67,1	77,1	39,2	95,7	65,6	21,9	2	3	0	0	0,8
2001/02	23,7	36,3	195,7	37,2	3	2	16	72	37	0	2,2	45
2002/03	0	18	81	19	86	70	7	20	16	2	1	0
2003/04	9	64	46	99	41	28	66	26	53	8	0,76	2
2004/05	7	31	47	78	22	58	45	13	0,51	0,76	0	0
2005/06	25	10	23	13	51	44	22	7	26	1	0,51	3
2006/07	17	13	7	33	16	33	33	99	4	0	0	0,76
2007/08	12	55	57	8	18	27	16	13	34	2,54	0	0
2008/09	33	103	75	108	111	37	22	40	6	2	0	0
2009/10	91	2	23	29	52	35	68	39	11	14	0,51	14
2010/11	5	62	29	34	39	18	38	62	57	27	0	3
2011/12	3	47	68	29	19	43	22	31	9	1	4	0
2012/13	36	35	5	19,81	100,07	39,12	65,53	66,82	46,47	0	0,76	0,5
2013/14	18		61	74	79	25	33	6	17	12	1	0,25
2014/15	14	8	48	94	74	41	18	5	24	5,6	4	5
2015/16	6	12	15	0	12	53	25	42	24	4	0	2
2016/17	1	9	33	37	96	22	14	1	1	0	0	1
2017/18	1,02	15	20	21	39	27	78	79	12	8	0	1

Tableau 02 : Températures moyennes mensuelles (°C) enregistrées à la station météorologique de la station de Zenâta.

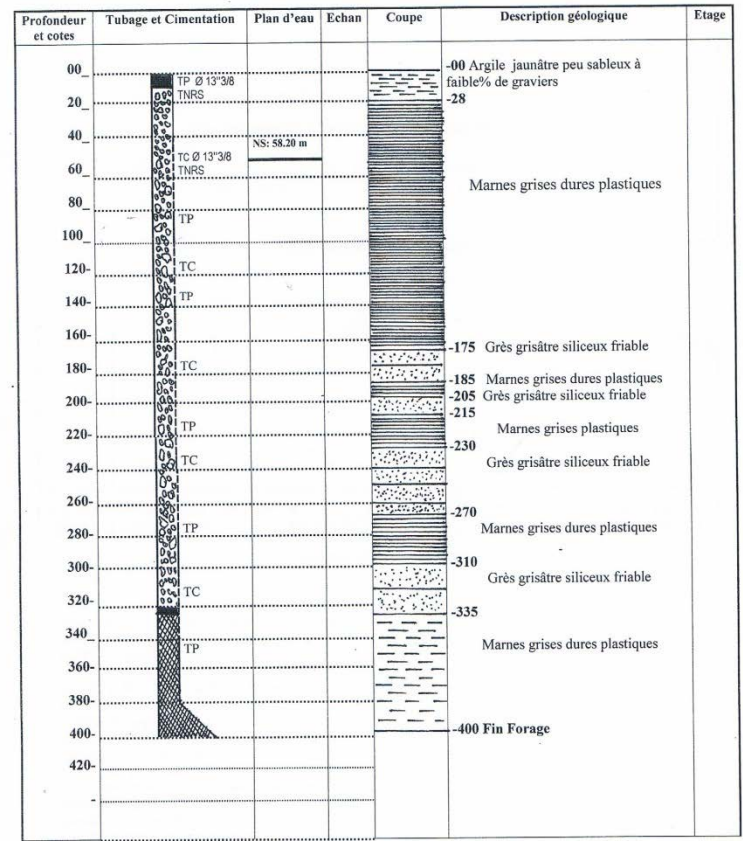
Années	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juillet	Aout
1982/83	22,9	17,5	14,4	10,1	9,5	10,4	14,4	15,6	17,9	23	23,9	24,3
1983/84	24,6	20,7	17,3	11,8	10,1	10,5	11,9	16,5	15,7	20,6	26,1	24,6
1984/85	24,1	17,8	15,9	13,2	9,7	14,5	11,7	16,2	17,4	22,6	25,9	26
1985/86	24,6	19,8	16,5	12,1	10,9	11,8	12,6	12,9	19,4	21,3	25,5	26,9
1986/87	23,7	20	13,8	11,1	10,6	11,9	13,8	17	18,7	22,5	24,8	26,2
1987/88	25,6	20,2	15,1	13,8	12,8	11,7	14,4	16,6	18,6	21,3	25,7	27,5
1988/89	23,3	20,8	16,3	9,9	10,3	12,1	14	14,9	18,7	22,2	27,2	28,8
1989/90	24	20,9	17,7	16	10,6	13,6	14,8	14,9	19,4	23,2	26,2	27,1
1990/91	27,3	19,8	14,9	10,9	9,7	10,3	13,2	14,3	17,1	22,6	26,7	28
1991/92	25,5	17,9	14	11,2	9,5	11,6	12,6	16	18,9	19,7	25,2	27,4
1992/93	23,8	18,1	14,6	11,8	9,5	10,7	14,6	15,8	17,8	21,9	25,4	26,5
1993/94	21,4	18,1	14,6	11,6	10,5	11,7	13,9	14,8	19,7	22,7	28,6	28,4
1994/95	22,6	20,2	16,3	12,2	11,6	13,7	14,2	15,4	20,4	22,1	25,7	26,7
1995/96	22,1	20,7	17,5	14,7	14,1	11,3	13,2	15,7	18,2	23,1	25,3	25,3
1996/97	21,9	18,1	15,9	14,2	12,8	13,2	14,1	17	19,5	22,6	23,8	25,3
1997/98	23,7	21,2	16,4	13,1	12	13,4	14,4	15,5	17,4	22,9	26,2	27,1
1998/99	24,4	18,3	15	11,1	11,7	10,5	13,5	15,7	20,2	23,4	26,1	27,3
1999/00	23,8	21,3	13,6	11,3	9,4	13	14	15,8	19,9	24,1	26,4	26,6
2000/01	23,7	18,3	14,7	13,5	12,5	12,1	16,4	15,9	18,5	24,1	26,2	27
2001/02	23,8	22,3	13,8	11,7	11,2	12,3	15,1	16,7	19,3	23,6	25,6	24,9
2002/03	23,6	19,4	15,8	14,2	10,6	11,1	14,7	15,4	19,4	25	27,1	27,6
2003/04	23,7	20,5	15,8	12,2	12,2	13,2	13,4	14,7	17,4	23,6	26,8	27,5
2004/05	24,4	21,8	13,7	11,1	8,5	9	13,5	15,3	20,4	23,6	26,5	26,8
2005/06	22,9	20,7	15,7	11,6	10,1	11,4	14,9	17,7	21,2	22,7	27,5	26,4
2006/07	23,9	21,7	17,5	12,2	11,5	14	13,3	14,9	19,1	21,9	25,6	26,6
2007/08	23,7	19,6	14,5	11,8	12,3	13	14,4	17,5	18,4	22,8	26,5	27
2008/09	24	19,8	13,2	10,6	11	11,4	14	14,9	19,9	23,8	28,1	26,6
2009/10	23	21	18,1	14,4	12,8	14,3	14,7	16,8	18,9	22,1	26,9	27,6
2010/11	24,5	19,4	15,1	13,8	11,6	11,4	13,9	18,3	20,7	23,8	26,4	27,7
2011/12	24	19,8	15,6	11,4	9,9	8,7	12,8	15,1	20,6	25,3	26,7	29,1
2012/13	24,5	20,8	16	12,5	11,7	10,9	14,6	15,4	17,6	20,5	24,9	26,5
2013/14	23,7	21,7	14,3	11,7	12,4	12,8	13,1	17,4	19,4	22,7	25,1	26,6
2014/15	24,9	21,9	16,9	11,9	10,7	11,1	13,7	17,4	21	23,2	28,3	28
2015/16	23,7	21,3	15,4	13,4	14	13,8	13,2	16,4	19,5	24,1	26,8	26,7
2016/17	24,6	21,8	15,7	13	10	13,7	15,1	16,9	20,7	25,3	27	27,7
2017/18	23,8	21	15,5	12,3	11,7	11,1	14,6	15,6	17,8	21,8	26,1	27,5

ANNEXE II (ADE Tlemcen).

SONDAGE : REMCHI-02 (R.M.C-024) Side n° Barek
 Carte : Tlemcen au 1:50.000 (1:24.370) N° Fichier Forages N° Inventaire
 Date des travaux : 10/2009 au 02/2010 Long : X : 643.566
 Echelle de la coupe : 1:2.000 Lat : Y : 3880.190 Z : 248



SONDAGE : Piscine Remchi N° Fichier Forage N° Inventaire
 Carte : Pont d'Isser au 1/50.000e
 Date des travaux : 10/2009 au 02/2010 Long : X : 643.441 Z : 230
 Echelle de la coupe : 1/2000 Lat : Y : 3880.566



ONDAGE REMCHI 01 RMC 1

Bentayab

Site : *Tlemcen 02* au 1:25.000

Date des travaux : 03.09.1998 au 10.12.98

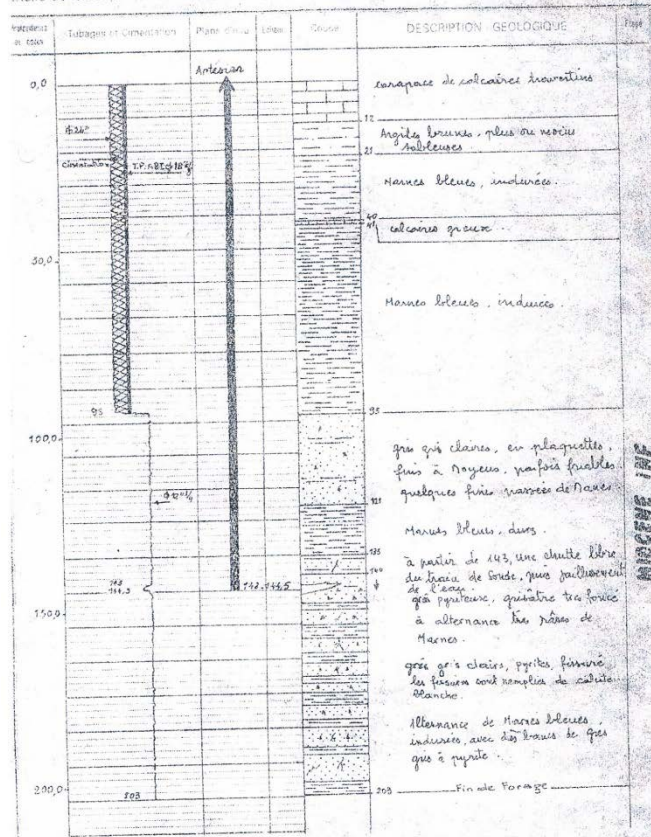
Long :

X 125,950

Echelle de la coupe : 1:1.000

Lot :

Y 200,750 Z 275



SONDAGE : REMCHI

N° Fichier Forage

N° Inventaire

Carte :

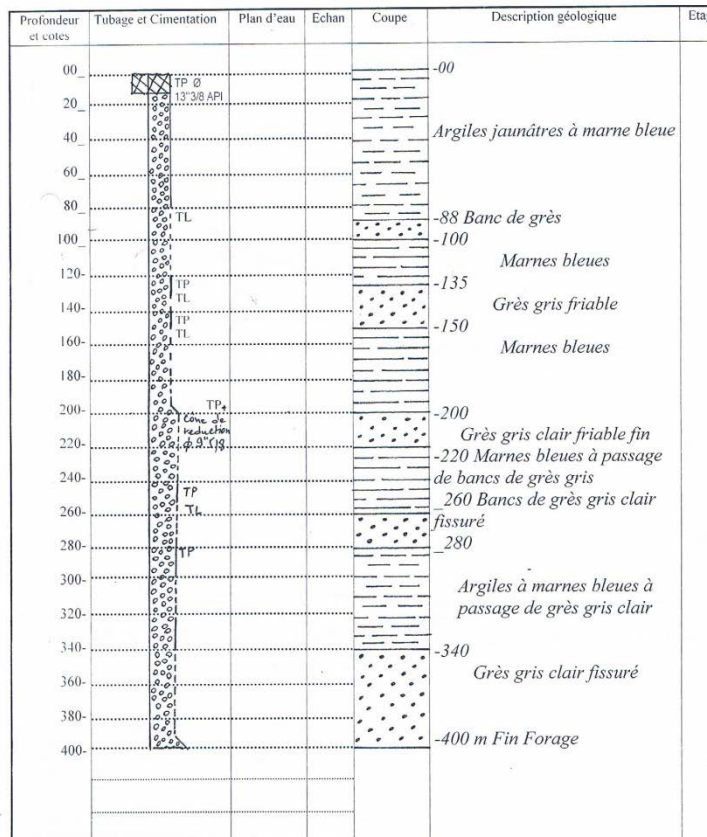
Date des travaux : 01/2007 au 03/2007

Long : X : 123

Z :

Echelle de la coupe : 1/2000

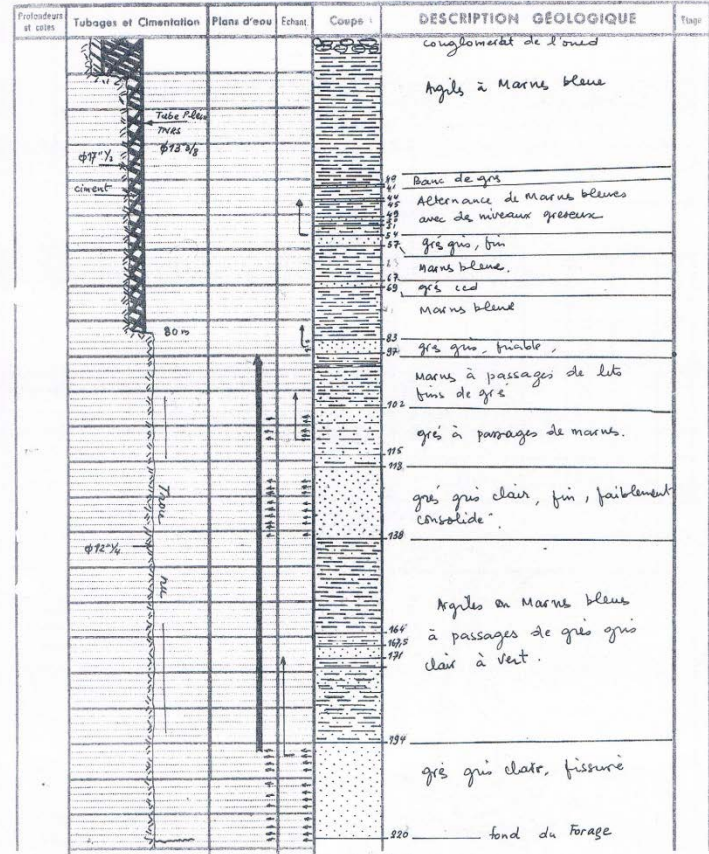
Lat : Y : 202.75



SONDAGE Pierre du Chat "Berrached"

Carte : Pont de l'Isser au 1:50.000 n° 239
 Date des travaux : 00.06.02 au 15.10.02 Long : X 226.200
 Echelle de la coupe : 1:1.000 Lat : Y 206.250 Z 150 m

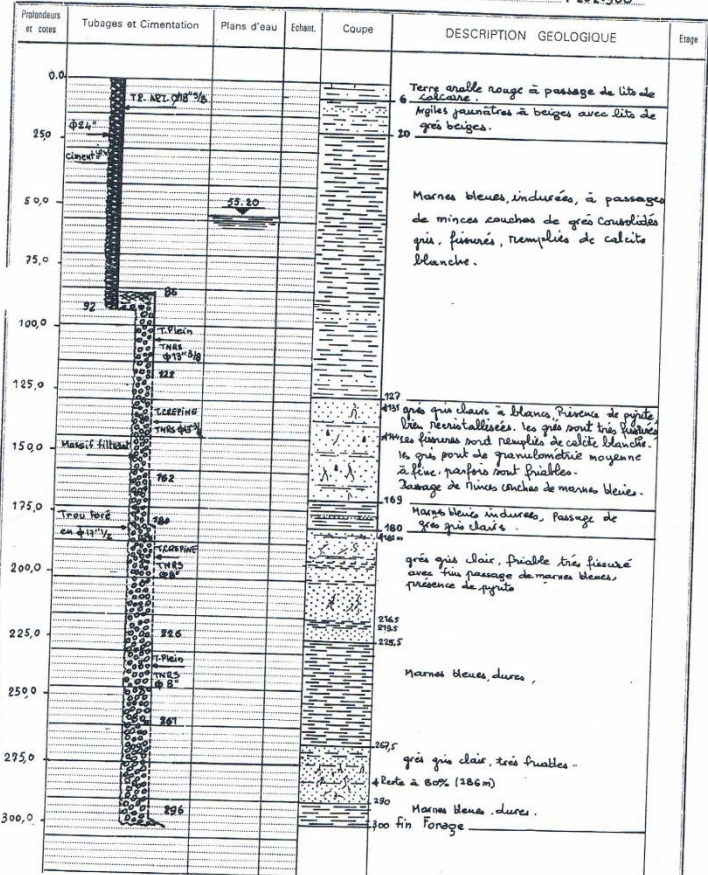
N° Fichier Forages : N° Inventaire :



SONDAGE AIN JOUEF A1F

Carte : Bensekrane au 1/25.000 ()
 Date des travaux : 16.12.95 au 07.05.96 Long : X 226.800
 Echelle de la coupe : 1:1500 Lat : Y 201.900 Z 250

N° Fichier Forages : N° Inventaire :



SONDAGE Beni Quarssous II

N° : NEMOURS 1:50.000 n° 238

Date des travaux : fin Avril 91 - 20.08.1992

Echelle de la coupe : 1:1.000

N° Fichier Forages

N° Inventaire

Long : X 703.000

Lat : Y 208.550 Z

Profondeurs et cotes	Tubages et Cimentation	Plans d'eau	Echant.	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Etage
0		NS-7.10			calcaire gris à beige, microcristallin Passage d'argile beige à jaunâtre traces de calcite.	
10						
20	φ 147/16				calcaire beige à jaunâtre, micritique à structure spongieuse.	
23					calcaire gris, fissuré, fumerols remplis de calcite blanche.	
30	φ 158 3/8 TKRS				calcaire gris, Cassette à la cote 44	
40			NS-6.8m		Calcaire massif, avec passage de calcaire gris. à la cote 41 m calcite résiduelle, présence de Pulvérisat rempli d'argile rouge & Terra rossa.	
43					calcaire gris, résiduel de calcite.	
48					calcaire gris - cc.	
50					calcaire beige à gris, avec passage de calcaire blanc. à partir de la cote - 81, 50% de la calcite - et Terre brulée.	
60						
70						
80						
90						
100	φ 203/8 TKRS				calcaire gris à Noir massif avec calcite	
110	φ 127/4					
120						
130						
140						
150						

SONDAGE REMCHI NAFTAL

Carte : Pont de L'ISSEIR

Date des travaux : 03/10/90 au 06/10/90

Echelle de la coupe : 1:1.000

N° Fichier Forages

N° Inventaire

Long : X 923.900

Lat : Y 323.350 Z

Profondeurs et cotes	Tubages et Cimentation	Plans d'eau	Echant.	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Etage
0						
10					Marnes calcaire blanchâtre	
20	Tube Plein TKRS φ 137/4					
30						
40			NS-6.8m		Marnes jaunâtres, plastique avec passées de Sables jaunes	
50						
60						
70					Marnes grises, indurées avec passées de Sable fin	
80						
90	Tube rigide TKRS φ 137/4					
100						
110					Alternance de calcaire beige, dur et de grès	
120					Calcaire, dur fin à moyen, gris blanc	
130						
140						
150					Marnes grises indurées	

SONDAGE : EL FHOUL

N° Fichier Forage

N° Inventaire

Carte : Benskrane -ex Pont de l'isser- 1/50.000e 239

Date des travaux : 10.03.00 au 17.05.00 Long :X : 136,750

Z :280

Echelle de la coupe : 1/1000 Lat :Y : 211,400

Profondeur Et côtes	Tubage et Cimentation	Plan d'eau	Echau	Coupe	Description géologique	Etage
00-		NS= 2m			-00 Marnes vertes à bleues, parfois sableuses	H é l v e t e n - M i o c è n e
10-		-10 Grès fins, beiges, marneux				
20-		-20 Marnes vertes				
24-		-24 Grès fins apparition de l'eau				
28-		-28 Marnes bleues				
30-		-35 Grès friables				
35-		-42 Marnes				
40-		-45 Grès beiges à gris peu marneux				
42-		-54 Marnes vertes, sableuses				
44-		-59				
50-		Grès fins, gris à beiges, marneux friables				
60-		-80 Marnes bleues				
70-		-98 Grès fins à moyen, friables gris				
80-		-110				
85-		Marnes bleues plastiques				
90-		-135 Grès très friable, donnant du sable et cavités, apparition de l'artésianisme				
100-	-154 Marnes sableuses					
110-	-164 Fond du Forage					
120-						
130-						
140-						
150-						
160-						
170-						
180-						
190-						
200-						

ANNEXE III

Tableau 01 : Caractéristiques des forages implantés dans la plaine de Remchi (ADE Tlemcen).

Nom	Année de réalisation	X	Y	Z	Profondeur	N.S	pH	C.E μs/cm	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃	NO ₃ ⁻
S.M'Barek 01(F1)	2002	35,0357	1,4246916	248	330	0	7,33	968,33	734,52	60	43	108	5,66	170	8,33	368,6	4
Remchi piscine (F2)	2009	35,0572806	-1,427125	230	400	30	7,37	6613,3	5016,25	417,6	173	1012,3	16	2394,67	284	321,3	20,3
Bentayeb (F3)		34,998725	-1,4027666	275	190	41	7,57	690	493,98	70	36	136	6	177	53	325	7
S.M'Barek 02 (F4)	2007	35,0502	-1,4405222	192	400	36	7,41	883	677,37	63	38	145	5	116	202	329	8
Remchi (F5)	2007	35,0423694	-1,429025	248	330	ART	7,17	3460	2624,56	163,5	126,5	520	13,5	1101	178	391,5	5
O.Berrached (F6)	2004	35,0874528	-1,4405222		220	4	7,77	670	479,66	262,7	168	727,5	9,75	1675,25	373,7	413,5	22,25
Sebâa Chioukh (F7)	2008	35,1557694	-1,3604389	529	250	33	7,05	3830	2905,22	217	135	524	7	1187	302	261	9
El Fhoul 02 (F8)	2003	35,107825	-1,2680916	285	250	ART	7,1	1428,5	1083,58	77,5	43	198	6	216	121,5	537	6

Tableau 02 : Caractéristiques des puits et forages implanté dans la plaine de Remchi
(Série récente Avril 2019)

Nom	X	Y	Z	Profondeur
P1	35,0513472	-1,352575	276,7	24
F1	35,0920833	-1,4181833	130	150
P3	35,1563667	-1,37610555	490,4	26
P4	35,1557333	-1,3609444	513	24
P5	35,1557472	-1,356580555	431	21
P6	35,1629833	-1,35268333	521,4	
F2	35,08555	-1,5515333	288,5	150
P8	34,9914667	-1,4641333	284,9	8,5
P9	35,0508833	-1,3802777	281,4	30
P10	35,1049167	-1,29981667	166,2	15
P11	35,1056667	-1,2536	210,9	15
P12	35,0748667	-1,22573333	264,4	14
P13	35,0507833	-1,43198333	229,2	
P14	35,0571833	-1,43335	221,7	17
P15	35,0586667	-1,43678306	228,2	18
P16	35,0607667	-1,43388333	214,2	14
P17	35,0599833	-1,43648333	240	33
P18	35,0505667	-1,44711667	242,7	24,5
P19	35,0571833	-1,42675	227,2	15
P20	35,0604167	-1,43036666	230	10
P21	35,0779667	-1,43343333	210,8	3

Tableau 03 : Calcul de la Balance ionique.

	Points d'eau	$\sum r^+$	$\sum r^-$	BI
Série ancienne	S.M' Barek 01 F1	11,41	11,12	1,28
	Remchi piscine F2	79,71	79,76	0,03
	Bentayeb F3	12,56	11,58	4,05
	S.M' Barek 2 F4	12,73	13,02	1,12
	Remchi F5	41,65	39,35	0,54
	Ouled Berrached F6	59,01	62,76	3,07
	Sebâa Chioukh F7	45,05	45,46	0,45
	El Fhoul 02 F8	16,2	17,59	4,11
Série récente	P1	15,49	16,78	3,99
	F1	51,7	47,2	4,55
	P3	19,97	20,34	0,91
	P4	16,09	14,56	4,99
	P5	24	21,75	4,91
	P6	11,02	10,23	3,71
	F2	78,4	18,65	61,56
	P8	7,97	7,4	3,7
	P9	34,3	36,19	2,68
	P10	38,46	35,6	3,86
	P11	34,69	33,56	1,65
	P12	28,65	26,38	4,12
	P13	8,88	2,46	56,46
	P14	20,41	9,41	36,88
	P15	26,9	24,37	4,93
	P16	24,28	24,1	0,37
	P17	21,7	20,01	4,05
	P18	49,07	48,35	0,73
	P19	18,2	6,76	45,83
	P20	23,17	21,35	4,08
	P21	20,48	9,35	37,31

Tableau 04 : Les indices d'irrigation série récente (Avril 2019).

	Points d'eau	KR	Na	SAR
Série récente	P1	1,46	60,97	22,89
	F1	2,98	75,09	68,32
	P3	0,79	44,89	16,45
	P4	0,56	36,75	11,39
	P5	1,27	56,22	26,44
	P6	0,70	41,28	11,32
	P8	2,37	71,31	23,53
	P9	2,25	69,71	46,01
	P10	0,98	49,38	26,29
	P11	0,91	49,48	23,30
	P12	1,26	56,16	27,41
	P15	1,70	63,68	33,71
	P16	3,14	76,28	48,54
	P17	2,05	67,84	34,36
	P18	1,92	65,97	49,92
	P20	2,37	70,73	39,05

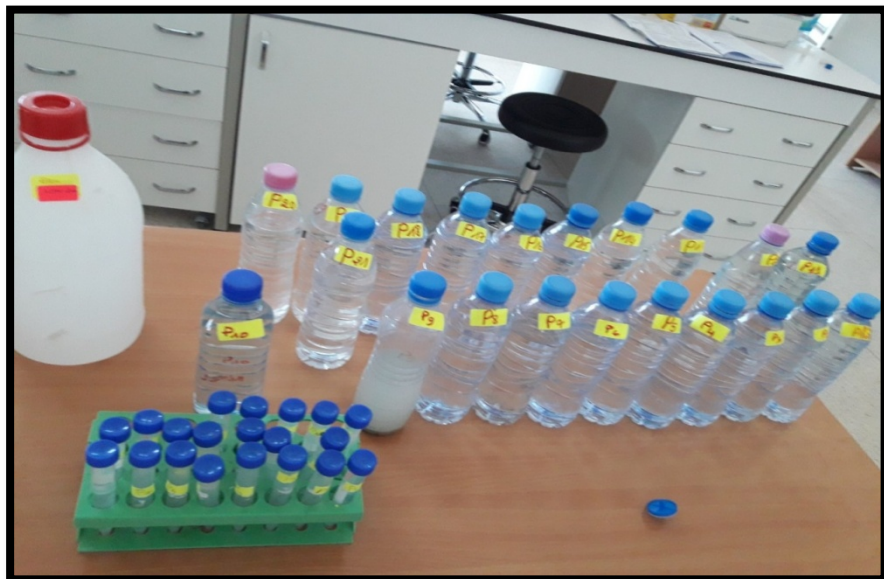


Photo 01 : Les échantillons de série récente (29 Avril 2019).

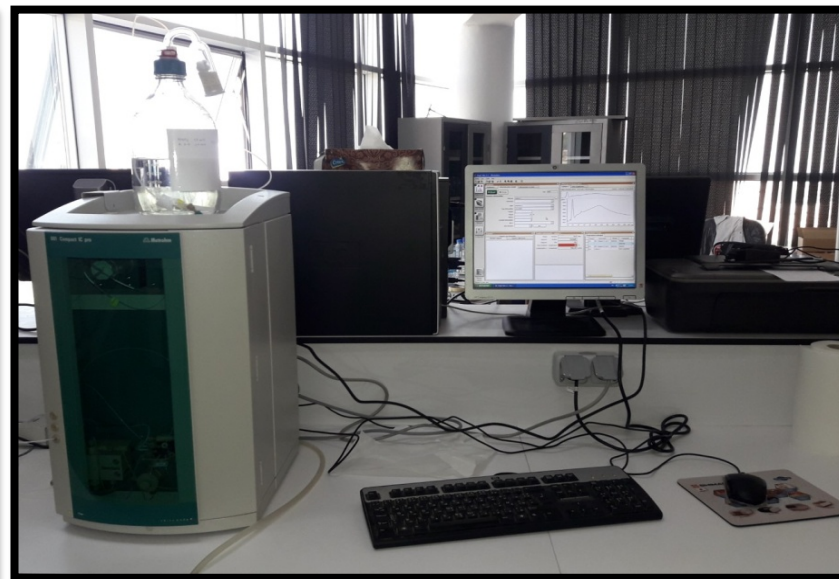


Photo 02 : Méthode Chromatographique ionique.



Photo 03: Méthode Volumétrique.

Dosage de Bicarbonate

Prélever 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 250 ml dont le $\text{pH} > 8,5$.

Etalonner le pH-mètre avec la solution.

Rincer la burette avec l'eau distillée.

Utiliser un entonnoir pour le remplissage de HCl.

Verser ensuite doucement l'acide HCl à l'aide d'une burette goutte à goutte jusqu'au $\text{pH} = 4,5$.

Lire le volume d'acides versés depuis le début du dosage.

ملخص :

يهدف تقييم جودة المياه الجوفية في سهل الرمشي وفهم الظواهر المتعلقة بأصل تمعدن هذه المياه ، تم إجراء العديد من العلاجات (التحليلية ، الوصفية والإحصائية) على البيانات

الكيميائية من الآبار ، مؤرخة بين عامي 2002 و 2019.

إن الطبيعة الكيميائية للمياه الجوفية للخران الرملي السيراقي وخران المياه الجوفية الغرينية للعصر الجيولوجي الرابع، تتأثر أساسا من ظاهرة تشكيلات المتبخرات والرسوبيات

الطينية المتواجدة في منطقة الرمشي.

طرق التحليل متعدد المتغيرات (ACP وCHA)، يسمح بتحديد ثلاث مجموعات رئيسية هي: ملوحة عالية (مع أقصى قدر للنقلية الكهربائية 6613.300 ميكروسيامانس/سم أو

4.6 ملغ/لتر (TDS) ، ملوحة متوسطة وقليلة الملوحة .

وفقا لخصائص الفيزيوكيميائية والكيميائية للآبار 16 خلال حملة أبريل 2019 في منطقة الرمشي. أكثر من 68٪ من العينات لها طعم قوي بسبب مستويات عالية من الكلور (الحد

الاقصى= 1225ملغ/لتر)، الصوديوم(الحد الأدنى = 92 ملغ/ لتر والحد الاقصى = 782 ملغ / لتر) و النترات (المتوسط = 92,535 ملغ /لتر). هذه القيم تتجاوز الى حد كبير قيم

معايير مياه الشرب الجزائرية (JORA 2011) وتلك الخاصة بمنظمة الصحة العالمية (OMS 2017).

الكلمات المفتاحية: سهل الرمشي، تمعدن ، معايير ، جودة ، معالجة.

Résumé

Dans un objectif, d'évaluer la qualité des eaux souterraines de la plaine de Remchi, et de comprendre les phénomènes liés à l'origine de la minéralisation de ces eaux, plusieurs traitements (analytiques, descriptives et statistiques), ont été réalisés sur des données chimiques des forages et puits, datées entre 2002 et 2019.

L'acquisition du chimisme des eaux souterraines de l'aquifère gréseux Serravalien à nappe captive, et de l'aquifère alluviale Plio-Quaternaire, est principalement, influencée par le phénomène de dissolution des formations évaporitiques et dépôts marnés et argileux dominants dans la dépression de Remchi.

Les méthodes d'analyse multivariées (ACP et CHA), ont permis l'identification de trois grands groupes pour : Celui de la forte minéralisation (avec E.C maximale de 6613,300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ soit 4,6mg/L de TDS), Celui de la moyenne minéralisation et le troisième caractérisé par une minéralisation faible.

D'après les caractéristiques physico-chimiques et chimiques des 16 points d'eau de la campagne d'Avril 2019 de la plaine de Remchi. Plus de 68% des échantillons présentent un goût prononcé due aux fortes teneurs en Cl^- (Max= 1225mg/L), en Na^+ (Min= 92 mg/L et Max= 782 mg/L) et en NO_3^- (moy= 92,535 mg/L). Ces valeurs dépassent largement les valeurs guides recommandées par les normes algériennes de potabilité (JORA 2011) et celles de l'organisation mondiale de la santé (OMS 2017).

Mots clés : Plaine de Remchi, Minéralisation, Normes, Qualité, Traitement.

Abstract:

In order to assess the quality of groundwater in the Remchi plain and to understand the phenomena linked to the origin of the mineralization of these waters, several treatments (analytical, descriptive and statistical) were carried out on chemical data from boreholes and wells, dated between 2002 and 2019.

The acquisition of groundwater chemistry from the Serravalian captive aquifer sandstone aquifer, and the Plio-Quaternary alluvial aquifer, is mainly influenced by the phenomenon of dissolution of the dominant evaporite formations and marl and clay deposits in the Remchi plain.

Multivariate analysis methods (ACP and CHA) identified three main groups for: The high mineralization (with a maximum E.C. of 6613,300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ or 4.6mg/L of TDS), the medium mineralization and the third characterized by low mineralization.

According to the physico-chemical and chemical characteristics of the 16 water points in the April 2019 campaign of the Remchi plain, more than 68% of the samples show a pronounced taste due to the high contents of Cl^- (Max= 1225mg/L), of Na^+

(Min= 92 mg/L and Max= 782 mg/L) and NO_3^- (average= 92.535 mg/L). These values far exceed the guide values recommended by the Algerian drinking standards (JORA 2011) and those of the World Health Organization (WHO 2017).

Keywords: Remchi Plain, Mineralization, Standards, Quality, Treatment.