

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة جيلالي بونعامة خميس مليانة

Université Djilali Bounaama de Khemis-Miliana



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention d'un diplôme de Master

Domaine : Sciences de la terre et de l'univers

Filière : Géologie appliquée

Spécialité : Hydrogéologie

**Profils en travers le long de lit de l'oued Chélif dans la partie de
la plaine du Haut Cheliff : caractéristiques hydrogéologiques**

Présenté par :

- Ahmadouche Samah
- Ben Hammou Ikram

Soutenu le : 13 Juillet 2021

Devant le Jury :

Président :Mr.Bouderbala Abdelkader, maitre de conférences A (UKM)

Promoteur : Mr. Bougara Mohammed (UKM)

Examineur : Mr. Gharbi Benyoucef, maître de conférences BA (UKM)

Année universitaire : 2020 / 2021

Remerciements

On remercie DIEU le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et terminer nos études et d'arriver à ce niveau.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr. Bougara Mohammed, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer notre sincère reconnaissance à Mr. Mazouzi Slimane, chef de laboratoire : Universel Labo Alger, pour l'accueil qu'il nous a réservé dans son laboratoire, pour son aide et ses conseils précieux, pour sa grande disponibilité et ses qualités humaines.

Nous remercions également les membres du jury qui ont fait l'honneur d'apporter leur jugement critique sur cette étude : Mr. Gharbi Ben Youcef et Mr. Bouderbala Abdelkader.

Nous tenons à encore remercier pour les critiques et l'aide qu'ils nous ont toujours prodigués, en l'occurrence, Mr. A. Bouderbala, Mr. D. Kadi, Mr. B. Gharbi, et Mr. A. Guenfoud pour leur aide, soutien et gentillesse.

Nous exprimons notre gratitude à l'ensemble des enseignants du département des Sciences de la terre qui ont contribué à notre formation, on les prie de bien vouloir croire à notre gratitude en espérant que cet humble travail de cinq années est une réelle crédibilité de leurs efforts.

Nous tenons à remercier tous les responsables des laboratoires d'analyse pour leur engagement et leur service, Mr. Benkhira et M^{elle}. Miliani A.).

A tout notre ami (e) surtout Hamza, qui nous ont toujours soutenus quand nous en avons besoin, durant la réalisation de ce travail.

Nous n'avons plus les mots pour vous dire combien nous tenons à vous remercier tous et encore merci pour tout, si nous avons oublié quelqu'un.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A ma mère pour son amour. Ses encouragements et ses sacrifices.

A mon père pour son soutien, son affection et la confiance qui il m'accordé.

A la mémoire de mon grand-père, mon oncle et ma chère cousine Fatma.

A mes chers sœur Fatima et Meriem.

A mes cousines Awicha, Fatma, Mina, Ahlem, Zahia, Khadîdja et Imen.

A tous les membres de ma famille.

*A toutes mes amies (Hanine, Hassiba, Kenza, Souhila, Fella, Sabrina et
Marwa).*

A Ikram, chère amie avant d'être binôme.

A toutes les personnes qui m'aiment et que j'aiment.

Je vous aime

AHMADOUCHE SAMAH

Dédicaces

C'est avec plaisir que je dédie ce modeste travail :

A l'être le plus chère de ma vie : ma mère.

A mon support de ma vie, celui quem' a 'fait de moi une femme, mon père.

*A mes chers frères (Ramzi, Haithem et Louay) et mes sœurs (Ikhlas et
Amani.)*

A toutes ces personnes de ma grande famille.

A mes amies (Hanine, Hassiba, Marwa, Fella, Sabrina, Sarah et Sara).

*A ma chère tante Zohra pour se soutient moral et leurs conseils précieux tout
au long de mes études.*

A tous mes amis de la promo de la 2^{éme} née de master de géologie.

A Samah, chère amie avant d'être binôme.

Je vous aime

BEN HAMMOU IKRAM

Résumé

Durant les dernières années des années 2010-2021, la pollution a augmenté dans le monde, aussi bien dans les eaux de surface que dans les eaux souterraines. A cause de l'importance des eaux de surface sur le développement des activités sociales et économiques et sur l'ensemble du système environnemental mondial, cette source doit être préservée.

Dans notre étude nous avons focalisé notre travail sur la zone non saturé qui constitue une zone de filtre naturel et qui dépend du pouvoir épuratoire de sol. Sur le long du lit d'oued Chélif, nous avons réalisé six coupes géologiques, distant 3 à 15 km afin de montrer les différentes unités sédimentaires perméables ou imperméables, et ainsi recenser les secteurs sensibles à la pollution de surface.

Des prélèvements ont été faites pour les analyses physico-chimiques dans le but est de déterminer l'impact de la pollution sur les eaux souterraines.

La combinaison entre les analyses physico-chimiques et les profils en traverse montrent que les secteurs de Djendel sont plus vulnérables à la pollution par rapport aux autres secteurs.

Mots clés : profils en traverse, analyse physico-chimiques, vulnérabilité, Haut Chélif.

Abstract

During the last years of the year's 2010-2021, pollution increased in the world, both in surface water and in groundwater. Because of the importance of surface water for the development of social and economic activities and for the entire global environmental system, this source must be preserved.

In our study, we focused our work on the unsaturated zone which constitutes a natural filter zone and which depends on the purifying power of the soil. Along the wade Chéiff, we made six geological sections, 3 to 15 km away, in order to show the various permeable or impermeable sedimentary units, and thus identify areas sensitive to surface pollution.

Samples were taken for physico-chemical analyzes in order to determine the impact of pollution on groundwater.

The combination between the physico-chemical analyzes and the cross sections shows that the sectors of Djendel are more vulnerable to pollution compared to other sectors.

Keywords: cross sections, physic-chemical analysis, vulnerability, Haut Cheliff.

ملخص

خلال السنوات الأخيرة من السنوات 2010-2021، ازداد التلوث في العالم سواء في المياه السطحية وفي المياه الجوفية. نظرًا لأهمية المياه السطحية لتنمية الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية للنظام البيئي العالمي بأكمله يجب الحفاظ على هذا المصدر.

في دراستنا ركزنا عملنا على المنطقة غير المشبعة التي تشكل منطقة تصفية طبيعية والتي تعتمد على قوة تنقية التربة. على طول وادي شلف، قمنا بعمل ستة مقاطع جيولوجية، على بعد 3 إلى 15 كم، من أجل إظهار الوحدات الرسوبية المختلفة المنفذة وغير منفذة، وبالتالي تحديد المناطق الحساسة للتلوث السطحي.

تم أخذ عينات للتحليلات الفيزيائية والكيميائية من أجل تحديد تأثير التلوث على المياه الجوفية.

يُظهر الجمع بين التحليلات الفيزيائية والكيميائية والمقاطع العرضية أن منطقة جندل أكثر عرضة للتلوث مقارنة بالمناطق الأخرى.

الكلمات المفتاحية: المقاطع العرضية، تحليل فيزيائي-كيميائي، غير محصن، واد شليف.

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Abstract

ملخص

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.	
I.Introduction.....	3
II.Situation géographique.....	3
IIIMorphologie du bassin du haut Chéouiff.....	4
IV.Aperçu hydrologique.....	5
IV.1Les bassins versants.....	5
IV.2 Le réseau hydrographique.....	5
V. Hydroclimatologie.....	6
V.1 Régime pluviométrique.....	7
V.2.1 Variation des températures moyenne mensuelles.....	8
VI. Les éléments de bilan hydrologique.....	8
VI.1 La pluviométrie.....	8
VI.1.1 Variation temporelle des précipitations :.....	8
VI.1.1.1 Les précipitations moyennes mensuelles.....	9
VI.1.1.2 Précipitations moyennes annuelles.....	9
VI.1.2 Lame d'eau précipitée.....	11
VI.2 Evapotranspiration.....	11
VI.2.1 Evaluation de l'évapotranspiration.....	12
VI.2.1.1 Evaluation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) par la méthode empirique de « Thornthwaite ».....	12
VI.2.1.2 Évaluation de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	12
VI.2.1.2.1 Évaluation par la méthode du bilan simplifié selon Thornthwait.....	12

VII. Climat de la région d'étude.....	15
VII.1 L'indice d'aridité annuelle.....	15
VIII. Conclusion.....	17
Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude.	
Introduction.....	19
II.Contexte géologie.....	19
II.1 Cadre régional.....	20
II.1.1 Le socle métamorphique.....	20
II.1.2 La couverture.....	20
II.1.2.1 Le Permo-Trias.....	20
II.1.2.2 Le Trias.....	20
II.1.2.3 Le jurassique.....	20
II.1.2.3.1 Le jurassique du Zaccar.....	21
II.1.2.3.2 Le Jurassique de Doui.....	21
II.1.2.4 La crétacée inférieure.....	21
II.1.2.5 Le Crétacé supérieur.....	21
II.1.2.6 Miocène.....	22
II.1.2.6.1 Le Burdigalien.....	22
II.1.2.6.2 Vindobonien.....	22
II.1.2.7 Mio-Pliocène.....	22
II.1.2.8 Quaternaire.....	22
II.1.2.8.1 Quaternaire ancien.....	22
II.1.2.8.2 Quaternaire récent.....	23
II.2 Cadre local.....	23
II.2.1 Profils en traverse long à travers le lit de l'oued de la plaine du haut Chélif.....	23
II.2.1.1 Station N ° 01, Village Mouaha.....	23
II.2.1.1.1. Coupe géologique et commentaire.....	24
II.2.1.2. Station N°2, Djendel.....	25
II.2.1.2.1.coupe géologique et commentaire.....	26
II.2.1.3 Station n° 3, intersection Oued Ouessane.....	27
II.2.1.3.1.Coupe géologique et commentaire.....	28
II.2.1.4.1 Coupe géologique et commentaire.....	30
II.2.1.5 Station N°5.....	30
II.2.1.5.1 Coupe géologique et commentaire.....	31
II.2.1.6. Station N° 6 (aval du Haut Chélif, Djelida).....	32
II.2.1.6.1 Coupe géologique et commentaire.....	33

III.Tectonique.....	33
III.1 Discordances	34
III.2 Les phases principales	35
IV.Contexte hydrogéologique	35
IV.1 Formation de l'aquifère.....	35
IV.1.1Calcaire jurassique	36
IV.1.2 Les grés Mio-Pliocènes	36
IV.1.3 Alluvions quaternaires.....	36
IV.2 Les cartes piézométriques	38
IV.2.1 Interprétation des cartes piézométrique.....	39
IV.2.1.1 Interprétation la carte piézométrique des hautes eaux.....	39
IV.2.1.2. Interprétation de la carte piézométrique des basses eaux.....	40
IV.3 Caractéristiques hydrogéologiques de la région d'étude.....	40
IV.3.1 Station N° 1, village Mouaha	41
IV.3.2 Station N° 2.....	42
IV.3.3 Station N° 3.....	42
IV.3.4 Station N° 4.....	42
IV.3.5 Station N° 5.....	42
IV.3.6 Station N° 6.....	42
V.CONCLUSION	42
Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines.	
I.Introduction.....	45
II.Matériel et méthodes.....	45
II.1 Prélèvement	45
II.1 Principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau	46
III. Méthode d'analyse	47
III.1 Analyse in situ	47
III.2.Analyse au niveau de laboratoire	48
III.2.1 Paramètre chimique.....	48
III.2.1.1 Demande Chimique en Oxygène (DCO).....	48
III.2.1.2 Demande Biochimique en Oxygène (DBO5).....	48
III.2.1.3 Matières en suspension (MES).....	49
III.2.1.4 Nitrate.....	49
III.2.1.5 Nitrite.....	49
III.2.1.6 Azote totale.....	50
III.2.1.7 Phosphate.....	50

III.2.1.8 Chlorure.....	50
III.2.1.9 Sulfate.....	50
III.2.2 Méthodes d'analyse des substances chimiques	51
III.2.2.1 Spectrométrie d'absorption atomique.....	51
IV. Présentation, analyse et interprétation des résultats	52
IV.1 Température	52
IV.2 Ph (potentiel d'hydrogène).....	52
IV.3 Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	53
IV.4 Matières en suspension (M.E.S).....	54
IV.5 Demande chimique en oxygène (DCO)	54
IV.6 Demande biologique en oxygène (DBO_5).....	55
IV.7 Les nitrates (NO_3^-).....	55
IV.8 Les nitrites (NO_2^-)	56
IV.9 Azote total (NT)	57
IV.10 Phosphate (PO_4^{3-})	57
IV.11 Les Sulfates (SO_4^{2-})	58
IV.12 Les Chlorures	58
IV.13 Le Sodium (Na^+)	59
IV.14 Ca^{2+} et Mg^{2+}	60
IV.15 Les matières lourdes :(le cuivre, le cadmium et le Nickel)	61
V Conclusion.....	61
Conclusion générale	62
Référence Bibliographique.....	65
Annexe	

Liste des figures

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.

Figure II-1. Carte de situation géographique.....	4
Figure IV-1. Réseau hydrographique.....	6
FigureV-1. Histogramme de Températures moyenne mensuelles.	8
FigureVI-1. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles.....	9
Figure VI-2. Carte représentant la localisation des stations et des précipitations.	10
FigureVI-3. Histogramme de précipitation moyenne annuelle dans les stations étudiées.	11
Figure VII-1. Situation de la station de Harreza par rapport aux étages climatiques (Abaque d'indice d'aridité de Martonne, 1925).....	16

Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude.

Figure II-1. Carte géologique . de la plaine du Haut Cheliff. Perrodon (1957), modifié par (Dekkiche I,Mezaour A).....	19
Figure II-2.Coupe du Trias du Djebel Doui.....	20
Figure II-3. Photo aérienne de la station N°01, de village Mouaha (Google maps).....	24
Figure II-4.Coupe géologique le long de l'oued Chélif station N° 1 (Village Mouaha).....	24
Figure II-5.Photo aérienne de la station N° 2, Djendel (Google maps).....	26
Figure II-6. Coupe géologique le long de l'oued Chélif, station N° 2 (Djendel).....	26
Figure II-7.Photo aérienne de la station N°3, Lieu d'intersection : Oued,Ouessane et Oued Chélif (Google maps)	28
Figure II-8.Coupe géologique le long de l'oued Chélif, station N° 3	28
Figure II-11.Photo aérienne de la station N° 5, (Google maps).	31
Figure II-13. Photo aérienne de la station N° 6, Djelida (Google maps).	32
Figure II-14.Coupe géologique le long de l'oued Chélif, station N° 6 (Djelida).....	33
Figure IV-1. Log-lithostratigraphie et hydrogéologique de la plaine alluvial de Khemis Milian (Mattaue1958, Perrodon 1967) modifie.....	38
Figure IV-2.Carte piézométrique de la moyenne des périodes des hautes eaux (2014, 2015,2016). ..	39
Figure IV-3.Carte piézométrique de la moyenne des périodes des basses eaux (2014, 2015,2016)....	40
Figure IV-4.Carte de la moyenne de la profondeur du niveau d'eau (période allant de Mai 2014-mai 2016).....	41

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines.

Figure II-1. Carte de localisation des points de prélèvement.....	46
Figure III-1.Prélèvement et analyse sur situ (Pont autoroutier de BirOuldKhelifa).	47
Figure III-2.Analyse au laboratoire.	48
FigureIV-1. Variation spatial de la variation de température.	52
FigureIV-2. Variation spatial du potentiel hydrogène.	53
FigureIV-3. Variation spatiale de la conductivité	53

FigureIV-4. Variation spatiale de matières en suspension.....	54
FigureIV-5. Variation spatiale de demande chimique en oxygène.	54
FigureIV-6. Variation spatiale de la demande biologique en oxygène.....	55
FigureIV-7. Variation spatiale des valeurs de nitrate.	56
FigureIV-8. Variation spatiale des valeurs des nitrites.	56
FigureIV-9. Variation spatiale des valeurs d'azote total.....	57
FigureIV-10. Variation spatiale des valeurs de phosphate.....	58
FigureIV-11. Variation spatiale des valeurs de sulfate.	58
FigureIV-12. Variation spatiale des valeurs de chlorure.	59
FigureIV-13. Variation spatiale des valeurs de sodium.	60
FigureIV-14. Variation spatiale des valeurs de calcium et magnésium.....	60
FigureIV-15. Variation spatiale des valeurs de cadmium.	61

Liste des tableaux

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.

Tableau IV-1. Sous bassins versants assurant la recharge du système aquifère étudié.	5
Tableau IV-2. Le Réseau hydrographique (BONG.N, 2013).....	6
Tableau V-1. Localisation des stations pluviométriques.	7
Tableau VI-1. Précipitations moyennes annuelles (1995-2017).....	9
Tableau VI-2. Bilan hydrologique moyen à la station du barrage Harreza (1993-1994 à 2012-2013)..	14
Tableau VII-1. Moyennes mensuelles et annuelles des précipitations et des températures du barrage Harreza (1993-1994 à 2012-2013).	16

Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude.

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

Tableau III-1. Méthode d'analyse des substances chimiques.	51
-----------------------------------------------------------------	----

Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction Générale

Les ressources hydriques, produits stratégiques du patrimoine écologique et économique national, doivent être préservées des tristes réalités de la vie moderne.

Les eaux de surface et même souterraines servent de réceptacle à toute forme de pollution qu'elle soit urbaine, agricole, industrielle ou seulement accidentelle. Leur vulnérabilité est fonction d'un certain nombre de facteurs hydrologiques et hydrogéologiques qui agissent différemment selon les types de pollution existante ou à craindre.

Le haut Chélif est constitué d'un milieu récepteur des rejets des eaux usées non traités. Ces derniers proviennent des agglomérations et communes limitrophes (Ain Lechiakhe, Djendel, Djelida, Khemis Miliana, Ain Soltane, Sidi Lakhder et Bir Ouled Khelifa). Malgré les phénomènes de filtration et les réactions qui se produisent dans le sol et le sous-sol et qui permettent une certaine protection, les eaux souterraines restent très vulnérables.

L'objectif de notre travail est de prévoir l'origine de la pollution affectant l'oued du Cheliff, sans cesse croissante. Cette pollution va ensuite prendre place dans les alluvions de la nappe du Quaternaire. L'analyse physico-chimique des eaux de l'oued du Cheliff paraît primordiale pour connaître la source de la pollution, que ce soit d'ordre domestique, agricole ou industrielle. Les sédiments du substratum de l'oued du Cheliff servent de relais entre les eaux de surface et celle des eaux souterraines. C'est en ce sens, que diverses coupes géologiques à travers l'oued de la plaine de haut Chélif, ont été opérées afin de déterminer les différentes formations géologiques de la région et leurs caractéristiques hydrogéologiques.

Le présent travail est structuré selon les chapitres suivants :

1^{er} Chapitre : Présentation de la zone d'étude. Dans ce chapitre, un cadre géographique a permis de présenter la localisation et les caractéristiques de la région d'étude, ainsi que l'analyse des principales conditions climatiques et hydrologiques (précipitations, températures et écoulements).

2^{ème} Chapitre : Géologie et hydrogéologie de la région d'étude. Les caractéristiques des formations géologiques rencontrées dans la zone en s'appuyant principalement sur la synthèse des études géologiques. Le fonctionnement hydrodynamique de la nappe a été discuté en utilisant les données des campagnes piézométriques en périodes de hautes et basses eaux.

3^{ème} Chapitre : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines. Dans ce chapitre, l'analyse a permis de vérifier la qualité des eaux de surface.

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.

I. Introduction

La bonne connaissance des conditions climatiques de la zone d'étude joue un rôle majeur dans la compréhension de l'évolution des éléments chimiques, la protection et la résolution des problèmes de pollution au niveau de la nappe.

Dans ce chapitre, nous allons montrer quelques éléments d'hydrologie de surface dans la zone d'étude, et les facteurs climatiques qui déterminent le climat dominant dans la zone d'étude, en relation avec le cycle hydrologique au niveau du bassin concerné.

II. Situation géographique

La plaine alluviale du Haut Chélif est située à 120 Km au sud-ouest d'Alger. Elle appartient au bassin du Chélif. Elle est limitée longitudinalement entre 2° et 2°27' Est d'une part, et latitudinalement entre 36°18' et 36°6' Nord d'autre part (Fig.0I-I). Elle occupe une superficie de l'ordre de 359 Km² avec un périmètre de 159 km et une altitude moyenne de 270m. Elle forme un grand réservoir d'eau souterraine.

Notre terrain d'étude est limité :

- Au Nord par le massif du Zaccar ;
- Au Sud par les premiers reliefs de l'Ouarsenis ;
- Au l'Est par le seuil de Djendel ;
- Au l'Ouest par le seuil de Doui.

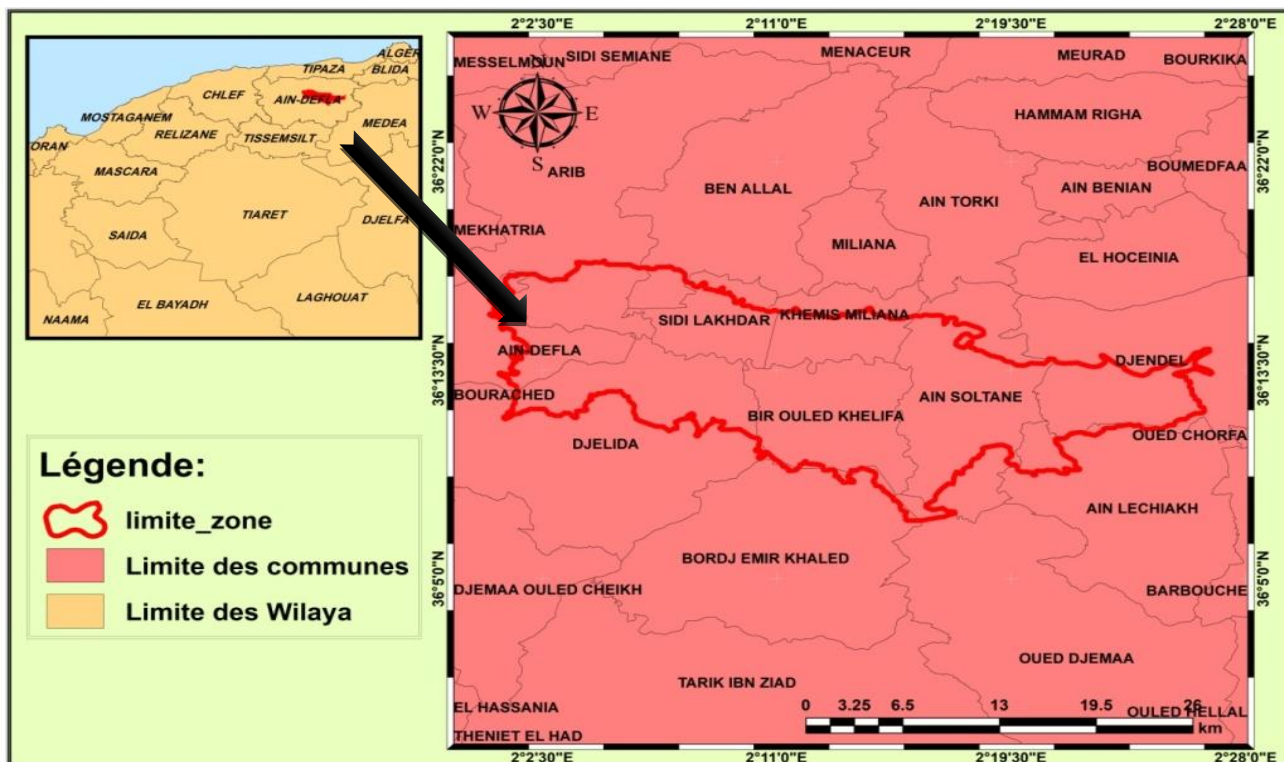


Figure 0I-1. Carte de situation géographique.

III. Morphologie du bassin du haut Chélif

Le bassin peut atteindre jusqu' à 430 m d'altitude et correspond quelquefois à de fortes pentes dans sud-est, favorisant l'érosion. Du Nord-est jusqu'au centre du bassin versant, des vallées dominant, et est caractérisé par de faible altitude s'allant jusqu'à 220m, induisant de très faibles pentes. Le reste de la surface va concorder avec des plaines accusant des pentes plus au moins fortes (Fig. III-1) et (Fig. III-2).

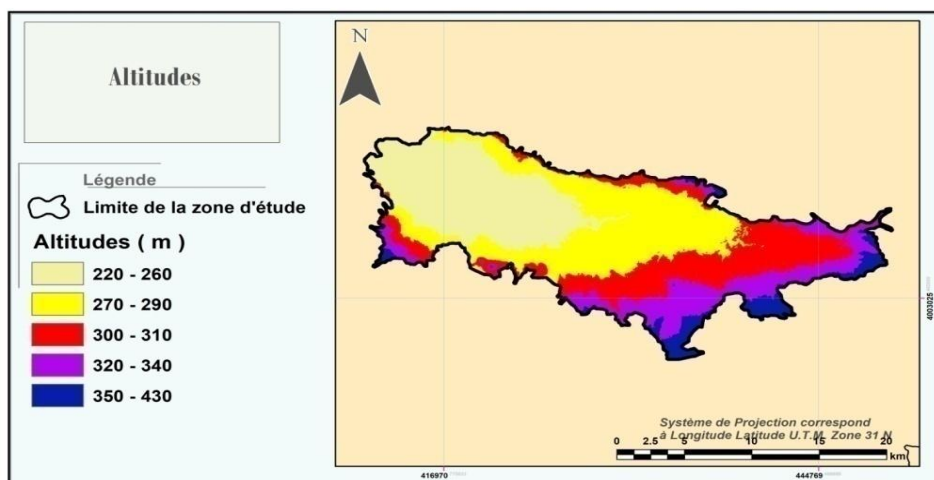


Figure II0-1. Carte des altitudes.

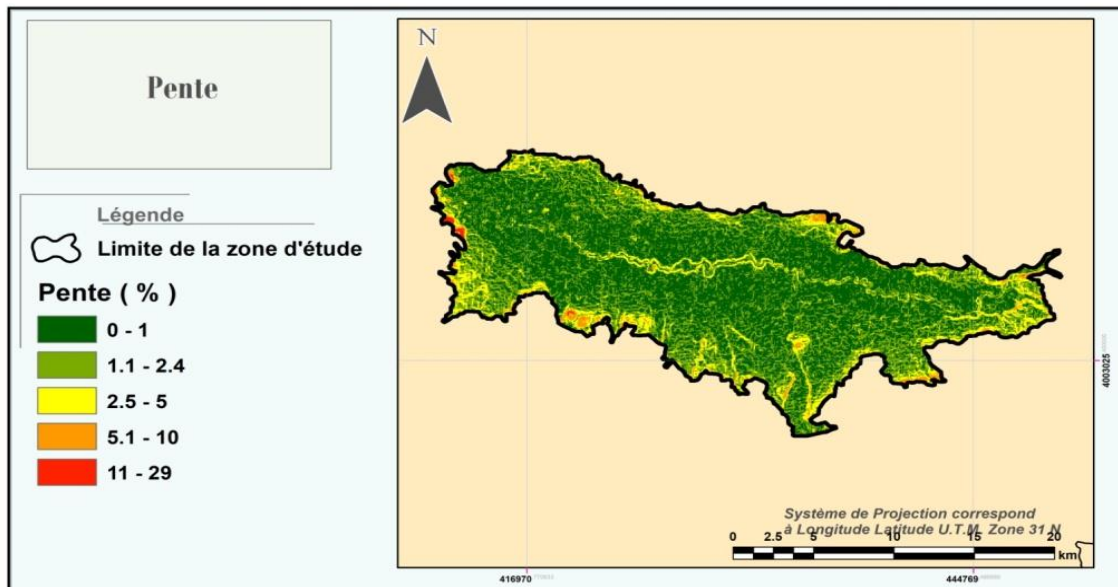


Figure 0-2. Carte des pentes.

IV. Aperçu hydrologique

IV.1 Les bassins versants

La plaine alluviale du haut Chélif est circonscrite dans le bassin versant du Chélif, codé « 01 » au répertoire du service hydrologique de l'ANRH (*). Ce dernier est subdivisé en 36 sous bassins versants, dont l'unité hydrogéologique étudiée s'étale sur les quatre sous bassins versants suivants (Tableau 0V-I).

ANRH (*) : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

Tableau 0IV-1. Sous bassins versants assurant la recharge du système aquifère étudié.

Nom de sous bassin	Oued Cheliff Ghrib	Oued Cheliff Harbil	Oued Deurdeur	Oued Cheliff Harraza
Code	01-14	01-15	01-16	01-17

IV.2 Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique se définit comme étant l'ensemble des cours d'eau naturel ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrologique est sans aucun doute l'une des caractéristiques les plus importantes du système hydrologique. Le bassin peut prendre plusieurs formes.

L'oued Chélif longe la plaine d'est en ouest et constitue le cours d'eau principal. Il constitue un collecteur d'eaux de ruissellement qui affluent au niveau de ses deux rives, droite et gauche (Tableau 0V-2) :

- sur la rive droite, les principaux affluents : l'oued Souffay, l'oued Boutane et l'oued Millet.
- Sur la rive gauche, les principaux affluents sont : l'oued Telbene, l'oued Deurdeur, l'oued Massine, l'oued Djelida et l'oued Harreza (Fig. IV-1).

Le réseau hydrologique a une longueur de 330,29 kilomètres et une pente moyenne de 3,45%,(Richa, 2016).

Tableau 0IV-2. Le Réseau hydrographique (BONG.N, 2013).

Oued (cours d'eau).	Chélif	Souffay	Millet et butane	Deurdeur	Massine	Harreza	Djelida
Longueur (m).	59275.67	4305.85	30897	5171	6424	10273	5665
Direction d'écoulement	E-W	NNE - SSO	E-w	SSO -NNE	SSE - NNO	S E -NO	ESE - ONO

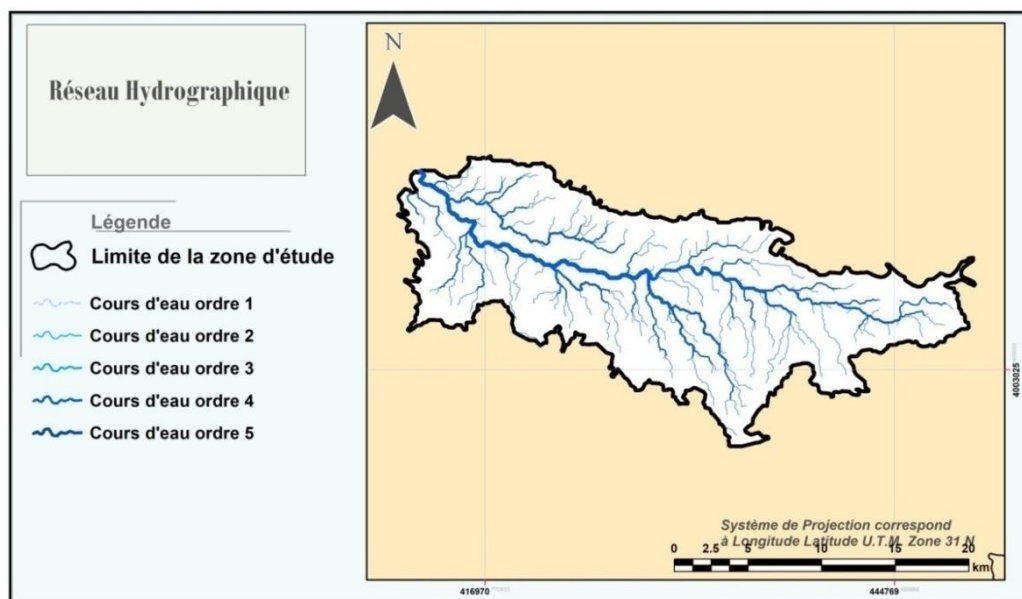


Figure 0IV-1. Réseau hydrographique.

V. Hydroclimatologie

La zone d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen semi-aride avec des étés chauds et secs, des printemps courts (avril à mai), des automnes très courts en octobre et des hivers pluvieux et frais (Claus R, 1972).

V.1 Régime pluviométrique

Dans notre étude, nous nous sommes basés sur les données des cinq stations pluviométriques existant au niveau de la plaine (Tableau V-1). Le nombre d'année d'observation est de 50 ans (1968-2017) pour les précipitations moyennes annuelles et la précipitation moyenne mensuelle. Les données sont récoltées au sein l'ANRH de Blida et de la subdivision de Khemis-Miliana.

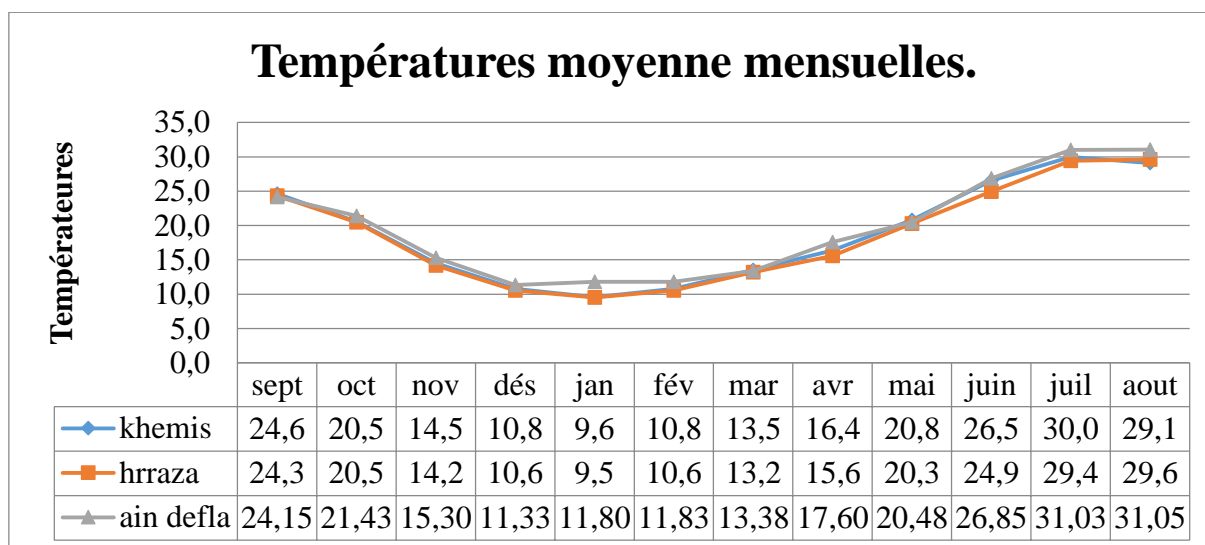
Tableau V-1. Localisation des stations pluviométriques.

Station	Code de la station	X(UTM) (m)	Y(UTM) (m)
Ain Soltane	01-15-12	438408.14	4009957.95
Barrage Arib	01-17-02	412561.16	4016440.25
Sidi Lakhdar	01-17-11	424919.93	4013700.33
Khemis Miliana	01-17-17	429117.86	4013037.14
Barrage Harreza	01-17-18	429117.86	4005470.14

V.2 Analyse de température

La température est le second facteur important dans l'étude climatique car elle agit directement sur le phénomène de l'évapotranspiration et par conséquent le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Les températures utilisées se rapportent aux stations (Harreza, Khemis Miliana et Ain Defla) durant les huit années d'observation (2002-2010).

V.2.1 Variation des températures moyenne mensuelles



FigureV-1. Histogramme de Températures moyenne mensuelles.

L’histogramme (Fig.V-1) montre la variation de la température moyenne mensuelle d’une période de 8 ans (2002-2010). La valeur la plus élevée est observée en été, au mois d’Août avec une moyenne de 31.05°C dans la station d’Ain Defla tandis que la plus basse valeur est observée au mois de janvier avec une moyenne de 9,5°C dans la station de Harreza.

VI. Les éléments de bilan hydrologique

Ils représentent les apports en eau ou les flux d’échange entre les réservoirs du cycle de l’eau.

VI.1 La pluviométrie

La pluviométrie est le générateur des phénomènes hydrologiques au niveau des bassins versants.

VI.1.1 Variation temporelle des précipitations :

À l’échelle de la plaine du haut Chélif, les précipitations sont très irrégulières temporellement pour la même station pluviométrique et spatialement d’une station à une autre. Pour montrer ce contraste, on visualisera par la suite les données de précipitation (mensuelles et annuelles) relatives aux stations du réseau pluviométrique de la zone d’étude, mais en privilégiant celles qui représentent l’homogénéité la plus possible des séries pluviométriques (période d’observation).

VI.1.1.1 Les précipitations moyennes mensuelles

L'analyse des précipitations moyennes mensuelles observées dans les différentes stations, nous a permis de distinguer deux saisons bien distinctes :

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

Pour mettre en évidence la variation mensuelle des précipitations, nous avons réalisé un histogramme (Fig.0VI-1) montrant la variation mensuelle des précipitations.

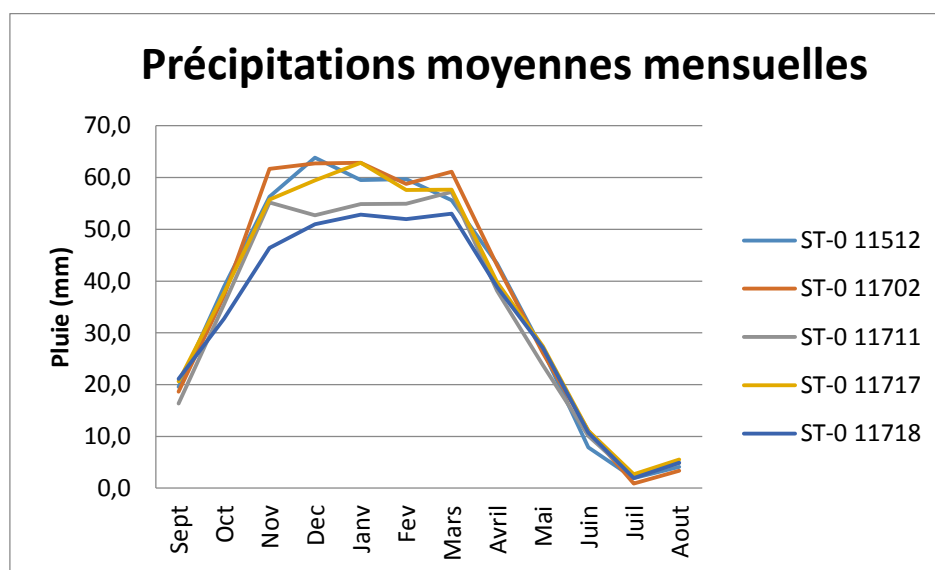


Figure0VI-1. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles.

L'examen des données de (Fig.VI-1) montrent la variation des moyennes mensuelles de précipitation permettant de déduire que la région est caractérisée par deux saisons distinctes, une période pluvieuse et une autre sèche.

VI.1.1.2 Précipitations moyennes annuelles

Les hauteurs des pluies moyennes annuelles enregistrées par les stations d'étude pour 50 ans d'observations (Tableau 0VI-1) sont représentées sur la (Fig.0VI-2)• comme suit:

Tableau 0VI-1. Précipitations moyennes annuelles (1995-2017).

Station	Code de la station	X(UTM) (m)	Y(UTM) (m)	P _{moy} annuelles (mm)
Ain Soltane	01-15-12	438408.14	4009957.95	436,5

Barrage Arib	01-17-02	412561.16	4016440.25	445,8
Sidi Lakhdar	01-17-11	424919.93	4013700.33	403.6
Khemis Miliana	01-17-17	429117.86	4013037.14	437.0
Barrage Harraza	01-17-18	429117.86	4005470.14	390.3

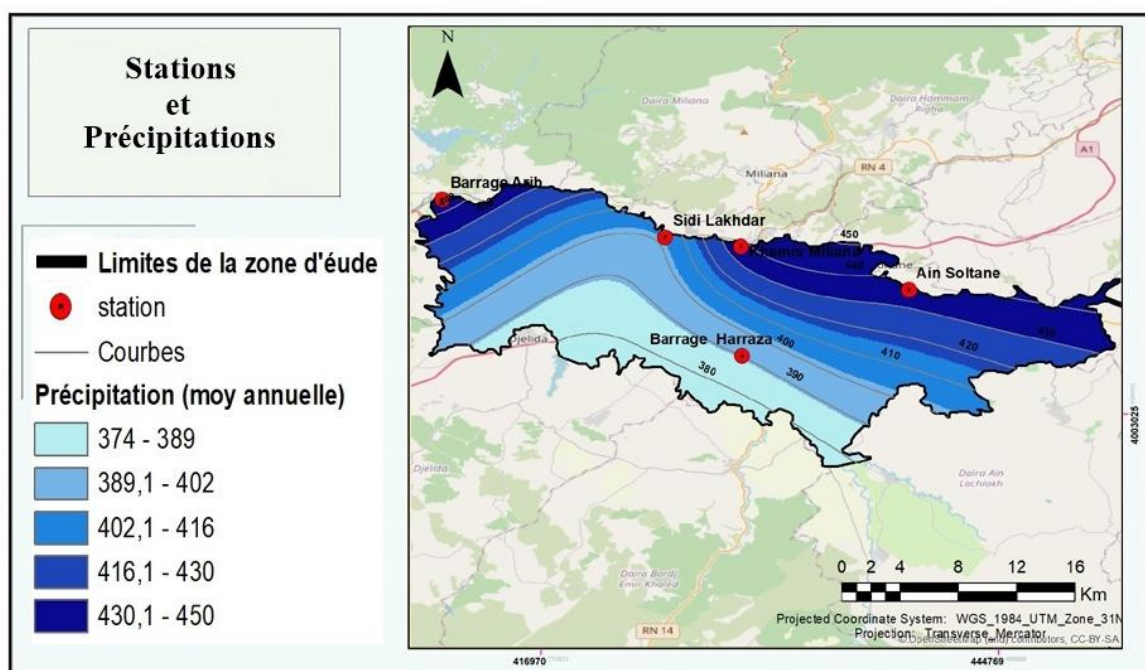


Figure 0VI-2. Carte représentant la localisation des stations et des précipitations.

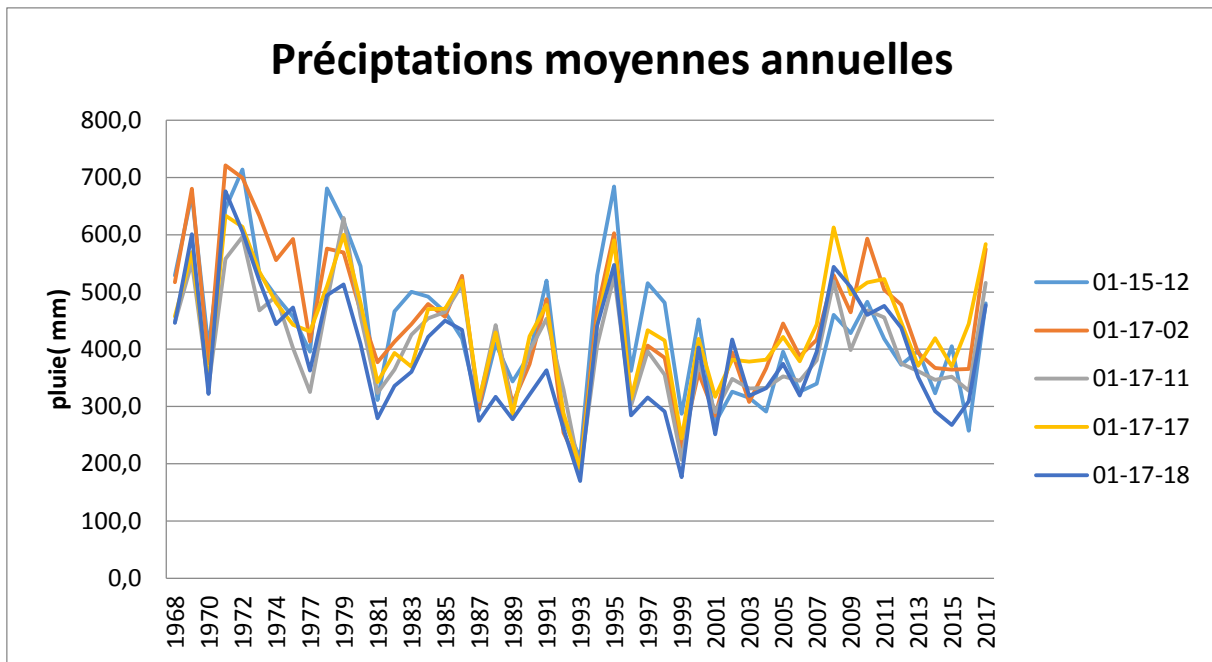


Figure0VI-3. Histogramme de précipitation moyenne annuelle dans les stations étudiées.

Selon l’histogramme (Fig.VI-3), on remarque que l’année pluvieuse est celle de 1972 avec une valeur de l’ordre de 714 mm dans la station d’Ain Soltane, par contre l’année 1997 est marquée par de faibles précipitations (169.9mm) dans la station du barrage Harreza.

VI.1.2 Lame d’eau précipitée

La détermination de la lame d’eau moyenne précipitée dans la région d’étude a été effectuée par la méthode des moyennes arithmétiques :

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

p_i : pluie moyenne au niveau de la station

n : Nombre total des postes pluviométriques

$$P_{\text{moy}} = \sum \frac{(436.5+445.8+403.6+437+390.3)}{5} = 422.64\text{mm.}$$

VI.2 Evapotranspiration

L’évapotranspiration constitue un facteur important pour le calcul du bilan hydrologique et en même temps, une perte d’infiltration par rapport à la recharge de l’aquifère. Cependant, il reste difficile de l’évaluer car elle englobe deux phénomènes divers dont l’un est physique (l’évaporation directe par retour dans l’atmosphère à partir des réservoirs d’eaux de surface et ceux des eaux souterraines) et l’autre est biologique (la transpiration des plantes). Les taux de

l'évapotranspiration sont gouvernés par plusieurs facteurs, les plus importants parmi lesquels est la température, l'humidité de l'air et la disponibilité de l'eau sur la surface et dans les sous-sols peu profonds. L'évapotranspiration est distinguée en :

- Evapotranspiration potentielle « ETP » : constitue la quantité d'eau maximale qui pourrait s'évaporer au niveau du sol, et ce dernier est suffisamment approvisionné en eau sous certaines conditions climatiques.
- Evapotranspiration réelle « ETR » : correspond à la quantité des eaux effectivement évaporée (eaux superficielles et les réserves en eau des sols) et transpirée par les plantes.

VI.2.1 Evaluation de l'évapotranspiration

VI.2.1.1 Evaluation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) par la méthode empirique de « Thornthwaite »

Cette expression de l'évapotranspiration potentielle ne prend en compte que la température mensuelle. Elle est donnée par : $ETP = 16 \left(10 \frac{T}{I}\right)^a \cdot K$

Où $I = \sum i = \sum (5)^{1.5}$ et $a = 0.016I + 0.5$

Où : ETP : Evapotranspiration mensuelle (mm)

T : Température moyenne mensuelle (°C)

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

K : Coefficient d'ajustement mensuel

VI.2.1.2 Évaluation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

VI.2.1.2.1 Évaluation par la méthode du bilan simplifié selon Thornthwait

La méthode du bilan simplifié selon Thornthwait est la plus utilisée pour les climats subhumides et semi-arides (cas de la zone d'étude). Cette méthode est basée sur la notion de la réserve d'eau facilement utilisable (notée RFU). Il est admis que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (la RFU) ; cette eau peut être reprise par l'évapotranspiration. La quantité d'eau stockée dans la RFU est bornée par 0 (la RFU vide) et RFU max (capacité maximale de la RFU qui est de l'ordre de 0 à 200 mm suivant les sols et sous-sols considérés, avec une moyenne de l'ordre de 100 mm), (Gaude, 1976).

Il est admis que la satisfaction de l'ETP a une priorité sur l'écoulement (avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut satisfaire le pouvoir évaporant (ETP = ETR)). Par ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement.

D'un autre côté, la méthode empirique de Thornthwait permet de calculer l'évapotranspiration potentielle « ETP » exprimée en (mm) à partir des données de base (précipitations moyennes mensuelles, températures moyennes mensuelles (T en °C), le coefficient thermique mensuel (K) et l'indice thermique mensuel (i).

❖ **Le principe de calcul du bilan hydrologique de Thornthwait est le suivant :**

a) Si pour un mois $P \geq ETP$:

- $ETP = ETR$,

- L'excédent ($P - ETP$) est affecté en premier lieu à la RFU (si le sous-sol a un pouvoir d'infiltration élevé, cet excédent va constituer la composante verticale de l'écoulement souterrain ou l'infiltration efficace vers la nappe), et si la RFU est complète, cette quantité restituée ($P - ETP$) va alimenter l'écoulement Q.

b) Si $P < ETP$:

-Il faudra évaporer toute la pluie et prendre à la RFU (jusqu'à la vider) de l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit :

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

* $RFU = 0$ ou $ETR = RFU + P - ETP$ - Si $RFU = 0$, la quantité ($Da = ETP - ETR$) représente le déficit agricole, c'est-à-dire sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes.

❖ **Récapitulation des résultats :**

Le récapitulatif des données de l'ETP et de l'ETR obtenues par la méthode du bilan hydrique de Thornthwait est figuré dans (Tableau 0-2).

Tableau 0VI-2. Bilan hydrologique moyen à la station du barrage Harreza (1993-1994 à 2012-2013).

moins	T	i	k	ETP	PR	P-ETR	RFU	ETR	Da
Sep	24,6	10,91	1,03	109,36	29,15	-80,21	0	29,15	79,85
Oct	20,5	8,3	0,97	69,89	31,39	-38,5	0	31,39	38,5
Nov	14,5	4,93	0,86	38,61	50,05	16,44	16,44	38,61	0
Déc	10,8	3,17	0,81	21,55	46,79	25,24	41,68	21,55	0
Jan	9,6	2,66	0,87	17,06	48,8	31,2	72,88	17,06	0
Fév	10,8	3,17	0,85	21,55	52,38	30,38	100	21,55	0
Mars	13,5	4,43	1,03	33,52	36,45	2,93	100	33,52	0
Avril	16,4	5,94	1,10	49,27	38,72	-10,55	89,5	49,27	0
Mai	20,8	8,48	1,21	78,89	27,92	-50,97	29,53	57,45	21,44
Juin	26,5	12,2	1,22	127,36	7,48	- 119,88	0	7,48	119,88
Juil	30	14,69	1,24	162,91	0,56	- 162,35	0	0,56	162,35
Aout	29,1	14,04	1,16	156,52	7,07	- 149,45	0	7,07	149,45
annuel	18,92	92,92		886,49	376,76			314,66	571,47

Ainsi, l'évapotranspiration réelle annuelle est donc de 314.66 mm pour une pluie moyenne annuelle de 376.76 mm, elle correspond donc à 87.7% des précipitations, le reste constitue l'excédent (62.1 mm) qui représente la quantité d'eau qui s'infiltre et/ou s'écoule dans les oueds selon la formule suivante :

$$WS = R + I$$

Où :

WS : Excédent (mm).

R : Ruissellement (mm).

I : Infiltration moyenne annuelle (mm).

Pour déterminer l'infiltration on calcul d'abord le ruissellement :

➤ Ruissellement

Le ruissellement est contrôlé par les conditions suivantes :

- l'intensité de la pluie doit être supérieure à la vitesse d'infiltration des eaux à travers le sol ;
- la satisfaction du pouvoir d'évapotranspiration (ETP et ETR) et de la réserve facilement utilisable (RFU) ;

- les caractéristiques du recouvrement de l'aquifère (le type et la texture du sol) ;
- La pente du terrain et la densité du couvert végétal influant à la fois sur l'élévation de la vitesse du ruissellement et de la lame d'eau ruisselée et la réduction de la lame d'eau infiltrée).

Ce paramètre est exprimé en hauteur (lame d'eau ruisselée en (mm) = volume ruisselé (m³) / aire réceptrice du bassin (m²), et il est calculé par la formule de Tixeront Berkaloff :

$$R = \frac{p^3}{3(ETP)^2}$$

Ou

R : Ruissellement (m).

P : Précipitations moyennes mensuelles (m).

ETP : Évapotranspiration potentielle (m).

➤ **Infiltration**

$$I = WS - R$$

L'infiltration serait donc de 39,42 mm environ, soit 10.46% des précipitations.

VII. Climat de la région d'étude

VII.1 L'indice d'aridité annuelle

Il est possible de classer la région d'étude en fonction de son régime climatique en se basant sur l'indice d'aridité annuelle (Ia) de De Martonne qui va être évalué pour la station pluviométrique de Barrage Harreza (Tableau V0I-1).

Cette démarche permet de donner une idée globalisante et approximative sur le climat régnant à l'échelle de la zone d'étude, (Fig.0I-1).

. Indice de Martonne (aridité annuelle) : C'est le rapport entre la hauteur moyenne des précipitations annuelles et la moyenne des températures annuelles. Il est donné par la formule suivante :

$$I = P / (T + 10)$$

Dont ;

P : est la pluviométrie moyenne annuelle en (mm),

T : est la température moyenne annuelle en (°C).

Suivant la valeur de I, Martonne a établi la classification suivante :

- * $I_a < 10$: correspond à un climat aride ;
- * $10 < I_a < 20$: correspond à un climat semi-aride ;
- * $I_a > 20$: correspond à un climat température.

Tableau 0VII-1. Moyennes mensuelles et annuelles des précipitations et des températures du barrage Harreza (1993-1994 à 2012-2013).

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy, Ann
T(c°)	24,6	20,5	14,5	10,8	9,6	10,8	13,5	16,4	20,8	26,5	30	29,1	18,92
P (mm)	29,15	31,39	50,05	46,79	48,8	52,38	36,45	38,72	27,92	7,448	0,56	7,07	376,76

Pour la station de barrage Harreza : $I_a = 376.76/18.92 = 19.91$; $10 < I_a = 19.91 < 20$ alors que les régions qui se trouvent dans le champ de contrôle des facteurs climatiques de cette station, sont qualifiées par un climat semi-aride (Fig.V0-1).

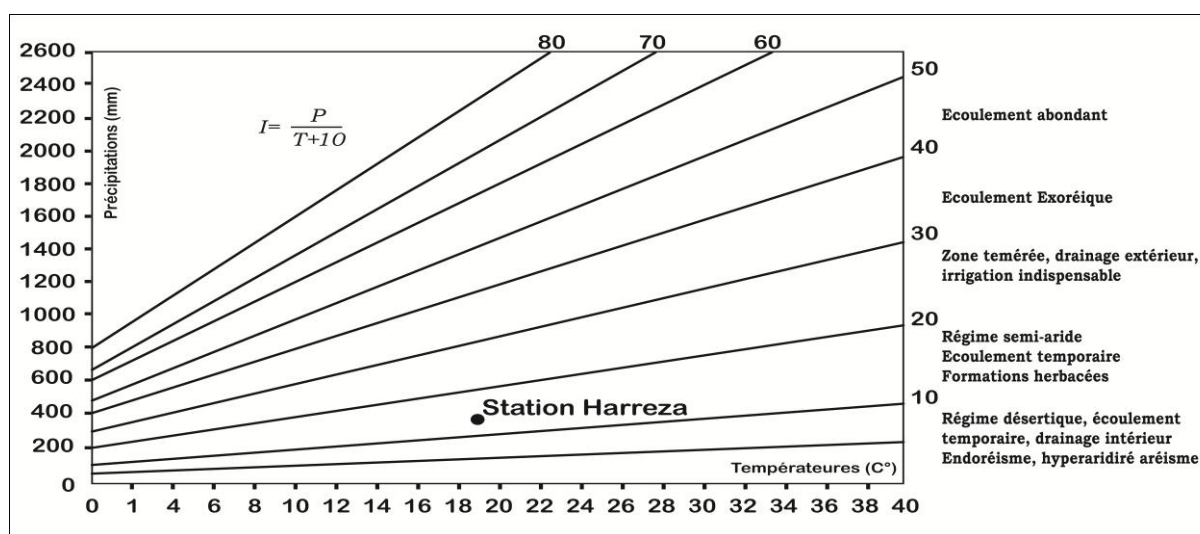


Figure 0VII-1. Situation de la station de Harreza par rapport aux étages climatiques

(Abaque d'indice d'aridité de Martonne, 1925).

VIII. Conclusion

La région du Haut Cheliff est caractérisée par un climat semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux, et un été chaud et sec, influencé par des facteurs géographiques (éloignement de la mer, altitude et orientation des reliefs). La répartition des précipitations et des températures influe sur la chimie des eaux par dilution pendant la période pluvieuse, ou concentration lors de l'évaporation durant la période sèche.

L'étude de ce chapitre nous a permis de déterminer les caractéristiques climatologiques et hydrologiques suivantes :

La température moyenne interannuelle oscille entre 13 et 19°C.

Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 50 ans (1968-2017), sont estimées à 422.7 mm.

L'évapotranspiration réelle est estimée à 314.66 mm, mobilisant 83.51 % des précipitations.

Le ruissellement ne représente que 8 % des précipitations, ce qui représente 22.68 mm.

L'alimentation de la nappe se fait à l'aide de l'infiltration qui est estimée à 39.42 mm, soit 10.46% des précipitations.

**Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone
d'étude.**

Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude

I. Introduction

La géologie est un outil précieux au service de l'étude hydrogéologique, elle permet de définir les formations et les structures susceptibles de constituer des réservoirs d'eau, et d'estimer leur importance et capacité hydrique.

Dans ce chapitre, nous allons présenter brièvement quelques caractéristiques générales sur la géologie et l'hydrogéologie de la région d'étude.

II. Contexte géologie

Pour la caractérisation géologique et hydrogéologique, nous avons utilisé les travaux majeurs de Mattauer (1958) et Kireche (1977-1993) ainsi que les différentes cartes géologiques (Fig. II-1) disponibles selon la position géographique des sous bassins.

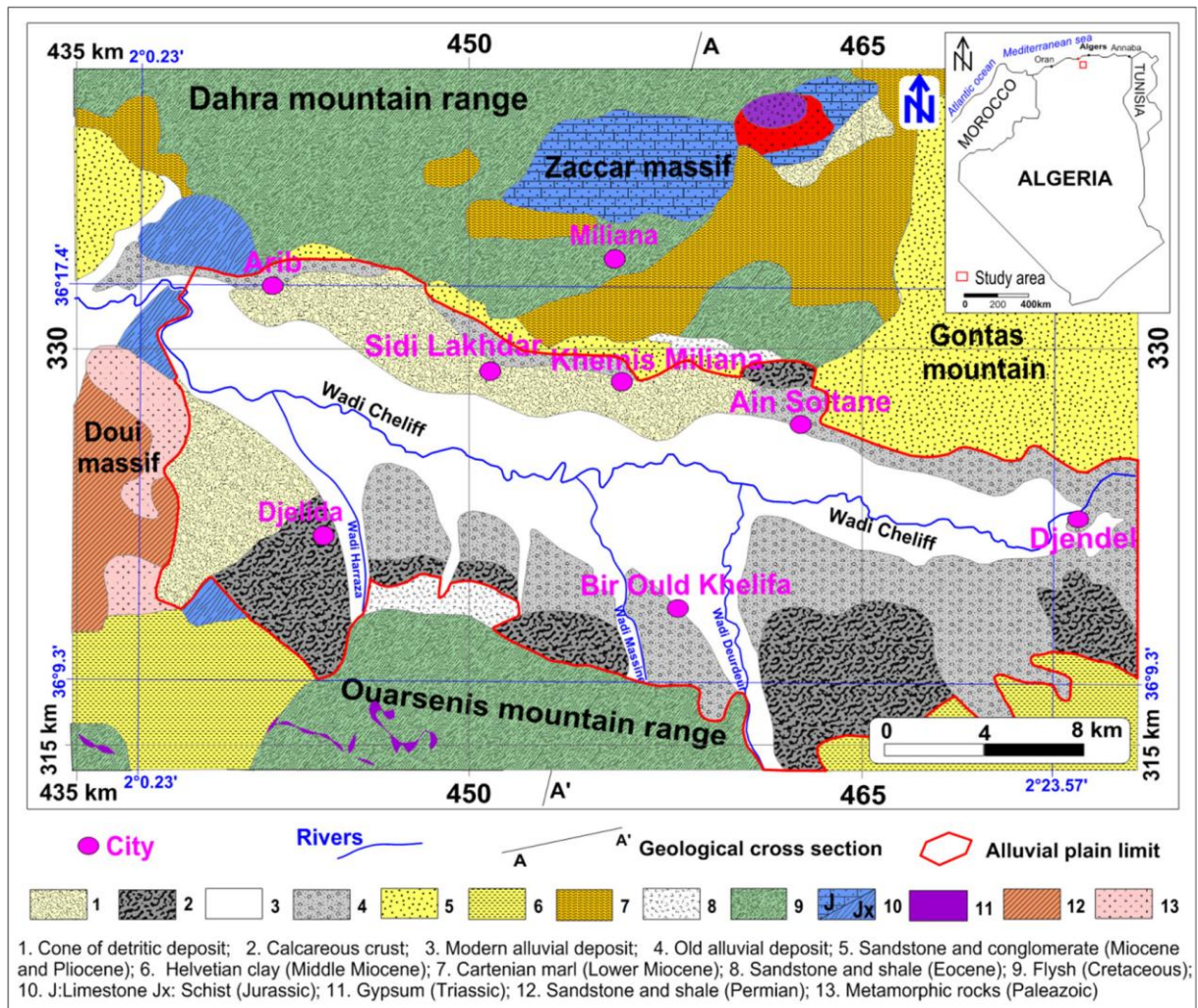


Figure II-1. Carte géologique de la plaine du Haut Chelif. Perrodon (1957), modifié par (Dekkiche I, Mezaour A).

II.1 Cadre régional

II.1.1 Le socle métamorphique

Des schistes noirs siluriens : Il se trouve plus précisément dans la région d'Ouaguenay au sud de Doui, qui est le seul pointement de roches métamorphiques connu dans la région. (Mattauer, 1958). L'épaisseur est 500 mètres environ. Le Carbonifère est formé, de roches volcano-clastiques, recoupés par des épanchements dacitiques. Le second pointement paléozoïque affleure à Ain Tourki, encore mal définis

II.1.2 La couverture

II.1.2.1 Le Permo-Trias

Il est formé de quelques centaines de mètres d'alternances de couches violacées, de conglomérats à galets de quartz, de grès et de schistes.

II.1.2.2 Le Trias

A la base du calcaire jurassique situé au sud-est de Doui, on remarque des niveaux dolomitiques à faciès triasique ou infraliasique, formés de dolomies, de cargneules et de brèches (Fig. II-2).

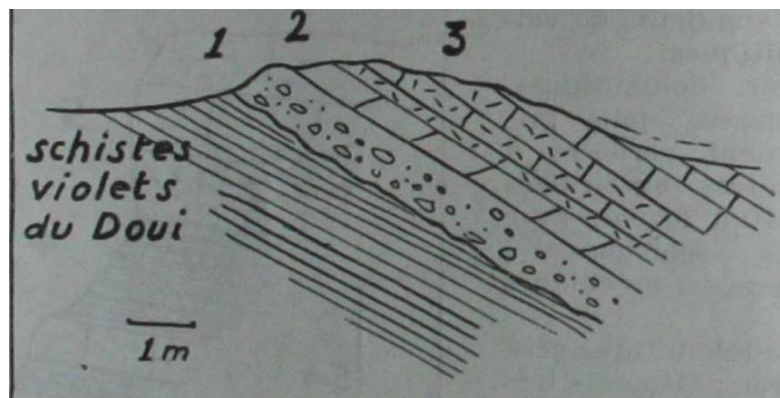


Figure II-2. Coupe du Trias du Djebel Doui.

II.1.2.3 Le Jurassique

Les calcaires Jurassiques du Chélif ont été très modifiés par l'action conjuguée d'un léger métamorphisme de phénomènes de métagénèse et de nombreuses minéralisations. Ils sont pour la plupart du temps très recristallisés et passent dans le Zaccar à de véritables cipolins. Ces circonstances expliquent à elles seules l'absence presque totale de microfossiles et à plus forte raison de microfossiles.

Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude

II.1.2.3.1 Le Jurassique du Zaccar

Les calcaires du Zaccar sont discordants et transgressifs sur le primaire avec localement un conglomérat de base. Ils n'ont jamais fourni aucune trace de fossile. Les grès et quartzites à débris de plantes peuvent être, par analogie rattachés au grès de l'Ouarsenis, au Dogger (Mattaue, 1958).

II.1.2.3.2 Le Jurassique de Doui

Il peut être subdivisé en cinq termes lithologiques (Kireche, 1993):

Terme A : les calcaires dolomitiques gris-noire (50m) ;

Terme B : les calcaires massifs gris bleus (100m) ;

Terme C : les calcaires détritiques en bancs décimétriques (50m) ;

Terme D : une alternance calcschisteuse versicolore et détritique (30m) ;

Terme E : les calcaires blancs massifs (20m).

II.1.2.4 La Crétacée inférieure

Dans les massifs du Chélif, l'épaisseur du Néocomien est très réduite en le comparant à celui de l'Ouarsenis et au Dahra. Il affleure au Nord du Doui près de Sidi Slimane, et au Sud près du socle. On y distingue de bas en haut les séries suivantes :

- les Calcaires en gros bancs métriques gris bleu à intercalations marneuses, schisteuses (50m) ;

- les schistes argileux à galets mous et calcschistes à grain fin (50m) ;

- les schistes bréchiques à pyroclastite ;

- les Calcschistes à bancs calcaires décimétriques peu épais ;

-Un faciès flysch, épais de 1000 mètres environ.

II.1.2.5 Le Crétacé supérieur

Dans les massifs du Chélif, le crétacé supérieur forme des lambeaux isolés ; ils sont constitués de marnes et calcaires marneux à Globotruncana. Ils n'ont pas été affectés par les transformations métamorphiques et se présentent en de simples structures, différentes de celles du Crétacé inférieur et du Jurassique. Son allochtonie observée en certains endroits peut être étendue à tous les affleurements du Chélif.

Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude

II.1.2.6 Miocène

Il est constitué de la base au sommet par :

II.1.2.6.1 Le Burdigalien

Il comparant trois formations qui peuvent passer latéralement de l'une à l'autre à la base de la série :

1. Calcaire à polypiers, localement représenté à la base du Cartennien, l'affleurement le plus important est situé à l'est de la station d'Adelia.
2. Grès et poudingues à élément autochtones, discordants sur les termes antérieurs de la série stratigraphique.
3. Marnes dites cartenniennes de couleur variable, brunes, grisâtres ou bleuâtres dures à cassure conchoïdale donnant des esquilles allongées d'épaisseur de 100 à 300 m.

II.1.2.6.2 Vindobonien

Comprend de bas en haut :

1. Une série de calcaires à lithothamnium rognonneux affleurant à l'Est de la région d'étude.
2. Des grès et poudingues constitués de sables friables bien développés à l'Est de la plaine.
3. Des argiles dites helvétiques, d'une épaisseur de 200 mètres affleure dans la partie nord-ouest du secteur et passant dans la partie supérieure aux grès de Gontas par l'intermédiaire d'assises gréseuses.
4. Des grès et poudingues du Gontas composés de grès sableux et bancs de poudingues discordants sur le Crétacé et peut être sur le Burdigalien. Au Nord d'Ain Sultan, cette série montre une épaisseur de centaine de mètres environ.

II.1.2.7 Mio-Pliocène

Il est formé de grès, de poudingues et d'argiles.

II.1.2.8 Quaternaire

II.1.2.8.1 Quaternaire ancien

- Une carapace calcaire, formée de tufs blanchâtre compacte recouvrant indifféremment tous les terrains et bien développée au niveau de la bordure Sud de la plaine de Chélif.

Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude

- Des alluvions anciennes correspondant aux niveaux supérieurs de la terrasse qui domine de plus de 20 m ,la vallée de l'oued Ebda et aux niveaux inférieurs mieux cimentés avec une épaisseur de 50 mètres, dominants les cônes de déjection.

II.1.2.8.2 Quaternaire récent

- Des alluvions récentes constituées par de cailloutis avec des bancs d'argiles et de limons, qui sont recouverts de sol organique.
- Les éléments des cônes de déjection des vallées atlasiques mélangés aux limons t par l'intermédiaire des apports du Chélif.
- Les dépôts alluviaux et le limon (en partie des dépôts éoliens) occupent les hautes vallées dans les dépressions du sommet de la montagne du Zaccar Gharbi.
- Les éboulis de pente sont principalement composés de calcaire ou de schistes et quartzites de la série Zaccar et contiennent des fragments de coquilles de différentes tailles plus ou moins consolidés.

II.2 Cadre local

II.2.1 Profiles en travers le long de le lit de l'oued de la plaine du haut Chélif

II.2.1.1 Station N ° 01, Village Mouaha

Nous avons dessiné les coupes géologiques avec Adobe Illustrateur CC 2019.

Le premier coupe dans le long de l'oued Chélif a été levée, à 12 km à l'est de la ville de Khemis Miliana (Fig. .II-4).

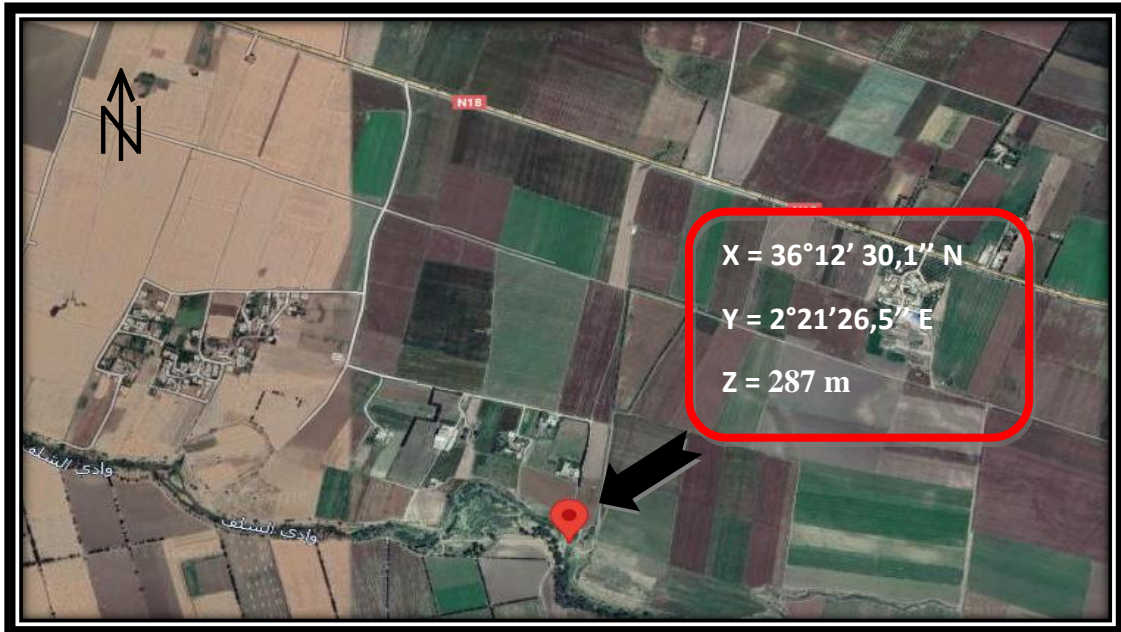


Figure II-3. Photo aérienne de la station N°01, de village Mouaha (Google maps).

II.2.1.1.1. Coupe géologique et commentaire

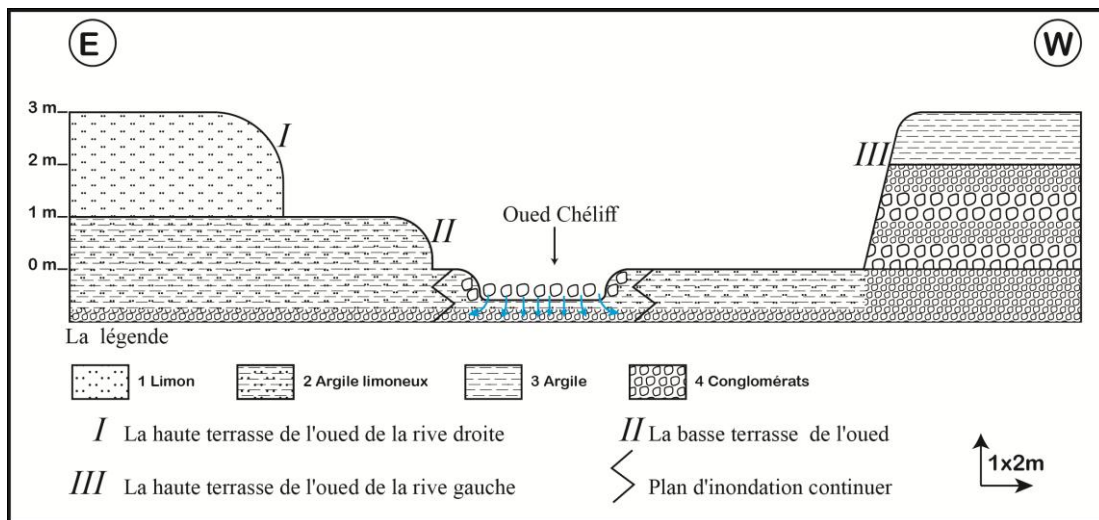


Figure II-4. Coupe géologique le long de l'oued Chélif, station N° 1 (Village Mouaha).

L'échelle de la plaine d'inondation n'est pas respectée. La longueur de la plaine d'inondation fait cinq à huit fois, celle du lit mineure.

La haute terrasse de la rive droite de l'oued, dénommée " *I*«, représente la couche la plus élevée de l'Oued et par voie de conséquence, elle est la plus ancienne (Principe de stratigraphie). Son épaisseur est de deux m environ et est constituée d'un limon de couleur

Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude

jaune. Cette couche est affectée de stratifications horizontales associées à des micro-organismes perforants. Ces perforations sont dues à mollusques. Des restes d'organismes de gastéropodes, notamment des Hélix ont été décelées. Des fractures d'orientation N090 recourent toute la roche.

La basse terrasse de l'oued de la rive droite, dénommée " **II** " est constituée par des argiles limoneuses. La haute terrasse de la rive gauche de l'oued dénommée " **III** " est formée de 3 m d'épaisseur, elle est constituée d'argile de 1 m d'épaisseur et de conglomérats de 2 m d'épaisseur, s'amenuisant latéralement jusqu'au lit mineur de l'Oued. Cette phase active de sédimentation s'atténue vers le haut par une phase détritique calme représentée par des argiles plus ou moins limoneuses.

Dans le lit mineur de l'oued, on trouve des conglomérats, le plus souvent de nature sédimentaire. Ils sont composés des galets de plusieurs natures géologiques (polygéniques), décimétriques, hétérométriques, pour faciliter la circulation de l'eau. Selon l'orientation du grand axe du galet, on peut déterminer le sens d'écoulements, allant du sud vers le nord. Les éléments formant la roche se composent de grès grossiers marron foncé et de calcaire gréseux (Fig.II-4).

II.2.1.2. Station N°2, Djendel.

La deuxième coupe de la longueur de l'oued de Chéouli a été levée à l'entrée de la ville de Djendel (Fig.II-5).

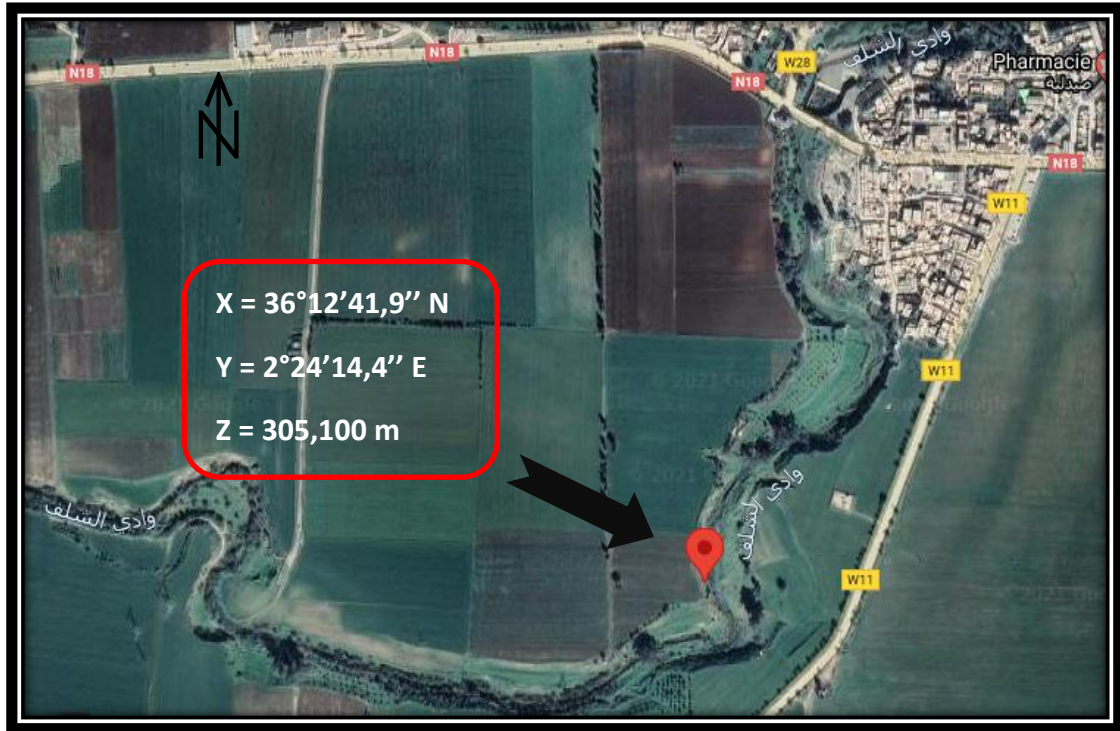


Figure II-5. Photo aérienne de la station N° 2, Djendel (Google maps)

II.2.1.2.1. coupe géologique et commentaire

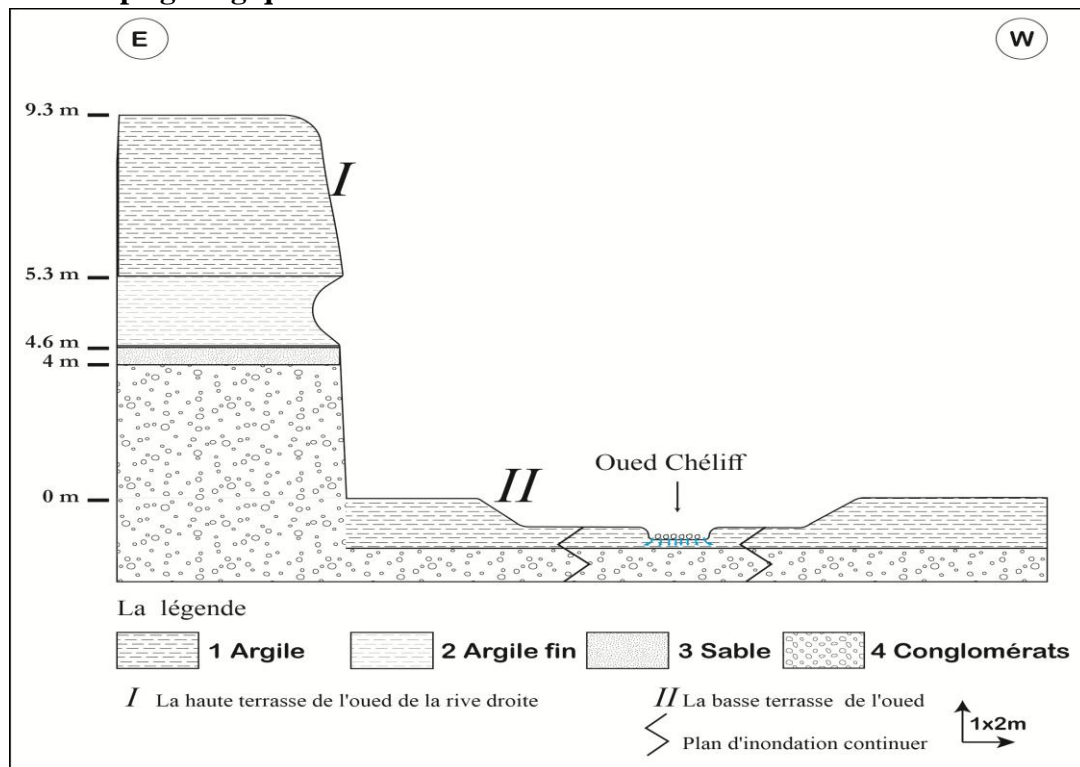


Figure II-6. Coupe géologique le long de l'oued Chélif, station N° 2 (Djendel). La longueur de la plaine d'inondation fait cinq à huit fois, celle du lit mineure.

Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude

De haut en bas, on distingue les unités sédimentaires suivantes : on a d'abord la haute terrasse de l'oued de la rive droite dénommée, " I". Elle est formée d'une couche argileuse, plus ou moins jaunâtre et épaisse de 4m environ .Au-dessous, une strate est formée d'argile fine et épaisse de 0,7 m. Il s'en suit un niveau sableux, peu épais (0,6 m).Enfin, le substratum est formé par une épaisse accumulation de conglomérats (4 m).

En tenant compte du log stratigraphique de forage de l'annexe(II.1), il semblerait que la puissance des conglomérats attendrait une cinquantaine de mètres (Fig. II-6).

La basse terrasse, formée d'argiles superficielle, constitue la plaine d'inondation.

Durant la journée du 28 avril 2021, on a observé une imbrication de galets grossiers selon le grand axe des galets permettant de déduire la turbulence et le débit significatif du lâcher du barrage, le sens d'écoulement va de l'est vers l'ouest.

La morphométrie en U des berges de l'oued dénote l'érosion active de ce dernier au moment des crues.

L'analyse pétrographique des galets récoltés dans le lit mineure de l'oued montre un pourcentage élevé de calcaires bleus suivis de grés marron. La taille des éléments est décimétrique alors que la forme est aplatie et arrondie. Cela témoigne du tri opéré par les crues de l'Oued (Fig.II-6).

II.2.1.3 Station n° 3, intersection Oued Ouessane.

La troisième coupe de le long de l'oued Chélif, a été levée à 2 km au sud-ouest de la ville de Djendel intersection Oued Ouessane et Oued Chélif (Fig. II-7) Google maps

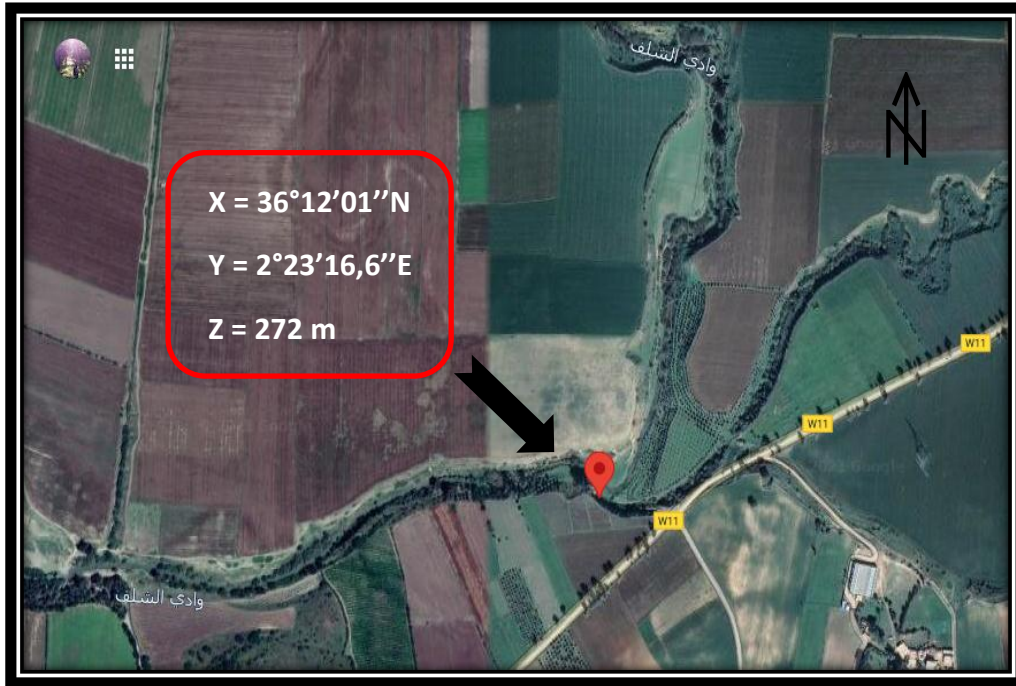


Figure II-7. Photo aérienne de la station N°3, Lieu d'intersection : Oued, Ouessane et Oued Chélif (Google maps).

II.2.1.3.1. Coupe géologique et commentaire

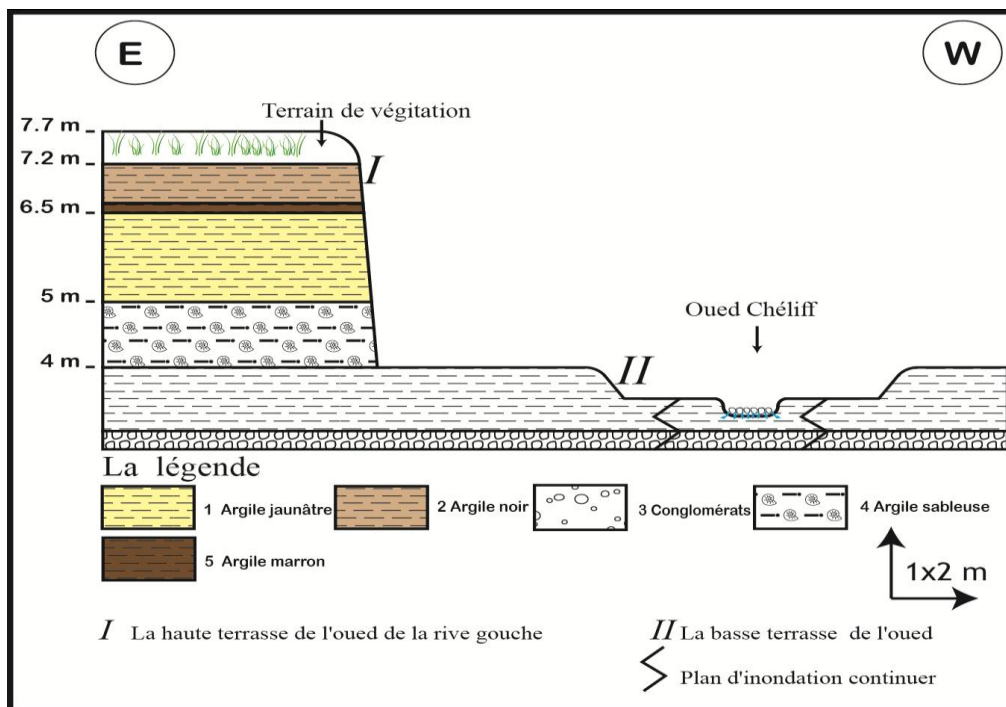


Figure II-8. Coupe géologique le long de l'oued Chélif, station N° 3 (intersection Oued Ouessane et Oued Chélif). La longueur de la plaine d'inondation fait cinq à huit fois, celle du lit mineur.

Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude

La coupe ci-dessus a été levée en amont de la confluence des deux branches de l'oued Ouessane et Chélif.

La haute terrasse de l'oued de la berge de la rive gauche "I" est formée des unités suivantes : une cinquantaine de centimètres d'un sol végétale avec au-dessous, des argiles noirs avec 0,7 m d'épaisseur, puis un passage d'une argile marron suivie d'argiles jaunâtres (1,5 m). Le dernier niveau (1 mètre) correspond à des argiles sableuses, compactes riches en débris de coquillages et présentant une teneur élevée en matière organique.

La basse terrasse " II ", à la base se compose d'une couche d'argile de 4 m d'épaisseur suivie d'un niveau de conglomérats.

Il est à noter et à partir d'un décimétrique log stratigraphique de forage proche de l'oued, nous avons remarqués que le conglomérat s'étend en profondeur jusqu'à 50 mètres d'épaisseur (voir annexe.II-2).

Le lit mineur de l'oued est constitué de galets meubles et décimétriques (Fig. II-8).

II.2.1.4 Station N°4 Ain Sultan

Le quatrième coupe de le long de l'oued Chélif, a été levée à 3 km au sud de la ville de Ain Sultan (Fig. II-9).

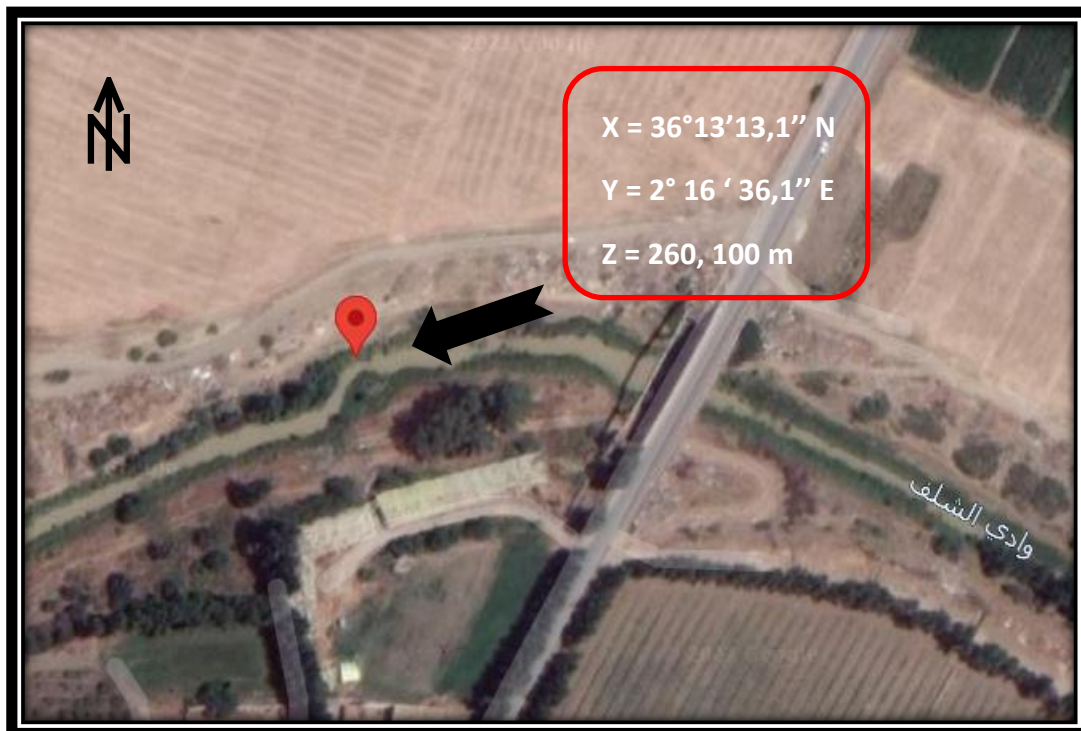


Figure II-9. Photo aérienne représenté la station N° 4, AinSultan (Google maps).

II.2.1.4.1 Coupe géologique et commentaire

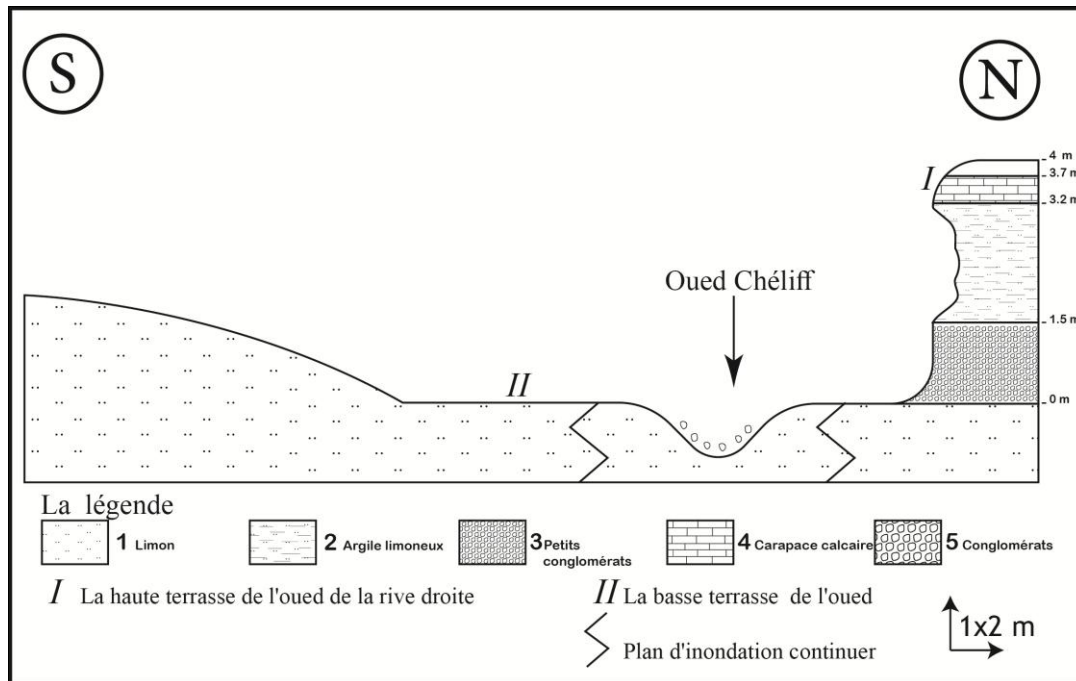


Figure II-10. Coupe géologique le long de l'oued Chélif, station N° 4 (AinSoulтан). La longueur de la plaine d'inondation fait cinq à huit fois, celle du lit mineur.

La coupe géologique à l'amont de l'Oued Chélif de la station quatre, contient plusieurs couches :

"I" est la haute terrasse de l'oued de la rive droite, elle est formée d'une couche supérieure (le sol), il s'en suit deux niveaux de carapace de calcaires de 0,5 m d'épaisseur, suivi d'un niveau d'argile limoneux de 1,70 m d'épaisseur. Enfin, des dépôts conglomératiques stratifiés, composés de trois niveaux superposés.

"II" est la basse terrasse, elle est constituée d'un niveau de limon et enfin le lit de l'oued conglomératique (Fig.II-10).

II.2.1.5 Station N°5

La cinquième coupe de le long de l'oued Chélif, a été levée à 2 km au sud de la ville de Khemis Miliana (Fig. II-11).



Figure II-11. Photo aérienne de la station N° 5, (Google maps).

II.2.1.5.1 Coupe géologique et commentaire

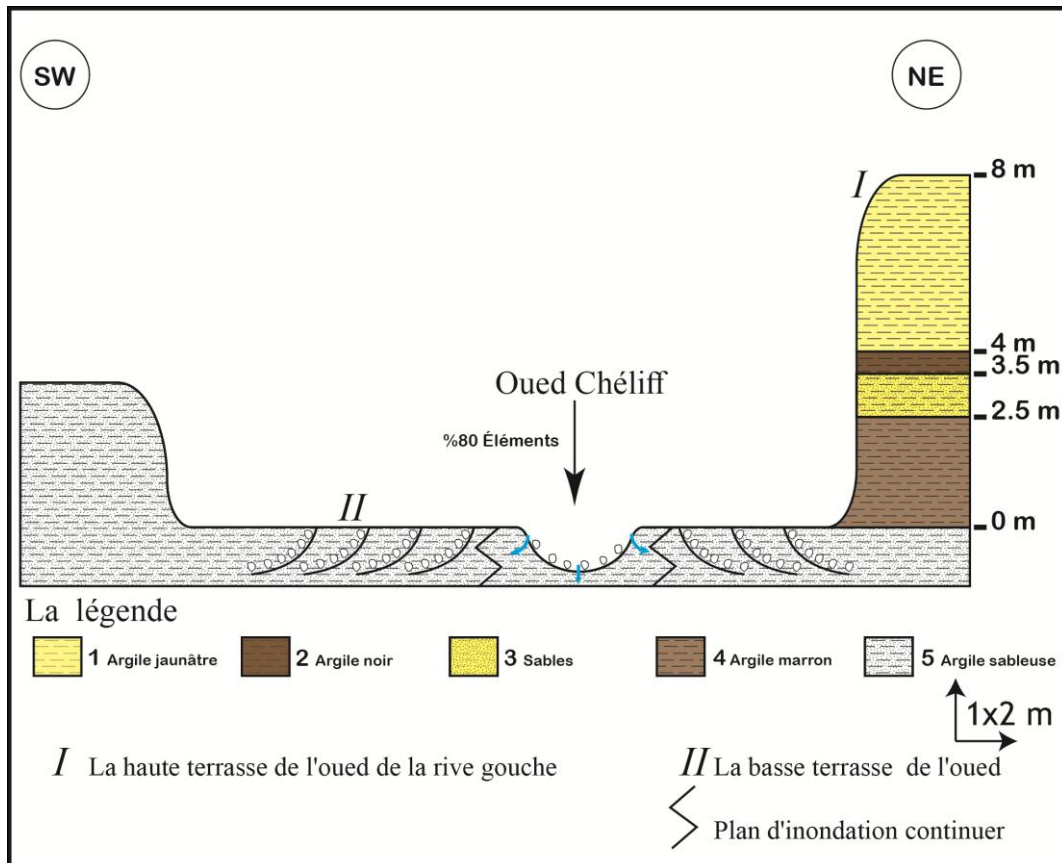


Figure II-12. Coupe géologique le long de l'oued Chélif station N° 5. L'échelle de la plaine d'inondation n'est pas respectée. La longueur de la plaine d'inondation fait cinq à huit fois, celle du lit mineur.

Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude

La coupe géologique a été levée sur l'oued Chélif au sud de la ville de Khemis Miliana montre des terrasses étagées.

"I" représente la haute terrasse de l'oued de la rive gauche avec une épaisseur de 8 m et montre la succession suivante. 1) Argile jaunâtre, épaisse de 4m environ. 2) une couche d'argile noir de 0,5 m d'épaisseur. 3) Un mélange de sable et d'argile de 1m d'épaisseur. 4) une autre couche d'argile noire mais un peu claire par rapport à la première couche, de 2,5 mètres d'épaisseur

"II" constitue la basse terrasse, elle se compose d'une unité sédimentaire, qui est un mélange de sables, argile et conglomérats

Le lit de l'oued se compose 80% d'éléments meubles dont 20% des conglomérats. (Fig.II-12).

II.2.1.6. Station N° 6 (aval du Haut Chélif, Djelida)

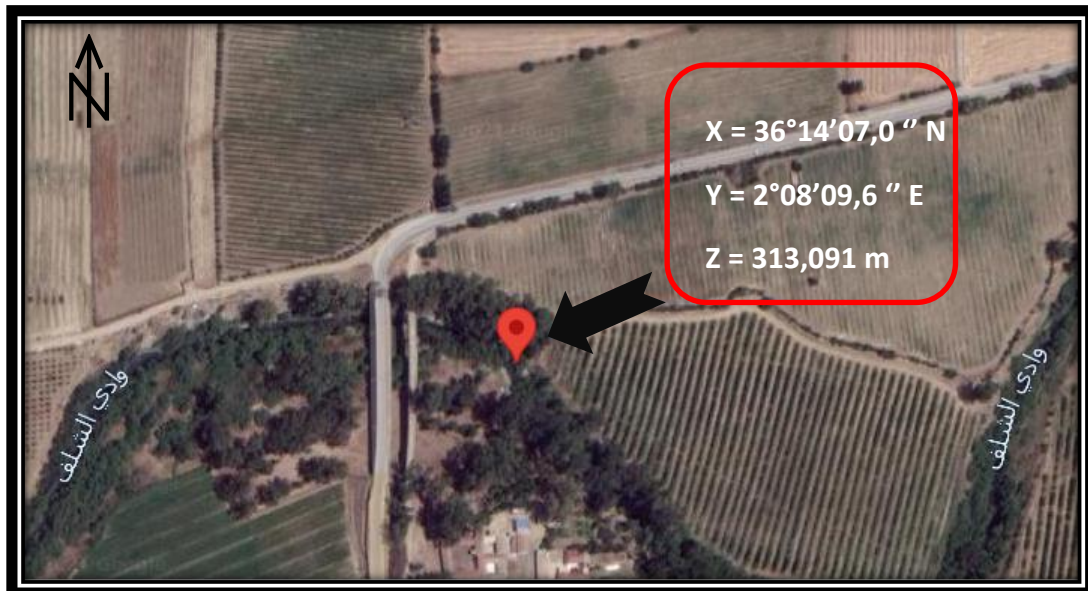


Figure II-13. Photo aérienne de la station N° 6, Djelida (Google maps).

II.2.1.6.1 Coupe géologique et commentaire

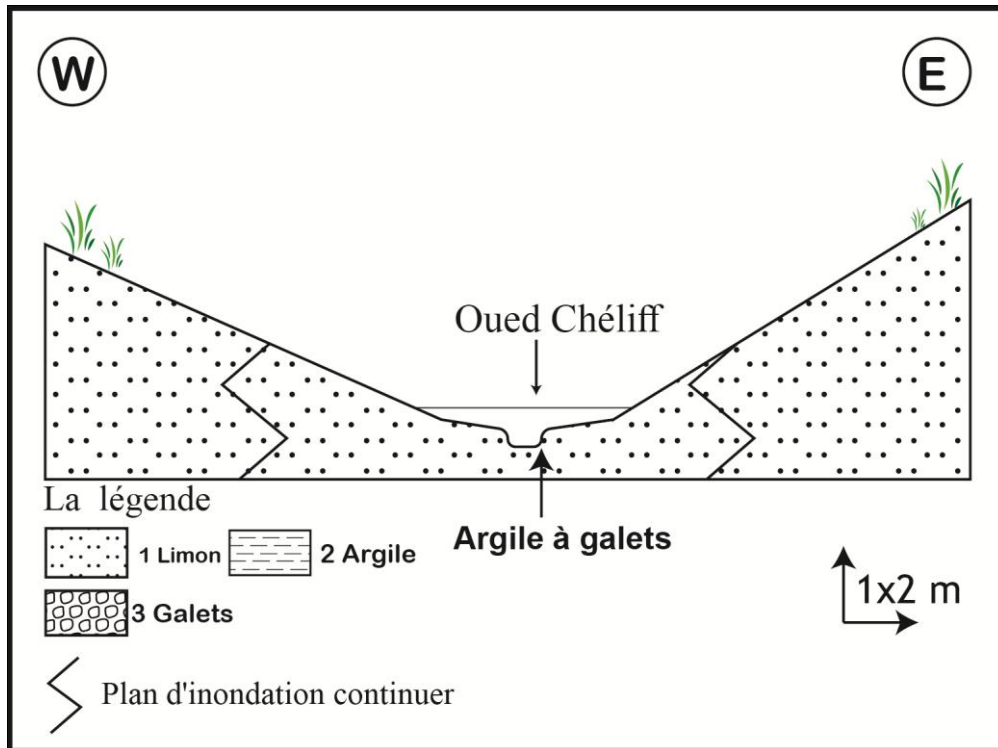


Figure II-14.Coupe géologique le long de l'oued Chélif, station N° 6 (Djelida).

La coupe géologique a été levée à 9 km à l'Ouest de la ville de Khemis Miliana, sur le cours moyen de l'oued Chélif, à proximité de la route menant le Commune de Sidi Lakhder à la ville de Djelida (Fig. .II-13). Elle se compose d'une seule unité sédimentaire, dans les deux rives de l'oued avec essentiellement : 1) limon du substratum de l'Oued dont la morphologie est en forme de « V ». Le lit de l'oued contient des argiles à galets alors que la plaine d'inondation est parsemée d'une végétation naine sur les côtés de l'oued (arbres de l'espèce Eucalyptus (Fig.II-14).

III. Tectonique

Les massifs à schistosité comme leur nom l'indiquent, se caractérisent par une schistosité bien visible. Ce sont les massifs du Doui et du Zaccar. Des plis synschisteux affectent les séries paléozoïques et mésozoïques au cours de deux phases de déformation superposées : la première est une déformation majeure associée à un métamorphisme épizonal de direction N120, et la seconde de direction qui lui est transversale, à schistosité de crénulation-dissolution moins étendue de direction N50° (Kirèche, 1993).

Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude

Le matériel souple de schistes et de flysch créacés recouvert en discordance par le Miocène présente au contraire par suite de sa plasticité nombreuses complications de détail que ne permettent pas de dégager les grands ensembles.

Le style tectonique des terrains rigides jurassiques et primaires est tout différent. La morphologie et le simple fait de trouver sur les plus hauts sommets les terrains les plus anciens (Zaccar-Doui) montrent ici l'ampleur des mouvements verticaux. D'autre part, autour des massifs jurassico-primaires, on a toujours de brusques rebroussements ou de nombreuses failles et la présence de l'Albien transgressif sur le jurassique du Zaccar montre que les mouvements verticaux commencent au secondaire car les puissantes masses calcaires du Zaccar et du Doui ne se retrouvent pas en dehors de ces massifs.

On est en présence d'amygdales (celle du Zaccar et celle du Doui) ayant joué grâce à l'influence immédiate du socle, depuis le secondaire, c'est le type des amygdales intra-telliennes de (Mattauer, 1958).

La structure actuelle de cette région est due à la superposition de plusieurs phases de plissement et de déformation d'âge primaire, secondaire et tertiaire. Cette évolution longue et complexe a donné à la fin de l'Oligocène des massifs ascendants primaires et jurassiques appartenant au groupe de l'amygdale intra-tellien extrusive au milieu des schistes créacés du sillon subsidient tellien.

III.1 Discordances

Les grands ensembles stratigraphiques ont néanmoins été reconnus grâce aux discordances, il convient de distinguer à ce propos :

- Des discordances majeures suivant les phases de plissements, on en reconnaît trois principales :

- Le 1^{re} à la base des couches jurassiques ;
- La 2^{eme} à la base de Miocène ;
- La 3^{eme} entre le Quaternaire récent et le Miopliocène.

- Des discordances moins accusées provenant de déformation et de mouvements épirogéniques, ces discordances s'atténuent et s'annulent lorsqu'on s'éloigne en direction des grandes zones.

On reconnaît de tels phénomènes dans le secondaire au Néocomien et au début de l'Albien (le flysch albien est transgressif et discordant sur le primaire dans le Zaccar chergui) entre le

Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude

Sénonien et le Cénomaniens enfin entre l'Eocène et le Miocène.

III.2 Les phases principales

- Primaire-Trias il existe au moins une phase de diastrophisme (Ensemble des déformations et des dislocations subies sur de vastes parties de l'écorce terrestre) à la fin du Permo-trias et probablement une entre les schistes et le Permo-Trias.

- jurassique crétaé inférieur : le Jurassique est partout discordant sur les formations antérieures .Il est formé de calcaires lenticulaires avec passages latéraux (séries du Zaccar). Des déformations affectent les amygdales lors du dépôt des schistes bleus néocomiens.

- Albien crétaé supérieur : Régularisation et uniformisation des dépôts à l'Albien.

- Le Nummulitique correspond à la phase tectonique majeure, les amygdales des Zaccar et du Doui sont plissées et disloquées. L'Albien que recouvrait l'amygdale des Zaccar glisse vers le sud donnant des collapse-structures.

- Miocène : Le Miocène repose en discordance sur tous les termes antérieurs plissés. Les phases épirogéniques et tectoniques intra-miocènes sont mal connues, l'une d'elles se place au moment de la formation des poudingues du Gontas.

Plio-quatenaire : surélévation des Zaccar chergui et du Doui et subsidence de la plaine du Chélif à l'est du seuil de Littré avec une collapse-structure des formations miocènes au sud de Miliana qui glissent vers la vallée du Chélif. (La notice de la carte de Miliana)

IV. Contexte hydrogéologique

IV.1 Formation de l'aquifère

Les formations aquifères de la plaine alluviale du Haut Cheliff est un remplissage alluvionnaire d'âge Mio-Plio-Quatenaire, représenté par des dépôts alluvionnaires du Quatenaire et des grés et poudingues du Mio-Pliocène, d'une épaisseur de 50 à 100 m au niveau de l'oued Cheliff. Les marnes constituent le substratum de cet aquifère. L'alimentation de cette nappe est assurée par l'infiltration des :

- Précipitations arrivant sur la plaine.
- Eaux de ruissellement des oueds (Cheliff, Deurdeur, Harreza, etc. ...), (Sogreah, 1984)
- Eaux d'irrigation excédentaires.

Les différentes formations à intérêt hydrogéologique sont représentées essentiellement par :

IV.1.1 Calcaire jurassique

Le calcaire jurassique constitue un réservoir important, caractérisé par des fissures qui favorisent la circulation et le stockage de l'eau. Cependant, on sait peu de choses sur la densité de distribution de ses fractures, ce qui pose d'énormes problèmes à la sélection des sites de puits. Dans le bloc de Zaccar, le calcaire n'est affleurant que sur les hauteurs, ils sont situés au pied de la montagne à partir de 750m (Mattauer, 1958).

IV.1.2 Les grés Mio-Pliocènes

Ils sont observés dans la partie orientale de la plaine du Djebel Gantas. L'épaisseur du grès du Pliocène au nord peut atteindre 200 m, mais il n'existe pas sur la rive gauche car la couche alluviale du Quaternaire est discordante sur le Miocène marneux (Mattauer, 1958).

IV.1.3 Alluvions quaternaires

La couche alluviale quaternaire est l'aquifère le plus important et le plus développé de la plaine du haut Chélif. Ses principales caractéristiques sont les dépôts alluviaux grossiers et les galets au centre de la vallée avec des épaisseurs de 50 et 145 m, et les dépôts alluviaux grossiers dans la partie sud-ouest sont recouverts d'une couche d'argile et de limon, avec des épaisseurs de 7 et 20 m environ. La couche alluviale est constituée d'une matrice d'argile ou de marne parfois graveleuse (Mattauer, 1958).

Nous signalons que les deux aquifères (alluvions quaternaires et grés miocènes) sont séparés par un niveau imperméable (Fadhila, 2015).

Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude

Epaisseur (m)	Log	Lithologie	Age		Comportement Hydrogéologique
10 à 20 100		Limons et argiles	Quaternaire récent	QUATERNAIRE	Semi - perméable
		Alluvions grossières (grès et poudingues)	Quaternaire ancien		Perméable
		Alluvions argileuses (sables, graviers, argiles)			
100		Argiles	Pliocène		Imperméable
		Grès et conglomérats			Perméable
100		Grès et poudingues			
200		Argiles	Miocène Supérieur (vindobonien)	MIOCÈNE	Imperméable
		Grès et poudingues			Perméable
?		Calcaires			Perméable
300		Marnes	Miocène Inférieur (Burdigabien)	MIOCÈNE	Imperméable
1000		Grès et poudingues			Perméable
20		Calcaires			Perméable
?		Grès quartzitiques	Eocène		Perméable
		Argiles et schistes			Imperméable
?		Marnes et calcaires	Sénonien		Imperméable
		Marnes			

Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude

20 à 60		Calcaires et marnes	Cénomannien		Imperméable
		Calcaire			
1000		Schistes et bancs de quartzites	Albien		Imperméable
800 à 1000		Argiles schisteuses	Néocomien		Imperméable
1000		Calcaires	jurassique		Perméable
?		Gypse et argiles	Trias		Semi - perméable
500		Schistes et quartzites	Permo-Trias		Imperméable

Figure IV-1. Log-lithostratigraphie et hydrogéologique de la plaine alluvial de Khemis Milian
(Mattauer1958, Perrodon 1967) modifiée.

IV.2 Les cartes piézométriques

La reconnaissance de la surface piézométrique de la nappe, a été obtenue par les réserves de quelques forages et puits implantés dans les alluvions, dans le cadre du réseau piézométrique de la plaine de Khemis Miliana. Ces forages sont plutôt distribués dans la zone urbaine. La tournée piézométrique a régulièrement lieu de façon mensuelle. Sachant qu'on mesure le niveau de la nappe par rapport à une référence commune, ces mesures permettent d'établir des cartes piézométriques. L'étude de ces cartes piézométriques nous permet de connaître la forme de l'écoulement de la nappe, le sens de l'écoulement général, la profondeur de la surface piézométrique. La carte piézométrique nous révèle les conditions aux limites hydrodynamiques.

IV.2.1 Interprétation des cartes piézométrique

Nous avons établi la carte piézométrique moyenne de 3 ans (2014 ,2015 ,2016).

IV.2.1.1 Interprétation la carte piézométrique des hautes eaux

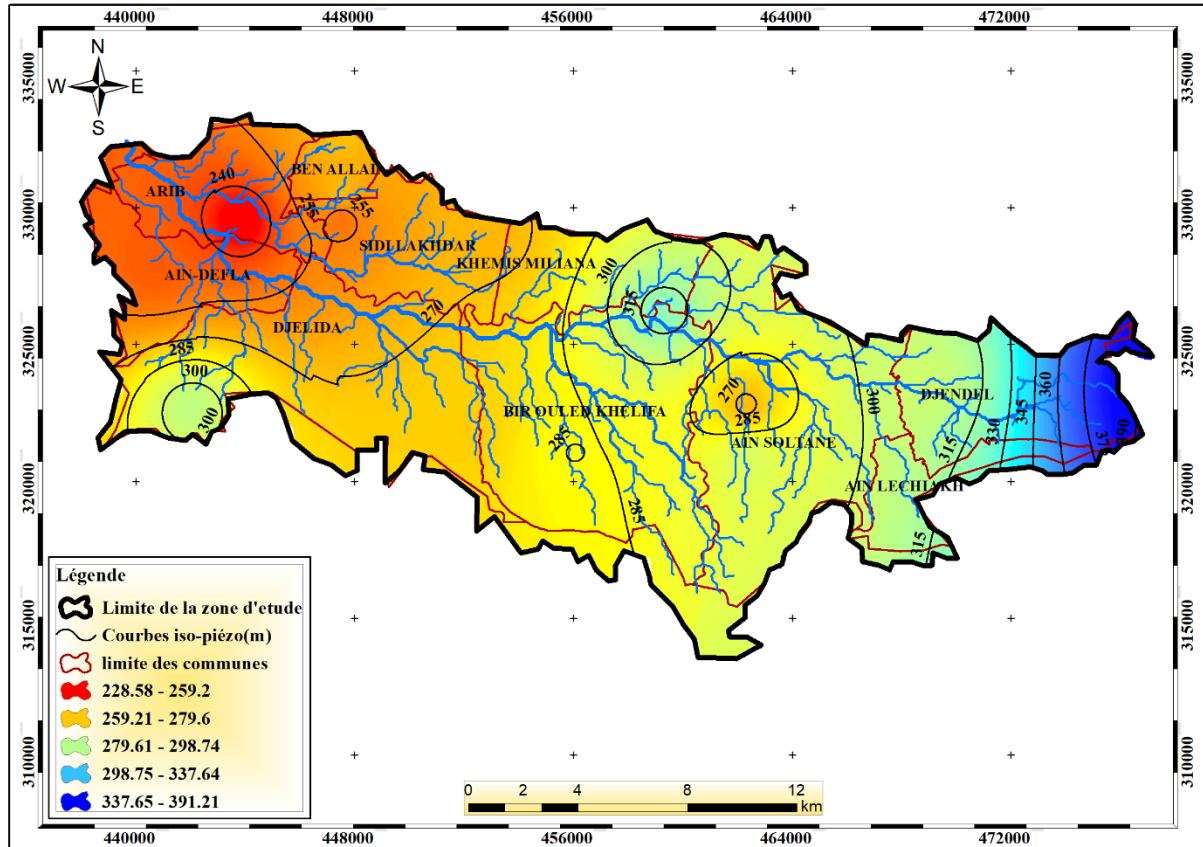


Figure IV-2. Carte piézométrique de la moyenne des périodes des hautes eaux (2014, 2015, 2016).

L'analyse de la carte piézométrique des hautes eaux (Fig.IV-2) établie à la moyenne des niveaux piézométriques des périodes des hautes eaux (de Mai 2014 à Mai 2016) montre que la direction générale des écoulement des eaux souterraines dans la nappe alluviale de Khemis-Miliana se fait de l' Est à l'ouest, c'est-à-dire un sens d'écoulement allant de Djendel vers le seuil de Ain Defla.

La carte montre aussi deux zones de recharge bien visible, la première se situe dans la région de Djendel et la deuxième près de la ville de Djelida. En outre, elle montre une zone de dépression située au sud-ouest de la ville d'Arib.

Cette carte montre aussi un gradient hydraulique très élevé en amont de la plaine, ceci est dû à la remontée du substratum.

Le gradient hydraulique est très faible au centre, c'est à cause de la perméabilité très élevée et aussi à cause de l'épaisseur de la nappe qui est très importante.

IV.2.1.2. Interprétation de la carte piézométrique des basses eaux

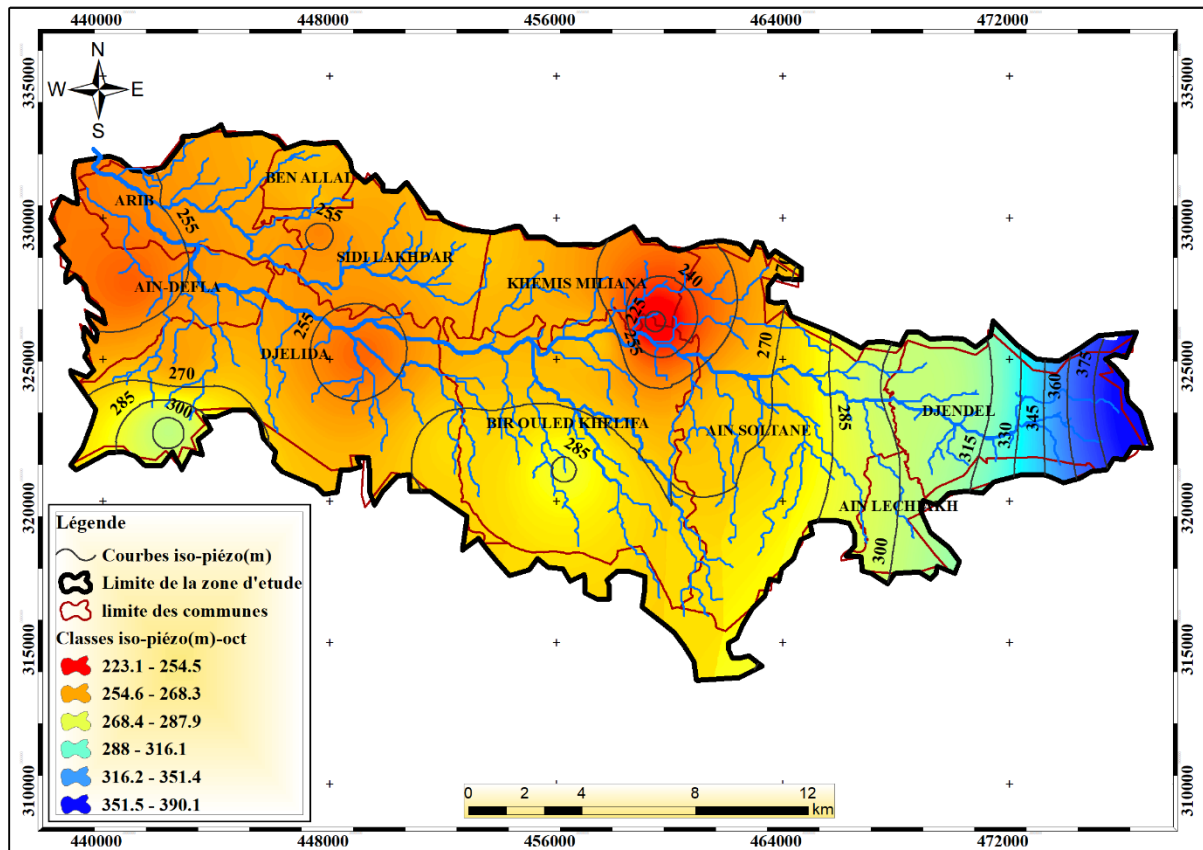


Figure IV-3. Carte piézométrique de la moyenne des périodes des basses eaux (2014, 2015, 2016)

L'analyse de la carte piézométrique des basses eaux (Fig. IV-3) établie à la moyenne des niveaux piézométriques des périodes des basses eaux (de Mai 2014 à Mai 2016) montre qu'il y a des différentes zones de dépressions dans la région d'étude à cause du pompage. La zone plus visible se trouve dans le territoire de la ville de Khemis Miliana.

IV.3 Caractéristiques hydrogéologiques de la région d'étude

L'observation de la morphologie de la carte piézométrique de hautes eaux (avril 2002) montre que la direction des écoulements converge vers l'oued Cheliff ou la nappe alimente l'oued Cheliff,

L'examen de la carte piézométrique de l'année 2008 ne révèle aucun changement de la Morphologie piézométrique par rapport à l'année 2002, traduisant ainsi le même régime D'écoulement On note toutefois une légère augmentation du niveau piézométrique

Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude

Due à la recharge de la nappe suite à une forte pluviométrie annuelle 612 mm De même l'axe de drainage des eaux souterraines coïncide sensiblement avec le parcours de l'Oued Cheliff (Touhari F.2015)

La combinaison des profils en travers le long de l'oued de la plaine de haut Cheliff, les cartes piézométriques de deux périodes (les hautes et basses eaux) et les cartes de profondeurs, on a distingué les secteurs vulnérables à la pollution.

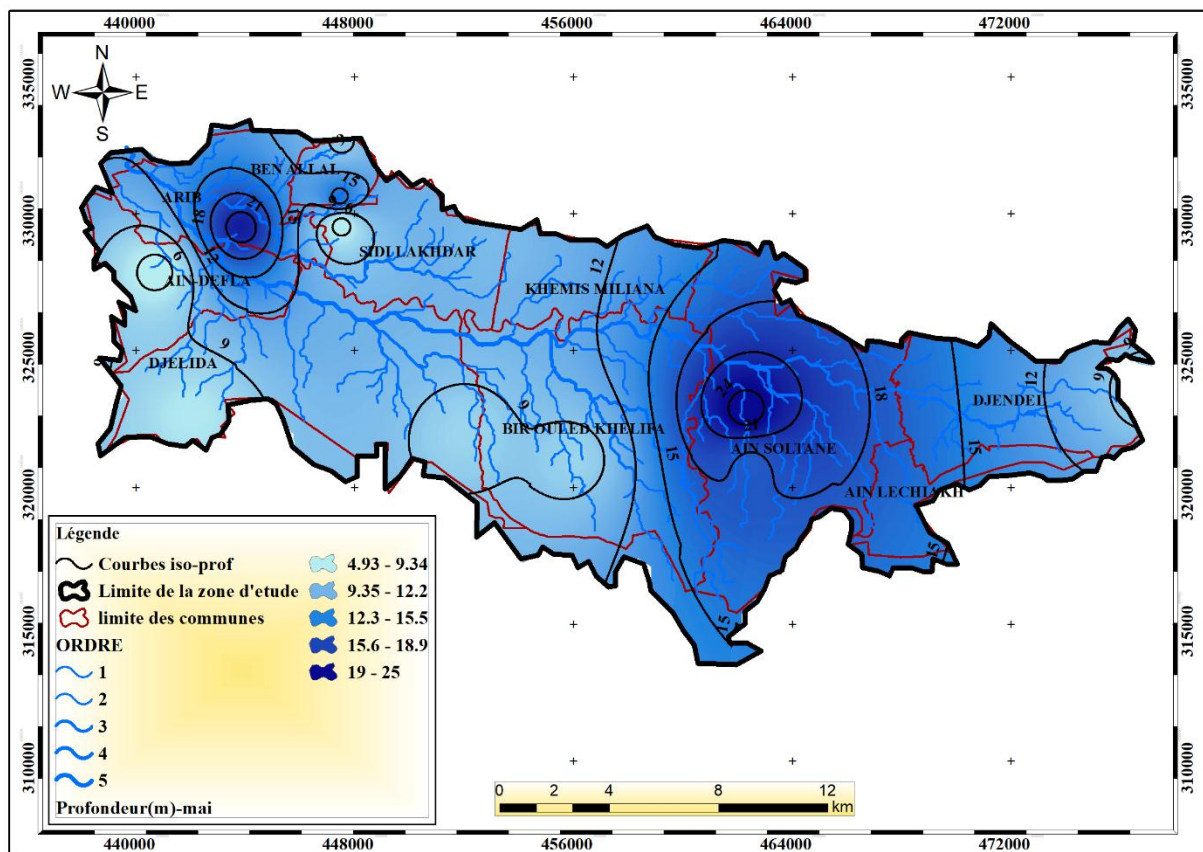


Figure IV-4. Carte de la moyenne de la profondeur du niveau d'eau (Période allant de Mai 2014-mai 2016).

IV.3.1 Station N° 1, village Mouaha

Il est à noter que le niveau piézométrique dans ce profil est compris entre 11,66 et 14,96 mètres. La zone non saturée entre le lit de l'oued et le niveau piézométrique varie de 8 à 11 mètres. Vu que la formation géologique est semi-perméable, ce qui pose un problème d'infiltration des eaux usées circulant dans l'oued Cheliff, ce qui fait contaminer la nappe du Haut Cheliff, dans ce secteur. La nature de l'accumulation détritique, essentiellement des

Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude

galets grossiers meubles favorisent l'infiltration et le passage des eaux usées à la nappe alluviale.

IV.3.2 Station N° 2

Le niveau piézométrique dans ce profil est compris entre 11,66 et 14,96 mètres, c'est-à-dire la zone non saturée qui varie de 1 à 3 mètres entre le lit de l'oued et le niveau piézométrique, vu que l'unité géologique est perméable, ce que dénote un souci de transmissivité des eaux usées circulant dans le cours de l'oued Chélif.

IV.3.3 Station N° 3

Le niveau piézométrique dans ce profil est compris entre 11,66 et 14,96 m, donc la profondeur est comprise entre 3,96 à 7,26 près du lit de l'oued (la zone non saturée). Le problème d'infiltration des eaux usées devient accru.

IV.3.4 Station N° 4

Le niveau piézométrique dans ce profil est compris entre 21,66 et 25, c'est-à-dire que le niveau piézométrique est loin du lit de l'oued avec une profondeur allant de 17,77 et 21 mètres (la zone non saturée). L'unité sédimentaire du substratum, essentiellement limoneux ne permet pas l'infiltration.

IV.3.5 Station N° 5

Le niveau piézométrique dans ce profil est compris entre 11,63 et 14,96 c'est à dire que le niveau piézométrique est loin par rapport au lit de l'oued avec une profondeur allant de 3,63 et 6,96 mètres. L'unité sédimentaire, formée d'un mélange de sables, d'argile et de conglomérats, permet une transmissivité modérée des eaux usées.

IV.3.6 Station N° 6

Le niveau piézométrique dans ce profil est compris entre 8,275 et 11,62 m, l'unité sédimentaire est essentiellement limoneuse, il n'y a pas d'infiltration.

V. CONCLUSION

Chapitre II : Géologie et Hydrogéologie de la zone d'étude

En tenant compte des coupes lithologiques effectuées sur les stations choisies et les logs stratigraphiques de la région d'étude, il semblerait qu'une certaine transmissivité d'eaux polluées affecte les eaux de la nappe libre du quaternaire. Aussi, la fracturation mesurée sur le terrain, N90, pourrait jouer un rôle non négligeable dans la circulation des eaux usées.

**Chapitre III : Etude de l'impact des rejets
des eaux usées sur les eaux souterraines.**

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

I. Introduction

Les ressources en eau, quelles que soient les eaux de surface ou souterraines, ont un impact important sur le développement des activités socio-économiques et même sur le système environnemental du monde entier (Ahmed Guenfoud, 2021). Des études menées dans le monde entier et en Algérie ont montré que la qualité des eaux de surface est réellement affectée au cours des dernières années, avec une forte détérioration due à divers contaminants entraînant un impact l'homme à travers la flore et la faune. Dans le but principal de ce chapitre, nous avons relaté brièvement les matériels et les méthodes d'analyse physico-chimiques. Une description sur les résultats a été rajoutée.

II. Matériel et méthodes

II.1 Prélèvement

Le Prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.).

La campagne d'échantillonnage a été faite en tenant compte de la diversité lithologique du bassin ainsi que la distribution des activités anthropiques. Cinq échantillons ont été opérés le long d'oued Chéliff au cours (Fig. II-1) du mois de Juin 2021 pour l'analyse physico-chimique.

Les échantillons d'eau ont été pris dans des bouteilles de 1.5 litre (Fig.III-1) et puis transportés dans une glacière et conservés à une température d'environ 4 °C selon la procédure de Rodier (2009).

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

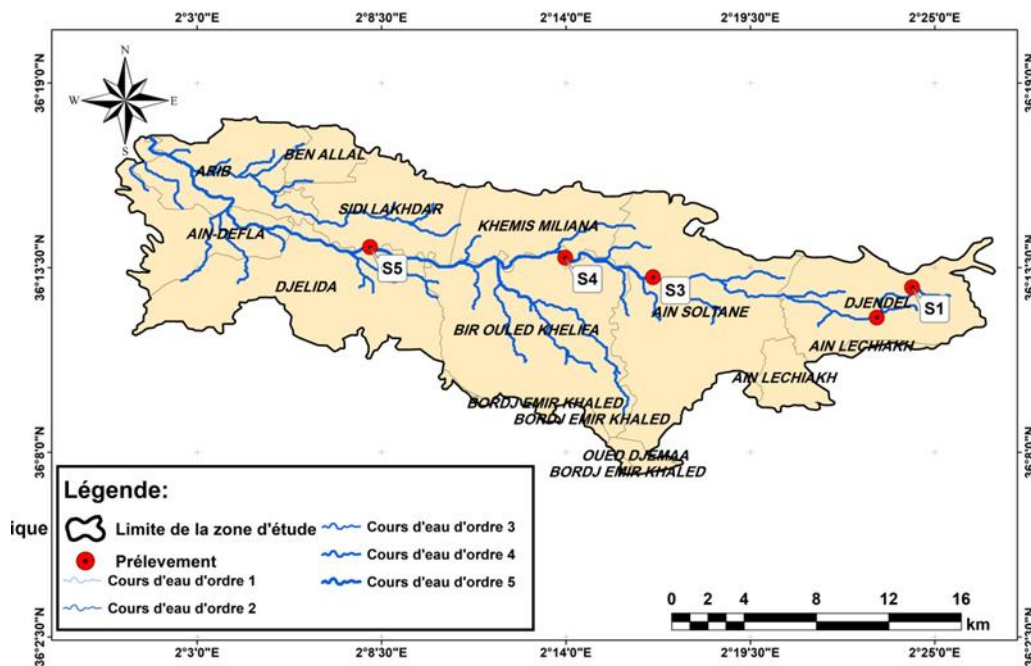


Figure II-1. Carte de localisation des points de prélèvement.

II.1 Principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau

1. Identité du préleveur.
2. Date et heure de prélèvement.
3. Particulier ou autorité demandant l'analyse.
4. Motif de la demande d'analyse (analyse initiale ou contrôle périodique, pollution, intoxication, épidémie, etc.) et usage de l'eau (boisson, lavage, breuvage, incendie, industrie, etc.).
5. Ville ou établissement que l'eau alimente ; le cas échéant, le type de traitement utilisé.
6. Nom du point et localisation précise.
7. Origine de l'eau (source, puits, forage, rivière, lac, barrage, citerne, etc.), aspect particulier (couleur, débris, etc.).
8. Température de l'eau à l'émergence et celle de l'atmosphère au moment du prélèvement. Conditions météorologiques du moment (précipitation, vent, pression atmosphérique, etc.).
9. Débit approximatif à la minute ou à la seconde. Dans le cas d'une nappe souterraine, préciser la profondeur et l'épaisseur de cette nappe.

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

10. Nature géologique des terrains traversés, aspect du milieu naturel.

11. Causes de souillures permanentes ou accidentelles auxquelles l'eau paraît exposée (établissement agricole ou industriel, rejet de ville ou d'usine, puits perdu, cimetière, etc.).

12. Enregistrer les remarques des usagers concernant les variations d'aspect ou de débit ainsi que les modifications provoquées par les pluies ou la fonte des neiges.

III. Méthode d'analyse

III.1 Analyse in situ

La température, le pH, la conductivité et l'oxygène dissous doivent être mesurés sur place (Fig.III-1) En effet, ces paramètres sont très sensibles aux conditions environnementales et peuvent changer de manière significative s'ils ne sont pas mesurés sur site. Lors du transport de l'échantillon au laboratoire, certains paramètres peuvent changer.



Figure III-1.Prélèvement et analyse sur site (Pont autoroutier de BirOuldKhelifa).

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

III.2. Analyse au niveau de laboratoire

L'analyse a été faite au mois de juin de l'an 2021.



Figure II-2. Analyse au laboratoire.

III.2.1 Paramètre chimique

III.2.1.1 Demande Chimique en Oxygène (DCO)

• **Principe** : Les substances oxydables réagissent avec le bichromate de potassium sulfurique, en présence de sulfate d'argent. Le chlorure est masqué avec du sulfate de mercure. La coloration verte du Cr^{3+} sera déterminée photométriquement.

- **Réactif** : Cuve LCK 514.
- **Appareillage** : Spectrophotomètre UV DR 6000.

III.2.1.2 Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)

• **Principe** : Détermination de la demande biochimique en oxygène de 5/ [n]jours ($DBO_5/DBO[n]$) avec inhibition de la nitrification par 5 mg/L d'allylthiourée. L'oxygène dissous est analysé dans une solution alcaline avec un dérivé du pyrocatechol en présence de Fe^{2+} , sous les quelles conditions de formation d'un colorant rouge.

- **Réactif** : Cuve LCK 555.
- **Appareillage** : Spectrophotomètre UV DR 6000.

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

III.2.1.3 Matières en suspension (MES)

• **Principe** : Un échantillon représentatif est filtré à travers une membrane filtrante en fibre de verre ayant une porosité nominale de 1,5 µm, préalablement rincée et séchée à 105°C. Les matières retenues sur le filtre sont séchées à 105°C puis pesées avec le filtre. La masse de matières en suspension est obtenue en faisant la différence entre la masse du filtre incluant les résidus séchés et la masse initiale du filtre, tout en tenant compte du volume filtré.

• **Appareillage** :

- Filtre en fibres 47 mm.
- Etuve réglée à 105°C ± 2 C°.

• **Méthode de calcul**: Les résultats d'analyses sont exprimés en mg/L.

La concentration des matières en suspension (MES) sera de :

$$C \text{ (mg)} = \frac{(M_{\text{plat+éch}}(\text{mg}) - M_{\text{plat}}(\text{mg})) * 1000}{V(\text{ml})}$$

Tels que :

- $M_{\text{Plat éch + Plat}}$ = masse du plat d'aluminium contenant le filtre et les matières après séchage à 105 °C.

- M_{Plat} = masse du plat d'aluminium contenant le filtre après conditionnement et avant la filtration.

- V = volume d'échantillon prélevé.

III.2.1.4 Nitrate

• **Principe** : Le cadmium métal réduit le nitrate dans l'échantillon en nitrite. L'ion nitrite réagit dans un milieu acide avec de l'acide sulfanilique pour former un sel d'ionium intermédiaire. Le sel acide gentisique pour former une solution de couleur ambre.

• **Réactif** : nitreaVer5.

• **Appareillage** : Spectrophotomètre UV DR 6000.

III.2.1.5 Nitrite

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

• **Principe** : Le nitrite présent dans l'échantillon réagit avec l'acide sulfanilique pour former un sel d'ionium intermédiaire. Ce couple avec de l'acide chromotrope pour produire un complexe de couleur rose directement proportionnellement à la quantité de nitrite présente.

• **Réactif** : NitriVer3.

• **Appareillage** : Spectrophotomètre UV DR 6000.

III.2.1.6 Azote totale

• **Principe** : L'azote de composition organique et inorganique s'oxyde en présence de peroxydisulfate et se transforme donc en nitrate. Les ions nitrates réagissent dans une solution d'acides sulfurique et phosphorique avec du diméthylphénol-2.6 en formant du nitrophénol.

• **Réactif** : Solution d'hydroxyde de sodium A / Tablette d'oxydant B : Après l'ajout des réactifs A et B, refermer les flacons immédiatement.

• **Appareillage** : Spectrophotomètre UV DR 6000.

III.2.1.7 Phosphate

• **Principe** : Dans la méthode du molybdovanadate, l'orthophosphate réagit avec le molybdate dans un acide milieu pour produire un complexe phosphate/molybdate mélangé. En présence de vanadium, l'acide molybdovanadophosphoric jaune est formé. L'intensité de la couleur jaune est proportionnelle à la concentration de phosphate.

• **Réactif**: Molybdovandata réactif.

• **Appareillage** : Spectrophotomètre UV DR 6000.

III.2.1.8 Chlorure

• **Principe** : Pour doser les chlorures, on a utilisé un réactif composé de thiocyanate mercurique $\text{Hg}(\text{SCN})_2$ en solution méthanolique, l'acide perchlorique HClO_4 , le perchlorate ferrique $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$ et l'eau. Les ions chlorures présent dans l'échantillon réagissent avec les thiocyanate de mercure en excès pour libérer les ions SCN^- qui, à leur tour, réagissent avec les ions Fe^{3+} pour donner un complexe rouge-orangé dosé par colorimétrie

• **Réactif** : Cuve LCK 600.

• **Appareillage** : Spectrophotomètre UV DR 6000.

III.2.1.9 Sulfate

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

- **Principe** : Le réactif réagit avec les sulfites pour former un complexe jaune.
- **Réactif** : Cuve LCK 654.
- **Appareillage** : Spectrophotomètre UV DR 6000.

III.2.2 Méthodes d'analyse des substances chimiques

Le tableau au-dessous représente la méthode d'analyse des substances chimiques (Tableau III-1).

Tableau III-1. Méthode d'analyse des substances chimiques.

Elément chimique	Méthode d'analyse
Matière à la substance	
Calcium (Ca ²⁺)	Méthode par spectrométrie d'absorption atomique (SAA).
Magnésium (Mg ²⁺)	
Sodium (Na ⁺)	
Matière Lourdes	
Cuivre (Cu)	Méthode par spectrométrie d'absorption atomique (SAA)
Cadmium (Cd)	
Nickel (Ni)	

III.2.2.1 Spectrométrie d'absorption atomique

Pour la méthode utilisée, un atome à l'état libre et le passage de l'état fondamental à l'état excité est conditionné à la fourniture d'un quantum d'énergie correspondant à la différence d'énergie entre le niveau excité (E_n) et le niveau fondamental (E_0). En spectrométrie d'absorption atomique (SAA), on utilise un générateur de photons dont la fréquence correspond à l'élément à doser. Une population d'atomes générée par un atomiseur à partir de l'échantillon, est éclairée par ce rayonnement lumineux de longueur d'onde donnée. Les atomes absorbent cette énergie incidente pour passer du niveau fondamental au niveau énergétique excité et le nombre de photons absorbés dans ce rayonnement incident peut être relié à la concentration par la relation :

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

$$A = k C$$

Tel que :

A = absorbance,

C = concentration de l'élément considéré dans la solution à analyser,

k = coefficient spécifique à chaque élément.

IV. Présentation, analyse et interprétation des résultats

IV.1 Température

La température de l'eau joue un rôle important dans la modification des propriétés chimiques, physiques ainsi que les réactions biologiques. Dans les eaux étudiées, ce paramètre présente des valeurs comprises entre 21°C (S1) et 23.5 (S3) (Fig. IV-1) et ne montre pas de grandes variations entre les stations. Cette variation des températures peut être due à : la morphologie du cours d'eau, la nature du sol et les différents types de rejets, le débit, la température ambiante, l'agitation ou la stagnation, le rayonnement solaire et la végétation sur ce cours d'eau.

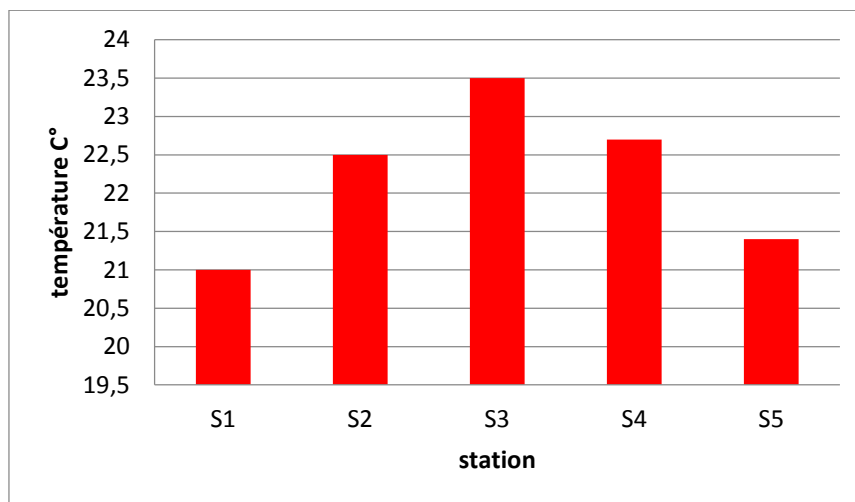


Figure0IV-1. Variation spatial de la variation de température.

IV.2Ph (potentiel d'hydrogène)

Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Ses valeurs se situent entre 6.5 et 8.5 dans les eaux naturelles (El, 2014)et pour ce qui des eaux de surface de notre d'étude (Fig. 0V-2). Elles ne montrent de variations notables avec un minimum de 7.22 et un maximum de 7.88.

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

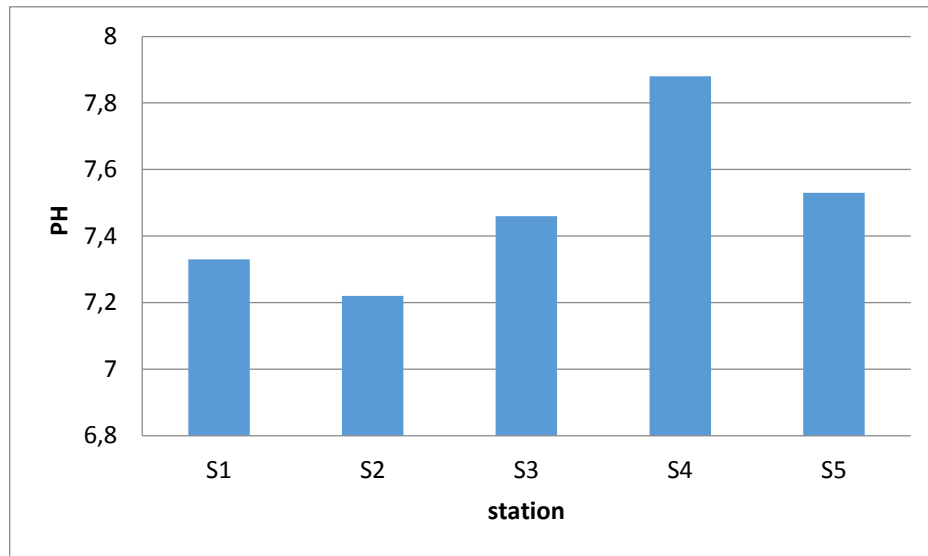


Figure0IV-2. Variation spatiale du potentiel hydrogène.

IV.3 Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

La conductivité électrique (CE) donne une idée du degré de minéralisation de l'eau (Belghit, 2013), la conductivité électrique CE mesurée dans cinq points, indique une augmentation de l'amont à l'aval en général (Fig.0V-3), avec des valeurs allant de 2100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 2560 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les valeurs élevées de la CE peuvent s'expliquer par la présence de certains minéraux provenant essentiellement des rejets d'eaux usées comme les chlorures (Cl^-) et les sulfates (SO_4^{2-}), parce qu'ils sont les sels solubles les plus dominants sur les rejets d'eaux usées pour l'oued.

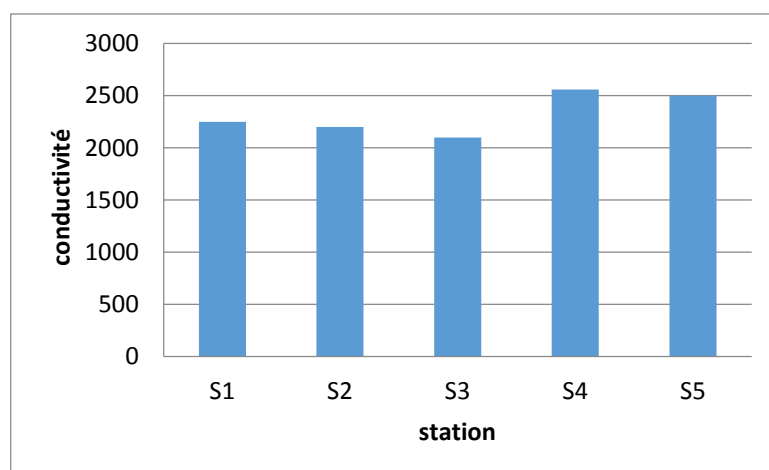


Figure0IV-3. Variation spatiale de la conductivité

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

IV.4 Matières en suspension (M.E.S)

La figure 0V-4 de matières en suspension est supérieure aux normes. Les grandes valeurs observées proviendraient du déversement d'eaux usées domestiques riches en matières en suspension. En particulier pour la station N° deux, les activités de lessive qui s'y font augmenteraient ces valeurs.

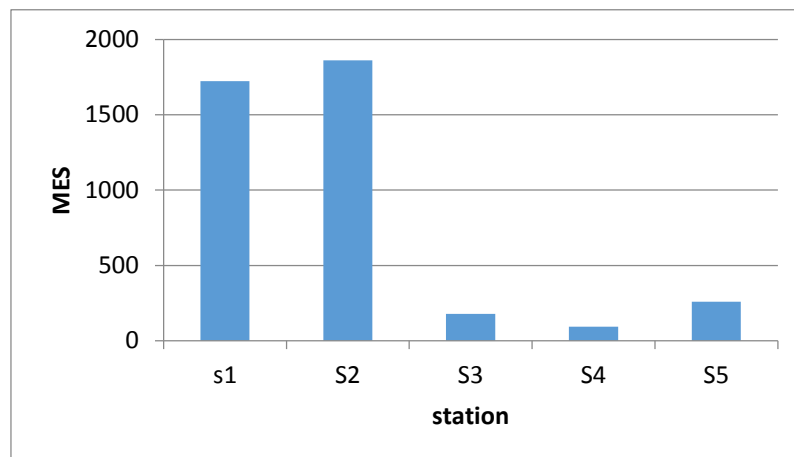


Figure 0IV-4. Variation spatiale de matières en suspension.

IV.5 Demande chimique en oxygène (DCO)

Pour la DCO, les valeurs élevées qui ont été enregistrées résultent probablement, d'un apport en matières organiques oxydables apportées par les eaux d'infiltration et les eaux de ruissellement chargées en matières en suspension (Fig. 0V-5).

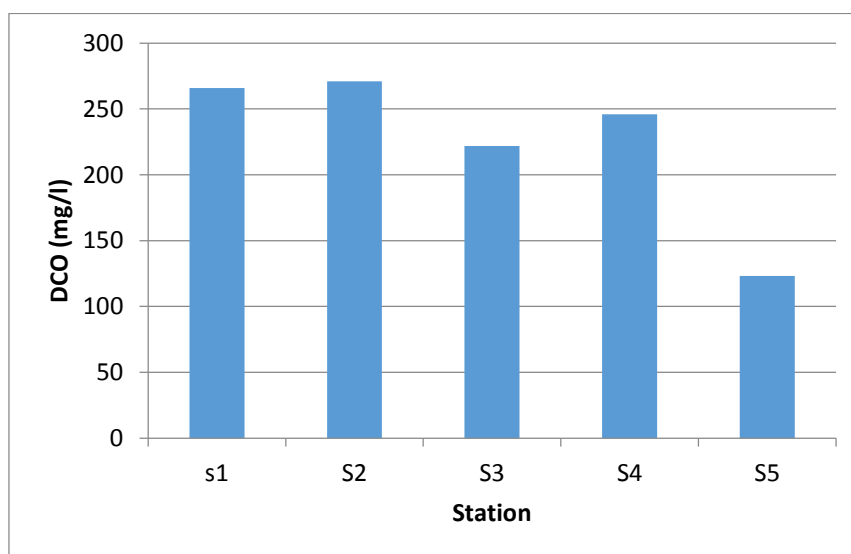


Figure 0IV-5. Variation spatiale de demande chimique en oxygène.

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

IV.6 Demande biologique en oxygène (DBO₅)

En ce qui concerne la demande biologique en oxygène (DBO₅), les résultats obtenus (Fig. 0V-6) montrent des valeurs élevées, qui peuvent être dues à l'effet de différents rejets, en particulier les rejets urbains déversés dans l'oued.

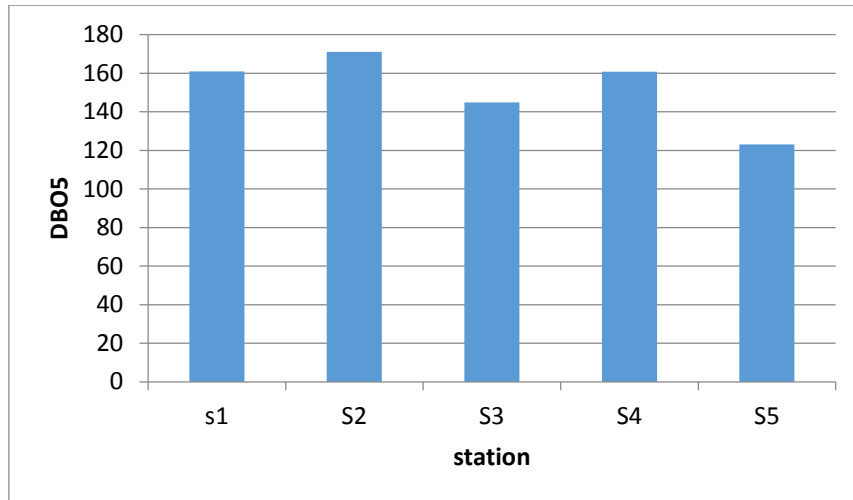


Figure 0IV-6. Variation spatiale de la demande biologique en oxygène.

IV.7 Les nitrates (NO₃⁻)

Les concentrations de nitrate (NO₃⁻) présentes naturellement dans l'eau varient généralement entre 1 et 10 mg/l. Alors que les résultats obtenus dans les zones étudiées montrent des teneurs variables en (NO₃⁻), (Fig. 0V-7). Ainsi, les concentrations de nitrates dans notre zone d'étude montrent une valeur élevée dans la station M3 (11mg/l). Cependant, les concentrations de nitrates dans zone étude, montrent une diminution des nitrates d'amont en aval, avec une faible valeur dans la station S2. Dans ce cas, le nitrate se transforme en azote. La présence de ce paramètre chimique dans les valeurs de l'eau dépassant les normes autorisées est due essentiellement à l'influence des rejets domestiques et des engrais agricoles.

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

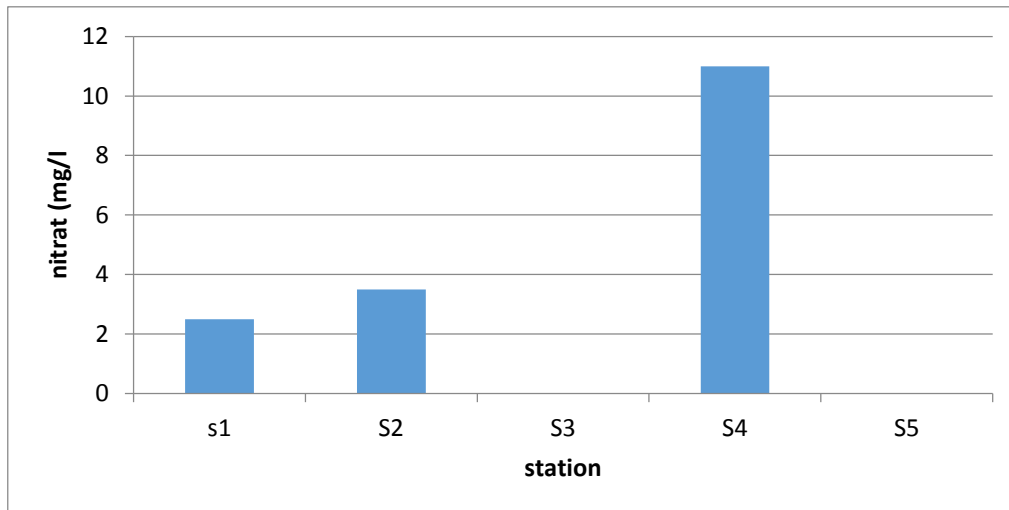


Figure0IV-7. Variation spatiale des valeurs de nitrate.

IV.8 Les nitrites (NO₂-)

Les teneurs en nitrites (Fig.0V-8) varient de 0 mg/l (S3, S5) à 0,007 mg/l (S1), le taux normal en nitrites est fixé à 0, 1mg/l selon l'OMS. L'évolution du NO₂- est due à l'influence des rejets d'eaux usées, notamment par la matière organique dans le sens du flux. La présence des nitrites dans l'eau en quantité importante, dégrade la qualité de l'eau et pourrait affecter la santé humaine.

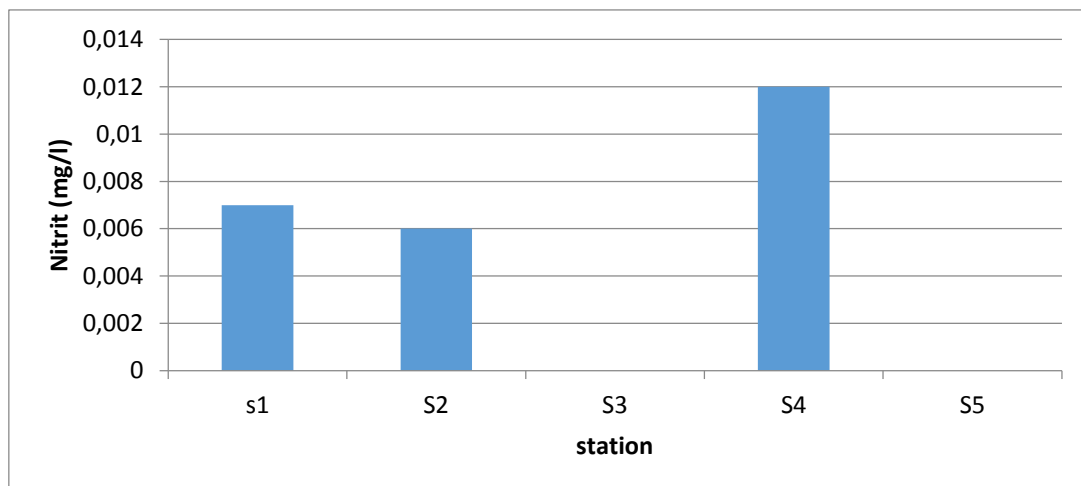


Figure0IV-8. Variation spatiale des valeurs des nitrites.

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

IV.9 Azote total (NT)

L'analyse des résultats de ces graphes (Fig.0V-9) montre que les valeurs de l'azote total dans (S1 = 300, S2=327, S3= 157, S4=52.4, S5=346) sont relativement élevées et supérieures aux normes admises, dans toutes les stations.

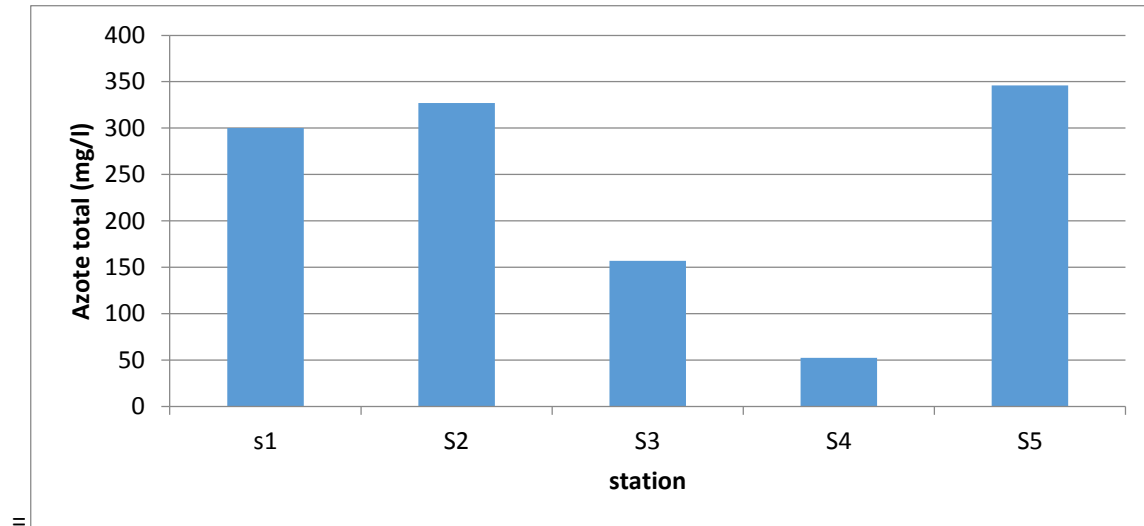


Figure0IV-9. Variation spatiale des valeurs d'azote total.

IV.10 Phosphate (PO_4^{3-})

Les phosphates (PO_4^{3-}) proviennent essentiellement des activités de logements (eaux usées), de l'industrie et de l'agriculture. Lorsque la teneur en cet élément chimique dépasse 0,1mg/l, peut indiquer une certaine toxicité de l'eau (Belghit, 2013). Les résultats des ions (PO_4^{3-}) enregistrés dans notre zone d'étude (Fig. 0V-10) montrent une augmentation de phosphates de l'amont vers l'aval, avec une légère diminution dans le site S4(5.5mg/l). Selon les normes algérienne (NWRA, 2009), la qualité des eaux de surface de l'oued est classée dans la mauvaise catégorie.

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

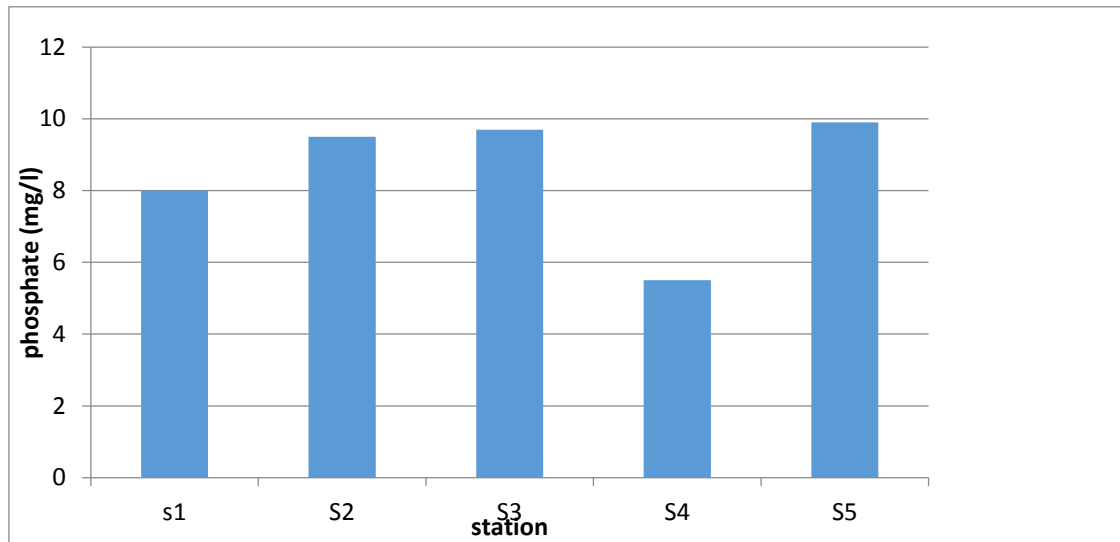


Figure0IV-10. Variation spatiale des valeurs de phosphate.

IV.11 Les Sulfates (SO_4^{2-})

Les sulfates (SO_4^{2-}) proviennent du ruissellement ou d'infiltration dans les terrains à gypse. Ils résultent également de l'activité de certaines bactéries (chlorothiobactéries, rhodothiobactéries, etc.). Cette activité peut oxyder l'hydrogène sulfuré (H_2S) toxique en sulfate (Belghit, 2013). D'après les résultats des échantillons analysés (Fig.0V-11), les valeurs enregistrées restent inférieures à la valeur guide (VG= 200mg/l) de la norme algérienne.

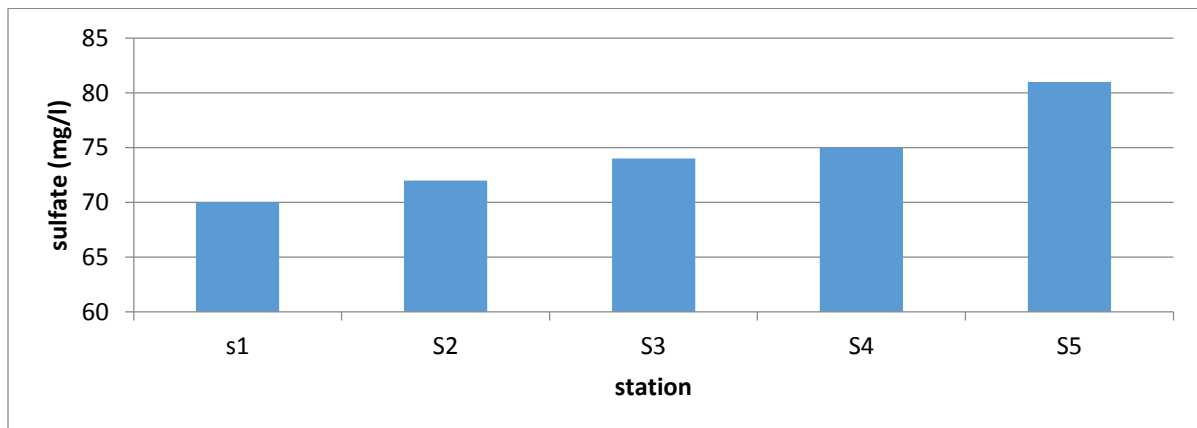


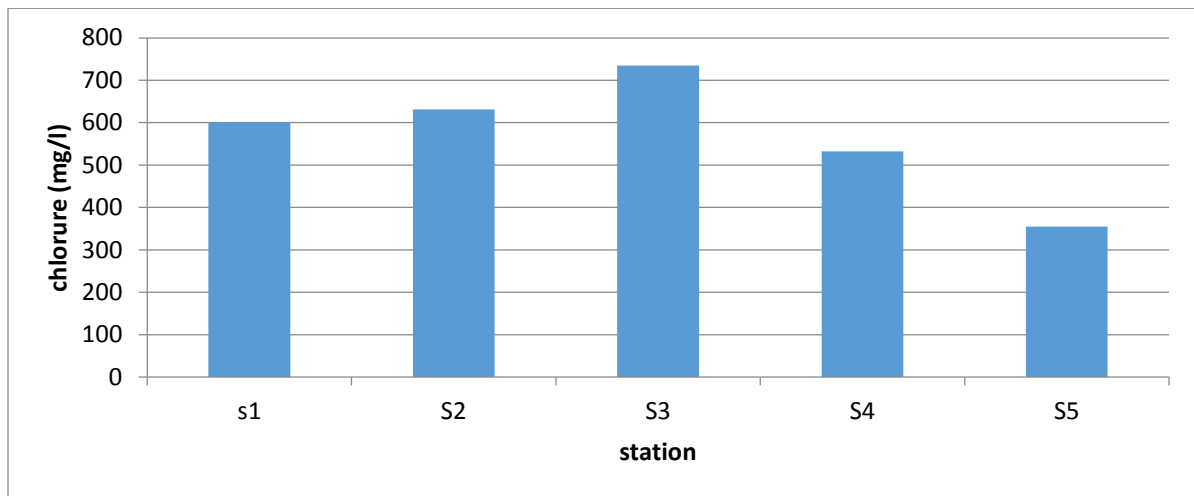
Figure0IV-11. Variation spatiale des valeurs de sulfate.

IV.12 Les Chlorures

Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives (El, 2014), La concentration des chlorures dans l'eau dépend aussi du terrain traversé. Sur la base des résultats des

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

analyses effectuées pour les échantillons des eaux, les teneurs en chlorures est de l'ordre de 355mg/l à 734.85 mg/l(Fig. 0V-12)au niveau de la région d'étude.



FigureIV-12. Variation spatiale des valeurs de chlorure.

IV.13 Le Sodium (Na^+)

Le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois les concentrations peuvent être extrêmement variables. Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition de sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium, des retombées d'origine marine, de la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères, des nombreux usages industriels etc.... Un régime normal apporte 3 à 5 g /j de sodium (8 à 12 g /j en chlorure de sodium. La quantité nécessaire est inférieure à 200 mg/j pour l'enfant et à 2000 mg/j pour l'adulte (Rodier, 1978). Selon les résultats des analyses effectuées durant la période d'étude, Les teneurs en sodium sont globalement très concentrées (Fig0V-13).

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

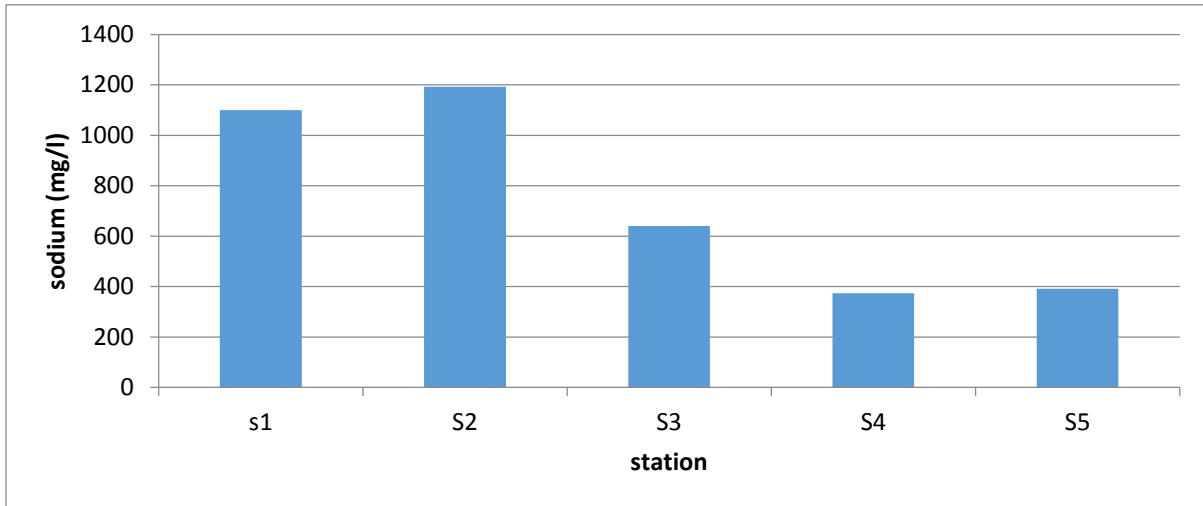


Figure0IV-13. Variation spatiale des valeurs de sodium.

IV.14 Ca²⁺ et Mg²⁺

Lecalcium (Ca²⁺) et le magnésium (Mg²⁺), montrent des valeurs moyennes généralement élevées (Fig. 0V-14). L'augmentation de Ca²⁺ et Mg²⁺ dans les différents points peut s'expliquer par la nature géologique traversée par l'oued, due à la présence de calcaire et de dolomite du Jurassique, ainsi que par l'influence des décharges solides et liquides. Le résultat de Ca²⁺ entre (2652-1968.4) mg/l et le résultat de Mg²⁺ (75.36-100.15)mg/l (Fig0V-14) observée s'explique par l'influence de la nature géologique traversée par l'oued et aussi par la pollution anthropique.

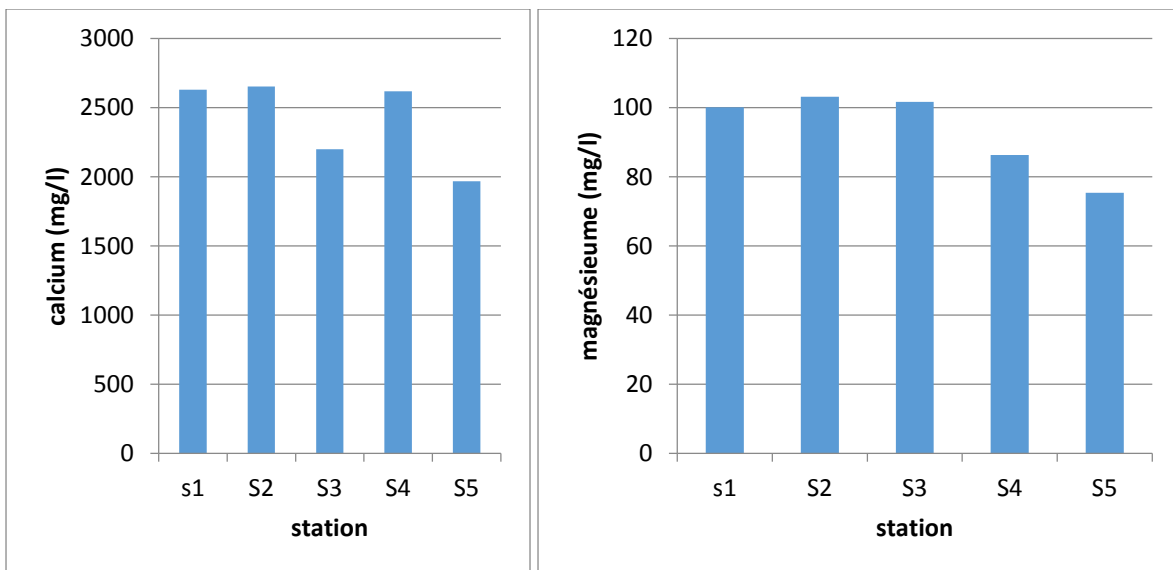


Figure0IV-14. Variation spatiale des valeurs de calcium et magnésium.

Chapitre III : Etude de l'impact des rejets des eaux usées sur les eaux souterraines

IV.15 Les matières lourdes : (le cuivre, le cadmium et le Nickel)

Les résultats d'analyse du (Cu), (cd) et (Ni) de cinq échantillons (Fig. 0V-15) montrent que le cadmium et le nickel sont très faibles alors que le cuivre est très faible par rapport aux normes admises.

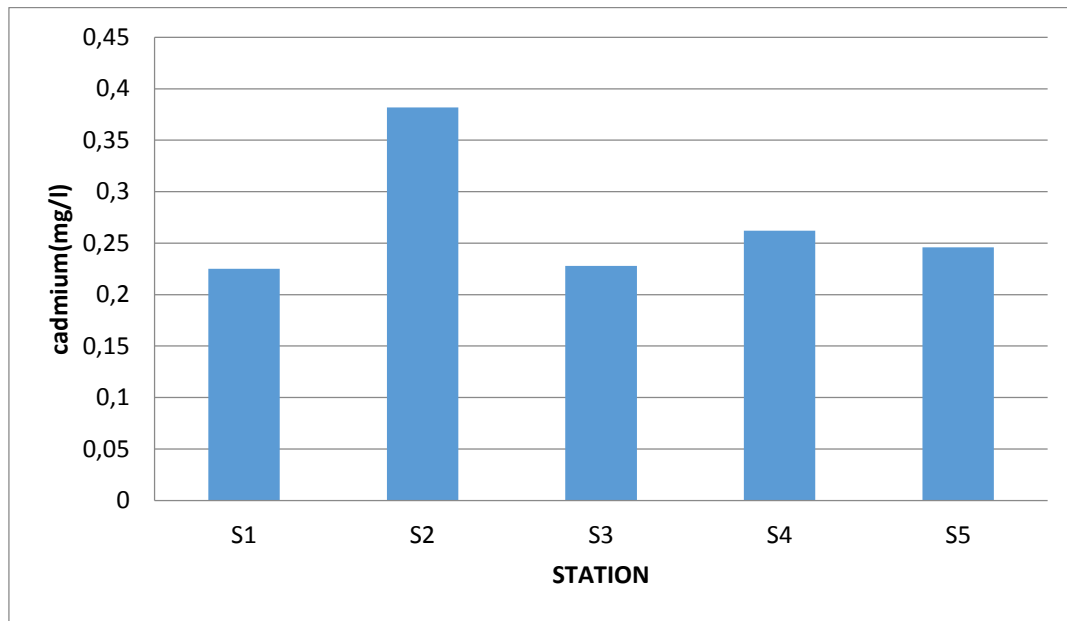


Figure 0IV-15. Variation spatiale des valeurs de cadmium.

V. Conclusion

Il est important de vérifier l'état de pollution des eaux de l'oued du haut Chélif pour s'assurer de leur impact environnemental, principalement lors de l'écoulement à travers les agglomérations de ces vallées fluviales qui sont les lieux privilégiés pour le rejet des eaux usées dans diverses zones d'agglomération de ces zones. Le suivi spatio-temporel des paramètres physiques et chimiques montre clairement la présence de pollutions chimiques et organiques dans ces cours d'eau. Les concentrations de calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{+2}), chlorure (Cl^-), nitrate (NO_3^-), nitrite (NO_2^-), phosphate (PO_4^-), DBO_5 et DCO dépassent les normes recommandées pour les eaux de surface.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

La présente étude, qui a porté sur la vallée du Haut Cheliff, a abouti aux conclusions suivantes :

Cette étude a permis d'abord de faire une synthèse géologique et hydrogéologique de l'aquifère de la plaine du Haut Chélif.

La plaine alluviale du Haut Cheliff, est caractérisée par les formations Mio-Plio-Quaternaires. Les formations quaternaires sont représentées par des alluvions. Le Miocène et le Pliocène se composent principalement de grès et d'argiles. Toutes ces formations ont une continuité hydraulique et forment un système aquifère unique.

La zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride avec hiver froid et un été chaud. Notre zone d'étude est focalisée sur cinq stations pluviométriques, représentées par les zones suivantes : Ain Soltane, Barrage Arib, Sidi Lakhdar, Khemis Miliana et Barrage Harreza). La température moyenne annuelle varie entre 13 et 19° C. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 422.7. L'évapotranspiration réelle est de 83.51 %. Le ruissellement ne représente que 8 % des précipitations et le reste constitue 10.46 % d'infiltration.

Les coupes géologiques montrent un substratum essentiellement meuble, formé de galets et de cailloutis divers, engendrant ainsi un relais entre l'eau de l'oued et les sédiments alluvionnés de la nappe libre de l'Oued Chélif.

D'après l'étude piézométrique, nous avons constaté un sens d'écoulement allant de l'est vers l'ouest. De Djendel vers Ain Defla, le gradient hydraulique devient prépondérant ; et par voie de conséquence la transmissivité devient importante.

Les rejets flagrants des eaux usées et à l'air libre d'éléments toxiques contribuent largement à la toxicité de la nappe. Les caractéristiques hydrogéologiques de la région de Djendel (gradient hydraulique, perméabilité,) la rendent plus vulnérable à la pollution.

Les analyses physico-chimiques montrent un pôle de pollution situé dans la zone de Djendel Cette pollution s'atténue vers l'aval, c'est-à-dire dans la région de Djelida.

References bibliographiques

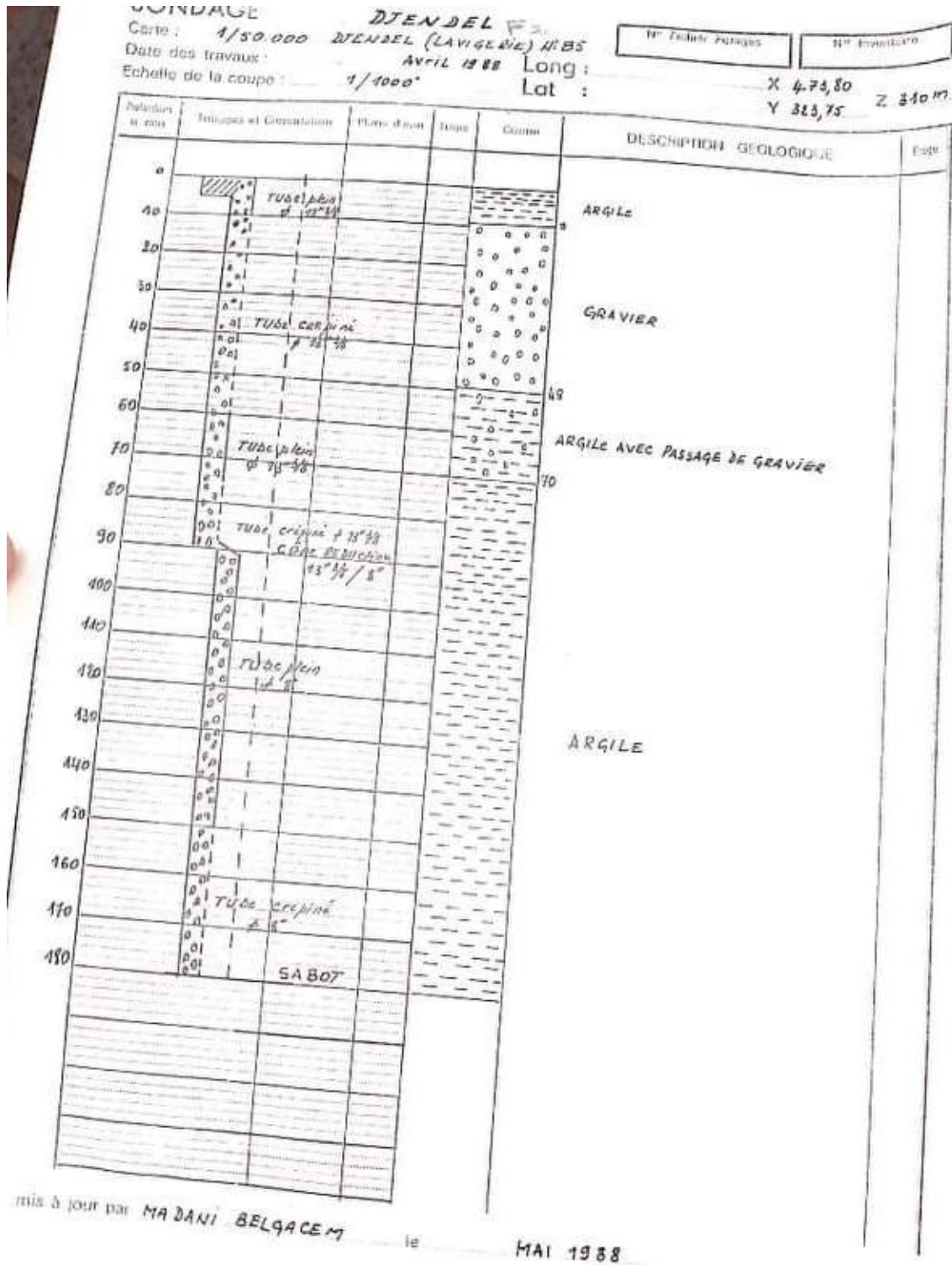
Références bibliographiques

- Guenfoud, A. A. Bouderballa. (2021).** Surface water pollution risk assessment of wadis, Mekerra and Saida, in the North-Western of Algeria. journal ? .
- Belghit, c. (2013).** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Mekenes. LARHYSS Journal Volume 10, Numéro 3, Pages 21-36. Maroc.
- BONG.N, M. (2013).** Application des SIG et de technique de spatialisation pour l'identification, l'évolution et développement des ressources en eau souterraine de la plaine de khemis miliana. Mémoire de Master - Universitaire de Khemis Miliana.
- Claus R, L. J.-C. (1972).** Le milieu de Haut Chéiff et ses implications agronomiques : L'Agronomie Tropicale. Série 2, Agronomie générale. Editions
- El, A. t. (2014).** Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de GUIGOU. European Scientific Journal August 2014 edition vol.10, No.23 ISSN: 1857 – 7881 - ISSN 1857- 7431. Maroc.
- Achour .F., (1997).** Conditions hydrologiques et disponibilité en eau en région semi-arides : application de méthodologie nouvelles au bassin du chéiff. algérie : thèse de doctorat en sciences de la terre ; université de Franche comté, france.
- Touhari F. (2015).** Etude de la qualité des eaux de la vallée du Haut Chéiff. Thèse de Doctorat .Ecole Nationale supérieure d'Hydraulique (Algérie).
- Kireche, O. (1993).** Evolution géodynamique de la marge tellienne des maghrébides d'après l'étude de domaine paraautochtone schisteux (massifs du Chéiff et d'Oranie, de Blida, Boumaad, des Babors et Bibans). Alger, Algérie, Thèse doctorat, USTHB.
- Mattauer, M. (1958).** Etude géologique de l'Ouarsenis oriental. alger: publ.serv Carte géol.Algérie.
- National Water Sector Strategy and Investment Program. (2009).** Normative grid for estimating the general quality of surface water summary rapport . 40 Avenue Mohammed-Bir Mourad Rais, Algérie.
- Richa, H. A. (2016).** Géostatistique et SIG pour la modélisation spatialisée de la pollution nitrée dans la plaine du Haut-Chéiff. Thèse de Doctorat en Science.
- Rodier. (1978).** L'analyse des eaux naturelles ou résiduaires et l'eau de mer. Paris: 6 édition ,Dunod.
- Sogreah. (1984).** Etude hydrologique et hydrogéologique du périmètre de Haut Chéiff. Laboratoire PRAVDURN.
- carte utilisées :** carte géologique de Miliana (1/50.000) , No84 avec notice explicative.

Annexes

Annexe

Annexe II-1. Coupe Géologique Djendel avril 1988.



Annexe

Annexe II-2. Coupe Géologique Djendel Aout 1993.

