

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar El oued

Faculté de Technologie

Département : Hydraulique et Génie Civil



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

*Présenté en vue de l'obtention du diplôme
du Master en Hydraulique*

Option: *Conception et diagnostic du système
d'AEP et d'Assainissement*

THEME

**Contribution à l'étude de la qualité des eaux des forages
(Commune Beldet Amor)**

Dirigé par:

Dr. Sayah Lembarek Mohammed.

présenté par:

Mehda M^{ed} Elhadi

Zerouk Tarek

Ramdani M^{ed} Salah

Devant le jury composé de :

Dr : Riget ferhat

Examineur

Dr : Bouchmel fatoum

Président

Dr : sayah lembarek mohammed

Encadreur

Promotion: Juin 2021

Remerciements

TOUTE NOTRE PARFAIT GRATITUDE ET REMERCIEMENT à ALLAH
LE PLUS PUISSANT QUI NOUS A DONNÉ LA FORCE , LE COURAGE

ET LA VOLONTÉ POUR ÉLABORER CE TRAVAIL

C'EST AVEC UNE PROFONDE RECONNAISSANCE ET
CONSIDÉRATION PARTICULIÈRE QUE REMERCIÉ L'ENCADREUR
MR : **SAYAH LEMBAREK MOHAMMED ET MILOUDI MONEM** . POUR
SON SOUTIENS, SON CONSEILS ET SON GRANDE BIENVEILLANCES
DURANT L'ÉLABORATION DE CE PROJET.

AVEC NOS REMERCIEMENTS SPECIAL A LA NARH (SALIM SINOUSI)

AINSI NOUS EXPRIME MES RECONNAISSANCE à TOUS LES
MEMBRES DE JURY D'AVOIR ACCEPTÉ DE LIRE CE MANUSCRIT ET
D'APPORTER LES CRITIQUES NÉCESSAIRES à LA MISE EN FORME
DE CET OUVRAGE .

ENFIN , à TOUS CEUX QUI NOUS AIDÉ DE PRÉS OU DE LOIN POUR
LA RÉALISATION DE CE PROJET DE FIN D'ÉTUDE .

Dédicace

*Je m'incline devant Dieu Tout - Puissant
qui m'a ouvert la porte du savoir et m'a
aidé à la franchir.*

*Je dédie ce modeste travail : A ma chère
mère, source d'affectation de courage et
d'inspiration qui a autant sacrifié pour
me voir atteindre ce jour.*

*A mon père, source de respect, en
témoignage de ma profonde reconnaissance
pour tout l'effort et le soutien incessant
qui m'a toujours apporté.*

A mon frères , A mes soeurs

A toute la famille

A tous mes camarades

*A tous mes ami(e) s du département
hydraulique , ainsi ceux de la cité
universitaire*

ملخص:

تقع بلدية بلدة عمر جنوب منطقة وادي ريغ الذي يتميز بطقس جد جاف ويتوفر على مخزون مائي جوفي كبير لكن الاستغلال المفرط لهذه المياه يؤدي الى تدهور نوعيتها حيث ان تبخر مياه الري عالية الملوحة ينتج عنه تملح التربة بالإضافة الى انخفاض منسوب المياه به .

تهدف هذه الدراسة إلى معرفة مدى جودة المياه الجوفية من خلال القيام بالتحاليل الفيزيائية والكيميائية وإنشاء الرسومات البيانية التي تظهر عدة تصانيف كيميائية مختلفة للتنقيبات التي يعود اصلها الى طبيعة التكوينات الجيولوجية التي تحوي المياه

بصفة عامة نوعية المياه المدروسة هي من رديئة الى صالحة الى السقي الا انه لا ينصح باستعمالها للشرب قبل المعالجة .

الكلمات المفتاحية: بلدة عمر – المياه الجوفية – تصنيفات كيميائية – الملوحة.

Résumé:

La commune de Beldat Amor est située au sud de l'Oued Rig, qui se caractérise par un climat très sec et dispose d'une importante réserve d'eau souterraine, mais l'exploitation excessive de cette eau entraîne une détérioration de sa qualité, car l'évaporation des eaux fortement salines l'eau d'irrigation entraîne une salinisation du sol en plus d'une diminution du niveau d'eau dans celui-ci.

Cette étude vise à connaître l'étendue de la qualité des eaux souterraines à travers des analyses physiques et chimiques et la création de graphiques qui montrent plusieurs classifications chimiques différentes pour les fouilles dont l'origine est due à la nature des formations géologiques qui contiennent de l'eau.

Mots clés : Beldat Amor- Les eaux souterraines- classifications chimiques- salinité.

Abstract:

The commune of Beldat Amor is located south of the Oued Rig, which is characterized by a very dry climate and has a large reserve of underground water, but the excessive exploitation of this water leads to a deterioration of its quality, because the evaporation of strongly saline water irrigation water causes salinization of the soil in addition to a decrease in the water level in it.

This study aims to know the extent of groundwater quality through physical and chemical analyzes and the creation of graphs that show several different chemical classifications for excavations whose origin is due to the nature of geological formations that contain the water.

In general, the quality of the water studied is poor to suitable for irrigation, but it is not recommended to use it for drinking before treatment.

Key words: Beldat Amor- Groundwater- chemical classifications - salinity

Sommaire

REMERCIEMENTS
Dédicaces
Résumé
Sommaire
Liste de tableau
Liste de figure
Introduction Générale
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.1 INTRODUCTION	1
I.2 Situation géographique de la zone d'étude.....	1
I.3. Les peuplements du Beldat Amor.....	3
I.4. Le cadre architectural et socioéconomique du zone d'étude.....	3
I.5. Relief et topographie de la région d'étude.....	3
I.6. Contexte climatique	4
I.6.1. Climatologie de la région.....	4
-Précipitation.....	5
-Humidité de l'aire.....	6
-Vents	7
-Durée de l'insolation.....	8
-Températures.....	9
-Evaporation	10
I.6.2. Synthèse climatique.....	11
I.6.2.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN.....	11
I.6.2.2. Quotient pluviothermique d'EMBERGER.....	12
I.6.2.3. Indice d'aridité de DE MARTONNE.....	13
I.7. Geologie de la region.....	14
I.8. Conclusion.....	16

Chapitre II : Hydrogéologie de la région

II.1 INTRODUCTION.....	17
II.2 LES DIFFERENTES NAPPES DANS LA REGION.....	18
II.2.1. La nappe phréatique.....	18
II.2.2. Complexe Terminal (CT).....	19
II.2.2.1. Caractéristiques principales.....	19

II.2.3. Continental Intercalaire(CI).....	21
II.2.3.1. Caractéristiques principales.....	21
II.2.3.2. Alimentation.....	21
II.2.3.3. Ecoulement.....	24
II.2.3.4. Les exutoires.....	25
II.2.3.5. Estimation des réserves.....	26
II.3. Les types des forages dans la région d'étude.....	26
II.3.1. Méthode de Rotary.....	27
II.3.1.1. Principe.....	27
II.3.1.2. Les Avantages.....	27
II.3.1.3. Les Inconvénients.....	28
II.3.1.4. Réalisation du forage.....	28
II.3.1.5. Equipements du forage.....	31
II.3.2. Méthode au battage.....	35
II.3.2.1. Les Avantages.....	35
II.3.2.2. Les Inconvénients.....	35
II.4. Conclusion.....	37

Chapitre III : Interprétation des analyses physico-chimiques la région

III.1 INTRODUCTION.....	38
III.2 Matériels et méthodes (eaux d'irrigation).....	38
III.2.1 Conditions et mode d'échantillonnage	38
III.2.2 Méthodes d'analyses physico-chimiques.....	39
III.3. Les normes d'irrigation.....	41
III.3.1. Les Paramètres physiques.....	41
III.3.1.1. La Température.....	41
III.3.1.2. La Conductivité électrique.....	42
III.3.1.3. La Potentiel d'hydrogène (pH).....	42
III.3.1.4. La Résidu sec.....	42
III.3.1.5. Solides totaux dissous (TDS).....	42
III.3.1.6. Salinité.....	43
III.4. Résultats et discussions.....	43
III.5. Conclusion.....	51

Conclusion générale et recommandation.

Référence bibliographique

Liste de Tableau

Tableau I.01	précipitations moyennes mensuelles, interannuelles Période (2008-2019)	05
Tableau I.02	Humidité moyenne mensuelle, interannuelle Période (2008-2019)	06
Tableau I.03	Les vitesses du vent moyennes mensuelles, interannuelles Période (2008-2009)	07
Tableau I.04	Durée d'insolation moyennes mensuelles, interannuelles Période (2008-2019)	08
Tableau I.05	Températures moyennes mensuelles, interannuelles Période (2008-2019)	09
Tableau I.06	Les valeurs d'évaporation moyennes mensuelles, interannuelles Période (2008-2019)	10
Tableau I.07	Classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de DEMARTONNE	13
Tableau I.08	Indice d'Aridité de DEMARTONNE	13
Tableau II.01	Synthèse régionale des différents aquifère de la région d'étude, échelle arbitraire	22
Tableau II.02	Quelques données sur le grand bassin SASS	23
Tableau III.01	Norme de salinité par rapport à la conductivité électrique.	43
Tableau III.02	Les résultats des analyses de échantillons 2021.	44
Tableau III.03	Salinité maximale adaptée à certaines des plantes	50

Liste de Figure

Figure I.01	situation géographique de la région d' étude	02
Figure I.02	Histogramme de précipitations moyennes mensuelles, interannuelles (mm)	05
Figure I.03	Histogramme de Humidité moyenne mensuelle, interannuelle (%)	06
Figure I.04	Histogramme de Vitesse moyenne mensuelle interannuelle du vent (m/s)	07
Figure I.05	Histogramme de Durée d'insolation moyenne mensuelle interannuelle (heure)	08
Figure I.06	Histogramme de Températures moy mensuelles interannuelles (°C)	09
Figure I.07	Histogramme de distribution des valeurs d'évaporation moyenne mensuelle (mm)	10
Figure I.08	Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Touggourt (2008-2019)	11
Figure I.09	Position de la région de Touggourt dans le climagramme d'EMBERG (2008/2019)	12
Figure I.10	stratigraphique synthétique de la région de Touggourt(Beldet Amor)	15
Figure II.01	Carte montrant l'étendu du SASS	17
Figure II.02	Coupe hydrogéologique à travers le Sahara	18
Figure II.03	Coupe hydrogéologique Nord- Sud du Complexe Terminal du Bas Sahara	20
Figure II.04	Carte des zones d'infiltrations et de ruissèlement du CI	23
Figure II.05	Régime d'écoulement type et temps de séjour des eaux souterraines dans les régions semi-arides	24
Figure II.06	Carte piézométrique de référence en 1950 et principales directions d'écoulement, zones de recharges et d'exutoires majeurs	25
Figure II.07	Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara septentrional	26
Figure II.08	Principe de forage rotary.	27
Figure II.09	Table de rotation	28
Figure II.10	Le Tige carrée	29
Figure II.11	Les Tiges de forage	29
Figure II.12	L'outil de forage	30
Figure II.13	Pompe à boue	30

Figure II.14	La Tête d'injection	31
Figure II.15	Tubages en PVC	32
Figure II.16	Cimentation par canne dans l'annulaire.	34
Figure II.17	Battage au câble	36
Figure III.01	Photo de remplissage d'échantillons.	39
Figure III.02	Photo de l'appareil Thermomètre.	40
Figure III.03	Photo de l' appareil pH mètre.	40
Figure III.04	Photo de l'appareil conductimètre.	41
Figure III.05	Carte de conductivité électrique des eaux des forages 2021.	46
Figure III.06	Carte de TDS des eaux des forages 2021.	48
Figure III.07	Carte de Résidu sec (RS) des eaux des forages 2021.	49
Figure III.08	Carte de Salinité des eaux des forages 2021.	50

Introduction
Générale

Introduction générale

Face aux besoins en eau sans cesse grandissants, l'exploitation des nappes d'eau souterraines apparaît comme étant un moyen efficace pour établir une meilleure gestion des ressources en eau.

Sous la pression de ces besoins considérables, l'homme est passé à une utilisation de plus en plus poussées des eaux de surfaces vers, la recherche des eaux souterraines. Aujourd'hui, il suffit d'évoquer ce problème pour provoquer une immense inquiétude au sein de la population et plus particulièrement chez les cultivateurs. La seule alternative demeure dans la bonne exploitation des nappes d'eaux souterraines pour combler le grand déficit en eau, tout en évitant une surexploitation et une dégradation de sa qualité et de l'environnement.

Ce travail, s'axe sur la région Sud de l'Oued Righ, qui fait partie du Sahara Septentrional, plus précisément du Bas Sahara, où les ressources en eaux souterraines, bien qu'importantes, sont essentiellement peu renouvelables, représentées par deux grands systèmes aquifères : le Continental Intercalaire et Le Complexe Terminal.

L'explosion démographique et la surexploitation de cette réserve hydrique à l'échelle locale et régionale a provoqué énormément de problèmes liés à la qualité des eaux, tels que la chute de l'artésianisme, la remontée des eaux de la nappe phréatique, ce qui a influencé négativement sur les écosystèmes dans la région.

Ces problèmes matérialisés par des impacts directes sur l'eau et l'écosystème dont la plus part sont liés principalement aux conditions naturelles de la région tel que : la morphologie du terrain, la forte évaporation et la salinité des eaux. Aussi, la mauvaise gestion de ces réserves hydriques s'attachent principalement à l'absence d'une stricte planification et aux mauvais suivi de la ressources.

Au titre de ces problèmes évoqués, nous avons fait une étude consisté à chercher une approche pour mieux gérer les eaux souterraines de la région de Blidet Amor de notre point de vue la gestion commence par la connaissance de la qualité des eaux souterraines de la région. En analysant certains des éléments physico-chimiques (PH, TDS, RS, T°, C_E, Salinité), Après analyse des échantillons et par conséquent faire une évaluation qui se base sur la comparaison avec l'état précédent de l'eau souterraine de la région.

Pour se faire, nous présenterons ce présent humble mémoire comme le suivant :

- **Le premier chapitre** : Présentation de la zone d'étude.
- **Le deuxième chapitre** : Hydrogéologie de la région.
- **Le troisième chapitre** : Interprétation des analyses physico-chimiques de la région d'étude.

Chapitre I :

*Présentation de la zone
d'étude*

I.1 Introduction :

La région dite de Beldet Amor qui fait partie d'Oued Righ située dans le Sahara Algérien septentrional, est connue par le développement considérable de ses oasis , qui produisent des dattes d'excellente qualité. La culture du palmier dattier dans cette région était pratiquée par les indigènes bien avant l'arrivée des Français en Algérie, et grâce aux efforts de la population de Beldet Amor est devenu l'une de la régions de contribuer à la production et l'exportation des dattes en Algérie.

L'essor de la culture de la datte dans cette région est dû non seulement aux efforts de la population, mais surtout aux conditions climatiques particulières, aux caractéristiques favorables du sol et à l'existence des nappes souterraines importantes.

I.2. Présentation géographique de la région d'étude :

La zone d'étude est l'une des communes de wilaya de Tougourt située au Sud de center ville du la wilaya, que est sable éoliens qui croise les zones des chotteuses et les palmeraies , et est confiné entre deux hauteurs : **79m** et **123m**.

Le domaine d'étude se compose de terres plates à quelque peu nivelées et certaine dépressions et vasières y apparaissent , mais en général en peut dire que la plupart des terres du domaine d'étude sont plates.

La commune de Beldat Amor est une entité géographique située entre la latitude 32° 94' Nord et une longitude 5° 97' Est .

Du point de vue administrative (figure n°1) ; la zone d'étude fait partie de la Wilaya Tougourt . Elle est limite :

- * Au nord par la commune de Témacine.
- * Au Sud par la communes de El hadjira et Mnageur.
- * Au l'est par le El Noggar (Taibat).
- * A l'ouest par la commune El Alia.

(Bureau d'études Ben Sheikh. 2011)

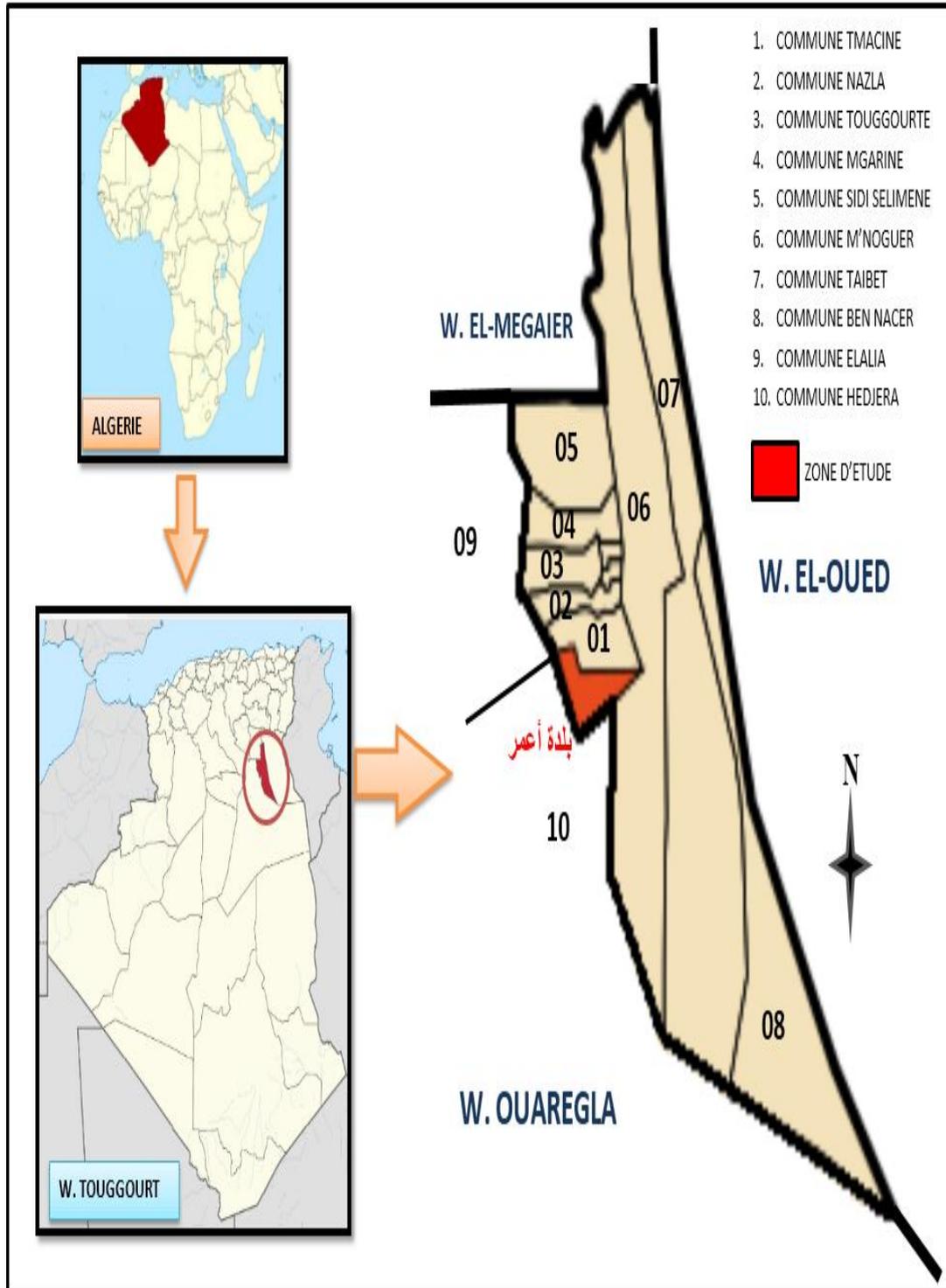


Fig I.01: situation géographique de la région d' étude.

I.3. Les peuplement du Beldat Amor :

La zone d'étude comprend la commune Beldet Amor , que est une petite ville située à **25km** au sud de wilaya de tougourt , salont les statistiques de **2019**,le population est estimée à **17718** habitants dont **13120** vivent dans l'agglomération centre ville ,**4480** habitants dans l'agglomération secondaire et **118** habitants sont répartis sur une superficie de et se compose de la ville de Beldet Amor et El Goug .

(Bureau d'études Ben Sheikh. 2011)

I.4. Le cadre architectural et socioéconomique du zone d'étude :

Dans la commune de Beldet Amor, la superficie arable totale ,salon les statistiques de 2011 est de **3949 ha** dont **1610 ha** sont exploitées il comprend près **112400** de palmiers sur un total de **2 millions** que compte le pays.

Les statistiques montrent que l'agriculture occupe 23% des travailleurs dans la zone de Beldet Amor, le palmier dattier est la principale culture dans la région, la variété Degelet Nour domine suivie par le « Ghars » et Degla beida. Les cultures hors palmiers sont peu développées et occupent 10 à 15 % de la superficie dont l'orge et la luzerne sont les cultures fourragères les plus importantes. Les cultures maraichères surtout l'ail, l'oignon, carottes et navets sont également produits pour une consommation locale. En fin l'arboriculture fruitière est très marginalisée.

Les animaux élevés sont gardés dans les maisons, ils sont alimentés de fourrage, dattes sèches de qualité non marchande. Les chèvres sont élevées pour leur lait, les brebis pour la chair de leurs agneaux consommés lors des fêtes. Le pâturage sous palmier est peu pratiqué à cause bête qui fait du dégât aux niveaux des seguias, drains, tranches cultivés. (Bureau d'études Ben Sheikh. 2011)

I.5. Relief et topographie de la région d'étude :

Cette région est connue sous le nom du Bas Sahara, à cause de sa basse altitude notamment dans la zone du chott au Nord où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer. A une morphologie homogène, elle se présente comme une dépression (large fossé) orienté Sud-Nord, composée d'une véritable mer de sable et de dunes qui s'étendent sur la plus grande partie et quelques plaines composées de sable et d'alluvions.

La variation des côtes est nettement remarquable, Elle descend régulièrement entre **79m** et **123 m** . (Bureau d'études Ben Sheikh. 2011)

I.6. Contexte climatique :

I.6.1. climatologie de la région :

L'établissement d'un bilan hydrique nécessite une étude précise des différents paramètres du climat, tels que les précipitations, les températures et l'évapotranspiration...etc, pour cela, on va étudier les paramètres climatiques de la zone Beldet Amor . Le climat de la commune Beldet Amor est typiquement saharien qui se caractérise par des précipitations très faibles, capricieuses, une température élevée et une humidité relativement faible , En absence de station météorologique dans notre zone d'étude nous avons fait recours a la station de Touggourt , vue qu'elle fait partie de l'entité Oued Righ car elle se situe dans la partie sud la vallée , de plus les caractéristiques climatiques et végétale sont presque le même donc nous avons considéré que cette station représente le climat de notre région d'étude. dont les coordonnées sont les suivantes :

- Latitude : 33.11'N .
- Longitude : 06°13'E .
- Altitude : 85 m .

Remarque :

L'étude climatique que nous avons adoptée s'étale sur 12 ans ce qui fait d'elle une étude représentatif du climat de la région et de l'effet de la remontée

(N R A H ,Tougourt).

I.6.1.1. Les précipitations :

Les fluctuations mensuelles montrent une répartition variable de la pluie d'un mois à l'autre comme l'indique le tableau ci-dessous.

Tab I.01: précipitations moyennes mensuelles, interannuelles Période (2008-2019)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P(mm)	5.4	5.98	9.27	6.04	15.02	5.98	10.46	6.08	4.47	1.62	1.05	1.61

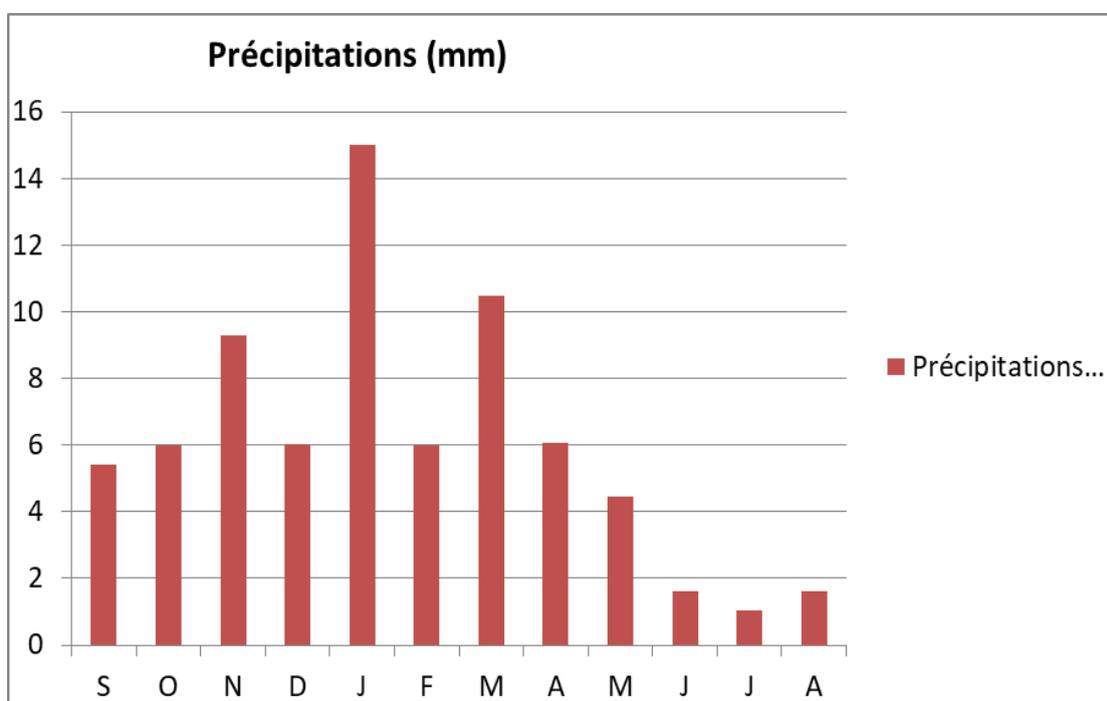


Fig I.02: Histogramme de précipitations moyennes mensuelles, interannuelles (mm)

La zone subit l'influence d'un gradient pluviométrique décroissant du Nord vers le Sud dans les régions sahariennes les pluies sont rares et aléatoires. (1 mm = $10^{-3} m^3$ par hectare).

D'après le tableau 01 et la figure 02, on remarque que le mois le plus pluvieux est Janvier **15.02 mm**, juillet étant le mois le plus sec avec précipitation de **1.05 mm**.

I.6.1.2. Humidité relative de l'air :

Tab I.02: Humidité moyenne mensuelle, interannuelle Période (2008-2019) .

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Humidité (%)	43.8	52	61.17	65.48	64.07	54.83	48.96	43.83	40.41	35.03	33.14	34.6

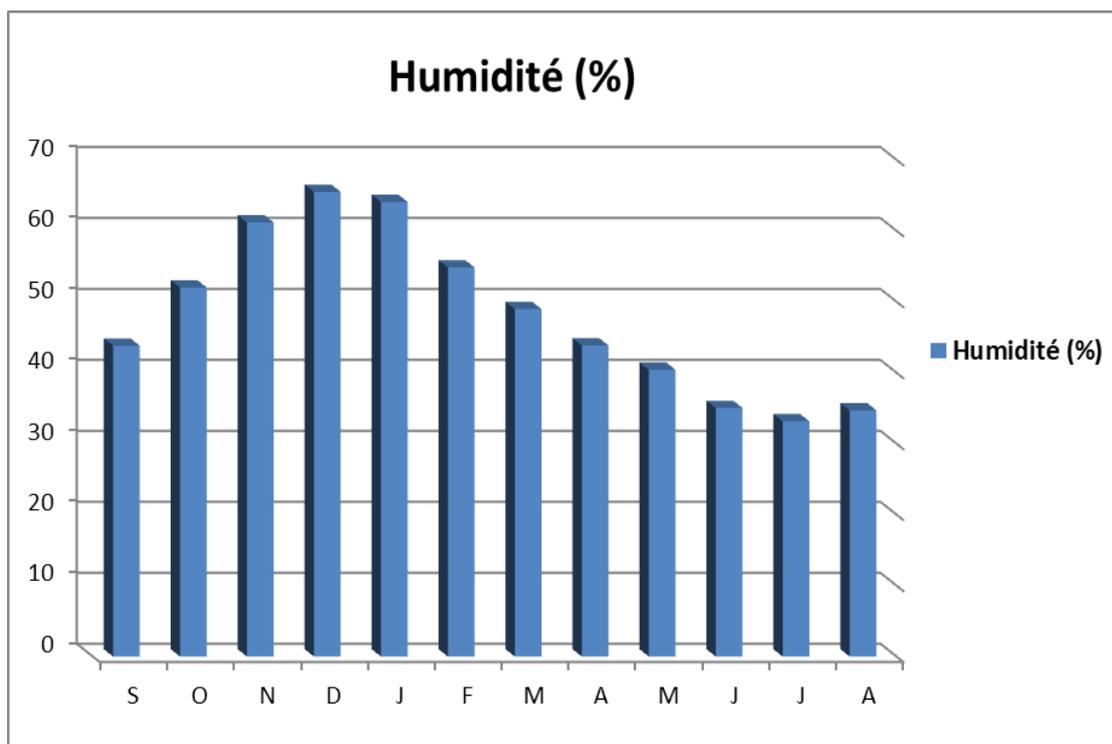


Fig I.03: Histogramme de Humidité moyenne mensuelle, interannuelle (%)

Les valeurs de l'humidité relative dans la Beldet Amor sont relativement homogènes. Les moyennes mensuelles varient entre **33.14 %** et **65.48 %**, sachant que la moyenne annuelle est de l'ordre de **48%**.

Juillet est le plus le mois sec étant Décembre est le mois le plus humide , selon le tableau 02 et la figure 03.

I.6.1.3. Les vents :

Tab I.03: Les vitesses du vent moyennes mensuelles, interannuelles Période (2008-2019)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Le vent (m/s)	2.97	2.79	2.76	2.54	2.73	2.89	3.44	4.12	4.18	3.81	3.4	3.04

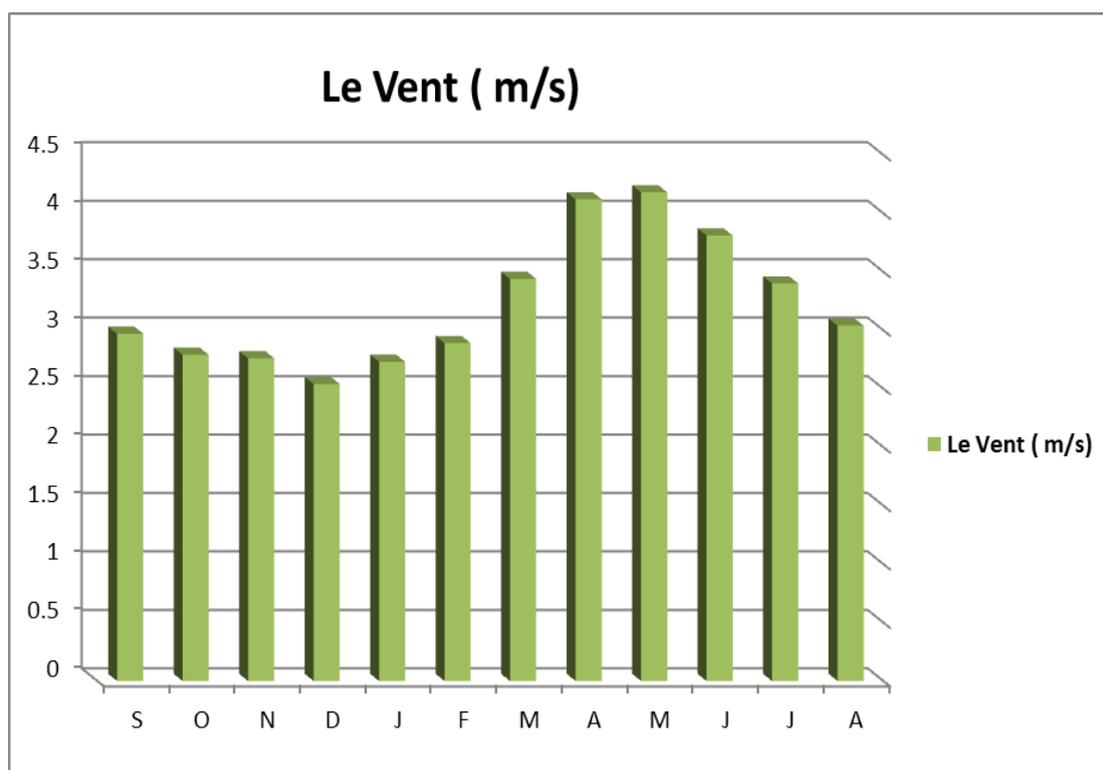


Fig I.04: Histogramme de Vitesse moyenne mensuelle interannuelle du vent (m/s)

D'après le tableau 03 et la figure 04, le maximum de vent est enregistré au mois de Mai avec une vitesse de **4.18 m/s** et le minimum en Décembre de est **2.54 m/s** .Ces vents soufflent suivant des directions différentes.

I.6.1.4. Durée d'insolation :

Tab I.04: Durée d'insolation moyenne mensuelle, interannuelle Période (2008-2019)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
L'insolation (h)	281	263	238	236	228	273	272	287	313	331	358	336

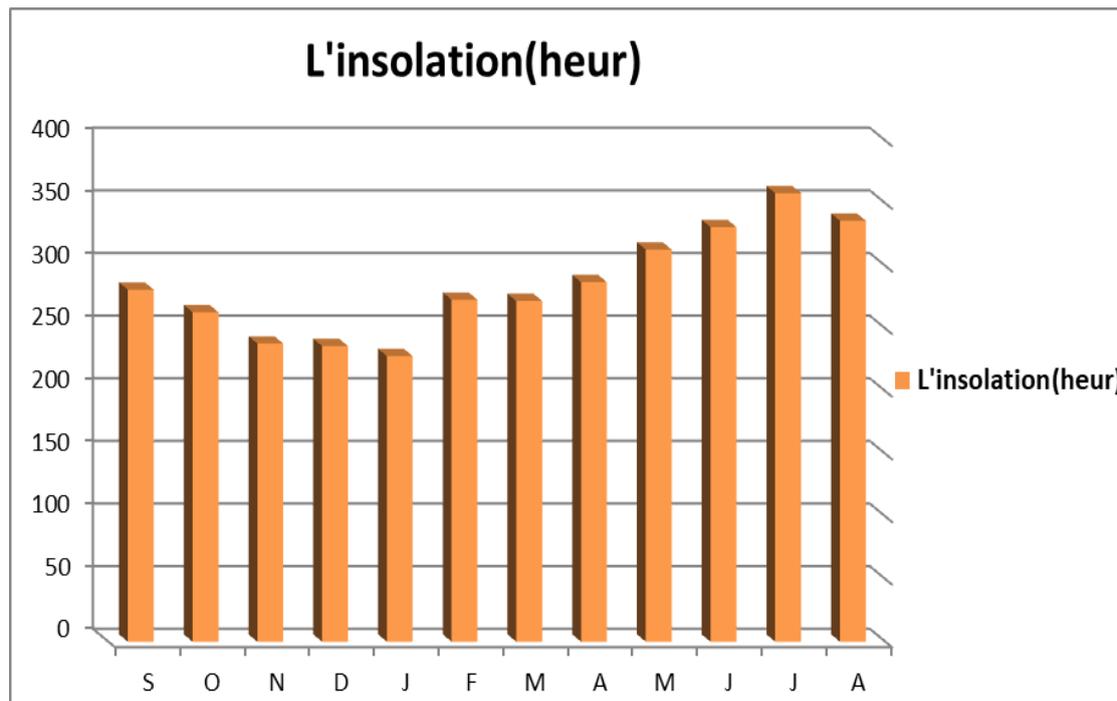


Fig I.05: Histogramme de Durée d'insolation moyenne mensuelle interannuelle (heure)

La commune de Beldet Amor reçoit une quantité de la lumière solaire relativement très forte, le maximum est atteint au mois de Juillet avec une durée de **358 heures** d'insolation et le minimum au mois de Janvier avec une durée de **228 heures**, selon le Tableau 04 et la figure 05.

I.6.1.5. Températures :

Tab I.05: Températures moyennes mensuelles, interannuelles Période (2008-2019)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T (°C)	28.9	22.21	15.5	11.22	10.2	12.7	16.11	20.3	24.5	30.78	33.27	32.93

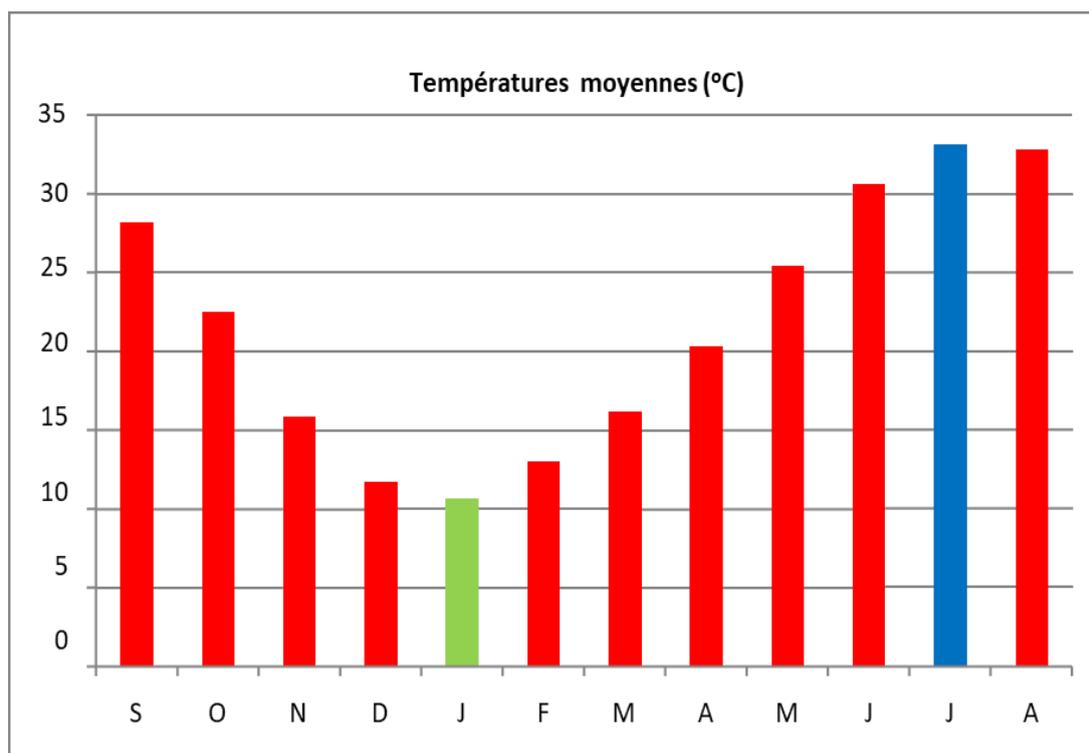


Fig I.06: Histogramme de Températures moy mensuelles interannuelles (°C)

Selon le tableau 05 et la figure 06 le maximum des moyennes mensuelles est atteint au mois de Juillet **33.27 °C** et le minimum au mois de Janvier **10.2 °C**. D'après les moyennes annuelles, les années 2008 et 2009 sont les années les plus chaudes durant la période (2008-2019), 2015 et 2017 est les années la plus froides durant cette période.

I.6.1.6. L'évaporation :

L'évaporation est la partie non négligeable de l'eau arrivée au sol est immédiatement évaporée, le tableau ci-dessous montre les valeurs d'évaporation moyenne mensuelle en (mm) de station de Touggourt.

Tab I.06: Les valeurs d'évaporation moyenne mensuelle (mm), période (2008-2019)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Eva (mm)	231.6	170	92.1	107	87	109	169	220.3	278.7	318	354.6	330.2

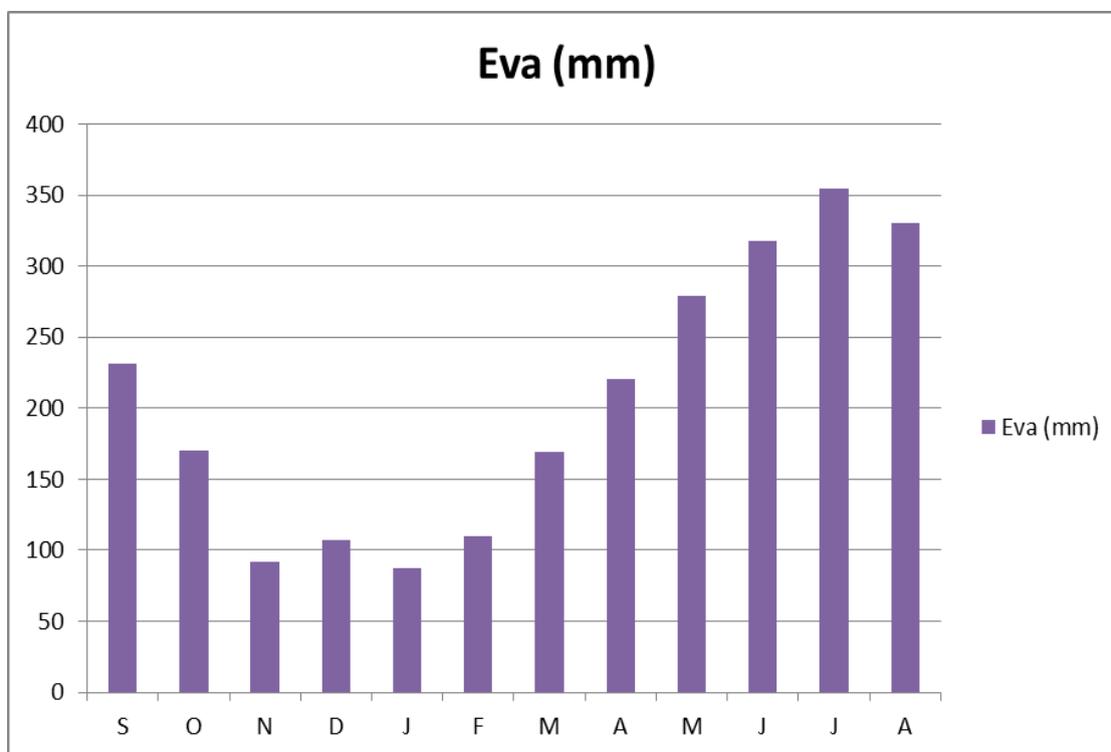


Fig I.07: Histogramme de distribution des valeurs d'évaporation moyenne mensuelle (mm).

D'après l'histogramme, le taux d'évaporation moyenne mensuelle maximale est au mois de Juillet avec une valeur égale à **354.6 mm** et la valeur minimale est au mois de Janvier avec une valeur égale à **87 mm**.

I.6.2. Synthèse climatique :

Les températures constituent avec les précipitations les éléments majeurs qui régissent le climat d'une région.

I.6.2.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN :

Le diagramme ombrothermique de GausSEN permet de calculer la durée de la saison sèche. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle qui sont portées sur des axes où l'échelle de la température est double de la pluviosité.

Dans notre cas la courbe des pluies passe au-dessous de la courbe des températures, sauf le mois de janvier où la courbe des précipitations passe au dessus de celle des températures. Cette allure permet de constater que la période sèche s'étale le long de l'année avec une intense sécheresse au mois de juin à septembre sauf le mois de janvier où les précipitations dépassent les températures. (Fig.08)

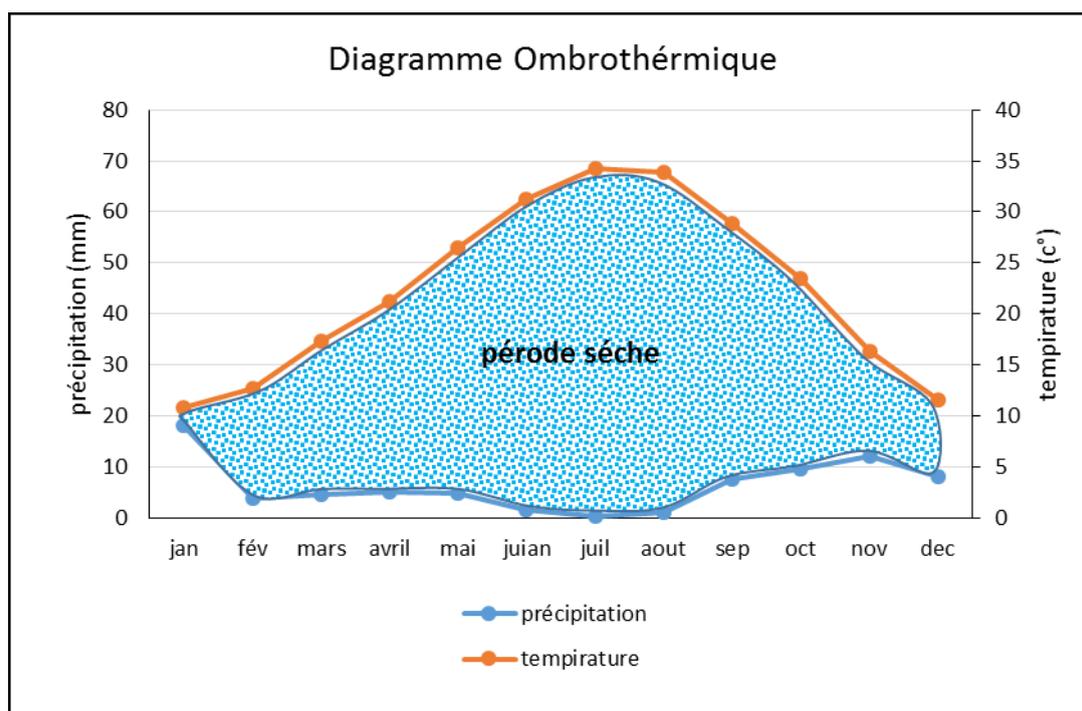


Fig I.08: Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Touggourt (2008/2019).

I.6.2.2. Quotient pluviothermique :

Le quotient pluviométrique d'EMBERGER permet le classement des différents types de climat. En d'autres termes, il permet de positionner une région donnée dans l'un des étages bioclimatiques, en se basant sur les températures et les précipitations de cette dernière (DAJOZ, 1971). STEWART(1969) a modifié le quotient pluviométrique d'EMBERGER de la manière suivante :

$$Q3 = (3,43 \times P) / (M-m) \dots\dots\dots(I.1)$$

- Q3 : Quotient pluviométrique d'EMBERGER .
- P : Pluviométrie moyenne annuelle en mm .
- M : Températures moyennes des maximas du mois le plus chaud en °C .
- m : Températures moyenne des minimas du mois le plus froid en °C.

Le calcul à l'aide de la formule décrite ci-dessus de Q3 donne une valeur égale à **6.2** , avec une **m = 4,9° C**. De ce fait, ces dernières valeurs permettent de classer la région d'étude dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux .

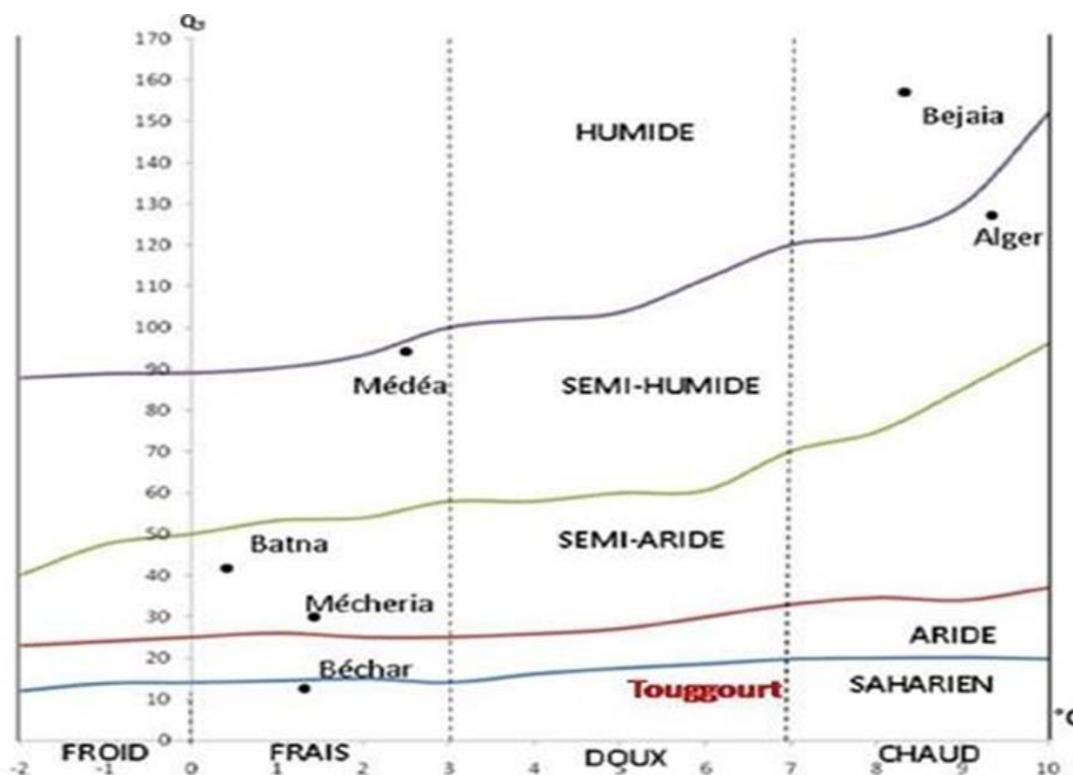


Fig I.09: Position de la région de Touggourt dans le climagramme d'EMBERG (2008/2019)

I.6.2.3. Indice d'Aridité de DEMARTONNE :

D'après DEMARTONNE l'indice de l'aridité est exprimé comme suit :

$$I = P / (T + 10) \dots\dots\dots(I.2)$$

Avec :

P : les précipitations moyennes annuelles.

T : la température moyenne annuelle.

Pour les valeurs de **I** comprises entre 0 et 5 se trouve le milieu est considéré comme Hyper-arid, $I = 5.98 / (22.21+10) = 0.19$.

Tab I.07: Classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de DEMARTONNE

Valeur de l'indice	Type de climat
0 < I < 5	Hyper-aride
5 < I < 10	Aride
10 < I < 20	Semi-aride
20 < I < 30	Semi-humide
30 < I < 55	Humide

Les calculs des indices de DEMARTONNE de la région d'étude ont donnés les résultats dans le tableau 08.

Tab I.08: Indice d'Aridité de DEMARTONNE :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P mm	5.4	5.98	9.27	6.04	15.02	5.98	10.64	6.05	4.74	1.16	1.05	1.61
T C°	28.86	22.21	15.49	11.22	10.16	12.74	16.11	20.25	25.47	30.78	33.27	32.93
I =P/T+10	0.14	0.19	0.36	0.27	0.74	0.24	0.40	0.2	0.13	0.03	0.02	0.03

En comparant les valeurs calculées de l'indice d'aridité avec la classification, les valeurs varient entre **0.02** et **0.74** d'où le type de climat de notre région est Hyper-aride.

I.7. Géologie :

Les formations géologiques de la zone d'étude seront décrites du plus récent au plus ancien.

I.7.1. Quaternaire :

Essentiellement sableux, à la base des couches d'argile et d'évaporites semi-perméables le séparent de la pliocène supérieure.

Cette formation quaternaire renferme une nappe phréatique alimentée principalement par percolation des eaux en excès lors des périodes d'irrigation et en faible quantité par la précipitation. (Kermadi Abd El Djabbar. 2017).

I.7.2. Tertiaire :

I.7.2.a) - Miopliocène :

- Miopliocène supérieur : de formation sablo gréseuses, renferme la première nappe (CT1) .
- Miopliocène inférieure : sable de la deuxième nappe (CT2) .

I.7.2.b)- Eocène inférieur :

Calcaire de la troisième nappe (CT3) ces différents aquifères sont séparés par des niveaux imperméables à dominance argileuse (Kermadi Abd El Djabbar. 2017).

I.7.3. Secondaire :

I.7.3.a)- Sénonien :

Constitué de calcaires blanc et une alternance de calcaire, de marne et des couches de gypse.

I.7.3.b)- Turonien :

Représenté par un dépôt marin, calcaire-marneux, l'épaisseur du turonien reste à peu près constante.

I.7.3.c)- Cénomaniens :

Il est composé essentiellement de dépôts lagunaires marneux où prédominance des couches d'anhydrite et parfois même du sel.

I.7.3.d)- L'albien :

Se présente comme une série très épaisse formée d'une alternance de couches gréseuses avec des passées d'argiles schisteuses (Kermadi Abd El Djabbar. 2017).

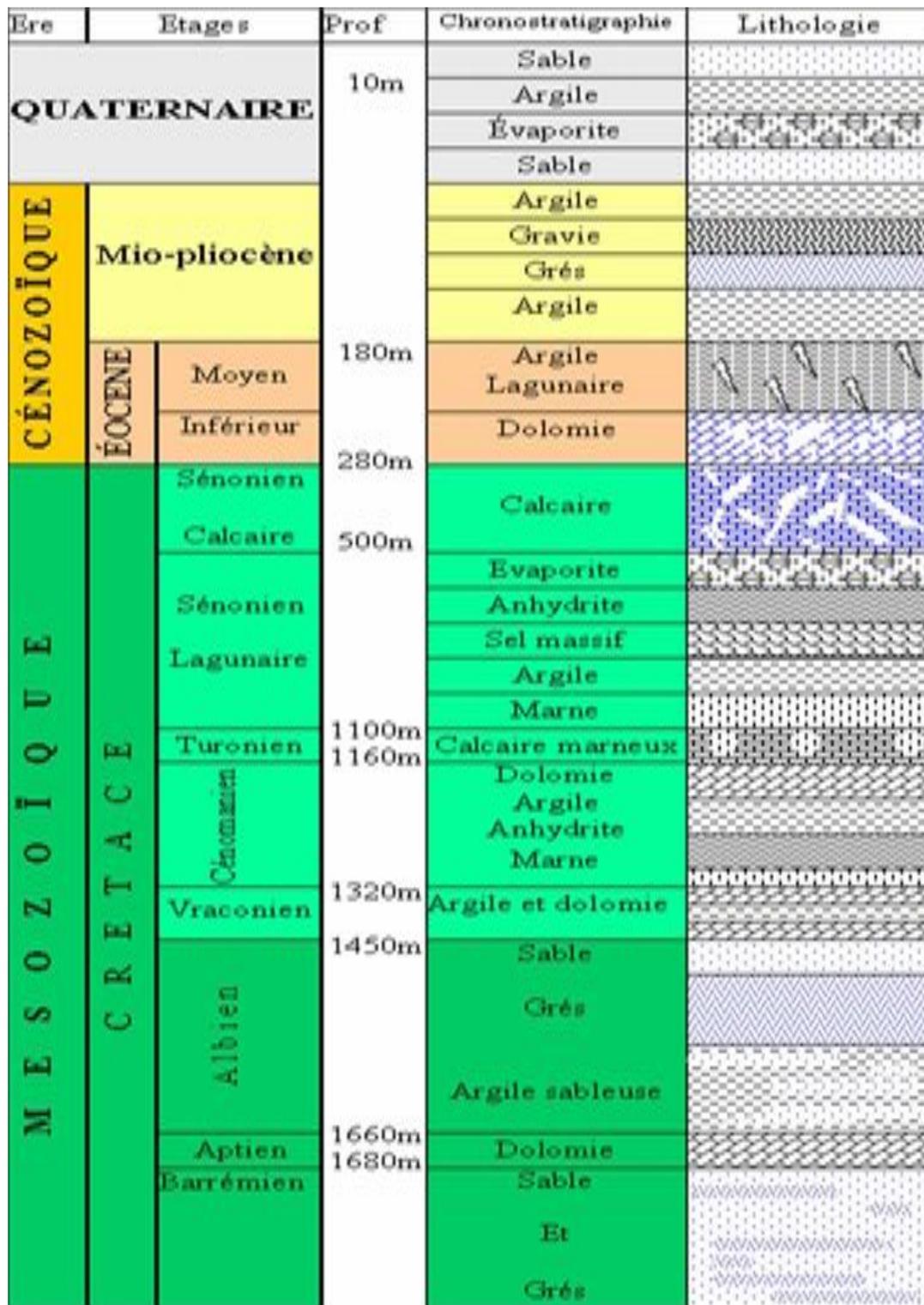


Fig I.10: stratigraphique synthétique de la région de Touggourt(Beldet Amor).

I.8. Conclusion :

On note que la zone d'étude est une large vallée qui contient des côtes de palmeraies. L'Oued Righ passe par cette zone à partir de Goug au sud jusqu'à l'exutoire naturel du Chott MEROUANE au nord et a pour but le drainage pluviométrique dans la zone.

Cette région est caractérisée par un climat aride avec de faibles précipitations, voir rare, est des vents de dominance (Sud - Ouest).

La synthèse géologique du bassin du Sahara septentrional présente une description Lithostratigraphique des formations.

La synthèse géologique du bassin du Sahara septentrional présente une description Lithostratigraphique des formations.

Le substratum du Complexe Terminal est constitué, d'une manière générale, par la formation lagunaire du Sénonien. La couverture est constituée par les argiles plus ou moins sableuses du sommet du Mio-Pliocène et les marnes et les évaporites de l'Eocène moyen.

Chapitre II :
Hydrogéologie de la
région

II.1. INTRODUCTION :

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) (FigII.01), dont la superficie globale qui dépasse les 1 millions Km². Le bassin d'Oued Righ se place dans un climat désertique hyperaride.

Dans la partie algérienne, la superficie a été estimée à environ 700 000 Km² et d'une épaisseur de 4000 à 5000 mètres environ (CORNET, 1964), se subdivise en deux réservoirs distincts :

- ❖ Continental Intercalaire (CI).
- ❖ Complexe Terminal (CT).

Le SASS bien qu'il recèle d'importantes potentialités en matière de ressources en eau, il est cependant paradoxalement menacé par plusieurs facteurs ; d'une part, anthropiques tels que la pollution des eaux souterraines, la prolifération des points d'eau, surexploitation, remontée des eaux, d'autre part, naturels, tels que la vulnérabilité des aquifères à la pollution, dégradation des sols, faible pluviométrie et recharge négligeable.

Le passage structural de l'Atlas saharien vers le plateau de Tademaït, matérialisé par l'anticlinal du M'Zab, met en évidence deux unités hydrogéologiques distinctes : La première occidentale de 280 000 Km², masquée partiellement par le grand Erg occidental, et la seconde, la plus étendue avec 500 000 Km², occupe une grande partie du grand Erg oriental.

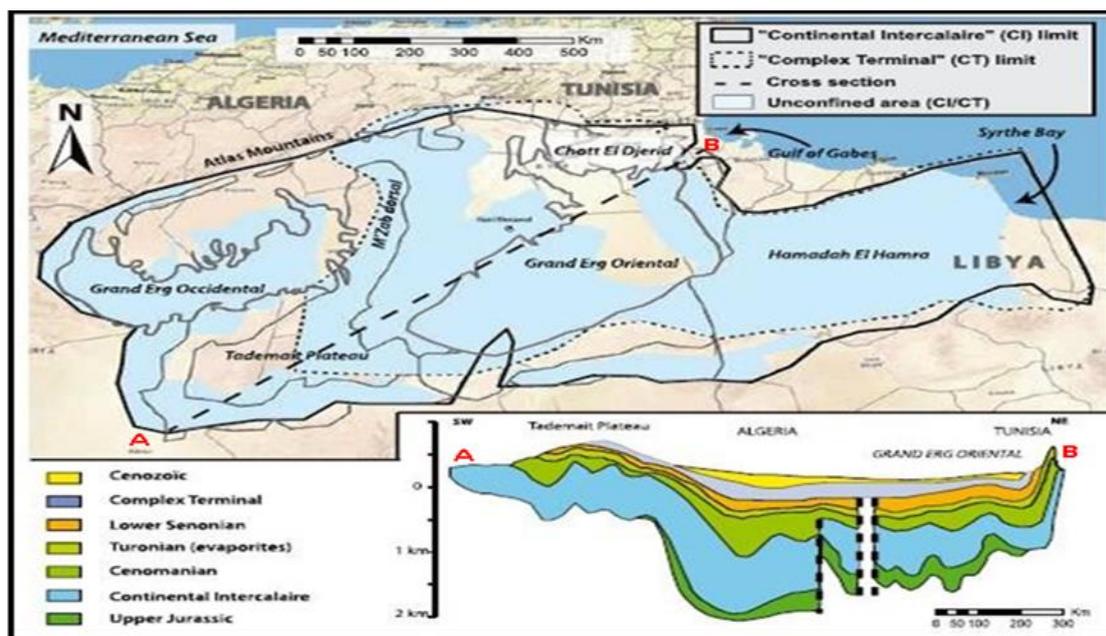


Fig II.01: Carte montrant l'étendu du SASS .

II.2. Les différentes nappes dans la région :

Les études antérieures ont montré que la région d'étude regroupe trois formations géologiques multicouches, réputées perméables et alternées par d'autres formations hétérogènes et imperméables. Dans la région d'étude, on y distingue trois aquifères qui sont respectivement de haut en bas :

- Nappe phréatique
- Nappe ou système aquifère du Complexe Terminal (CT),
- Nappe ou système aquifère du Continental Intercalaire (CI) (figII.02)

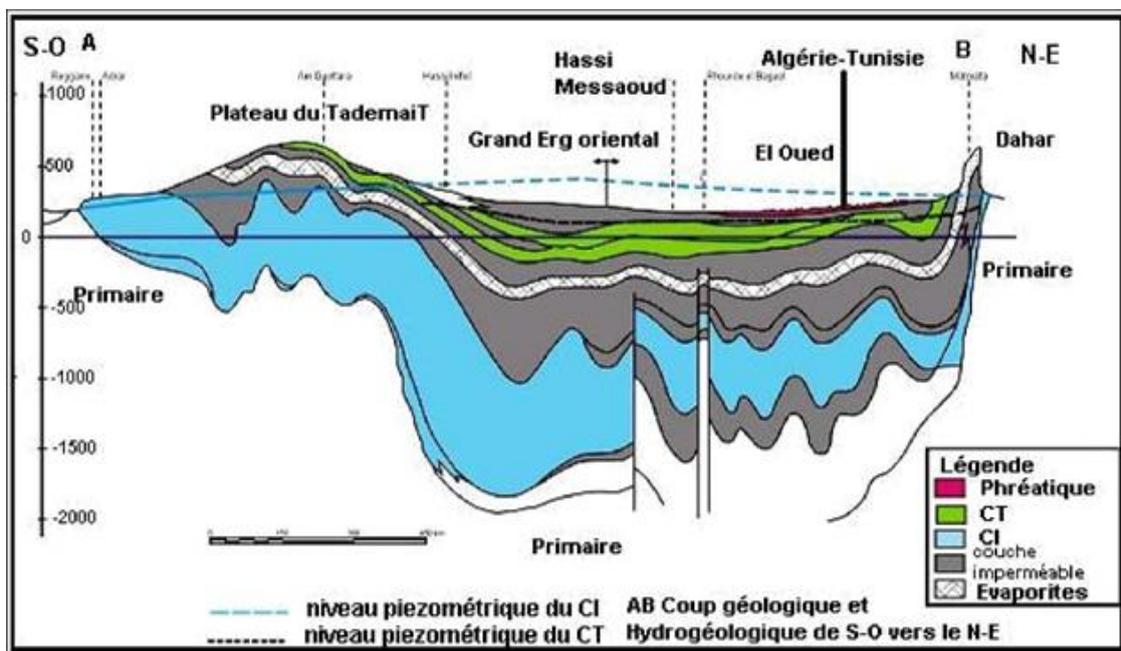


Fig II.02: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO, 1972).

II.2.1. La nappe phréatique :

D'où son nom, cette nappe libre ou d'inféro-flux, encaissée dans les sables quaternaires à cristaux de gypse par endroit, coiffe la nappe du CT, qui elle-même repose sur le CI, son substratum est constitué essentiellement par des argiles, sables et évaporites. Elle est prédominante sur l'ensemble des oasis de la vallée d'Oued Righ, sa puissance est en moyenne environ une vingtaine de mètres s'amincit du Nord vers le Sud, par endroits. (tabII.01). Des études ont montré que la salinité de la nappe phréatique est très forte dépassant largement les 7mg/l.

Ainsi, la vallée d'Oued Righ est affectée par le phénomène de la remontée des eaux, causée essentiellement par la prolifération des forages d'eau, captant le CT et le CI et leur exploitation irrationnelle, pertes de charges hydrauliques ascendantes favorisées au fur et à mesure par le dépérissement des tubages, notamment que les nappes profondes sont artésiennes et chimiquement agressives, outre que l'excès des eaux de l'irrigation. Pour y faire face et lutter contre cette remontée des eaux qui ne cessent de nuire le sol, la nappe et la flore, un réseau de drainage a été artificiellement mis en œuvre, par lequel l'excès des eaux est drainé vers le Nord de la vallée.

Du point de vue recharge de la nappe phréatique, l'aridité du climat amène à supposer que la recharge s'effectue que par les rares précipitations et l'infiltration des eaux usées et celles d'excès d'irrigation, d'autant plus qu'on peut avancer l'hypothèse d'une recherche profonde par le biais des tubages corrodés et usés du CI et CT ; percolation par perte de charge hydraulique par drainance ascendante. (ZERROUKI F ; SALHI A . 2017).

II.2.2. nappe du Complexe Terminal (CT):

La nappe du CT est encaissée dans les divers horizons perméables du Crétacé supérieur et du Tertiaire, selon l'étude menée par l'UNESCO en 1972, ces horizons sont essentiellement :

- Le Sénonien supérieur carbonaté (surtout le Maestrichtien).
- L'Eocène inférieur également carbonaté .
- Le Mio-pliocène sableux. (tab II. 01).

Ainsi, ces trois ensembles aquifères en étroite communication, ont été regroupés en un seul réservoir qui intègre également les formations carbonatées du Turonien dans les zones de bordures (UNESCO, 1972), (Fig II.03).

Le bassin oriental a fait l'objet de plusieurs travaux qui ont tenté de comprendre le comportement hydrodynamique du CT, qui couvre une superficie de 350 000Km².

II.2.2.1. Caractéristique principales de la nappe du (CT):

La nappe du Complexe Terminal est en charge à l'intérieur de la limite d'extension des argiles du Mio-pliocène. Elle est donc jaillissante dans le centre du bassin et libre sur les bordures Dahar- M'Zab (UNESCO, 1972) (Fig II.03).

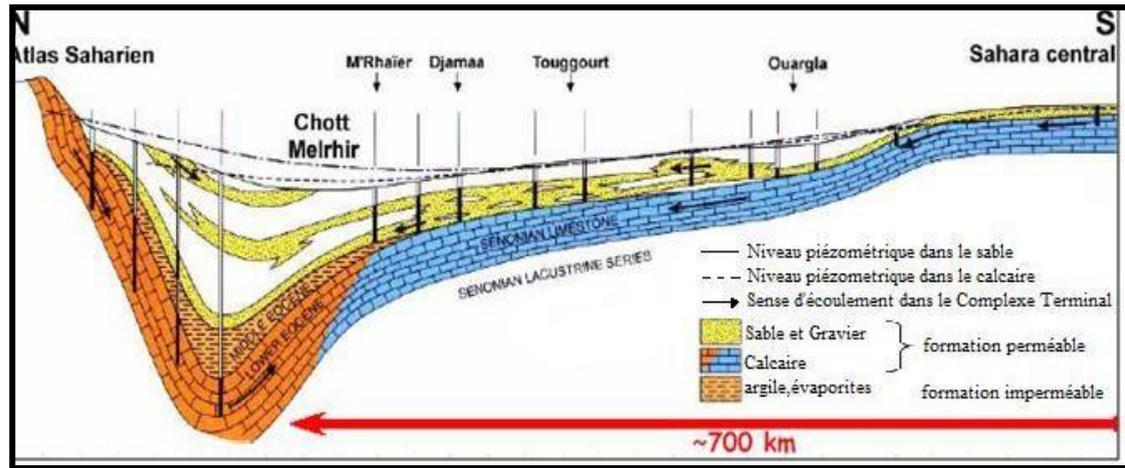


Fig II.03 : Coupe hydrogéologique Nord- Sud du Complexe Terminal du Bas Sahara (UNESCO, 1972).

La profondeur de la CT variée entre 100 et 500 m. la température des eaux peu élevée et l'eau est moins chargée en sels sur les bordures et relativement plus chargée au centre (**plus de 3g/l**).

La nappe du CT regroupe trois aquifères, situés dans des formations géologiques différentes subdivisées en deux ensembles : l'un continental au sommet (CT1 et CT2) et l'autre marin à la base (CT3) :

- **La première nappe des sables CT1** : sa puissance varie entre 50 et 100m par endroits, il s'agit d'une nappe semi-captive moins profonde, elle est constitué de sable fin à moyen, sable argileux et grès, du Mio-pliocène. Limitée par des formations semi-perméables.
- **La deuxième nappe CT2** : son épaisseur est de 20 à 36m, surmontée par la nappe du CT1, elle est constituée par des formations d'âge mio-pliocène, essentiellement formée par des grès, gravier et sable avec la présence de quelques lentilles argileuses.
- **La nappe des calcaires du Sénonien carbonaté/Eocène inférieur CT3** : son épaisseur atteint les 200m à Touggourt et 360m à Meghaier. elle est formée essentiellement de calcaires, calcaires dolomitiques avec passées de marne, d'anhydrite et de gypse.

II.2.3. La nappe du Continental Intercalaire (CI) :

La nappe du CI est contenue dans des formations continentales du Crétacé inférieur, sablo- gréseuses, dolomitiques et calcaire-marneuses. Il s'agit bien d'un immense réservoir aquifère qui contient un volume considérable d'eau douce, dû à la fois à son extension sur tout le Sahara Septentrional sur plus de 600.000 Km² et son importante épaisseur qui dépasse les 1000m par endroit.

La réserve théorique estimée par le projet OSS et ERESS extrapolée des anciens travaux de CONRAD et all. (1969), à 60000 milliards de m³, soit seulement 1/6^e, environ 10000 milliards, sont exploitables. Le CI s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas Saharien jusqu'au Tassili du Hoggar et d'Ouest en Est, depuis la vallée du Guir et de la Saoura jusqu'au désert libyen.

II.2.3.1. Caractéristiques principales de la nappe du (CI) :

Dans le centre du bassin, plus précisément dans la gouttière d'Oued Righ, où les captages ont une profondeur de 1760m au Nord de la vallée, la nappe est fortement artésienne et l'eau d'exhaure a une température élevée qui dépasse parfois les 60C° et une pression de 26 bars, à la sortie des forages. Les eaux de la nappe du CI sont caractérisées d'une part, par le caractère corrosif (H₂ SO₄ et CO₂) et la minéralisation qui s'oscille entre 1 et 2 g/l de résidu sec, parfois jusqu'à 5g/l. La porosité du grès et du sable du CI a été évaluée à 26%, la transmissivité est de l'ordre de 6. 10³m²/s à Oued Righ, la perméabilité est de 10⁻³ m/s, (CASTANY G. 1968).

II.2.3.2. Alimentation de la aquifères du Sahara septentrional :

Les anciens auteurs ont cru que les aquifères du Sahara septentrional était fossiles et ne se rechargeaient pas ! Alors que les travaux récents montrent le contraire s'appuyant sur des méthodes plus modernes telles que la géochimie isotopique. Citons les travaux effectués par OUELD BABA SY, 2005, qui dans un cadre de projet a suivi l'évolution géochimique des eaux souterraines, pendant une quinzaine d'années en s'appuyant sur les mesures du tritium, le carbone- 14 et le chlore-36 dans les forages et les puits. L'auteur situait cette recharge à environ **1 milliard m³** par an sur l'ensemble du système SASS (Fig II.04), (tab II. 02).

Cette recharge s'effectue d'une part par infiltration des eaux de ruissèlement, tout au long des oueds qui descendent des massifs montagneux dans les périphéries là où le CI affleure, notamment l'Atlas saharien, mais aussi parfois dans plateau de Tadmait,

d'autre part des pluies d'années exceptionnelles, sur le grand Erg occidental, plus loin cette recharge s'effectue sur le Dakar en Tunisie et sur le Dj- Nefoussa en Libye (UNESCO, 1972).

La nappe du Continental Intercalaire possède la durée de renouvellement la plus longue (OUELD BABA SY, 2005). Elle proviendrait d'un pluvial datant du Pléistocène inférieur et de l'Holocène.

L'âge des eaux des différentes nappes du SASS, déterminé au C14, montre qu'aux zones de recharge, les eaux sont jeunes et attestent d'une recharge actuelle de l'ordre de 500 ans près des zones d'alimentation possible, et arrivent jusqu'à 40000 ans dans les parties confinées des nappes et des zones d'exhaures, situées à 500 km des zones de recharge (CONRAD et al, 1968).

Le débit d'alimentation du CI provenant du piémont de l'Atlas saharien a été estimé par les travaux anciens à 4 m³/s (CORNET, 1961) et 8.5 m³/s (MARGAT, 1990), plus récemment OUELD BABA SY en 2005 le situait à 7.7 m³/s.

Tab II.01: Synthèse régionale des différents aquifère de la région d'étude, échelle arbitraire (ANRH).

ERE	Etage		Lithologie	Intérêt Hydrogéologique
Quaternaire			Sables.	Nappe superficielle (la nappe phréatique)
			Argiles, évaporites, Sables.	(semi-perméable)
Tertiaire	Mio-Pliocène		Sables.	1 ^{ère} nappe des sables (Complexe Terminal).
			Argiles gypseuses, Sables.	(semi-perméable)
	Eocène	Pontien	Sables, graviers et grès	2 ^{ème} nappe des sables (Complexe terminal).
		Moyen	Argiles lagunaires	Substratum (imperméable)
		Inférieur		Nappe des calcaires (Complexe Terminal).
Secondaire	Crétacé	Sénonien calcaire	Dolomies et calcaires	Substratum (imperméable)
		Sénonien lagunaire	Evaporites, argiles	Substratum (imperméable)
		Cénomaniens	Argiles, marnes	Substratum (imperméable)
		Albien		Nappe albienne
		Barrémien	Sables et grès	(Continental Intercalaire).

Tab II.02: Quelques données sur le grand bassin SASS, OSS (2003) .

Surface	1.000.000 km ²		
Réserves théoriques	60.000 milliards de m ³ dont 10 000 milliards/m ³ exploitables		
Recharge	1 milliard de m ³ /an		
Besoins (m ³ /an)	1970	2000	2030
	600 millions	2,2 milliards	8 milliards
Population (en millions)	1,0	4.0	8
Surfaces irriguées prévisionnelles	50 000 ha	170 000 ha	400 000 ha
Pays	Algérie + Libye + Tunisie		

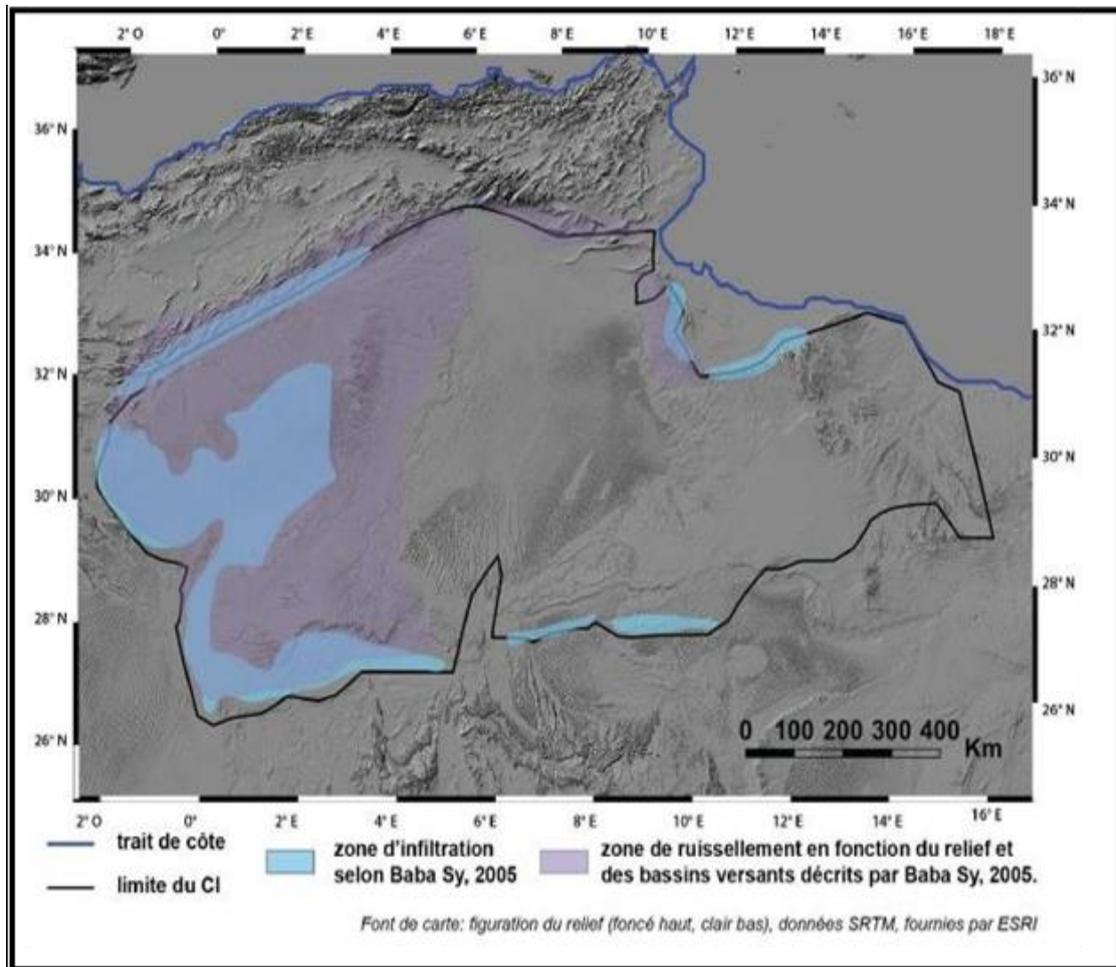


Fig II.04: Carte des zones d'infiltrations et de ruissèlement du CI à partir des données de OUELD BABA SY, 2005 in J.O.PETERSEN, 2014.

II.2.3.3. Ecoulement :

L'eau souterraine s'écoule suivant un gradient, des zones de charge hydraulique élevée vers les zones de charge inférieure. La vitesse d'écoulement est régie par le gradient et par les propriétés de l'aquifère. La plupart des eaux souterraines sont en mouvement lent et continu (figII.05) des zones de recharge naturelle de l'aquifère provenant de la pluie, vers, d'une part les zones de décharge de l'aquifère, comme les sources, et d'autre part les émergences vers les rivières / lacs, les zones humides et zones côtières. L'écoulement des eaux souterraines est régi par la loi de Darcy.

L'écoulement naturel des eaux souterraines se produit, généralement à faible vitesse, à travers les pores et fractures de matériaux rocheux. Pour les eaux souterraines une vitesse de 1 mètre par jour d'écoulement est élevée, et il peut être aussi faible que 1 mètre par an ou 1 mètre par décennie. En revanche, les vitesses des fleuves sont généralement mesurées en mètre par seconde.

D'une manière générale, l'écoulement des eaux de la nappe du CI provenant de l'Atlas saharien, se diverge sur la l'axe de la dorsale du M'Zab, suivant deux directions. Le premier se fait dans la patrie occidentale du Nord vers le Sud et le deuxième, dans la partie orientale, de l'Ouest vers l'Est (FigII.07).

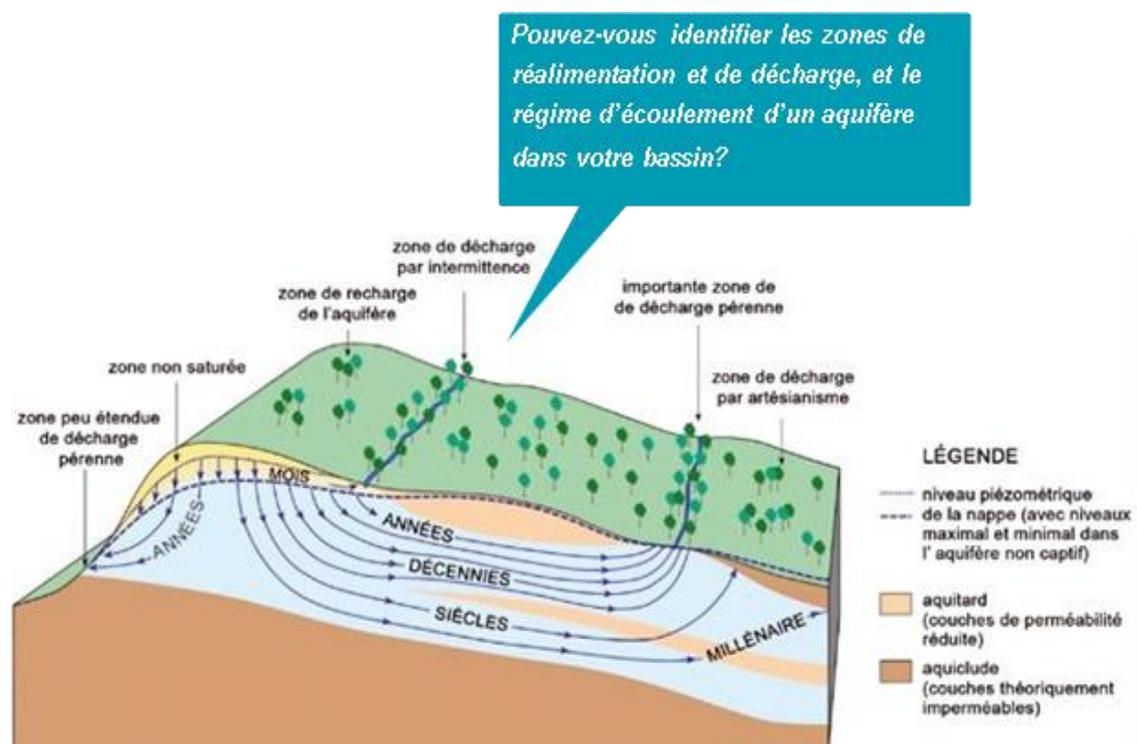


Fig II.05: Régime d'écoulement type et temps de séjour des eaux souterraines dans les régions semi-arides (Foster and Hirata, 1988)

II.2.3.4. Les exutoires :

On peut y distinguer trois zones d'exutoires naturels et artificiels, à l'échelle du SASS ; les foggaras du Touat-Gourara et du Tidikelt, la faille d'El-Hamma en Tunisie et AïnTawargha dans le domaine libyen (FigII.06). Dans la vallée d'Oued Righ l'exutoire est matérialisé par les zones de Chotts et les forages d'eau artésiens.

On peut admettre qu'une drainance ascendante est possible depuis la CI vers la CT en faveur de la dorsale d'Amguid, (GUENDOOUZ, 1985, EDMUNDS et al, 2003 ; MOULLA et al, 2002 ; GUENDOOUZ et al, 2003), cette drainance verticale constitue également un exutoire naturel (FigII.07).

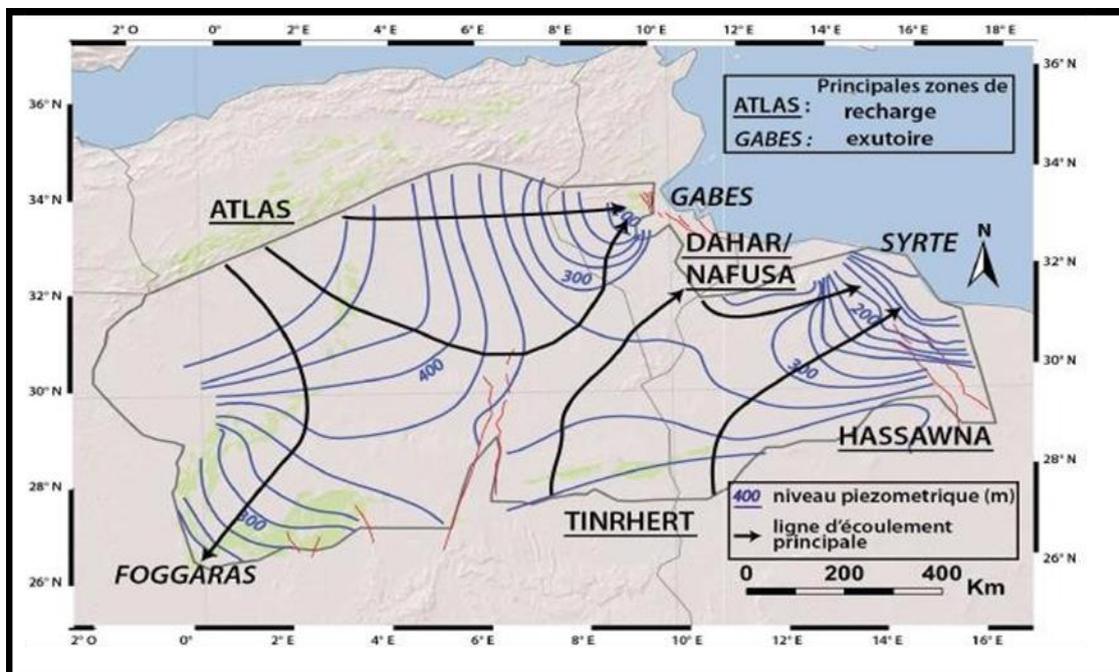


Fig II.06: Carte piézométrique de référence en 1950 (données OSS, 2003) et principales directions d'écoulement, zones de recharges et d'exutoires majeurs, (in J.O. PETRESEN, 2014).

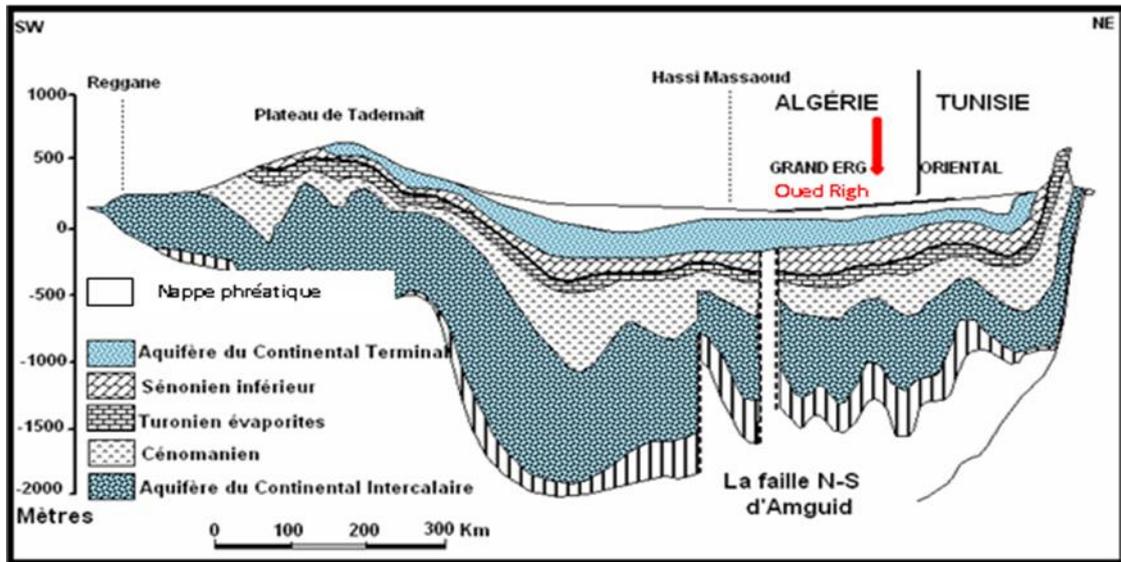


Fig II.07: Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara septentrional
(UNESCO, 1972 modifiée).

II.2.3.5. Estimation des réserves :

Les réserves théoriques des deux aquifères CI et CT ont été estimés entre 30.000 et 60. 000 milliardsde m³ (CORNET, 1961 ; 1964), (UNESCO, 1972) (MARGAT ,1992) et (OUELD BABA SY, 2005).

Les réserves du CI ont été revisitées par OUELD BABA SY en 2005, en se basant sur une approche statistique, faisant intervenir la profondeur moyenne des forages pétroliers qui l'a situé à 358m et un coefficient d'emmagasinement entre 5 et 10 % .

d'après les travaux du projet SASS (OSS, 2003). Ainsi que la superficie globale du SASS a été revue à la hausse à 1100 000 km². Cette approche fixe les réserves à 31 000 km³, entre environ **20 000 km³** pour le CI et 11000 km³ pour le CT.

II.3. Les types des forages dans la région d'étude :

Les techniques de captage des eaux souterraines classiquement mises en œuvre dans les milieux poreux et fracturés sont peu variées. Le choix de la technologie est à adapter en fonction non seulement de l'hydrogéologie mais également de contraintes externes : topographie, hydrographie, risques de salinisation, de transfert de pollution depuis la surface, occupation des sols, conditions d'exécution et d'équipement ...etc.

Il existe plusieurs méthodes de forage qui peuvent être utilisées et parmi ces méthodes (Forage par battage , Le forage au rotary , Forage au marteau fond de trou (MFT) ; Forage parhavage ...)

La technique utilisée dans la région d'étude est la méthode rotary à la boue benthonique, parce qu'elle est adéquate, grâce à ses avantages.

II.3.1. Méthode de rotary :

II.3.1.1. Principe :

Lors d'un forage par rotary, la perforation s'effectue d'une manière rotative avec un matériel lourd. La dislocation se fait par abrasion et broyage du terrain, par le biais d'un outil appelé tricône et par roto percussion à l'aide d'un outil assemblé au marteau, appelé taillant, l'évacuation des déblais se fait par la circulation, directe ou inverse du fluide (air, boue, eau). L'efficacité de cette technique dépend principalement de la performance du matériel utilisé. La fabrication, le contrôle puis l'élimination de la boue au moment de la mise en production constituent l'une des contraintes importantes du rotary dans les forages profonds. (Mounir AMAR.2007)

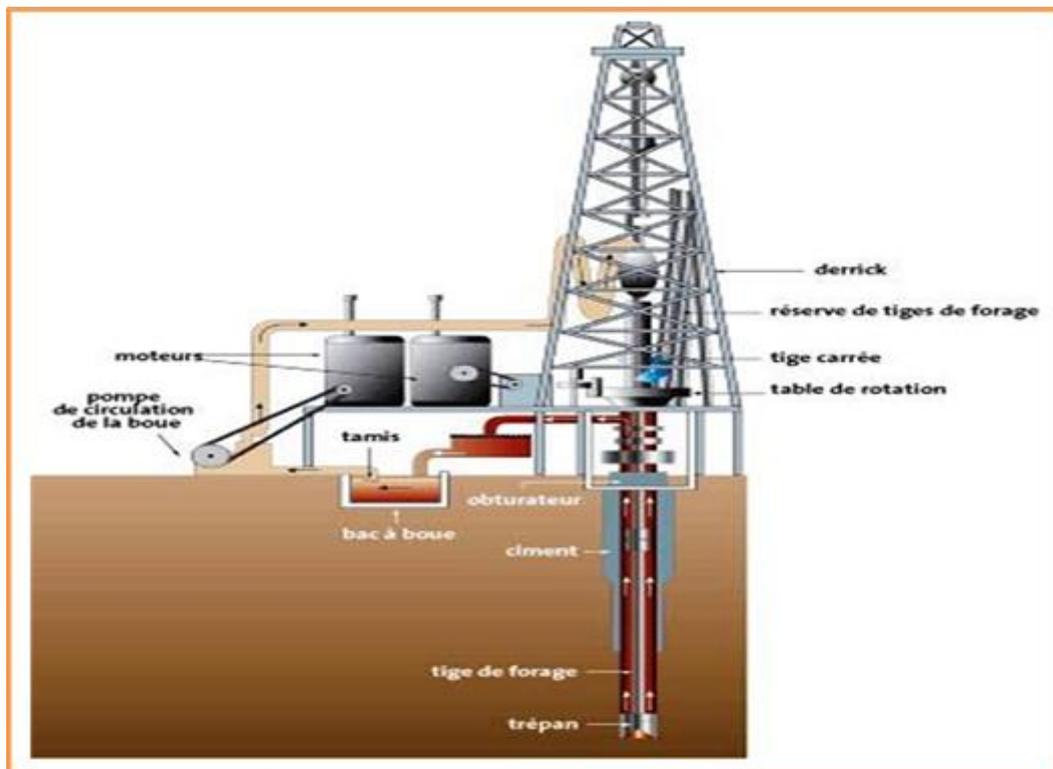


Fig II.08: Principe de forage rotary. (BRGM)

II.3.1.2. Les avantages du forage au rotary :

- La perméabilité de la formation autour du trou est peu perturbée par le fluide de forage.
- Les forages de grands diamètres sont exécutés rapidement et économiquement .
- Pas de tubage pendant la forage .
- Facilité de mise en place de la crépine .

- Bons rendements dans les terrains tendres .
- Consommation économique de l'énergie.

II.3.1.3. Les inconvénients du forage au rotary:

- Nécessite beaucoup d'eau .
- Nécessité d'un fluide de forage qui ne permet pas d'observation directe de la qualité des eaux des formations traversées .
- Colmatage possible des formations aquifères par utilisation de certaines boues (bentonite) .

II.3.1.4. Réalisation du forage :

Le forage au rotary se compose de 3 systèmes majeurs :

- ✓ Système de rotation.
- ✓ Système de circulation.
- ✓ Système de levage. (Mounir AMAR.2007)

II.3.1.4.1. Le Système de rotation :

a. La Table de rotation :

Les tables de rotations sont destinées à l'entraînement d'une colonne de forage suspendue verticalement ou bien à la réception du couple moteur à réaction de la colonne.

Créée par le moteur d'attaque. Une table de rotation se compose d'un bâti fixe supportant une partie mobile intérieure reposant sur la partie fixe par l'intermédiaire d'un roulement principal à billes principal.

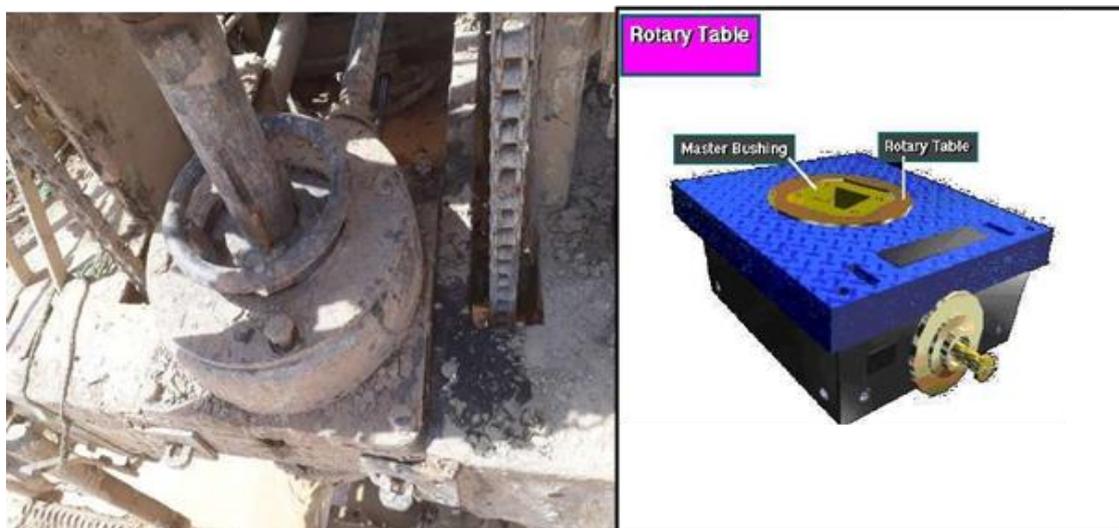


Fig II.09: Table de rotation (Limane S et Ben Hammouda I. 2019).

b. La Tige carée :

C'est une tige installée entre la tête d'injection et les tiges de forage transmettant le mouvement de rotation de la table de rotation au train de tige, Sauf la longueur de la tige carrée est de 6m à 9m.



Fig II.10: La Tige carrée (Limane S et Ben Hammouda I. 2019).

c. Les Tiges de forage :

Ce sont des tiges qui descendent le long du puits et qui transmettent le mouvement de rotation à l'outil (Trépan). Celles-ci permettent aussi le passage de la boue de forage.



Fig II.11: Les tiges de forage (Limane S et Ben Hammouda I. 2019).

d. L'Outil de forage :

Le trépan est entraîné dans son mouvement de rotation au fond de trou par une colonne de tiges creuses vissées les unes aux autres.

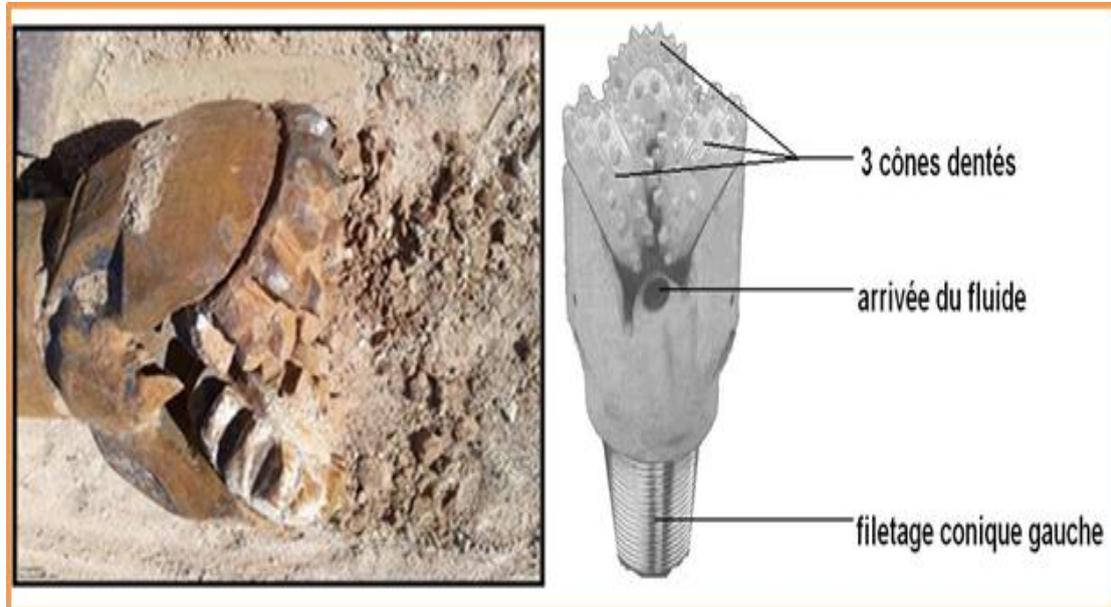


Fig II.12: L'outil de forage (Limane S et Ben Hammouda I. 2019).

II.3.1.4.2. Le Système de circulation :**a. La Pompe à boue (moto-pompe) :**

Le rôle des pompes à boue est d'assurer l'aspiration de la boue de forage par la conduite d'aspiration, puis leur refouler dans la colonne de refoulement à travers un clapet de refoulement.



Fig II.13: Pompe à boue (Limane S et Ben Hammouda I. 2019).

b. La Tête d'injection :

La tête d'injection représente un mécanisme qui relie le moufle non tournant à la partie qui tourne au cours de forage ; donc elle appartient autant à l'outillage de circulation de boue qu'à l'outillage de rotation, en effet la tête d'injection joue un double rôle :

- Permet la circulation de la boue jusqu'au trépan, animé d'un mouvement de rotation.
- Supporte le poids de la garniture pendant le forage.

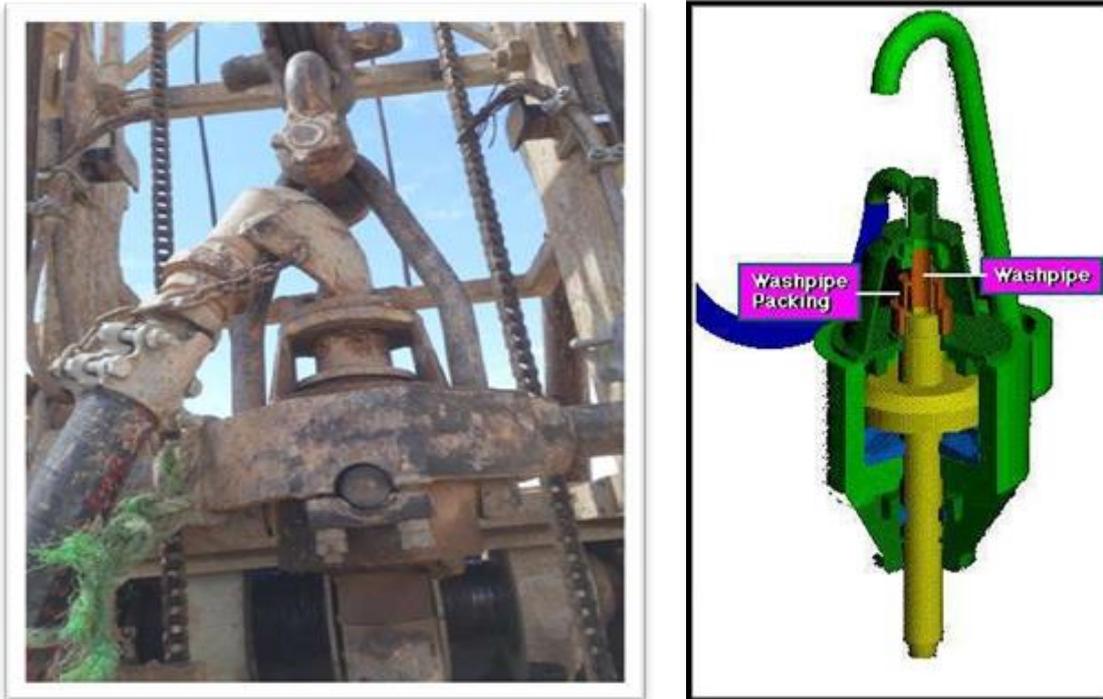


Fig II.14: La Tête d'injection (Limane S et Ben Hammouda I. 2019).

II.3.1.5. Equipements du Forage :

A- Tubages :

Le tubage est un tube de grand diamètre qui est assemblé et inséré dans une section récemment forée d'un trou de forage. Semblable à l'os d'une colonne vertébrale protégeant la moelle épinière, le tubage est placé à l'intérieur du trou foré pour protéger et soutenir le flux.

La partie inférieure (et parfois la totalité) est généralement maintenue en place avec du ciment. Les cordes plus profondes ne sont généralement pas cimentées jusqu'à la surface. Le poids du tuyau doit donc être partiellement supporté par un crochet de suspension dans la tête de puits.



Fig II.15: Tubages en PVC . [A]

❖ **But de Tubages :**

- La séparation de toutes les couches incompatibles traversées (aquifères, gazéi et pétrolières).
- Le maintien en place des parois du puits afin pouvoir continuer le forage dans de bonnes conditions techniques.
- Séparer les couches à faible pression.
- Sécurité et mise en place de l'équipement de production tout le long du puits.

❖ **Les caractéristiques des tubages les plus courants :**

- Longueur des éléments : 3 à 6m.
- Epaisseur : 2 à 11mm (acier), 4 à 16 mm (PVC).
- Diamètre : 100 à 2500 mm (acier), 60 à 315 mm (PVC).
- Raccordement : manchon soudé, embouts filetés (acier), filetage (PVC).

❖ **Mise en place du tubage :**

Pour éviter les risques d'effondrement de terre dans le trou du forage (qui sont de plus en plus importants si la profondeur du forage devient importante), on recommande de placer le tubage le plus rapidement possible.

Le plan de tubage (longueur et emplacement de tubes pleins et de tubes crépinés) s'établit en fonction de la coupe hydrogéologique du forage.

Le bas du tubage doit être constitué d'un tube plein d'environ 0,5 m bouché à sa base. Le tubage ne descend pas toujours jusqu'au fond du forage, il est nécessaire de réduire la longueur du tubage de 0,5 à 1 m par rapport à la profondeur réelle forée.

Le dernier tube doit être au-dessus de la surface de sol d'environ 0,5 m.

Le tubage doit descendre librement sous son poids propre.

Il est recommandé parfois de descendre le tube sans le bouchon de fond pour pouvoir glisser le long des parois puis on obture le fond du forage par un laitier de ciment.

B- La Cimentation :

Cette méthode consiste à remplir, par mélange à base de ciment Haute Teneur en Sulfates (HTS), tout partie de la hauteur de l’espace annulaire entre un tubage et les parois du trou. La cimentation est utilisée pour les buts suivants :

- Colmater une cavité ou des grosses fissures qui engendrent de fortes pertes de boue lors de forage.
- La préservation de la qualité des eaux souterraines.
- Supprimer des problèmes liés à la géologie des terrains forer (les argiles, les évaporites, terrains meubles etc.).
- Rendre étanche l’espace annulaire et empêcher la pollution par les eaux de surface, des nappes souterraines mises en exploitation. **(Limane S et Ben Hammouda I .2019)**

❖ Cimentation par canne dans l’annulaire :

Une garniture de petit diamètre (environ 1pouce) est descendue dans l’espace annulaire jusqu’au pied du tubage (ancré dans le terrain) Le ciment y est injecté sous pression, si nécessaire en remontant progressivement la canne de cimentation.

❖ Opération de cimentation :

Suite à la descente du tubage qui a été effectué dans des bonnes conditions, le chef duchantier a ordonné d’installer la tête de cimentation et de procéder à la circulation de la boue pour bien l’espace entre le trou et le tubage (espace annulaire).

L’objection de la cimentation c’est désoler le terrien mort et le venue d’eau de la surface (pollution de la nappes), l’opération à débit le matin en malaxant 200 sac avec 4.5 m³ d’eau de gâchage , ce qui dû une volume de laitier de ciment de 10.92 m³

d’une densité de d=1.68 , le volume du laitier de ciment nécessaire a été déterminé suivant la formule suivant(conventionnel) :

$$V = \frac{H}{2} (d_1^2 + d_2^2) \quad \text{en litre} \quad \dots\dots\dots (II.01)$$

Dont :

H : profondeur de trou

d1 : diamètre de trou en puce.

d2 : diamètre de tubage en puce.

La mise en place du laitier de ciment a été effectuée par son injection par la pompe à boue sous une forte pression suivie par la boue de chasse d'un volume de 40 m^3 , qui est équivalent au volume de tubage mis en place.

L'injection ne sera interrompue qu'avec l'apparition du laitier de ciment au jour et fin de la quantité de bous de chasse calculée.

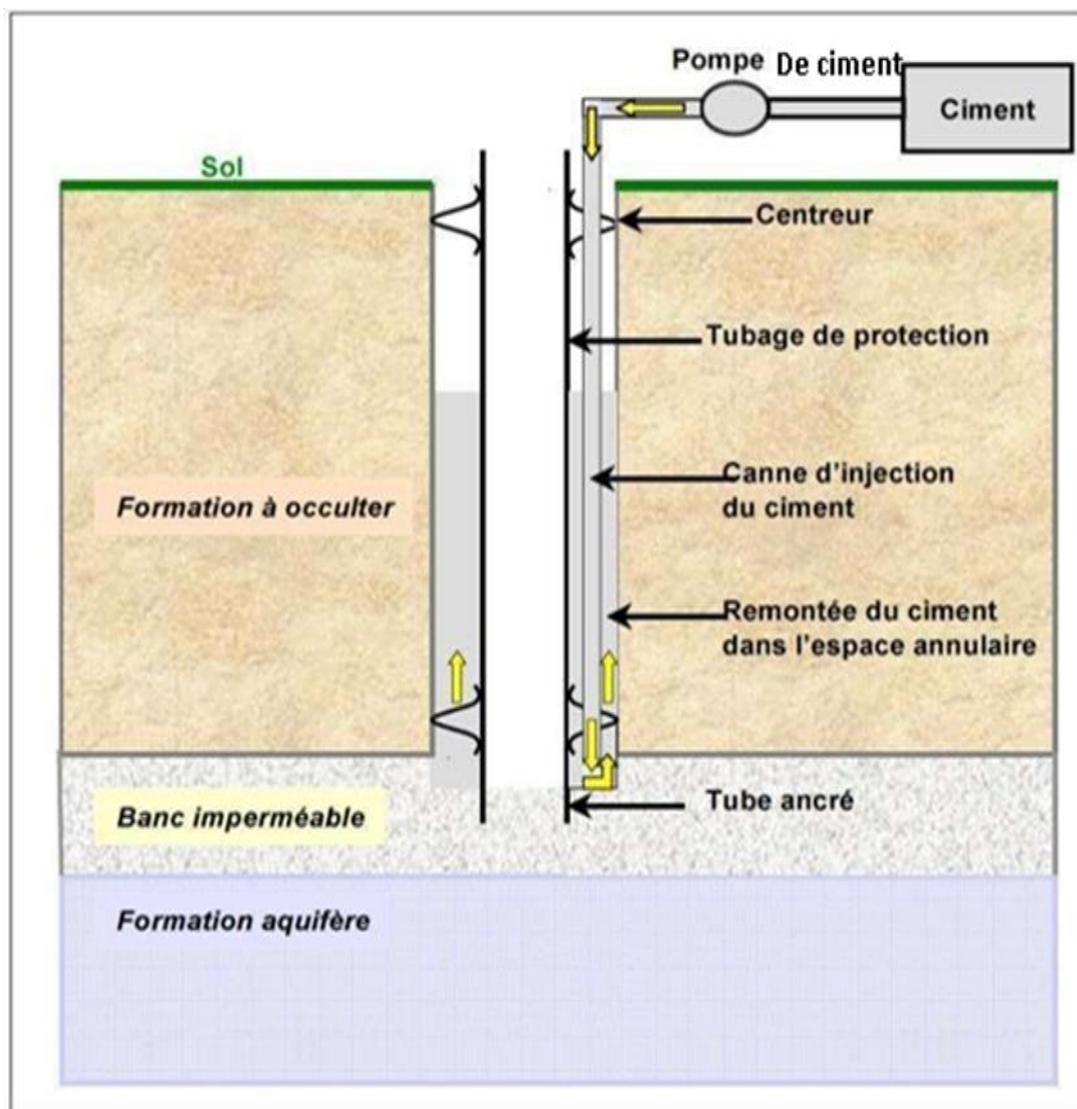


Fig II.16:Cimentation par canne dans l'annulaire (Limane S, Ben Hamouda I. 2019)

II.3.2. Méthode au battage :

Dans le passé, cette méthode était utilisée en soulevant un outil lourd (trépan) et à le laisser retomber sur le terrain à traverser. La hauteur et la fréquence de chute varient selon la dureté des formations. On distingue deux types de battages : le battage au treuil et le battage au câble. Cette dernière méthode est la plus courante. Le trépan est suspendu à un câble qui est alternativement tendu et relâché. Les mouvements sont rapides et le travail de l'outil se fait plus par un effet de martèlement dû à l'énergie cinétique que par un effet de poids comme pour le battage au treuil. Un émerillon permet au trépan de pivoter automatiquement sur lui-même à chaque coup. Le trou est nettoyé au fur et à mesure de l'avancement par descente d'une soupape permettant de remonter les débris (cuttings). Ce procédé permet de réaliser des forages utilisation d'eau ou de boue. (Dr. Bouselsal Boualem.2019)

II.3.2.1. Les Avantages :

- C'est un procédé simple et relativement peu coûteux (investissement généralement plus faible que pour les autres procédés de foration).
- Il n'y a pas de fluide de forage (boues) et pas de risques de pollution de la nappe.
- Le trépan peut être rechargé, reforgé et affûté sur le chantier.
- C'est une méthode bien adaptée pour les forages de moyenne profondeur.
- Les résultats sont très bons dans les terrains fissurés (pas de pertes).

II.3.2.2. Les Inconvénients :

- Vitesse d'avancement assez faible induisant un coût "suivi travaux" en proportion.
- Méthode peu adaptée dans les terrains plastiques ou bouillants dans lesquels le tubage à l'avancement est nécessaire.
- Difficultés pour équilibrer des venues d'eau artésiennes jaillissantes.
- Absence d'information sur les niveaux producteurs (qualité - production) sinon par mise en place de dispositif de pompage en parallèle à la foration.

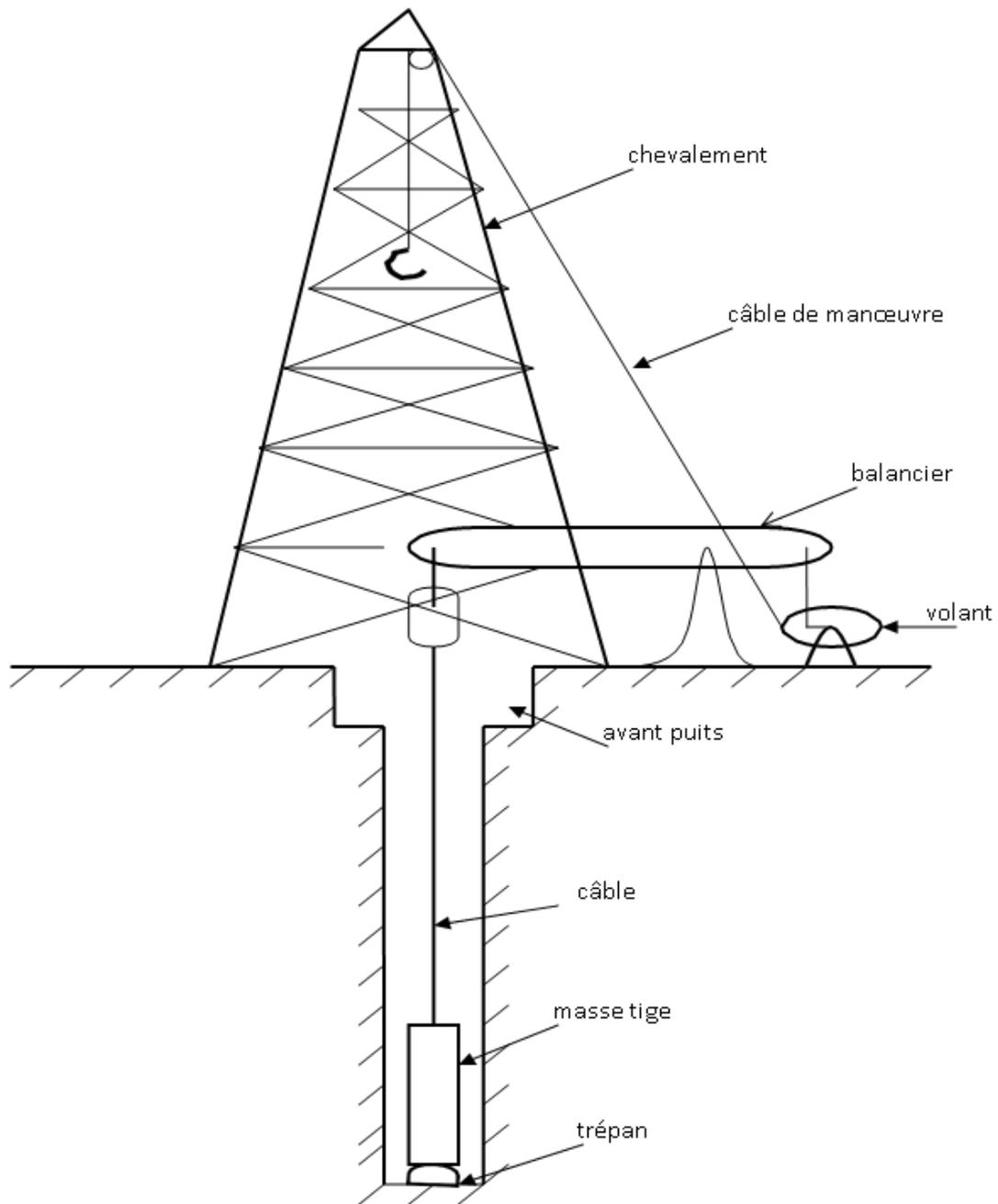


Fig II.17: Battage au câble

(HADJEBAR BILLAL, BELOUIS HAKIM, OUERDANE AISSA.2019)

III.4. Conclusion :

Il ressort à travers cette synthèse hydrogéologique que la nappe du Continental Intercalaire dont la région d'étude en fait partie, si nous permettons de l'appeler, est une entité hydrogéologique intégrante du SASS. Surmontée par la nappe tertiaire multicouche du Complexe Terminal « CT » qui elle-même est coiffée par la nappe phréatique du Plio-Quaternaire.

Dans la gouttière d'Oued Righ, les captages peuvent atteindre une profondeur de 1760m au Nord de la vallée, la nappe est fortement artésienne et l'eau d'exhaure a une température élevée qui dépasse les 60C° et une pression de 26 bars, à la sortie des forages. Les eaux de cette nappe se caractérisent d'une part, par le caractère corrosif et la forte minéralisation.

La recharge de la nappe du CI fossile est négligeable.

Des méthodes extrapolatives de simulation du devenir de la nappe du CI ont démontré une situation dramatique, si la mobilisation et l'exploitation de la ressource continue de la même cadence d'aujourd'hui, un rabattement de 300 à 400m au niveau de la gouttière de l'Oued Righ, il y aura même une absence total de l'arthésianisme des forages avec des profondeurs de pompages de l'ordre de 100 à 300m .

Chapitre III :

Interprétations des analyses physico-chimiques

III.1. INTRODUCTION :

De manière générale, l'eau possède un certain nombre de propriétés dues à la relation covalente d'une part et, d'autre part, à la liaison hydrogène existante entre les molécules d'eau.

Les principaux objectifs qui ont été identifiés dans le cadre de ce travail sont les analyses physiques et chimiques de certains éléments, de l'eau de système aquifère de la région d'étude et également d'évaluer son aptitude à l'irrigation.

III.2. Matériels et méthodes :

Nous avons réalisé les analyses physiques à travers les étapes suivantes :

III.2.1. Conditions et mode d'échantillonnage :

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

En outre Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière. L'emploi de flacons neufs en verre borosilicaté ou en polyéthylène haute densité avec des bouchons en téflon lavés avec une solution détergente à chaud et rincés avec de l'eau distillée puis séchés. Ces flacons sont susceptibles de réutilisation après un lavage adéquat si l'échantillon n'est pas excessivement pollué. Les flacons destinés au prélèvement pour l'analyse des éléments minéraux seront traités à l'acide nitrique.

Les échantillons d'eau ont été conservés à 4°C pendant le transport et au laboratoire, puis ont été analysés dans les 24 heures qui suivent. Lorsque les échantillons sont conservés, ils sont mis au réfrigérateur.



Fig III.01 : Photo de remplissage d'échantillons.

III.2.2 Méthodes d'analyses physico-chimiques :

Nous n'avons échantillonné que 51 stations

III.2.2.1. La température :

Sa mesure est simple, à l'aide d'un thermomètre à mercure.

La mesure de la température sur le terrain permet d'ajuster les valeurs de conductivité, d'apprécier l'origine plus ou moins profonde de l'eau et de calculer les équilibres de dissolution.

Elle joue un rôle important par exemple en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz dont, entre autres, l'oxygène. Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 degrés Celsius (°C). La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante, l'horaire de la mesure.



Fig III.02 : Photo de de l'appareil Thermomètre.

III.2.2.2. Le Potentiel hydrogène (pH) :

Mesuré directement à l'aide d'un pH-mètre de terrain équipé d'une électrode verre-calomel, préalablement étalonné à l'aide des pH étalons 7 et 4.

On utilise la valeur du pH pour établir l'état des équilibres de dissolution et ainsi connaître le caractère agressif ou incrustant de l'eau (particulièrement par les carbonates). Comme la variation de la pression des gaz (CO₂, O₂) modifie le pH, il est important de le mesurer directement lors de la prise d'échantillon.



Fig III.03 : Photo de l' appareil pH mètre.

III.2.2.3. La conductivité électrique :

Mesurée à l'aide d'un conductimètre de terrain équipé d'une cellule (constante de la cellule =1), d'une sonde pour la mesure de la température et d'un convertisseur intégré convertissant les Siemens en g/l de sel (TDS). Les résultats sont directement lus sur un écran digital.

Cette mesure est très importante car elle donne directement une estimation de la minéralisation totale. La conductivité est naturellement également influencée par le pH, la valence des ions et leur degré d'ionisation.



Fig III.04: Photo de l'appareil conductimètre.

III.3. Les normes des eaux d'irrigation :

III.3.1. Les Paramètres physiques :

III.3.1.1. La température T(°C) :

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH ...etc

Pour la connaissance de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels, etc. et d'une façon générale, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes), et la température normale est de 25(°C). (CHADOU Oualid et AHMIM Abdelkader. 2020).

III.3.1.2. La conductivité électrique CE:

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm

Elle s'exprime en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

La conductivité électrique est également en fonction de la température de l'eau, et proportionnelle à la minéralisation, La conductivité électrique est optimale entre 0.75 et 3 ms/cm. (CHADOU Oualid et AHMIM Abdelkader. 2020).

III.3.1.3. Le Potentiel hydrogène (pH) :

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogène de la solution (H^+). Il est représenté par une expression logarithmique, c'est donc dire que la concentration en H^+ , à pH 6,0 est 10 fois plus grande que celle à pH 7 et 100 fois plus grande que celle à pH 8. Plus la concentration en ion hydrogène est élevée, plus le pH est bas et plus c'est acide.

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation.

Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 6.5 et 7.5 À ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale. (CHADOU Oualid et AHMIM Abdelkader. 2020).

III.3.1.4. Résidu sec (RS) :

La détermination du résidu sec sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, la mesure après filtration correspond aux matières dissoutes.

Ces valeurs peuvent être recoupées à partir de la conductivité et permettent d'apprécier la minéralisation de l'eau. (CHADOU Oualid et AHMIM Abdelkader 2020).

III.3.1.5. Solides totaux dissous (TDS) :

Les TDS rendent compte de la quantité de substance minérale dans l'eau La concentration des TDS dans l'eau varie considérablement dans différentes régions géologiques à cause de la différence de solubilité des minéraux. (CHADOU Oualid et AHMIM Abdelkader. 2020).

La norme TDS fixée par l'OMS qui est de 1200 mg/l. (REDOUANE Amine et AOUALI Abdelmalek. 2012)

III.3.1.6. La salinité :

Elle est définie comme la somme des matières solides en solution contenues dans une eau, après conversion des carbonates en oxyde, après oxydation de toutes les matières organiques et après remplacement des iodures et bromures par une quantité équivalente de chlorure. (CHADOU Oualid et AHMIM Abdelkader. 2020).

Une valeur élevée de salinité signifie une grande quantité d'électrolytes dans l'eau, ce qui augmente la difficulté d'absorption de l'eau et des minéraux par la plante. Une salinité très élevée peut conduire à la combustion des racines.

leurs valeurs sont déterminées par les valeurs de conductivité comme le tableau suivant :

Tableau III.01: Norme de salinité par rapport à la conductivité électrique.

La salinité	Conductivité électrique (mS/cm)
Faible salinité	0 – 0.75
Moyen salinité	0.75 - 3
Haute salinité	3 - 5

III.4. Resultats et discussions :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.). En outre Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière. L'emploi de flacons neufs en verre borosilicaté ou en polyéthylène haute densité avec des bouchons en téflon lavés avec une solution détergente à chaud et rincés avec de l'eau distillée puis séchés. Ces flacons sont susceptibles de réutilisation après un lavage adéquat si l'échantillon n'est pas excessivement pollué. Les flacons destinés au prélèvement pour , Les résultats des analyses sont répertoriés dans le tableau suivant :

Tableau III(02): Les résultats des analyses de échantillons Beldat Amor 2021.

N°	CE(ms/cm)	Salinité (psu)	TDS(mg/l)	RS(mg/l)	T(°C)	PH	Type de ciment
F1	1.61	0.81	805	2363	21	7.48	Nor
F2	2.28	1.17	1142	3341	20.8	8.12	Nor
F3	1.30	0.65	652	1910	20.8	7.62	Nor
F4	1.76	0.89	879	2571	20.7	7.44	Nor
F5	1.30	0.65	650	1901	20.7	7.45	Tra
F6	1.30	0.65	651	1887	20.4	7.45	Tra
F7	1.40	0.71	699	2033	20.4	8.15	Tra
F8	1.32	0.66	663	1935	20.6	7.55	Nor
F9	1.30	0.65	648	1891	20.7	7.43	Tra
F10	1.41	0.71	708	2072	20.8	7.40	Tra
F11	1.71	0.86	855	2511	21	7.45	Tra
F12	2.23	1.13	1107	3227	20.9	7.44	Nor
F13	2.42	0.71	713	2084	20.7	7.38	Nor
F14	1.36	0.68	680	1991	20.9	7.52	Tra
F15	1.38	0.69	690	2033	21	7.62	Tra
F16	1.34	0.68	675	1975	21	7.55	Tra
F17	1.47	0.74	739	2167	21	7.45	Nor
F18	1.51	0.76	754	2217	20.9	7.64	Tra
F19	1.39	0.71	694	2039	20.9	7.44	Nor
F20	1.44	0.72	721	2101	21	7.46	Nor
F21	1.27	0.63	635	1873	21.1	7.49	Nor
F22	1.40	1.72	698	2044	20.9	7.52	Tra
F23	1.39	0.69	695	2055	21.2	7.46	Nor
F24	1.24	0.62	625	1832	21.1	7.47	Nor
F25	1.49	0.75	748	2211	21.2	7.61	Tra
F26	1.37	0.69	693	2022	21	7.44	Nor
F27	1.42	0.71	712	2107	21.3	7.38	Tra
F28	1.44	0.72	721	2136	21.3	8.02	Tra
F29	5.58	3.01	2790	9243	21.4	7.40	Tra
F30	1.92	0.98	968	2873	21.3	7.48	Nor

F31	1.89	0.96	945	2799	21.3	7.84	Tra
F32	1.62	0.82	810	2393	21.3	7.80	Nor
F33	1.88	0.96	943	2788	21.3	7.59	Tra
F34	2.12	1.09	1064	3160	21.3	7.40	Tra
F35	1.46	0.73	733	2161	21.3	7.74	Tra
F36	1.30	0.65	653	1935	21.3	7.57	Tra
F37	1.51	0.76	755	2237	21.4	7.36	Tra
F38	1.49	0.75	748	2224	21.4	7.49	Tra
F39	1.34	0.67	670	1991	21.5	7.63	Tra
F40	1.24	0.62	620	1845	21.6	7.45	Nor
F41	1.29	0.64	646	1915	21.5	7.41	Tra
F42	1.35	0.67	678	2017	21.5	7.39	Nor
F43	1.32	0.66	661	1970	21.6	7.35	Tra
F44	1.64	0.83	824	2447	21.5	7.31	Nor
F45	1.41	0.71	707	2107	21.6	7.31	Nor
F46	1.31	0.65	656	1950	21.5	7.39	Nor
F47	1.52	0.77	764	2271	21.5	8.04	Tra
F48	1.52	0.76	759	2257	21.5	7.49	Nor
F49	1.63	0.82	815	2431	21.6	7.46	Nor
F50	1.63	0.82	816	2431	21.6	7.47	Nor
F51	1.38	0.69	691	2072	21.9	7.50	Tra

III.4.1. La conductivité électrique :

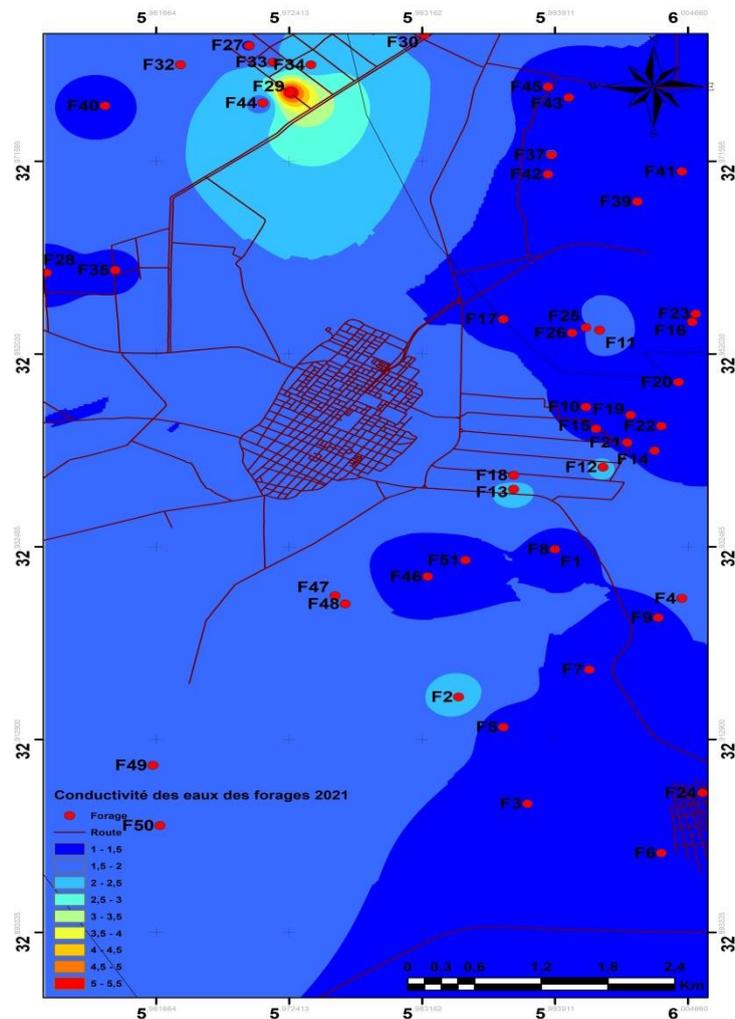


Fig III.05: Carte de conductivité électrique des eaux des forages 2021.

La conductivité, ou son inverse la résistivité, permet une estimation de la minéralisation d'une eau. Elle dépend de la force ionique de l'eau et augmente en fonction de la teneur en ions dissous, de la nature des différentes substances dissoutes, à leurs concentrations réelles et relatives et à la température à laquelle elle est généralement mesurée à 25 °C. La (figure III.01) et les valeurs du (tableau III.02) la variation de la conductivité électrique entre (1.24 - 2.42) ms/cm donc ont un taux de minéralisation idéal dans les stations d'étude par rapport à la norme fixée par l'Organisation mondiale de la santé pour l'eau d'irrigation., sauf pour la station F29 le valeur du conductivité électrique est 5.58 ms/cm .

III.4.2. Potentiel hydrogène (pH) :

Le terme pH est la concentration d'ions hydrogène dans une solution. Dans l'eau, ce facteur est d'une importance exceptionnelle, en particulier dans les procédés de traitement.

Dans les laboratoires de retenue des usines de traitement, il est mesuré et ajusté si nécessaire pour améliorer la coagulant/floculation ainsi que pour contrôler la désinfection de l'eau, la valeur de pH allant de 0 à 14. En dessous de 7 l'eau est considérée comme acide et au-dessus de 7 comme alcaline. L'eau de pH égale à 7 est neutre. Les résultats obtenus de pH, pour tous les échantillons classés dans le (tableau III.02) entre la (7.31- 8.15) On observe que le pH paraît proche de la neutralité dans toute la région d'étude ,Ces résultats peuvent convenir aux eaux d'irrigation car ils ne sont pas éloignés des normes de la F.A.O (2003) et de l'Algérie (2012).

III.4.3. La température T(°C) :

À partir de la (tableau III.02) nous avons remarqué que le variation des températures sont faibles . La température minimale et maximale varie entre 20.4°C et 21.9°C. La moyenne est de 21.2 (°C) .Les températures des eaux enregistrées durant la période de prélèvement ne dépassent pas la norme algérienne requise pour les eaux d'irrigation (25 à 30 °C).Plusieurs facteurs pourraient expliquer ces différences : L'heure à laquelle les mesures ont été prises. Le changement d'altitude, de pente et de largeur du cours d'eau pourraient être la cause de cette différence.

III.4.4. Le total des solides (TDS) :

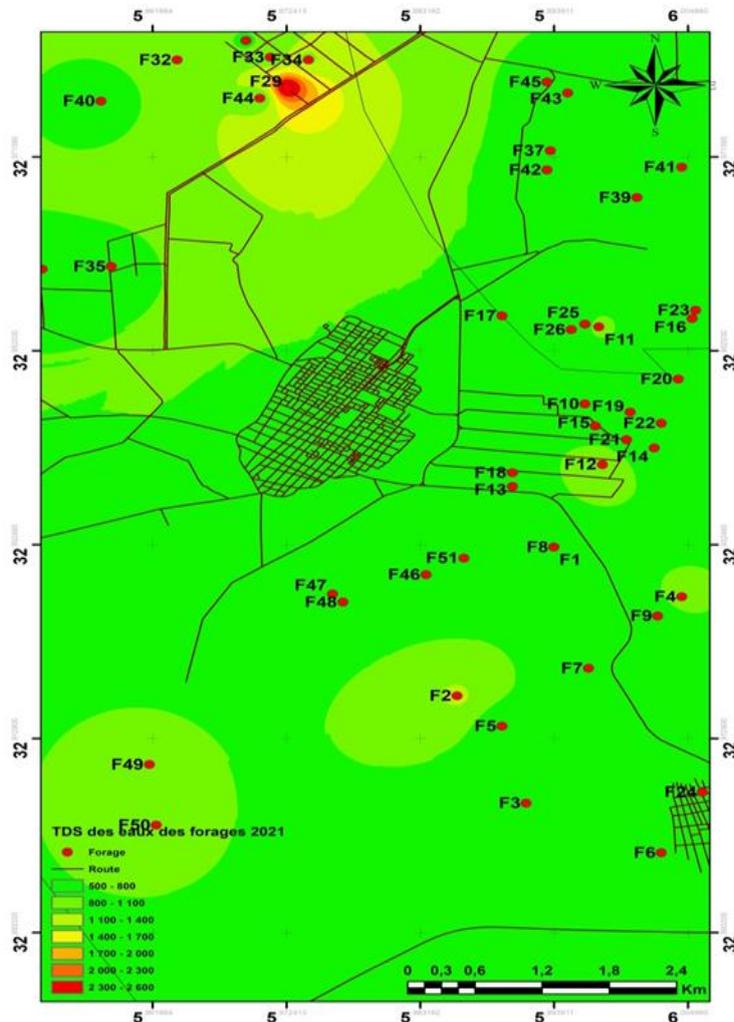


Fig III.06: Carte de TDS des eaux des forages 2021

À partir de la (tableau III.02) et la (figure III.02) on remarque le suivant:

- La variation du TDS est faible sauf la station F29 est plus haute à la norme .
- Le TDS évolue dans le même sens que la conductivité électrique.

La variation du TDS entre les prélèvements est faible. Les teneurs enregistrées pour le TDS lors de la campagne varient entre 620 et 1142 mg/l. La moyenne est de 881 mg/l . On générale les valeurs du TDS sont conformes à la norme fixée par l'OMS qui est de 1200 mg/l. Le TDS pourrait provenir de la dissolution des roches carbonatées (origine naturelle), ou des eaux usées et industrielles (origine anthropique).

III.4.5. Résidu sec (RS) :

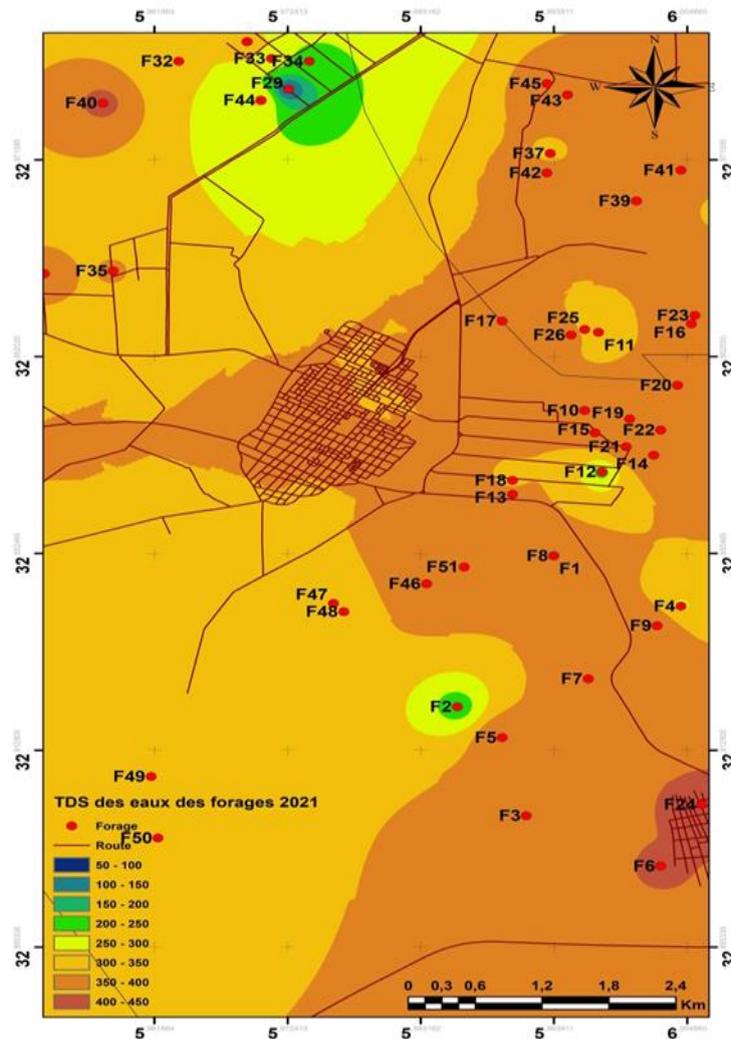


Fig III.07: Carte de Résidu sec (RS) des eaux des forages 2021.

La résidu sec il représente la minéralisation totale de l'eau, c'est-à-dire la totalité des sels dissous et la matière organique contenue dans l'eau, obtenue par pesées après dessiccation de l'échantillon à 105°C.

Les résultats d'analyse les échantillons des eaux d'irrigation (eaux de l'aquifère) pour du résidu sec dans la région d'étude montrent des concentrations qui s'étalent entre 1832 mg/l au forage F24 et 2447 mg/l au F44 , c'est valeurs dépasse pas 2500 mg/l donc ,est convient à un usage agricole, Sauf pour neuf forages (F2,F4,F11,F12, F29,F30,F31,F33et F34), il y a un résidu sec supérieur à 2500 mg/l.Ces concentrations dépendent au temps du contact des eaux avec l'ensemble des formations lithologiques de l'aquifère.

III.4.6. Le salinité :

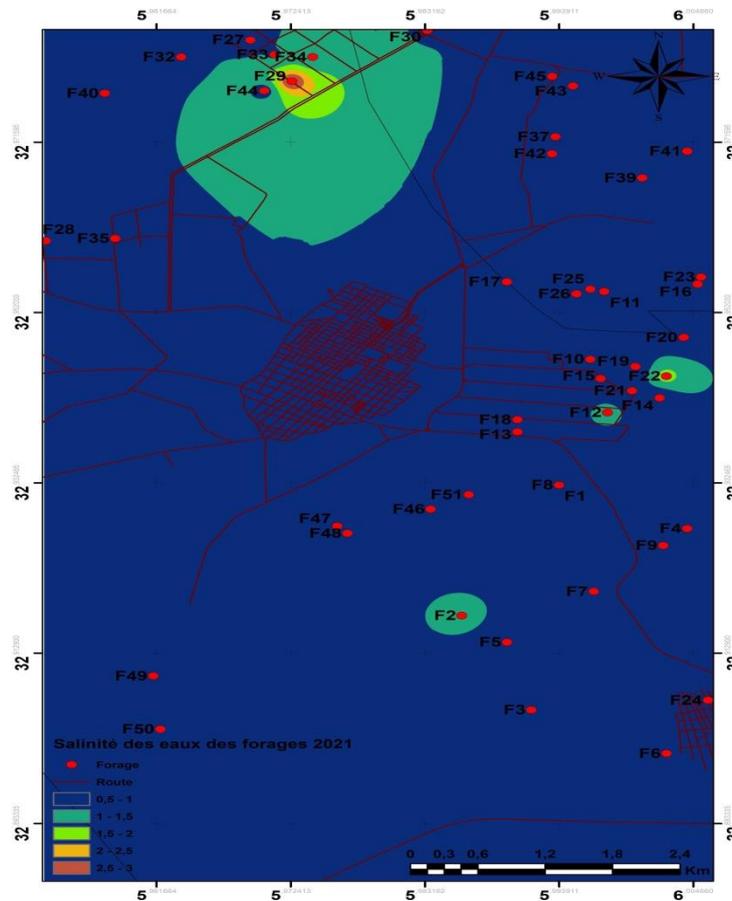


Fig III.08: Carte de Salinité des eaux des forages 2021.

Les valeurs de salinité enregistrées entere de 0.65 à 1.70 psu

D'après le (tableau III.02) et la (figure III.04), on remarque que Les valeurs de salinité sont normales par rapport à la norme fixée par l'Organisation mondiale de la santé pour l'eau d'irrigation. A l'exception du forafe F29, la variabilité de la salinité peut être légèrement élevée en raison de la dissolution des sols salivaires (origine naturelle).

En général, et après étudié le degré de salinité de l'eau d'irrigation dans la zone d'étude, on peut dire qu'elle est suilabilité et adaptée à un usage agricole avec un suivi périodique de l'évolution de la salinité. Donc , nous enregistrons la salinité maximale adaptée à certaines des plantes célèbres pour la zone étudiée dans le tableau suivant :

Tableau III(03): salinité maximale adaptée à certaines des plantes . [B]

qualité	palmiers	Orge	Cucumber
Salinité max (mg/l)	11680	10080	4640

III.5. Conclusion :

Le présent travail nous a permis de caractériser les eaux souterraines de la région de Beldat Amor , Les paramètres physique déterminés tels que, la conductivité électrique entre (1.24 - 2.42) ms/cm ,caractérisées par une valeurs de conductivité idial , le total des solides(TDS) entre (620 - 2790) mg/l ,le salinité (0.62 - 1.72) et les Résidu sec (RS) montrent que répondent aux normes algériennes et aux normes fixées par l'organisation mondiale de la santé (OMS).

Au cours de notre travail, nous avons procédé à l'appréciation de la qualité des eaux Notre étude a montré que ces eaux pourraient servir aux usages un peu variés tels que l'utilisation industrielle, abreuvement des animaux et l'irrigation , Néanmoins, ces eaux sont une source potentielle pour la production de l'eau potable.

L'état global de la qualité des eaux souterraines n'est pas alarmant au niveau de la région ,mais nécessite une vigilance et une attention permanente.

Conclusion générale et recommandation

La zone d'étude est située dans la wilaya de Touggourt, elle est répartie entre six (06) Daïras et quatorze (14) communes .

La région de Touggourt fait partie du Bas Sahara qui se présente comme une cuvette synclinale. Tous les terrains, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire sont dissimulés en grande partie par le grand erg oriental. La série géologique se compose de deux ensembles hydrogéologiques post paléozoïques importants : le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal.

Le climat de la zone d'étude est hyper aride de type saharien. La plus forte température de l'ordre de 41°C est enregistrée au mois de Juillet au cours duquel l'évaporation est maximale et est de 354.6 mm tandis que le mois de juillet est le plus sec avec 1.05mm de précipitation. Les ressources en eau souterraines du Sahara sont essentiellement constituées des ressources renouvelables provenant des infero-flux du versant sud des Aurès et des ressources non renouvelables représentées par les deux grandes aquifères de continentale Intercalaire et de complexe Terminal. Le système aquifère est constitué de trois aquifères : continental intercalaire composé de sable gréseux ou gréseux argileux, complexe terminal composé de trois nappes superposées les deux premières CT1 et CT2 composées des sables d'âge Mio-Pliocène et la troisième CT3 dans les calcaires fissures, plus au moins karstiques d'âge l'Eocène inférieur. Et au dessus de ces deux aquifères il existe une aquifère superficielle libre composées des sables.

Les forages sont les plus adaptés pour exploiter les aquifères de Sahara septentrional, la méthode utilisée pour forer est le rotary.

Les interprétations précédentes des analyses chimiques pour la nappe phréatique montrent que tous les éléments chimiques tels que, la conductivité électrique entre (1.24 - 2.42) ms/cm , le total des solides (TDS) entre (620 - 2790) mg/l ,le salinité (0.62 - 1.72), les Résidu sec (RS) entre (1832 – 3341) (mg/l), La température T° entre (20.4 – 21.9) (°C) et le Potentiel hydrogène (pH) entre (7.31 -8.15) , est adaptée largement les normes fixées par l'OMS pour une eau irrigation.

Ce qui indique que les eaux de la nappe phréatique sont imbuables. Les eaux des aquifères de complexe terminal et de Continental Intercalaire, sont très minéralisées, elles nécessitent un traitement avant l'utilisation.

Enfin nous suffirons au vu du temps très limité de ce travail de prendre en considération dans les aspects liés au contrôle de la qualité notamment les caractères organoleptiques, les éléments indésirables et toxiques ainsi que les microbiologiques, tout menant des campagnes de sensibilisation en matière de préservation et de protection des eaux souterraines utilisées en irrigation agricole.

Bibliographies

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (Touggourt).

B.E. B S : Bureau d'études Ben Sheikh (ouargla).

BRGM: Bureau de Recherche Géologique et Minières (<http://sigessn.brgm.fr/spip.php?article33>).

Kermadi Abd El Djabbar (2017) : Etude hydrogéologique de la vallée d'Oued Righ Nord ,
Memoire Master , Universite Echahid Hamma Lakhdar , El Oued.

Mounir AMAR.2007 : Rapport bibliographique (TECHNIQUES DE FORAGE),Universite
CHOUAÏB DOUKKALI, Maroc.

Dr Mehdi METAICHE (2013) : Maître de Conférences (PROCEDES ET TECHNIQUES DE
FORAGE) Université de Bouira.

Limane S et Ben Hammouda I (2019) : Suivi d'un forage d'eau dans la région de Benaceur.
Mémoire Master,U NIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA.

Bouselsal Boualem (2019) : Maître de Conférences ‘ FORAGE D'EAU Procédés et mesures ‘
univ-Ouargla .

CHADOU Oualid et AHMIM Abdelkader. (2020) :. Contribution à l'étude de la qualité des eaux
d'irrigation dans la région d'El Oued,Mémoire Master , UNIVERSITÉ EL CHAHID HAMMA
LAKHDER EL-OUED.

Fatima ZERROUKI et Abdallah SALHI . 2017 : Caractérisation hydrogéochimique de la nappe
du Continental Intercalaire de la gouttière de l'oued Righ, Sahara septentrionale. Memoire Master ,
UNIVERSITE de TLEMEN.

Foster, S. S. D., and Hirata, R. A.. 1988 : Groundwater Pollution Risk Assessment: A
Methodology Using Available Data. Lima, Peru: WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual.
Lima, Peru.

- REDOUANE Amine et AOUALI Abdelmalek. 2012** : Diplôme d'Ingénieur d'Etat, Université Abderrahmane MIRA de Bejaia.
- ASTANY G. (1968)** : Prospection des eaux souterraines. Ed. Dunod, Paris, France.
- CORNET A. (1961)** : La géologie de l'Oued Righ .Terres et eaux .Alger.
- CORNET A. (1964)** : Introduction à l'hydrogéologie saharienne. SNED, Alger.
- CONRAD G. (1969)** : L'évolution continentale post-hercynienne du Sahara algérien. Centre de recherche sur les zones arides. Série géologie n°10, CNRS, Paris.
- DMUNDS W.M. et al (2003)** : Groundwater evolution in the Continental Intercalaire aquifer of southern Algeria and Tunisia: trace element and isotopic indicators. Applied Geochemistry, Pub., elsevier (2003), Netherlands.
- GUENDOZ A. (1985)** : Contribution à l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara Nord-Est Septentrional (Algérie). Thèse 3ème cycle. Université de Paris- Sud.
- GUENDOZ A. et al (2003)** : Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara, Hydrogeology Journal (2003). Algeria.
- MARGAT J. (1990)** : Les gisements d'eau souterraine. La Recherche, Edit. Masson, Paris, France.
- MOULLA A.S et al (2002)** : Contribution des isotopes à l'étude des ressources en eaux souterraines transfrontalières en Algérie. Atelier international sur la gestion partagée des ressources des systèmes aquifères en Afrique. PHI, UNESCO, Tripoli, Libye, 02-04 juin 2002.
- PETERSEN J.O. (2014)** : Traçage isotopique (^{36}Cl , ^4He , ^{234}U) et modélisation hydrogéologique du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Thèse.Doc., Univ. Aix-Marseille France.
- SASS. (2002)** : Hydrogéologie, T2. OSS.
- OULD BABASY M. (2005)** : Recharge et paléorecharge du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Thèse.Doc., Univ. de Tunis El Manar.
- OSS (2003)** : Système Aquifère du Sahara Septentrional, Rapport interne. Annexes.Tunis,

UNESCO (1972) : Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional, et rapport sur les résultats du Projet REG-100, UNESCO, Paris (1972).

[A]: <https://www.bnq.qc.ca/fr/normalisation/genie-civil-et-infrastructures-urbaines/tuyaux/tuyaux-et-raccords-en-pvc-egouts-souterrains.html>.

[B]:<https://agriceg.com/%D8%AA%D8%AD%D9%85%D9%84-%D8%A7%D9%84%D9%84%D9%8A%D9%85%D9%88%D9%86-%D9%84%D9%84%D9%85%D9%84%D9%88%D8%AD%D8%A9/>

HADJEBAR BILLAL, BELOUIS HAKIM, OUERDANE AISSA.2019: Etude de la boue de forage et dimensionnement de la pompe à boue triplex à simple effet, Mémoire Master, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU.