

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE ABBESS LAGHROR
KHENCHELA



UNIVERSITE ABBESS LAGHROR
KHENCHELA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE L'ÉCOLOGIE ET L'ENVIRONNEMENT

Année : 2018/2019

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat 3^{ième} Cycle en écologie

Caractérisation physicochimique et microbiologique des eaux de la vallée d'El Oueldja- Khenchela- et leur impact sur l'environnement

Spécialité : Eau, environnement et énergies renouvelables

Par

Mme. Guilal Soumia
Directeur de Thèse

Houha belgacem, Professeur, Université Abbess Laghrour –Khenchela-

Devant le Jury :

Présidente :	Kadi Kenza	MCA	Université Abbes Laghrour –Khenchela-
	Hamli sofia	MCA	Université Abbes Laghrour –Khenchela-
Examineur :	Houhamdi Moussa	Professeur	Université de 8 Mai 1945– Guelma -
	Gouaidjia Layachi	Professeur	Université Larbi Tébessi –Tebessa-
Rapporteur :	Houha belgacem	Professeur	Université Abbes Laghrour –Khenchela-

REMERCIEMENTS

« Nous sommes des nains juchés sur les épaules de géants »
Isaac Newton (Proverbe).

ENFIN, l'heure est venue de rédiger ces fameux remerciements, but ultime de chaque doctorant puisqu'il s'agit bel et bien de l'événement qui marque la fin de la rédaction de la thèse. C'est avec un grand plaisir que je réserve cette page en signe de gratitude et de reconnaissance à tous ceux qui ont participé à ce travail. Bien qu'il soit difficile de reconnaître et de remercier ici toutes les personnes (nombreuses) grâce à qui j'ai pu mener à bien toutes ces années de recherche ; une période de rencontre et d'échange qui ne peut se résumer à une simple liste de noms.

El-Hamdou Li ALLAH, je tiens premièrement à me prosterner remerciant mon Dieu ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la force morale et physique pour achever cette thèse.

Tout d'abord, je remercie le Professeur *Houha belgacem*, pour m'avoir honoré par son encadrement, sa disponibilité indéfectible, ses conseils précieux, ses nobles valeurs humaines pendant les moments difficiles de ma vie de doctorante ainsi que pour la confiance qu'il m'a témoignée jusqu'à l'aboutissement de ce travail. Avec patience et pédagogie, il m'a fait découvrir plusieurs facettes de l'activité de chercheur.

Mes remerciements vont également aux membres de jury qui me font le grand honneur de juger mon travail.

Un grand merci va également à l'ensemble des membres du *laboratoire*, avec lesquelles j'ai pu avoir de nombreux échanges scientifiques.

Je tiens aussi à exprimer toute ma gratitude à tous les enseignants du département de l'écologie et l'environnement qui ont contribué à ma formation et pour leur soutien moral et leurs encouragements, un grand merci à toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont apporté leur soutien technique, scientifique ou moral pendant les moments difficiles.

Bien sûr, je remercie mes parents, qui avec leur amour, leur esprit de sacrifice et leur soutien sans fin, m'avaient toujours guidé et encouragé, et qui ont tout fait pour que je puisse réussir dans ma vie. Merci pour tous et que le bon Dieu, vous garde et vous protège.

GUILAL SOUMIA

DEDICACES

À mes chers parents,

A mon époux,

A mes enfants,

À ma famille,

A ma belle famille,

À mes amies.

Ce travail a été réalisé au niveau du flanc sud du anticlinal de tabouant dans la vallée d'El Ouldja dans les Aurès dans l'Est Algérien. Les différentes nappes exploitées appartiennent à plusieurs entités lithologiques (évaporitiques et carbonatées). La combinaison de la géologie et statistique a permis d'étudier l'origine de la chimie de ces eaux. Il s'agit d'une eau d'origine évaporitiques et accessoirement carbonatée.

La qualité chimique de l'eau est médiocre, résultant d'une forte salinité influencée par la lithologie de la nappe et les facteurs climatiques (les précipitations et les températures). Les faciès chimiques extrêmes sont le sulfate chloruré et le sulfaté calcique avec une prédominance de ce dernier.

Du point de vue bactériologique les résultats obtenus montrent l'absence de tous germes indicateurs de pollution telle que les Coliformes totaux et fécaux, les Streptocoques fécaux et les Clostridium sulfito-réducteurs, avec un faible taux des germes totaux qui reste dans les normes algériennes.

Les résultats obtenus prouvent la bonne qualité bactériologique des eaux susvisées. Elle ne présente aucun danger pour la consommation humaine sur le plan bactériologique.

L'analyse thermodynamique a révélé la saturation des eaux avec les carbonates, la calcite et la dolomie, Les diagrammes binaires croisés suggèrent que l'origine de la salinisation de l'eau attribuerait l'interaction eau-roche à travers le processus géochimique de dissolution minérale - précipitation et échange d'ions.

L'outil hydrochimique des eaux thermales indique que les sources TAMARSITE 1 et 2 sont des eaux hyperthermales, alcalines, superficielles, principalement bicarbonatées sodiques et secondairement sulfates calciques, douces, modérément ionisées d'origine probablement karstique.

Les analyses bactériologiques de la source TAMERSITE2 montre des taux élevés des coliformes totaux , coliformes Fécaux et Streptocoques fécaux , donc il y a une pollution bactériologique, au contraire de la source de TAMERSITE 01 ou son eau présente une bonne qualité bactériologique .

Mots clés : *El Ouldja, faciès chimique, aquifère, évaporites, statistique, dissolution, précipitation, Eau thermale, source Tamersite ,hydrochimie , Évaporitiques.*

ABSTRACT

This work has been carried out at the southern side of the Tabouant anticlinal in El Ouldja valley in the Aures, east of Algeria. The different water tables exploited belong to many lithological entities (Evaporitic and carbonated). The combination of geology and statistics has allowed to study the chemistry origin of these waters. This is water of evaporitic and secondarily carbonates origin. The phenomena causing this class are numerous and are essentially linked to the aquifers chemical composition.

This research project comes to shed more light on the way the aquifer system works, i.e its boundary conditions, influence of the lithological parameters and the hydrodynamic and physicochemical Parameters.

The chemical quality of water is poor resulting from the strong salinity influenced by the lithology of the aquifer and the climatic factors (precipitations and the temperatures). From the bacteriological point of view, the results obtained show the absence of any pollution indicator germs such as total and fecal coliforms, fecal Streptococci and Clostridium sulphito-reducers, with a low total germs rate which remains in Algerian standards.

The results obtained prove the good bacteriological quality of the aforementioned waters. It does not present any danger for bacteriological human consumption. Thermodynamic analysis indicated the waters saturation with carbonates, calcite and dolomite, because of the degassing and the CO₂ dissolution of evolutive formations, gypsum and halite. The crossed binary diagrams suggest that water salination might be attributed to water-rock interaction through the geochemical process of mineral dissolution, precipitation and ions exchange.

The hydrochemical tool of thermal waters indicates the sources TAMARSITE 1 and 2 are hyperthermal waters, alkaline, superficial, mainly bicarbonate sodium and secondarily calcium sulphate, mild, moderately ionized probably of karst origin.

The bacteriological analyzes of the source TAMERSITE2 show the high growth rate of total coliforms, coliforms Fecal and faecal streptococci, so there is a bacteriological pollution, unlike the source of TAMERSITE 01 or its bacteriological quality.

Keywords : El Ouldja, chemical facies, aquifer, evaporites, statistics, precipitation. Thermal water, Tamersite spring, geophysics, hydrochemistry, evaporitic, salinity.

ملخص

تم تنفيذ هذا العمل على الجناح الجنوبي من الطية المحدبة لتابونت في سفح الولجة في منطقة الأوراس في شرق الجزائر . تنتمي الطبقات المستغلة المختلفة إلى عدة كيانات صخرية (مبخرة وكريوناتية) سمح الجمع بين الجيولوجيا والإحصاء بدراسة أصل الكيمياء لهذه المياه. يعتبر هذا الماء ناتج عن التبخر الكربوناتي .

إن الظواهر التي تسبب هذه الطبقة عديدة وتتصل أساسًا بتركيبية المياه الجوفية .

يأتي هذا المشروع البحثي لإلقاء مزيد من الضوء على الطريقة التي يعمل بها نظام طبقة المياه الجوفية ، أي ظروفه الحدودية ، تأثير المعلمات الصخرية والهيدروديناميكية والكيميائية الفيزيائية .

إن نوعية المياه رديئة جدا وذلك لكثرة ملوحتها الناتجة من جهة عن نوعية الصخور وكذا العوامل المناخية (التبخر والتساقط) تظهر النتائج البكتريولوجية ، التي تم الحصول عليها عدم وجود أي جراثيم لمؤشرات التلوث مثل البكتيريا الكلية والبكتيرية ، والعقديات البرازية ومسببات الكلوستريديوم sulphito ، مع انخفاض معدل الجراثيم الكلي الذي لا يزال في المعايير الجزائرية .

لنتائج التي تم الحصول عليها تثبت الجودة البكتريولوجية الجيدة للمياه المذكورة. لا يمثل أي خطر على الاستهلاك البشري.

شار التحليل الديناميكي الحراري إلى تشبع المياه مع الكربونات والكالسيت والدولوميت ، وذلك بسبب التفريغ وفلترية CO_2 للتكوينات التطورية والجبس والهاليت. تشير المخططات الثنائية المتقاطعة إلى أن ملوحة الماء يمكن أن تُعزى إلى تفاعل الماء الصخري من خلال العملية الجيوكيميائية لانحلال المعادن وهطول الأمطار وتبادل الأيونات. كما نذكر أن هذه النتائج جاءت متوافقة مع إشكالية موضوع البحث .

تشير الدراسة الهيدروكيميائية للمياه الحرارية إلى أن منبعين تامرسيت 1 و 2 هما مياه شديدة الحرارة ، سطحية ، أساسًا من بيكربونات الصوديوم وثاني كبريتات الكالسيوم ، معتدلة ، معتدلة التأين ، على الأرجح ، من أصل كارستكي

تظهر التحليلات البكتريولوجية منبع تامرسيت 2 معدل النمو العالي لمجموع القولونيات والكوليفورم في البراز والمكورات العقدية البرازية ، لذلك هناك تلوث بكتيري ، على عكس منبع تامرسيت 1 اثبتت جودته البكتريولوجية .

الكلمات المفتاحية: الولجة ، السحن الكيميائي ، طبقة المياه الجوفية ، التبخر ، الإحصاء ، الهطول. مياه حرارية، منبع تامرسيت، جيوفيزيائية، هيدروكيمياء، تبخر، ملوحة.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	II
DEDICACES.....	III
RESUME.....	IV
ABSTRACT.....	V
TABLE DES MATIERES.....	VIII
LISTE DES FIGURES.....	XI
LISTE DES TABLEAUX.....	XIII
LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES.....	XIV
INTRODUCTION GENERALE ET PROBLEMATIQUE POSEE.....	1
OBJECTIF.....	3
METHODOLOGIE.....	4
STRUCTURE DE LA THESE.....	5
CHAPITRE 1 ETUDE PHYSIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE.....	6
1.1 INTRODUCTION.....	7
1.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA WILAYA DE KHENCHELA.....	7
1.3 PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE.....	7
1.3.1 CADRE GEOGRAPHIQUE.....	7
1.3.2 CADRE ADMINISTRATIF.....	8
1.3.3 MILIEU PHYSIQUE.....	8
1.3.4 NATURE DES SOLS.....	9
1.3.5 RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	9
1.3.5 PLUVIOMETRIE.....	10
1.3.6 ACTIVITES ECONOMIQUES.....	10
1.3.7 LE COUVERT VEGETAL.....	10
1.3.8 MORPHOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE.....	12
1.4 CONCLUSION.....	12
CHAPITRE 2 CADRE GEOLOGIQUE.....	13
2.1 INTRODUCTION.....	14
2.2 ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE.....	14
2.2.1 GEOMORPHOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE.....	14
2.2.1 GEOMORPHOLOGIE DES SOURCES THERMALES.....	14
2.3 CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL.....	15
2.4 CADRE GEOLOGIE LOCALE.....	16
2.5 ETUDE LITHO-STRATIGRAPHIQUE.....	17
2.6 LEVE GEOLOGIQUE.....	17
2.7 PRESENTATION DES COUPES GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE :.....	18
2.8 LA LITHOLOGIE.....	21

2.9 ANALYSE TECTONIQUE ET STRUCTURALE	23
2.9.1 LES PRINCIPALES PHASES TECTONIQUES :.....	23
2.10 CONCLUSION	25
CHAPITRE 3 ETUDE HYDROCLIMATIQUE	27
3.1 INTRODUCTION	28
3.2 HYDROLOGIE	28
3.2.1 COUVERTURE VEGETALE DU BASSIN VERSANT.....	29
3.2.2 FORME DU BASSIN VERSANT.....	30
3.2.3 LES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES.....	31
3.3 CADRE CLIMATIQUE	32
3.3.1 INTRODUCTION.....	32
3.3.2 LE CLIMAT DE L'AFRIQUE DU NORD.....	32
3.3.3 LE CLIMAT DE L'ALGERIE.....	33
3.3.4 LE CLIMAT DE LA REGION D'ETUDE :.....	33
3.3.5 PRECIPITATIONS.....	34
3.3.6 LE REGIME THERMIQUE.....	36
3.3.7 SYNTHESE CLIMATIQUE.....	37
3.4 CONCLUSION	44
CHAPITRE 4 HYDROGEOLOGIE	47
4.1 INTRODUCTION	48
4.2 L'ETUDE GEOPHYSIQUE REALISEE DANS LA REGION	48
4.3 PRINCIPE DE LA MESURE DE LA RESISTIVITE	49
4.4 RESULTATS DE LA PROSPECTION	50
4.4.1 ETALONNAGE DES DONNEES DE SONDAGES ELECTRIQUES.....	50
4.4.2 INTERPRETATION DES COUPES GEO ELECTRIQUES :.....	52
4.4.3. SONDAGE ELECTRIQUE TAMERSSITE.....	54
4.5 IDENTIFICATION HYDROGEOLOGIQUE DES AQUIFERES DANS LA ZONE D'ETUDE	54
4.5.1. LES NIVEAUX IMPERMEABLES.....	54
4.5.2 LES NIVEAUX PERMEABLES.....	55
4.6 LOGS STRATIGRAPHIQUES DE QUELQUES FORAGES	55
4.6. TYPES DE NAPPE	56
4.6.1 LA NAPPE DU PLIOQUATERNAIRE.....	56
4.6.2 LA NAPPE DES CALCAIRES DU MAESTRICHTIEN SUPERIEUR.....	57
4.7 PIEZOMETRIE	57
4.7.1 NIVEAU PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE.....	57
4.8 CONCLUSION	58
CHAPITRE 5 HYDROCHIMIE DE LA VALEE D'EL OULDJA	60
5.1 CARACTERISATION PHYSICO- CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DES EAUX SUPERFICIELLES ET SOUTERRAINES DE LA VALLEE D'EL OULDJA	61
5.2 CARACTERISATION PHYSICO- CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DE LA SOURCE THERMALE TAMERSITE ET LEURS IMPACTES SUR L'ENVIRONNEMENT	61
5.2.1 CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX SUPERFICIELLES ET SOUTERRAINES DE LA VALLEE D'EL OULDJA.....	61
5.3. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES	64

5.3.1 QUALITE PHYSICOCHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES	66
5.3.3. PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES	78
5.4 FACIES CHIMIQUES DES EAUX	82
5.4.1 REPARTITION GRAPHIQUE	82
5.5 ETUDE DES PROCESSUS HYDROGEOCHIMIQUES	84
5.5.1 RELATIONS DES ELEMENTS MAJEURS EN FONCTION DE CHLORURE	84
5.6 APTITUDE DES EAUX A L'IRRIGATION	87
5.6.1 CLASSIFICATION DES EAUX PAR LA METHODE DE RICHARDS	88
5.7. CLASSIFICATION DES EAUX EN FONCTION DU POURCENTAGE DU SODIUM ABSORBE PAR L'EAU (METHODE DE WILCOX)	89
5.7.1 INDICE DE SATURATION (IS)	90
5.7.2 MATRICE DE CORRELATION	91
5.8 ANALYSE EN COMPOSANT PRINCIPALE (ACP)	92
5.8.1 APPLICATION DE L'ACP	92
5.10 CONCLUSION	95
5.11 CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DE LA SOURCE THERMALE DE LA VALLEE D'EL OULDJA	95
5.11.1 LES SOURCES THERMALES	96
5.11.2 RESULTATS ET DISCUSSION	100
5.12 ETAT DES MINERAUX ET AUTRES PARAMETRES DANS L'EAU	104
5.12.1 INDICE DE SATURATION	104
5.13 IMPACT ET VERTUS THERAPEUTIQUES DES EAUX THERMALES	105
5.13.1 ETUDE BACTERIOLOGIQUE ET ORIGINE DE LA CONTAMINATION.....	105
5.14 CARACTERISATIONS MICROBIOLOGIQUES	106
5.14.1 COLIFORMES TOTAUX	106
5.14.2 COLIFORMES FECAUX ET STREPTOCOQUES FECAUX	106
5.15 INTERPRETATION DES RESULTATS	106
5.15.1 CLASSIFICATION THERAPEUTIQUE DES EAUX DE LA SOURCE THERMALES TAMERSITE :	107
5.16 CONCLUSION	107
CONCLUSION GENERALE	111
REFERENCES.....	115
A. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	115
B. REFERENCES WEBOGRAPHIQUES	120
C. LES CARTES UTILISEES.....	120

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1. 1 SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA REGION D'ETUDE.....	8
FIGURE 1. 2 CARTE DE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE LA COMMUNE D'EL OULDJA.....	10
FIGURE 1. 3 COUVERTURE VEGETALE DE L'EST ALGERIEN.....	11
FIGURE 2. 1 : LEVEE TOPOGRAPHIQUE DU SITE TAMERSSITE.....	15
FIGURE 2. 2 : CARTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE.....	16
FIGURE 2. 3 : LEVEE GEOLOGIQUE DE TERRAIN.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
FIGURE 2. 4 : COUPE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE.....	20
FIGURE 2. 5 : COUPE SCHEMATIQUE DE LA VALLEE CACHEE EN RIVE GAUCHE.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
FIGURE 2. 6 : CARTE LITHOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE.....	21
FIGURE 2. 7 : COLONNE LITHOLOGIQUE DE LA RIVE DROITE.....	23
FIGURE 2. 8 : SCHEMA TECTONIQUE DES AURES.....	25
FIGURE 3. 1 BASSIN VERSANT DE CHOTT MELGHIR.....	29
FIGURE 3. 2 : LES RESEAUX HYDROGRAPHIQUES DE BASSIN VERSANT DE OUED EL ARAB.....	30
FIGURE 3. 3 COURBE HYSOMETRIQUES DU BASSIN VERSANT DE L'OUED EL ARAB.....	31
FIGURE 3. 4 CARTE CLIMATIQUE DE L'ALGERIE (SOURCE ENCARTA, 2008).....	33
FIGURE 3. 5 CARTE PLUVIOMETRIQUE POUR L'ALGERIE DU NORD (ANRH, 1993).....	35
FIGURE 3. 6 VARIATIONS DES PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES (STATION BISKRA 2003-2017).....	35
FIGURE 3. 7 CARTE PLUVIOMETRIQUE DE LA REGION DE BISKRA (EXTRAIT DE LA CARTE D'ALGERIE 1/500000, 1971).....	36
FIGURE 3. 8 TEMPERATURES MOYENNES ANNUELLES DE L'EST ALGERIEN (ETABLIE D'APRES A.N.R.H., 1993 IN	36
FIGURE 3. 9 VARIATIONS DES TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES (STATION BISKRA 2003-2013).....	37
FIGURE 3. 10 DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE GAUSSEN.....	37
FIGURE 3. 11 ABAQUE DE L'INDICE DE L'ARIDITE DE DE MARTONNE.....	39
FIGURE 3. 12 CLIMAGRAMME D'EMBERGER POUR LA STATION DE BISKRA (2003-2017).....	40
FIGURE 3. 13 CARTE SIMPLIFIEE DES ZONES BIOCLIMATIQUES DE L'EST ALGERIEN ETABLIE D'APRES COTE M., 1998A ; IN MEBARKI ; 2005).....	41
FIGURE 3. 14 : CARTE DE L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE ANNUELLE MOYENNE DE L'EST ALGERIEN.....	42
FIGURE 3. 15 : REPRESENTATION GRAPHIQUE DU BILAN HYDROLOGIQUE DE THORNTHWAITE A LA STATION DE BISKRA.....	44
FIGURE 4. 1 : PLAN DE SITUATION DES ZONES.....	49
FIGURE 4. 2 CARTE DE SITUATION DES SONDAGES ELECTRIQUES. ECHELLE 1/50.000.....	50
FIGURE 4. 3 ETALONNAGE DU SONDAGE ELECTRIQUE OE1 A L'AIDE DU FORAGE F1.....	51
FIGURE 4. 4 ETALONNAGE DU SANDAGE ELECTRIQUE OE2 A L'AIDE DU FORAGE F2.....	51
FIGURE 4. 5 COUPES GEO ELECTRIQUES DE LA ZONE D'ETUDE.....	53
FIGURE 4. 6 : COUPE HYDROGEOLOGIQUE DE SONDAGE A.....	53
FIGURE 4. 7 : LOG STRATIGRAPHIQUE DES FORAGES.....	56
FIGURE 4. 8 : EVALUATION DE NIVEAU PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE DE LA VALLEE D'EL OULDJA.....	58
FIGURE 5.1 CARTE D'INVENTAIRE DE LA ZONE D'ETUDE.....	64
FIGURE 5.2 : VARIATION SPATIALE DE LA TEMPERATURE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA VALLEE D'EL OULDJA (Nov 2016).....	67
FIGURE 5.3 : VARIATION SPATIALE DU PH DES EAUX SOUTERRAINES DE LA VALLEE D'EL OULDJA (Nov 2016).....	67

FIGURE 5.4 : VARIATION SPATIALE DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA VALLEE D'EL OULDJA	68
FIGURE 5.5 : VARIATION SPATIALE DE LA MINERALISATION DES EAUX SOUTERRAINES DE LA VALLEE D'EL OULDJA(NOV2016).....	69
FIGURE 5.6 : SOMME DES ANIONS VERSUS SOMME DES CATIONS.	70
FIGURE 5.7 : TENEURS EN Ca^{+2} (MG.L ⁻¹) DANS LES EAUX SOUTERRAINES (NOV 2016).....	72
FIGURE 5.8 : TENEURS EN Mg^{+2} (MG.L ⁻¹) DANS LES EAUX SOUTERRAINES (NOV 2016).....	72
FIGURE 5.9 : TENEURS EN Na^{+} (MG.L ⁻¹) DANS LES EAUX SOUTERRAINES (NOV 2016).....	72
FIGURE 5.10 : TENEURS EN K^{+} (MG.L ⁻¹) DANS LES EAUX SOUTERRAINES (NOV 2016).....	72
FIGURE 5.11 : TENEURS EN CHLORURE Cl^{-} (MG.L ⁻¹) DANS LES EAUX SOUTERRAINES (NOV 2016).....	74
FIGURE 5.12 : TENEURS EN SULFATES SO_4^{-2} (MG.L ⁻¹) DANS LES EAUX SOUTERRAINES (NOV 2016).....	74
FIGURE 5.13 : TENEURS EN SULFATES HCO_3 (MG.L ⁻¹) DANS LES EAUX SOUTERRAINES (NOV 2016).....	74
FIGURE 5.14 : TENEURS EN NITRATE (NO_3^{-}) DANS LES EAUX SOUTERRAINES (NOV 2016).....	75
FIGURE 5.15 : VARIATION SPATIALE DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DES EAUX SUPERFICIELLES DE LA VALLEE D'EL OULDJA.....	76
FIGURE 5.16 : VARIATION SPATIALE DU PH DES EAUX SUPERFICIELLES DE LA VALLEE D'EL OULDJA.....	76
FIGURE 5.17 : VARIATION SPATIALE DES CATIONS (Ca^{2+} , Na^{+} ET $Mg^{2+} + K^{+}$) ET DES ANIONS (SO_4^{-2} , HCO_3^{-} , NO_3^{-} ET Cl^{-}) EN MG/L DES EAUX D'OUED EL ARAB DE LA VALLEE D'EL OULDJA.....	78
FIGURE 5.18 : VARIATION SPATIALE DES CATIONS (Ca^{2+} , Na^{+} ET $Mg^{2+} + K^{+}$) ET DES ANIONS (SO_4^{-2} , HCO_3^{-} ET Cl^{-}) EN MG/L DES EAUX DES SOURCES DE LA VALLEE D'EL OULDJA.....	78
FIGURE 5.19 : VARIATION DES GERMES TOTAUX DANS LES EAUX ETUDIES.....	80
FIGURE 5.20 : VARIATION SAISONNIERE DES COLIFORMES TOTAUX DANS LES EAUX ETUDIES.....	80
FIGURE 5.21 : VARIATION DES <i>CLOSTRIDIUM</i> SULFITO-REDUCTEURS DANS LES EAUX ETUDIEES.....	81
FIGURE 5.22 : DIAGRAMME TRIANGULAIRE DE PIPER POUR LA ZONE D'ETUDE.....	82
FIGURE 5.23 CLASSIFICATION DE SCHOELLER- BERKALOFF DES EAUX DE LA VALLEE D'EL OULDJA.....	83
FIGURE 5.24 DIAGRAMME DE DUROV DES EAUX DE LA VALLEE D'EL OULDJA (NOV-DEC 2016).....	84
FIGURE 5.25 VARIATION DE LA CONCENTRATION DES ELEMENTS MAJEURS EN FONCTION DU CHLORURE DES EAUX DES SOURCES DE LA VALLEE D'EL OULDJA. NOV-DEC 2016.....	87
FIGURE 5.26 DIAGRAMMES DE RIVERSIDE.....	89
FIGURE 5.27 : DIAGRAMMES DE WILCOX.....	90
FIGURE 5.28 ÉVOLUTION DES INDICES DE SATURATION (IS).....	91
FIGURE 5.29 PROJECTION DES VARIABLES.....	93
FIGURE 5.30 PROJECTION DES INDIVIDUS (FACTORIAL DESIGN F1-F3).....	93
FIGURE 5.31 CARTE DES BASSINS VERSANTS DES SOURCES AIN TAMERSITE 1 ET 2.....	97
FIGURE 5.32 CADRE GEOLOGIQUE DE LA SOURCE THERMALE.....	98
FIGURE 5.33 ÉSKISSE DE LA DISPOSITION DES DIFFERENTES STRUCTURES DANS LE SECTEUR ETUDIE.....	99
FIGURE 5.34 CARTE D'INVENTAIRE DES SOURCES THERMALES DE LA ZONE D'ETUDE.....	100
FIGURE 5.35 DIAGRAMME DE PIPER POUR LES EAUX THERMALES D'EL OULDJA.....	102
FIGURE 5.36 DIAGRAMME SCHOELLER-BERKALOFF POUR LES EAUX THERMALES D'EL OULDJA.....	103
FIGURE 5.37 $Na-K-Mg$ DIAGRAMME TERNAIRE.....	104
FIGURE 5.38 ÉVOLUTION DES INDICES DE SATURATION (IS) POUR LES SOURCES THERMALES.....	105

LISTE DES TABLEAUX

TABLE 4. 1 METRIQUES SELECTIONNEES POUR UNE VISUALISATION EFFICACE.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
TABLE 4. 2 DESCRIPTION DES METRIQUES APPLIQUES DANS LA VUE « COMPLEXITE DU SYSTEME » POUR UN CODE JAVA.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
TABLE 4. 3 DESCRIPTION DES METRIQUES APPLIQUES DANS LES VUES « DEPENDANCES DES CLASSES & PACKAGES ».....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
TABLE 4. 4 DESCRIPTION DES METRIQUES APPLIQUEES DANS LA VUE "COMPLEXITE DU SYSTEME" POUR UN CODE ASPECT.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
TABLE 4. 5 DESCRIPTION DES METRIQUES APPLIQUEES DANS LES VUES "DEPENDANCES DES ASPECTS ET DES PACKAGES".....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
TABLE 4. 6 METRIQUES D'ARETES DANS LES DEUX VUES "DEPENDANCES DES CLASSES" ET "DEPENDANCES DES PACKAGES".....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
TABLE 5. 1 CODAGE CONVENTIONNEL VS. METHODOLOGIE DE CODAGE HYBRIDE.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
TABLE 5. 2 EXTRAIT DE LA TABLE DES NOTATIONS GRAPHIQUES PROPOSEES AVEC LES REGLES DE TRANSFORMATIONS ACCELEO.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
TABLE 6. 1 UNE LISTE DETAILLEE DES PROGRAMMES ASPECTJ SELECTIONNES POUR L'EVALUATION.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
TABLE 6. 2 LES PROGRAMMES ASPECTJ SELECTIONNES POUR L'EXPERIMENTATION.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
TABLE 6. 3 RECAPITULATIF DES RESULTATS DE COMPARAISON QUANTITATIVE : "HCODELESSAJ" VS. "AJDT".....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
TABLE 6. 4 RECAPITULATIF DES RESULTATS DE COMPARAISON QUALITATIVE : "HCODELESSAJ" VS. "AJDT".....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
TABLE 6. 5 RECAPITULATIF DES REPONSES AU QUESTIONNAIRE.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES

La signification des acronymes utilisés dans cette thèse est, en règle générale, précisée lors de leur première utilisation. Ci-après nous donnons tous ces acronymes, leur signification en anglais et (ou) une équivalence en français lorsque nécessaire.

ACP	Analyse en Composantes Principales
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
ANAT	Agence National Aménagement du Territoires.
ANB	Agence national des barrages
ALGEO	Algérie Géophysique
A.D.E	Algérienne des eaux
CE	Conductivité électrique
CMD	Coefficient Mensuel de Débit
CGG	Compagnie Générale de Géophysique
CENEAP	Centre National d'Etude d'Analyse Pour Population.
CEAEQ	Centre d'expertise en analyse environnementale
CF	Conservation des forêts
Ca⁺⁺	Calcium
DHW	Direction de l'Hydraulique de la Wilaya
DSA	Direction des Services Agricoles
Dj	Djebel
DA	Déficit Agricole
Da	Densité apparente du sol
DTWK	Direction de tourisme de la wilaya de kenchela
EPA	Environmental Protection Agency
FAO	Food and Agriculture Organisation
ETP	Evapotranspiration potentielle

ETR	Evapotranspiration Réelle
EX	Excédent en eau du sol
F^-	Fluor
F	Forage
I.F.E.S	Icosium Forage Engineering Service
I	Indice d'aridité
Km	Kilomètre
L	Longueur
M	Mètre
Mm	Millimètre
m/s	Mètre par seconde
Méq/l	Milliéquivalent par litre
Mg/l	Milligramme par litre
Mg ++	Magnésium
NGA	Nivellement Général d'Algérie
N-E	Nord-Est
NH_4^+	Ammonium
NO_2	Nitrites
NO_3	Nitrates
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONM	Office National de la Météorologie
P	Précipitation (mm)
PNDA	Plan National de Développement Agricole
Q	Débit d'écoulement (l/s)
R	Distance entre le piézomètre et le forage en (m).
R	Ruissellement (mm)
RFU	Réserve Facilement Utilisable (mm)

R	Résistance d'un cylindre	(ohm)
SAR	Sodium Absorption Ratio	
SIG	Système d'Information Géographique	
S	Section (m ²)	
S	Source	
SO₄²⁻	Sulfates	
T	Transmissivité (m/s ²)	
T	Température(°c)	
O₂	Oxygène dissous	
PO₄	Phosphates	
P	Résistivité (Ohm.m)	
PH	potentiel hydrogène	
He	Humidité équivalente du sol (%)	
K	Perméabilité (m/s)	
°C	Degré Celsius	
Cl⁻	Chlorures	
UTM	Transverse universelle de Mercator	

INTRODUCTION GENERALE ET PROBLEMATIQUE POSEE

La question de la qualité de l'eau au sein des programmes humanitaires se pose essentiellement en termes de consommation humaine et d'irrigation et la mauvaise qualité de l'eau peut être induite par des activités anthropiques ou par des phénomènes naturels. D'après l'organisation mondiale de la santé (OMS), la qualité d'une eau est définie par des paramètres physiques, chimiques et biologiques, mais aussi l'usage de cette eau.

Le volume d'eau utilisée dans le monde a progressé plus de deux fois plus que le taux de croissance de la population, et un nombre grandissant de régions atteint la limite au-delà de laquelle il n'est plus possible de fournir des services fiables d'approvisionnement en eau (pour différents usages) (FAO, 2007). La croissance démographique et le développement économique exercent une pression sans précédent sur les ressources en eau, renouvelables mais limitées, notamment dans les régions arides. Il est estimé qu'à l'horizon 2025, 1,8 milliard de personnes vivront dans des pays ou des régions disposant de moins de 500 m³ d'eau renouvelable par an et par habitant (FAO, 2007).

Dans les pays de la marge sud de la Méditerranée et notamment dans la région arabe, connue par son climat aride à semi aride ceux-ci connaissent de plus en plus une dégradation qualitative et quantitative (Custodio et Bruggeman, 1987; Edmunds et Droubi, 1998; Vengosh et Rosentha, 1994; Vengosh et al., 1999).

Le Sahara Algérien étant un des déserts les plus parfaits au monde. il présente un climat aride qui se caractérise par une forte irrégularité pluviométrique. D'une manière générale, les bassins versants sont imperméables (ANRH, 1993). Ce qui donne sur le plan des régimes hydrologiques, une extrême irrégularité saisonnière et interannuelle des écoulements qui est accentuée par de longues périodes de sécheresse, des crues violentes et rapides, et une érosion intense et des transports solides importants (Kadi, 1997).

La zone sud de la ville de Khenchela appartient au domaine de la plateforme saharien, elle est située au nord du Sahara septentrionale et au sud de l'Atlas Saharien, et c'est grâce aux richesses contenues dans son sous-sol, qu'elle est devenue une importante région à vocation essentiellement agricopastorale.

La région d'El Ouldja dans le sud Ouest de la wilaya de Khenchela présente un exemple type, elle est située au Nord-est du l'Algérie dans une dépression endoréique entre deux massifs, Elle est limitée au Nord par El M'Sara, à l'Est par Kheirane, au Sud par la Wilaya de Biskra et à l'Ouest par la Wilaya de Batna. Confrontée à d'énormes difficultés alliant une faible pluviosité et une répartition inégale avec une évapotranspiration très élevée. Le climat semi-aride de la région est caractérisé par un été chaud et sec et un hiver doux et humide qui favorise le phénomène de salinité et de minéralisation des eaux.

En outre, les facteurs naturels, tels que la sécheresse ou les contraintes géologiques, ont un effet sur l'approvisionnement en eau potable et sa distribution.

Il est donc essentiel de quantifier et d'analyser la quantité et la qualité des réserves en eau et de trouver le moyen de gérer cette ressource pour en assurer sa durabilité.

Dans ce contexte notre étude donne un aperçu scientifique sur l'état actuel de cette nappe, du point de vue qualitatif et quantitatif. La qualité des eaux de cette région a subi ces dernières années une certaine détérioration, à cause de l'influence de nature lithologique, la géologie et les facteurs climatiques. Ces éléments modifient le chimisme de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités.

Djoudi S et Ouldjoui M (2012), dans une étude réalisée sur la vallée d'El Ouldja, ou a été signalé l'influence de la minéralisation des eaux souterraines sur le colmatage des filtres et membranes de la station monobloc d'osmose inverse.

Dans cette étude, nous allons essayer de mieux comprendre l'impact des paramètres climatiques et lithologiques sur la qualité des ressources souterraines et superficielles et d'optimiser l'interprétation des analyses physico-chimiques et bactériologiques en utilisant des moyens plus adéquats. Nous allons également effectuer une valorisation d'une source thermique dans la même région d'étude et Etudier l'impact et vertus thérapeutiques de cette dernière.

Le programme d'action pour la réalisation de ce travail doit répondre aux préoccupations suivantes :

- Quel est l'état actuel de la qualité chimique et bactériologique des eaux souterraines et superficielles de cette vallée?*
- Quels sont les mécanismes physico-chimiques régissant l'évolution des éléments chimiques dans le temps et dans l'espace (influence de la lithologie et des facteurs climatiques sur le chimisme de la nappe)?*
- Quels sont les différents polluants existant dans l'eau ainsi que leurs origines ?*
- Quel est l'état actuel de la qualité chimique et bactériologique des sources thermales de la zone d'étude ?*

Le but de ce travail est d'étudier l'une de ces zones semi-arides complexes d'Algérie, la vallée d'El Ouldja dans le Sud Ouest de la Wilaya de khenchela ; cette dernière est connue par les eaux saumâtres a des concentrations tres élevées de soufre dues à l'influence de la nature géologique des terrains, le thermalisme (source Tamersite) , caprices de la pluviométrie, l'évaporation, des écoulements temporaires de type Oued (Oued El Arab) susceptibles de s'infiltrer et alimenter la nappe,...

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour pouvoir déterminer la qualité des eaux et les différentes origines de la Salinité à savoir :

- *Apporter une analyse critique et une interprétation des diverses données existantes (chimie, données de forages, piézométrie).*
- *Intégrer les résultats chimiques dans le schéma classiques d'investigations hydrogéophysique et de compréhension du fonctionnement des aquifères.*
- *Evaluer la qualité bactériologique de l'ensemble des eaux de la vallée.*
- *Intégrer les résultats chimiques dans la mise en évidence des mécanismes responsables de la salinité.*
- *interprétations des échanges entre la nappe et les eaux d'Oued.*
- *L'évaluation des ressources exploitables en eaux destinées aux usages domestiques et agricole*
- *La valorisation de l'eau thermale et le développement du thermalisme, tant médical que ludique.*
- *Etudier Impact et vertus thérapeutiques des eaux thermales.*

METHODOLOGIE

Pour atteindre nos objectifs, nous avons adopté la méthodologie suivante :

- *Dans une première étape : nous avons procédé à un inventaire complet de tous les points d'eau (forages, sources (non thermales, thermales) et Oued) de la vallée.*
- *Dans une deuxième étape : afin de définir l'évolution spatio- temporelle de la piézométrie de l'aquifère en fonction des conditions climatiques, nous avons réalisé deux campagnes piézométriques.*

Par ailleurs, nous signalons qu'une série d'essais de pompage a été réalisée durant le mois de Mai 2007.

Dans une dernière étape qui correspond à la dernière phase de la récolte des données: nous avons effectué des prélèvements d'échantillon d'eau pour effectuer des analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux superficielles et souterraines de cette vallée.

La dernière étape de notre travail, correspond à l'interprétation des données.

STRUCTURE DE LA THESE

Le présent manuscrit se compose de cinq chapitres :

Le premier chapitre est consacré à l'étude physique et morphologique de la région d'étude en présentant les caractéristiques géographiques, morphologiques, hydrographiques et structurale du secteur.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude géologique de la région d'étude dans lequel nous avons abordé la géomorphologie, la litho stratigraphie et la lithologie ;

Le troisième chapitre, nous étudierons les paramètres hydroclimatiques afin de quantifier les différentes composantes du bilan ;

Le quatrième chapitre fera le bilan hydrogéophysique en présentant la géophysique et la piézométrie et les premiers résultats sur le sens des flux constituera le cinquième chapitre ;

L'étude hydrochimique non isotopique constituera le cinquième chapitre, ce dernier et divisé en deux parties .la première partie concerne le l'étude physico-chimique et bactériologique des eaux superficielles et souterraines de la vallée d'El Ouldja ;

La dernière partie de ce chapitre sera consacrée à l'étude des sources thermales de la vallée.

Enfin, nous donnerons une conclusion générale de cette étude, dans laquelle, nous mettrons en évidence les résultats auxquels nous avons abouti, d'autre part nous proposerons sur la base de ces résultats, des solutions adéquates pour préserver cette ressource, ainsi qu'un programme de travail complémentaire pour une éventuelle étude supplémentaire.

SOMMAIRE

1.1 INTRODUCTION	7
1.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA WILAYA DE KHENCHELA	7
1.3 PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE	7
1.3.1 CADRE GEOGRAPHIQUE	7
1.3.2 CADRE ADMINISTRATIF	8
1.3.3 MILIEU PHYSIQUE	8
1.3.4 NATURE DES SOLS	9
1.3.5 RESEAU HYDROGRAPHIQUE	9
1.3.5 PLUVIOMETRIE	10
1.3.6 ACTIVITES ECONOMIQUES	10
1.3.7 LE COUVERT VEGETAL	10
1.3.8 MORPHOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE	12
1.4 CONCLUSION	12

1.1 Introduction

Ce chapitre présente les traits majeurs du milieu d'étude notamment la localisation géographique, l'hydrographie, le couvert végétal, le relief, l'hydrogéologie, la nature du sol, la morphologie de la zone d'étude et le cadre climatique.

Ces éléments sont utiles, nécessaires, et contribuent à tracer les grands traits du relief qui conditionne le climat et favorise les écoulements de surface et souterrains.

1.2 Situation géographique de la Wilaya de Khenchela

La région de Khenchela est située au Nord de l'Algérie, au Sud-Est du constantinois et au contrefort du mont des Aurès entre 34° 06' 36" et 35° 41' 21" latitudes Nord ; et entre 06°34'12" et 07°35'56" de longitudes Est, s'étend sur une superficie de 9715,6 km² (Khabthane, 2010).

La population de la Wilaya de Khenchela s'élève à un quatre cent six milles six cent quatre vingt dix (406.690) habitants (CENEAP, 2016).

Elle est composée de 21 communes et 08 daïras ; et limitée géographiquement au :

- **Nord** : par la Wilaya d'Oum El Bouaghi
- **Sud** : par la Wilaya d'El Oued
- **Est**: par la Wilaya de Tébessa
- **Ouest**: par la Wilaya de Batna.
- **Sud- Ouest** : par la Wilaya de Biskra

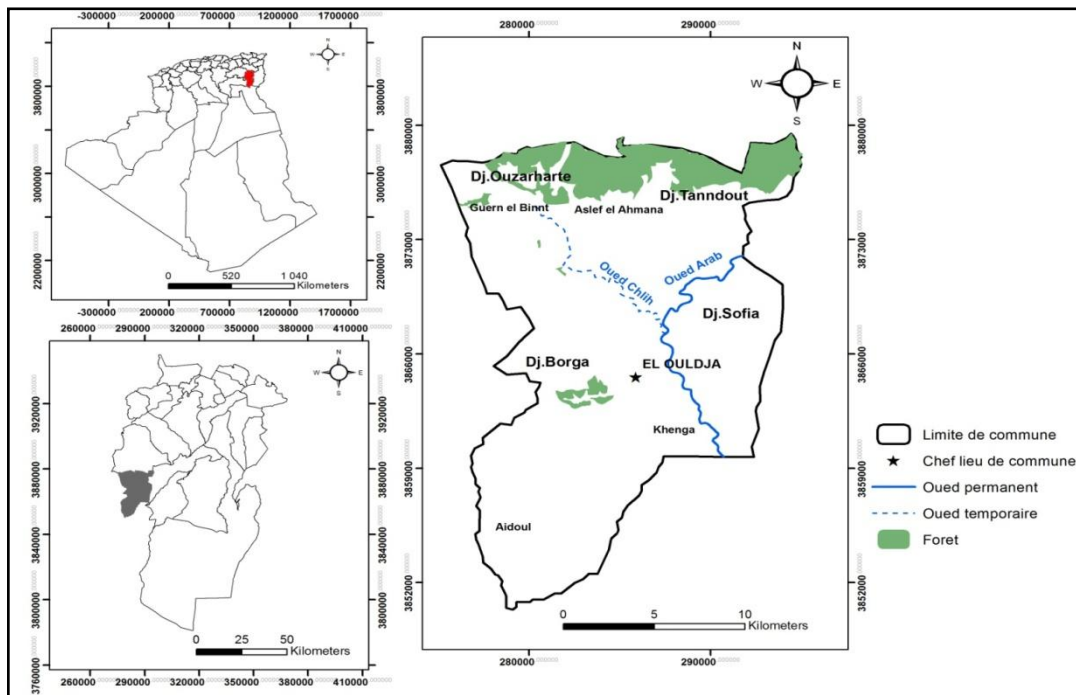
Notre zone d'étude qui est El Ouldja se situe au Sud Ouest de la wilaya de Khenchela.

1.3 Présentation générale de la zone d'étude

1.3.1 Cadre géographique

La commune d'El Ouldja est située au Sud Ouest du chef lieu de la Wilaya de Khenchela dans les Aurès à l'est algérien (**Figure 1.1**) et s'étend sur une superficie de **366 km²**. Elle est limitée au Nord par El M'Sara, à l'Est par Kheirane, au Sud par la Wilaya de Biskra et à l'Ouest par la Wilaya de Batna.

La population d'El Ouldja est estimée à la fin 2016 à 3480 habitants.



Source :Guilal,S 2018

Figure 1. 1 Situation géographique de la région d'étude.

1.3.2 Cadre administratif

El Ouldja est une commune récente issue du découpage administratif de 1984, avant elle faisait partie de la commune de Khenguët Sidi Nadji.

La commune de l'Ouldja est rattachée à la Daira de Chechar.

1.3.3 Milieu physique

1.3.3.1 Relief

Environ 80% de son territoire est montagneux (Monts des Nemamchats), le reste au Sud est une région plane, faisant partie de la Zone des parcours sahariens.

a. Les montagnes

Ces reliefs on les retrouve au Nord-Ouest sur le massif des Aurès représentés par : DJ-Aidel (2092m), Dj-Chentgomma (2115m), Dj-Bezez (2141m) et à l'Est dans les massifs de Nememcha représentés par Dj-Bouzendag (1390m), Dj-Sguiguine (1453m), Dj-Tedliste (1507m). Au centre du bassin, on retrouve les massifs de Djebel Djahfa (1707m). L'ensemble ne constitue que 14% de la surface totale du bassin versant.

b. Les piedmonts

C'est une zone de transition entre les montagnes et la plaine . ils se situent au Sud-Est et au Nord-Ouest entre les altitudes 1200m-1400m avec une pente moyenne de 9%. Ces zones sont occupées par les forêts et ne représentent que 17% de la surface totale du bassin versant.

c. La plaine

Elle occupe la grande partie du bassin avec 60% de la surface totale du bassin versant. Elle se situe entre les deux chaînes montagneuses du bassin versant sur des altitudes inférieures à 1200m. Ces zones sont occupées par des céréalicultures (orge, blé) et drainées par Oued El Htiba à l'Est et Oued Tamagra à l'Ouest.

1.3.4 Nature des sols

La région montagneuse est riche en sédiments carbonatés et détritiques : calcaires, dolomies, marnes, argiles et grés. Le reste constitue un dépôt d'alluvions, regs et terrasses.

1.3.5 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est temporaire (écoulement temporaire) et peu développé. La configuration de ce réseau peut être expliquée, d'une part, par la rareté des pluies et d'autre part, par la nature topographique de la région. Ainsi, la zone d'étude est traversée essentiellement par Oued El Arab qui est le drain naturel et le collecteur de la vallée est qui coule du nord vers le sud. La surface du bassin versant de la retenue d'El Ouldja est de **1333 km²**, il se caractérise par une longueur talweg de l'ordre de **113km** et une pente globale de **1.36%** .

La commune est drainée du Nord au Sud par plusieurs oueds dont plus importants sont : Oued El Arab et Oued Belrouh.

1.3.5.1 Oued el Arab

Un réseau d'écoulement dendritique celui-ci résulte de la confluence de l'Oued Mellagou et de l'Oued El Abiod qui prennent leurs sources respectivement au Djebel Chélia et au Djebel Aïdel. Son tracé à l'Est, est la limite exacte du massif qui le délimite des monts des Nememchas. Il draine pratiquement tout le flanc est du massif. La superficie de son bassin qui touche l'Aurès est d'environ **2500 Km²**.

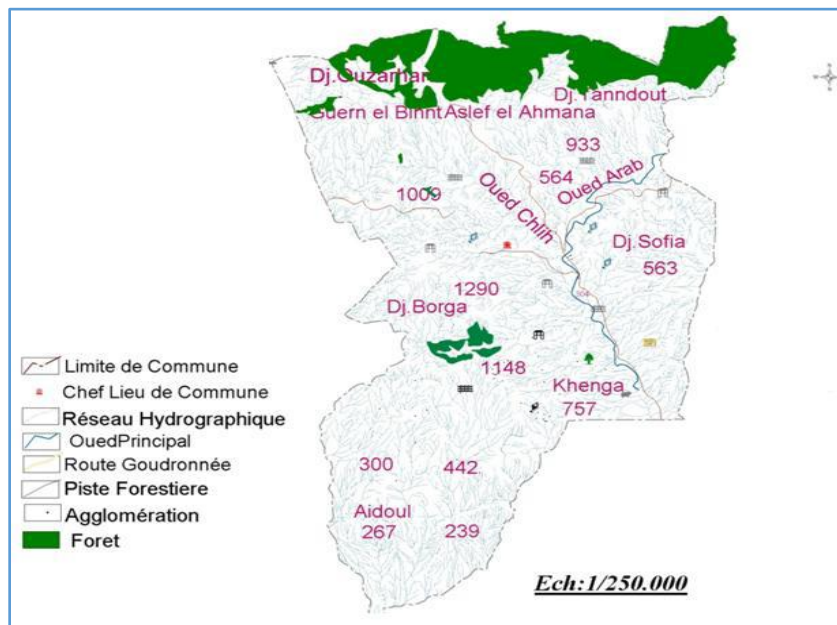
Ce Oued à écoulement permanent qui a justifié d'ailleurs la construction du barrage de babar, irrigue une série d'Oasis notamment après la sortie du massif. Nous pouvons citer entre autres Kheirane, Khenguet Sidi Nadji, Zéribet El-Oued. Plus au Sud à **150 Km** environ de ses sources .Comme tous les Oueds qui se dirigent vers le Sud, son débit diminue au fur et à mesure que nous nous dirigeons vers le Sud.

1.3.5.2. Oued Belrouh Chlih

Le second à écoulement intermittent prend naissance au Djebel Borga (Monts de Nememchats). Ces deux oueds se jettent au Sud, au Chott Melghir.

1.3.5 Pluviométrie

Environ 80% du territoire (partie Nord) reçoit entre 200 et 400 mm de pluies par an. La région du Sud sèche et reçoit moins de 200 mm par an.



Source : CF, 2011.

Figure 1. 2 Carte de réseau hydrographique de la commune d'El Ouldja

1.3.6 Activités économiques

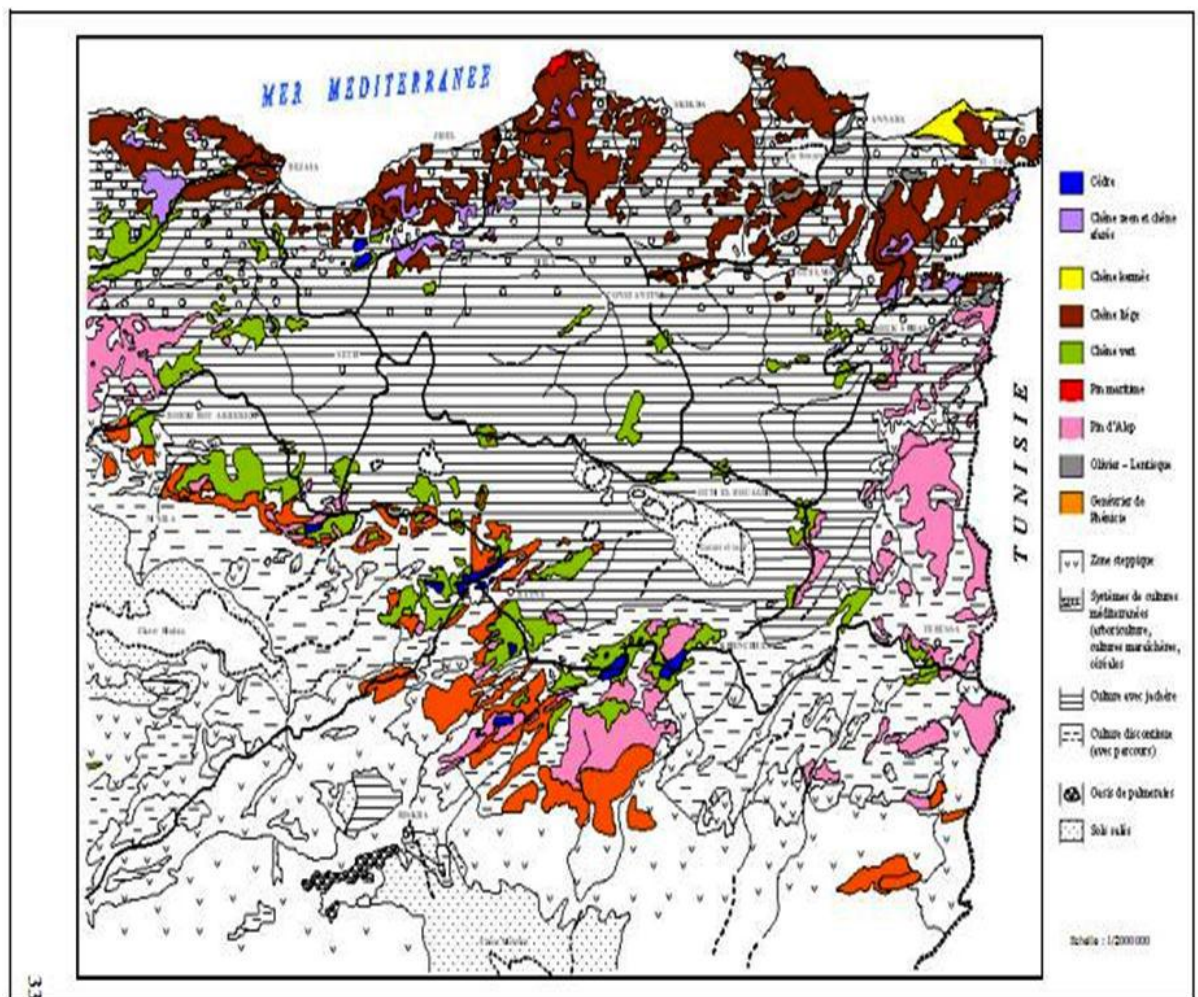
La vallée d'El Ouldja comme la plupart des régions Sahariennes, dont les activités économiques principales sont liées à l'agriculture et à l'élevage, bénéficie d'un climat semi-aride à faibles précipitations et par conséquent le développement du couvert végétal est limité. Les agglomérations n'ont été dotées d'aucune infrastructure industrielle, alors que l'agriculture et l'élevage se sont bien développés.

1.3.7 Le couvert végétal

Les zones d'étude se situent dans la wilaya de Khenchela, qui est caractérisée par une structure physique très hétérogène ; Cela a permis une intensité de la biodiversité.

Elle se caractérise par trois régions naturelles distinctes :

- Les hautes plaines du Nord, on rencontre essentiellement des types de végétation basse : Armoise ou Chih (*Artemesia Helba, Alba*), Guetaf (*Atriplex*), Salsola, jujubier (*zizyphus*).
- Les zones montagneuses, occupent les parties centrales et ouest de la wilaya, Parmi les espèces rencontrées, en plus de la strate arbre (pin d'Alep, Cèdre, Chêne vert, Pin noir, Cyrès, Frêne), on rencontre également l'alfa, l'armoise, jujubier, R'tem, *Accacia*, Genévrier de Phénicie.
- Dans la région Sud, formée par les parcours steppiques et sahariens, les principales espèces rencontrées sont : un groupement mixte formé du *Tamarix* et de Laurier rose. La strate inférieure est dominée par l'*Atriplex halimus* et *Salsola vermiculata* de la famille des Chénopodiacées, de l'*Euphorbia helioscopia* de la famille des Euphorbiacées, en général, Nous avons déterminé 22 espèces appartenant à 10 familles (**khabtane A,2014**).



Source : d'après carte internationale du tapis végétal au 1/1000 000 feuilles Tunis-Sfax et Alger, complétées par Mebarki ; 2005).

Figure 1. 3 Couverture végétale de l'Est algérien

1.3.8 Morphologie de la zone d'étude

Le site d'El Ouldja sur l'oued El Arab se présente par une morphologie assez prononcée, la vallée est large avec un fond plat et des pentes de raides, on y relève également des parois rocheuses à pentes subverti cales. L'oued, coulant du nord vers le sud, serpente entre des terrasses alluviales. Passant d'une rive à l'autre du talweg au gré de ses larges courbes. Les terrasses alluviales sont localement épaisses et de granulométrie souvent très grossière. L'oued forme un large « s » inversé avec, d'amont en aval, une grande courbe tomant à droite suivie d'une autre à gauche. Les deux courbes présentent de bonnes similitudes morphologiques puisqu'elles sont toutes les deux dominées par de hautes falaises sur le coté extérieur alors que l'intérieur abrite de larges terrasses alluviales. La vallée est assez large, à une cote de 410m, la largeur de la vallée est d'environ 860m.

Le lit actuel de l'oued est d'environ 100m de large, dominé par une vaste terrasse alluviale en rive droite qui s'étale sur 320m. La cuvette est très vaste, avec des pentes assez accusées parfois à parois en surplomb. Localement, on trouve des graviers grossiers à des altitudes d'environ 350 à 450 m interprétés comme étant les restes des anciennes terrasses (âge Pléistocène). Ces anciennes terrasses sont partiellement érodées ou couvertes pas des éboulis plus jeunes ; c'est pour ça qu'elles ne forment plus un élément de la morphologie actuelle **(ANB Stucky .BG ,2007)**.

1.4 Conclusion

La commune d'El Ouldja est située dans le sud-ouest de la wilaya de kenchela, elle est la porte sud de la wilaya qui donne sur le désert, c'est un point de passage d'une nature de nord vers une nature désertique. Elle a été à travers les âges, le portail des convois venant du sud au nord, ou dans le sens inverse imposée par les fluctuations climatiques saisonnières.

Elle se présente par une morphologie assez prononcée ; la vallée est large avec un fond plat et des pentes de raides, Elle confiné entre deux chaînes de montagnes, boisé et Herbier qui donne une couleur verte au nord et aride et stérile au sud, une rivière la traverse le long des jours de l'année pour irriguer des vergers et des oasis.

SOMMAIRE

2.1 INTRODUCTION.....	14
2.2 ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE.....	14
2.2.1 GEOMORPHOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE.....	14
2.2.1 GEOMORPHOLOGIE DES SOURCES THERMALES.....	14
2.3 CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL.....	15
2.4 CADRE GEOLOGIE LOCALE.....	16
2.5 ETUDE LITHO-STRATIGRAPHIQUE.....	17
2.6 LEVE GEOLOGIQUE.....	17
2.7 PRESENTATION DES COUPES GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE :.....	18
2.8 LA LITHOLOGIE.....	21
2.9 ANALYSE TECTONIQUE ET STRUCTURALE.....	23
2.9.1 LES PRINCIPALES PHASES TECTONIQUES :.....	23
2.10 CONCLUSION.....	25

2.1 Introduction

Toute étude hydrogéologique doit obligatoirement passer par une étude géologique elle permet de définir les formations et les structures susceptibles de constituer des réservoirs, et d'estimer leurs importances et capacités.

On abordera dans cette partie les aspects géologiques de la zone d'étude, qui nous permettra par la suite de comprendre la relation entre la minéralisation de l'eau et la nature géologique du substratum. Les travaux géologique réalisés sur le Sahara septentrional sont nombreux : **(Fabre, 1976)**, **(Bel et Cuche, 1969)** a ça se rajoute les études des service de l'hydraulique. Les études universitaires non jamais touché cette région.

2.2 Etude Géomorphologique

2.2.1 Géomorphologie de la zone d'étude

Un rappel du contexte géomorphologique est cependant nécessaire afin de mieux comprendre l'aspect hydrogéologique de la région.

Le site d'El Ouldja sur l'oued El Arabe se présente par une morphologie assez prononcée. Au droit de l'axe, la vallée est large avec un fond plat et des pentes de raides, on y relève également des parois rocheuses à pentes subverti cales. L'oued, coulant du nord vers le sud, serpente entre des terrasses alluviales. Passant d'une rive à l'autre du talweg au gré de ses larges courbes. Les terrasses alluviales sont localement épaisses et de granulométrie souvent très grossière. l'oued forme un large «s» inversé avec, d'amont en aval, une grande courbe tomant à droite suivie d'une autre à gauche. Les deux courbes présentent de bonnes similitudes morphologiques puisqu'elles sont toutes les deux dominées par de hautes falaises sur le coté extérieur alors que l'intérieur abrite de larges terrasses alluviales. Le lit actuel de l'oued est d'environ 100m de large, dominé par une vaste terrasse alluviale en rive droite qui s'étale sur 320m. La cuvette est très vaste, avec des pentes assez accusées parfois à parois en surplomb. Localement, on trouve des graviers grossiers à des altitudes d'environ 350 à 450 minterprétés comme étant les restes des anciennes terrasses (âge Pléistocène). Ces anciennes terrasses sont partiellement érodées ou couvertes pas des éboulis plus jeunes ; c'est pour ça qu'elles ne forment plus un élément de la morphologie actuelle. **(ANB Stucky .BG ,2007)**

2.2.1 Géomorphologie des sources thermales

Pour représenter les moindres détails concernant la forme du relief au niveau de la zone étudiés, nous avons réalisé des levés topographiques autour des sources, les données ont été par la suite traitées par un logiciel de cartographie automatique qui permet le traçage d'un fond en 3D sur lequel apparaissent les courbes de niveau avec une équidistance appropriée ainsi qu'une dégradation de

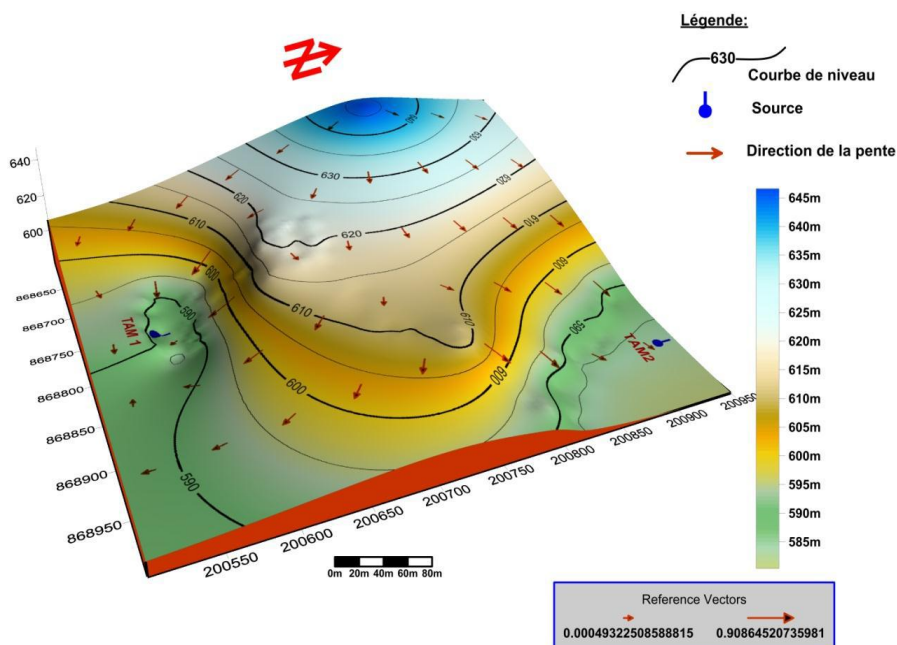
couleur (zoning) en fonction de l'altitude. L'importance de la pente est illustrée par des flèches de direction dont l'importance en magnitude indique celle de la pente.

Source Tamerssite :

Le levé topographique transformé en 3D montre un terrain escarpé qui passe rapidement de 620 m à 600 m, la dénivelée totale est de l'ordre de 50 m (entre plus de 640 à moins 590 m).

Les deux sources émergentes dans deux sous-bassins différents (Figure 2.1) dont les cours d'eau principaux se rejoignent plus à l'aval, ils sont séparés par une colline.

La source Ain Tamerssite 1 se trouve sur la rive droite d'un oued dont le fond est constitué par une dalle calcaire, il est creusé dans des formations marneuses. L'oued en question semble prendre naissance à quelques mètres à son amont alimenté par la source étudiée en plus des eaux de pluie, la forme de relief dessine un sous bassin versant à une petite échelle, les rives ainsi que la partie amont sont essentiellement marneuses. La source Ain Tamerssite 2 se trouve sur la rive droite d'un talweg alimentée par cette source, au pied d'une falaise constituée de bancs de calcaires, parfois intercalés avec des couches marneuses. Le griffon émerge au contact des calcaires avec des marnes (DTWK ,2016)



Source : (DTWK ,2016)

Figure 2. 1 : Levée topographique du site Tamerssite

2.3 Cadre géologique régional

La géologie est une partie très importante dans toute étude hydrologique et hydrochimique. Ainsi, la lithologie, la tectonique et la structure géologique jouent un rôle primordial sur la qualité des eaux suite à la dissolution des minéraux se trouvent dans la roche et sur la quantité d'eau qui ruissèle ou s'infiltre selon le type du terrain (perméable ou imperméable). R.Laffitte (1939) a remarqué que depuis le Trias, la région est formée par des dépôts épicontinentaux de faciès divers d'épaisseur variable. Dans cette période, la région présaharienne représentait une plate-forme qui se caractérisait par l'accumulation de différents sédiments.

Du point de vue tectonique, la région présaharienne se rapporte à l'Atlas tunisien séparé de l'Atlas saharien par le massif des Aurès avec un point culminant à 2328 m.

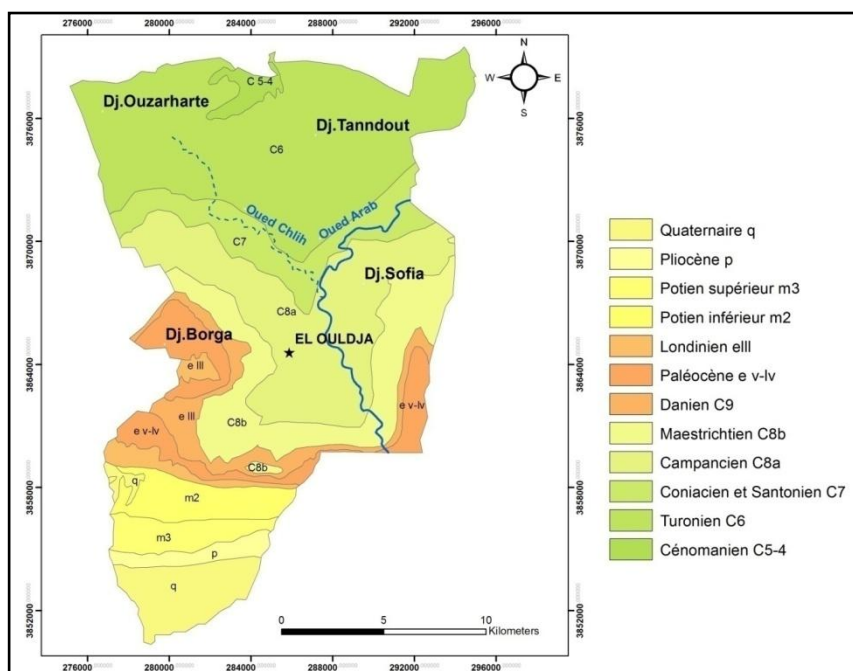
2.4 Cadre géologie locale

Les formations géologiques selon leur nature lithologique définissent les différentes unités hydrogéologiques.

La commun d'El Ouldja fait partie intégrante du flanc sud du anticlinal de tabouant les terrains d'assises qui affleurent aussi bien sur le site que dans la cuvette sont caractérisés par une structure monoclinale avec un léger pendage vers le sud-sud-ouest. Des failles avec un rejet considérable.

L'oued el Arab coule du nord vers le sud souvent sur ces propres alluvions et localement sur le substratum rocheux. Dans la cuvette, l'oued possède deux petits affluents en rive droite. La vallée d'el Ouldja comme sa cuvette est à prédominance marneuse armée de bancs de calcaires marneux et de calcaire d'épaisseur variant du centimètre au mètre, parfois jusqu'à 2 ou 3 m. l'épaisseur des bancs de marnes variant également du décimètre à une dizaine de mètres voire parfois plus . Le fond rocheux de la retenue est principalement constitué de marnes bleues-grises localement gypseuses altérant avec des calcaires plus ou moins marneux et calcaires durs du crétacé supérieur. Ces sédiments du crétacé supérieur (Coniacien et Santonine C⁷) de direction E-O ont un pendage sud variant de 10 à 20°.

Ces alternances de marne et de calcaire sont surmenées, au-delà de la cote 400, par une épaisse séquence de calcaire de alternance fine de plus d'une dizaine de mètres qui commence toujours à la base par une alternance fine de calcaires et de marnes (ANB Stucky .BG ,2007)(Figure 2.2).



Source :Guilal,S 2018 sur la base de la carte géologique de kenchela 2016

Figure 2. 2 : Carte géologique de la zone d'étude.

2.5 Etude litho-stratigraphique

Les formations effleurant comme un vaste monoclinale au niveau de la région (**Figure 2.2**) ou ayant été recoupées par les différents forages sont représentées de la base au sommet par la succession litho-stratigraphique suivante :

- **Crétacé supérieur** : Présente un faciès néritique à pélagique profond à peu profond caractérisé par des intercalations de marnes avec des bancs de calcaires marneux et de calcaire.
- Il est important de savoir que tout le fond rocheux de la retenue est formé par des marnes calcaires marneuses et calcaires du crétacé supérieur.
- **Trias** : Affleure en quelques îlots aux djebels Aide I et Toubous, et aux environs de khenchela, mais n'affleure ni au site ni dans la cuvette. Il est représenté par des roches détritiques carbonatées (dolomies, marnes) et des sédiments haploïdes (sel, gypse, etc...)
- **Campanien** : Ce sont des alternances de marnes gris-beige et de marnes beige, formant un substratum imperméable qui empêche toute infiltration
- **Maestrichtien** : Le Maestrichtien est assez différent ; il est subdivisé en :
 - Maestrichtien inférieur à dominante marneuse.
 - Maestrichtien supérieur constitué par des calcaires à Inocérame
- **Crétacé inférieur** : caractérisé par des grès fins quartzeux en masses importantes au sommet des djebels Aidel et par des grès, calcaires et marnes au sommet de Djbel Chelia.
- **Eocène inférieur** : Apparaît sous de faibles étendues aux djebels Berga, Tadlist et Ich Mérou .Il est formé de bancs de calcaires à sommet marneux dans lesquels s'observent des niveaux de rognons siliceux bruns ou noirs qui deviennent des marnes noires à la base.
- **Quaternaire** : Formé par des alluvions anciennes et récentes, des terrasses et des éboulis de pentes

2.6 Levé géologique

05 Sondages ont été réalisés pour étudier les zones d'études, ils portent les N° F01, F02, F03, F04 et F05.

Table 2.1 : Situations et profondeurs des sondages

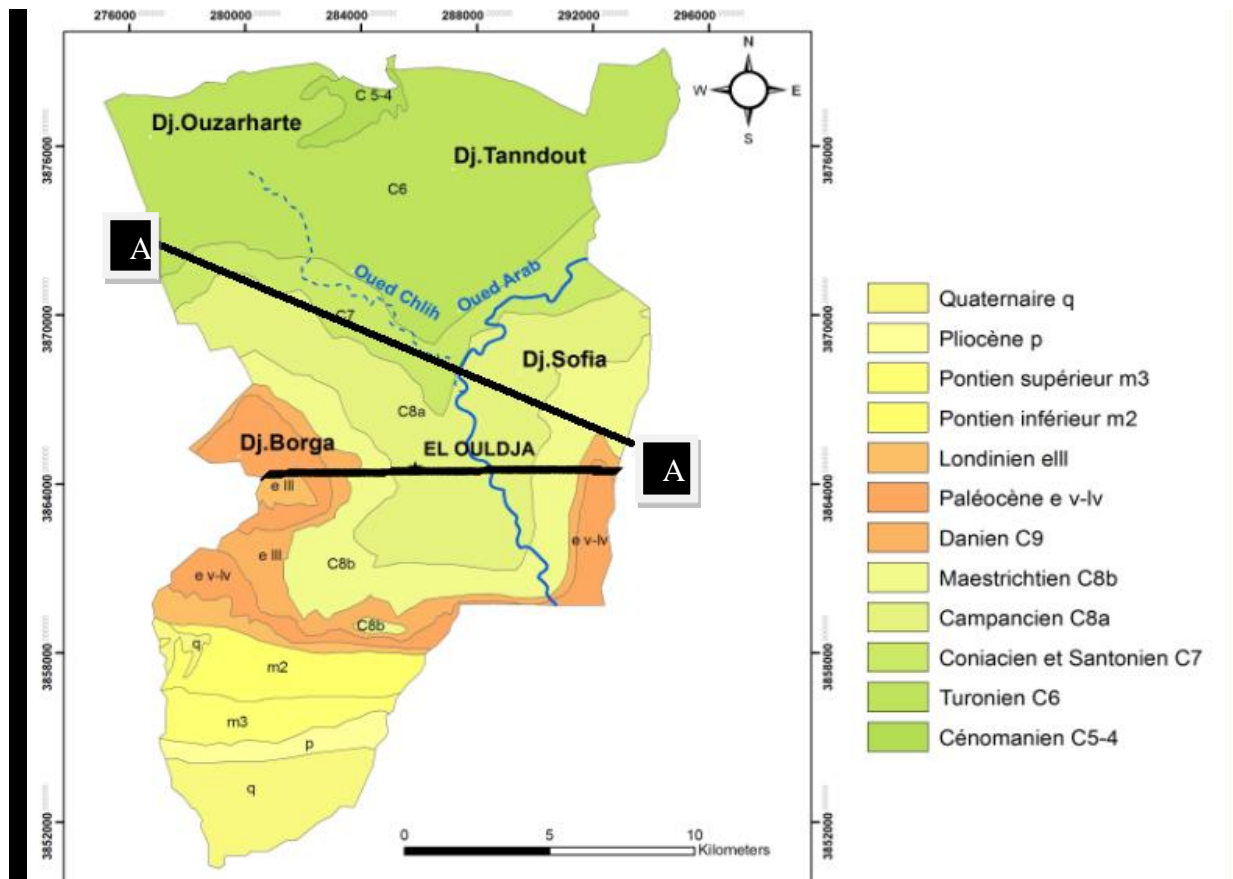
La situation ainsi que la profondeur de ces sondages sont données ci-dessous :

N°	Désignation	Inclinaison	Profondeur	Situation
1	F01	Vertical	Prof=70m	Haut rive droite
2	F02	Vertical	Prof=50m	Mi-pente, rive droite
3	F03	vertical	Prof=34m	Fond de vallée
4	F04	Incliné 30°N100°	Long=80m	Haut rive gauche
5	F05	vertical	Prof=50m	Fond de vallée, terrasse rive droite

Note : Inclinaison 30° par rapport à vertical

2.7 Présentation des coupes géologique de la zone d'étude :

Les géologues du groupement d'études STUCKY-BG ont interprété les résultats travaux de reconnaissance décrits ci-dessus et du levé géologique de terrain (**Figure 2.3**) pour établir une coupe géologique l'établissement de cette coupe et leur lecture amène les commentaires suivants :



Source : Guilal, S sur la base de la carte géologique de Khenchela 2016

Figure 2. 3 : Levé géologique de terrain

Coupe A-A : cette coupe de direction Nord Ouest-Sud Est placée le long des sondages de reconnaissance (F1, F2, F3, F4, F5) Cet axe est donné par les coordonnées UTM suivant :

Coupe B-B : cette coupe verticale est placée le long de l'axe retenu . Cet axe est donné par les coordonnées UTM suivant :

Table 2. 2 : Les coordonnées géométriques de l'axe A-A et BB

Point rive droite (X ;Y)	Points rives gauche (X ,Y)
AA (286727 ; 3867889)	AA (287817 ; 3867713)
BB (2868143 ; 38675997)	BB (2877633 ; 38675771)

La coupe AA' a été construite sur la base du levé géologique et sur les résultats de forage F01.

Les résultats des forages sur les deux rives ont été surprenants (**Figure 2.4**).

- **Rive droite :** le F01, situé à une altitude de 426 m, a montré 46m de terrains meubles bien que l'on trouve, à 100m au sud de ce forage, le rocher affleurant jusqu' à l'altitude 410m . Dans le F02, à la cote 394m, on a trouvé .sous 9m de colluvions et jusqu'à une profondeur de 18m , des alluvions grossières .ces alluvions n'affleurent pas au voisinage de ce forage .

90m au nord de la coupe , une niche latérale d'arrachement d'un glissement actif est bien visible.

La coupe AA' montre l'interprétation de ces faits ,les graviers grossiers, rencontrés dans le f02 forment le reste d'une ancienne haute terrasse grossière que ,dans le voisinage de l'axe ,est complétement couverte par des éboulis de pente .des terrasses pareilles existent en rive droite et dans le réservoir .près de l'axe, cette terrasse fait partiellement partie d'un glissement

- **Fond de la vallée**

Comme on s'y attendait, la terrasse grossière n'est pas profonde, elle est posée directement sur la roche :

En distingue des séries plus marneuses et des séries plus calcaires dans la coupe géologique

- **Rive gauche**

En rive gauche également, les forages ont traversé des terrasses meuble avec une épaisseur très surprenante.

La surface rocheuse apparente sur la falaise de la rive gauche jusqu'à la cote 394m redescend vers l'intérieur du massif environ 40m.

La seule interprétation possible est a touché ici une ancienne vallée cachée que l'oued actuel est épigénétique. Sur la coupe , cette ancienne vallée est montré avec une profondeur minimale(**Figure5**).

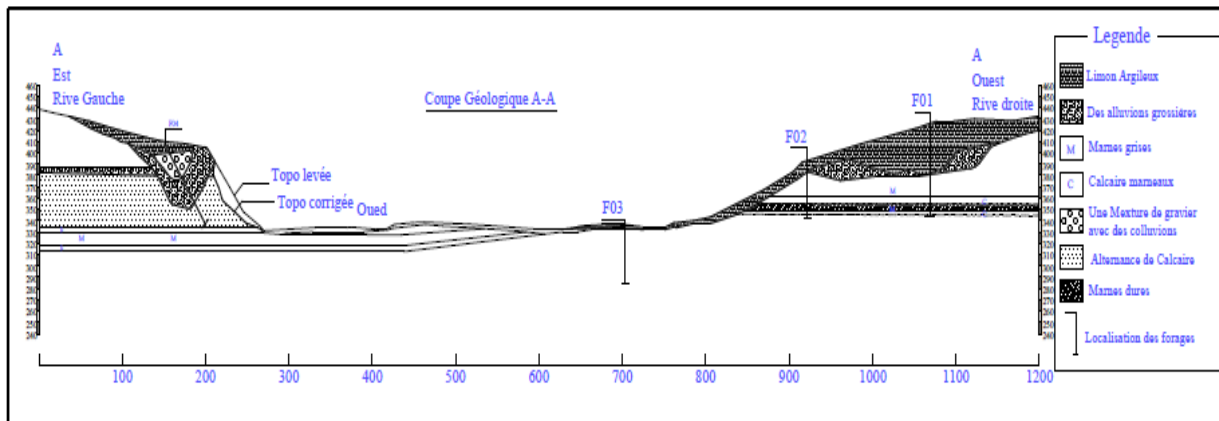
Le remplissage de cette ancienne vallée montre des graviers similaires a ceux rencontrés dans la haute terrasse grossière en rive droite .dans la partie supérieure de F04 ,on a trouvé un mélange de graviers et d'éboulis.il est possible que cela provienne d'un mélange primaire :pendant la sédimentation fluviale des graviers, il y avait dans cette vallée étroite des chutes de pierres provenant des deux rives.

La plupart des alluvions grossières sont couvertes par des éboulis de pente.

La morphologie locale montre des signes d'un glissement. Ce glissement n'est pas prouvé,est marqué sur la carte géologique est sur la coupe . Ces limites ne sont pas certaines

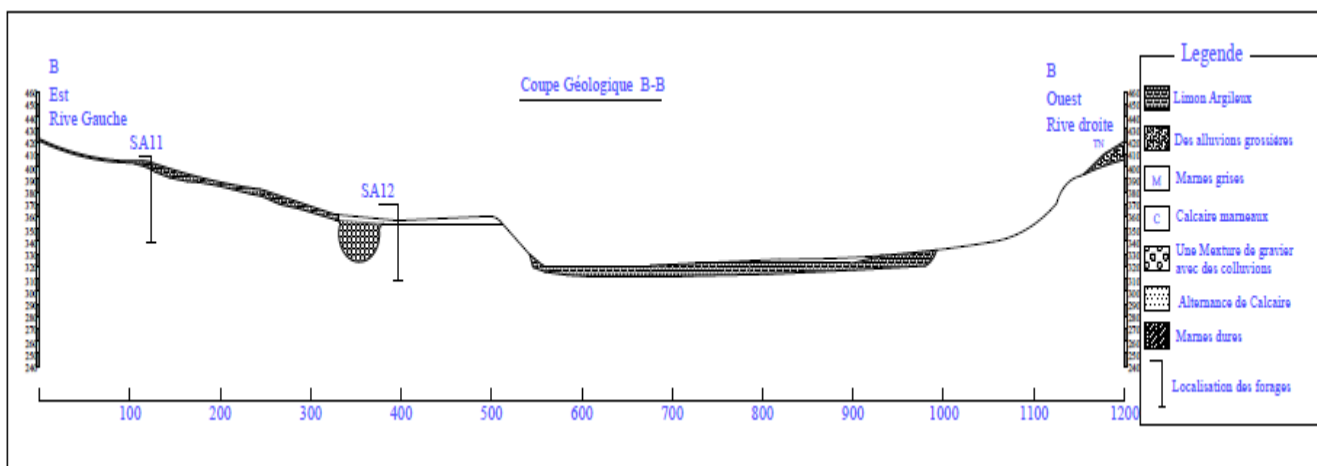
En résumé on constate que :

- Sur les rives, on a trouvé de très grandes masses de terrains meubles avec perméabilité remarquablement élevée
- En rive droite, une grande partie de ces terrains meubles est affectée par un glissement qui est, en tout cas, partiellement actif
- En rive gauche, la stabilité de la partie supérieure des terrains meubles n'est pas assurée.



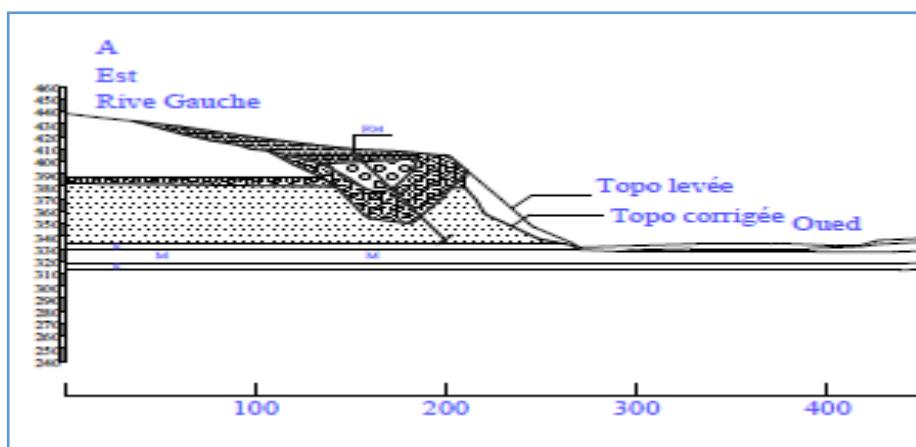
Source : ANB Stucky .BG ,2007, Reproduit par Guilal,S.2018

Figure 2. 4 : Coupe géologique A Ade la zone d'étude



Source : ANB Stucky .BG ,2007 , Reproduire par Guilal,S 2018

Figure 2. 5 : Coupe géologique BB de la zone d'étude



Source : ANB Stucky .BG ,2007 , Reproduire par Guilal,S 2018

Figure 2. 6 : Coupe schématique de la vallée cachée en rive gauche

2.8 La lithologie

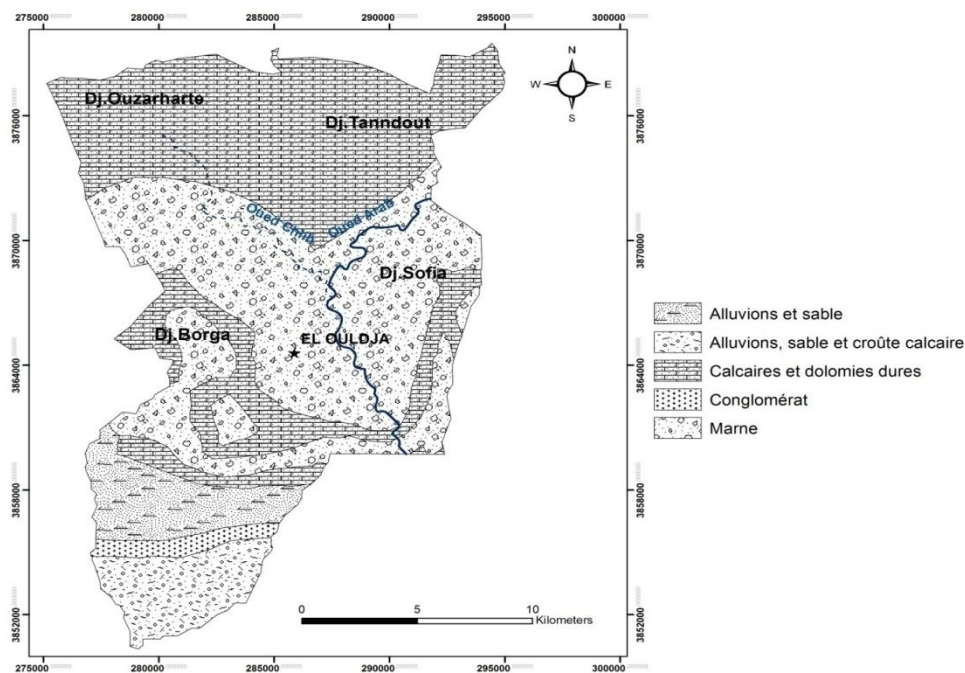
Du point de vue lithologique on peut classer les formations en quatre catégories (**Figure 2.7**) :

A. Les marnes qui prédominent avec une stratification moyenne à forte. Ces marnes évoluent du vert claire au vert foncé et grise avec des teneurs variables de calcaire. Les marnes faiblement déformées s’alternent avec des couches calcaires à épaisseur variable ce qui leur donne le caractère de flysch.

B. Les grès se présentent sous forme de petites taches qui affleurent surtout au Nord- Ouest de bassin et au Sud.

C. Les calcaires fissurés se manifestent au Sud-Est, et au Nord-Ouest sous forme de bande qui s’étend de l’extrémité Sud vers l’extrémité Est.

D. Les formations du Quaternaire occupent une surface très vaste, elles se développent entre les deux chaînes de montagne qui limitent le bassin. Elles sont constituées essentiellement de marnes, de graviers, d’argiles, de sables et de limons.



Source : Guila, s 2018

Figure 2. 7 : Carte lithologique de la zone d'étude

Les échantillons prélevés dans des sondages ont été soumis à des essais physico mécaniques. Les résultats de ses essais montrent que ces roches présentent des caractéristiques très dispersées à l'eau pour les faciès à prédominance marneuse, plus élevées et moins sensibles à l'eau pour les faciès à prédominance calcaire.

On note donc la présence de deux lithologies différentes :

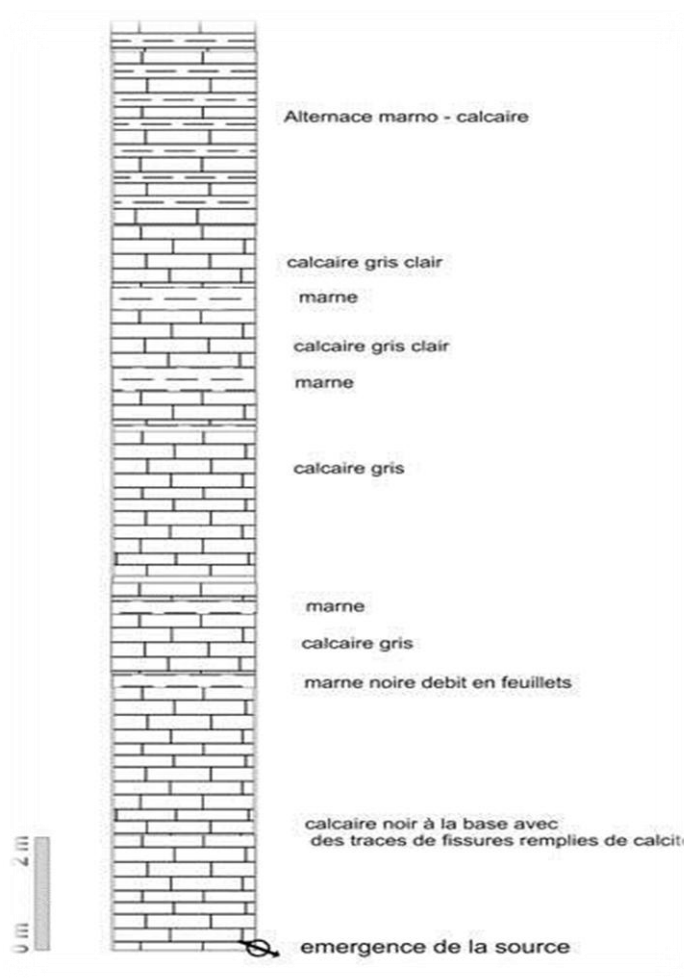
- **Faciès à prédominance marneuse** : sont des marnes dures, feuillets ou compactes.
- **Faciès à prédominance calcaire** : sont calcaires marneux, gris et compactes.

Table 2. 3 : Profondeurs et nature lithologique des sondages

Sondage n°	Profondeur(m)	Lithologie
F01	4.0 - 4.5	Colluvions
F02	2.0 - 2.5	Colluvions
F03	3.0 - 3.5	Colluvions
F04	12.0- 25.5	Colluvions/Alluvions
F05	4.0- 4.5	Alluvions

On note que :

- Pour les alluvions F05 du fond d’el oued le refus est tres vite .ceci est conforme a leur nature grossière.
- Pour les autres sondages F01, F02 ,F03 et F04 qui sont dans les colluvions des rives les valeurs mesures correspondent a des terrains moyennement compacts avec deux refus qui doivent correspondre a l’interception de blocs calcaire.
- La source tamersite se situe sous une dalle calcaire affleurant au niveau d’un oued, dont la rive droite s’élève à plus de 16 m façonnée par les eaux de ruissellement en période des crues dessinant une cascade sur cette hauteur donnant une succession lithologique d’âge cénomanién. La description générale est la suivante (Figure 2.7)
 - A la base (au niveau de l’oued) se trouve des bancs de calcaires de couleur noir avec des traces d’une activité tectonique laissant apparaitre des stries et des niches d’arrachement.
 - En allant vers le haut les calcaires deviennent plus clairs avec une présence des marnes noirâtres à débit en feuillets en alternance avec ces derniers.



Source : B.E.T.H 2016

Figure 2. 8 : colonne lithologique de la rive droite

2.9 Analyse tectonique et structurale

Les fractures sont nombreuses dans l'Atlas saharien avec des directions variables et groupées généralement en trois familles (R.Guiraud, 1973) :

1. N-S et NE-SE : représentés par des décrochements sénestres.
2. EO : décrochements sénestres et dextres.
3. NO-SE : décrochements sénestres et dextres.

2.9.1 Les principales phases tectoniques :

Les différentes phases tectoniques majeurs ayant affecté la région d'étude ; ont été établis chronologiquement et caractérisent l'ensemble des déformations qui se sont succédées au cours de la période qui va du crétacé au plio-quadernaire, de la phase la plus ancienne à la phase Récente (Figure 2.9).

2.9.1.1 La phase aptienne :

Cette phase, abondamment localisée, correspondrait vraisemblablement à la manifestation de rejeux verticaux d'importants accidents anciens du socle , durant l'aptien inférieur, en provoquant des montées diapiriques dont la plus ancienne produit un développement récifal allongé suivant unedirection générale N 20°-26° E

2.9.1.2 La phase Emsherienne

Cette compression N-S d'âge sénonien est à l'origine du plissement E-W et de la réactivation des anciennes failles normales N45°_60° E en décrochement et des failles inverses (**Villa 1973**) ce plissement E-W est associé à la mise en place de surface d'émergence qui se manifeste par des dépôts bréchiques (Djebels Knif et Krouma) dont la plus part des éléments ont été empruntés aux formations triasiques, ils témoignent ainsi de mouvements locaux de faible amplitudes qui seraient amorcés en avance sur l'orogénèse dès la fin du Lutétien, ceci nous amène à constater que par endroit, le diapirisme semble s'effectuer d'une manière presque continue par cascade ascensionnelles à la faveur de la zone structurale faible liée a des pressions tectoniques, ces dépôts récifaux se développent suivant la direction N20° E à N-S (Knif et Chettaia).

2.9.1.3 La phase post lutétienne antéburdigalienne

Cette phase orogénique est décrite par plusieurs auteurs (**Savornin (1920), Laffitte (1939)**), elle s'est déclenchée dès le Lutétien supérieur comme l'attestent les dépôts laguno-continentaux et conglomératiques rouges, mais son paroxysme se produit au cours de l'Oligocène et du Miocène basal (Aquitano -Burdigalien) en affectant l'ensemble de l'Algérie du nord, elle plisse et déforme profondément les Aurès selon une direction générale N45° E.

Cette phase engendre des plis droits à axe allongé et suivi de synclinaux à fond larges, par l'intermédiaire de failles directionnelles à déplacement vertical et enfin le rejeu et l'amplification des accidents anciens accompagnés de nouvelles montées triasiques à orientations N45° E (Djebel Krouma).

Au Miocène, l'ensemble de la région subit la transgression de la fin du Burdigalien (Langhien - Serravalien) juste après un mouvement positif relativement important , qui repousse la mer vers le nord et fait émerger des endroits considérables représentés par des dépôts gréseux discordants sur le Miocène et le Crétacé .

Les dépôts de marnes et d'argiles gypsifères du Turonien, témoignent d'un retour hésitant de la mer mais sans discordance apparente en ne dépassant par le nord des Aurès.

2.9.1.4 La phase alpine :

Elle est à l'origine d'un raccourcissement N-S d'environ 250Km (**Villa 1980**) d'âge post Tortonien. Elle est responsable de la transformation du pli droit monophasé en pli coiffé, du style Jurassien, très souvent biaxe influencé toujours par la direction N45°E mais en imprimant unedirection intermédiaire N60°-70°E. Cette période, est aussi matérialisée par l'existence de faisceaux de failles délimitant des compartiments d'orientation générale N80°-90°E relayés par ceux de direction N45°-50°E; créant ainsi le

style en (baïonnette) ; les failles conséquentes sont décrochantes, régulièrement dextre de direction N120°-140°E (J.M.Villa 1980).

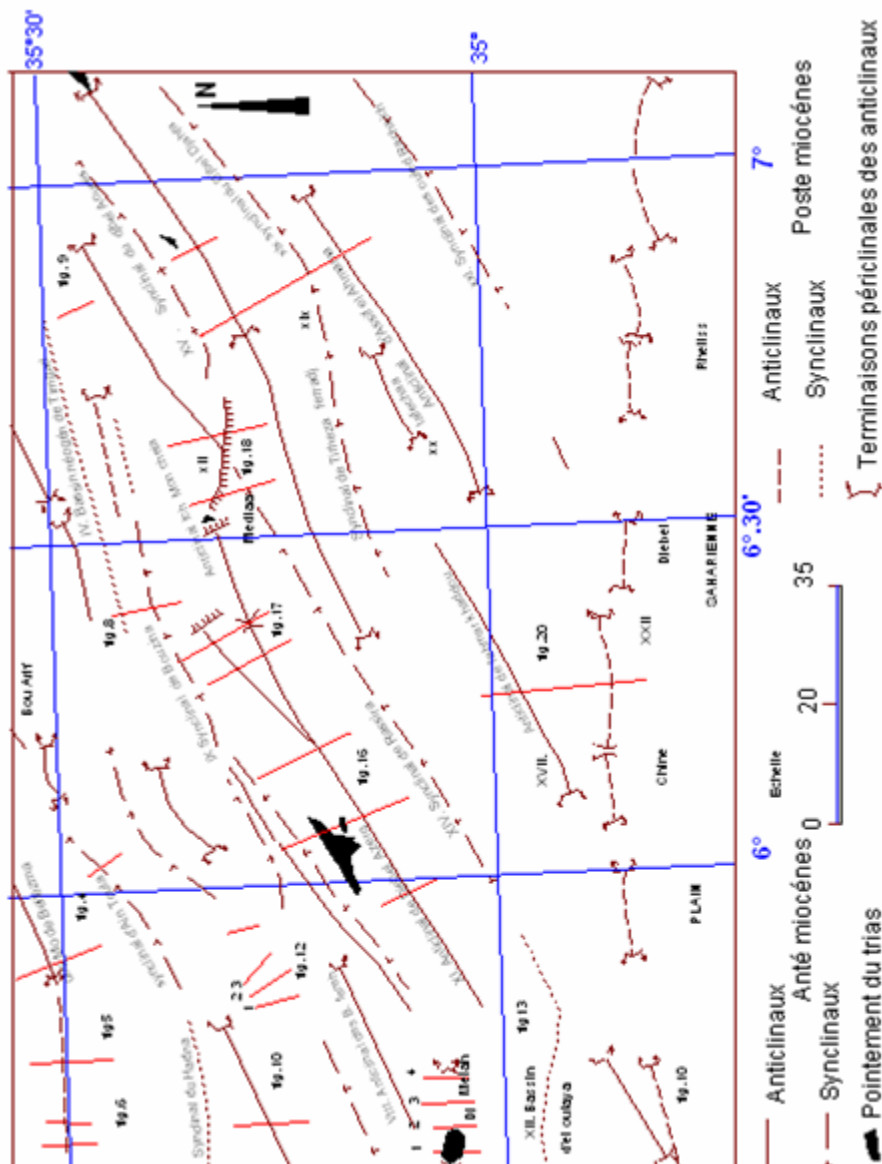


Figure 2. 9 : Schéma tectonique des Aures

2.10 Conclusion

La commun d’El Ouldja fait partie intégrante du flanc sud du anticlinal de tabouant les terrains d’assises qui affleurent aussi bien sur le site que dans la cuvette. sont caractérisés par une structure monoclinale avec un léger pendage vers le sud-sud-ouest. Des failles avec un rejet considérable. L’étude géologique de la région d’El Ouldja montre l’existence de plusieurs structures de crétacé supérieurs formée essentiellement par des calcaires et des marnes avec passage d’argile et de gypse.

L’étude montre la présence de deux lithologies différentes :

- Facies a prédominances marneuse : sont des marnes dures, feuilles ou compactes.
- Facies a prédominances calcaire : sont calcaires marneux, gris et compacts.
- A l'intérieur de la vallée, on a des formations alluvionnaires qui se composent de colluvions, de marne gris, de colluvions limono-argileuse et de limons, qui pourraient avoir une porosité primaire et former des nappes alluviales.
- La perméabilité est peu a moyenne, permettant de stocker de l'eau, et suscitant un intérêt hydrogéologique, pour une éventuelle exploitation de cette nappe superficielle.

SOMMAIRE

3.1 INTRODUCTION.....	28
3.2 HYDROLOGIE.....	28
3.2.1 COUVERTURE VEGETALE DU BASSIN VERSANT.....	29
3.2.2 FORME DU BASSIN VERSANT.....	30
3.2.3 LES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES.....	31
3.3 CADRE CLIMATIQUE.....	32
3.3.1 INTRODUCTION.....	32
3.3.2 LE CLIMAT DE L'AFRIQUE DU NORD.....	32
3.3.3 LE CLIMAT DE L'ALGERIE.....	33
3.3.4 LE CLIMAT DE LA REGION D'ETUDE :.....	33
3.3.5 PRECIPITATIONS.....	34
3.3.6 LE REGIME THERMIQUE.....	36
3.3.7 SYNTHESE CLIMATIQUE.....	37
3.4 CONCLUSION.....	44

3.1 Introduction

Dans les régions semi-arides et arides, les précipitations, étant caractérisées par de fortes irrégularités, ont généralement des dévastateurs et néfastes à travers les crues des cours d'eau. Ces oueds qui ne présentent pas d'écoulement pérennes sont, en fait, la principale origine de l'alimentation des aquifères.

Le régime pluviométrique des cours d'eau est en fonction du régime de la pluviométrie. Ces cours d'eau se caractérisent par un régime torrentiel et se manifestent dans de courtes durées. Les apports sont très variables d'une année à l'autre.

Une partie importante de l'eau de ces cours d'eau est évaporée et le reste alimente les aquifères souterraines. Ces écoulements qui sont diffus sur les flancs des reliefs deviennent concentrés au niveau des oueds. Les eaux précipitées sur les hauteurs septentrionales (Atlas saharien et Aurès), sont acheminées vers les zones basses (Garât Tarf et Chott Melghrir).

La vitesse d'écoulement des eaux et la vitesse de propagation des crues sont essentiellement, en relation avec la pente hydrographique.

3.2 Hydrologie

La commune d'El Ouldja est entièrement inscrite dans le bassin versant (06- 18) de l'oued Arab (**Figure 1**) couvre une superficie de 1900km², ce bassin versant est situé sur le versant sud-est du massif des Aures. l'oued Arab prend sa source dans les contreforts des Aures à proximité du Djebel Chelia (Alt 2326 NGA)

Le bassin versant de l'Oued l'Arab est cerné :

- A l'Ouest(du sud au nord) :
 - Dj ras fouras (Alt.1590 NGA)
 - Dj.toubount
 - Dj taouirt(Alt 1736)
 - Dj chelia (Alt 2326)
 - Dj fourhal
 - Dj aoures
 - Dj aidel
 - Dj bezez(Alt 2141NGA)
 - Dj faraoun
 - Au Nord par la plain de bahiret sibkha et de Khenchela
 - A L'Est par le mont du nemencha (Du nord au sud)
- a. Dj tadlist
- b. Bou zendag (Alt 1390 NGA)

- c. K koudine (Alt1502 NGA)
 - d. Dj merkered
 - e. Dj rhafes
 - f. Dj mhadjib
 - g. Dj lfenere
 - h. Dj frankou(Alt1749NGA)
- Au sud l'oued Arab sort des massifs des Aures à khangat sidi nadjj et s'écoule vers son exutoire le basin endoréique du chott Melghir (l'écoulement donc est de type endoréique vers le chott Melghir).

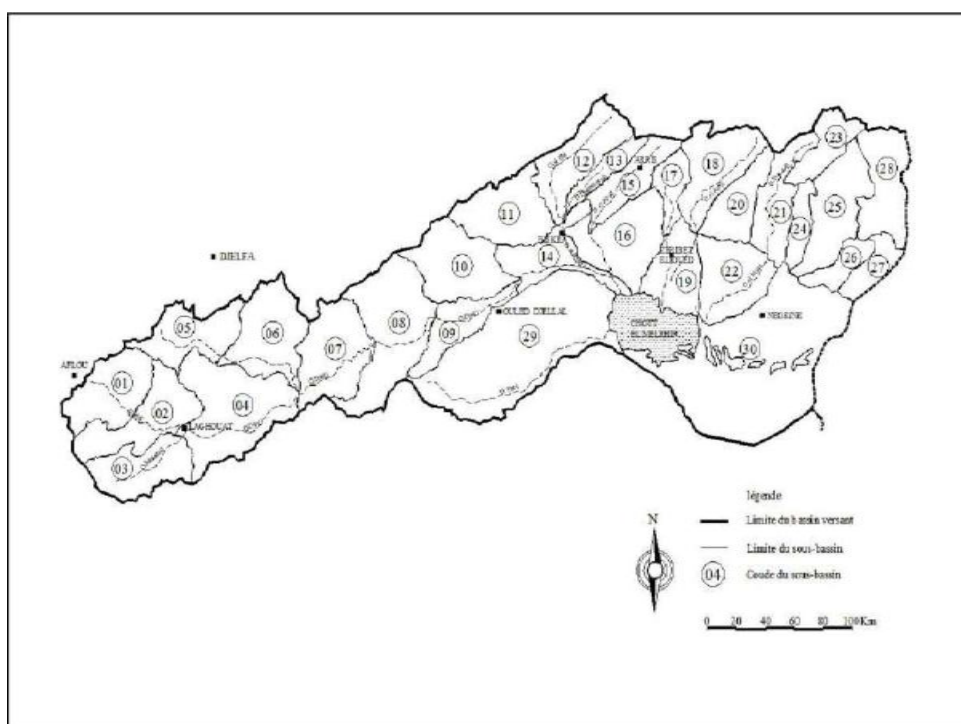


Figure 3. 1 Bassin versant de chott Melghir

3.2.1 Couverture végétale du bassin versant

La couverture végétale du bassin est principalement constituée d'une :

- Végétation sommitale arbustive dégradée au dessus de l'altitude de 1200 NGA
- Végétation sub-steppeique aux altitudes comprises entre 1000NGA et 300 NGA
- Végétation arboricole, essentiellement d'origine anthropique située en fond de vallée des Oueds

3.2.2 Forme du bassin versant

Le bassin versant de l'oued Arab a une forme allongée orientée Nord-est Sud –Ouest. L'Oued Arab est composé d'un affluent principal descendant de la plaine de Khenchela et dénommé successivement :

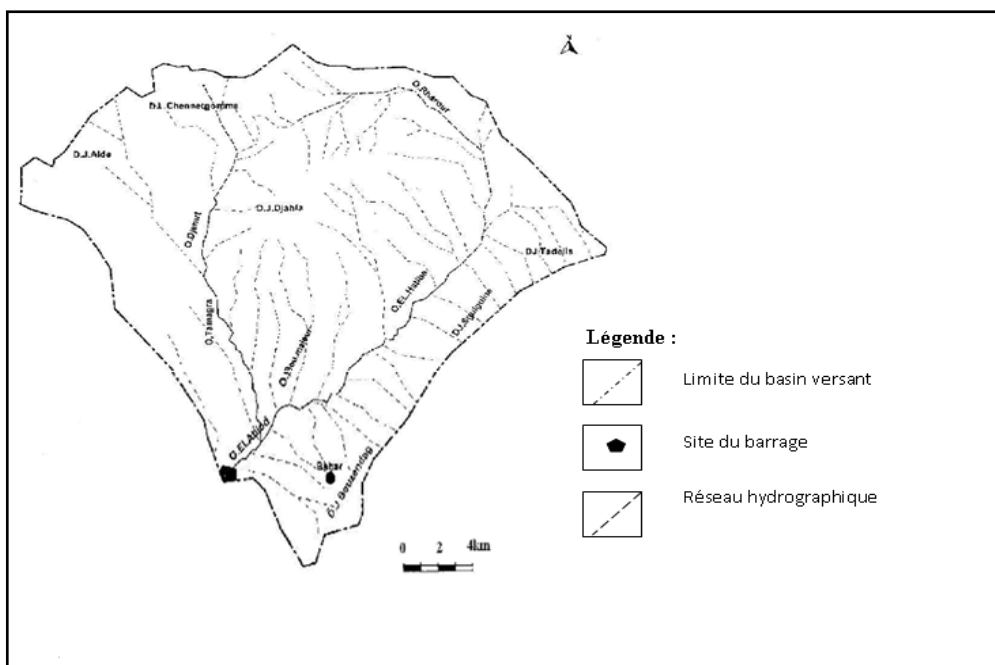
- Oued rharour
- Oued el hatiba
- Oued Arab

Sur cet affluent se trouve le barrage de babar, située à proximité de la ville de même nom. En rive droite un affluent important descend du djebel chelia, il se nomme successivement :

- d. Oued zenag
- e. Oued azreg
- f. Oued mellagou

Les bassins versants voisins sont :

- Au Nord, le bassin versant de l'oued meskiana et les bassins endoréiques de Garaet et tarf
- Au sud le bassin endoréique de chott mehrir
- A l'Ouest, l'oued abiod,
- A l'Est, plusieurs oueds des monts du nemench



Source : Carte topographique de Khenchela 1/ 20000
Figure 3. 2 : Les réseaux hydrographiques de bassin versant de Oued El Arab

3.2.3 Les principales caractéristiques géomorphologiques

Les principales caractéristiques physiques du bassin versant de l'oued Arab jusqu'à el Ouldja sont les suivantes :

Tableau 3.1 Les caractéristiques du bassin versant

Caractéristiques du bassin versant	valeurs
Surface bassin versant de l'oued Arab	1900km ²
Surface bassin versant de la retenue de babar	567km ²
Surface bassin versant de la retenue d'el Ouldja	1333km ²
Périmètre du bassin versant (sans le bassin versant du barrage de babar)	161.9km
Altitude min	326.9 NGA
Altitude max	2326NGA
Altitude médiane	1120NGA
Altitude moyenne	1128NGA
Indice de compacité (sans le bassin versant de babar)	1.24

La courbe suivante représente les caractéristiques hypsométriques du bassin versant de l'Oued Arab :

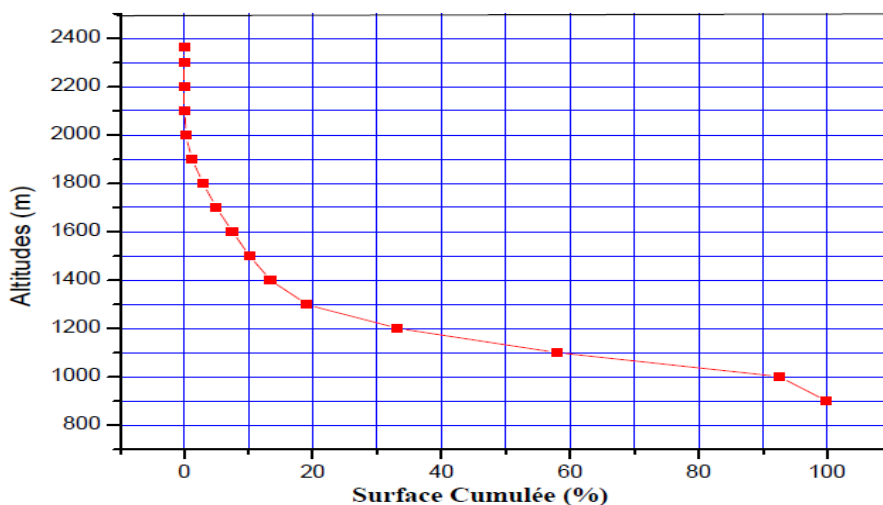


Figure 3.3 Courbe hypsométriques du bassin versant de l'oued el Arab

Tableau 3.2 Les caractéristiques de Oued el Arab

Les principales caractéristiques de l'oued Arab sont reprises dans le tableau ci –après :

Caractéristiques de l'oued	valeurs
Longueur talweg	113 km
Pente globale	1.36 %

3.3 Cadre climatique

3.3.1 Introduction

La Climatologie constitue un facteur important pour la connaissance du devenir des précipitations. Elle repose sur l'interprétation des données des paramètres climatiques mesurés durant une période bien définie, permettant ainsi d'estimer les différentes composantes du bilan hydrique. Ce dernier est nécessaire pour comprendre le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, impliquant la connaissance des paramètres suivants: (les précipitations, la température, l'évapotranspiration, l'infiltration et le ruissellement), qui conditionnent ce bilan (**Reminiéras, 1986**).

3.3.2 Le climat de l'Afrique du Nord

De par sa position en Afrique du Nord, l'Algérie correspond à la zone de contact entre les masses d'air d'origine ou d'affinités polaires et arctiques d'une part et les masses tropicales d'autre part. L'avancée des masses d'air froides vers le Sud peut être enregistrée à tout moment de l'année. Mais l'observation a montré qu'elles influent avec efficacité sur l'évolution du temps qu'entre le début de l'automne et la fin du printemps.

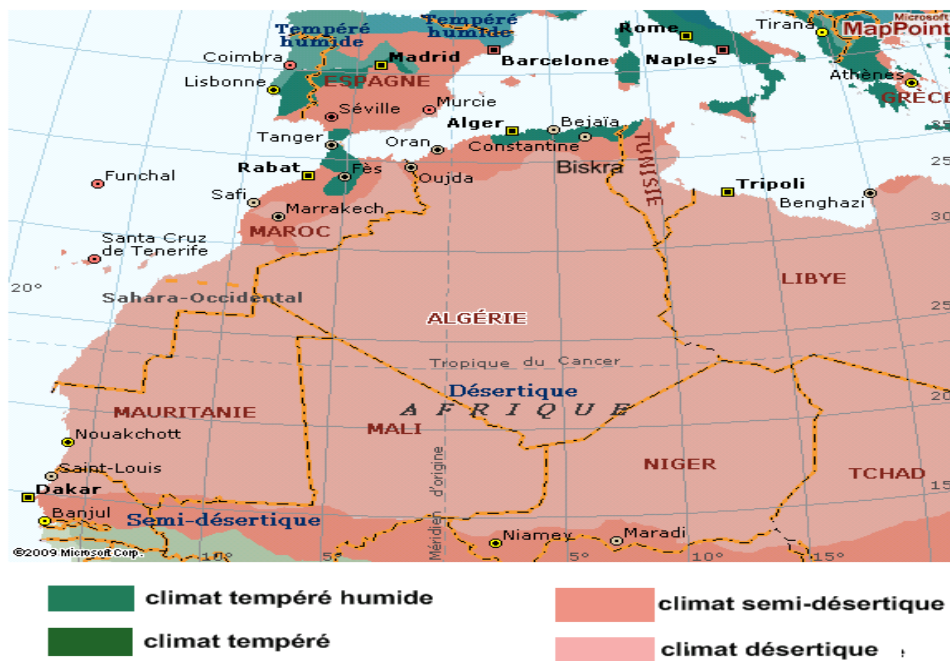
Les masses d'air tropicales, proviennent soit de l'Atlantique soit du continent Africain par des courants dirigés vers le Nord, le Nord-Ouest ou le Nord-Est.

Les différentes situations météorologiques perturbées qui sont susceptibles d'affecter l'Afrique du Nord correspondent à une circulation des masses d'air orientées d'une manière zonale (approximativement d'Ouest en Est) suivant le flux de Westerlies.

Le climat de la Méditerranée eurafricaine est étroitement bloqué entre un domaine tempéré plus frais au Nord et le désert au Sud. Excepté en bordure même de la mer où l'on n'observe pas un véritable climat maritime, mais plutôt un climat contrasté traduisant plus d'influences continentales qu'océaniques et reflétant avant tout leur double appartenance aux franges de la zone tempérée et de la zone tropicale.

3.3.3 Le climat de l'Algérie

Le climat de l'Algérie est de type méditerranéen caractérisé par une période pluvieuse allant en moyenne de Septembre à Mai et un été sec et ensoleillé. Cette particularité du climat n'est pas générale mais touche plutôt le Nord du pays. La wilaya de Biskra étant située au Sud, son climat présente d'autres caractéristiques que nous allons développer. La région de Biskra se trouve, dans une zone de transition entre deux milieux différents, un climat plus ou moins tempère au nord et le climat tropical (désertique) au sud. Ce climat de transition, se caractérise par un hiver frais et un été très chaud et sec. Les masses d'air doux et humides venant du nord se déversant sur la côte et les chaînes telliennes, arrivent moins chargées en eau sur l'atlas saharien. Cette tendance constitue la première explication de la diminution de la pluie vers le sud, prolongeant ainsi la saison sèche.



Source : Encarta,2008

Figure 3. 4 Carte climatique de l'Algérie .

Sur la figure 3.4, nous voyons clairement les différents climats qui caractérisent le nord de L'Algérie. Des climats influencés par la situation géographique par rapport à la mer, aux hauts plateaux, à l'atlas saharien et au Sahara. Les précipitations varient de 80 à 1800 mm/an.

3.3.4 Le climat de la région d'étude :

Il convient de signaler au préalable l'inexistence de station climatique dans le sud de la ville de Khenchela. Du fait que la commune s'étend sur une grande surface, du Nord de la wilaya, Jusqu'au sud (limite avec la wilaya de Biskra).

Il a été fait référence à la station météorologique professionnelle du réseau O.N.M, station de Biskra suivant une période de mesures de **14 ans** entre **2003** à **2017**, cette station est analogue :la plus complète et proche à notre aire d'étude et caractérisée par les mêmes conditions géographique que celles de la région étudiée

Tableau 3.3 Les coordonnées Lambert de station de mesure

Station	Coordonnées (Km)			Période d'observation	Paramètres mesurés
	X	Y	Z		
Biskra	777	178	120	2003-2017	Pet T

3.3.5 Précipitations

La pluviosité est définie comme étant le facteur primordial qui permet de déterminer le type du climat. Elle conditionne le maintien et la répartition du tapis végétal, et la dégradation du milieu naturel par le phénomène d'érosions d'une part, elle a un rôle social et économique d'autre part.

Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat. La chute des pluies dans la région et, en général, est déterminée par la situation géographique, par la topographie et notamment la direction des axes montagneux par rapport à la mer et l'altitude. Cela conduit à une irrégularité des précipitations à travers toute la région : augmentation des pluies en altitudes, diminution de leur taux du Nord vers le Sud (Halimi, 1981).

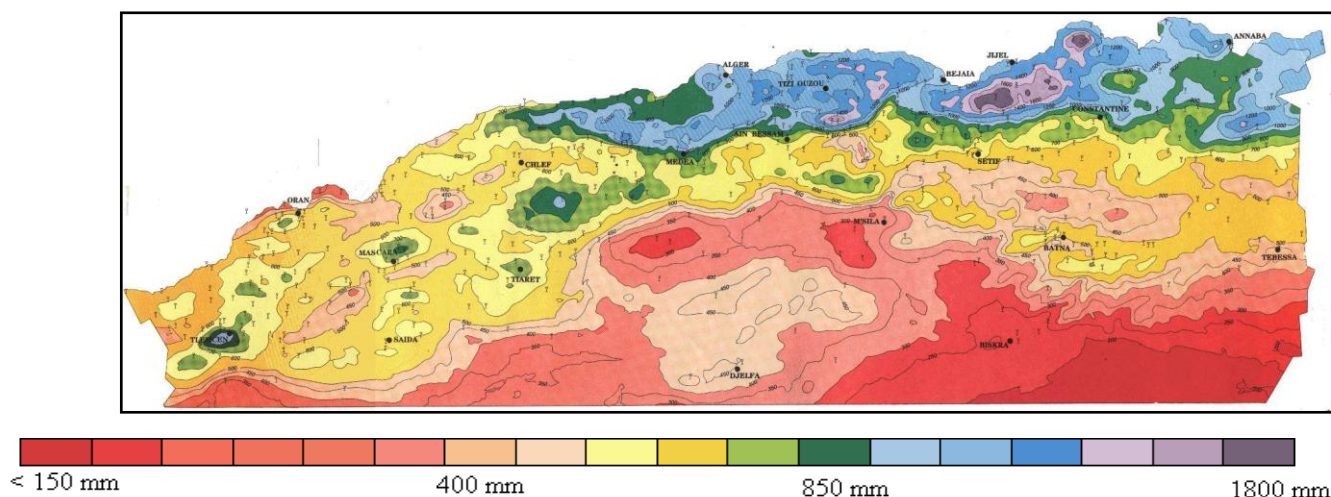
Le régime pluviométrique joue un rôle prépondérant dans l'hydrochimie par le lessivage des terrains. Plus la pluviométrie est forte, plus la dilution des sels restants passant en solution est grande. Les régimes des précipitations mensuelles sont à l'origine de l'écoulement saisonnier, des régimes de cours d'eau, de l'adaptation de la végétation et de l'agriculture.

Les précipitations annuelles n'ont qu'une valeur indicatrice, le plus important c'est leur répartition mensuelle et saisonnière.

3.3.5.1 Carte des moyennes pluviales

La carte des précipitations (Figure 3.5), montre une variation de la répartition des précipitations, allant de 100 à 500 mm, cette répartition se fait selon les régions, ainsi nous distinguons plusieurs zones :

- Une zone au Sud- Est de Biskra (Bordj Chegga), les précipitations sont inférieures à 100mm.
- Une zone de grande extension, englobant entre autre la ville de Biskra, caractérisée par des précipitations comprise entre 100mm-200 mm. Ces précipitations sont également enregistrées à Branis, Sidi Okba, Ain Naga, Tolga, Doucen, Ouled Djellal et Sidi Khaled).
- Au nord de Biskra, se localisent les contrées, dont les précipitations, varient entre 200mm-300 mm, c'est particulièrement le cas d'El Outaya et d'El Kantara.
- Les précipitations allant de 300mm à 500mm, caractérisent les zones des montagnes tel que Dj Houidja, Dj Fouchi, Dj Metlili et Dj El Azreg.



Source : (établie d'après A.N.R.H., 1993 in Mebarki ; 2005).
Figure 3. 5 Carte pluviométrique pour l'Algérie du nord

Les pluviométries mensuelles (Figure 3.6) montrent la répartition des hauteurs moyennes sur la période (2003-2017), on a calculé la moyenne annuelle des précipitations, elle est de l'ordre de 121,13 mm/an. On a remarqué que les mois le plus pluvieux sont Octobre 19,93 mm et mars 18,87 mm et ceux les plus secs sont juillet et août avec des précipitations inférieure à 5 mm.

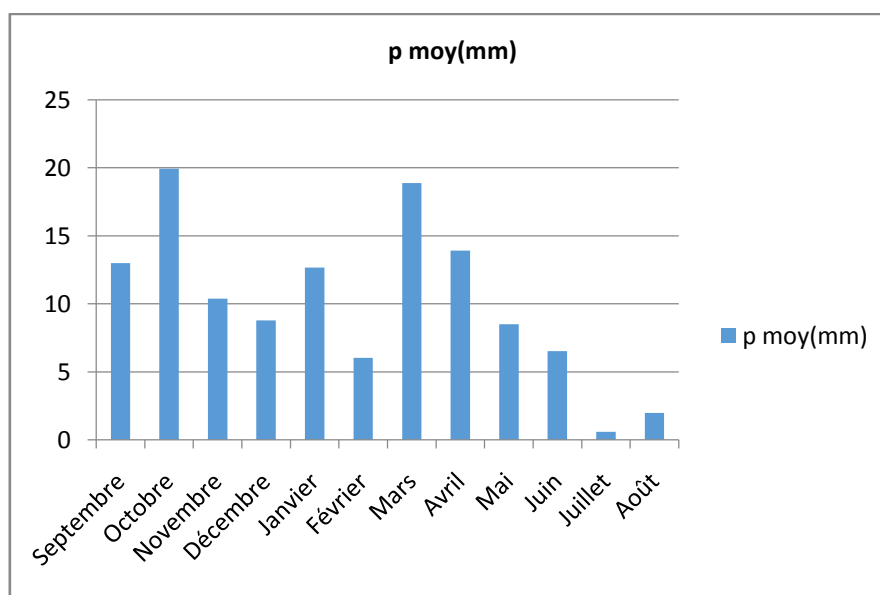


Figure 3. 6 variations des précipitations moyennes mensuelles (station Biskra 2003-2017)

On remarque une grande irrégularité des précipitations ; faible pendant l'hiver et presque nulle en été. Leur provenance en hiver est due aux dépressions accompagnants la migration vers le sud des fronts polaires, en été elles sont dues aux dépressions de mousson, alors que pendant la période intermédiaire, ces précipitations sont dues aux dépressions Soudano-sahariennes du sud vers le nord. (Dubief, 1963. Zeddouri, 2010)

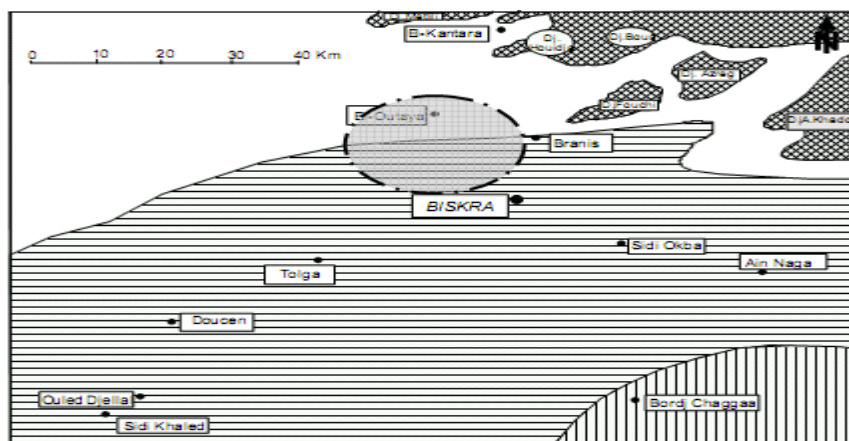
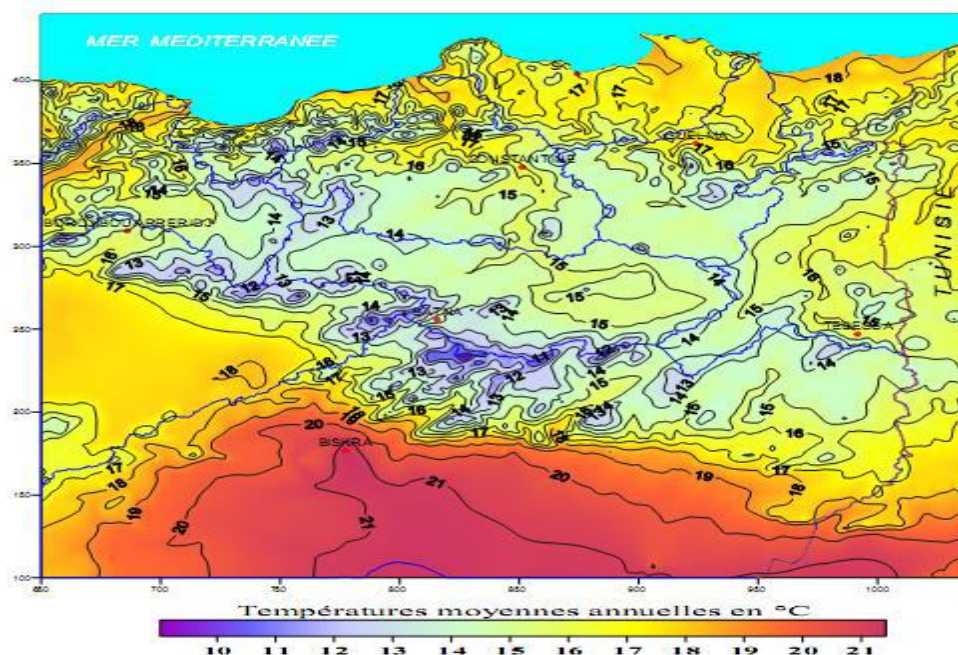


Figure 3. 7 Carte pluviométrique de la région de Biskra (extrait de la carte d'Algérie 1/500000, 1971).

3.3.6 Le régime thermique

La température représente un facteur limitant de toute première importance car, elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (Ramade, 2002).

Pour la caractérisation de ce paramètre il faut connaître plusieurs variables: la moyenne des maxima (M), la moyenne des minima (m) la moyenne mensuelle $(M + m)/2$ et l'amplitude thermique ($M - m$).



Source : (établie d'après A.N.R.H., 1993 in Mebarki ; 2005).
 Figure 3. 8 Températures moyennes annuelles de l'Est algérien

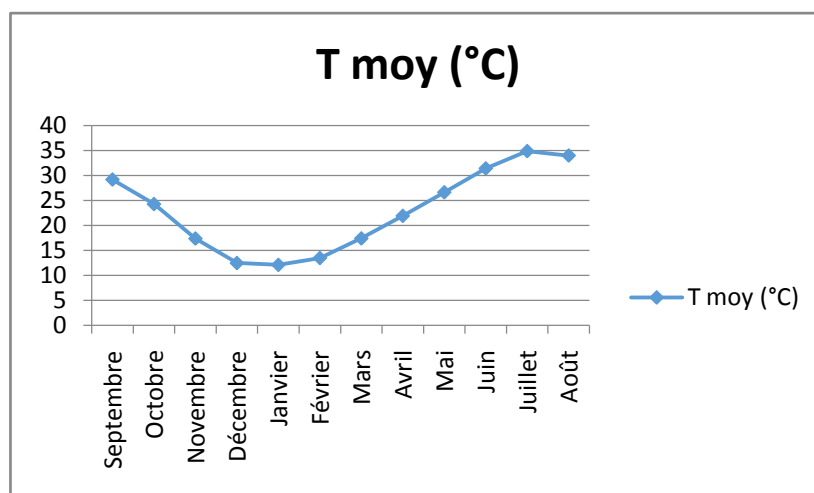


Figure 3. 9 variations des températures moyennes mensuelles (station biskra 2003-2013)

La courbe des variations des températures moyennes mensuelles (**Figure. 21**) montre que le mois de Janvier est le mois le plus froid avec **12.09 °C** et le mois de Juillet est le plus chaud avec **34.87 °C**, la moyenne annuelle de température est de **22,91 °C**.

La grande amplitude thermique entre le mois le plus chaud et celui plus froid (**23.48°C**), cela montre que la région d'El Ouldja a un hiver doux et un été très chaud.

3.3.7 Synthèse climatique

3.3.7.1 Diagramme ombrothermique

Un mois sec se définit, selon (**Bagnouls et Gaussen, 1953, 1957**) comme celui ayant un total pluviométrique (moyenne en millimètres) égal ou inférieur au double de la température ($P \leq 2T^\circ$). Ainsi, on constate que la saison sèche est formée par plusieurs mois secs consécutifs. Le diagramme de Gaussen (**Figure 3.10**) permet de mettre en évidence une saison sèche qui s'étale sur toute l'année du mois de janvier jusqu'au mois décembre.

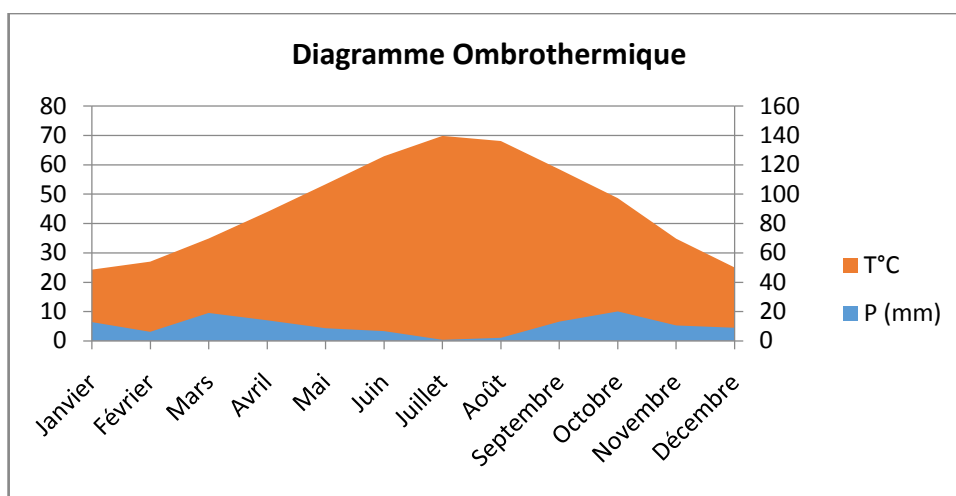


Figure 3. 10 Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

Le Diagramme Ombrothermique de **BAGNOULS** et **GAUSSEN** met en évidence la notion des saisons humides et sèches. Ainsi, on constate que la saison sèche domine pendant toute l'année dans la zone sud de Khenchela.

3.3.7.2 la méthode d'Euverte

Cette méthode est basée sur le rapport des précipitations sur les températures mensuelles et qui permet de définir quatre types de régimes.

- 2 Un régime très sec avec : $P/T < 1$
- 3 Un régime sec avec : $1 < P/T < 2$
- 4 Un régime subhumide avec : $2 < P/T < 3$
- 5 Un régime humide avec : $P/T > 3$.

Tableau 3.4 Méthode d'Euverte période 2003 – 2017 station de Biskra

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août
p moy(mm)	12,99	19,94	10,38	8,79	12,66	6,04	18,88	13,91	8,49	6,52	0,60	1,97
T moy (°C)	29,18	24,27	17,36	12,46	12,10	13,46	17,39	21,91	26,63	31,41	34,87	33,99
P/T	0,45	0,82	0,60	0,71	1,05	0,45	1,09	0,63	0,32	0,21	0,02	0,06

Le rapport P/T de la méthode d'Euverte appliquée dans le tableau (**Tableau 3.4**) montre que le régime de la zone sud de Khenchela est très sec $P/T < 1$ entre Avril et Décembre et sec entre Janvier et Mars.

3.3.7.3 Indice d'aridité de De Martonne 1926

Il est calculé à partir des moyennes des précipitations et des températures. Déterminer par l'équation suivante :

- Indice d'aridité annuelle : $A = P/T + 10$
- Indice d'aridité mensuelle : $a = 12 * p/t + 10$

Ou : P : total des précipitations annuelles (mm), p : total des précipitations mensuelles (mm), T : température moyennes annuelles (C°), t : températures moyennes mensuelles (C°)

Pour :

- $20 < a < 30$: climat tempéré.
- $10 < a < 20$: climat semi-aride.
- $7.5 < a < 10$: climat steppique.
- $05 < a < 7.5$: climat désertique.

- $a < 5$: climat hyperaride.

Tableau 3.5 Les indices d'aridité de De Martonne de la station Biskra (2003-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne
P moy (mm)	12,99	19,94	10,38	8,79	12,66	6,04	18,88	13,91	8,49	6,52	0,60	1,97	121.14
T moy (°C)	29,18	24,27	17,36	12,46	12,10	13,46	17,39	21,91	26,63	31,41	34,87	33,99	22.92
Indice d'aridité	3,98	6,98	4,55	4,69	6,88	3,09	8,27	5,23	2,78	1,89	0,16	0,54	4.09

Les valeurs sont d'autant plus faibles que le climat est aride (Tab. 6). Un indice supérieur à 20 indique un climat humide, la tendance à la sécheresse s'affirme entre 10 et 20 et en dessous de 10 c'est l'aridité (Fekrache, 2015). L'indice d'aridité mensuelle de Martonne de notre région varié entre 0,16 et 8,27 indiquant que l'aridité est très fort et s'étale sur toute l'année. L'indice d'aridité annuelle (A) est de 4,09 ce qui correspond à un climat hyper aride.

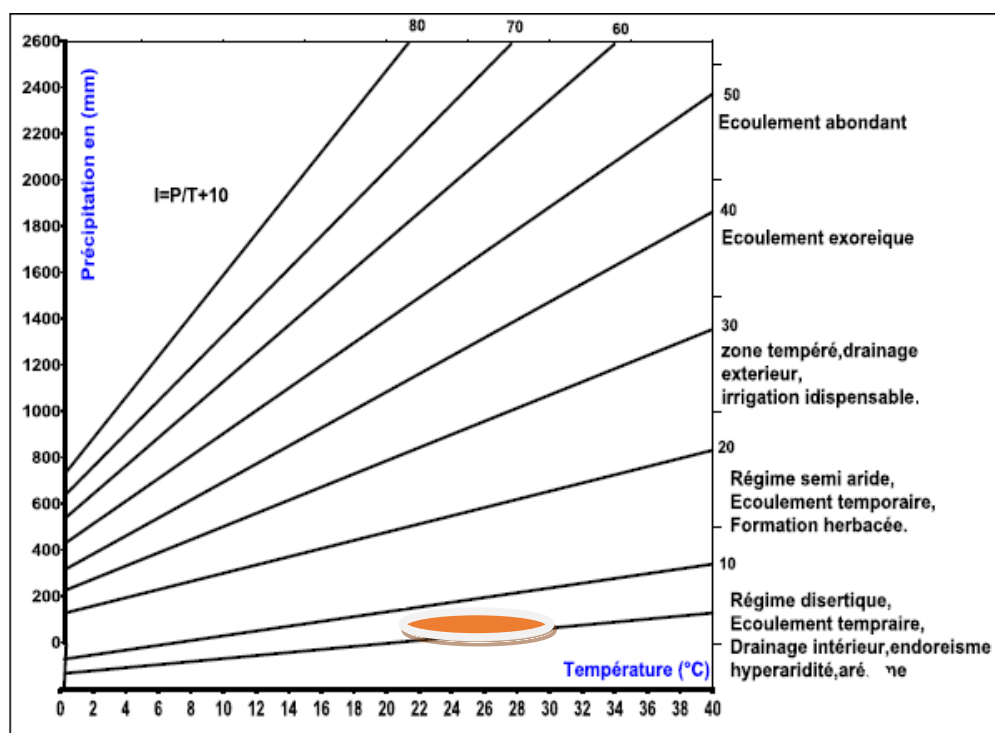


Figure 3.11 Abaque de l'indice de l'aridité de De Martonne

3.3.7.4 Climagramme d'Emberger

Afin de déterminer l'étage bioclimatique de la région d' El ouldja, nous avons calculé le quotient pluviométrique d'Emberger (**Q**) avec des données climatiques calculées durant la période 2003 – 2017.

Le quotient pluvio-thermique d'Emberger est déterminé selon la formule suivante (**Stewart, 1968**):

$$Q = 3.43 * \frac{P}{M - m}$$

Q : Quotient pluviométrique

P : Pluviométrie annuelle (mm)

M : Moyenne maximale du mois le plus chaud (°C)

m : Moyenne minimale du mois le plus froid (°C).

D'après les données climatiques de notre région nous avons :

- La pluviométrie annuelle **P** = 121,14 mm.
- La moyenne maximale du mois le plus chaud **M** = 34,78 ° C.
- La moyenne minimale du mois le plus chaud **m** = 12,10 ° C

$$Q = 18.32$$

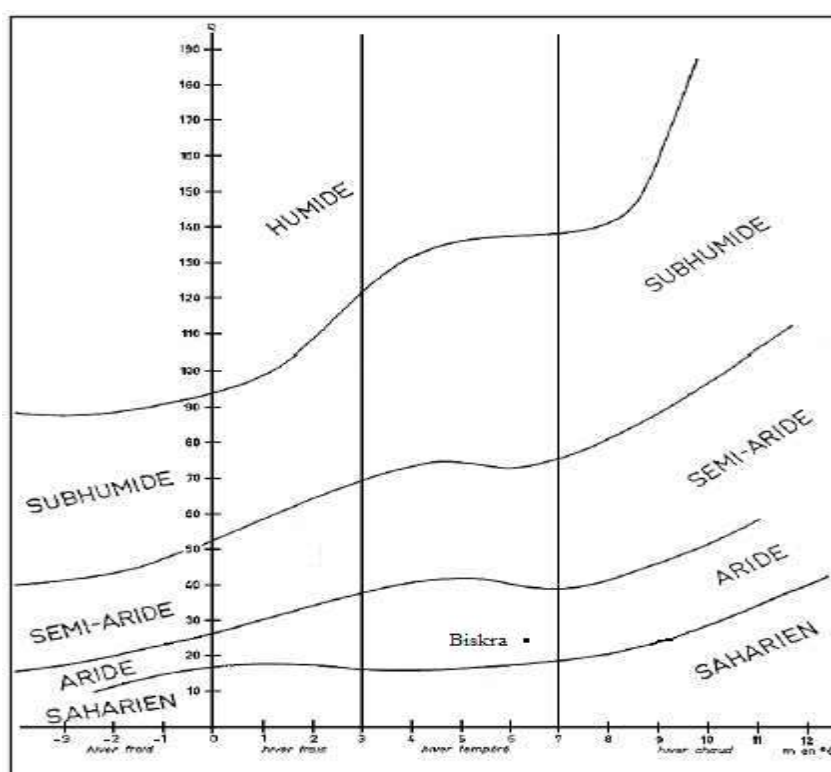


Figure 3.12 Climagramme d'Emberger pour la station de Biskra (2003-2017)

Le diagramme d'Emberger a montré que la région étudiée appartient à l'étage bioclimatique aride inférieur avec un hiver tempéré. (Figure 3.12)

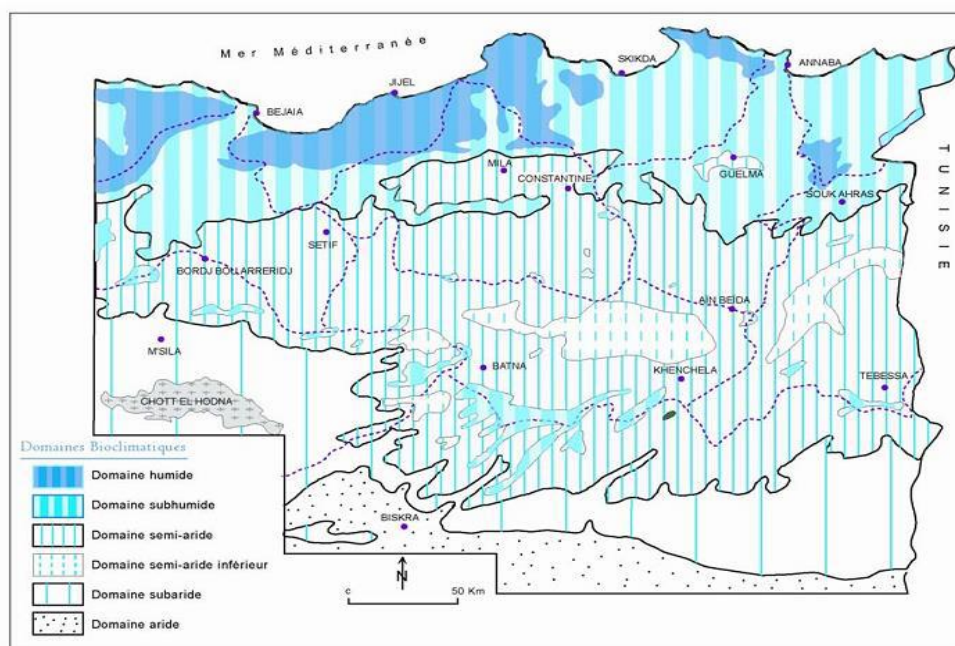


Figure 3. 13 Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l’Est algérien établie d’après Côte M., 1998a ; in Mebarki ; 2005).

3.3.7 Bilan hydrique

Le bilan de l’eau global correspondant à une équation d’équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. Ainsi pour déterminer le bilan de la zone d’étude, il est indispensable d’évaluer ses composantes (infiltration, ruissellement et évapotranspiration) (Boubelli, 2009).

L’établissement du bilan hydrique nous permet de connaître les différents paramètres (ETP, ETR, RFU, Déficit agricole, Excédent) qui nous aide à comprendre le fonctionnement des systèmes hydrauliques de surface. Lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est totale, il y a un surplus d’eau accompagné généralement par un écoulement. Dès que, la RFU diminue, il y a un épuisement du stock au point où la RFU sera complètement vide, il y aura un déficit agricole (DA).

3.3.7.1 Evapotranspiration potentielle :

L’évapotranspiration constitue l’élément le plus important du bilan hydrologique après les précipitations, représentée par une quantité d’eau et restituée à l’atmosphère sous forme de vapeur.

L’évapotranspiration englobe l’ensemble des phénomènes d’évaporation (physique) et transpiration (biologique).

Pour l’estimation de l’évapotranspiration potentielle il existe plusieurs méthodes (méthode de Turc, méthode de Sarlin et méthode de penman). Pour notre cas, nous allons utiliser la formule de Thornthwaite.

La méthode de Thornthwaite nous permet à partir des données de base (précipitation, température (T°C), le coefficient thermique mensuel (K) et l'indice thermique mensuel (i) de calculer l'évapotranspiration potentielle selon la relation ci-dessus:

$$ETP = 16(10T/I)^a - ETP \text{ corrigée} = 16(10T)^a * K$$

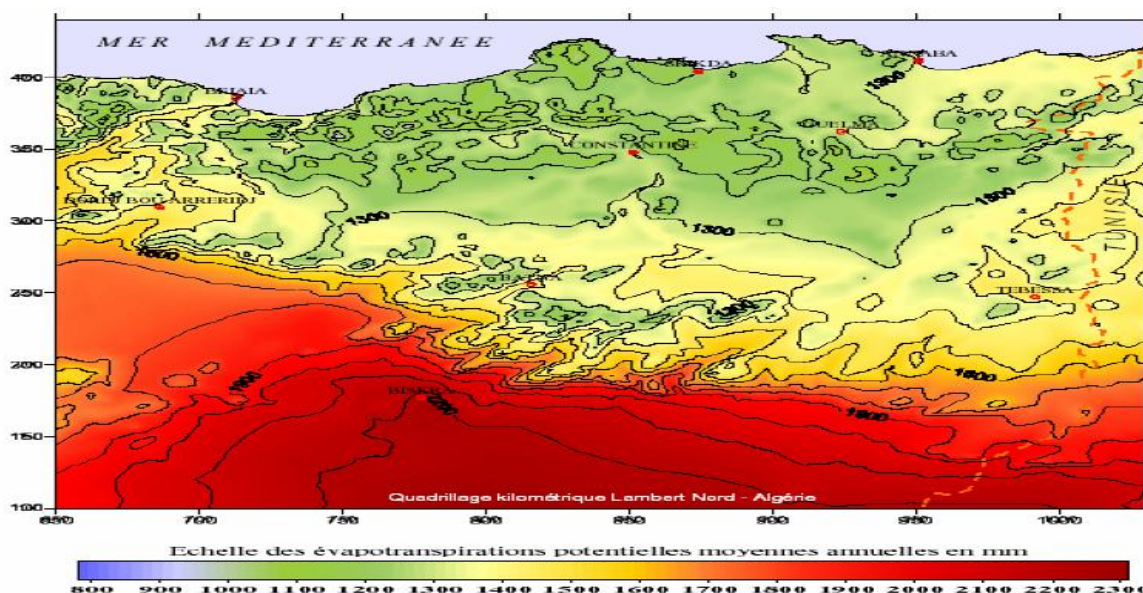
Avec : I : indice thermique annuel : $I = \sum I$, i : indice thermique mensuel : $i = (T/5)^{1.514}$, T : température moyenne mensuelle en (°C), a : coefficient, tel que : $a = 0.016.I + 0.5$, K : coefficient d'ajustement mensuel.

3.3.7.2 Evapotranspiration réelle :

Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement (ETR) la somme de l'évapotranspiration et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) par la méthode de Thornthwaite est liée au volume de précipitation. Trois cas peuvent se présenter :

- $P \geq ETP \Rightarrow ETR = ETP$. Il y a reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation, le surplus, représentera l'écoulement superficiel.
- $P < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$. Dans ce cas, on puisera dans les réserves du sol jusqu'à satisfaction de l'ETP.
- $P < ETP$ et $RFU = 0 \Rightarrow ETR = P$.



Source : MEBARKI. A ; 2005 ; source : étude A.N.R.H)

Figure 3. 14 : Carte de l'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne de l'Est Algérien

3.3.7.3 Réserve facilement utilisable

La RFU est la qualité d'eau emmagasinée dans la couche pédologique et qui est facilement utilisable par les plantes, pour son bon fonctionnement physiologique. Richard en 1979 a proposé une formule pour le calcul de la RFU, dans la partie Nord- Est de l'Algérie qui est la suivante :

$$RFU = 1/3DaHeP$$

Avec : RFU: réserve facilement utilisable en (mm), P: Profondeur de la terre parcourue par les racines en (m) (notre cas $p = 0.3m$), Da: densité apparente du sol, (Hallaire propose de prendre $D = 0,9$),

He: Capacité de rétention :

- He = 5 % pour un sol sablo limoneux
- He= 10 % pour un sol limoneux
- He=20 % pour un sol argilo limoneux

Pour notre cas et vu la nature du sol, on a adopté le dernier cas He = 20 % soit He = 0,2 %, Le RFU calculé pour notre région est négligeable il avoisine le 0 dans tous les mois.

Le bilan hydrique de la région sud de Khenchela est déficitaire (**Tableau 3.6**), l'ETP atteint son maximum entre juin et aout les mois les plus chauds de l'année le RFU est négligeable vue la faiblesse des précipitations. Un déficit agricole de 100 mm par an remarque l'étude climatique de cette région.

3.3.7.4 Le déficit agricole (DA)

Représente sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux cultures (par l'irrigation) pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse. Il est donné par l'expression :

$$DA = ETP - ETR.$$

3.3.7.5 L'excédant (Exc)

Est la quantité d'eau pouvant s'écouler lorsque l'ETP et RFU sont satisfaites. Il correspond au surplus d'eau destinée à l'alimentation de l'infiltration et le ruissellement de surface.

Tableau 3.6 Bilan hydrique selon la méthode de C.W Thornthwaite de la station de Biskra 2003-2017

Mois	Sep	Oct	No v	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	moy	Som
p moy(mm)	12,99	19,94	10,38	8,79	12,66	6,04	18,88	13,91	8,49	6,52	0,60	1,97	10,09	121,14
T moy (°C)	29,18	24,27	17,36	12,46	12,10	13,46	17,39	21,91	26,63	31,41	34,87	33,99	22,92	275,00
I	14,45	10,93	6,58	3,98	3,81	4,48	6,60	9,36	12,58	16,15	18,92	18,21	10,50	126,05
ETP(mm)	133,06	83,57	35,89	15,52	14,42	18,88	36,05	64,55	105,63	160,24	208,69	195,65	89,35	1072,14
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	12,36
ETPc (mm)	137,05	81,06	30,87	13,20	12,54	16,05	37,13	70,36	127,81	193,89	256,69	226,95	100,30	1203,59
ETR(mm)	12,99	19,94	10,38	8,79	12,54	6,04	18,88	13,91	8,49	6,52	0,60	1,97	10,09	121,05
RFU	0,00	0,00	0,00	0,00	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,70
DA	124,06	61,12	20,49	4,41	0,00	10,01	18,25	56,45	119,32	187,37	256,09	224,98	90,21	1082,54
Exc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

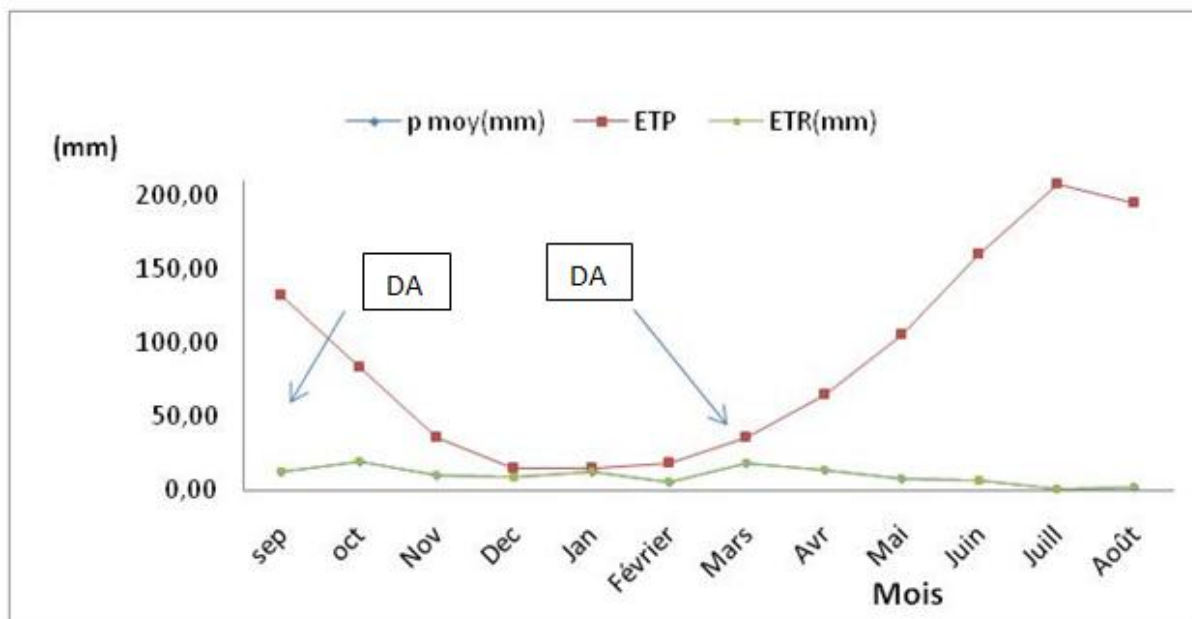


Figure 3. 15: Représentation graphique du bilan hydrologique de Thornthwaite à la station de Biskra

3.3.7.6 Interprétation du bilan hydrologique de Thornthwaite

Les résultats obtenus (figure 3.15 et tableau 3.6), montrent que le bilan est totalement déficitaire au niveau de la région de Biskra à cause des fortes températures et de l'importance de l'évapotranspiration. Les précipitations annuelles à Biskra, sont de l'ordre de 121,14 mm/an. Nous constatons que durant toute l'année, exceptée le mois de Janvier, les ETP sont supérieures aux précipitations. Le déficit agricole annuel (DA) est de l'ordre de 1082,54mm. La reconstitution du stock s'observe au mois de janvier avec une RFU=2.70mm.

3.4 Conclusion

La zone d'étude appartient au bassin versant de chott Melghir au sud de l'atlas saharien, la station météorologique la plus représentative de la région est celle de Biskra.

Le climat de la région est de type aride connu par les faibles précipitations et les températures élevées surtout pendant l'été, qui produisent des amplitudes thermiques très grandes.

L'analyse climatique effectuée, a montré que la région de Biskra, se caractérise par un climat nettement contrasté, à hiver frais s'étalant de décembre à février, et à été sec et chaud et très bien ensoleillé, répondent assez bien aux exigences de cette région.

Le climat est influence par:

- La moyenne annuelle des précipitations, elle est de l'ordre de 121,14 mm/an durant la période 2003- 2017); On a remarqué que les mois le plus pluvieux sont Octobre 19,94 mm et mars 18,88 mm et ceux les plus secs sont juillet et aout avec des précipitations inférieur à 2 mm.

- Des températures moyennes assez élevées et une sécheresse estivale très prononcée et très longue, avec des moyennes mensuelles entre 31,44 et 29,18 °C entre les mois de juin à septembre et un maximum de 34,87 °C au mois de juillet
- Les températures les plus faibles sont pour les mois de décembre et janvier avec respectivement 12,46 et 12,10 °C.
- L'estimation des paramètres constituant le bilan hydrologique, nous en permis de faire ressortir les résultats suivant d'après la formule de Thornthwaite:
- Une RFU (réserve facilement utilisable) de 2.70 mm.
- L'évapotranspiration est très élevée (1203.59 mm/an), accentuée surtout par les vents.
- Une évapotranspiration réelle (ETR) variant selon la méthode de Thornthwaite : pour la station de Biskra, de 121,05mm/an soit 98%;

Le bilan hydrologique de Thornthwaite fait ressortir un déficit pluviométrique annuel de l'ordre de 1082,54 mm . Tous ces facteurs caractérisent une forte aridité.

SOMMAIRE

4.1 INTRODUCTION	48
4.2 L'ETUDE GEOPHYSIQUE REALISEE DANS LA REGION	48
4.3 PRINCIPE DE LA MESURE DE LA RESISTIVITE	49
4.4 RESULTATS DE LA PROSPECTION	50
4.4.1 ETALONNAGE DES DONNEES DE SONDAGES ELECTRIQUES	50
4.4.2 INTERPRETATION DES COUPES GEO ELECTRIQUES :	52
4.4.3. SONDAGE ELECTRIQUE TAMERSSITE	54
4.5 IDENTIFICATION HYDROGEOLOGIQUE DES AQUIFERES DANS LA ZONE D'ETUDE	54
4.5.1. LES NIVEAUX IMPERMEABLES	54
4.5.2 LES NIVEAUX PERMEABLES.....	55
4.6 LOGS STRATIGRAPHIQUES DE QUELQUES FORAGES	55
4.6. TYPES DE NAPPE	56
4.6.1 LA NAPPE DU PLIOQUATERNAIRE.....	56
4.6.2 LA NAPPE DES CALCAIRES DU MAESTRICHTIEN SUPERIEUR.....	57
4.7 PIEZOMETRIE.....	57
4.7.1 NIVEAU PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE	57
4.8 CONCLUSION	58

4.1 Introduction

L'étude hydrogéologique est une étape indispensable dans notre étude, elle va nous permettre de déterminer le sens de l'écoulement des eaux. De même, par cette étude nous saurons la profondeur de la nappe qui est un facteur très important dans l'étude.

Le but de cette étude consiste, à identifier les différentes formations géologiques en vue de localiser celles qui sont favorables à l'accumulation des eaux souterraines. la géophysique de surface (prospection électrique, sismique réfraction) outil profond de l'hydrogéologie auquel, elle apportera des données sur la géométrie et l'extension latérale et verticale du réservoir, sur sa nature lithologique, peut être considéré toujours comme une discipline complémentaire à l'hydrogéologie.

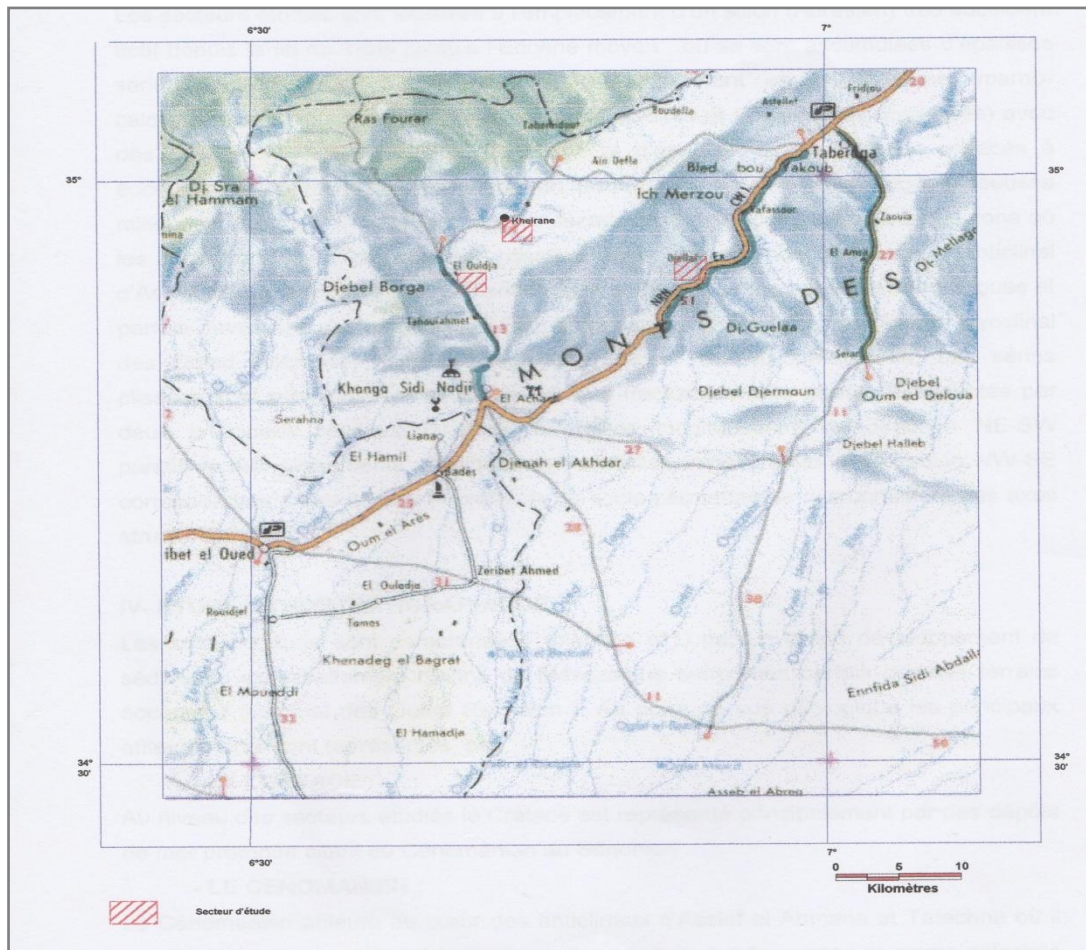
4.2 L'étude géophysique réalisée dans la région

En 2002, Icosium Forage & Engineering Service (I.F.E.S) a effectué une campagne de Prospection par méthode électrique (sondages électriques) qui a couvert de larges territoires de la wilaya de kenchela, relative aux zones de kheirane, Djellal et el Ouldja.

La zone qui fait l'objet de notre étude est celle dite (Zone : EL Ouldja) (Figure 4.1). Le secteur d'El Ouldja est limité :

- Au nord par Oued El –Arab et l'altitude nord 190.000km, et par djbel Sofia au Nord-est.
- A l'Ouest par la longitude Est lambert 862.000 Km et à l'Est par longitude Est Lambert 865.000Km.
- Au sud par Douar Khannga et latitude nord 186.000km.

Cette étude a pour objectif l'identification des aquifères probables dans la région étudiée. 60 sondages électriques a l'aide d'une ligne d'émission AB=2000m, Les investigations dépassent 200 m de profondeur (Figure 4.2).



Source : I.F.E.S 2002

Figure 4. 1 : plan de situation des zones.

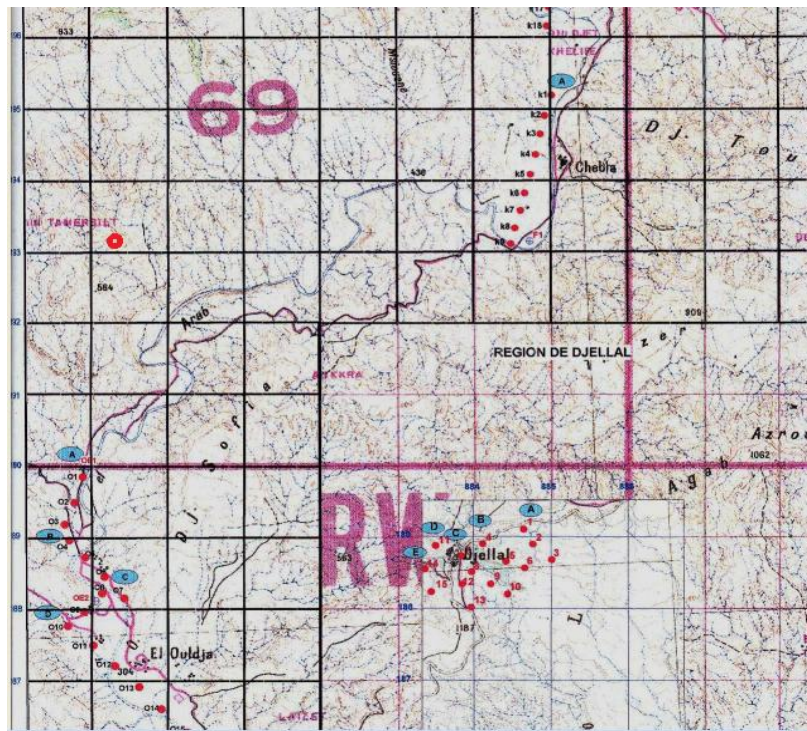
4.3 Principe de la mesure de la résistivité

Cette méthode est fondée sur la mesure de la résistivité des terrains en fonction de la profondeur pour préciser leur géométrie et leur nature lithologique. Dans ce cas, on peut procéder soit à l'aide :

- Du sondage électrique, qui permet d'obtenir les variations de la résistivité en fonction de la profondeur.
- Du profil électrique, permettant de déterminer les variations latérales de la résistivité pour préciser la structure tectonique par la mise en évidence des accidents tectoniques. La résistivité ρ d'un milieu est la propriété qui détermine l'aptitude de ce milieu à s'opposer au passage du courant électrique, elle peut être déterminée à l'aide de la relation suivante : $R = \rho l/s$

R : résistance d'un cylindre (en Ohm) de section $S(m^2)$ et de longueur $L (m)$

ρ : résistivité en Ohm.m



Source : I.F.E.S 2002

Figure 4. 2 Carte de situation des sondages électriques. Echelle 1/50.000

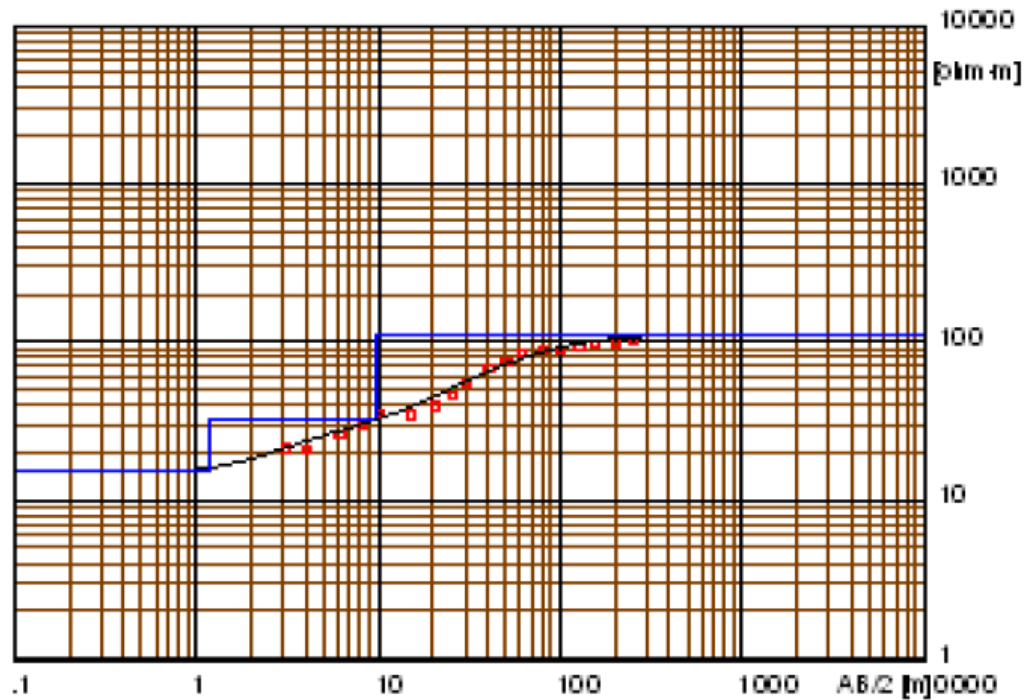
4.4 Résultats de la prospection

4.4.1 Etalonnage des données de sondages électriques

4.4.1.1. Forages D'Etalonnage

Le Sondage électrique étalon OE1 réalisé à proximité du forage F1(X= 862.917km et Y= 189.958 km) d'une profondeur de 150 m permet d'attribuer (Figure 4.3)

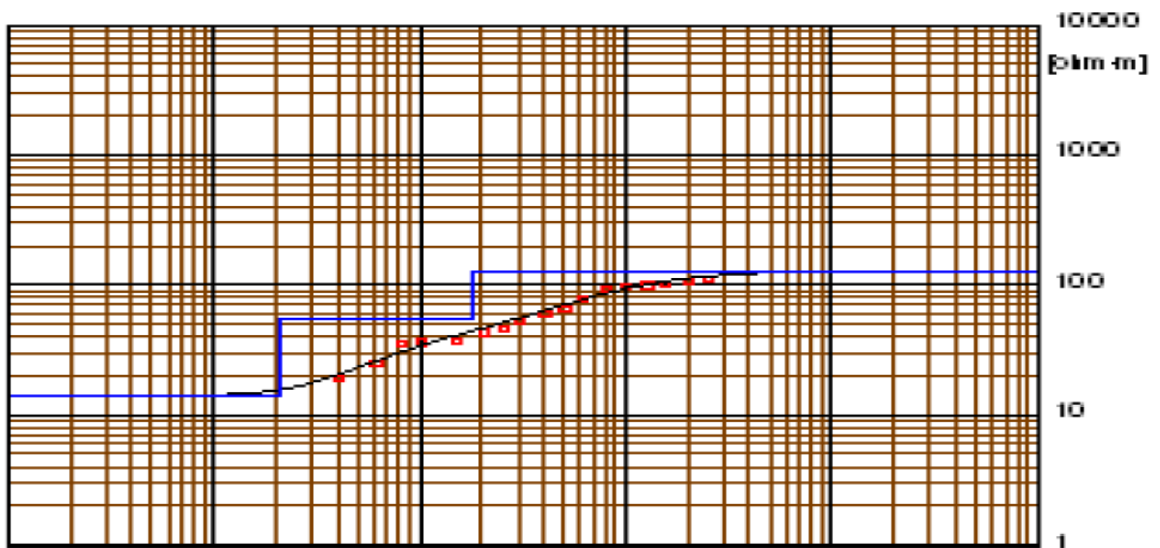
- Aux alluvions quaternaires représentées par des galets et argiles une résistivité de 60 à 190 Ohm . m .
- Aux alternances de calcaires et de calcaires marneux du Coniacien-Campanien constituant un aquifère à perméabilité en grand dont les eaux présentent une minéralisation élevée une résistive de 15 à 54 Ohm . m .



Source : I.F.E.S 2002

Figure 4. 3 Etalonnage du sondage électrique OE1 a l'aide du forage F1 .

Le sondage électrique étalon OE2 relatif au forage F2 (X = 863.043km et Y= 188.114 km) montre que l'on peut prendre (Figure 4.4) respectivement comme résistivité pour les alluvions quaternaires 42 à 560 ohm. m et pour celle de l'horizon a aquifère constitué par une alternance de calcaires, de calcaires marneux et de marnes noires dont les eaux sont fortement minéralisées 7.4 à 11 Ohm. m .



Source : I.F.E.S 2002

Figure 4. 4 Etalonnage Du Sandage Electrique OE2 A L'aide Du Forage F2

4.4.1.2 Forages D'Etalonnage

Les sondages paramétriques réalisés directement sur les différentes formations permettent de leur attribuer les résistivités suivantes :

Tableau 4.1 : Résistivités des sondages

Formations	Age	Résistivité (OHM . M)
Galets et argiles	Quaternaire	13 - 310
Alternances de calcaires marneux et de marnes noires	Coniacien – Campanien	20 - 79
Calcaires	Coniacien - campanien	100
Marnes	Coniacien - campanien	2 – 17

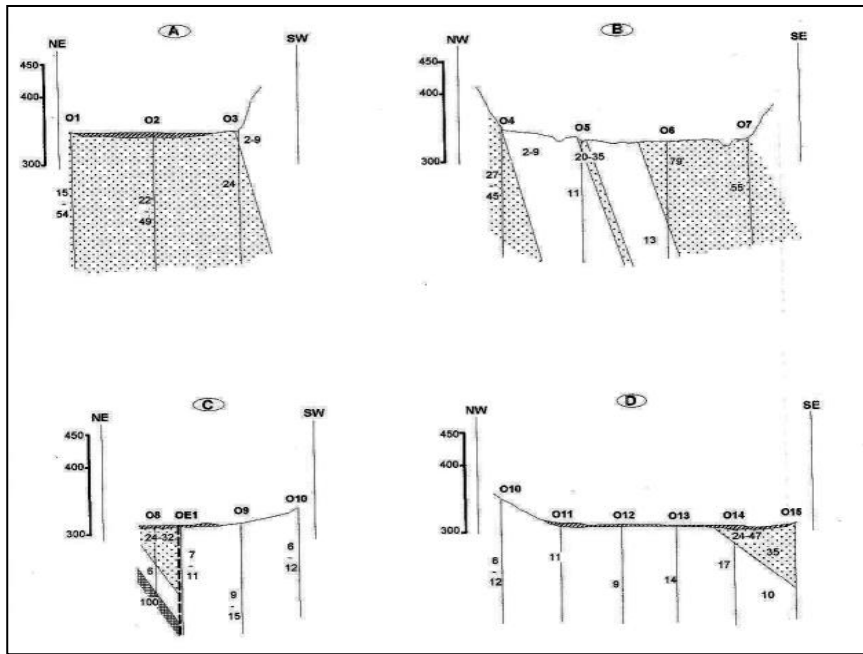
4.4.2 Interprétation des Coupes Géo électriques :

La coupe géo électrique **A (Figure 4.5)** d'orientation NE – SW montre que l'on affaire à une structure monoclinale où les terrains d'une résistivité de 20 à 57 ohm . m . plongent vers le SW et correspondent aux alternances marneux et de marnes qui sont surmontés au sondage O3 par un horizon conducteur d'une résistivité de 2 à 9 Ohm . m. appartenant aux marnes du coniacien – campanien.

La coupe géo électrique **B (Figure 4.5)** est représentée dans le secteur par des terrains du coniacien – Campanien constitués par une alternance de calcaires marneux d'une résistivité de 20 à 79 ohm. m et de marnes d'une résistivité de 2 à 13 Ohm. m .

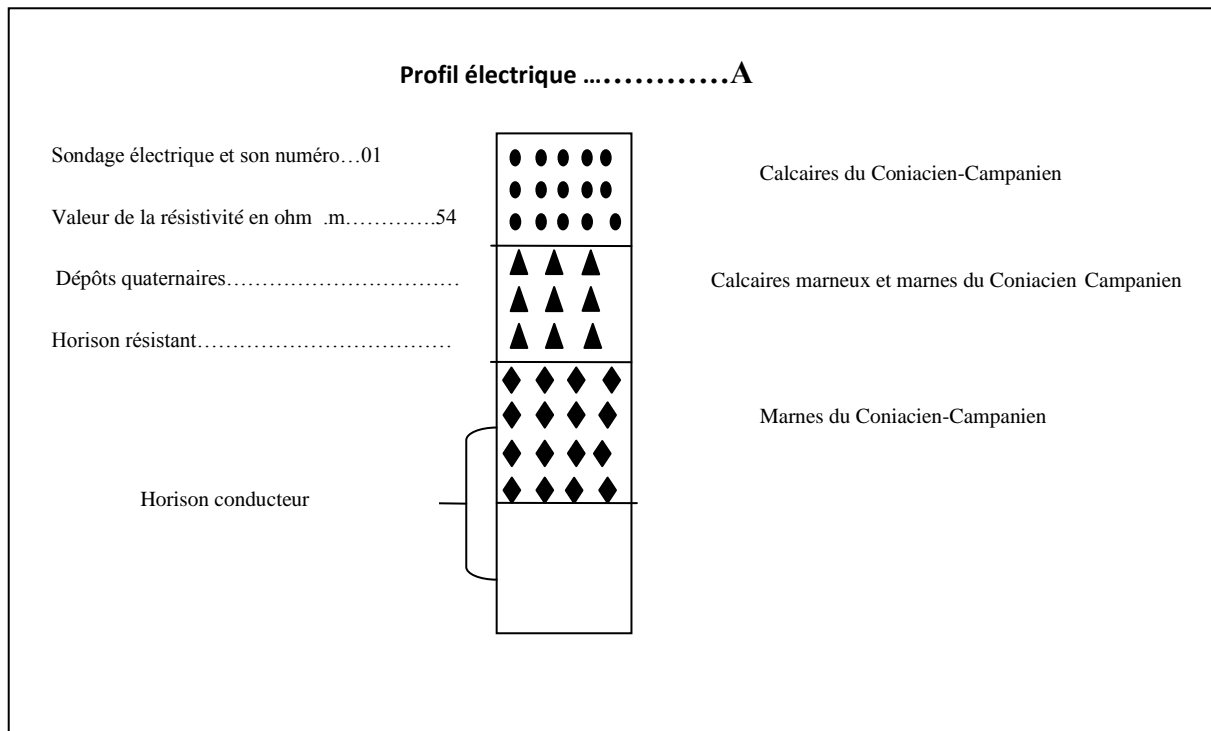
La coupe géo électrique **C (Figure 4.5)** indique elle aussi une Structure monoclinale où les terrain représentés au niveau du sondage O8 des calcaires marneux et des marnes du Coniacien _ Campanien d'une épaisseur de 60m qui surmontent un horizon résistant d'une résistivité de 100 ohm. m correspondant probablement aux calcaires du Coniacien – Campanien. Dans la partie Sud –Ouest de la coupe les sondages OE1 et O10 n'ont recoupé que des terrains conducteurs d'une résistivité de 7 à 15 Ohm. m. que l'on peut attribuer soit aux alternances de calcaires saturés en eau minéralisée, de calcaires marneux et de marnes.

Le coupe géo électrique **D (Figure 4.5)** est représentée pour l'ensemble des sondages par des terrains conducteurs d'une résistivité de 2 à 17 ohm . m'appartenant aux marnes du Coniacien _ Campanien qui Sont recouverts au niveau du sondage O14 par des calcaires marneux et des marnes d'une résistivité de 24 à 47 Ohm. m.



Source : I.F.E.S 2002

Figure 4. 5 Coupes Géo électriques De La Zone D'étude



Source : I.F.E.S 2002

Figure 4. 6 : Coupe hydrogéologique de sondage A

4.4.3. Sondage électrique Tamerssite

Ce sondage effectué au voisinage de la source Tamerssite dont le dispositif (la ligne d'émission) est orienté le long de la vallée présente les couches suivantes :

Une couche très résistante (**392 Ohm-m**) avec une épaisseur de **17 m** surmontée par un niveau résistant caractérisé par une résistivité de **119 Ohm-m**, son épaisseur atteint **26 m** qui pourrait correspondre probablement à des alluvions d'Oued.

Enfin, le toit d'un substratum résistant (**93 Ohm-m**), que l'on peut attribuer à des calcaires fissurés qui affleurent sur la rive gauche de la vallée. La profondeur du toit est de **43 m**.

Notons enfin, que le mur de ce dernier terrain n'étant pas atteint par ce sondage ceci est dû à la faible longueur du dispositif. On constate que le sondage Tamerssite a mis en évidence uniquement des terrains résistants à très résistants et par conséquent sont importants du point de vu aquifère. Les points retenus pour la réalisation de forages sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 4.2 : Caractéristiques de sondage électrique (source Tamersite)

Nom du sondage électrique	Epaisseur du l'aquifère(m)	Nature lithologique	Profondeur du toit de l'aquifère(m)
Source Tamersite	-	Calcaires Fissurés	43

4.5 Identification Hydrogéologique des aquifères dans la zone d'étude

Les forages réalisés dans la zone d'étude, nous permettent de dresser la conclusion suivante concernant les caractéristiques hydrogéologiques de la succession lithologique dans la région :

4.5.1. Les niveaux imperméables

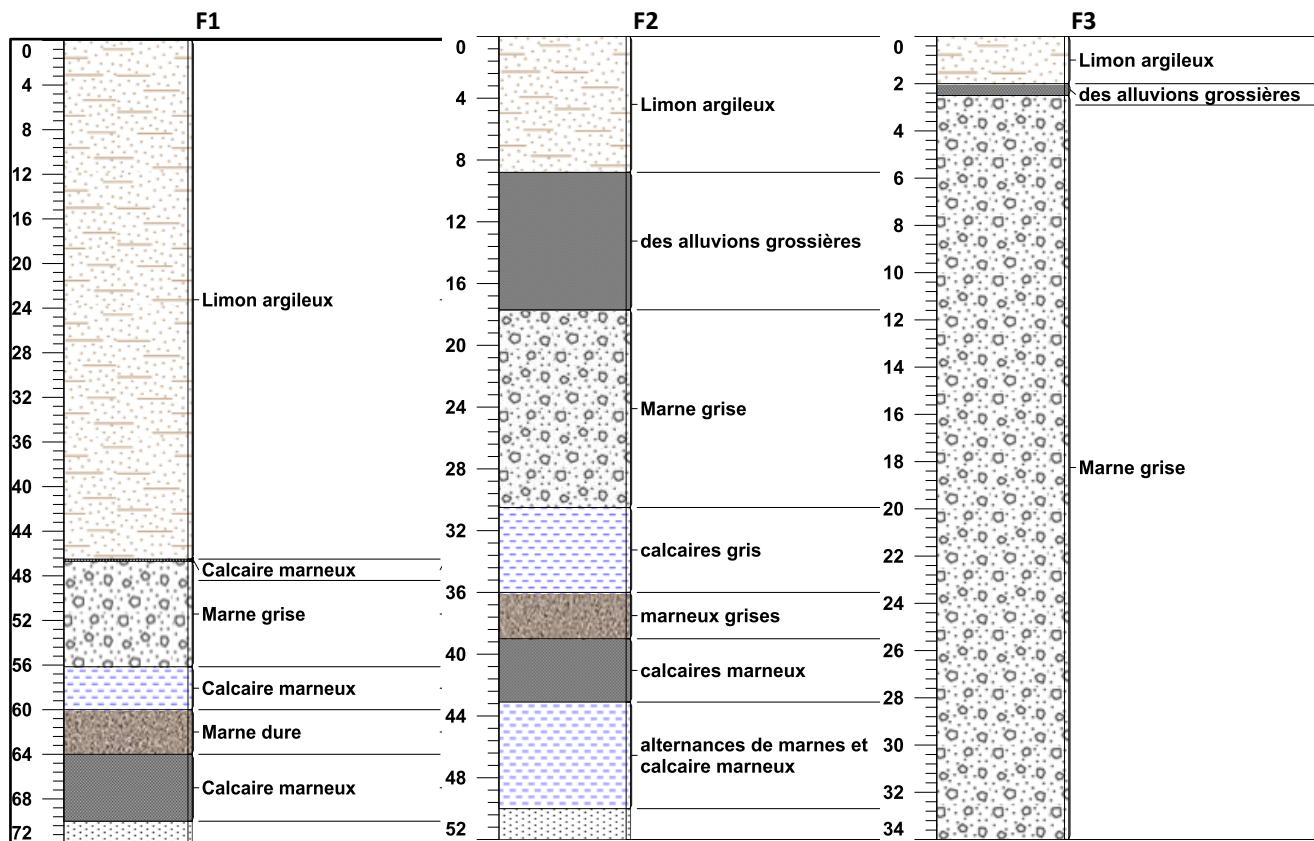
- **Tortonien supérieur** : Constitué essentiellement par des argiles beiges et rouges constituant une bande imperméable et discontinue.
- **Maastrichtien inférieur et Campanien** : Ce sont des alternances de marnes gris-beige et de marnes beige, formant un substratum imperméable.
- **Santonien** : C'est un ensemble de marne gris-bleu, avec à la base des marno-calcaires.
- **Coniacien** : Ce sont des alternances de marnes beiges ou grises et de marno-calcaires gris .
- **Turonien** : Représenté par des marnes grises à beiges et de petits bancs de calcaires et marno-calcaires blanchâtres. Cet ensemble peut être considéré comme semi perméable. Il est productif dans certaines zones des Aurès

- **Cénomaniens inférieurs** : Les terrains du cénomaniens inférieurs dans la région de Khenchela ; constituent un substratum marneux.

4.5.2 Les niveaux perméables

- **Quaternaire** : Gravier, sable, grossiers galets et calcaires, constituent l'essentiel de ces formations. Ils s'étendent dans la région d'étude sur une épaisseur de 10 à 30 m.
- **Tortonien** : Gréseux, Il constitue un aquifère important dans la région.
- **Eocène inférieur** : Constitué de calcaires fissurés.
- **Maastrichtien supérieur** : Les calcaires du Maastrichtien supérieur constituent l'élément essentiel de la région, ce niveau assez épais (150 mètres) ; et couvrant d'importantes superficies de calcaires bien fissurés et karstifiés.

4.6 Logs stratigraphiques de quelques forages



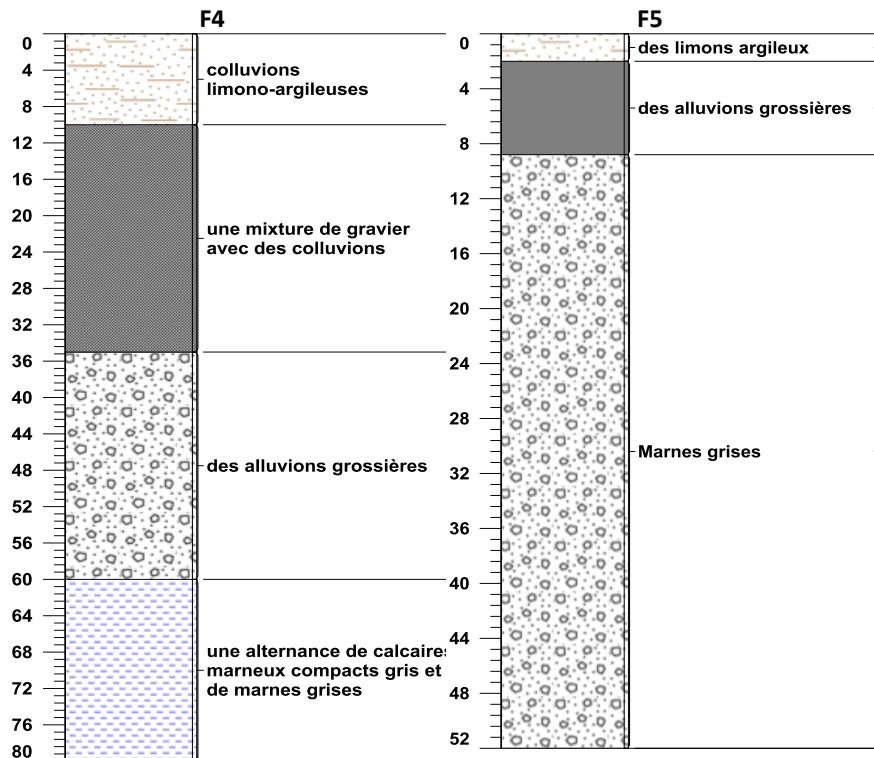


Figure 4. 7 : Log stratigraphique des forages.

4.6. Types de nappe

La définition du type de nappe exige une parfaite connaissance de la nature lithologique des formations qui déterminent d'une part, et celle de ses limites géométriques d'autre part. Ainsi l'examen des coupes de plusieurs sondages et forages hydrogéologiques exécutés en divers points de la zone d'étude a permis de distinguer deux nappes aquifères superposées de haut en bas.

4.6.1 La nappe du plioquaternaire

Caractérisée par les formations lithologiques suivantes : graviers et argiles, graviers calcaires, galets. Cette nappe a une très grande extension horizontale vu que les formations du plioquaternaire recouvrent toute la zone. La puissance de cette nappe varie entre 100 à 10 m. Dans les zones d'érosion le substratum de cette nappe est représenté par des marnes du Maestrichtien inférieur ou du campanien, par contre dans les zones non érodées cette nappe est superposée directement sur la nappe des calcaires.

4.6.2 La nappe des calcaires du Maestrichtien supérieur

Cette nappe comme son nom l'indique se rencontre dans les calcaires du Maestrichtien supérieur. Son épaisseur véritable ne peut être déterminée vu que tous les forages qui l'exploitent sont imparfaits (ne dépassant pas 150 m de puissance) .

4.7 Piézométrie

La piézométrie schématise le fonctionnement de l'aquifère et son comportement hydraulique. Elle permet principalement :

- D'analyser la morphologie de la surface piézométrique;
- De définir la direction des axes principaux d'écoulement et des axes de drainage ;
- De définir les conditions aux limites.

4.7.1 Niveau piézométrique de la nappe

Selon la disponibilité et la répartition des points d'eau dans la région d'étude L'inventaire de l'ANRH nous a permis de sélectionner 05 points d'eau bien repartis sur notre zone d'étude, pour réaliser deux campagnes piézométriques durant le mois de octobre, la première campagne en 01/10/2016 tandis que la seconde en 24/11/2016. Ces points d'eau se situent dans les rives droite et gauche de l'Oued , le niveau de la nappes a été mesuré régulièrement (chaque jour) (Figure 4.7) dans les forages F01 et F02 en rive droite, F03 et F04 au fond de l' Oued et F05 en rive gauche.

Niveau piézométrique = Altitude du point d'eau (m) – Niveau Statique (m) .

Table 4.3 : variation du niveau piézométrique de la nappe (Du 14.04.2016 au 14.11.2016)

Le tableau ci-dessous illustre les variations du niveau de la nappe dans une courbe transversale.

Sondage	F01	F02	F03	F04	F05
Cote sondage	426.12	394.44	336.32	336.40	415.55
Cote nappe 01/10/2016	395.62	374.94	329.16	331.90	399.75
Cote nappe 24/11/2016	sec	Sec	329.26	332.25	sec

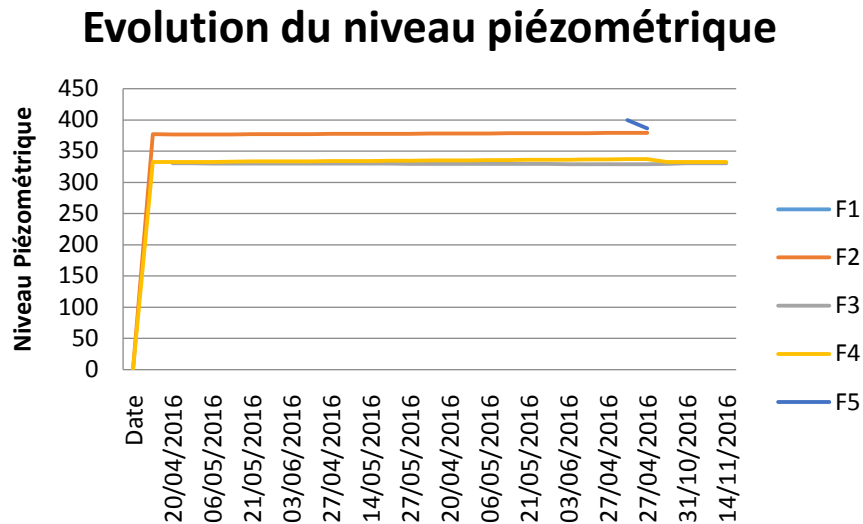


Figure 4. 8 : Evaluation de niveau piézométrique de la nappe de la vallée d'El Ouldja (Du 14.04.2016 au 14.11.2016)

On constate que le niveau de la nappe sur la rive droite (F01, F02) passe respectivement de la cote 404.92 et 384.14 à 386.12 et 374.94 en l'espace de 2 semaines environ pour s'assécher à partir du début de mois d'octobre. Les cotes auxquelles s'assèchent ces sondages se situent presque à la limite du toit du rocher (ANRH,2016).

En rive gauche le niveau de la nappe (F05) passe de 399.75 à 386.25 en une semaine puis s'assèche. Ce sondage n'a pas été relevé suffisamment longtemps pour être sûr que c'est bien le niveau de la nappe qu'on a mesuré et non l'eau de forage.

Les forages du fond d'Oued (F03, F05) donnent un niveau proche du niveau des eaux dans le lit de l'oued avec une faible fluctuation

Les résultats des mesures du niveau piézométrique ne reflètent pas ce que le BE attendait vis-à-vis le comportement de la nappe. Une décroissance progressive dans le niveau de l'eau est attendue par le BE du probablement a des petit réservoirs qui se remplissent durant les pluies et se vident, ensuite. Les observations ont montré, au contraire, une chute brusque du niveau à la fin des périodes hivernales. Celle-ci peut être la cause d'une formation probable des bouchons de boue obstruant les trous dans les forages de mesure qui, sous la charge de la colonne d'eau, vont se déboucher subitement. Donc, on peut conclure qu'un tel comportement donne l'impression d'une présence d'une nappe perchée sur les rives. Une telle type de nappe n'existe pas réellement dans le site d'El Ouldja (ANRH,2016).

4.8 CONCLUSION

L'investigation multiforme de l'étude géophysique réalisée par I.F.E.S dans le secteur d'EL –Ouldja, nous a permis de mettre en évidence que la zone la plus favorable pour l'implantation d'un forage de reconnaissance d'une profondeur de 150 m est localisée au niveau du sondage électrique O8 (X = 863.133 km et Y= 188.217

km) situé en rive droite de l'oued el Arab là où les alternances de calcaires du Coniacien _ Campanien présentent la résistivité la plus élevée (100 ohm . m) et sont localisés à une profondeur de 80 m .

La Vallée d'El Ouldja est occupée en surface par des limons argileux et des colluvions limono- argileuses. L'examen des coupes de plusieurs sondages et forages hydrogéologiques exécutés permis de distinguer deux nappes aquifères superposées de haut en bas :

- La nappe du plioquaternaire recouvre toute la zone Caractérisée par les formations lithologiques suivantes : graviers et argiles, graviers calcaires, galets. La puissance de cette nappe varie entre 100 à 10 m. La nappe calcaire du Maestrichtien supérieur.
- Le substratum constituant l'assise imperméable, est représenté par des calcaires des Maestrichtien supérieur. Constituent l'élément essentiel de la région, ce niveau assez épais (150 mètres) ; et couvrant d'importantes superficies de calcaires bien fissurés et karstifiés. A coté des miocènes gréseux et des formations quaternaires.

Les résultats des mesures du niveau piézométrique montre :

- L'Oued, coulant du Nord vers le Sud, serpente entre des terrasses alluviales passant d'une rive à l'autre du talweg au 8-èdcgré de ses larges courbes.
- La présence d'une nappe perchée sur les rives. Un tel type de nappe n'existe pas réellement dans le site d'El Ouldja.

CHAPITRE 5 *HYDROCHIMIE DE LA VALLEE D'EL OULDJA*

SOMMAIRE

5.1 CARACTERISATION PHYSICO- CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DES EAUX SUPERFICIELLES ET SOUTERRAINES DE LA VALLEE D'EL OULDJA	61
5.2 CARACTERISATION PHYSICO- CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DE LA SOURCE THERMALE TAMERSITE ET LEURS IMPACTES SUR L'ENVIRONNEMENT	61
5.3. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES	64
5.4 FACIES CHIMIQUES DES EAUX	82
5.5 ETUDE DES PROCESSUS HYDROGEOCHIMIQUES	84
5.6 APTITUDE DES EAUX A L'IRRIGATION	87
5.7. CLASSIFICATION DES EAUX EN FONCTION DU POURCENTAGE DU SODIUM ABSORBE PAR L'EAU (METHODE DE WILCOX)	89
5.8 ANALYSE EN COMPOSANT PRINCIPALE (ACP)	92
5.10 CONCLUSION	95
5.11 CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DE LA SOURCE THERMALE DE LA VALLEE D'EL OULDJA	95
5.12 ETAT DES MINERAUX ET AUTRES PARAMETRES DANS L'EAU	104
5.13 IMPACT ET VERTUS THERAPEUTIQUES DES EAUX THERMALES.....	105
5.14 CARACTERISATIONS MICROBIOLOGIQUES.....	106
5.15 INTERPRETATION DES RESULTATS.....	106
5.16 CONCLUSION	107

5.1 Caractérisation physico- chimique et microbiologique des eaux superficielles et souterraines de la vallée d'El Ouldja

- Caractérisation physico-chimique des eaux sous terrains de la vallée d'El Ouldja
- Caractérisation physico-chimique des eaux superficielles de la vallée d'El Ouldja
- Caractérisation microbiologique des eaux de la vallée d'El Ouldja
- Faciès chimique des eaux
- Diagrammes d'équilibres (solution-minéraux)
- Diagrammes des concentrations
- Statistique descriptive
- ACP
- Aptitude des eaux à l'irrigation

5.2 Caractérisation physico- chimique et microbiologique de la source thermique Tamersite et leurs impacts sur l'environnement

- Faciès chimique des eaux
- Diagrammes d'équilibres solution minéraux
- Etude Bactériologique
- Impact et vertus thérapeutiques des eaux thermales
- Classification thérapeutique des eaux de la source thermales Tamersite

5.2.1 Caractérisation physico-chimique des eaux superficielles et souterraines de la vallée d'El Ouldja

5.2.1.1 Introduction

Tout travail hydrochimique consiste à recueillir des échantillons d'eau, tout en respectant les techniques de prélèvement prescrites. De procéder à un certain nombre d'analyse pour avoir une idée sur l'identité physico-chimique de l'eau et son mode de répartition spatiale dans le milieu environnant (**Khedidja ,2016**)

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines sont nombreuses, et la composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, et de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie, etc.) (**Debieche T .H, 2002**)

L'étude de la chimie des eaux souterraines a une importance considérable, particulièrement dans les régions semi arides. Il s'agit en fait d'une méthode de prospection hydrogéologique qui permet la caractérisation des aquifères. En effet, la composition chimique des eaux souterraines dépend en grande partie du type de roche encaissante, de l'évolution hydrodynamique des écoulements de la nappe, de la profondeur de cette dernière et de la zone climatique. Elle donne de précieux renseignements sur les conditions de gisement et le mouvement des eaux souterraines. **(Brisis, 2012)**

La température, la résistivité et les sels dissous se comportent fréquemment comme des marqueurs naturels permettant d'étudier les caractéristiques hydrogéologiques de la couche aquifère et les facteurs d'écoulement souterrain. L'étude de leur variation dans l'espace et dans le temps permet de compléter les informations déjà obtenues sur la nature lithologique du terrain traversé.

Dans la présente partie, nous allons traiter les résultats d'analyse physico-chimiques et bactériologique disponibles pour déterminer l'origine ainsi que les mécanismes d'acquisition de la salinité des eaux. L'analyse bactériologique est donc un outil incontournable de l'enquête sanitaire, car il permet de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau. Elle permet également de contrôler l'efficacité des mesures de protection ou de traitement.

La quasi-totalité des points d'eau de l'aquifère sont destinés à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation. Pour être utilisé l'eau doit répondre à certaines normes qui varient en fonction du type d'utilisation.

Le choix des lieux de prélèvement a été fixé sur la base de la répartition spatiale des points d'eau sur l'ensemble de la région étudiée durant la campagne Nov-Dec 2016 On a choisi :

A. Eaux superficielles

- **Oued El Arab** : Trois points de prélèvements sont sélectionnés (en amont, à l'intermédiaire et à la fin d'Oued el Arab) pour évaluer le pouvoir auto-épurateur des eaux le long d'Oued.
- **Les sources** : Trois sources sont sélectionnés (Source 1 ,Source2 et Source 3)

B .Eaux souterraines

Cinq forages, répartis à différentes distances le long d'oued de l'amont jusqu'à l'aval comme l'indique ,Ces points sont répartis dans l'ensemble de la zone étudiée.

Plusieurs techniques d'études et méthodes de présentation ont été mises en œuvre pour synthétiser les données physico-chimiques et bactériologiques et les interpréter :

- Les diagrammes décrivant la composition chimique des eaux parmi les quels le diagramme de Piper qui permet de déterminer la typologie des faciès chimiques et leurs évolutions et le diagramme de Durov qui permet en même temps de définir les faciès et les processus géochimiques responsables, le logiciel Rockworks15 a été utilisé pour traiter l'ensemble des données.

- Les diagrammes binaires associés aux rapports caractéristiques qui permettent d'établir les corrélations et d'estimer la prépondérance d'un processus par rapport à un autre. . Nous avons aussi exploité ces résultats pour donner un résumé sur l'utilisation de ces eaux pour l'irrigation, (méthode de Richard et celle de Wilcox).
- Les indices de saturation qui permettent d'évaluer la saturation de l'eau vis-à-vis des différents minéraux.
- Les analyses factorielles avec en particulier les ACP (Analyse en Composantes Principales), qui permettent d'observer les relations entre les différents variables et échantillons.

5.2.1.2 Matériels et moyens d'analyse

Dans le but de mieux apprécier les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux de la vallée d'El Ouldja, Onze (11) prélèvements ont été effectués au niveau de la zone d'étude en 2016. Dont trois source (S1, S2 et S3), trois prélèvements sur oued El Arab (à l'amont de l'Oued 1, au niveau de l'Oued 2 et à l'aval de l'Oued 3) et cinq sondages(Forages) (eau de la nappe) F1, F2, F3, F4 et F5. Ces sondages ont permis également la mesure des niveaux piézométriques représentatifs à savoir, L'échantillonnage a été effectué durant le période entre le mois de Novembre et le mois de Décembres 2016. Certaines mesures effectuées sur place afin de déterminer les valeurs des paramètres physicochimiques qui évoluent rapidement après l'échantillonnage tels que la température, pH et conductivité électrique à travers une sonde multi paramètre. Tandis que les analyses chimiques des éléments majeurs. Le tableau 01 englobe les résultats des analyses physico-chimiques.

Pour le prélèvement d'eau nécessaire à l'analyse bactériologique, nous avons utilisé des flacons en verre de 250 ml munis d'un cordon. Au moment du prélèvement, on ouvre le flacon et on l'introduit dans le puits à 30cm de profondeur, en prenant soin de ne pas contaminer l'échantillon. Ensuite on retire le flacon rempli d'eau. On détache le cordon et le flacon est refermé dans les conditions aseptiques requises jusqu'au moment de l'analyse.

Avant l'usage, les flacons doivent être soigneusement lavés, puis rincés à l'eau distillée. Ensuite, les flacons seront stérilisés (**Larpen, 1997**).

L'analyse bactériologique a pour but de mettre en évidence la présence des germes, basés sur la recherche et la numération de celles ci dans les échantillons à analyser. Les germes recherchés sont : les Germes totaux, les Coliformes totaux et l'identification d'*Escherichia coli*, la recherche et le dénombrement des Streptocoques fécaux, la recherche et le dénombrement des *Clostridium sulfito-réducteurs*. Le tableau 02 englobe les résultats des analyses bactériologiques.

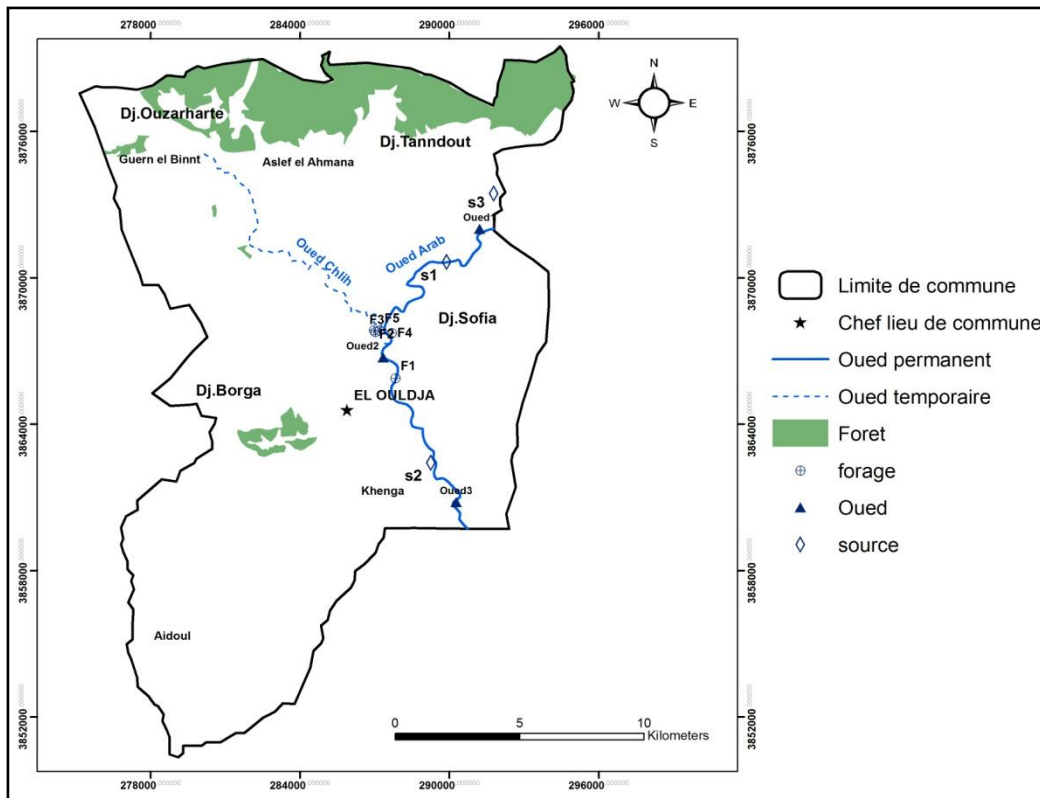


Figure 5.1 Carte d’inventaire de la zone d’étude

5.3. Caractéristiques physico-chimiques

La composition chimique des eaux souterraines dépend en grande partie du type de roche encaissante, du temps de séjour, de l’évolution hydrodynamique, de la profondeur du niveau statique et du climat. La qualité de l’eau peut également être influencée par l’activité de l’homme dans le domaine de l’urbanisation, de l’industrialisation et surtout les différentes activités agricoles.

Un autre facteur qui a un effet considérable sur la qualité des eaux, surtout dans les régions arides et semi-arides, qui est l’augmentation de la salinité des eaux souterraines surtout pour les aquifères superficiels, résultant du phénomène de l’évaporation (Drever, 7). Les résultats des analyses sont regroupés dans le tableau 5.1.

Table 5.1 : Résultats des analyses physico-chimiques (Nov -Déc 2016)

Physical parameters	Cations (mg/l)			Anions (mg/l)			Saturation index						
	Ca	K	Na	Mg	HCO3	Cl	SO4	SI. Dolomite	SI. Gypsum	SI. 3Halite	SI. Anhydrite	SI. Aragonite	SI. Calcite
Mineralization (mg/L)	230	42	100	162	287	473	576,17	-0,52	-0,72	-5,95	-0,98	-0,43	-0,28
EC µs/cm	260	2	80	198	311	316	1100	-0,37	-0,46	-6,24	-0,72	-0,37	-0,22
T°C	298	1	33	86	105	118	930	0,07	-0,39	-7,03	-0,64	0,06	0,21
pH	305	1	80	140	200	252	987	0,79	-0,41	-6,33	-0,66	0,32	0,47
Echantillon	231	3	62	93	98	90	900	0,33	-0,49	-6,87	-0,74	0,12	0,27
F1	221	4	90	90	125	378	468	1,39	-0,78	-6,11	-1	0,58	0,72
F2	352	4	90	100	125	160	980	1,63	-0,37	-6,5	-0,59	0,77	0,92
F3	208	5	323	125	122	650	924	0,85	-0,63	-5,35	-0,85	0,22	0,37
F4	212	4	62	80	165	46	712	0,78	-0,59	-7,15	-0,84	0,35	0,51
F5	276	3	110	194	224	595	900	-0,05	-0,52	-5,82	0,77	-0,2	-0,05
OUED1	207	10	90	105	254	48	1000	-0,35	-0,53	-6,98	-0,79	-0,34	-0,18
OUED2													
OUED3													
S1													
S2													
S3													

5.3.1 Qualité physicochimique des eaux souterraines

La migration de polluants chimiques est un problème complexe qui dépend à la fois des propriétés du polluant et du contexte géologique et hydrogéologique. L'eau qui s'infiltré dans le sous-sol est le vecteur de transfert d'éléments chimiques vers les eaux souterraines (**Nedjar,2010**).

Les polluants déversés à la surface du sol peuvent subir des modifications importantes avant d'atteindre la nappe souterraine et lorsqu'ils se propagent dans cette dernière.

L'atténuation naturelle du polluant dépendra de sa susceptibilité à être dégradé dans le milieu où il se trouve. Différentes conditions chimiques et bactériologiques conditionnent cette atténuation : milieu oxydant ou réducteur, acidité, toxicité, acclimatation, etc

Certaines substances inorganiques comme les chlorures et les nitrates peuvent parcourir de grandes distances et contaminer de vastes superficies : on dit qu'elles sont mobiles et persistantes (**Bussard, 2005**).

Les résultats d'analyses obtenues sont comparés aux normes de l'OMS et les normes algériennes pour les eaux potables.

5.3.1.1 Variation des paramètres physicochimiques

Las analyses physicochimiques des eaux ont montré des variations spatiales de concentration des éléments chimiques majeurs.

Les paramètres physiques

Ces paramètres ont été mesurés in situ. Il s'agit des paramètres facilement mesurables et utiles pour la détermination de l'état chimique des éléments dans l'eau.

- **Température**

Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux, elle varie en fonction de la température extérieure de l'air. Elle nous renseigne sur la profondeur des eaux, sur les relations et les échanges inter-nappes, sur le temps de résidence. Les valeurs de la température des eaux mesurées varient entre 11.3 et 13.6 °C (**Figure 5.2**).

Globalement, la T° moyenne de l'eau suit celle de l'air qui dépend du climat régional de type aride.

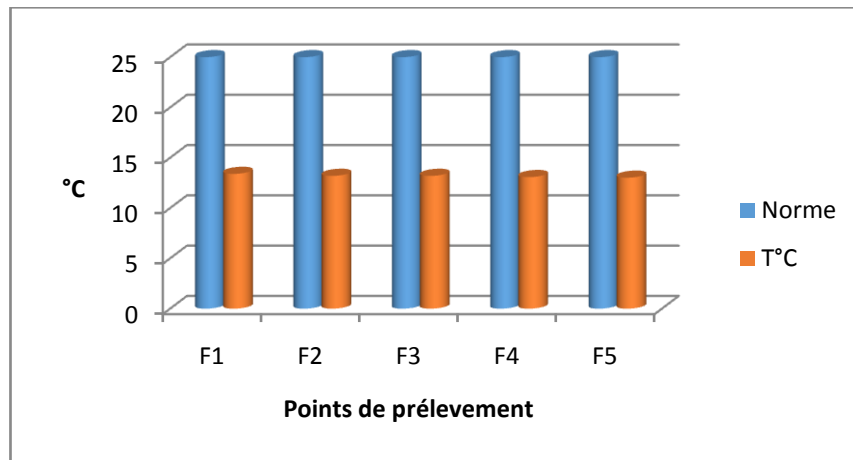


Figure 5.2 : variation spatiale de la température des eaux souterraines de la vallée d'El Ouldja (Nov 2016)

- **Le potentiel d'hydrogène (pH)**

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Dans l'ensemble des eaux échantillonnées, les pH mesurés sont homogènes et se situent autour de la neutralité. Le pH des eaux testées est voisin de la neutralité, compris entre 6.79 et 7.83, ceci indique que les valeurs varient peu et sont proches des valeurs naturelles (Figure 5.3).

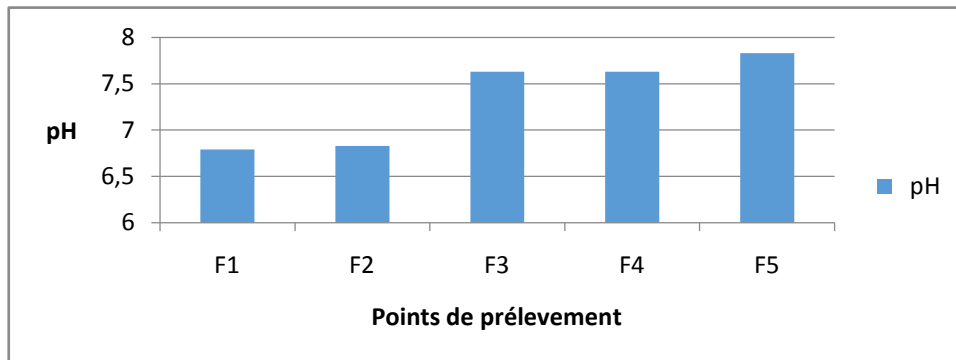


Figure 5.3 : variation spatiale du pH des eaux souterraines de la vallée d'El Ouldja (Nov 2016)

- **Conductivité électrique (CE)**

Traduisant la capacité d'une eau (solution aqueuse) à conduire le courant électrique, la conductivité électrique est directement liée à la force ionique qui découle des formations traversées par cette eau dans le bassin hydrogéologique ainsi qu'à son temps de séjour dans le réservoir. Elle donne ainsi une bonne appréciation sur la minéralisation globale de cette eau. En effet, une eau est d'autant plus conductrice qu'elle est plus minéralisée (Hamit, 2012). Les valeurs de la conductivité de la zone d'étude sont très hétérogènes et sont comprises entre 1406 et 6150 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ supérieures à la valeur maximale recommandée (1500 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) par l'OMS (Figure 5.4). Elles présentent des variations spatiales très importantes s'étalant de façon très

hétérogène dans le la zone d'étude ; les fortes conductivités occupent les forages (F1 ,F2 et F4) point d'eau les plus proche de l'Oued , Nous conduisant que la salinité des eaux augmentent dans le sens d'écoulement, alors que les valeurs les plus faibles ont été enregistrées au niveau de F3 et F5, points les plus loin de l'Oued (choisis comme témoin) .

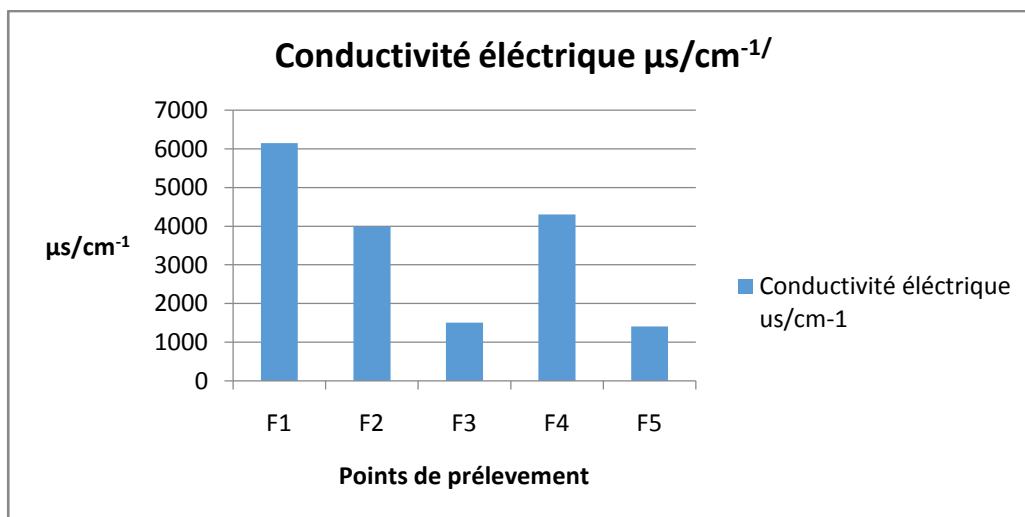


Figure 5.4 : Variation spatiale de la conductivité électrique des eaux souterraines de la vallée d'El Ouldja

Tableau 5.2 : Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité

Conductivité ($\mu\text{s}.\text{cm}^{-1}$) à 25°C	Degré de minéralisation	Pourcentage des points d'eau (%)
< 45	Très faible	00 %
450 - 750	Faible	00 %
750 - 1500	Moyen	20 %
1500 - 2300	Moyennement élevé	20%
2300 - 3000	Elevé	00%
> 3000	Très élevé	60%

Les résultats montrent que les valeurs de la CE enregistrées correspondent à une minéralisation importante pour les eaux puisque celles-ci dépassent $1400 \mu\text{s}.\text{cm}^{-1}$.

- **La dureté totale**

La dureté hydrotimétrique totale de l'eau correspond à la somme des concentrations des ions Calcium (Ca_2^+) et de celle des ions magnésium (Mg_2^+), elle est donnée en degré français (°F).

$$\text{DHT (°F)} = (r \text{Ca}^{++} + r \text{Mg}^{++}) \times 5$$

Dans la région de El Ouldja, la dureté des eaux varie entre (90 et 105°F), caractérisant une eau dure à l'échelle de toute la zone d'étude.

- **La minéralisation**

La minéralisation globale correspond à la teneur totale en sels dissous dans l’eau. Elle est en relation directe avec la conductivité électrique de la solution.

Dans le cas de la zone étudiée, les valeurs de la minéralisation exprimée par le CE allant de (1250 à 3120 $\mu\text{S cm}^{-1}$) (Figure 5.5), les valeurs élevées de cette minéralisation de ses eaux peuvent être exprimées par l’effet de la lithologie ou de la pollution d’origine anthropique.

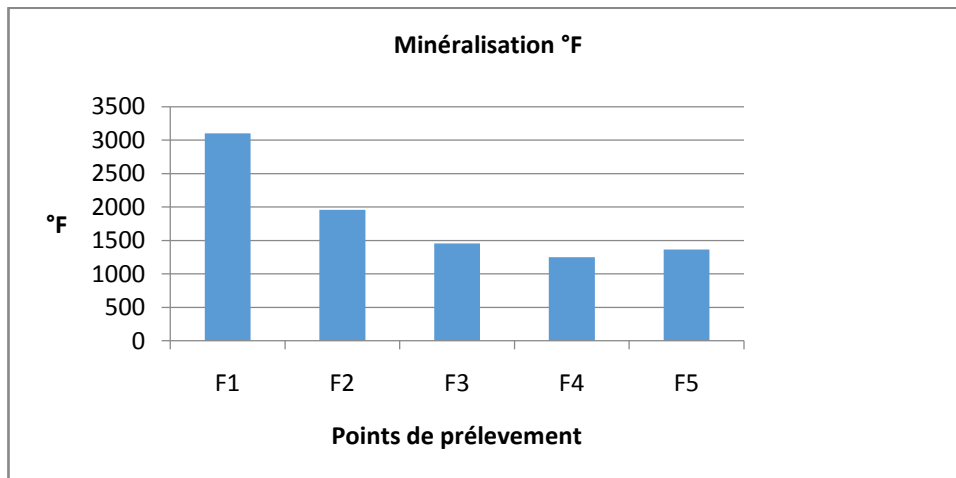


Figure 5.5 : variation spatiale de la minéralisation des eaux souterraines de la vallée d’El Ouldja(Nov2016)

b. Etude analytique des éléments chimiques

- **L’erreur sur la balance ionique**

Sachant qu’une analyse chimique des eaux n’est considérée comme représentative que lorsque la balance ionique est inférieure à 5%, les balances ioniques ont été systématiquement vérifiées pour l’ensemble des échantillons analysés.

Le calcul de la balance ionique est donné par la formule suivante :

$$BI\% = \frac{\sum r \text{ cations} - \sum r \text{ anions}}{\sum r \text{ cations} + \sum r \text{ anions}} \times 100$$

BI% étant le pourcentage d’erreur.

On peut considérer une analyse comme :

- très bonne si $e\% < 2$;
- acceptable si $2 < e\% < 5$;
- mauvaise si $e\% > 5$.

- **Validation des données hydrochimiques**

Pour confirmer la fiabilité des analyses nous allons soumettre les données hydrochimiques à un test statistique et mettre en évidence une corrélation linéaire si elle existe entre la somme des cations et celle des anions ainsi que la conductivité électrique. La figure 5.6 est un modèle représentant et témoignant des résultats d'analyses chimiques de 11 points d'eau prélevés au niveau de la vallée d'El Ouldja.

- **Corrélation entre la somme des cations et la somme des anions**

La corrélation entre la somme des cations et celle des anions (Figure 5.6) montre une évolution de la droite linéaire ; le coefficient de corrélation est proche de 1 ce qui permet de juger le modèle comme bon. Les analyses sont donc dans l'ensemble acceptables, cependant le test de la balance ionique reste obligatoire pour pouvoir éliminer les mauvaises analyses.

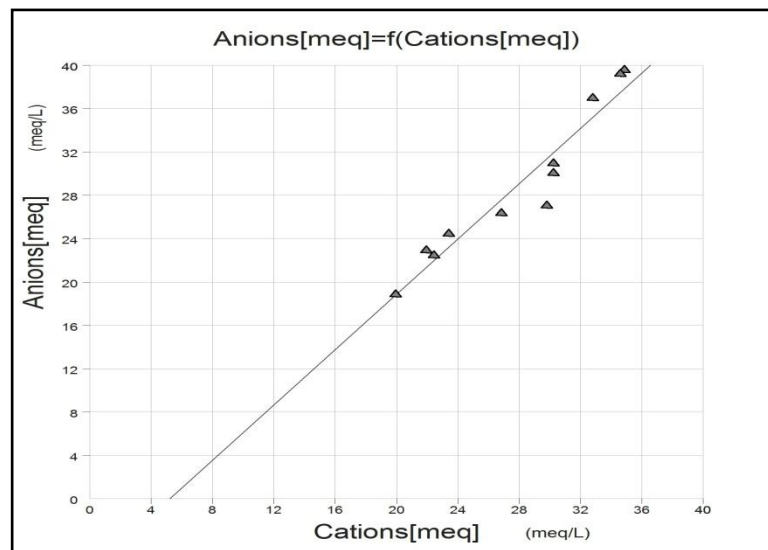


Figure 5.6 : Somme des anions versus somme des cations.

C. Les paramètres chimiques

- **Le calcium Ca²⁺**

Le calcium, élément principal de la dureté de l'eau, est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Dans les roches sédimentaires, il se présente sous forme de carbonates (calcite, dolomite et aragonite) (Drever, 1997). Le calcium fait partie de quelques minéraux évaporitiques à savoir le gypse et l'anhydrite (Hem, 1985).



Les résultats de mesure obtenus (Figure 5.7) montrent une richesse d'eau en élément Ca²⁺ avec une valeur minimale de 207 mg/l , une valeur maximale de 352 mg/l et une moyennes de l'ordre de 254 mg/l, cette richesse est liés à la présence des croûtes de calcaire et a la dissolution des carbonates (Drever, 1997).

- **Le magnésium Mg^{2+}**

Le Magnésium provient principalement de la dissolution des dolomies, des calcaires et marnes dolomitiques. Il est faiblement présent dans les eaux de pluie en général. La présence du Magnésium, dont la cinétique d'acquisition chimique est lente, caractérisera des eaux qui ont séjourné longtemps dans les blocs capacitifs donc à transit lent



Les résultats de mesure obtenus (Figure 5.8) montrent une richesse d'eau en élément Mg^{2+} avec une valeur minimale de 80 mg/l, une valeur maximale de 198 mg/l et une moyennes de l'ordre de 129 mg/l, cette richesse est liés à la dissolution des carbonates (Drever, 1997).ou bien qu'il y a une contamination de la nappe par les eaux d'Oued.

- **Sodium**

Le Sodium est toujours présent dans l'eau provenant du lessivage des formations géologiques riches en Na Cl et de la dissolution des formations argileuses et marneuses.

Les teneurs en sodium observées pour l'ensemble des points d'eaux souterraines de la vallée (Figure 5.9) varient entre 33 mg/l comme valeur minimale, 323 mg/l comme valeur maximale et une moyenne de 101 mg/l. Cette forte concentration liée à la dissolution des minéraux susceptibles de se former par évaporation des eaux chargées de sels et par dissolution des formations évaporitiques (Hsissou et al 1996).

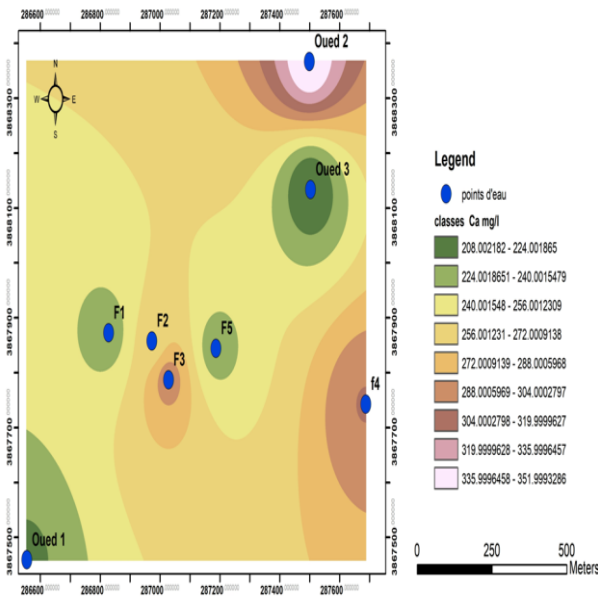


Figure 5.7 : Teneurs en Ca^{2+} ($mg.L^{-1}$) dans les eaux souterraines (Nov 2016).

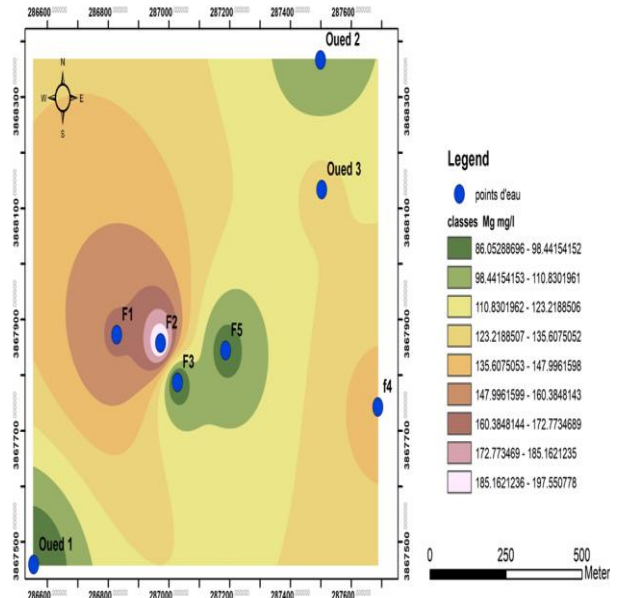


Figure 5.8 : Teneurs en Mg^{2+} ($mg.L^{-1}$) dans les eaux souterraines (Nov 2016).

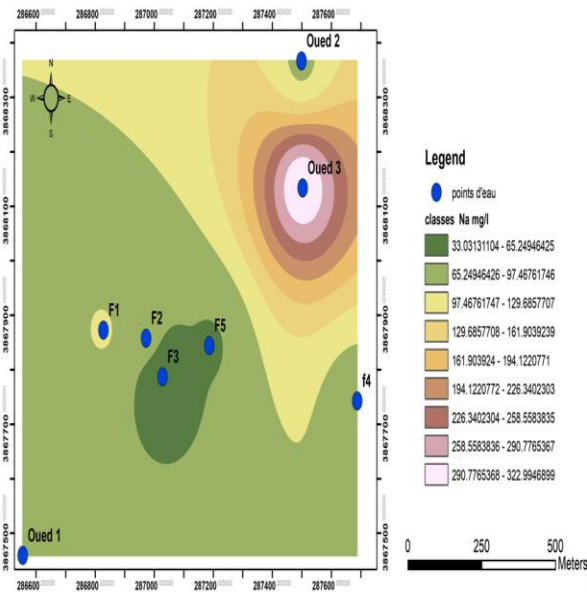


Figure 5.9 : Teneurs en Na^{+} ($mg.L^{-1}$) dans les eaux souterraines (Nov 2016).

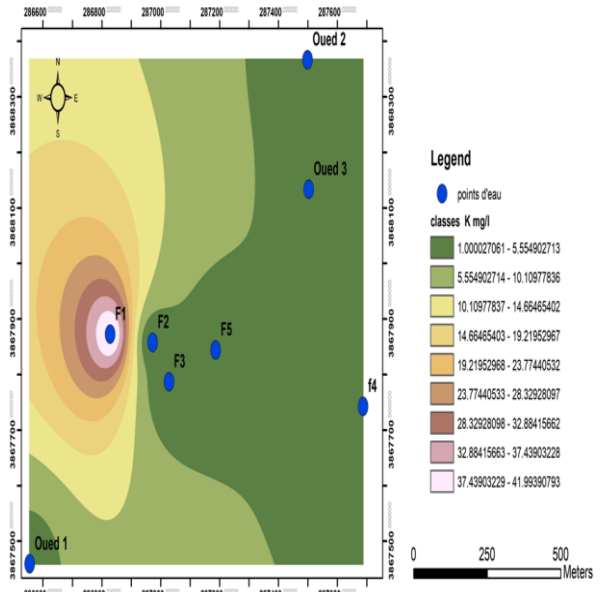


Figure 5.10 : Teneurs en K^{+} ($mg.L^{-1}$) dans les eaux souterraines (Nov 2016).

d. Anions majeurs

- **Chlorure**

Les chlorures rencontrés en grande quantité dans les eaux souterraines, proviennent de la dissolution et lessivage des terrains salifères.

L'analyse montre montrent une richesse d'eau en élément Cl^- avec une valeur minimale de 33 mg/l, une valeur maximale de 323 mg/l et une moyennes de l'ordre de 284 mg/l, (Figure 5.11), Les fortes valeurs de chlorures liée à la dissolution des minéraux susceptibles de se former par évaporation des eaux chargées de sels et par dissolution des formations évaporitiques (Hsissou et al 1996). Une concentration élevée de Cl peut provoquer l'eczéma et l'érythème (Belaid, 2010).

- **Sulfate**

Composés naturels des eaux, ils sont liés aux cations majeurs : calcium, potassium et sodium. Ils proviennent essentiellement de la dissolution du gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Une autre source de sulfates peut être attribuée à l'infiltration de sulfure utilisé comme fertilisant ou comme pesticide.

Les teneurs en sulfates observées pour l'ensemble des points d'eaux souterraines de la vallée (Figure 5.12), varient entre 580 mg/l (F1) comme valeur minimale mesurée près des affleurements calcaires et 1100 mg/l (F2) comme valeur maximal. Ceci peut être lié à une dissolution des formations riches en SO_4 .

- **Les bicarbonates HCO_3**

Ils proviennent de la dissolution des roches carbonatées dans l'eau, en fonction de la teneur en CO_2 de la température, du pH et de la nature lithologique des terrains traversés.

La Figure de bicarbonates (Figure 5.13), montrent une richesse d'eau en élément HCO_3 avec une valeur minimale de 98 mg/l(F5) et une valeur maximale de 311 mg/l(F2) et une moyennes de l'ordre de 183 mg/l. L'accroissement de la teneur des bicarbonates juste à la sortie des calcaires maestrichtien est attribué à leur grande solubilité. En s'éloignant des affleurements, les eaux deviennent saturées et les carbonate précipitent et leur teneur diminue dans les eaux souterraines (Djoudi, 2018).

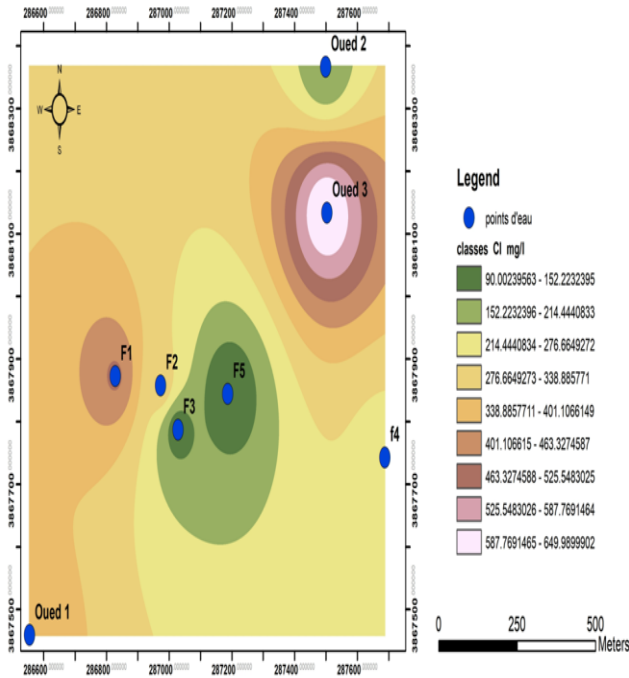


Figure 5.11 : Teneurs en chlorure Cl^- ($mg.L^{-1}$) dans les eaux souterraines (Nov 2016).

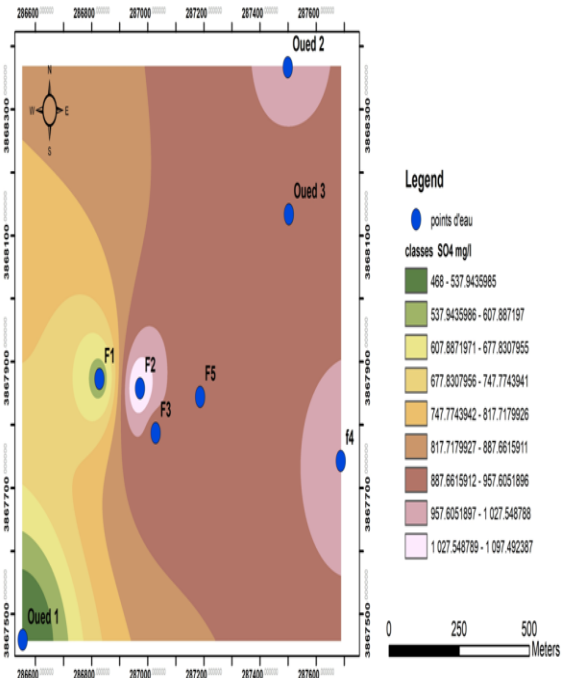


Figure 5.12 : Teneurs en Sulfates SO_4^{2-} ($mg.L^{-1}$) dans les eaux souterraines (Nov 2016).

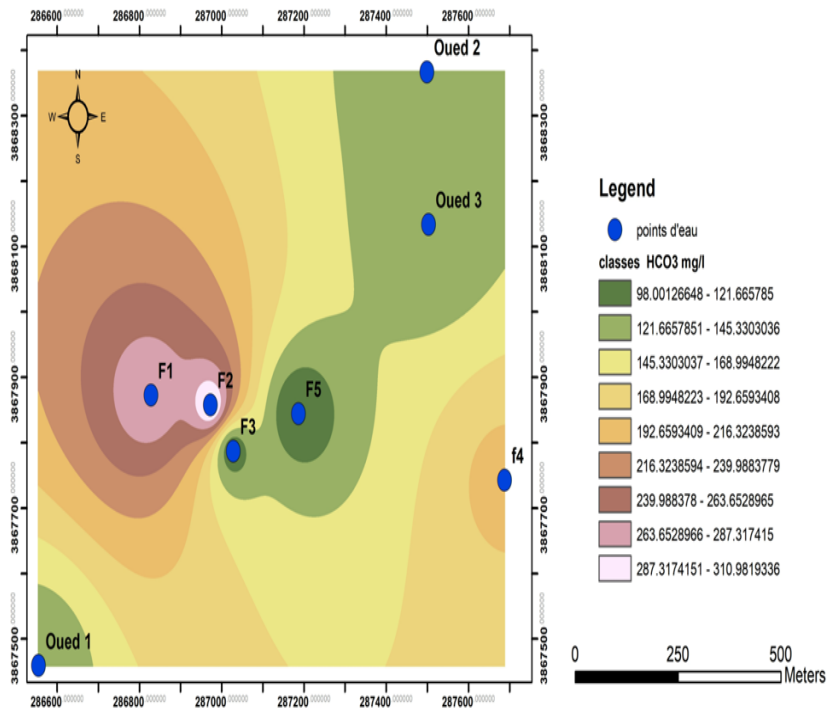


Figure 5.13 : Teneurs en bicarbonates HCO_3 ($mg.L^{-1}$) dans les eaux

souterraines (Nov 2016).

- **Les nitrates**

La présence des nitrates est généralement associée aux signes de pollution d'origine anthropique (agricole, égouts, fosses septiques,). Les nitrates sont extrêmement mobiles dans les sols et s'accumulent, après infiltration dans les nappes phréatiques.

La Figure de nitrates (Figure 5.14), montrent une pauvreté d'eau en élément No3 avec une valeur minimale de 0 mg/l et une valeur maximale de 2.21 mg/l et une moyennes de l'ordre de 1.54 mg/l

Cette moyennes est inferieure à la norme de potabilité (50mg/l), Donc la vallée d'El Ouldja ne présent aucun signe de pollution d'origine anthropique.

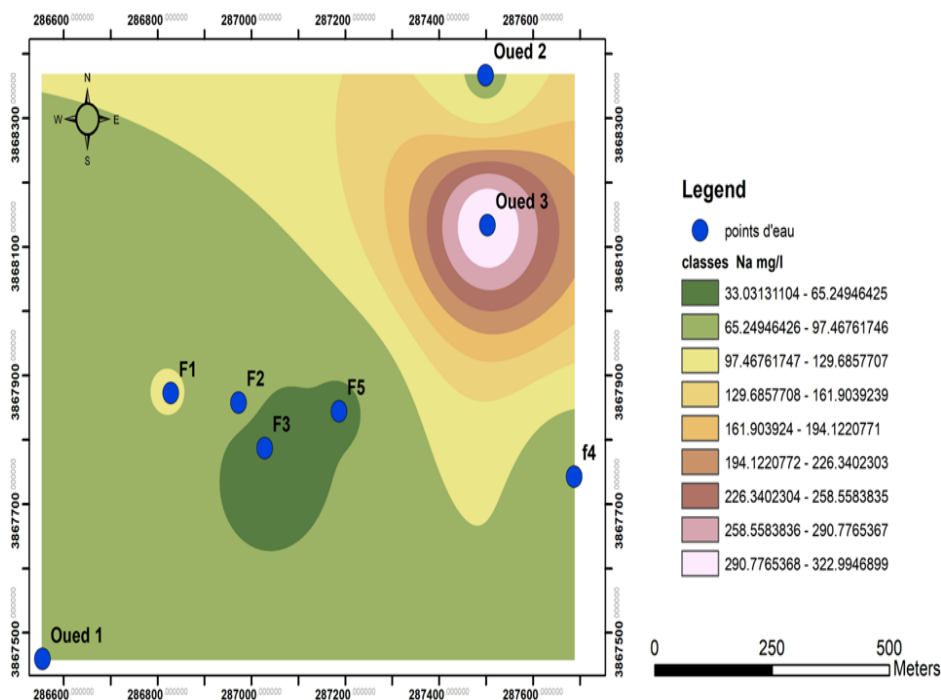


Figure 5.14 : Teneurs en (No3) dans les eaux souterraines (Nov 2016).

5.3.2 Qualité physicochimique des eaux superficielles

- **Conductivité électrique**

A partir de la conductivité électrique on peut évaluer le degré de la salinité de l'eau, elle est aussi fonction de la température ; elle augmente avec la concentration des ions en solution et la température.

Les résultats obtenus permettent de dire que la conductivité électrique au niveau d'Oued El Arab 3 est de 2391 m s/cm, puis elle chute progressivement pour atteindre une valeur de 1504 m s/cm au niveau de l'Oued 1 (Figure 5.15).

Les eaux d’Oued Arab 1 sont faiblement minéralisées. Au niveau de la cuvette on assiste à une dilution de toutes ces eaux où on assiste à une chute de la conductivité électrique.

Pendant la période d’étude on remarque que les valeurs de la conductivité électrique sont comprises entre (2000-5230 $\mu\text{s}/\text{cm}$). Pour les sources (S1-S3) qui sont situées sur Oued El Arab (Figure n°32) les conductivités sont très élevées, elles sont supérieures aux normes de l’OMS. Cette forte minéralisation est liée à la présence des marnes gypsifères dans cette région.

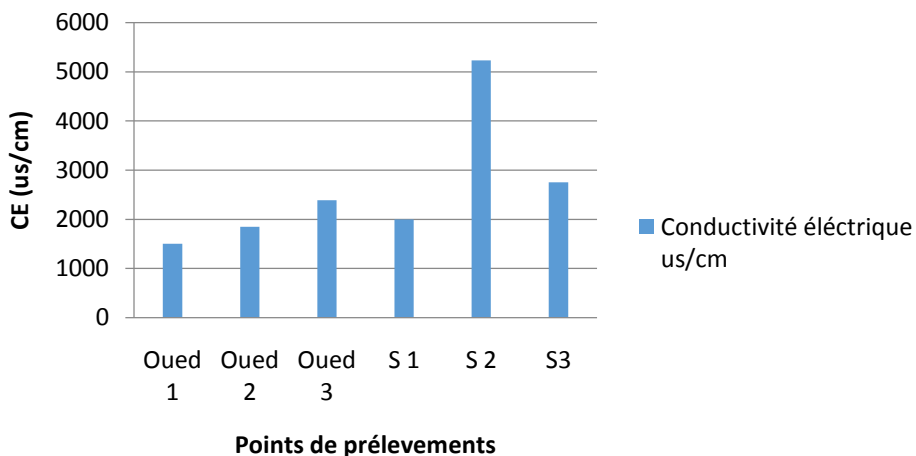


Figure 5.15: variation spatiale de la conductivité électrique des eaux superficielles de la vallée d’El Ouldja

- **Potentiel d’hydrogène (pH)**

Les valeurs du PH mesurées au niveau des différentes stations (Oued et source) varient entre (7.05 et 8.07). Ces valeurs se trouvent dans l’intervalle des normes de potabilité de l’OMS Tableau n°34 et Figure 5.16. Les valeurs de pH sont identiques pour l’ensemble du bassin versant et pratiquement stable dans le temps et dans l’espace.

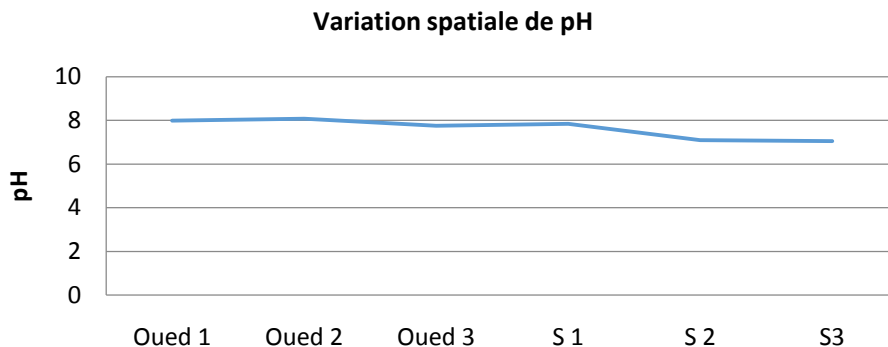


Figure 5.16: variation spatiale du pH des eaux superficielles de la vallée d’El Ouldja

Cations et Anions majeurs

Selon les résultats d'analyses la chimie des eaux :

- les eaux de Oued El Arab sont caractérisées par une grande variation des concentrations des éléments chimiques : Na^+ (90-323 mg/l) et Cl^- (160-378 mg/l), SO_4^- (468-980 mg/l) , Ca (208 - 352 mg/l), Mg (90-125 mg/l) , et HCO_3^- (122-125 mg/l), NO_3^- (0-0.78 mg/l) (Figure 5.15) .
- les eaux des sources sont caractérisées par une grande variation des concentrations des éléments chimiques : Na^+ (62-110 mg/l) et Cl^- (46-595 mg/l), SO_4^- (720-1000 mg/l) , Ca (207 - 276 mg/l), Mg (80-194 mg/l) , et HCO_3^- (165-254 mg/l), NO_3^- (0.155-2.697 mg/l) (Figure 5.16) .

La grande variabilité des sulfates proviennent de la dissolution des formations gypseuses. Ces fortes concentrations peuvent être attribuées au contact direct de ces eaux avec les argiles gypseuses et les formations carbonatés et dolomitiques limitrophes. On remarque que la variation des concentrations du magnésium est similaire à celle du calcium pour le magnésium où les fortes concentrations sont liées aux sulfates, On remarque aussi les faibles concentrations d'éléments indicateurs de pollution agricole (nitrates)

Pour notre région d'étude, les origines de cet élément sont liées aux formations géologiques comme les argiles, les marnes et le gypse. On assiste au même schéma pour les autres éléments.

Tableau 5.3 : Qualité des eaux de sources des eaux de la vallée d'El Ouldja.

Eléments chimiques	DHT (°F)	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Cl mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Faciès chimique
Valeurs extrêmes international de l'OMS	50(°F)	140 mg/l	150 mg/l	150 mg/l	250 mg/l	50 mg/l	/
Source 1	89.66	212	90	46	712	0.78	Passable à médiocre
Source2	103.80	276	100	595	900	4.58	Médiocre à mauvaise
Source 3	88.60	207	125	48	1000	0	Passable à médiocre

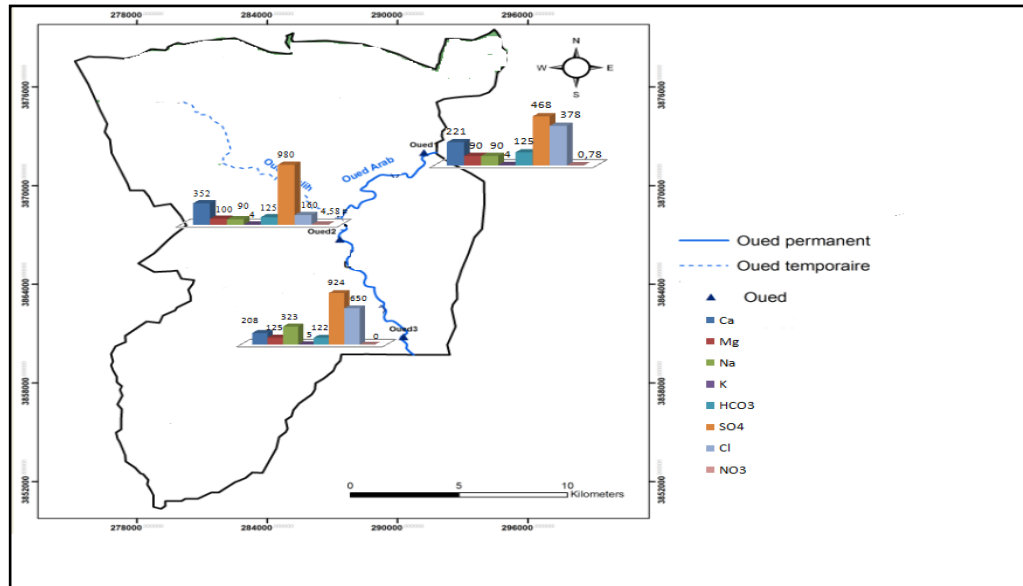


Figure 5.17: Variation spatiale des cations (Ca^{2+} , Na^+ et $\text{Mg}^{2+} + \text{k}^+$) et des anions (SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO et Cl^-) en mg/l des eaux d'Oued El Arab de la vallée d'El Ouldja

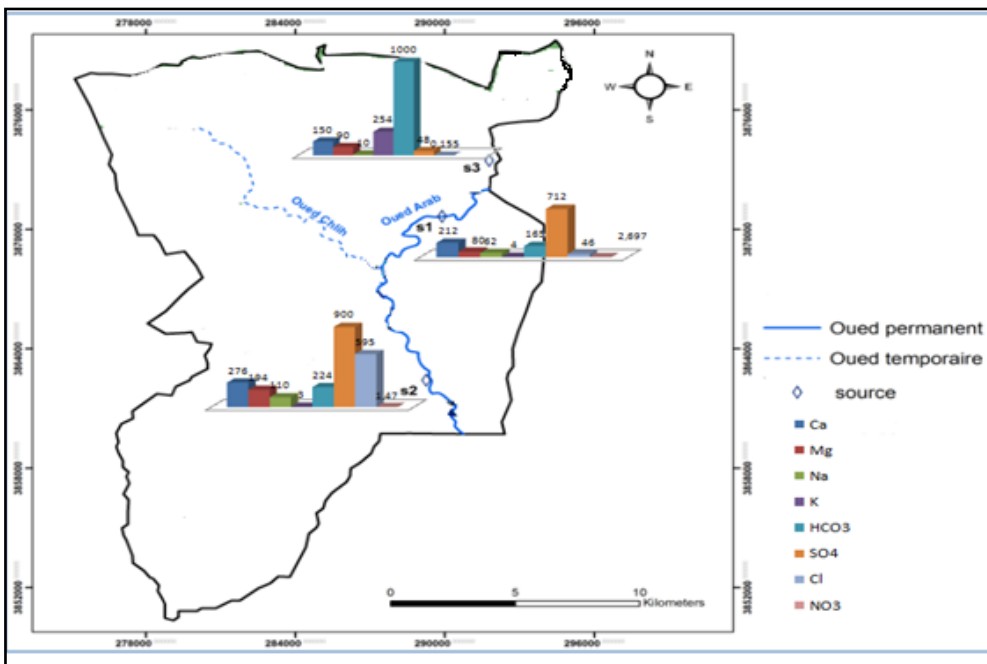


Figure 5.18: Variation spatiale des cations (Ca^{2+} , Na^+ et $\text{Mg}^{2+} + \text{k}^+$) et des anions (SO_4^{2-} , HCO_3^- et Cl^-) en mg/l des eaux des sources de la vallée d'El Ouldja

5.3.3. Paramètres bactériologiques

L'analyse bactériologique permet de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau. Les organismes pathogènes sont très nombreux et très variés et ne peuvent donc pas faire l'objet d'une recherche spécifique.

De plus leur identification est très difficile voire impossible dans le cas des virus car leur durée de vie peut être très courte. Pour ces différentes raisons, il est préalable de rechercher des germes qui sont toujours présents en grand nombre dans la matière fécale des hommes et des animaux à sang chaud, qui se maintiennent plus facilement dans le milieu extérieur qui sont : les Germes totaux, les Coliformes totaux, les Coliformes fécaux, les Streptocoques fécaux, les salmonelles et les *Clostridium* sulfito-réducteurs (Tableau 5.4).

Tableau 5.4 : Résultats des analyses bactériologiques des eaux de la vallée d'El Ouldja

Analyse	Normes	F1	F2	F3	F4	F5	Oued1	Oued2	Oued3	S1	S2	S3
Germes totaux	20	15	20	18	20	11	38	50	46	16	14	13
Coliformes totaux	10	11	21	9	9	7	21	32	24	13	21	11
Coliformes fécaux/100ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Streptocoques D/50ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clostridium sulfito-reducteurs a 46°/ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clostridium sulfito-reducteurs a 46°/20ml	5	0	5	0	2	0	5		5	5	4	5
Salmonelle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

• **Les Germes totaux**

Les germes totaux à 37°C sont des bactéries d'origine intestinale (humaine ou animale) (El Haissoufi et al, 2011; CEAEQ, 2011).

Les résultats obtenus montrent que la majorité des prélèvements des Oueds contient dans leurs eaux des germes totaux (Figure 5.19) les eaux de forages et sources qui sont potables par l'absence totale de ces germes, A l'exception du F2 contamination de ces eaux par les germes totaux pourrait être due à la mauvaise protection de forage (forage à ciel ouvert), la méconnaissance des règles élémentaires d'hygiène La contamination eaux des oueds par les germes totaux pourrait être due la pollution avoisinante (élevage des bétails, existence des fosses septiques et des latrines) et l'absence d'un réseau d'assainissement (Figarella et Leyral ,2002).

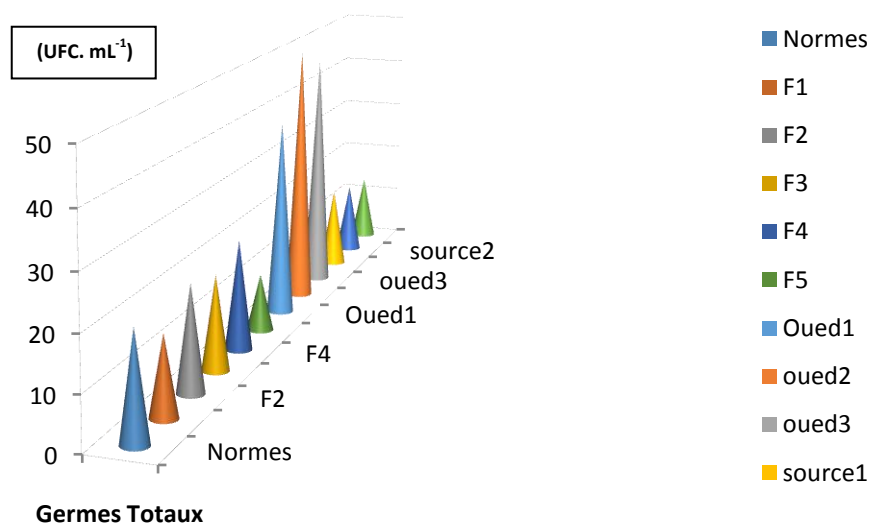


Figure 5.19: Variation des Germes totaux dans les eaux étudiés.

• **Les Coliformes totaux**

Les coliformes totaux sont d'origine animale et humaine, leur présence dans l'eau indique une contamination récente par des matières fécales (Chevalier, 2003).

La figure 5.20 montre la présence à des concentrations élevées des coliformes totaux dans toutes les eaux étudiées durant la période d'observation :

On constate que La concentration minimale est obtenue au niveau du F5 ET S1 (7UFC.100 ml-1).

Tandis que la concentration maximale est obtenue au niveau Des oueds (1,4x103 UFC.100mL-1). Ces valeurs sont élevées en comparaison avec les normes de l'OMS (1994) (<10 UFC.100ml-1).

Cette contamination est causée par les rejets domestiques, par la proximité des forages avec des fosses septiques et par l'infiltration d'eau de surface dans les forages (El Haissoufi et al.2011) .

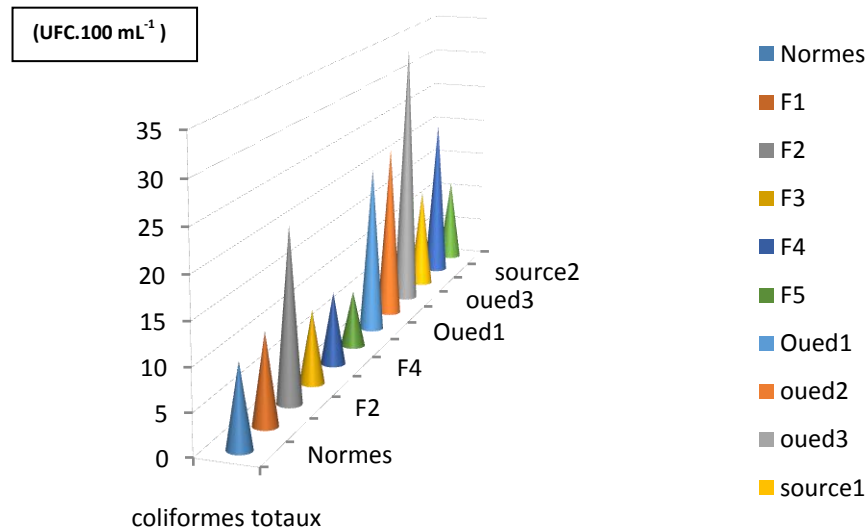


Figure 5.20: Variation saisonnière des Coliformes totaux dans les eaux étudiés

• **Les Coliformes fécaux (E. coli)**

La présence des coliformes thermotolérants, signe l'existence quasi certaine de la contamination fécale d'une eau (Richard, 1996; Figarella et Leyral, 2002; Rodier et al., 2009;El Haissou et al., 2011). L'OMS (2004), énonce que la présence d'E.coli, apporte la preuve incontestable d'une pollution fécale récente. Les eaux étudiées sont conformes à la norme de potabilité, elles sont dépourvues de ces germes (0UFC.100mL⁻¹).

• **Les Streptocoques fécaux**

La détection d'entérocoques dans une nappe d'eau souterraine doit faire penser à une contamination d'origine fécale et la présence de micro-organismes entéropathogènes (Chevalier, 2002; Ladjel, 2009). Selon

Figarella et Leyral (2002) ; Rodier et al. (2005), la présence des streptocoques fécaux doit s'accompagner de la présence de coliformes fécaux pour être certain d'une contamination fécale d'une eau d'alimentation.

Les analyses bactériologiques effectuées sur tous les échantillons d'eaux montrent une absence totale de ces germes.

- **Les Clostridium sulfito-réducteurs**

Les *Clostridium* sulfito-réducteurs sont des germes capables de sporuler et de se maintenir longtemps dans l'eau. Ils sont donc les témoins d'une pollution ancienne. Plus difficilement tués que les coliformes par les désinfectants, ils constituent donc un bon indicateur de l'efficacité de la désinfection (**Hamed et al., 2012**).

D'après la figure 5.21, 50% des eaux étudiés sont d'excellente qualité à l'exceptions de : F2, Oued2, Oued3, S1 et S3 est contaminés par les bactéries anaérobies sulfito-réductrices dont le l'ordre de 5 UFC.20mL⁻¹. est donc considéré comme conforme aux normes de l'OMS qui recommandent un nombre maximal de 5 UFC.20mL⁻¹ (**OMS, 1994**).

Selon **Guessoum et al. (2014)**, la présence des spores des anaérobies sulfito-réducteurs dans une eau naturelle fait penser à une contamination fécale et en l'absence de bactéries coliformes, à une contamination ancienne. Elles sont très persistantes et leur présence est un bon indicateur de la vulnérabilité des aquifères et des forages (**Travel et al., 2006**).

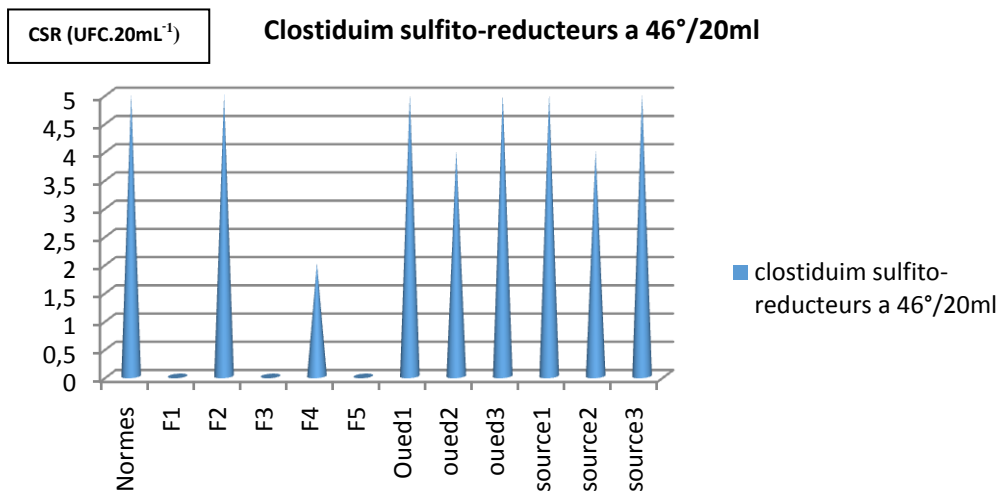


Figure 5.21 : Variation des *Clostridium* sulfito-réducteurs dans les eaux étudiées.

- **Les salmonella**

Les résultats obtenue de démembrements des salmonelles dans tout les eaux étudiés montre un absence total des salmonella donc sont d'excellente qualité.

5.4 Faciès chimiques des eaux

5.4.1 Répartition graphique

L'interprétation des résultats des analyses a pour but de déterminer les Faciès chimiques et d'effectuer une comparaison spatio-temporelle. Parmi les méthodes graphiques les plus utilisées, celle de **SCHOELLER et BERKALOFF (1935-1938)**, **PIPER (1944)** et celle de **Durov (1948)**,

5.4.1.1 Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper en figure a été construit avec le programme Piper issu du logiciel DIAGRAMME (**Simler, 2004**), ceci afin de déterminer les faciès chimiques. En effet, ce diagramme permet de représenter sur un même graphique des nombreuses analyses autorisant des regroupements des faciès chimiques. La projection des résultats des analyses chimiques sur les d L'analyse des paramètres chimiques montre que les eaux de la nappe du Plio-Quaternaire sont caractérisées par l'abondance des ions (SO_4 , Ca^{+2} , Cl^- , Mg^{+2} , Na^+).

Le rapport des résultats des analyses des eaux de l'aquifère Plio-quaternaire sur le diagramme **PIPER (Figure 5.22)** montre que les eaux de la vallée d'El Ouldja sont marquées généralement par les sulfates qui s'accompagnent tantôt de calcium, tantôt de magnésium et tantôt des chlorures, ceci est en liaison directe avec la présence des marnes gypseuses et des formations carbonatées notamment les calcaires et les dolomies de l'Albien.

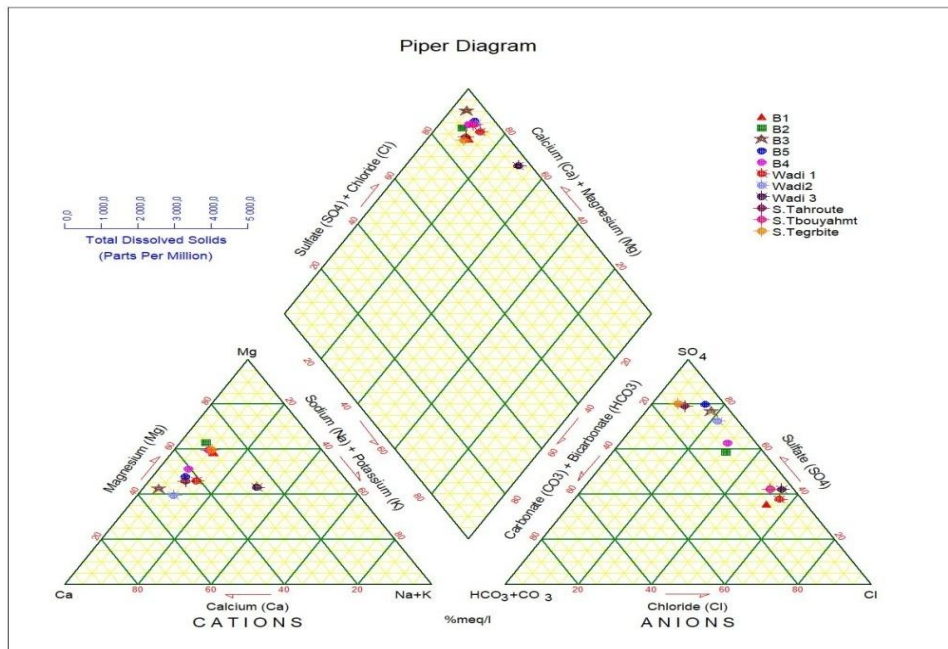


Figure 5.22: Diagramme triangulaire de Piper pour la zone d'étude. (Nov - Dec 2016).

5.4.1.2 Classification de Schoeller– Berkaloff

Ce diagramme (Figure 5.23) est composé de sept échelles logarithmiques verticales équidistantes, correspondant aux principaux éléments chimiques obtenus par l'analyse.

Cette représentation permet de :

- Représenter sur un même diagramme plusieurs eaux, ce qui favorise la corrélation ainsi que la comparaison.
- Déterminer le pH d'équilibre, qui donne une idée sur le caractère agressif, neutre ou incrustant de l'eau.
 - Si le pH mesuré est supérieur au pH d'équilibre, on dit que l'eau est incrustante.
 - Si le pH mesuré est égal au pH d'équilibre, on dit que l'eau est neutre.
 - Si le pH mesuré est inférieur au pH d'équilibre, on dit que l'eau est agressive.

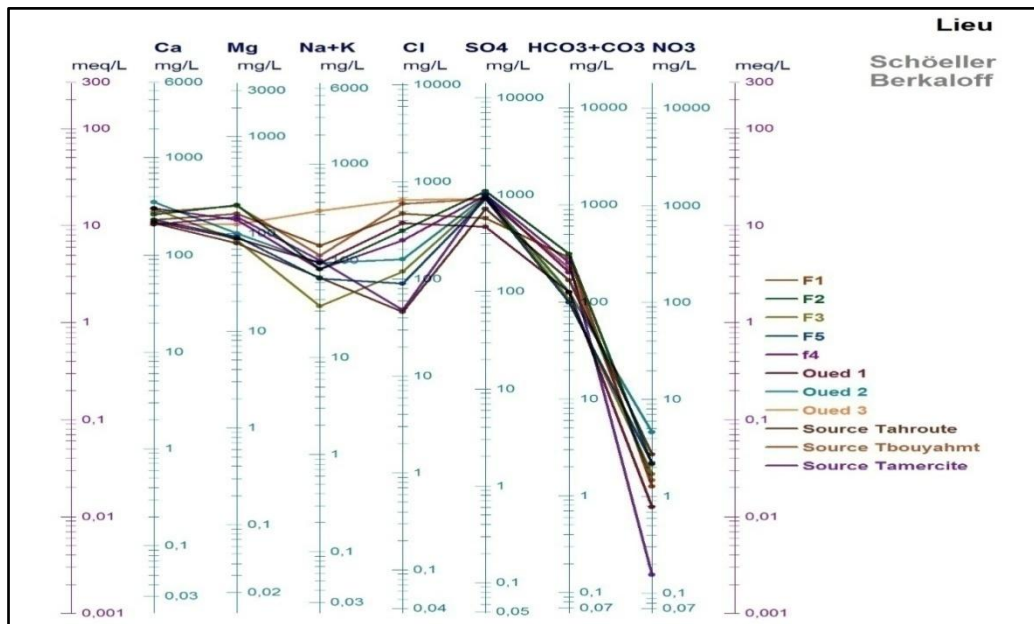


Figure 5.23 Classification de Schoeller- Berkaloff des eaux de la vallée d'El Ouldja (Nov-Dec 2016)

5.4.1.3 Diagramme de Durov

Le diagramme de Durov (1948), construit sur la base des teneurs relatives (en meq/l) des ions majeurs en solution permet de visualiser la distribution des compositions des échantillons. Ce graphique permet de distinguer facilement les échantillons de $(\text{Na}^+, \text{Ca}^{++})\text{-HCO}_3^-$ de ceux de type $(\text{Na}^+\text{-Ca}^{++})\text{-Cl}^-$, respectivement nommés le type bicarbonaté et chloruré (Gasscoyne et Kamineni, 1994; Toth, 1999).

Le pourcentage des cations majeurs (Ca^{++} , Na^{+} , K^{+} et Mg^{++}) et des anions majeurs (Cl^{-} , SO_4^{-} , HCO_3^{-} et CO_3^{-}) sont tracés respectivement sur deux triangles distincts, puis projetés sur une grille carrée unique à la base de chaque triangle et la minéralisation de chaque échantillon. Les résultats obtenus permettent de distinguer cinq faciès chimiques:

- F3. F4. F5. S1. Oued 2 sulfates calcique.
- F2 .S3 S2 sulfatées magnésien
- F1 chlorurée et magnésien.
- Oued 1 chlorurée calcique
- Oued 3 sulfatées sodique

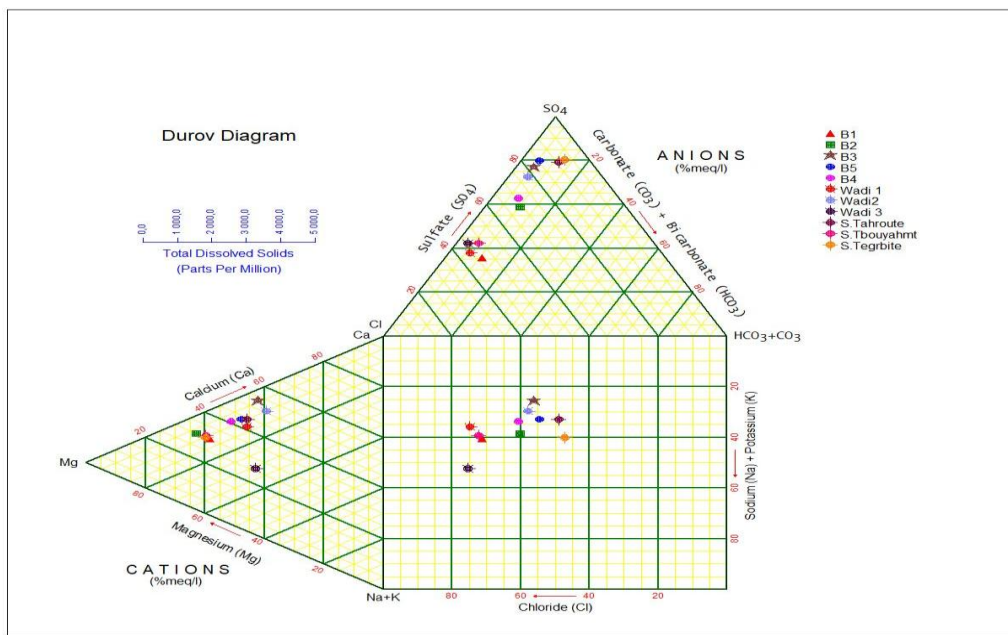


Figure 5.24 Diagramme de Durov des eaux de la vallée d'El Ouldja (Nov-Dec 2016)

5.5 Etude des processus hydrogéochimiques

5.5.1 Relations des éléments majeurs en fonction de chlorure

Pour mieux comprendre le processus de minéralisation des eaux souterraines, nous avons représenté les éléments majeurs en fonction des chlorures (Houha, 2007) (Figure 5.25). Ce dernier est un élément conservé, qui ne participe pas aux interactions eau-roche, il caractérise l'origine de la salinité des eaux et constitue un traceur de mélange (El Achheb et al 2001). La disposition des différents points d'eaux analysés par rapport à la ligne de mélange eau douce-eau salée (eau de pluie-eau de mer) peut être de grande utilité pour identifier d'autres phénomènes qui sont annexés au processus de mélange. Les eaux souterraines des différents points

d'eau montrent en général un enrichissement en Ca^{+2} et SO_4^{-2} , un appauvrissement en Na^+ , K^+ , tandis que pour le Mg^{+2} , on a une dispersion des points autour de la droite de mélange.

Les réactions majeures reconnues comme responsables d'enrichissement ou d'appauvrissement des éléments dans les eaux souterraines sont l'échange Ca^{+2} , Mg^{+2} dû à l'interaction eau-roches carbonatées, l'échange de base $Na^+ - Ca^{+2}$ ou $Na^+ - Mg^{+2}$, la réduction ou la dissolution des sulfates (**El Achheb et al 2001**).

Dans un environnement carbonaté, l'enrichissement simultané de Ca^{+2} et l'appauvrissement de Mg^{+2} est expliqué surtout par le phénomène d'interaction eau roche comme la dolomitisation, dissolution et précipitation (**El Achheb et al 2001**).

La réaction d'échange $Ca^{2+} - Mg^{2+}$ par dolomitisation a été signalée comme cause principale de diminution du rapport Mg/Ca dans les eaux des aquifères carbonatés. Cette diminution est progressive selon l'âge croissant des terrains aquifères, contrôlée par l'équilibre entre calcite et dolomite et fortement dépendante de la température (**Bouhlassa et al 2008**).

La réaction des sulfates favorise la dissolution des minéraux carbonatés. Ceci pourrait changer d'avantage le rapport Mg/Ca .

La faisabilité des échanges de base de $Na^+ - Ca^{+2}$ ou $Na^+ - Mg^{+2}$ a été démontrée sur des roches carbonatées, par des expériences au laboratoire (**Selvakumar et al 2017**). Ce dernier a démontré qu'un faible pourcentage d'argile dans les roches carbonatées pourrait aboutir à des changements appréciables des concentrations en Na^+ , Ca^{+2} et Mg^{+2} dans les eaux salées par échange de base. La relation entre Ca^{+2} et Cl^- que la majorité des points d'eau se placent au dessous de la droite de mélange (eau douce-eau salée.). L'enrichissement en Cl^- observé peut être approché à des activités anthropogéniques (**Al-Droubi et al 1980**).

La relation SO_4^{-2} et Cl^- montre que la majorité des points d'eau se placent au dessous de la droite de mélange et que le rapport SO_4/Cl est en faveur des sulfates. L'enrichissement des points en sulfates est lié à la présence des formations évaporitiques ou salifères sur les limites et dans le substratum marnogypsifère sont oublier. La contamination d'origine agricole (**Tardy 1980; Hamed et al 2014; Tweed et al 2011**).

Dans cette région l'infiltration des eaux d'irrigation et pluviométrique chargées en sels et fertilisants (les sulfates constituent l'un des principaux composants des fertilisants utilisés dans la région) se trouve facilité par la faible profondeur de la nappe (2m près de Oued EL Arab, 15 m sur les limites) et la bonne perméabilité des terrains aquifères (**Edmunds et al 2003; Trabelsi et al 2005**).

Le déficit en Na^+ est expliqué par le phénomène d'échange de base ionique entre l'eau et l'aquifère et se traduisant par une adsorption de Na^+ et une libération de Ca^{2+} . (**Hamed et al 2014; Demdoun and Djebbar 2009; Benaabidate 2000**). Ces eaux sont contrôlées surtout par des réactions d'échange cationique entre l'eau et les argiles rouges du Pontien se traduisant par une fixation du sodium et libération du calcium.

La relation entre Mg^{+2} et Cl^- montre un enrichissement de près de 50 % des échantillons d'eau analysé par rapport à la droite de mélange. Cet enrichissement peut être dû à la dissolution de la dolomite.

La relation entre K^+ et Cl^- montre que la plupart des points se trouve au dessous la ligne de mélange, à l'exception de certains points se rapprocher de cette ligne, ce qui montre que l'origine la plus probable serait la pollution (**Hassad et al 2017; Kendouci et al 2016**)

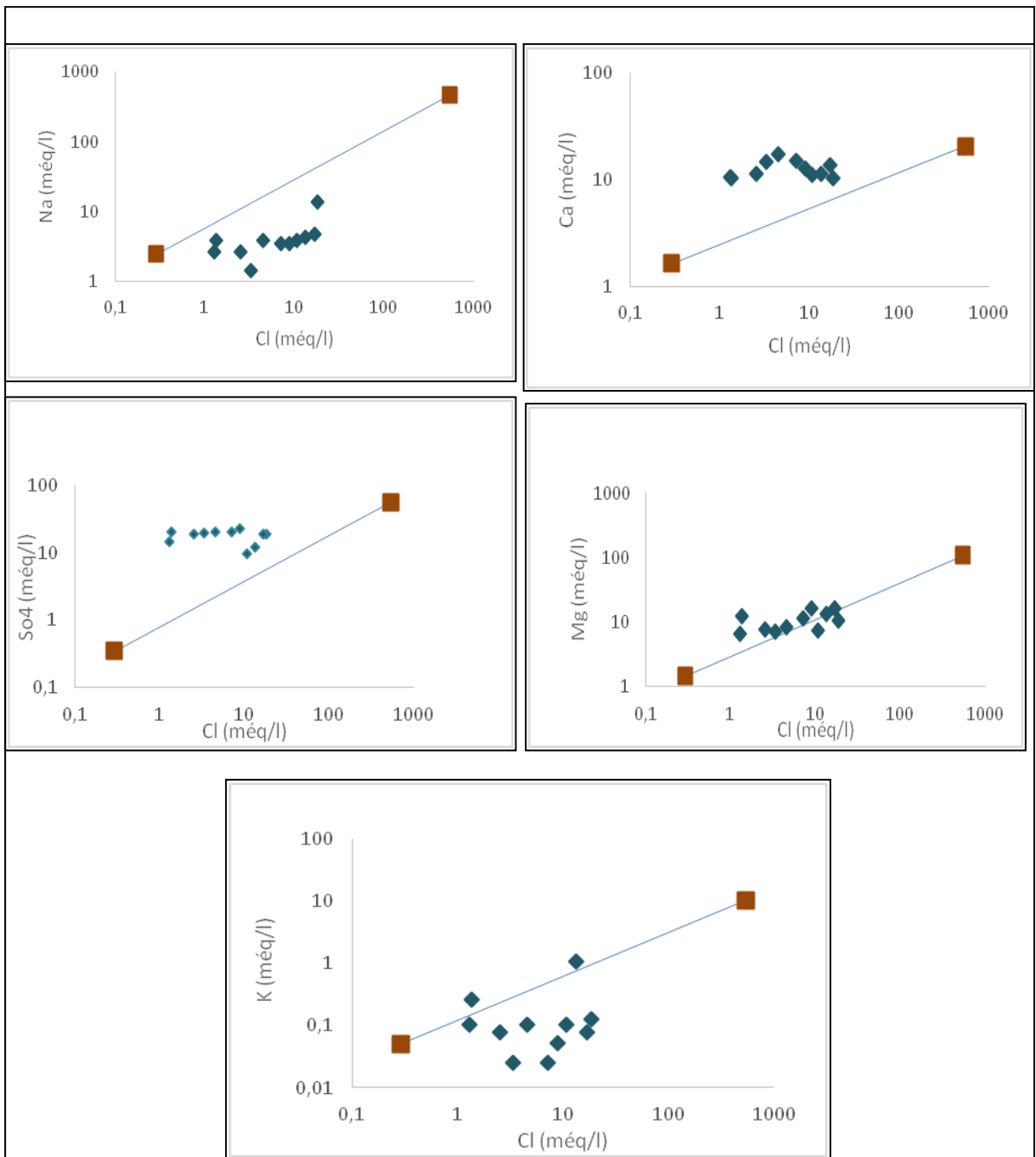


Figure 5.25 Variation de la concentration des éléments majeurs en fonction du Chlorure des eaux des sources de la vallée d'El Ouldja. Nov-Dec 2016.

5.6 Aptitude des eaux à l'irrigation

L'irrigation avec des eaux riches en sels peut entraîner la fixation du sodium par le complexe adsorbant du sol, donc un processus de salinisation, avec ses conséquences éventuelles pour les propriétés du sol : tendance à la dispersion des argiles, à la dégradation de la structure, à la perte de perméabilité et à l'asphyxie des

plantes. L'intensité du processus de salinisation dépend des caractéristiques du sol, de la qualité des eaux utilisées, des conditions de leur emploi et en particulier de l'efficacité du système de drainage. Cependant ces pratiques d'irrigation accroissent le risque de salinisation, au point que plus de 20 % des sols irrigués sont affectés par un problème de salinité en Algérie (Gouaidia, 2012).

5.6.1 Classification des eaux par la méthode de Richards

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

Le diagramme de Richards propose seize classes les plus caractéristiques sont quatre. L'abondance du sodium dans l'eau d'irrigation peut provoquer également la dispersion et la destruction de la structure du sol, si la teneur en sodium est au moins trois fois supérieure à celle du calcium. Dans de telles conditions, il peut devenir extrêmement difficile de satisfaire les besoins en eau de la culture. Le risque de salinité est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable : « Sodium Absorption Ratio » (S.A.R). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le S.A.R est plus élevé. Ce dernier est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau :

$$SAR = Na^+ / [(Ca^{++} + Mg^{++})/2]^{1/2}$$

Avec : Na : concentration de l'eau en ions sodium en méq/l

Ca : concentration de l'eau en ions calcium en méq/l

Mg : concentration de l'eau en ions magnésium en méq/l

Trois classes de risque alcalin ont été définies en relation avec le risque salin.

- SAR ≤ 10 Risque faible
- 10 ≤ SAR ≤ 18 Risque moyen
- SAR ≥ 18 Risque élevé

L'examen du diagramme du SAR (Figure 5.26) permet de dire que le danger d'alcalinisation est faible mais le danger de salinité est élevé. Dans le détail, on constate que les eaux ne conviennent pas à l'irrigation des cultures dans des conditions normales et peut être utilisée si les espèces ont une bonne tolérance à la salinité et le sol est particulièrement bien drainé. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

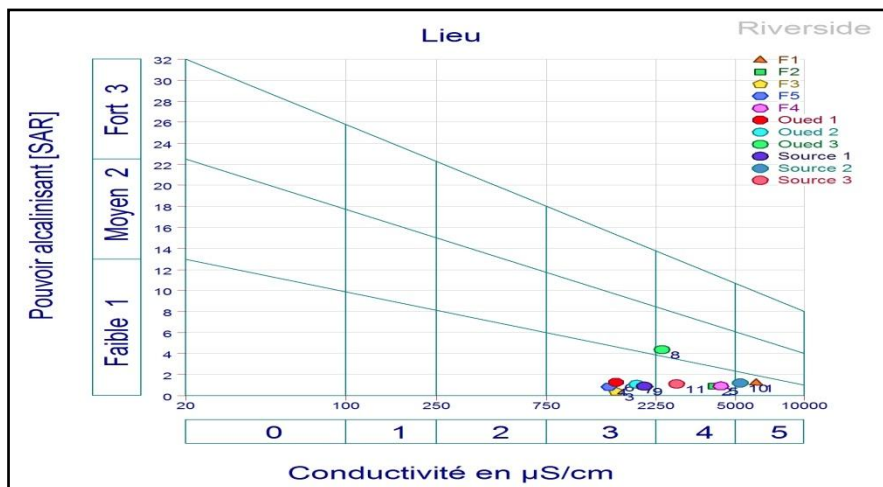


Figure 5.26 Diagrammes de Riverside

5.7. Classification des eaux en fonction du pourcentage du sodium absorbé par l’eau (Méthode de Wilcox)

Généralement il est connu que le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium. En effet, dans un sol salé imprégné de NaCl, la perméabilité reste bonne tant que la solution saline percolant présente une charge élevée en électrolyte, charge qui maintient les argiles floculées. Si l'eau d'irrigation est chargée en sodium, le nombre d'ions Na combiné avec le sol, augmente, cependant une quantité équivalente en cations et essentiellement en Ca sera déplacée. On assiste alors à une dégradation de la structure, avec un gonflement des argiles ce qui entraîne une imperméabilisation du milieu. Le processus de dessalement et de drainage risque alors d'être complètement stoppé. Dans le cas où le calcium est le cation dominant, l'échange se fait dans le sens inverse, créant ainsi un sol plus floculé et plus perméable. L'apport de CaSO₄ au sol peut par l'échange de base, améliorer la texture du sol ainsi que son drainage. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l’eau, généralement connue en pourcentage du sodium, est définie par la relation :

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

Où tous les éléments sont exprimés en méq/l.

Le diagramme de Wilcox montre que la quasi-totalité des points d’eau sont hors les normes : 5 points d’eau sont rangés dans la classe admissible, 03 points dans la classe bonne et uniquement 3 points dans la classe mauvaise

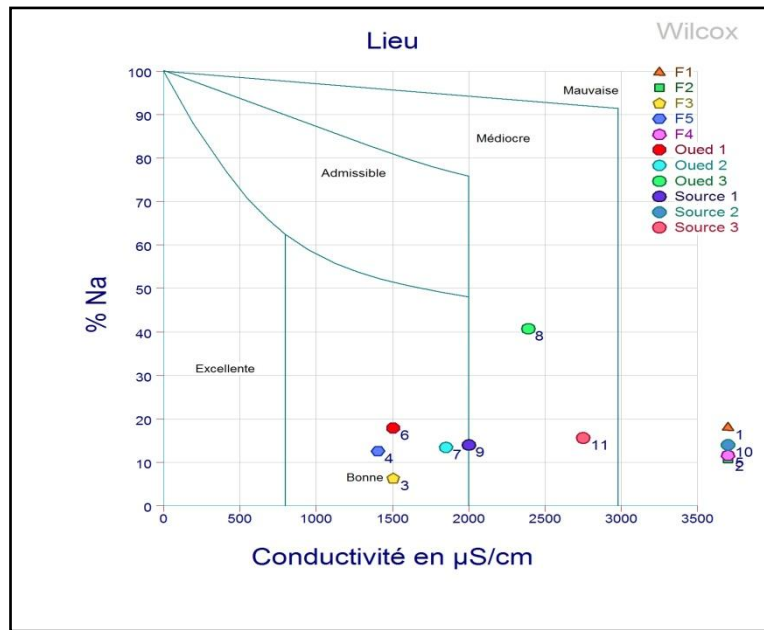


Figure 5.27: Diagrammes de Wilcox.

5.7.1 Indice de saturation (IS)

L'équilibre de l'eau avec la matrice est souvent exprimé par l'indice de saturation :

$$IS = \log(PAI/K_S)$$

Où PAI est le produit d'activité des ions concernés, et K_S est le produit de la solubilité du minéral considéré (Bouhlassa, 2008). Le degré de saturation, la sursaturation, où l'état d'équilibre d'une solution vers un minéral n'est appréciable que si le produit de solubilité peut être comparé au produit de l'activité ionique des ions référentiels dans la solution (Al-Droubi, 1980). Un indice de saturation nulle ne signifie pas que l'eau est en équilibre avec le minéral étudié. L'eau sera sous-saturée si $IS < 0$ (dissolution minérale) et saturée si $IS > 0$ (précipitation minérale) (Fekrache, 2015). Les résultats significatifs de tous les échantillons d'eau analysés (Figure 5.28) démontrent que ces derniers sont saturés par rapport aux formations de carbonate telles que la calcite, la dolomie et l'aragonite, et sont sous-saturés par rapport aux formations évaporitiques qui sont halite, gypse et anhydrite. L'indice de saturation des minéraux dans l'eau souligne que seuls les minéraux carbonatés ont tendance à précipiter, surtout sous forme de dolomie. Contrairement, les minéraux évaporitiques sont en dissolution, ce qui permet aux éléments évaporitiques d'apparaître dans l'eau à des concentrations relativement élevées, et explique la prédominance des faciès sulfato-calcique par la dissolution des halites

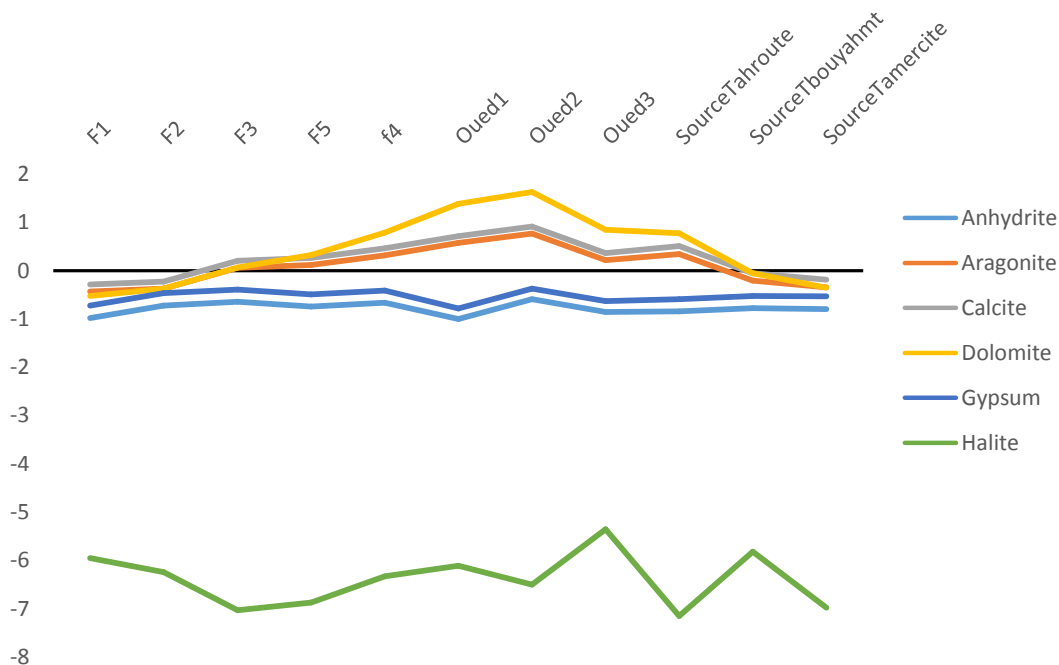


Figure 5.28 Évolution des indices de saturation (IS).

5.7.2 Matrice de corrélation

L'apport de la corrélation entre les paramètres physico-chimiques dans les eaux souterraines aide à comprendre certains phénomènes dégagés par l'interaction eau-roche (Rodier, 1996). Elle permet de donner une approche sur l'origine commune de certains paramètres. On admet qu'une corrélation est significative, si la valeur du coefficient de corrélation « r » est comprise entre [+0,5, 1] (relation positive) et [-0,5, -1] (relation négative) (Brinis, 2015). Dans notre cas plusieurs liaisons sont significatives mais à des degrés variables (Tableau 5.5). La matrice de corrélation issue de cette ACP, montre que Le coefficient de corrélation représentatif ($0,80 \leq r \leq 0,99$) mettant en évidence les liens existants entre ces derniers. Ces liens montrent les éléments qui évoluent ensemble, ce qui indique ainsi une même origine. Il s'agit surtout des couples (Mg^{+2} et HCO_3^-). La conductivité est liée aux éléments tels que le Mg, K^+ , Cl^- et HCO_3^- ce qui confirme l'origine évaporitiques de ces éléments. Des valeurs moins significatives entre les éléments, avec des valeurs ($0,60 < r < 0,80$) développées entre les éléments Na-Cl ; D'autres éléments sont en relation inversement proportionnelle, dont les valeurs du coefficient de corrélation sont de l'ordre $-0,8 \leq r \leq -0,9$ tels que Ph- HCO_3^- , Mg-Ph. Ce qui se traduit parfois par l'échange de base entre les alcalins de l'eau contre les alcalinoterreux du sol.

Tableau 5.5 : Matrice de corrélation entres les paramètres mesurés.

Variables	c25°C	pH	NO3	HCO3	Cl	Ca	Mg	K	Na	SO4
c25°C	1									
pH	-0,7878	1								
NO3	-0,2653	0,2914	1							
HCO3	0,8008	-0,9126	-0,1997	1						
Cl	0,5334	-0,2744	-0,3790	0,1953	1					
Ca	0,0440	0,1979	0,5062	-0,1363	-0,1250	1				
Mg	0,8299	-0,8630	-0,2688	0,8540	0,5096	0,0121	1			
K	0,5908	-0,5211	-0,1141	0,4747	0,2554	-0,2750	0,2572	1		
Na	0,0541	0,0626	-0,3970	-0,1117	0,6943	-0,3240	0,1442	0,0475	1	
SO4	-0,0150	-0,1691	0,0994	0,1392	-0,1976	0,4215	0,3410	-0,4843	0,0543	1

5.8 Analyse en Composant Principale (ACP)

5.8.1 Application de l'ACP

5.8.1.1 Diagonalisation (étude des valeurs propres)

Les variables de projection sur la conception F1-F3 (Figure 5.29, 5.30) met en évidence deux groupes: La diagonalisation nous a permis de distinguer les axes suivants :

Tableau 5.6 : Valeurs propres des axes et leurs contributions

Axe	F1	F2	F3
Valeur propre	4,2217	2,1329	1,5682
Variabilité (%)	42,2171	21,3290	15,6822
Cumulative %	42,2171	63,5461	79,2283

Le plan factoriel F1 exprime 42,22% de la variance La partie positive de cet axe est liée aux groupes de variables *Cl*, *SO₄*, *Mg*, *Na*, *HCO₃*, *K* et à la conductivité, qui explique globalement la minéralisation des eaux, avec une circulation des eaux profondes et une forte interaction eau- roche . L'axe **F3** représente **15,68 %** de la variance expliquée. Il est déterminé par le calcium et nitrate qui reflète les eaux polluées (pollution anthropique), avec la présence de la fraction argileuse.

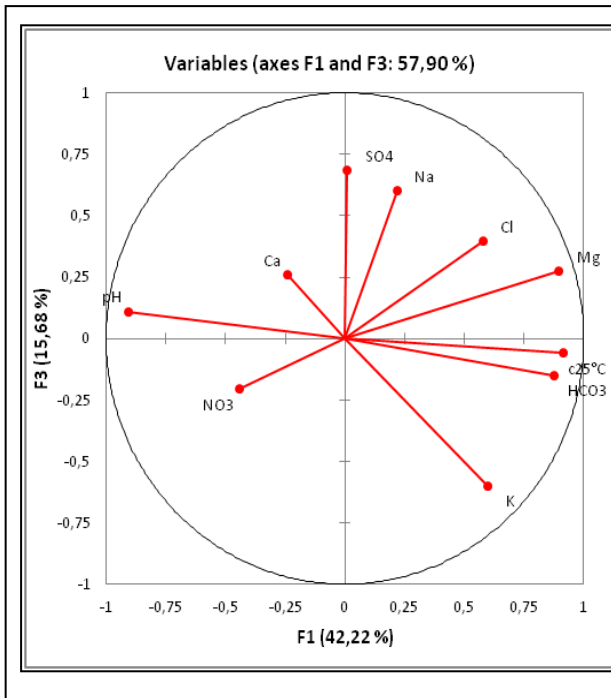


Figure 5.29 Projection des variables

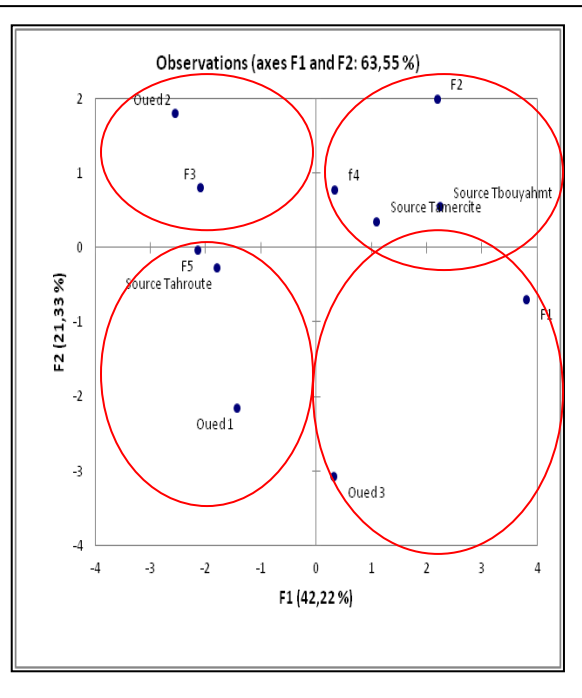


Figure 5.30 Projection des individus (factorial design F1-F3)

La figure 5.30 montre les trois types d'eau:

- F3. F4. F5. S1. Oued 2 sulfatées – calciques .
- F2 .S3 sulfatées magnésien et calcique
- F1 .S2 sulfatées chlorurée et magnésien.
- Oued 1 sulfatées chlorurée et calcique
- Oued 3 sulfatées chlorure sodique

5.10 Conclusion

Comme souvent en zone aride, la salinisation est le processus principal et son importance masque les autres sources de variabilité chimique. Dans ce cas, les mécanismes associés sont : précipitation calcite puis gypse, échanges ioniques et pollution anthropique.

Les eaux exploitées dans le flanc sud du anticlinal de Tabouant dans la vallée d'El Ouldja sont influencées à la fois par les minéraux des roches évaporitiques et ceux des roches carbonatées. En effet, ces deux types de roches constituent l'essentiel des aquifères exploités dans la région. Le groupe évaporitiques est dominant avec 90% des échantillons analysés suite à la dissolution du gypse et de l'halite. Le groupe des eaux carbonatées ne représentent que 10% des échantillons en liaison avec la dissolution des calcaires. L'étude statistique par ACP met en évidence les liens existants entre les paramètres chimiques responsables de la minéralisation et laisse apparaître deux pôles évaporitiques et carbonatés.

L'étude hydrochimique et thermodynamique a l'aide du logiciel Phreeqc aboutie au même résultat et montre l'existence de deux groupes chimiques : l'un évaporitiques et l'autre carbonate.

Ce travail montre qu'il existe une différenciation hydrochimique entre l'évolution saline des eaux de surface (Oued) et des eaux d'origine profondes (Forages et sources) dans une même région hydrochimique.

5.11 Caractérisation physico-chimique et microbiologique de la source thermale de la vallée d'El Ouldja

La valorisation de l'eau thermale et le développement du thermalisme, tant médical que ludique, nécessitent aujourd'hui une connaissance approfondie de l'origine et des quantités disponibles des eaux, sans risque de perturber la qualité de cette ressource, La chimie des eaux thermales a attiré l'attention de nombreuses études. La plupart de ces études ont porté sur deux aspects: l'interaction entre les eaux thermales et les roches murales a un contrôle fondamental sur la caractéristique chimique des eaux thermales (**Eg Gemici et al. 2004, Cruz et Franca, 2006**) et l'origine des eaux géothermiques peut être estimée à l'aide de la géothermométrie chimique (**Houha 2007, Ben Abidate, 1998**).

Parmi le patrimoine thermo-minéral algérien, constitué de plus de 200 sources thermales répertoriées situées dans différentes zones à structure géologique complexe (**Polvéche J,1960**), ce nombre augmente régulièrement en se déplaçant vers l'est.

Dans la région de Khenchela, des sites hydrothermaux sont connus depuis l'époque romaine. Dans le cadre de cette étude, il convient donc d'étudier cette composante potentielle aux écoulements et à l'hydrochimie régionale, nous avons choisi une source thermale dans la vallée d'El Ouldja. Il est concerné par ce travail,

La présente étude porte sur les analyses géochimiques de cette source thermale du nord-est de l'Algérie pour comprendre l'origine, déterminer les processus chimiques régissant la composition et la circulation de ces fluides donnants lieux à des salinités de ces eaux et estimer les températures du réservoir souterrain.

Deux échantillons d'eau thermale ont été prélevés entre avril 2017. Pour ce faire, des analyses de terrain et de laboratoire ont été réalisées. La température, le pH et la conductivité de l'eau du printemps ont été mesurés directement sur le terrain à l'aide d'un équipement portable, tandis que les propriétés hydrochimiques ont été analysées dans le laboratoire. Les sources thermales sont fréquemment développées comme stations thermales et bains, ont également été utilisées pour la thérapie médicale et pour améliorer le bien-être social et économique.

5.11.1 Les sources thermales

5.11.1.1 Définition

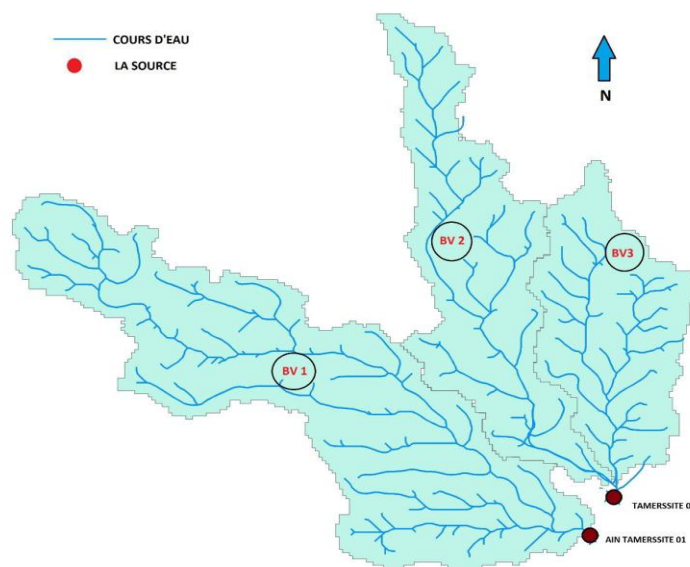
Une eau thermale n'a pas de définition officielle, mais l'étymologie lui attribue une « température supérieure à celle des eaux phréatiques de la région » (**Pomerol et Ricour, 1992**) ; pour certains, c'est une eau utilisée dans un établissement thermal. Pour d'autres, c'est une eau de température à l'émergence supérieure de 6°C à la température moyenne annuelle locale (**Mazor, 1991**), voire une eau supérieure à 35°C.

5.11.1.2 Situation géographique de la source thermale

La source de Tamarssite est située dans la commune d'El Ouldja au Sud Ouest du chef lieu de la Wilaya de Khenchela dans les Aurès à l'est algérien (Figure 5.31) et s'étend sur une superficie de **366 km²**. Elle est limitée au Nord par El M'Sara, à l'Est par Kheirane, au Sud par la Wilaya de Biskra et à l'Ouest par la Wilaya de Batna.

Dans un secteur boisé, de climat privilégié et une diversité en relief, de palmiers et d'oliviers sur les bords de l'Oued El Arabes. La première source (Tamarssite 1) est située à la partie droite du sens d'écoulement d'un Oued. Nous avons remarqué une émergence de cette source dans la partie gauche de l'Oued situé à **19 mètre** de la première source. Cette source est décomposée en deux sources ; une dite Tamarssite 1, et une autre source qui se trouve à **1.19 kilomètre** de la première source dite Tamarssite 2.

Les deux sources émergentes dans deux sous-bassins différents dont les cours d'eau principaux se rejoignent plus à l'aval, ils sont séparés par une colline. (Figure 5.31)



(Source: DRH).

Figure 5.31 Carte des bassins versants des sources Ain Tamerssite 1 et 2

2.11.1.3 Cadre géologique du site

De point de vue géologique, les résultats ont révélés l'importance du réservoir du calcaire maestrichtien à côté du miocène gréseux et des formations quaternaires.

L'émergence de la source tamersite1 se trouve au niveau des calcaires d'âge cénomanien de 10° de pendage avec une direction N110E sur la rive droite d'un oued sous une épaisseur assez importante de formations marneuses du même âge avec des barres de calcaires centimétriques (Figure 5.32).

Les dépôts quaternaires composés de graviers mal répartis dans une matrice marneuse. Le captage n'est en fait qu'une petite chambre permettant après le trop-plein l'alimentation d'un bassin en aval utilisé par les riverains.

La source tamersite 2 se situe sous une dalle calcaire affleurant au niveau d'un Oued La description générale est la suivante ;

A la base (au niveau de l'oued) se trouve des bancs de calcaires de couleur noir avec des traces d'une activité tectonique laissant apparaitre des stries et des niches d'arrachement.

En allant vers le haut les calcaires deviennent plus clairs avec une présence des marnes noirâtres à débit en feuillets en alternance avec ces derniers.

Ces passages marneux ne dépassant pas dans les meilleurs des cas **50 cm**. La rive droite présente une formation marneuse.

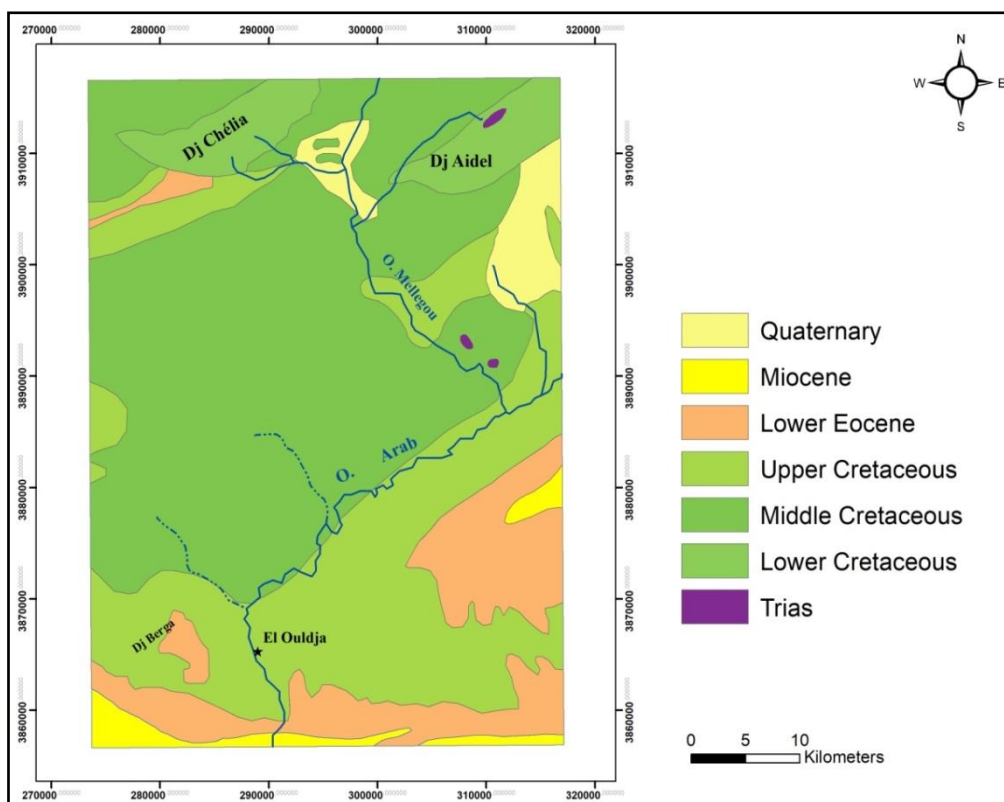


Figure 5.32 Cadre Géologique de la source thermique

2.11.1.4 Cadre structural

Les sources thermales de Khenchela sont en relation directe avec la géologie structurale, liées à la tectonique. Parmi ces structures, on peut citer : l’anticlinal de Khenchela où le Crétacé inférieur constitue l’essentiel des reliefs les plus élevés, Aidel, Feraoun, Aurès et Chélia (Guiraud R. 1973).

Les eaux de Hammam Salhine émergent à la faveur de failles dans le Crétacé inférieur très karstifiés (Villa ,1977) (Laffitte ,1938) .

Les circuits empruntés par l’eau sont créés par des fissures, des failles ou des fractures (Guiraud ,1973) (Figure 5.33).

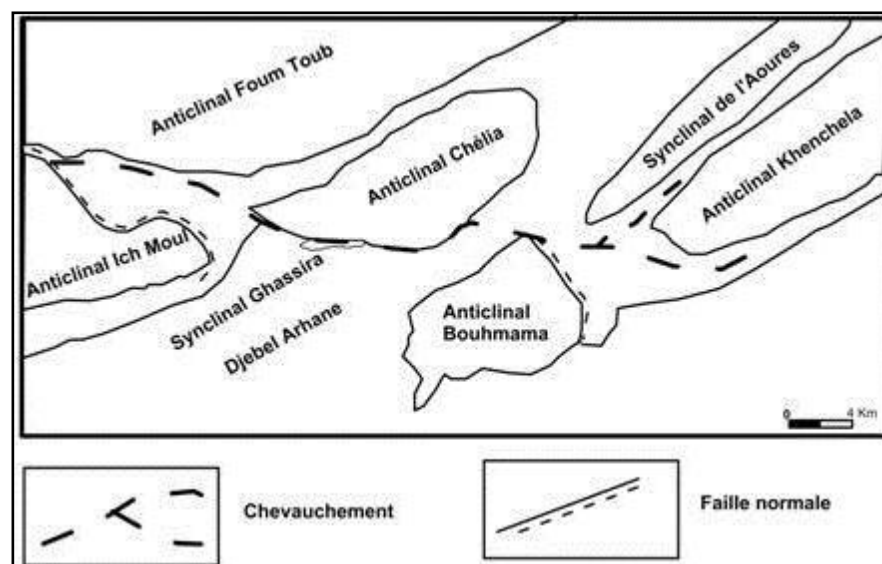


Figure 5.33 Esquisse de la disposition des différentes structures dans le secteur étudié. (In Gandriche, 1991 – d'après Laffitte, 1939)

5.11.1.5 Matériel et Méthodes

Particulièrement critique pour les eaux thermales est la nécessité d'identifier la source du printemps et d'échantillonner aussi près de le ressort possible (IAEA, 2008).

L'échantillonnage a intéressé deux sources de Tamerssite (Tamerssite 1 et 2) (Figure 5.34), durant septembre et octobre 2016. Les analyses ont été réalisées dans différents laboratoires selon les paramètres analysés (Tableau 5.6)

Des exigences strictes ont été respectées pendant toute l'opération de prélèvement conformément aux recommandations de Rodier 2009. Le transport des échantillons au laboratoire se fait dans une glacière, une fois au labo, ils sont déposés dans un réfrigérateur en attendant l'opération d'analyse.

Concernant les paramètres sensibles tels que la température, la conductivité électrique (CE) et le pH, ils ont été mesurés sur terrain à l'aide d'une sonde multi-paramètre.

Les ions analysés au laboratoire sont (tableau ci-dessous) :

Les méthodes utilisées sont celles préconisées par Rodier (2009).

Les faciès chimiques des eaux souterraines ont été déterminés à partir du diagramme de Piper en utilisant le logiciel informatique "Diagramme" développé par Simler, 2014 et AquaChem 2014. Pour les diagrammes ternaires. Nous utilisons le code GeoT, qui utilise comme entrée la composition chimique de l'eau et les indices de saturation des minéraux pour calculer l'eau-roche l'équilibre sur une température et l'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée avec l'utilisation de Logiciel Hydro AQUA .

Tableau 5.6 Résultats des analyses physico-chimiques

Nom	T°	Ph	Ca25°C	O ₂ dissous	TDS	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	NO ₂	NH ₄
Tamerste 1	27,04	7,64	200	4,6	920	48,1	33,05	619,23	146	20,29	54,2	727,22	1	0,003	0
Tamerste 2	25,5	7,6	1691	6,7	813	57,72	21,87	452	99,5	13,52	1,89	534,65	0	0,041	0,37

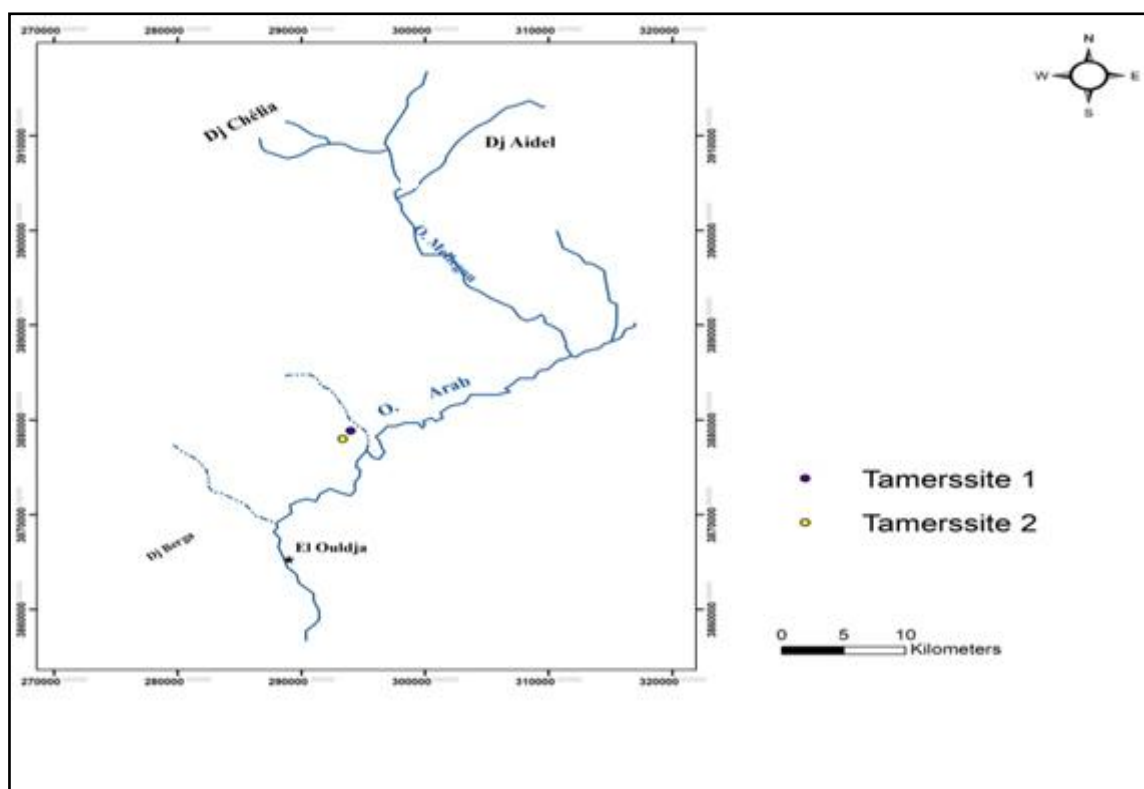


Figure 5.34 Carte d'inventaire des sources thermales de la zone d'étude.

5.11.2 Résultats et discussion

5.11.2.1 Paramètre physico-chimique

Les paramètres in situ sont reportés dans le tableau 1. Les températures des eaux thermales se situent entre 38 ° C mesurées au printemps. Ces sources ont été classées en fonction de leurs températures: 45% sont ortho thermales à 37-45 ° C et 55% sont hyperthermiques au-dessus de 45 ° C.

Les différentes températures de sortie des sources thermales sont attribuées aux conditions locales et dépendent de la vitesse d'écoulement de l'eau, du temps de circulation et des caractéristiques de rupture. La température élevée d'un ressort dépend à la fois de la profondeur et de la vitesse de remontée (**Cidu R, Bahadj S, 2008**). La température de la source thermale reflète donc la profondeur de pénétration de l'eau et la vitesse à laquelle elle monte à la surface (**Grasby E, Hutcheon I, 2001**) .

Les températures les plus basses sont dues au refroidissement provoqué par le mélange des eaux thermales profondes et des eaux météoriques peu profondes et peuvent être dues à une plus grande recharge météorique ou à une plus grande conduction thermique en raison de la faible profondeur des réservoirs.

Le pH de ces sources varie de légèrement acide à légèrement alcalin. La valeur maximale du pH a été enregistrée à 7,7 à (HM M) Hammam Mechta Smara Mila et la valeur minimale du pH à 6,7 à (HS K) Hammam Salihine khenchela. D'après les conclusions, il a été observé que l'eau était de nature légèrement alcaline, ce qui pourrait être dû à la présence de sels dissous dans l'eau.

La conductivité électrique était assez élevée, la valeur maximale de conductivité mesurée à la température de l'échantillon était de 14780 S / cm à Hammam Salihine Biskra et la valeur minimale était de 2040 S / cm à Hammam Mechta Smara (tableau 5.1). En raison de la présence de grandes quantités de minéraux dans l'eau et de nombreux sels plus solubles à des températures plus élevées, ces sels et minéraux pénètrent dans l'eau par les roches et les sédiments en contact, les sources thermales ont montré une valeur de conductivité plus élevée matières solides dissoutes (TDS).

5.11.2.2 Faciès hydrochimique

a. Diagramme de Piper et Schoeller-Berkaloff

Les propriétés physiques et chimiques de l'eau thermale dépendent de la composition de la solution infiltrant, de la profondeur de migration, du temps de séjour de l'eau thermale dans la voie de migration et des interactions eau / roches dans les formations profondes. Les caractéristiques physico-chimiques des eaux sont liées à leur trajectoire souterraine, à la profondeur de la température, à la nature des roches croisées et à la résidence temporelle. Les sources thermales ont une variété de types chimiques; cette variabilité est due à la composition lithologique des sites de prélèvement, qui se trouvent sur plusieurs structures géologiques et complexes différentes (**Polvêche J, 1960**). Les différents échantillons d'eau ont été classés en fonction de leur composition chimique en utilisant le diagramme de Piper , (**Piper A, 1944**) n utilisant le logiciel Diagramme. Ce diagramme (**Figure 5.35**) montre que le caractère chimique global se situe dans les deux types d'eau suivants :

Pour les sources du site de Tamarssite (**Figure 5.35**) une nette dominance des carbonates (anions) et le sodium (cations) sur les autres éléments, ceci est dû au lessivage des calcaires par les eaux chaudes pendant leur ascension vers la surface. La faible valeur des sulfates concernant Tamarssite 2 peut être expliquée par l'intervention des phénomènes modificateurs (Bactérie réductrice du soufre qui fait diminuer la teneur en sulfates) (**T Kompani-Zare , Moore F, 2001**) La projection des résultats d'analyse sur les diagrammes triangulaires piper (Anions – Cations) confirme les dominances déjà décrites et montre que :

Les sources de Tamarssite se mettent du côté du pôle carbonaté par rapport aux anions et au pôle sodique dans le triangle des cations. En effet, le faciès de ces sources est bicarbonatée sodique

En général, toutes ces eaux proviennent des eaux de chlorure de sodium résultant de l'environnement physique ou de réactions avec des roches murales et à l'interaction eau-roche (**Grasby E et al ,2001**) dans la région d'échantillonnage et due à la réaction proche de la surface de l'eau thermale avec de l'eau salée-plate moins profonde associée aux roches tertiaires de type Na-Cl probablement due à la dissolution halite du Trias. D'après le diagramme de Piper, il semble que la composition des eaux peu profondes en circulation soit influencée par les couches d'halite.

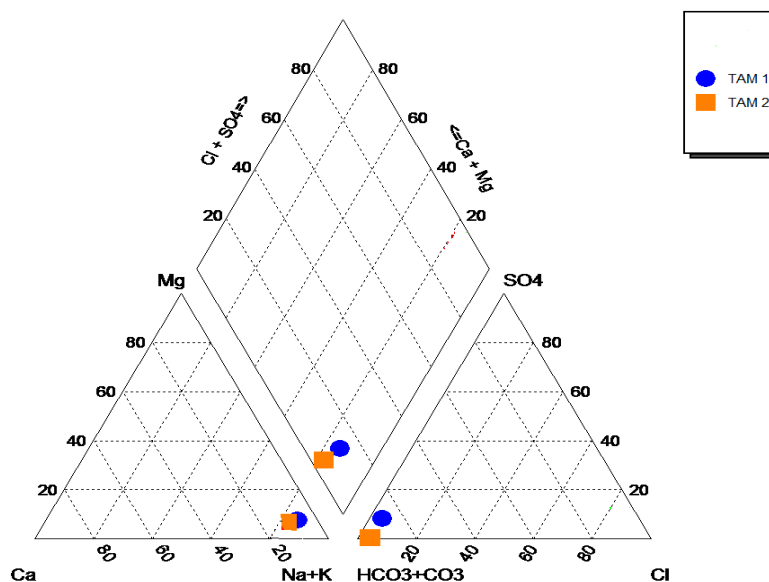


Figure 5.35 Diagramme de Piper pour les eaux thermales d'El Ouldja.

La projection des résultats d'analyses chimiques des sources sur le diagramme de schoeller (**Figure 5.36**) montre que :

Les droites brisées relatives aux sources sont parallèles par rapport au même site et se recoupent lorsque les sites sont différents (Droite parallèles, donc les eaux de la même famille lorsqu'elles se recoupent, elles correspondent à des origines différentes)

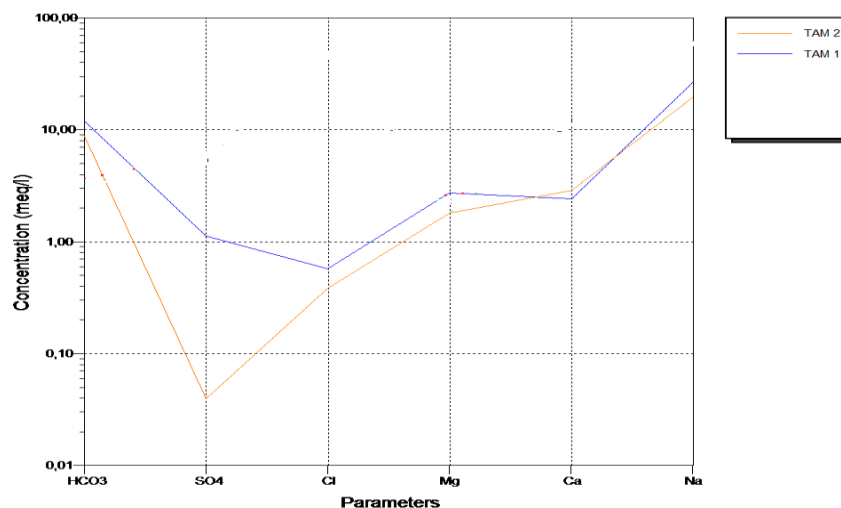


Figure 5.36 Diagramme Schoeller-Berkaloff pour les eaux thermales d'El Ouldja .

a. Géothermométrie

La géothermométrie est un outil qui permet l'estimation de la profondeur des réservoirs géothermiques et la température des derniers équilibres chimiques ou isotopiques avant l'émergence (**Bouri et al,2007**). Les eaux profondes et les gaz arrivent à la surface et apportent généralement avec eux leur histoire géochimique.

Toutefois, pendant son ascension, l'eau chaude peut subir un mélange avec les eaux froides superficielles pouvant compliquer l'utilisation des géothermomètres chimiques, cela conduirait soit à une surestimation, soit à une sous-estimation des températures. À noter que la remontée des eaux thermales depuis leurs réservoirs d'origine s'accompagne généralement d'une diminution de la température et d'un changement de la minéralisation totale. (**Bouri et al, 2007**), l'utilisation des géothermomètres suppose qu'il n'y a pas de changement chimique significatif de l'eau au cours de sa remontée, malgré les différents refroidissements possibles et souvent remarquables. Pour estimer la température du dernier équilibre thermodynamique, on a appliqué plusieurs géothermomètres, mais il semble que celui de la silice (quartz) est le mieux adapté aux eaux thermales des sources étudiées.

Dans notre cas, on note une différence entre la température des eaux profondes et celles au griffon de 32 à 42 °C ce qui peut être expliqué par une dissipation d'énergie au cours de la remontée d'eau du réservoir jusqu'à la surface du sol. Cette dissipation pourrait être due, soit à un mélange avec les eaux de surface, soit à la diffusion thermique liée au long trajet parcouru par ces eaux pour arriver en surface. Placées dans le diagramme triangulaire K-Na-Mg^{1/2} de **Giggenbach (1988)** (Figure 5.37), a montré que les échantillons d'eaux thermales correspondent à de l'eau immature et sont plutôt proches du coin Mg, ce qui indique que ces eaux n'ont pas atteint leur plein équilibre. Les eaux immatures (eaux peu profondes / mixtes) provenant de réservoirs géothermiques profonds. avec un certain degré de confiance, peut être dû à des réactions avec des roches murales lors de la remontée du réservoir. Cet outil géothermique a permis également d'estimer la profondeur des différents réservoirs (**Bouchareb. H et al, 1994**), (**Issaadi, 1996**) et (**Issaadi et al, 1997**).

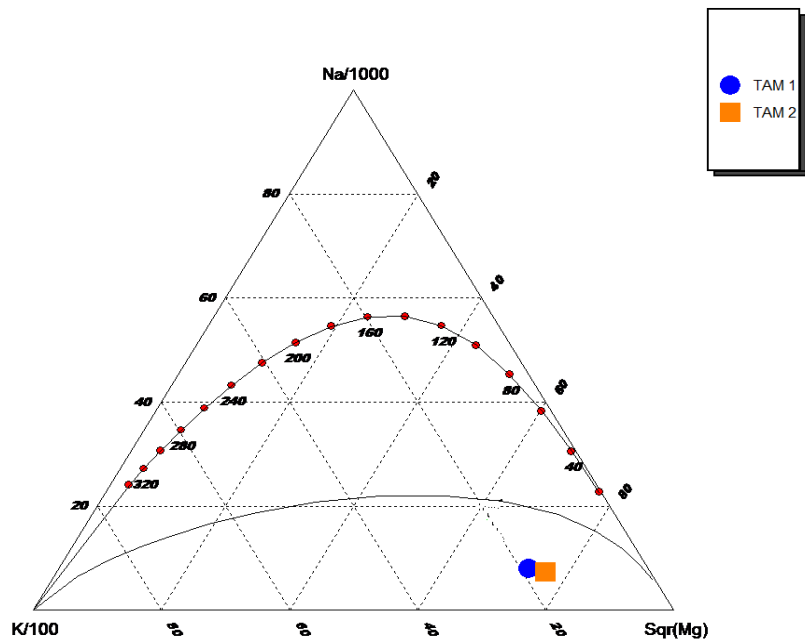


Figure 5.37 Na–K–Mg Diagramme ternaire

5.12 Etat des minéraux et autres paramètres dans l'eau

5.12.1 Indice de saturation

L'équilibre de l'eau avec la matrice est souvent exprimé par l'indice de saturation :

$$IS = \log\left(\frac{PAI}{K_S}\right)$$

Où *PAI* est le produit d'activité des ions concernés, et *K_S* est le produit de la dissolubilité du minéral considéré (**Bouhlassa S, Alecheikh C, Kabiri L 2008**). Le degré de saturation, la subsaturation, où l'état d'équilibre d'une solution vers un minéral n'est appréciable que si le produit de solubilité peut être comparé au produit de l'activité ionique des ions référentiels dans la solution (**Droubi A, Fritz B, Gac J, Tardy Y 1978**). Un indice de saturation nulle ne signifie pas que l'eau est en équilibre avec le minéral étudié. L'eau sera sous-saturée si *IS* < 0 (dissolution minérale) et saturée si *IS* > 0 (précipitation minérale) (**Fekrache F ,2015**).

La simulation à l'évaporation naturelle des eaux des sources étudiées a été effectuée à l'aide du logiciel thermodynamique « **Phreeqci 5.2** » sous l'effet de l'évaporation isotherme (25°C). Cette simulation a permis de calculer les indices de saturation (*IS*) et aborder la spéciation des minéraux.

Les graphiques ci-dessous (Figure 5.38) illustrent la position des différents paramètres et minéraux par rapport à l'équilibre avec les eaux étudiées :

On remarque que les eaux des sources de Tamersite 1 et 2 sont largement sous-saturés (eau moyennement chargée) par rapport aux minéraux évaporitiques qui sont halite, gypse et anhydrite

Concernant les minéraux carbonatés telles que la calcite, la dolomite et l'aragonite, les eaux des deux sources se trouvent proche de l'équilibre à légèrement sursaturées. Par contre, la dolomite présente un comportement différent ; pour les sources de Tamerssite, les eaux sont saturées alors Les eaux viennent des profondeurs ou le milieu est réducteur (pauvre en O₂) et subissent en surface une chute de pression qui permet au gaz carbonique de se dégager.

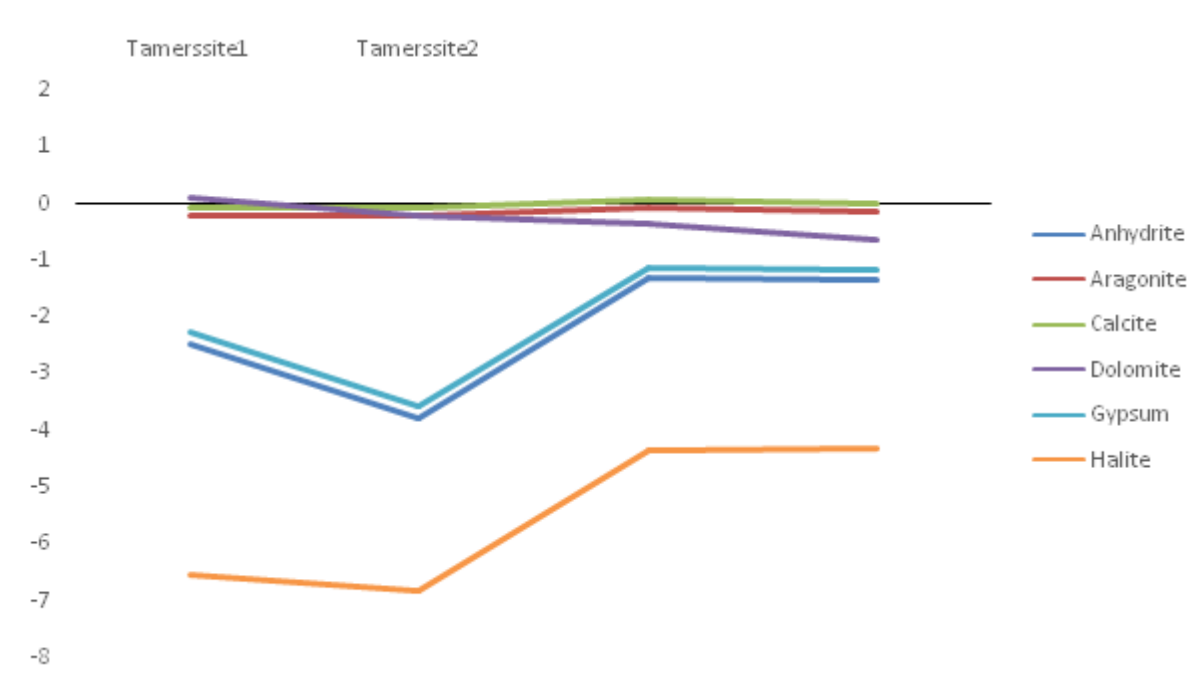


Figure 5.38 Évolution des indices de saturation (IS) pour les sources thermales.

5.13 Impact et vertus thérapeutiques des eaux thermales

5.13.1 Etude Bactériologique et origine de la contamination

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et (ou) perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles et/ou les eaux souterraines, leur origine peut être multiple, elle peut être due à des rejets directs dans les cours d'eau, mais elle est aussi la conséquence de la pollution atmosphérique et surtout de la pollution du sol, dans laquelle La plupart des polluants du sol sont aussi des contaminants des eaux souterraines ou superficielles, dans lesquelles ils sont entraînés par lessivage (transfert vertical : percolation), ruissellement ou érosion (transfert latéral).

Dans notre cas, Pour déterminer l'origine de la pollution des 02 sources : Tamersite 01 et 02 il faut bien lire et interpréter les résultats d'analyse physicochimique et microbiologique.

5.14 Caractérisations Microbiologiques

Pour déterminer la potabilité d'une eau, trois micro-organismes indicateurs de pollutions sont recherchés : coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques fécaux (Parmi les streptocoques fécaux, les entérocoques sont les meilleurs indicateurs de contamination fécale) (Tableau 5.7)

Tableau 5.7 : Résultats des analyses physico-chimiques

Source	Coliformes totaux	Coliformes fécaux	Salmonella	Streptocoques fécaux
Tamersite 1	0	0	0	0
Tamersite 2	12000	3000	0	200

5.14.1 Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont omniprésents dans la nature et sont associés à la matière organique en décomposition (pelouse, foin, bois, matières fécales, etc.). Pour qu'une eau soit considérée potable, le résultat doit être de moins de 10 UFC (Unité Formant Colonie) par 100 ml, Cependant, en ce qui concerne les eaux souterraines non désinfectées, il a été observé que la présence de coliformes totaux peut être un indicateur de la dégradation de la qualité de ces eaux causée par des apports d'eau de surface. Ainsi, les coliformes totaux peuvent être des indicateurs de la présence potentielle de virus entériques humains (Locas et al., 2008; Payment et Locas, 2011). Ça veut dire que la contamination est superficielle.

5.14.2 Coliformes fécaux et streptocoques fécaux

Les coliformes fécaux et les entérocoques proviennent d'une pollution fécale animale ou humaine et démontrent la présence potentielle d'organismes pathogènes capables de causer des maladies entériques. Aucun de ceux-ci ne doit être présent par 100 ml d'eau potable pour que l'eau soit propre à la consommation. Et la détection d'un seul coliforme fécal/100 ml entraîne un avis immédiat de faire bouillir l'eau.

Pour cette raison nous avons effectué ces analyses microbiologiques dans les 02 sources , et d'après les analyses qui ont révélé des taux élevés des coliformes totaux (12000 UFC), coliformes Fécaux (3000 UFC) et Streptocoques fécaux (200 Tamersite 02), donc il y a une pollution bactériologique, au contraire de la source de Ain Tamerssite 01 qui a une eau de bonne qualité bactériologique (absence de des quatre micro-organismes).

5.15 Interprétation des résultats

La contamination par coliformes totaux et/ou des colonies atypiques peut provenir soit d'une infiltration d'eau de surface polluée dans le sous-sol, soit d'une eau restée stagnante (Tamerssite 2, La zone est fréquentée par les animaux dont les déjections peuvent constituer une source potentielle de

contamination). L'eau de surface peut également être un vecteur pour l'apport de coliformes fécaux et/ou entérocoques.

La présence de coliformes fécaux et/ou d'entérocoques (**Tableau 5.7**), nous indique la présence d'une source de matières fécales dues à l'activité humaine comme dans le cas de Ain Tamerssite 2, cela montre que la contamination est superficielle.

5.15.1 Classification thérapeutique des eaux de la source thermale Tamerssite :

Les eaux thermo minérale de la source thermale Tamerssite peuvent en effet être utilisées de deux façons :

Par contact :

- Affections de la sphère ORL et de l'appareil broncho-pulmonaire.
- Affections rhumatismales dégénératives.
- Affections dermatologiques

Par hydrothérapie externe :

- Affections rhumatismales dégénérative.
- Séquelle de traumatismes.
- Certaines affections de l'appareil cardio-vasculaire
- Certains troubles neurologiques

5.16 Conclusion

La méthodologie adoptée a montré que les 02 s échantillons prélevés dans les sources chaudes ont une température comprise entre 26 et 35 ° C, un pH quasi neutre et de très hautes valeurs de conductivité électrique, en raison de l'augmentation de minéraux et de nombreux ions de sel qui sont plus solubles à des températures plus élevées, les eaux thermales sont des faciès bicarbonatée sodique et le chloruré sodique. Ce qui confirme l'influence des formations géologiques dominées par les roches tertiaires, carbonatées et évaporées, imputables à la variabilité de la composition lithologique et liées à différents systèmes hydrogéologiques. Sur le plan bactériologique les 02 échantillons des sources thermal présent une bonne qualité bactériologique.

Le géothermomètre à silice montre que ces eaux thermales ont une température de 42 °C et que l'eau proviendrait d'une profondeur allant de 900 m à travers un système de failles qui affecte le socle. Il est montré que la baisse de la température de 32 °C est due a une dissipation d'énergie au cours de la remontée d'eau du réservoir jusqu'à la surface du sol. Cette dissipation pourrait être due, soit à un mélange avec les eaux de surface, soit à la diffusion thermique liée au long trajet parcouru par ces eaux pour arriver en surface. Afin de connaître l'état d'équilibre fluide-minéral, en utilisant l'indice de saturation (SI) on a remarqué que les eaux des sources de Tamerssite 1 et 2 sont largement sous-saturés

par rapport aux minéraux évaporitiques qui sont halite. Les analyses chimiques effectuées sur ces sources donnent des valeurs de température de (30°C) ainsi que des concentrations très élevées en chlorures, sodium et potassium, contrairement aux eaux des aquifères exploités dans la région. En comparaison avec les sources chaudes de la région en l'occurrence, Hammam Essalhine et celui d'EL Knif de Khenchela qui présentent tous deux des faciès (Chloruré sodique). Les concentrations assez excessives des cations et anions de la source de Tamersite ne peuvent pas provenir des aquifères de la région. Leurs origines sont certainement profondes. Ces origines semblent être liées à la dissolution des roches pouvant générer en grandes concentrations, les bicarbonates, le sodium et le potassium. D'après les résultats obtenus des analyses microbiologiques dans les 02 sources thermales qui ont révélé des taux élevés des coliformes totaux (12000 UFC), coliformes Fécaux (3000 UFC) et Streptocoques fécaux (200 Tamersite 02), donc il y a une pollution bactériologique, au contraire de la source de Ain Tamerssite 01 qui a une eau de bonne qualité bactériologique (absence de des quatre micro-organismes).

CONCLUSION GENERALE

La commune d'El Ouldja est située dans le Sud-Ouest de la wilaya de Khenchela, elle est la porte sud de la Wilaya qui donne sur le désert, c'est un point de passage d'une nature de Nord vers une nature désertique. Elle a été à travers les âges, le portail des convois venant du Sud au Nord, ou dans le sens inverse imposée par les fluctuations climatiques saisonnières.

A travers ce travail, nous avons commencé par présenter le cadre physique et géomorphologique de la région d'étude incluant les contextes géographiques, climatiques morphologiques, hydrologiques.

L'étude géologique de la région d'El Ouldja montre l'existence de plusieurs structures de crétacé supérieurs formée essentiellement par des calcaires et des marnes avec passage d'argile et de gypse.

L'étude lithologique montre la présence de deux lithologies différentes :

- Facies a prédominances marneuse: Marnes dures, feuilles ou compactes.
- Facies a prédominances calcaire: Calcaires marneux, gris et compacts.

A l'intérieur de la vallée, des formations alluvionnaires qui se composent de colluvions, de marne gris, de colluvions limono-argileuse et de limons, qui pourraient avoir une porosité primaire et former des nappes alluviales.

La perméabilité est peu à moyenne permettant de stocker de l'eau et suscitant un intérêt hydrogéologique pour une éventuelle exploitation de cette nappe superficielle.

Sur le plan Hydrogéophysique, les aspects géophysiques, lithologiques et structuraux des grandes formations géologiques de la zone d'étude déterminent les principaux systèmes aquifères présents, à savoir :

- l'étude géophysique nous a permis de mettre en évidence que la zone la plus favorable pour l'implantation d'un forage de reconnaissance d'une profondeur de 150 m situé en rive droite de l'oued el Arab la où les alternances de calcaires du Coniacien _ Campanien présentent la résistivité la plus élevée (100 ohm . m) et sont localisés à une profondeur de 80 m .
- La nappe du plioquaternaire recouvre toute la zone Caractérisée par les formations lithologiques suivantes : graviers et argiles, graviers calcaires, galets. La puissance de cette nappe varie de 10 à 100 m.
- La nappe calcaire du Maestrichtien supérieur
- Le substratum constituant l'assise imperméable, est représenté par des calcaires des Maestrichtien supérieur. Constituant l'élément essentiel de la région, ce niveau assez épais (150 mètres) ; et couvrant d'importantes superficies de calcaires bien fissurés et karstifiés. A coté des miocènes gréseux et des formations quaternaires.

Les résultats des mesures du niveau piézométrique montre :

- L'Oued, coulant du Nord vers le Sud, serpente entre des terrasses alluviales passant d'une rive a l'autre du talweg au gré de ses larges courbes.

- La présence d'une nappe perchée sur les rives .une telle type de nappe n'existe pas réellement dans le site d'El Ouldja.

Le climat de la région est de type aride, il est influencé par:

- La moyenne annuelle des précipitations, elle est de l'ordre de 121,14 mm/an durant la période 2003- 2017); On a remarqué que les mois les plus pluvieux sont Octobre 19,94 mm et mars 18,88 mm et ceux les plus secs sont juillet et aout avec des précipitations inférieur à 2 mm.
- Des températures moyennes assez élevées et une sécheresse estivale très prononcée et très longue, avec des moyennes mensuelles entre 31.44 et 29,18 °C entre les mois de juin à septembre et un maximum de 34,87 °C au mois de juillet
- Les températures les plus faibles sont pour les mois de décembre et janvier avec respectivement 12,46 et 12,10 °C.
- La période de sécheresse prolongée s'étend sur 8 mois de l'année. L'ETP est de 1203,59 mm, la pluie est de 121,14 mm/an et l'ETr est de 121,05mm

L'étude hydrochimique a permis de caractériser les principaux paramètres physico- chimiques et microbiologiques des eaux souterraines et superficielles de la vallée d'El Ouldja .

D'après les résultats des analyses chimiques et leurs classifications, nous remarquons que :

- Les eaux de la vallée d'El Ouldja ont une minéralisation élevée. Cette minéralisation est due essentiellement à : Le lessivage des formations géologiques (argiles, roche carbonatée et les évaporites).
- L'existence de deux groupes chimiques : l'un évaporitiques et l'autre carbonate.

La chimie des eaux se caractérise par une grande variabilité dans le temps mais surtout dans l'espace. Elle augmente vers l'aval sous l'effet et du climat aride, mais aussi des interactions eau/roche ainsi que des apports de surface et des actions anthropiques. Le faciès chimique des eaux évolue de type sulfaté – calciques et sulfatées chlorurée.

La répartition spatiale des éléments chimiques a confirmé que l'origine de ces faciès est fortement liée à la nature lithologique de la nappe. La dissolution des formations carbonatées et évaporitiques est à l'origine de cette distribution.

Le suivi de la qualité des eaux dans le temps et dans l'espace a montré l'impact des facteurs climatiques (les précipitations et l'évaporation) sur la minéralisation des eaux de la nappe.

La comparaison des concentrations des éléments chimiques (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^-) qui caractérisent les formations géologiques principales du bassin, a mis en relief la dominance des ions salifères (Na^+ , Cl^-) et les ions gypsifères (Ca^{2+} , SO_4^{2-}) par rapport à ceux carbonatés (Ca^{2+} , HCO_3^-) dans l'acquisition de la salinité

Du point de vue bactériologique les résultats obtenus montrent l'absence de tous germes indicateurs de

.pollution telle que les *Coliformes totaux* et *fécaux*, les *Streptocoques fécaux* et les *Clostridium sulfito-réducteurs*, avec un faible taux des *germes totaux* qui reste dans les normes algériennes.

Les résultats obtenus prouvent la bonne qualité bactériologique des eaux susvisées. Elle ne présente aucun danger pour la consommation humaine sur le plan bactériologique.

L'étude statistique, par analyse en composante principale (ACP) :

- A confirmer et bien préciser les affinités entre les différents ions renseignant sur l'origine ainsi que les regroupements spatiaux des échantillons étudiés et met en évidence les liens existant entre les paramètres chimiques responsables de la minéralisation et laisse apparaître deux pôles évaporitiques et carbonatés.

Les classifications de Richards et celle de Wilcox ont montré la dégradation de la qualité des eaux pour l'irrigation (présentent des risques de salinisation de sol).

Les sources thermales de Khenchela sont situées dans un anticlinal au pied mont de Ras Serdoun. la source de Tamarssite est située dans la commune d'El Ouldja au Sud Ouest du chef lieu de la Wilaya de Khenchela dans les Aurès à l'est algérien

La méthodologie adoptée a montré que les 02 s échantillons prélevés dans les sources chaudes ont une température comprise entre 26 et 35 ° C, un pH quasi neutre et de très hautes valeurs de conductivité électrique oscille entre 1691 et 2000 us/cm , en raison de l'augmentation de minéraux et de nombreux ions de sel qui sont plus solubles à des températures plus élevées. Chimiquement, les eaux thermales sont des faciès bicarbonatée sodique et le chloruré sodique, ce qui confirme l'influence des formations géologiques dominées par les roches tertiaires, carbonatées et évaporées, imputables à la variabilité de la composition lithologique et liées à différents systèmes hydrogéologiques.

Le géothermomètre à silice montre que ces eaux thermales ont une température de 42 °C et que l'eau proviendrait d'une profondeur allant de 900 m à travers un système de failles qui affecte le socle. Il est montré que la baisse de la température de 32 °C est due a une dissipation d'énergie au cours de la remontée d'eau du réservoir jusqu'à la surface du sol. Cette dissipation pourrait être due, soit à un mélange avec les eaux de surface, soit à la diffusion thermique liée au long trajet parcouru par ces eaux pour arriver en surface. Afin de connaître l'état d'équilibre fluide-minéral, en utilisant l'indice de saturation (SI) on a remarqué que les eaux des sources de Tamarssite 1 et 2 sont largement sous-saturées par rapport aux minéraux évaporitiques qui sont halite. Les analyses chimiques effectuées sur ces sources donnent des valeurs de température de (30°C) ainsi que des concentrations très élevées en chlorures, sodium et potassium, contrairement aux eaux des aquifères exploités dans la région. En comparaison avec les sources chaudes de la région en l'occurrence, Hammam Essalhine et celui d'EL Knif de Khenchela qui présentent tous deux des faciès (Chloruré sodique) . Les concentrations assez excessives des cations et anions de la source de Tamarssite ne peuvent pas provenir des aquifères de la région. Leurs origines sont certainement profondes. Ces origines semblent être liées à la dissolution des roches pouvant générer en grandes concentrations, les bicarbonates, le sodium et le potassium.

D'après les résultats obtenus des analyses microbiologiques dans les 02 sources thermales qui ont révélé des taux élevés des coliformes totaux (12000 UFC), coliformes Fécaux (3000 UFC) et Streptocoques fécaux (200 Tamersite 02), il y a une pollution bactériologique, au contraire de la source

de Ain Tamerssite 01 qui a une eau de bonne qualité bactériologique (absence des quatre micro-organismes).

Donc, les sources tamersite 1 et 2 donnent des eaux hyperthermales, alcalines, superficielles, principalement bicarbonatées sodiques et secondairement sulfates calciques, douces ,modérément ionisées d'origine probablement karstique.

En fin, ces résultats acquis sur les caractéristiques hydrogéologiques et hydrogéochimiques des eaux de la vallée d'El Ouldja sont d'une grande importance pour servir de base à l'exploitation de la ressource en eaux dans cette région.

A. Références Bibliographiques

ANRH (2016) : Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la Wilaya de Khenchela. Agence Nationale des Ressources Hydriques. Khenchela, Algérie.

ANRH (Agence nationale des ressources hydriques) (1974) Etude hydrogéologique de la plaine de Collo. Rapport (Agence nationale des ressources hydrique Constantine).

Aouachria, M (2008) : Analyse morpho dynamique et hydro pluviométrique de la vallée de Oued El Arab et leur impact sur la pérennité du barrage de Babar.

Al-Droubi A, Fritz B, Gac J. Y, Tardy Y (1980) Generalized residual alkalinity concept; application to prediction of the chemical evolution of natural waters by evaporation. American Journal of Science 280:6, 560-572.

Brinis N, Boudoukha A, Hamel A.A (2015) Analyse statistique et géochimique de la dynamique des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines du synclinal de Ghassira Algérie orientale. LARHYSS Journal ISSN1112-3680:22, 123-137.

Benaabidate L (2000) : Caractérisation hydrologique du bassin versant de Sebou : hydrogéologie, qualité des eaux et géochimie des eaux thermales. PHD Thesis. Es-sc, F.S.T. Fès, 250.

Berkani Ch, Houha B (2017), Physico-Chemical And Therapeutic Characteristics Of The Thermo-Mineral Waters of Khenchela Region (Northeastern Algeria) . JMES., 8(5) 1546-1553

Bouri S, Gasmi M , Jaouadi M , Souissi I , Mimi A , Lahlou A. et Dhia H (2007), Étude intégrée des données de surface et de subsurface pour la prospection des bassins hydrogéothermiques : cas du bassin de Maknassy (Tunisie centrale). Hydrol. Sci. J., 52, 1298-1315.

Bouchareb F.Z, Issaad Aet Bendhia H (1994), Estimation and interpretation of geothermal gradient in Northern Algeria. Bull. Serv. Geol.Algeria., 5, 69-74

Bouchareb F.Z, Boudoukha A (2009), Hydro-geochemical and litho-structural approach of deep circulations in the mounts of Hodna, Algeria. Eur.J. Sci. Res., 37, 12-20.

Bouhlassa S, Alecheikh C, Kabiri L (2008) ,Origine de la minéralisation et détérioration de la qualité des eaux souterraines de la nappe phréatique du quaternaire du bassin-versant de Rheris (Er-Rachidia, Maroc).science et changements planétaires/ Sécheresse., 19(38) 67-75.

Bouchareb ,Haouchine F.Z (1993) , Apport de la géothermométrie et des données de forages profonds à l'identification des ressources géothermiques de l'Algérie du Nord. Application à la région du Hodna. Mémoire de Magister, Univ. Alger, Algérie105 p.

B.E.T.H(2016): Etude Pour l'élaboration d'un Bilan Thermal de 02 Sources : Ain Djaarir Et Ain Tamerssite, *Ministère de Tourisme et de l'artisanat. DTW de kenchela* . Phase I : Etude préliminaire.

B.E.T.H(2016) : Etude Pour l'élaboration d'un Bilan Thermal de 02 Sources : Ain Djaarir Et Ain Tamerssite, *Ministère de Tourisme et de l'artisanat. DTW de kenchela* Phase II : Etude d'avant-projet sommaire

B.E.T.H(2016): Etude Pour l'élaboration d'un Bilan Thermal de 02 Sources : Ain Djaarir Et Ain Tamerssite, *Ministère de Tourisme et de l'artisanat. DTW de kenchela* Phase III : Etude du projet détaillé

CEAEQ, (2011). Recherche et dénombrement des bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives: méthode par incorporation à la gélose, MA.700-BHA35 1.0,Rév.3, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 15 p.

Chevalier P (2003). Coliformes totaux. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, 4 p.

Cruz J.V, França Z(2006) : Hydrogeochemistry of thermal and mineral water springs of the Azores archipelago (Portugal) .J. Volcanol. Geotherm. Res., 151, 382–389.

Chenaker H, Houha B et Valles, V (2017): Isotope studies and chemical investigations of hot springs from North-Eastern Algeria. *JMES.*, 8 (12) 4253-4263

Centre d'expertise en analyse environnementale du québec (2008).Détermination des nitrates et des nitrites : méthode colorimétrique automatisée avec le sulfate d'hydrazine et le n.e.d., ma. 300 – no3 1.0, rév. 1. Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du québec, 12 p.

Debieche T .H(2002) Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle, Application à la basse plaine de la seybousse –NE Algérien. Th. Doct.Université de Franche-Comté, 199P.

Drever JF (1997) The geochemistry of natural waters, 3rd edn.Prentice-Hall INC, New York, p 379

Djoudi S(2018) Vulnérabilité et risque de pollution des Eaux souterraines de la plaine de F'kirina nord est Algérie.

Demdoug A, Djebbar M (2009) caractérisation hydrochimique et rapport isotopique sur la salinité du bassin d'el eulma en région sud-sétifienne (algérie nord orientale). *Sci. Et Techno.* 19-26.

Droubi A, Fritz B, Gac J, Tardy Y (1978), Generalized residual alkalinity concept, application to prediction of the chemical evolution of natural waters by evaporation. *American Journal of Science.*, 280: 560-572.

Dubief, j. (1963) : Le climat du Sahara. Mém. Hors série. Institut Recherche Saharien, 275p.

DSA. (2013) : direction des services agricoles, plan d'aménagement de la commune de Babar.

El Achheb A, Mania J, Mudry J (2001, April). Processus de salinisation des eaux souterraines dans le bassin Sahel-Doukkala (Maroc occidental). In First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal aquifers-Monitoring, Modeling and Management, Essaouira, Morocco.

El Haissoufi H., Berrada S., Merzouki M., Aabouch M., Bennani L., Benlemlih M., Idir M., Zanibou A., Bennis Y., El Ouali lalami A (2011). Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès, Maroc, Rev. Microbiol. Ind. San et Environn, Vol 5, N°1, PP: 37-68.

Edmunds W M, Guendouz A H, Mamou A, Moula A, Shand P., Zouari K (2003) Groundwater evolution in the Continental Intercalaire aquifer of southern Algeria and Tunisia: trace element and isotopic indicators. Appl Geochem 18:805–822

Fekrache F (2015) Contribution à l'étude de l'origine de la salinité des eaux du lac Fetzara-Annaba (Algeria). PHD Thesis, University of Annaba, 112.

Figarella J., Leyral G., (2002). Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques. Ed. Scérén CRDP d'Aquitaine, Paris, 360 p.

Fekrache Fadila (2015) , Contribution à l'étude de l'origine de la salinité des eaux du lac Fetzara-Annaba (Algérie). Thèse doctorat. Université de Annaba; 112p.

Gascoyne M., Kaminen D. C(1994) The hydrogeochemistry of fractured plutonic rocks in the Canadian Shield. *Applied Hydrogeology*; 2(94): 43 - 49.

Gouaidia Let al (2012) : Evaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : exemple de la plaine de Meskiana (Nord-Est Algérien). P.141-160

Grasby E. and Hutcheon I (2001): Controls on the distribution of thermal springs in the southern Canadian Cordillera. Can. J. Earth Sci., 38(3) 427-440.

Gemici Ü, Tarcan G (2002), Hydrogeochemistry of the Simav geothermal field, western Anatolia, Turkey. J Volcanol Geotherm Res., 116:215–233

Gascoyne Mr, D.C, kamineneni (1994), The hydrogeochemistry of fractured plutonic rocks in the Canadian Shield. Applied Hydrogeology, 2(94) 43-49.

Hem. J. D (1985), Study and interpretation of the chemical characteristic of natural water. US Geological Survey. Water-Supply. Paper 2254, 263 pp ; Weinheim

Hamit Abderamane (2012), Étude du fonctionnement hydrogéochimique du système aquifère du Chari Baguirmi (République du Tchad) Thèse de doctorat, université de Poitiers.

Hsissou Y , Chauve P, Mania J, Mangin A, Bakalowicz M, Gaiz A (1996) Caractérisation des eaux de l'aquifère turonien du bassin du Tadla (Maroc) par le rapport des concentrations molaires Sr^{2+} , Ca^{2+} . Journal of hydrology, 183(3-4), 445-451.

Houha B (2007), Etude de fonctionnement hydrogéochimique, salin et isotopique des eaux de Khenchela. PHD Thesis, University Avignon, France, 140.

Houha, B(2007), Etude du fonctionnement hydrogéologique et salin d'un bassin semi-aride. Rémila – Khenchela. PhD Thesis, faculty of Earth Sciences, University of Annaba, Algeria. 181. 14

Hamed Y, Ahmadi R , Demdoum A, Gargouri I, Bouri S, Ben Dhia H, Al-Gamal S, Laouar R, Choura A (2014), Use of geochemical, isotopic, and age tracer data to develop models of groundwater flow: A case study of Gafsa mining basin-Southern Tunisia , J. of African Earth Scis. 418-436.

Hassad S, Ouldjaoui M, and Houha B (2017), Hydrogeochemical Characterization of Groundwater in the plateau of mellagou .Western Area of Khenchela, East of Algeria. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, ISSN 0975-8585 8(3).

Han D.M, Liang X, Jin M.G, Currell M.J, Song X.F, Liu C.M(2010) ,Evaluation of groundwater hydrochemical characteristics and mixing behavior in the Daying and Qicun geothermal systems, Xinzhou Basin J. Volcanol. Geotherm. Res., 189(2) 92–104.

IAEA. Manual for Operation of an Isotope Hydrology Laboratory., 10 (2008) 167-178.

Issaadi A (1996), Mécanismes de fonctionnement des systèmes hydrothermaux. Application aux eaux thermominérales algériennes et aux eaux de Hammam Bou-Hadjjar. Bull. Ser. Géol. Algérie., 7, 71-85.

Issaadi A, Bouchareb –Haouchine F.Z (1997), Estimation du flux de chaleur en Algérie du Nord à partir de la thermométrie silice. Bull. Ser. Geol. Algérie., 8(1) 29-39.

Issaadi A(1992), Le thermalisme dans son cadre géo structural, apports à la connaissance de la structure profonde de l'Algérie et de ses ressources géothermales. Thèse de Doctorat d'état. IST. USTHB. Alger., 274.

I.F.E.S Icosium Forage & Engineering Service (2002) , Etude par prospection géophysique dans la Service (kheirane, Djellal et el Ouldja) Ministère de l'hydraulique. DHW de khenchela. Algérie. 10-11 pages

Kendouci MA, Kharroubi B, Mebarki S, Bendida A (2016), Physicochemical quality of groundwater and pollution risk in arid areas: the case of Algerian Sahara. Arab J Geosci 9(2) :146

Kompani-Zare, M. Moore F (2001), Chemical thermometry and origin of the Dalaki mineral springs, Bushehr Province, Iran . J. Hydrol., 40(2) 189–204.

Khemmoudj K, BendadoucheH, Merabet S (2016), Water resources in semi arid and sustainable development, case Djemila Northeast Algerian region. LARHYSS Journal, ISSN 1112-3680 (26), 249-258.

Khabthen A(2014), Contribution a l'étude des caractères morphologiques, physiologiques et des marqueurs moléculaires pour l'évaluation du polymorphisme phénotypique et génétique des espèces du genre Tamarix dans différents écotopes de la zone steppique de KHENCHELA (EST ALGERIEN).Thèse de doctorat université de Constantine Algérie.

Khedidja ,2016 Caractérisation des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère de Tadjnant – Chelghoum Laid et impact de la pollution des eaux de surface sur les eaux souterraines

Larpent J. P(1997). Microbiologie alimentaire: Technique de laboratoire. Ed. Technique et documentation-Lavoisier, Paris, 1073 p.

Pomerol et Ricour (1992), Fonctionnement d'un système hydrothermal associé à un contact tectonique alpin (La Léchère, Savoie). PhD Thesis Université de Savoie Apports de l'hydrogéologie, de la géochimie et de la modélisation hydrodynamique et thermique en vue de la gestion de la ressource.

Plummer LN, Prestemon EC, Parkhurst- Reston, Va., USA , NET PATH-USGS water resource investigations .Report 9:1-4078.

Polvêche J (1960), Contribution à l'étude géologique de l'Ouarsenis Oranais Tome I et II. Publications du service de la carte géologique de l'Algérie. Bulletin N°24.

Piper, A.M (1944), A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analysis. Am. Geophys. Union Trans., 25, 914-928

Ramade, F., 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Ed. Dunod, 1063 p.

Rodier J (1996), L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8e édition, Dunod (Éditeur), Paris, 1365 p.

Rodier J, Beuffr H, Bournaud M, Broutin J. P, Geoffray Ch, Kovacsik G, Laport J, Pattee E, Plissier M, Rodi L, Vial J. (1984). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 7e édition. Ed. Dunod.

STUCKY.BG(2007) : Etude de faisabilité des barrages de Biskra,Ouldja et Chababta. Ministère de l'hydraulique. DHW de kenchela, Mission 5.

STUCKY.BG(2007) : Etude Géophysiques et géologiques de faisabilité des barrages de Biskra ,Ouldja et Chababta. Ministère de l'hydraulique. DHW de kenchela , Mission 5.

STUCKY.BG(2007) : Etude hydrologique de faisabilité des barrages de Biskra ,Ouldja et Chababta. Ministère de l'hydraulique. DHW de kenchela, Mission 5.

Sedrati a.(2017) : Contribution à l'étude hydrogéochimique et isotopique des eaux de la nappe du complexe terminal - zone sud Khenchela – Algérie

Trabelsi R, Zaïri M, Smida H, Ben Dhia H (2005) : Salinization of coastal aquifers: case of the North Sfax Sahel aquifer, Tunisia .J. Of. Geosci. 515 - 524.

Tardy Y. S.A.R.L., Elements édit. (1980), pp 109.

Tweed S, Leblanc M, Cartwright I, Guillaume FG, Leduc C (2011), Arid zone groundwater recharge and salinisation processes; an example from the Lake Eyre Basin, Australia . Hydrol. Sci. J408(3-4). 257-275.

Toth J(1999), Groundwater have has geologic agent: the overview of the Year talk, process, and demonstrations, Hydrogeology Journal., 7: 1-14.

Vincent V(2008) ,Course on the thermal waters. University of Avignon, France.

Valles V(2007) : Cours sur les eaux thermales. Lab. d'Hydrogéologie d'Avignon, Enseignement Terre et Eau.

VILA J.M (1977) : Carte géologique de l'Algérie et notices explicatives.

VILA J.M (1980): La chaîne Alpine d'Algérie Orientale et les confins Algéro-Tunisien. Thèse es.Science, Paris .

Zeddouri, A. Derradji, F. Hadj-Saïd, S. (2010) : Origine de la salinité des eaux du complexe terminal dans la région d'Ouargla (sud-est algérien), Phys. Chem. News, 53, no 05, 2010, p. 62-69.

Younssi (2009), Epuisement de la nappe aquifère de la région de F'kirina (W. d'Oum El Bouaghi), et ces répercussions sur la gestion des ressources en eau Thèse de Majistère, Université de Badji Mokhtar Annaba.

Wilcox. L.V. The quality of water for agricultural use. US Dept Agriculture TechBull 962, Washington DC.

Wilcox.L.V, (1) . Classification and use for irrigation waters. USDA, Circ.969, Washington,.

B. Références webographiques

www.al.lu/chemistry/stuff1/DL1/radioactivity

www.aquamania.net/other/images/science/eauisotope

www.bondy.ird.fr/pleins_textes/cahiers/géologie/20690

www.brgm.fr/domaines/eaux

www.industrie.gouv.fr/energie/matieres/pdf/nt07

www.quanterra.org/Quanterra_Short_Course_8F

www.uprm.edu/publications/cjs/VOL17/P133-150

www.terre-et-eau.univ-avignon.fr/eauxthermales.html

C. Les cartes utilisées

INC : La carte topographique de Khenchela au 1/200000. Ministère des ressources en eau Algérie-Algérie 1 feuille.

SONATRACH : La carte géologie de Khenchela au 1/200000. Ministère de l'énergie Algérie – Algérie 1 feuille.

