

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



Université de Ghardaïa

Faculté des Sciences et Technologies
Département des Sciences et Technologie

N° d'ordre :

N° de série :

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : *Hydraulique*

Spécialité : *Ressource hydraulique*

Par :

BEN HAMMADI Abderrahmane

KEDDI Ilyes

Thème

**ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET CONCEPT DE
FONCTIONNEMENT DU CHAMP DE CAPTAGE D'EAU
DE IN-SALAH**

Soutenu publiquement le : 24/06/2018

Devant le jury :

CHAKER Mazia	MAB	Univ. Ghardaïa	Président
BOUBELLI Salim	MAA	Univ. Ghardaïa	Examineur
BOUAMER Khaira	MAB	Univ. Ghardaïa	Examineur
ACHOUR Mansour	Doctorant	Univ. Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2017/2018

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

من آيات الله في الماء

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ ﴿٣٠﴾ (الأنبياء)

أَوَلَمْ يَرَوْا أَنَّا نَسُوقُ الْمَاءَ إِلَى الْأَرْضِ الْجُرُزِ ﴿٢٧﴾ (السجدة)

قُلْ أَرَأَيْتُمْ إِنْ أَصْبَحَ مَاؤُكُمْ غَوْرًا فَمَنْ يَأْتِيكُمْ بِمَاءٍ مَعِينٍ ﴿٣٠﴾ (الملك)

وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً بِقَدَرٍ فَأَسْكَنَّاهُ فِي الْأَرْضِ ط وَأَنَا عَلَى ذَهَابٍ بِهِ لِقَادِرُونَ ﴿١٨﴾ (المؤمنون)

❖ **الأرض الجُرُزِ** : الأرض الميتة اليابسة لا نبات فيها.

❖ **غَوْرًا** : ذاهبا في أعماق الأرض.

❖ **بِمَاءٍ مَعِينٍ** : جَارٍ أو ظاهرٍ . سَهْلُ التَّنَاوُلِ.

❖ **فَأَسْكَنَّاهُ** : يَخُذُ في الأرض، وجعلنا في الأرض قابلية له.



Dédicace

*Tout d'abord je tiens à remercier mon Dieu
de m'avoir donné le courage et la patience et la puissance pour
arriver à ce stade afin de réaliser ce travail que je dédie.*

*A ceux qui sont la lumière de mes yeux, la lueur de mon
chemin et, l'éclat de ma réussite*

A mes très chers parents, que Dieu les gardes pour moi.

A mes très chers grands parents

A mes très chers frères.

A mes très chères sœurs.

A toute ma grande famille.

A mon collègue pour ce travail.

A tous mes très chers amis sans exception.

*A mon encadreur : Mr Mansour ACHOUR, pour toute sa
bonté et sa patience pour la réalisation de ce travail.*

A toute la promotion hydraulique 2017/2018.

*A ceux qui étaient toujours là pour moi, et ils continuent à
être là.*

A ceux qui leur réjouit mon sourire et leur vénère mon succès.

Abderrahman

DEDICACES

je dédie ce travail À :

*Mes parents, pour leurs amours, soutiens, Encouragements, et sacrifices,
sans qui je n'aurais pas pu arriver à ce stade.*

Mes très chères sœurs

Mon très cher et unique frère

Mes très chers grands parents

Mes oncles, à mes tantes et mes cousins.

Toute ma famille

Mon collègue pour ce travail

Tous mes professeurs du département ST.

*Mes collègues donne la spécialité ressource hydraulique. et hydraulique
urbaine*

A toutes mes amies

Merci à vous tous

Ilyes

REMERCIEMENTS



Nous tenons à remercier :

Avent tout

Allah le tout puissant *de nous avoir donné le courage et la volonté d'accomplir ce travail*

Tout particulier

Notre encadreur, monsieur ACHOUR.M, pour nous avoir encadré, dirigé et conseillé, et pour avoir mis à notre disposition tous les moyens nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

Également

Les membres du jury qui nous font le grand honneur d'évaluer ce travail.

Monsieur Arif M chef département ST dans l'université de Ghardaïa.

Toutes les personnes de Direction Hydraulique de la wilaya DHW, Algérien des eaux projet ADE, tous les bureaux d'études travaillant avec eux, ANRH d'adrar in Salah de Traitement des eaux, et pour houari Z le chef de station de météo de Tamanrasset.

En plus

Les Ingénieurs Mr : BAHTITI.O, BRIKAT.I et DJOUALIL.I dont la disponibilité affable et permanente ont été d'un très grand intérêt

Enfin

Tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin, que ce soit par leur amitié, leurs conseils ou leurs soutien moral, trouveront dans ces quelque lignes l'expression de mes remerciements les plus vifs.

Résumé

La fourniture d'eau potable à la population est l'une des priorités les plus fondamentale : la région de Tamanrasset en est un exemple, car son manque de ressources en eau superficielles ou souterraines nécessite une recherche de sources pour couvrir le manque en exploitant les eaux du Continental Intercalaire.

Le champ de captage exploité de l'aquifère intérieur est situé au nord d'Ain Saleh, sous le plateau de Tadमित, qui est la source la plus appropriée pour répondre aux besoins de la ville de Tamanrasset.

Notre étude est réalisée en examinant les conditions climatiques, géologiques et hydrogéologique du champ d'exploitation, ainsi qu'en étudiant la composition physico-chimique de l'eau extraite du Continental Intercalaire. Sur le plan hydrochimique, nous constatons que cette eau présente une dureté et une saturation élevées des éléments minéraux, caractérisée par des teneurs élevées en chlorures, sulfates et sodium, elle a été classer comme eau de mauvaise qualité et non potable qui doit être traiter et en même temps elle constitue un grand danger pour la salinité des sols. En ce qui concerne les normes algériennes, elle est acceptable.

A travers les sorties sur terrain, nous avons identifié les caractéristiques techniques et technologiques de champ de captage et des structures qualifiées pour le transport de l'eau, sachant que cette eau sans traitement provoque une corrosion de l'équipement, ce qui affecte la durabilité du projet.

Mots-clé :TadमितContinental Intercalaire, géologiques, hydrogéologique, physico-chimique, hydrochimique, salinité, technologiques.

Abstract

The provision of potable water for the population is one of the most necessary priorities. Tamanrasset is an example of this. Its lack of sufficient surface or underground water resources requires finding sources to cover the shortage by exploiting the water of the inland water complex of the continental ci.

The well-exploited field of the inland aquifer is located in the north of Ain Saleh, under the Tadमित Plateau, which is the most suitable source through which the needs of the city of Tamanrasset are met.

Our study is carried out by examining the climatic, geological, hydrogeological conditions of the field of exploitation, as well as studying the physico-chemical composition of the water extracted from the continental interstellar. Hydrochemically, we find that this water has a high degree of hardness and saturation of mineral elements. It is characterized by high levels of chlorides, sulphates and sodium, a poor grade of drinking that needs to be addressed and at the same time a high risk ratio for soil salinity somewhat.

Through the field survey, we identified the technical and technological characteristics of the components of the well field and the structures that are qualified for water transport, bearing in mind that this water without treatment causes corrosion of the equipment, which affects the sustainability of the project

Keywords: Continental Intercalaire, Tadमित, geological, hydrogeological, physico-chemical, Hydrochemically.

ملخص

إن توفير الماء الصالح للشرب للسكان من الأولويات الضرورية القصوى، تعد منطقة تمنراست مثالا لذلك حيث أن إفتقارها لمصادر مياه سطحية او باطنية كافية يستوجب البحث عن مصادر لتغطية النقص من خلال إستغلال مياه المجمع المائي الباطني للمتداخل القاري.

حقل الآبار المستغل للمجمع المائي الباطني يقع شمال عين صالح، تحت هضبة تادمايت، والذي يعد المصدر الأنسب الذي يتم من خلاله سد إحتياجات مدينة تمنراست.

إن دراستنا تدخل في هذا الإطار، من خلال فحص الظروف المناخية، الجيولوجية، الهيدروجيولوجية لمنطقة حقل الإستغلال، وكذلك دراسة التركيبية الفيزيوكيميائية للمياه المستخرجة من المتداخل القاري. فمن الناحية الهيدروكيميائية تبين لنا أن هذه المياه تمتلك درجة صلابة عالية وتشبع بالعناصر المعدنية فهي تتميز بمستويات عالية من الكلوريدات، الكبريتات ومن الصوديوم، فصنفت رديئة من ناحية الشرب توجب معالجتها وفي نفس الوقت تشكل نسبة خطر مرتفعة فيما يخص ملوحة التربة أما بالنسبة للمعايير الجزائرية فهي مقبولة نوعا ما.

من خلال الاستطلاع الميداني، قمنا بالتعرف على الخصائص التقنية والتكنولوجية للعناصر المكونة لحقل الآبار و الهياكل المؤهلة لنقل المياه بأخذ بعين الإعتبار أن هذه المياه دون معالجة تسبب تآكل التجهيزات مما يؤثر على ديمومة المشروع.

الكلمات المفتاحية : المتداخل القاري، تادمايت، الجيولوجية، الهيدروجيولوجية، الفيزيوكيميائية، الهيدروكيميائية، ملوحة، التكنولوجية.

TABLE DES MATIERES

Liste des figures.....	VII
Liste des tableaux.....	X
Liste des photos	X
ACRONYMES	XI
GLOSSAIRE	XII
INTRODUCTION GENERALE	1

Chapitre I : Généralités sur la zone d'étude

I.1. Situation géographique du champ de captage.....	3
I.2. Géomorphologie et topographique du site.....	4
I.3. Réseau hydrographique.....	4
I.4. Contexte climatologique de la région	5
I.4.1. La température.....	5
I.4.2. Les précipitations.....	6
I.4.3. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN	7
I.4.4. Le vent	8
I.4.5. L'insolation	9
I.4.6. Humidité.....	10
I.4.7. Détermination des indices climatiques.....	11
I.4.7.1. Indice d'aridité de De Martonne.....	11
I.4.7.2. Climagramme d'Emberger	12

Chapitre II : Etude hydrogéologique, Et Hydrodynamique

II.1. Introduction.....	14
II.2. Contexte géologique du site.....	14
II.3. Contexte hydrogéologique.....	16
II.4. Définition du système aquifère SASS.....	16
II.4.1. Le Complexe Terminal (CT).....	17
II.4.2. Le Continental Intercalaire (CI)	17
II.4.2.1. Géométrie du Continental Intercalaire	17

II.4.2.2. Limites du continental intercalaire	18
II.4.2.3. Piézométrie du continental intercalaire	19
II.4.2.4. Alimentation du continental intercalaire	20
II.4.2.5. Réserve et exploitation du continental intercalaire	21
II.5. Le système aquifère au site du champ de captage	22
II.5.1. Implantation des forages dans champ de captage	23
II.5.2. Interprétation des coupes hydrogéologiques	23
II.5.2.1. Coupe géologique [A]	24
II.5.2.2. Coupe géologique [B]	24
II.5.2.3. Coupe géologique [C]	24
II.5.2.4. Coupe géologique [D]	24
II.5.3. Caractéristiques du Forage Test PK 70	27
II.5.4. Carte d'égale profondeur du CI.....	27
II.5.5. Carte d'égale épaisseur du CI	29
II.5.6. Piézométrie du CI au site du champ de captage.....	30
II.6. Comportement hydrodynamique du CI au site du champ de captage	31
II.6.1. Les essais de pompage	31
II.6.2. Essai sur le forage C05	32
II.6.2.1. Essais de pompage par paliers.....	32
II.6.2.1.1. Le bilan de pompage par palier	32
II.6.2.1.2. Calcul du rabattement spécifique (s/Q).....	33
II.6.2.1.3. Calcul du débit spécifique	35
II.6.2.2. Essais de pompage de longue durée.....	36
II.7. Conclusion	37

Chapitre III : Etude Hydrochimique

III.1. Introduction	39
III.2. Technique et méthode d'analyses hydrochimique	39
III.3. Analyse des échantillons des eaux.....	40
III.4 Balance Ionique	40
III.5. Classification des eaux	40
III.5.1 Diagramme de SCHOELLER BERKALOFF	40
III.5.2. Diagramme de PIPER.....	42
III.6. Les faciès chimiques.....	42
III.7. Variation des paramètres physico-chimiques.....	43
III.7.1. Température (T°)	43

III.7.2. Conductivité (EC) :	44
III.7.3. Potentiel Hydrogène	44
III.7.4. Dureté totale	45
III.7.5. Résidu Sec	46
III.7.6. Titre alcalimétrique complet (TAC)	47
III.8. Variation des éléments majeurs	47
III.8.1. Sodium (Na^+) :	47
III.8.2. Chlorure (Cl^-)	48
III.8.3. Calcium (Ca^{2+})	49
III.8.4. Magnésium (Mg^{2+})	50
III.8.5. Bicarbonates (HCO_3^-)	50
III.8.6. Potassium (K^+)	51
III.8.7. Sulfates (SO_4^{2-})	52
III.8.8. Nitrates (NO_3^-)	53
III.9. Origine de chimisme des eaux	54
III.9.1. Etude des relations inter-éléments	54
III.9.2. Le couple Na- SO_4	54
III.9.3. Le couple K- SO_4	54
III.9.4. Le couple Na^+ - Cl^-	55
III.10. Qualité chimique des eaux du CI dans le secteur d'étude	56
III.10.1. Potabilité des eaux	56
III.10.1.1. Les normes de potabilité	56
III.10.2. Aptitudes des eaux à l'irrigation	57
III.10.2.1. Diagramme de REVERSIDE	57
III.10.2.2. Le pourcentage de sodium (classification de WILCOX)	58
III.11. Conclusion	60

Chapitre IV : Concept de fonctionnement et caractéristique technique du "CC"

IV.1. Introduction	61
IV.2. Situation et caractéristiques du site du transfert	61
IV.2.1. Consistance du transfert	61
IV.2.2. Localisation géographique	62
IV.3. Concept de fonctionnement d'ensemble du transfert	63

IV.4. Concept de champ de captage	64
IV.4.1. Choix du site d'implantation des forages	64
IV.4.2. Emplacement du champ de captage.....	65
IV.4.3. Description des ouvrages du champ de captage	65
IV.4.3.1. La complétion des forages de captage	67
IV.4.3.1.1. Mode de forage	67
IV.4.3.1.2. Tête du forage	67
IV.4.3.1.3. Colonne de protection.....	68
IV.4.3.1.4. Equipement en pompe immergée	68
IV.4.3.1.5. Conduite de refoulement	68
IV.4.3.2. Châteaux d'eau	71
IV.4.3.3. Station de déminéralisation	72
IV.4.3.4. Réservoir de tête	75
IV.4.4 Les stations des pompages.....	76
IV.4.4.1. Caractéristiques des stations de pompage	76
IV.4.4.2. Disposition et emplacement des stations	76
IV.4.5. Cité d'exploitation	78
IV.4.6. Réservoir terminal	79
IV.4.6.1. Emplacement du réservoir terminal.....	79
IV.4.6.2. Description générale du réservoir terminal	79
IV.4.6.3. Disposition des structures du réservoir terminal	80
IV.4.7. Contrôle du transfert	81
IV.4.8. Chambre de comptage	82
IV.5. Alimentation en énergie	82
IV.6. Démographie et besoins en eau de la ville de Tamanrasset.....	83
IV.7. Débit en eau transfère	84
IV.8. Conclusion.....	84

CONCLUSION GENERALE

Références bibliographiques

ANNEXES

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur la zone d'étude

Figure I.1 : La situation géographique de la région d'étude.....	3
Figure I.2 : Carte topographique de la région étude (cc).....	4
Figure I.3 : Variations moyennes annuelles des températures (2008-2017).	5
Figure I.4 : Variations des températures moyennes mensuelles (2008-2017).....	6
Figure I.5 : précipitation moyenne mensuelle de période (2008-2017).	7
Figure I.6 : Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN	8
Figure I.7 : Vitesses moyennes annuelles de vent en m/s (2008-2017)	8
Figure I.8 : Vitesses moyennes mensuelle de vent en m/s (2008-2017)	9
Figure I.9 : Moyennes mensuelles d'ensoleillement en heure /jour (2008-2017).	10
Figure I.10 : moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air en %.	11
Figure I.11 : Abaque de l'Indice d'aridité annuel De MARTONE	12
Figure I.12 : Position de la région d'In Salah dans le diagramme d'Emberger	13

Chapitre II : Etude hydrogéologique, Et Hydrodynamique

Figure II.1 : Carte géologie de la région de In Salah	15
Figure II.2 : Limites du domaine SASS. (OSS, 2003)	16
Figure II.3 : Coupe hydrogéologique transversale du "CI" (UNESCO, 1972).	18
Figure II.4 : Les zones d'affleurement du Continental Intercalaire (OSS, 2012).	19
Figure II.5 : Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2012).	20
Figure II.6 : Carte de simulation des Rabattements 2000-2050 au "CI". (OSS, 2003).	22
Figure II.7: Carte de situation géographique des forages.....	23
Figure II.8 : Carte de positionnement des coupes géologiques (ANRH, 2007).	24
Figure II.9 : La coupe géologique « A » (ANRH, 2007).	25
Figure II.10 : La coupe géologique « B » au travers de la zone d'étude (ANRH, 2007).	25
Figure II.11 : La coupe géologique « C » au travers de la zone d'étude (ANRH, 2007).	26

Figure II.13 : Carte de la variation de la profondeur du « CI ». (ANRH,2007).....	27
Figure II.14 : La coupe lithologique de forage test pk 70. (ANRH, 2007)	28
Figure II.15 : Carte de la variation de l'épaisseur du « CI » (ANRH, 2007)	29
Figure II.16 : La carte de la piézométrie du champ de captage (M. Madi,2017).....	30
Figure II.17 : Courbe caractéristique du forage «C05 ».....	33
Figure II.18 : Courbe Droite débit / rabattement spécifique	34
Figure II.19 : Essai de pompage longue durée à forage «C05» par la méthode de Cooper-Jacob de la descende.	37

Chapitre III : Etude Hydrochimique

Figure III.1 : Digramme de Schöeller des eaux des forages dans Ouest du (CC)	41
Figure III.2 : diagramme de Schöeller des eaux des forages dans Est du (CC).....	41
Figure III.3 : Représentation graphique des eaux du « CC » sur le diagramme de PIPER	42
Figure III.4 : diagramme de faciès Na/Ca vs SO_4^{2-}/ Cl^-	43
Figure III.5 : Carte de la Conductivité électrique des eaux des forages du (CC).	44
Figure III.6 : Carte de la Potentiel Hydrogène des eaux des forages du (CC).....	45
Figure III.7 : Carte de la dureté des eaux des forages du (CC).	46
Figure III.8 : Carte de Résidu Sec des eaux des forages du (CC).	46
Figure III.10 : Carte de Sodium (Na^+) des eaux des forages du (CC).....	48
Figure III.11 : Carte de chlorures (Cl^-) des eaux des forages du (CC).	48
Figure III.12 : Carte de Calcium (Ca^{2+}) des eaux des forages du (CC).	49
Figure III.13 : Carte de Magnésium (Mg^{2+}) des eaux des forages du (CC).	50
Figure III.14 : Carte des Bicarbonates (HCO_3) des eaux des forages du (CC).....	51
Figure III.15 : Carte de Potassium (K^+) des eaux des forages du (CC).....	52
Figure III.16 : Carte des Sulfates (SO_4^{2-}) des eaux des forages du (CC).	53
Figure III.17 : Carte de Nitrates (NO_3^-) des eaux des forages du (CC).	53
Figure III.18 : Le couple $K-SO_4^{2-}$	55
Figure III.19 : Le couple $Na-SO_4^{2-}$	55

Figure III.20 : Le couple $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$	55
Figure III.21 : le diagramme de « Reverside »	58
Figure III.22 : Diagrammes des Wilcox et Wilcox-log des eaux de (CC).....	60

Chapitre IV : Concept de fonctionnement et caractéristique technique du "CC"

Figure IV.1 : Carte d'implantation du transfert « In Salah – Tamanrasset » (ADE projet).	62
Figure IV.2 : Profil en long schématique de l'adduction (ADE projet)	63
Figure IV.3 : Schéma vertical de principe du transfert. (STUCKY ENHYD).....	64
Figure IV.4 : Emplacement du champ de captage dans la région de In Salah (ADE projet) ...	65
Figure IV.5 : champ de captage – Réseau de collecte et réservoir de tête. (MCC).....	66
Figure IV.6 : Coupe technique du forage C05(MCC).	69
Figure IV.7 : Système de pompage(MCC).....	70
Figure IV.8 : Disposition de la station de déminéralisation(CTH).	72
Figure IV.9 : Schéma synoptique de la station de déminéralisation d'eau par osmose inverse (MES).....	74
Figure IV.10 : Disposition des ouvrages du réservoir de tête RT(MCC).....	76
Figure IV.11 : Structures principales des stations de pompage (STUCKY ENHYD)	77
Figure IV.12 : Cité d'exploitation. (STUCKY ENHYD).....	78
Figure IV.13 : Disposition des chambres et autres ouvrages principaux du RT. (MCC).....	80

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Températures moyennes annuelles (2008-2017)	5
Tableau I.4 : la vitesse moyennes mensuelle des vents (2008-2017).....	9
Tableau I.5 : Moyennes mensuelles d'insolation en heure /jour (2008-2017).	9
Tableau I.6 : moyenne annuelle de l'humidité relative de l'air en % (2008-2017).	10
Tableau II.1 : Caractéristiques du système aquifère du Sahara septentrional. (OSS,2003)....	21
Tableau II.2 : bilan de pompage par palier pour forage C05.	32
Tableau II.3 : le rabattement spécifique pour forage C05.....	34
Tableau II.4 : Les résultats d'étude essais de pompage par paliers.	36
Tableau III.1 : présente la potabilité en fonction de la dureté (OMS).....	45
Tableau III.2: Matrice de corrélation entre les éléments physicochimiques	54
Tableau III.3 : Normes Algériennes de potabilité.....	56
Tableau III.4 : Classification des eaux d'irrigation (méthode Richards).....	59
Tableau IV.1: Altitudes du terrain des forages du champ de captage.	67
Tableau IV.2 : Consommation de carburant des stations de pompage.(SATEIG)	83
Tableau IV.3 : Croissance de la population et besoin en eau. (STUCKY ENHYD)	84

Liste des photos

Photo IV.1 : châteaux d'eau.....	72
Photo IV.2: Réservoir de tête.....	74
Photo IV.3 : Salle des pompes.....	78
Photo IV.4 : Réservoir terminal.....	80
Photo IV.5 : Centre de contrôle à Tamanrasset.....	82
Photo IV.6 : Chambre de comptage.....	83

ACRONYMES

AEP	Alimentation en eau potable.
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
CC	champ de captage
C.I	Continental Intercalaire
C.T	Complexe Terminal
CTH	Contrôle Technique Hydraulique.
DHW	Direction de l'Hydraulique de la Wilaya
DN	Diamètre Nominal
ERESS	Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional – Unesco 1972
HMT	Hauteur Manométrique Totale
Hr	humidité relative
IS	Indice De Saturation
MES	Mechanical Electrical Services.
Mce	Mètre de colonne d'eau
MCC	Mondial Construction CHINA.
NGA	Nivellement Général de l'Algérie
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OSS	Observatoire du Sahara du Sahel
pH	Potentiel d'Hydrogène
PK	Point Kilométrique
PN	Pression Nominale
RN	Route Nationale
RT	Réservoir de Tête
RTm	Réservoir Terminal
S.A.S.S	Système Aquifère du Sahara Septentrional
SAR	Sodium Adsorption Ratio.
SIG	Système d'information géographique.
SP	Station de pompage
TAC	Titre Alcalimétrique Complet
TH	Titre Hydrotimétrique la dureté
UNESCO	United Nation Education Science Culture and Organization.

GLOSSAIRE

Tidikelt	Région d'In Salah entre Aoulef et In Salah
Erg	Dune de sable
Reg	Surface plane couverte de sable et gravier
Oued	Cours d'eau.
Sebkha	Dépression salée ou gypseuse.
Touat	Région d'Adrar entre Tsabit et Reggane.
Foggara	Galerie souterraine qui draine l'eau de la nappe vers la surface du sol.
HOGGAR	Une chaîne de montagnes célèbre située dans l'extrême sud-est de l'Algérie

Introduction

Générale

INTRODUCTION GENERALE

Dans le sud de l'Algérie La ville de Tamanrasset a connu ces dernières années une croissance démographique rapide, suivi d'une activité humaine importante. En parallèle les besoins en eau de cette ville ont augmenté et ses sources d'eau ne sont plus suffisantes.

D'autre part, L'eau de surface est rare dans les zones arides, par contre, le sous-sol abonde en eaux souterraines. Ces eaux sont la seule source d'eau disponible dans la plupart des régions désertiques d'où l'importance d'une bonne gestion et donc une analyse délicate de ces précieuses réserves. Sur la région de Tamanrasset, La seule source disponible pour l'utilisation est la nappe inféro- flux qui est délimité par les berges d'oued Tamanrasset, qui constitue une réserve d'eau souterraine facilement épuisable. La recharge de cet aquifère est étroitement liée aux rares crues qui se produisent lors des pluies d'intensité assez forte. Mais cette source n'est plus suffisante pour répondre aux besoins de cette région.

Pour remédier cette situation, l'ADE d'Alger a proposé une solution, il s'agit de transférer les eaux souterraines de la région de In Saleh vers Tamanrasset. Ces eaux sont pompées de la couche aquifère artésienne de In Salah sur une distance de plus de 720 km. La capacité du système tel qu'il a été réalisé peut transférer plus de 100 000 m³/jour, ce qui est suffisant en termes de quantité d'eau pour assurer une alimentation en eau potable à la population de la région jusqu'en 2050.

Et dans ce cadre que c'est inscrit Notre étude, que va examiner les conditions climatologiques, géologiques et hydrogéologiques dans lesquelles le champ de captage a été implanté, ainsi d'étudiée le concept de fonctionnement des différents éléments composants le champ de captage et le transfert. L'étude a été répartie en quatre chapitres :

- Le 1^{ere} chapitre donne des généralités sur la zone d'étude, où nous abordons la situation géographique, géomorphologique, géologique et hydro climatologique du champ.
- Le 2^{eme} chapitre portera sur l'étude hydrogéologique du Continental Intercalaire en générale et dans le champ de captage en détail du point de vue, profondeur et toi de la nappe, ainsi que la conception et la productivité des forages.
- le 3-^{eme} chapitre étudie la qualité chimique vis-à-vis de la potabilité et à l'irrigation, des eaux produites du champ, elle permet aussi de suivre l'évolution spatiale des différents éléments dissous et déterminer leur origine.

Introduction Générale

- le 4-ème chapitre traitera le concept et le fonctionnement du champ de captage, ainsi que les caractéristiques techniques et technologiques des différents éléments constituant le système.

A la fin, nous terminerons notre travail par une conclusion générale suivie par quelques recommandations relatives au bon fonctionnement de ce système.

C*h***ap***it***re** **I**

**Généralités sur
la zone d'étude**

I.1. Situation géographique du champ de captage

Le site du champ de captage objet de notre étude, a été implanté au Nord de la ville de Ain Salah a une distance de 70km à proximité du Piémont du plateau de Tademaït., et de 720km du chef lieu de la wilaya de Tamanrasset.

La région de In Salah se trouve à une distance de 700 Km au Nord du chef lieu de la wilaya de Tamanrasset et 400 Km au Sud-Est de la wilaya d'Adrar, au Nord du massif de Tassili externe.

La wilaya de Tamanrasset est la plus grande wilaya de l'Algérie en termes de superficie, elle s'étend sur une surface de 556200 Km². Elle est éloignée d'environ 2000 Km de la capitale Alger. (ANRH 2007)

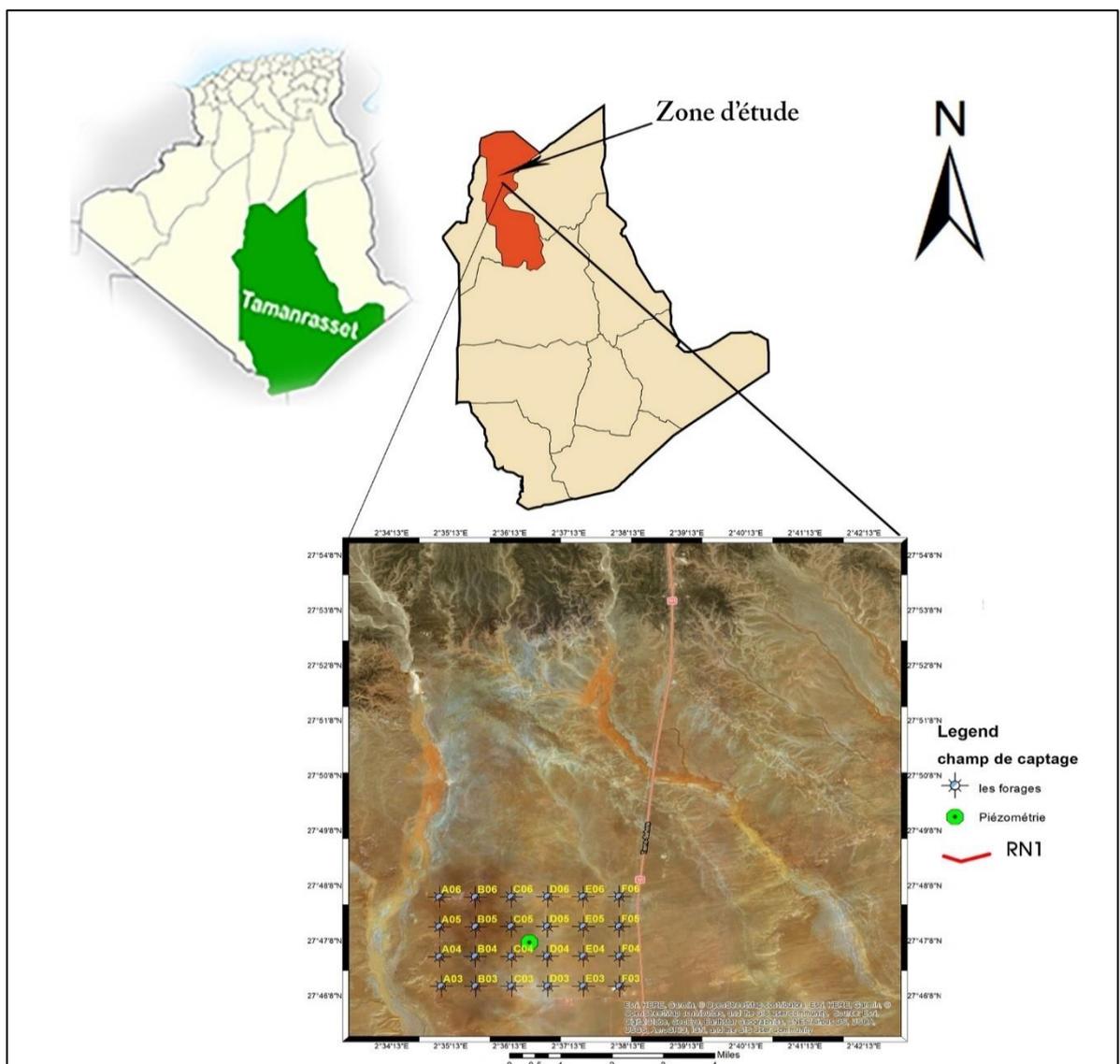


Figure I.1 : La situation géographique de la région d'étude.

I.2. Géomorphologie et topographique du site

Le secteur d'étude fait partait d'une grande zone allongée sensiblement, orientée SO-NE elle renferme trois traits morphologiques (ANRH 2007):

- a) **Plateau de Tademaït** : il limite la zone d'étude au nord et au Nord-Ouest.
- b) **Reg** : Surface plane couvert de gravier, sable et de débris des roches, il est limité vers le nord par le plateau de Tademaït, vers le sud par la dépression et vers l'Est le massif du primaire.

Il se caractérise par une altitude maximum de 450m au niveau du pied du plateau de Tademaït et une altitude minimum de 400m au sud vers In Salah, avec une pente oscille entre 1 % à 2 % et un pendage de NW -SE.

- c) **Sebkha** : Se localise au niveau des palmeraies, c'est une dépression fermée qui évolue dans le cadre de système endoréique.

I.3. Réseau hydrographique

Les ravinements ensablés forme le système hydrographique qui traverse le secteur d'étude, ils entaillent les regs, ces derniers sont irrégulièrement alimentés par des pluies locales.

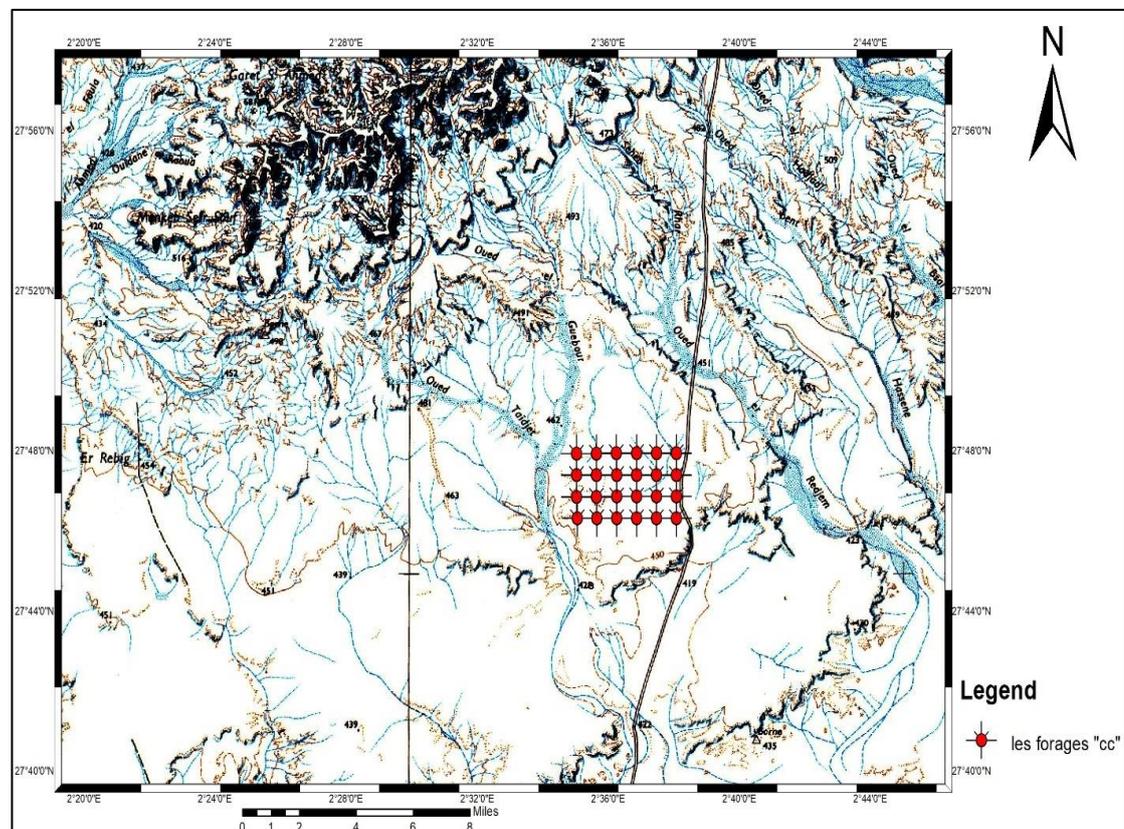


Figure I.2 : Carte topographique de la région étude (cc)

I.4. Contexte climatologique de la région

La région d'In Salah est caractérisée par un climat sec et aride, particulièrement contrasté. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air. Ces paramètres hydro-climatiques ont une grande importance pour toute étude hydrogéologique ; car ils ont une influence sur le comportement hydraulique et surtout le bilan hydrique des aquifères.

Pour mieux caractériser le climat de notre secteur d'étude, nous allons analyser quelques paramètres climatologiques (vitesse du vent, P, T°, C, etc.), en utilisant les données de la station météorologique ONM de In Salah est située à l'Aéroport (7Km de la ville de In Salah). Les données utilisées se rapportent à la période allant de 2008 à 2017, soit 10 années d'observations.

I.4.1. La température

La température est un facteur important qui conditionne l'hydro-climatologie d'une région. Pour notre étude nous avons pu disposer des données moyennes mensuelles et annuelles de la station d'In Salah qui sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau I.1 : Températures moyennes annuelles (2008-2017)

Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
T max	34.37	34.67	36.2	34.5	34.38	34.81	35.23	34.73	35.38	34.65
T moy	26.68	26.52	27.85	26.76	26.42	26.6	27.16	26.83	27.36	26.91
T min	18.98	18.66	19.51	19.05	18.44	18.38	19.04	18.88	19.36	19.12

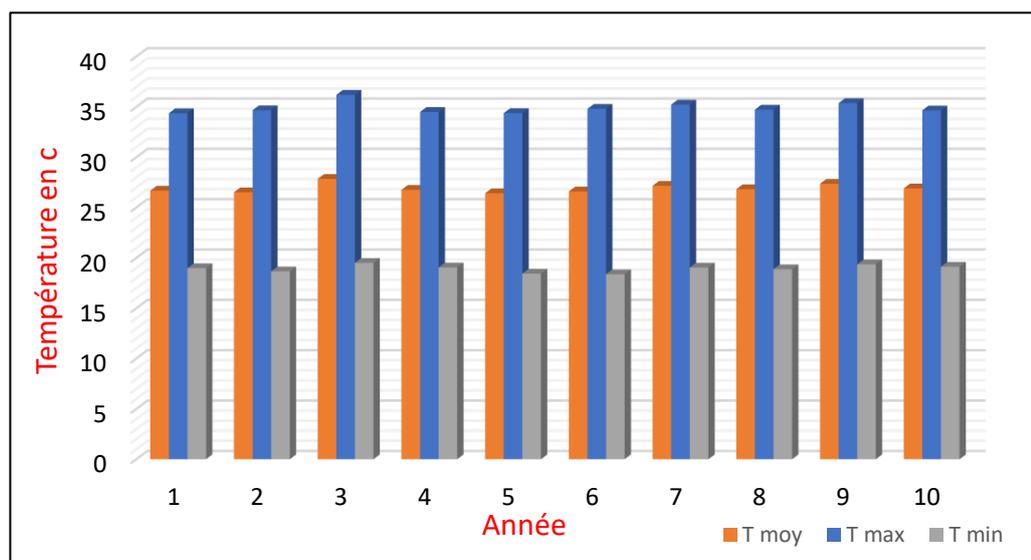
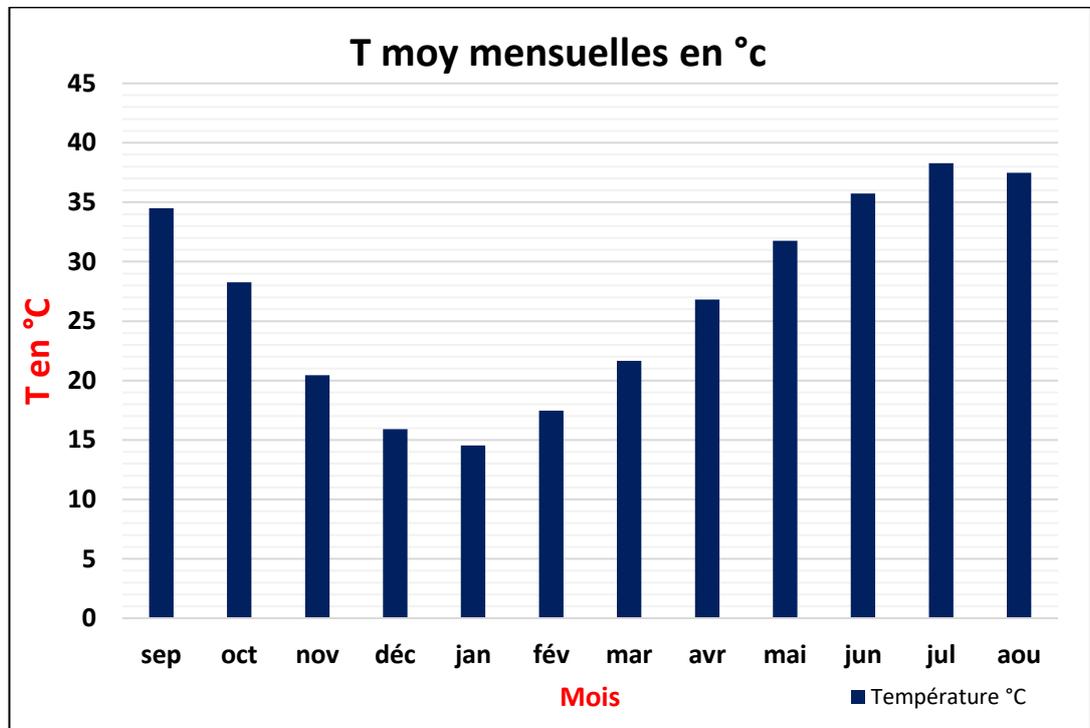


Figure I.3 : Variations moyennes annuelles des températures (2008-2017).

Tableau I.2: les données de température moyennes mensuelle (2008-2017)

Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug
34.49	28.27	20.44	15.91	14.55	17.46	21.65	26.82	31.75	35.74	38.28	37.49

**Figure I.4 :** Variations des températures moyennes mensuelles (2008-2017)

L'analyse de l'histogramme des températures moyennes mensuelles montre que le mois le plus chaud est Juillet avec une température moyenne de l'ordre de 38.28°C, alors que le mois le plus froid c'est le mois de Janvier avec une température moyenne de l'ordre de 14.55°C, la température moyenne mensuelle est de l'ordre de 27 °C.

I.4.2. Les précipitations

La connaissance de la pluviométrie de la région est très difficile à étudier à cause de l'irrégularité des précipitations d'une part, et l'absence des stations pluviométriques d'autre part.

Tableau I.3 : précipitation de pluies mensuelles (mm), (2008-2017)

Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug
1.41	1.61	1.46	1.03	1.81	0.9	2.15	0.02	0.69	2.86	0.05	0

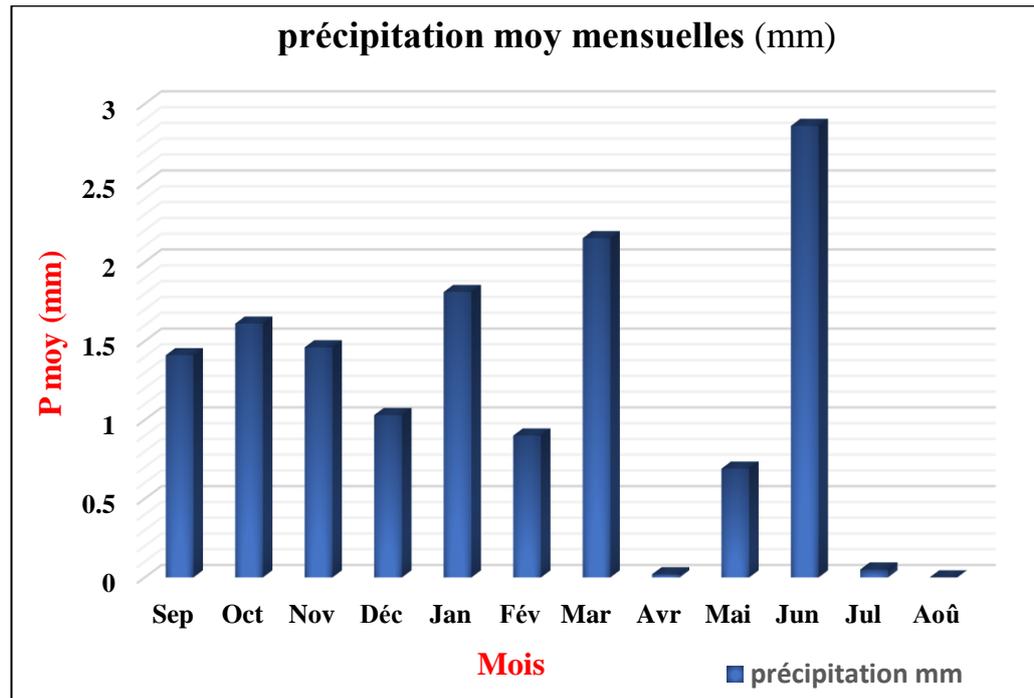


Figure I.5 : précipitation moyenne mensuelle de période (2008-2017).

L'analyse de l'histogramme des variations interannuelles des précipitations figure.I.5, sur une période de 10 ans, montre que le mois février est la plus arrosée avec des précipitations moyennes de l'ordre de 2.86 mm et que l'moi avril est la plus sèche avec aucune précipitation, les précipitations moyenne interannuelles sont de 1.17 mm.

I.4.3. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

Un mois sec est défini, selon Bagnouls et Gaussen (1953, 1957) comme celui ayant un total pluviométrique (moyenne en millimètres) égal ou inférieur au double de la température ($P \leq 2T$). Ainsi, on constate que la saison sèche s'étale sur plusieurs mois secs consécutifs.

Le diagramme de Gaussen permet de mettre en évidence une saison sèche qui s'étale sur tous les mois de l'année. Donc le bilan hydrologique dans notre région d'étude est déficitaire durant toute l'année.

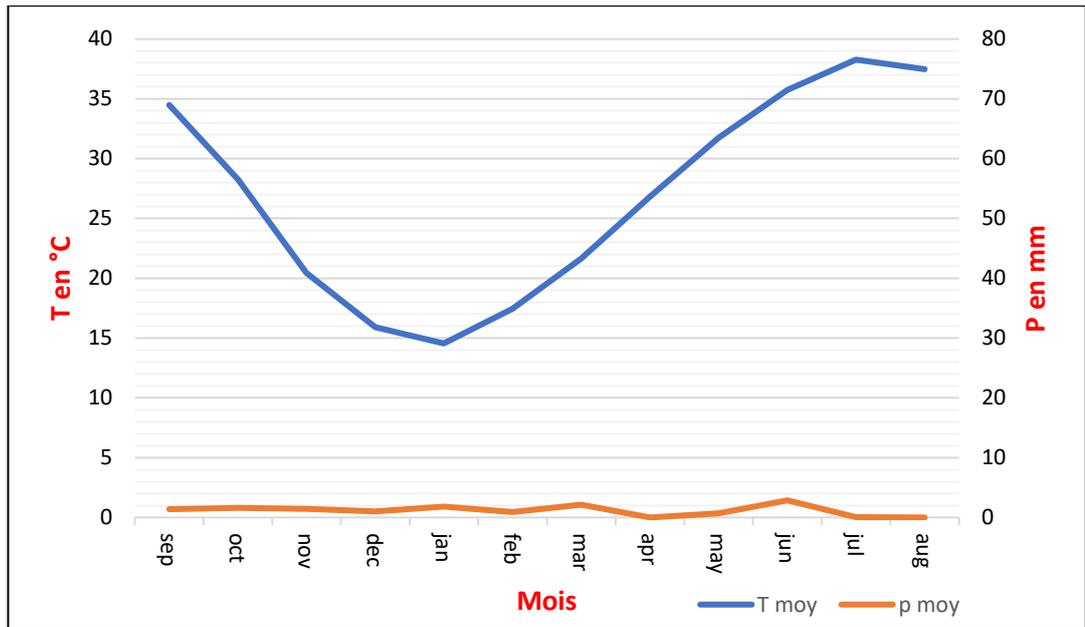


Figure I.6 : Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN

I.4.4. Le vent

Notre zone d'étude est l'une des régions les plus exposées au vent dans le Sahara algérien. Ces vents sont particulièrement violents. La figure représente les moyennes annuelles de la vitesse du vent enregistré durant la période 2008 à 2017.

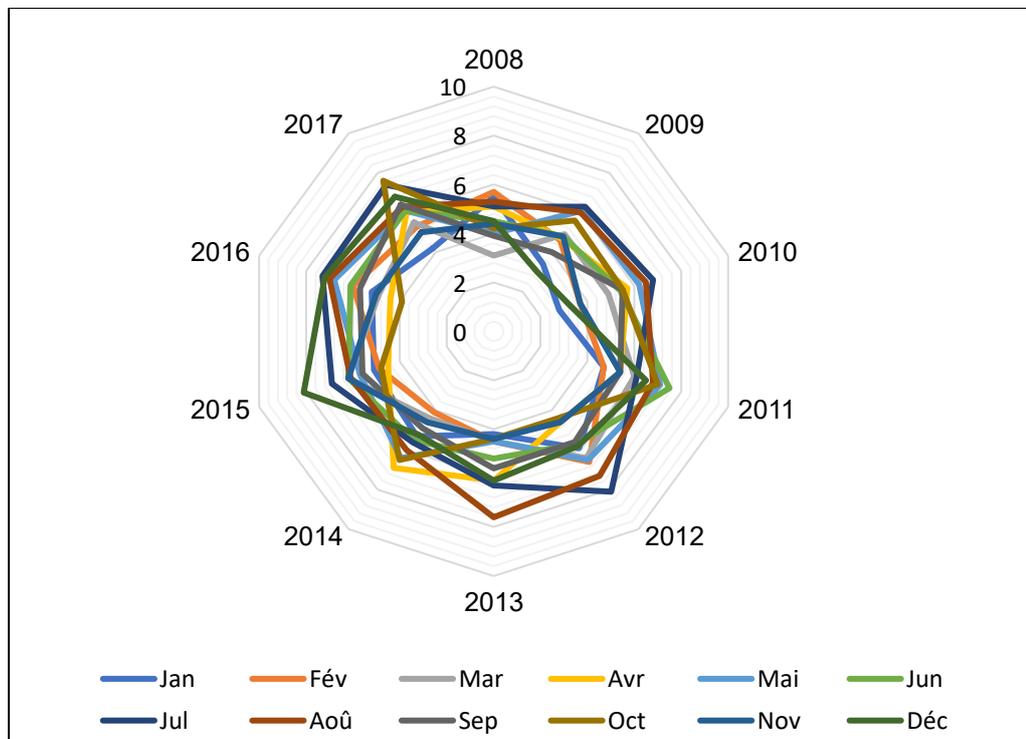


Figure I.7 : Vitesses moyennes annuelles de vent en m/s (2008-2017)

Nous remarquons que le vent est faible en 2008 par rapport aux autres années.

La figure représente les moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistré durant la période 2008 à 2017.

Tableau I.4 : la vitesse moyennes mensuelle des vents (2008-2017).

Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû
5.26	5.39	4.81	5.65	4.63	5.01	5.08	5.34	5.94	5.7	6.59	6.49

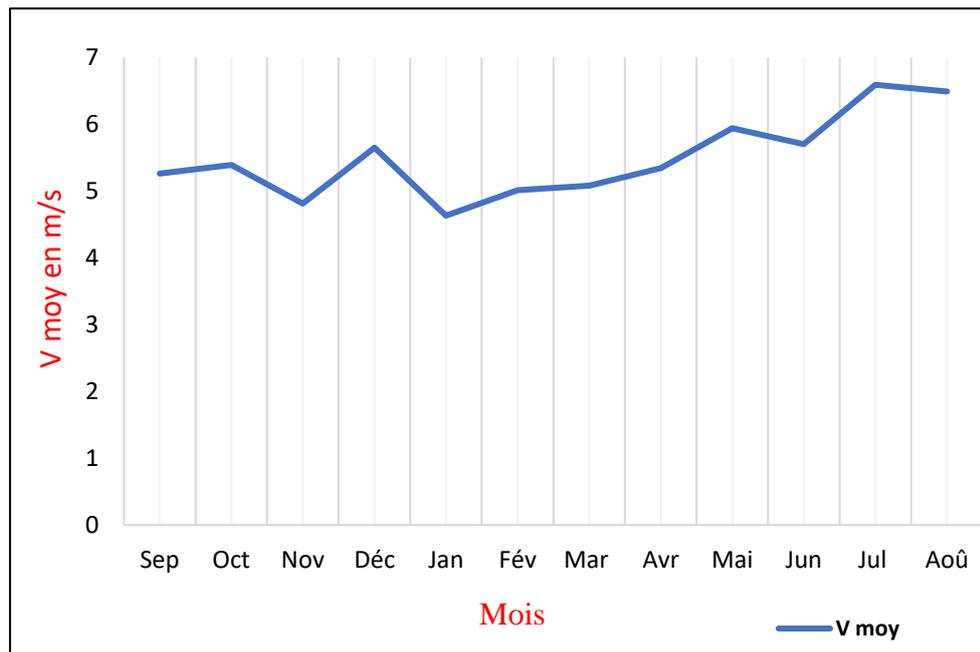


Figure I.8 : Vitesses moyennes mensuelle de vent en m/s (2008-2017)

En peut dire que la vites du vent augmente dans le période de (jun, jul, aou) en été.

I.4.5. L'ensoleillement

C'est la période durant laquelle le soleil a brillé sur le sol, notons qu'il existe deux expressions de l'insolation

Tableau I.5 : Moyennes mensuelles d'ensoleillement en heure /jour (2008-2017).

Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû
11.34	11.78	11.13	11.06	11.37	10.7	11.8	12.35	13.18	13.18	14.43	13.92

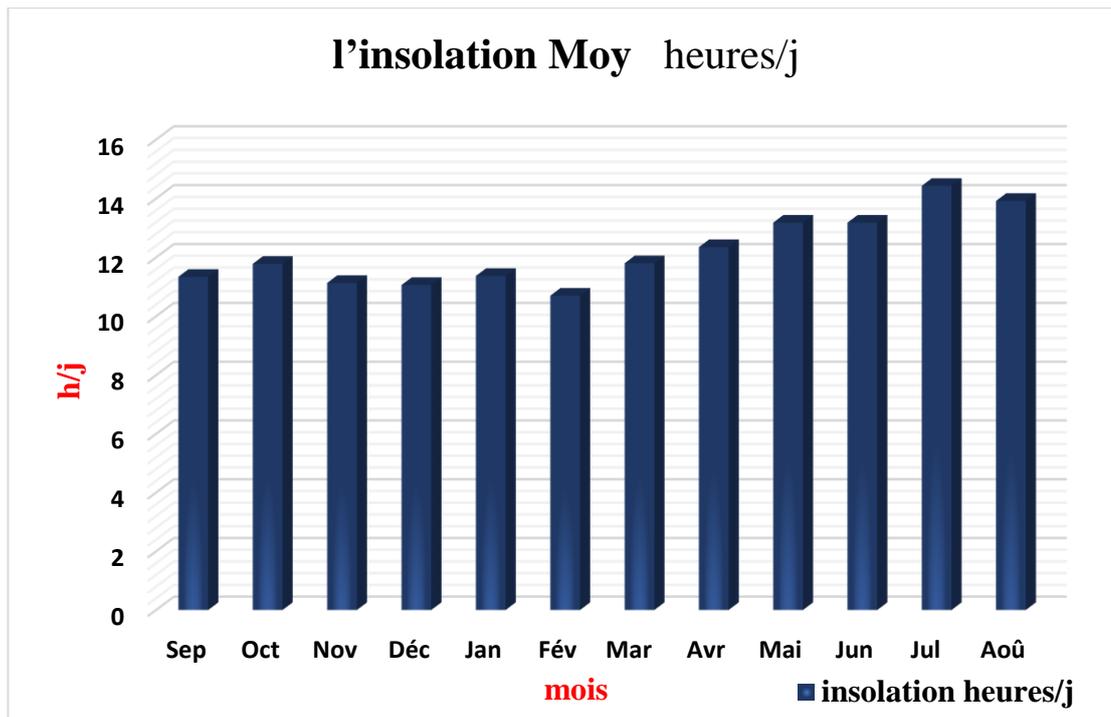


Figure I.9 : Moyennes mensuelles d'enseillement en heure /jour (2008-2017).

D'après le graphe (figure I.9), l'insolation journalière est supérieure à 10 h/j pendant toute l'année. Ces valeurs montrent une augmentation de l'insolation de 10.7 h/j au mois de février jusqu'à 13.18 h/j au mois de Juillet.

L'insolation est faible pendant les mois froids et, forte durant les mois chauds. L'insolation est importante dans la région de In Salah puisqu'elle excède 10.5 heures par jour pendant plus de 10 mois de l'année.

I.4.6. Humidité

La moyenne annuelle de l'humidité dans la région de In Salah ne dépasse guère 33.83 %. Les moyennes mensuelles de l'humidité sont au-dessous de la médiane (50 %).

Tableau I.6 : moyenne annuelle de l'humidité relative de l'air en % (2008-2017).

Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû
17.53	23.08	28.24	33.83	32.02	24.61	20.6	16.03	14.32	12.7	11.3	13.21

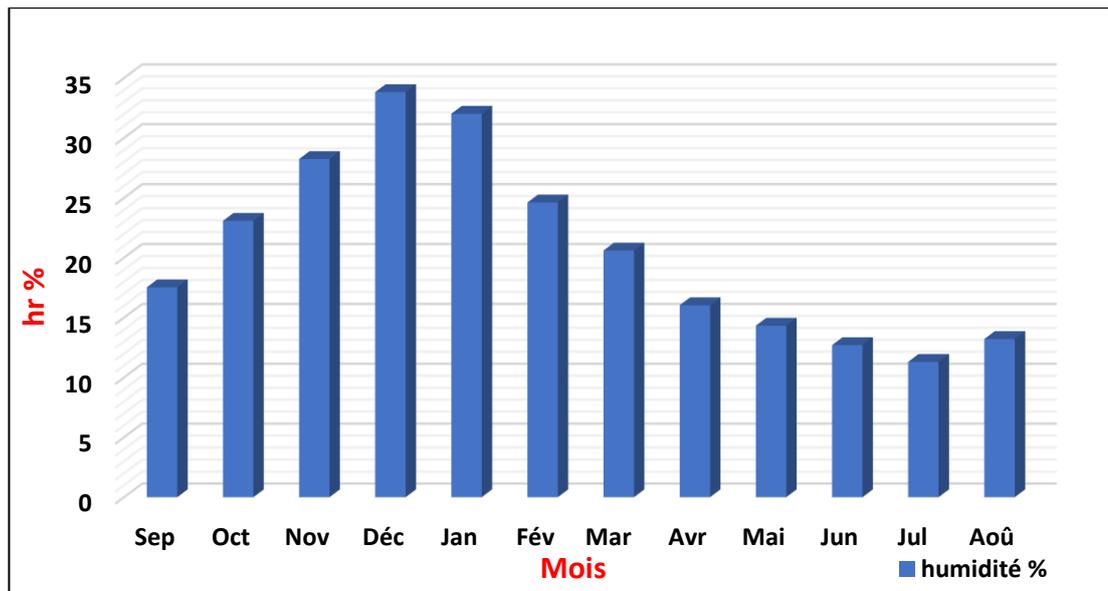


Figure I.10 : moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air en %.

Les fortes valeurs de l'humidité sont enregistrées durant la saison d'hiver et la valeur maximale moyenne enregistrée est celle du mois de décembre qui est de l'ordre de 33.83%.

Les faibles valeurs caractérisant la saison la plus chaude où l'on trouve que l'humidité relative de l'air ne dépasse pas les 25 % et la valeur minimale moyenne est celle du mois de juillet qui est de l'ordre de 11.3 %.

I.4.7. Détermination des indices climatiques

I.4.7.1. Indice d'aridité de De Martonne

Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes mensuelles en (mm) et La température annuelle en (°C), en appliquant la formule suivante :

$$\text{Avec : } I = P / (T^{\circ} + 10)$$

I : Indice d'aridité.

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

$$\text{On a : } I = 1.17 / (19 + 10) = 0.04$$

Suivant les valeurs de (I), De Martonne a établi la classification suivante ;

$I < 5$Climat hyper –aride

$5 < I < 7.5$Climat désertique

$7.5 < I < 10$Climat steppique

$10 < I < 20$Climat semi-aride

$20 < I < 30$Climat tempéré

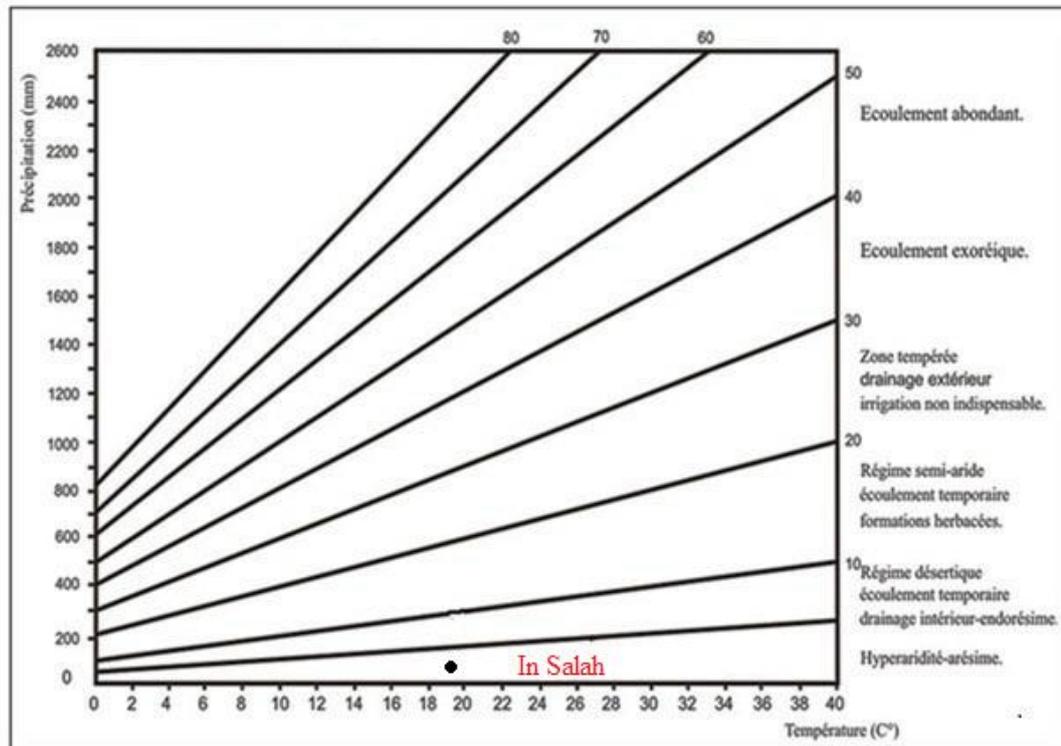


Figure I.11 : Abaque de l'Indice d'aridité annuel De MARTONE

I.4.7.2. Climagramme d'Emberger

Pour déterminer les climats, L. Emberger a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique Q2, qui dépend des précipitations moyennes annuelles et des moyennes de températures minima et maxima, respectivement du mois le plus froid et le plus chaud qui permet de positionner une station sur un diagramme, il propose donc la formule suivante :

$$Q^2 = \frac{P}{\frac{(M + m)}{2} (M - m)} \times 1000$$

Avec ;

P : Précipitation moyenne annuelle (mm)

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud (en degré Kelvin)

m : moyenne des minima du mois le plus froid (en degré Kelvin)

p= 1.17 ,M= 27.06 ,m= 10.38

Q² = 0.24

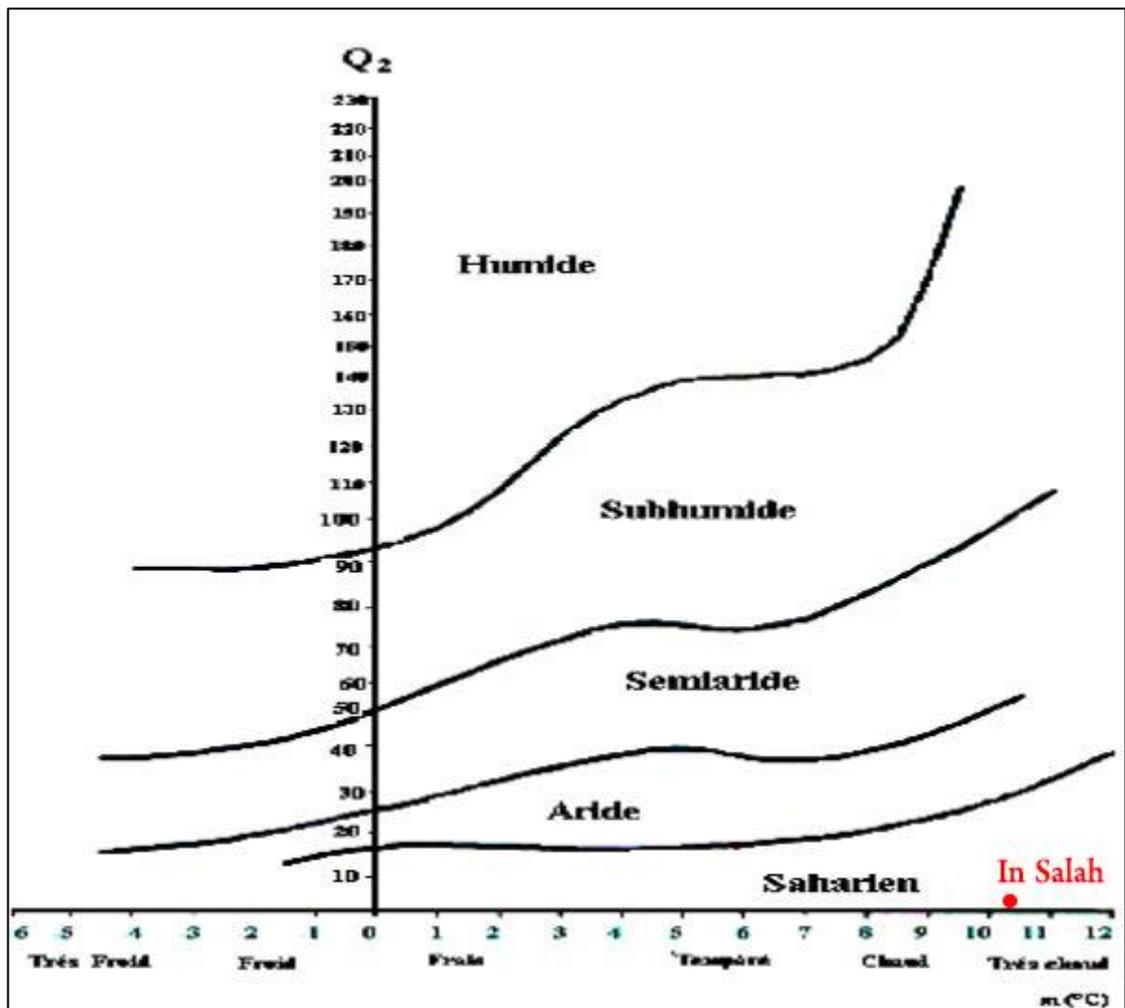


Figure I.12 : Position de la région d'In Salah dans le diagramme d'Emberger

Donc le secteur d'étude fait partie d'une grande zone allongée sensiblement, orientée SO-NE elle renferme trois traits morphologiques : Plateau de Tademaït, Reg, Sebka.

En fin nous pouvons dire que La région d'étude est caractérisée par un climat saharien de type hyper aride. Les précipitations annuelles sont très faibles, et La température moyenne mensuelle est trop élevée durant toute l'année, et elle est de 27°C. les vents sont particulièrement violents.

C*hapitre* **II**

Etude hydrogéologique,
Et
Hydrodynamique

II.1. Introduction

Le Sahara Septentrional renferme d'importantes réserves d'eaux souterraines, qui s'étendent d'Ouest en Est entre l'Algérie, la Tunisie et la Libye, est l'un des plus grands déserts au monde. La région d'étude est peu arrosée et très chaude. Résultat, les faibles précipitations s'évaporent immédiatement. Si l'eau est rare en surface, elle est en revanche présente en profondeur avec des grandes quantités.

Dans ce chapitre nous présentons d'abord les caractéristiques générales du Système Aquifère du Sahara Septentrional et nous traiterons les caractéristiques hydrogéologiques et hydrodynamiques des aquifères suscitées en fonction des données disponibles.

II.2. Contexte géologique du site

La zone d'étude est intégrée dans l'ensemble de la plateforme saharienne, Cette dernière est relativement stable (peu déformée) et caractérisée par la présence de terrains primaires qui sont affectée par des plissements, ils sont surmontés par les séries du continental intercalaire (crétacé inférieure) et se terminent par des formations du tertiaire continental.

La couverture de la plateforme saharienne est constituée par des formations d'âge Protérozoïque supérieur ou l'Infracambrien, surmontées par le paléozoïque et le mésozoïque.

La zone est située au Nord du bassin d'Ahnet, ce dernier s'est formé pendant le Silurien, mais son évolution s'est transformée en un élément tectonique indépendant, puis s'est poursuivie jusqu'à la fin du Paléozoïque où cette dépression a été bien structurée et individualisée.

Il existe une importante érosion des séries paléozoïque qui se trouvaient dans une position haute. La discordance hercynienne matérialise cette surface d'érosion et sépare ainsi les séries paléozoïques de séries mésozoïques.

Sur la majeure partie du bassin d'Ahnet, la couverture sédimentaire est représentée par les séries paléozoïques. La sédimentation essentiellement détritique est liée à des environnements très variés (continentale, glaciaire, marin et marin littoral).

Au mésozoïque (crétacé supérieur), elle est surtout continentale et marine (ANRH, 2007).

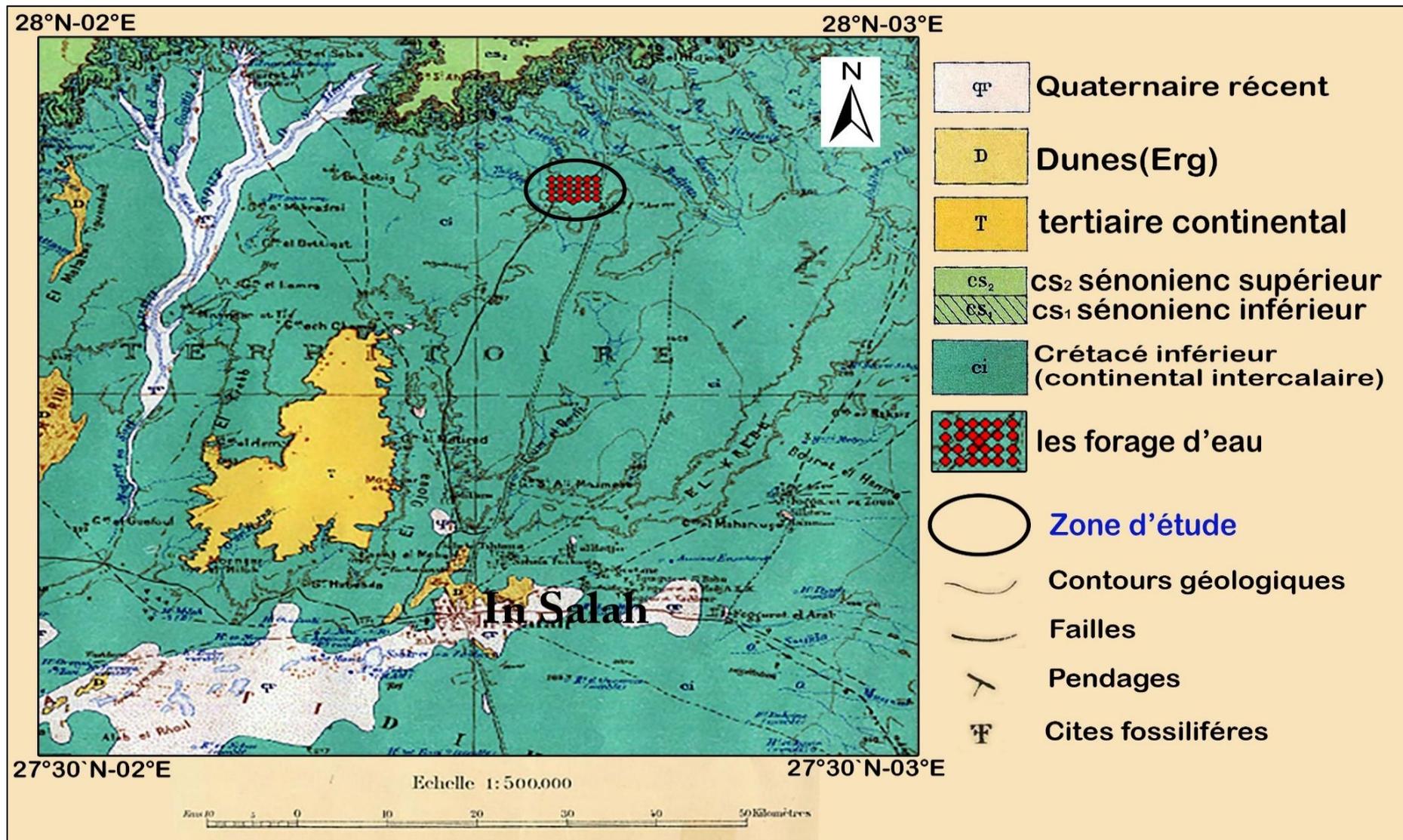


Figure II.1 : Carte géologie de la région de In Salah (ANRH, 2007).

II.3. Contexte hydrogéologique

Notre zone d'étude fait partie d'un grand ensemble hydrogéologique qui a été étudié par ; CORNET(1961), BURGEAP(1963) et GEOPETROLE(1964), ERESS(1972) et OSS(1999). Système aquifère multi couche défini par le terme SASS.

II.4. Définition du système aquifère SASS

Le terme SASS indique toutes les couches aquifères regroupées sous le nom du Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS ». Il s'étend sur une vaste zone, dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye (figure II.2.), deux grands réservoirs ont été distingués dans ce système : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

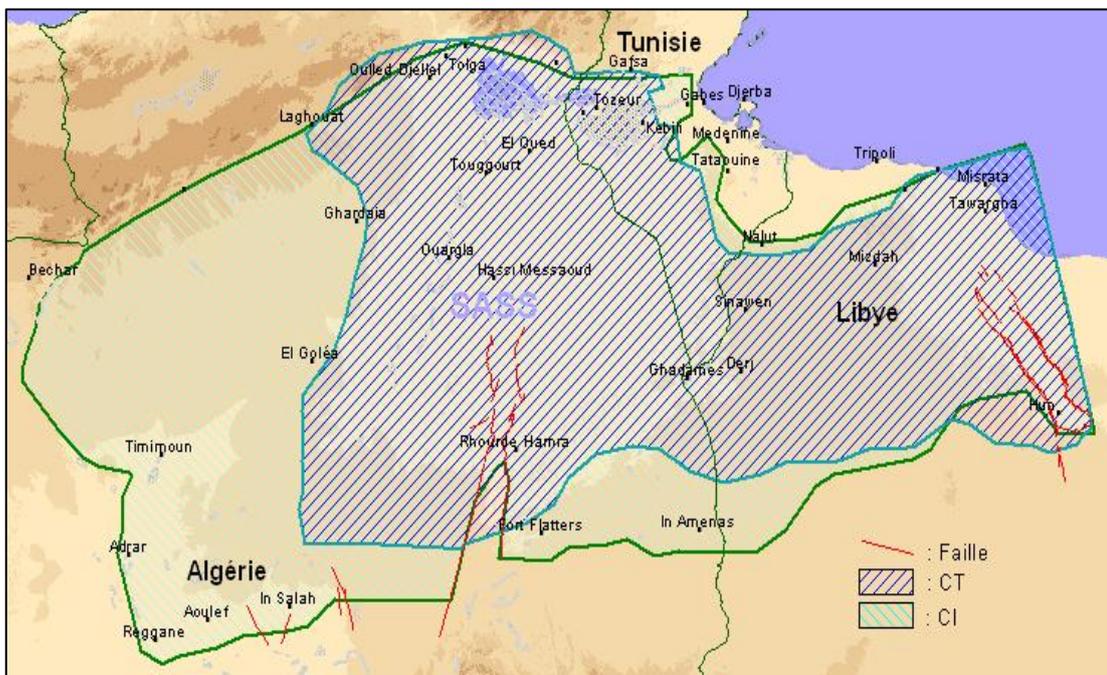


Figure II.2 : Limites du domaine SASS. (OSS, 2003)

Le domaine du SASS couvre une superficie d'environ 1.000.000 de km² et s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements du Tidikelt et du rebord méridional du Tinrhert, et d'Ouest en Est depuis la vallée du Guir-Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye. Ce bassin se subdivise en trois sous-entités : les deux sous bassins du Grand Erg Occidental et du Grand Erg Oriental qui sont des cuvettes à écoulement endoréique aboutissant dans des dépressions fermées « chotts et sebkhas », et le plateau de la Hamada El Hamra. (OSS, 2003).

II.4.1. Le Complexe Terminal (CT)

Il est noté dans l'étude OSS (2003) que classiquement, et selon la définition de KILIAN (1931), le terme « Continental terminal » désignait les formations continentales, sableuses et argileuses du Moi pliocène. Mais d'après BEL et DEMARGNE (1966) : « La nappe du Continental Terminal contenue dans les sables du Moi pliocène est plus ou moins en relation avec les nappes de l'Eocène, du Sénonien et du Turonien, de sorte qu'à l'échelle de l'ensemble du Sahara, on peut considérer que ces différents niveaux forment une seule et même nappe, la nappe du Continental Terminal, par opposition au Continental Intercalaire ».

C'est avec le projet ERESS que l'on verra apparaître la notion de « Complexe Terminal », appellation publiée pour la première fois par BEL et CUCHE (1969): ce terme de « nappe du Complexe Terminal » qui groupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes, a été retenu car ces nappes font bien partie d'un même ensemble hydraulique. (BUSSON, 1970)

II.4.2. Le Continental Intercalaire (CI)

Le terme du « Continental intercalaire » désigne d'après son auteur (C. Kilian, 1931), un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins :

- à la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne,
- au sommet, le cycle du Crétacé supérieur.

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins (l'Algérie, la Tunisie et la Libye). La partie Algérienne du Continentale Intercalaire couvre 600000 km². Elle stock un volume d'eau considérable, estimé à 3.5x 9 10 milliards m³ environ. Cette nappe est plus connue sous la dénomination d'«Albien». Le terme Continental Intercalaire, par contre désigner l'ensemble des couches détritiques qui se sont déposées au Mésozoïque inférieur au Sahara entre deux cycles marins, c'est le plus puissant aquifère du Sahara (250 -1000 m épaisseur). (OSS, 2003)

II.4.2.1. Géométrie du Continental Intercalaire

L'épaisseur utile totale de ce réservoir (épaisseur des dépôts perméables à eau douce) dépasse 250 m dans la plus grande partie du système étudié. Elle atteint 1000 m au Nord-Ouest (Ouest de Ghardaïa) et au Centre (Ouest de la dorsale primaire d'Amguid). Elle tombe à une centaine de mètres au Nord, dans le secteur du Chott EL Gharsa, localement sous le Grand Erg Oriental (Ouest d'El Borma), et en Libye sous J. Nefusa.

La nappe du "CI" est libre dans les zones d'affleurement, captive non jaillissante sous le Grand Erg Occidental, le M'Zab, le Tademaït, le Grand Sud Tunisien et la Hamada El Hamra ; fortement artésienne jaillissante (avec des températures élevées) sur tout le domaine Oued Rhir, Souf, Djérid, Grand Erg Oriental et Chott Fedjaj. (A.Bellaoueur, 2008).

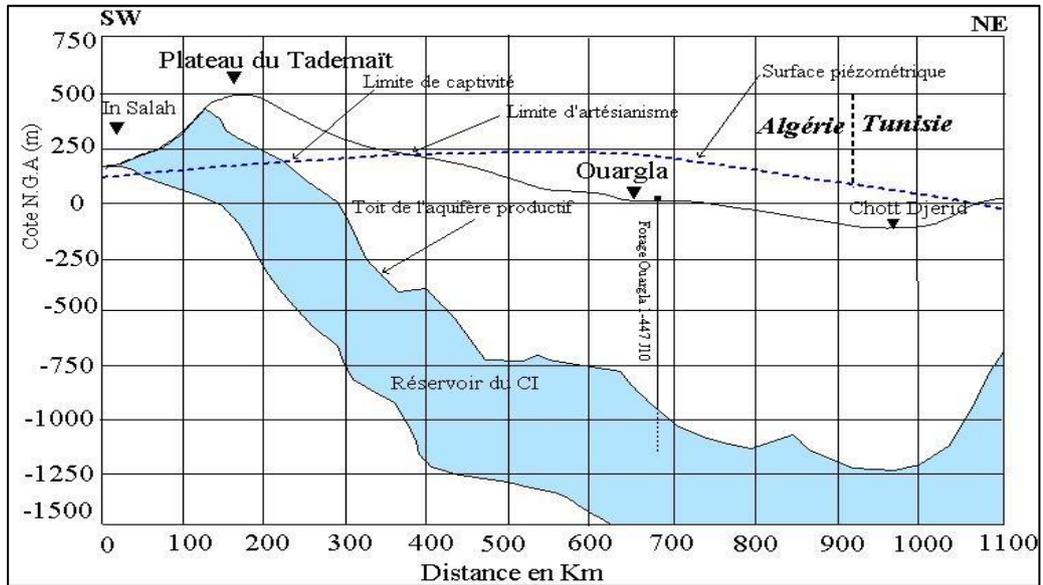


Figure II.3 : Coupe hydrogéologique transversale du "CI" (UNESCO, 1972).

II.4.2.2. Limites du continental intercalaire

Les limites du CI ont été déterminées, à la fois, par l'étude des affleurements géologiques et les sondages, se sont (OSS, 2003) ; l'Atlas saharien au Nord, les massifs paléozoïques de l'Ougarta à l'Ouest et des Tassilis au Sud, allant en continuité d'Adrar à Hun en Lybie, les affleurements sur le Djebel Nefussa et le Dahar au Nord-Est. , au Nord, l'accident sud Atlasique au Nord des Chotts, relayé vers le golfe de Gabès par la faille d'EL Hamma — Médenine, et enfin à l'Est, au niveau du méridien 160 qui a été adopté comme limite de la zone, et qui correspond en fait, au passage des eaux douces aux eaux saumâtres dans le bassin de Syrte (OSS, 2003).

A l'Est de In Salah et jusqu'à la Dorsale d'Amguid où le CI est absent, il s'agit d'une limite à flux nul. Dans le Tinrhert, les apports par les affleurements de l'Adrar Ben Drich, sur une longueur d'environ 400 km à cheval sur la frontière, sont représentés et déduits à partir de conditions de potentiels imposés dont les valeurs sont tirées de la carte piézométrique. Plus à l'Est et jusqu'au graben de Hun (OULD BABA SY, 2005). Le CI se termine par une limite imperméable, sachant que dans une grande partie de cette région, le contact avec l'aquifère des grès du Cambro-Ordovicien va déterminer d'importants échanges verticaux.

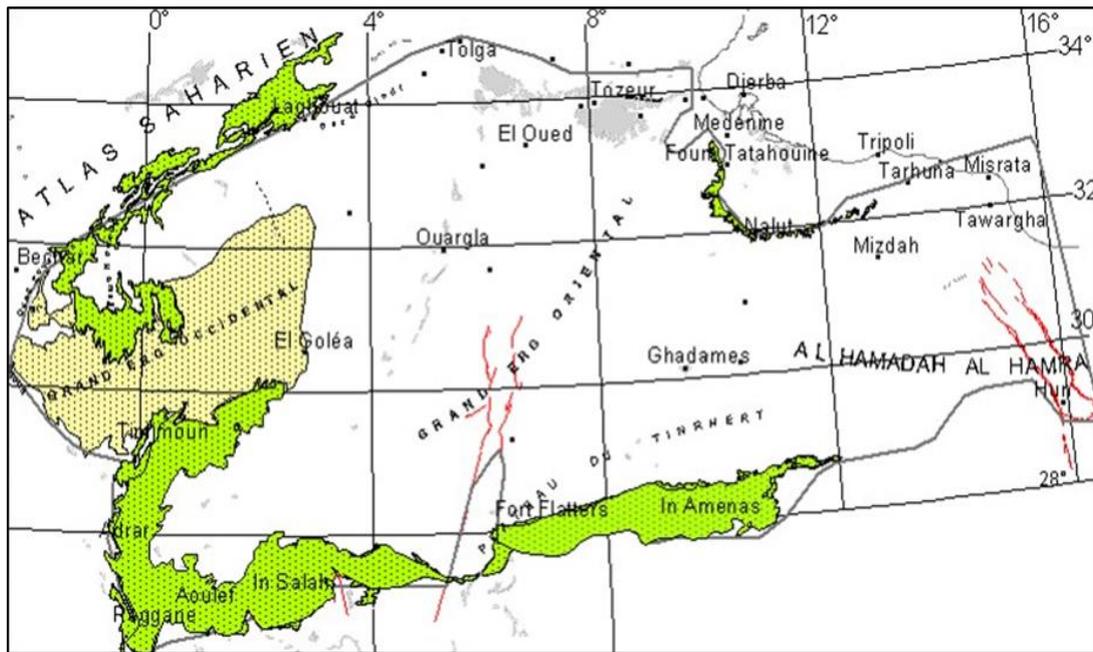


Figure II.4 : Les zones d'affleurement du Continental Intercalaire (OSS, 2012).

II.4.2.3. Piézométrie du continental intercalaire

Pour élaborer la carte piézométrique du "CI", les données publiées dans les études précédentes (ex : ERESS,1972), ont été mises à contribution. Nous utiliserons la carte piézométrique du "CI", élaborée dans le cadre du projet SASS (OSS, 2003a et b).

Cette carte définit l'écoulement de la nappe à l'état « naturel », peu ou pas influencé par pompage.

L'examen de cette carte met en évidence les zones d'alimentation, indiquées par les directions d'écoulement.

Il s'agit :

- * Du piémont sud atlasique au Nord et Nord-Ouest ;
- * Du Tinrhert au Sud ;
- * Du Dahar à l'Est.

L'essentiel des réserves de cet énorme réservoir correspond à de l'eau infiltrée au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire. Toutefois, une recharge actuelle, estimée globalement à 400 hm³/an, s'effectue :

- De façon directe par infiltration des ruissellements qui se produisent sur les zones périphériques d'affleurements, notamment aux piedmonts de l'Atlas Saharien (au Nord-Ouest), dans le massif du Dahar (Tunisie), éventuellement sur les rebords

ouest (Touat et Gourara) et au Sud du plateau du Tademaït (Tidikelt), ainsi que sur le rebord sud du plateau du Tinhert et sa prolongation en Libye ;

- De façon indirecte dans le Grand Erg Occidental à travers les sables dunaires et du Complexe Terminal, dans la région où il n'existe pas de separation imperméable entre les deux réservoirs, ainsi que par apport latéral ou drainance en provenance du puissant aquifère paléozoïque dans la partie libyenne du réservoir. (A.Bellaoueur, 2008).

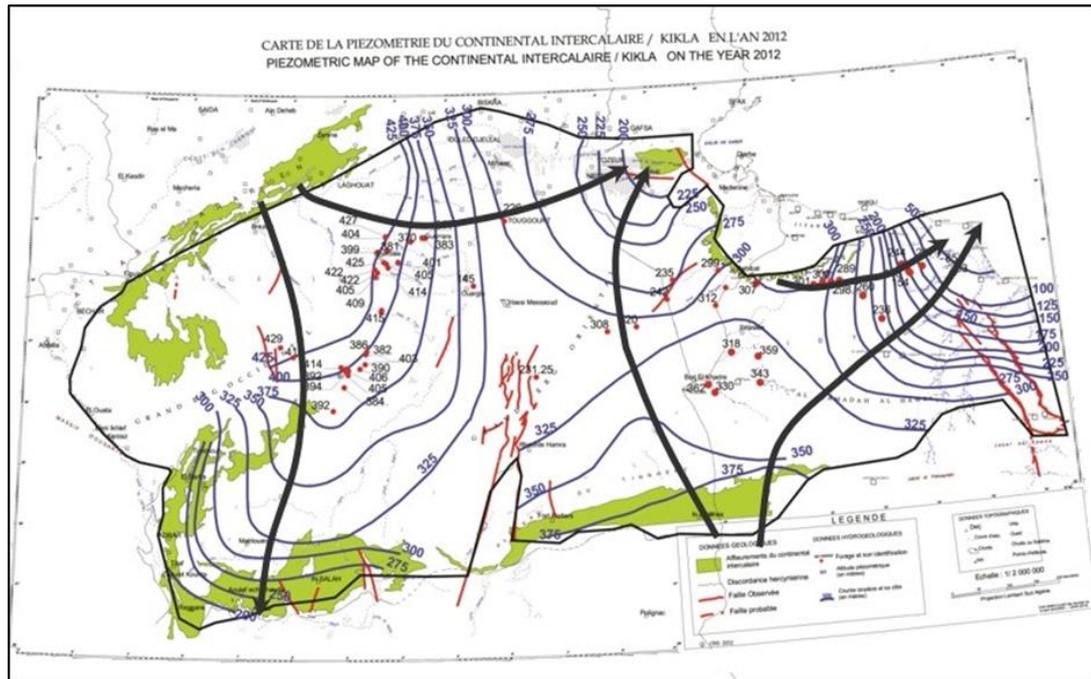


Figure II.5 : Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2012).

II.4.2.4. Alimentation du continental intercalaire

Le Continental Intercalaire s'est chargé au cours de ces périodes pluviales. Actuellement, il reçoit une faible recharge, surtout à partir du piémont de l'Atlas saharien (figure II.5) : la quantité d'eau tombant annuellement sur les affleurements du Crétacé inférieur continental est estimée à 2,5 milliards m³/an. Mais, il est difficile d'appliquer à ces formations un coefficient d'infiltration, les conditions climatiques (hauteur de pluies faibles et évaporation intense), étant très différentes de celles des régions où ces coefficients ont pu être expérimentés. Le volume d'eau emmagasiné dans le CI, évalué à 50 000 milliard m³ correspondant, en théorie, à un débit fictif continu de 1000 m³/s pendant 2000 ans. (HADJ FATEH L. et ROUAS D., 2013).

Le tableau II.1 ci-dessous récapitule les estimations du débit d'alimentation de la nappe du CI provenant du piémont de l'Atlas saharien. Elles sont établies entre 4 et 8 m³/s.

Tableau II.1 : Caractéristiques du système aquifère du Sahara septentrional.
(OSS,2003)

SASS	Superficie	1.000.000 km ²
	Réserves théorique	20.000 Milliard de m ³
	Recharge théorique	1 Milliard de m ³ /an
	Complexe Terminal	Recharge : 600 Mm ³ /an Toit/Sol* : 100 à 400 m Salinité : 2 à 5 g/L
	Continental Intercalaire	Recharge : 300 Mm ³ /an Toit/Sol* : 50 à 2300 m > 800m sur 60% du réservoir Epaisseur utile : 50-1000m Salinité : 1 à 4,5 g/L Température: 25°C à 70°C.

II.4.2.5. Réserve et exploitation du continental intercalaire

L'exploitation du "CI" s'est d'abord effectuée, depuis de longs siècles, par le système traditionnel des foggaras, introduit sur les rebords occidentaux et méridionaux du Tademaït dès le vingtième siècle. Leur débit total, connu au travers des campagnes de mesures effectuées en 1932, 1950 et 1960, est resté invariable jusqu'aux années 1970, il est de l'ordre de 3,6 m³ /s.

Les premiers forages artésiens ont été d'autre part réalisés vers la fin du siècle dernier (El Golea et Aïn Salah), mais leur débit est resté faible (250-300 l/s) jusqu'aux années 1950. La réalisation des premiers grands forages (Zelfana, Guerrara, Ouargla et O. Rhir) a ensuite rapidement porté le débit exhauré à 3 m³/s (1970).

Actuellement, le débit total exploité (Algérie et Tunisie) au travers de quelques 1 200 forages, atteint 19 m³/s, soit 600 hm³ /an.

L'artésianisme a régressé dans les régions fortement exploitées (10 à 50 m de baisse entre 1950 et l'actuel, peut-être jusqu'à 100 m à Touggourt) mais reste important dans tout le secteur central du bassin, où il dépasse 150 m, et atteint encore 200 m localement (BRL, 1999).

La simulation Zéro du SASS (figure II.6), basée sur la poursuite des prélèvements actuels, sans aucune augmentation, indique que les rabattements augmenteront d'une cinquantaine de mètres en 2050 à Ouargla par rapport à l'état en 2000. Ces rabattements supplémentaires produiront une diminution des débits artésiens de l'ordre de 25 % sur les forages existants.(OSS,2003).

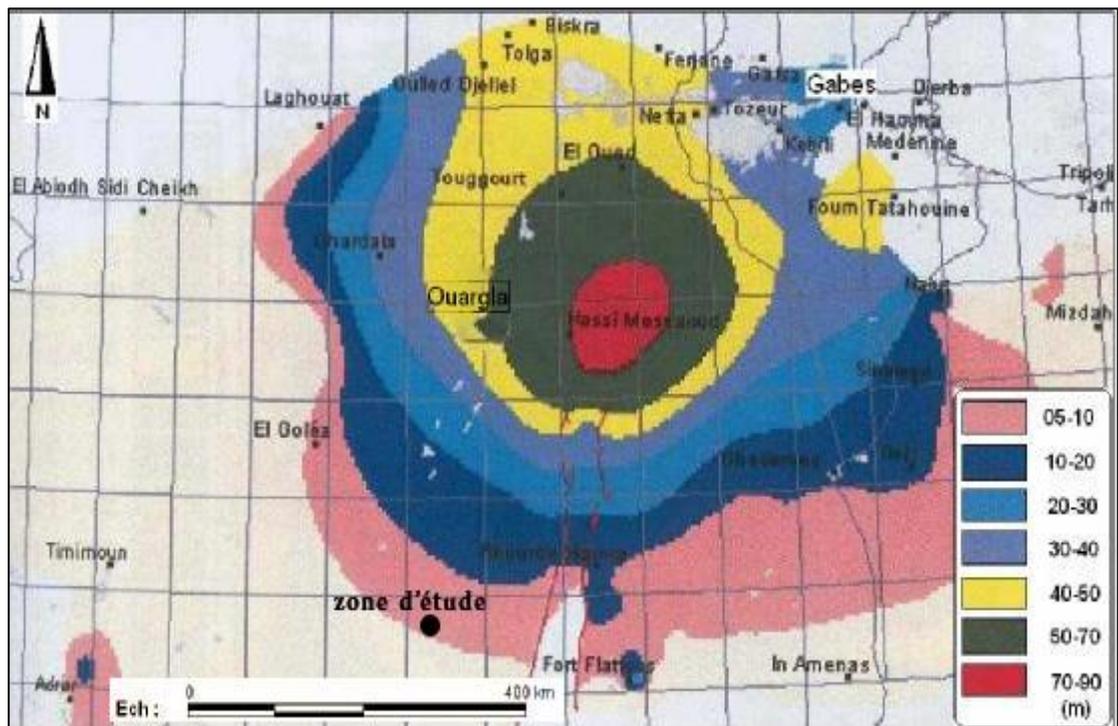


Figure II.6 : Carte de simulation des Rabattements 2000-2050 au "CP". (OSS, 2003).

II.5. Le système aquifère au site du champ de captage

La région d'étude fait partie du sous bassin hydrogéologique occidental du continental intercalaire qui est séparé du bassin oriental suivant l'axe Ghardaïa – In Salah par la dorsale sur méridienne du Mzab,

La nappe d'eau dans la zone d'étude est contenue dans les formations continentales du continental Intercalaire.

Les coupes lithologiques des forages d'eaux et les forages pétroliers, montrent la répartition hétérogène dans l'espace et dans le temps des ces formations.

Au Sud-Ouest du périmètre d'étude dans les Forages (Djoua 103, 106 et 107) les formations débutèrent par des matériaux grossiers (alluvion) du quaternaire qui surmontent une épaisse couche de 305 m constituée de grès, argile, gravier et sable du crétaé inférieur.

Au Sud dans le Forage (FS11 « Bordj IS101 ») on remarque un changement de faciès, ainsi qu'une réduction de l'épaisseur, la formation dominante est le grès tendre et l'argile rouge sableuse (ANRH, 2007).

Vers le Sud-Est dans le Forage (IS 90 vers Tamanrasset) le pourcentage des matériaux fins devient plus important et l'argile rouge sableuse constitue la formation la plus dominante. (Voir coupes lithologiques des forages en annexe ; 2,3,4,5,6)

II.5.1. Implantation des forages dans champ de captage

Vingt-quatre forages repérés de A3 à F6 sont disposés selon une maille de 1'000 m (figure II.7), installations de pompage dans des forages profonds (600 m de profondeur) pour 50 000 m³/jour.

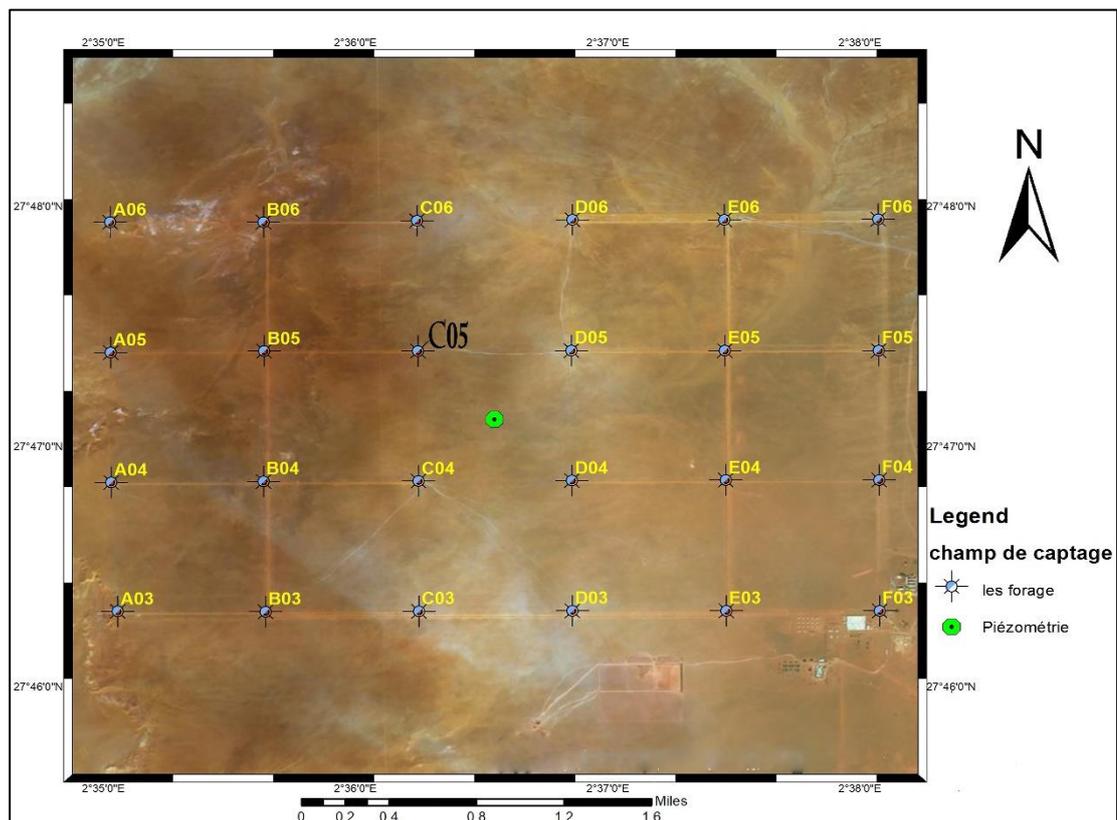


Figure II.7: Carte de situation géographique des forages.

II.5.2. Interprétation des coupes hydrogéologiques

A partir des log lithostratigraphiques des forages de reconnaissance, quatre coupes géologiques qui couvrent la zone d'étude ont été réalisées (figure II.8).

Ces coupes nous ont permis de déterminer la puissance des formations du continental intercalaire.

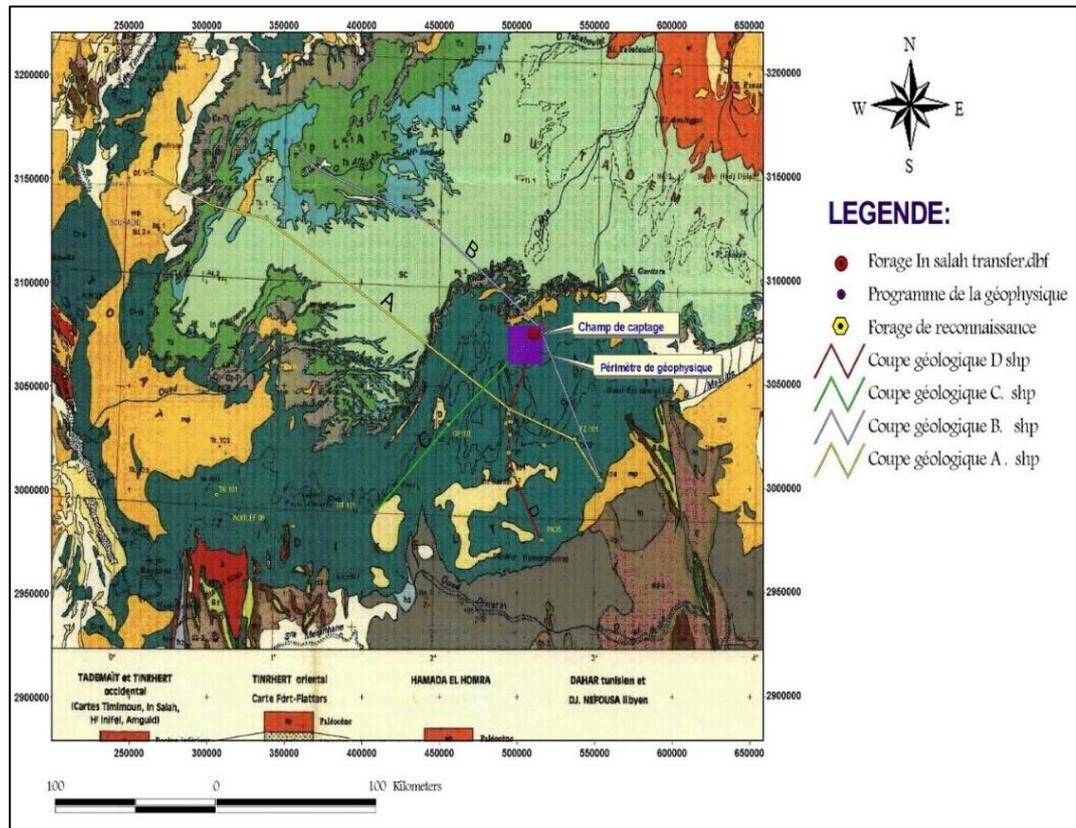


Figure II.8 : Carte de positionnement des coupes géologiques (ANRH, 2007).

II.5.2.1. Coupe géologique [A]

La coupe géologique "A" montre la variation de l'épaisseur de la formation du continental intercalaire du SE au NW, l'épaisseur du C.I varie entre 87m (Forage FZ104) et 354m (Forage Oufrane).

II.5.2.2. Coupe géologique [B]

La coupe géologique "B" qui traverse la zone d'étude montre la variation de l'épaisseur de la formation du C.I de SE au NW, l'épaisseur varie entre 87m (Forage FZ104) et 550m (Forage REG RE1).

II.5.2.3. Coupe géologique [C]

La coupe géologique "C" montre la variation de l'épaisseur de la formation du C.I de SW au NE, l'épaisseur varie entre 401m (Forage Tit 101) et 235m (Forage GF102).

II.5.2.4. Coupe géologique [D]

La coupe géologique "D" montre la variation de l'épaisseur de la formation du C.I de N au S. l'épaisseur varie entre 370m (forage test PK70) et 74m (Forage PK35).

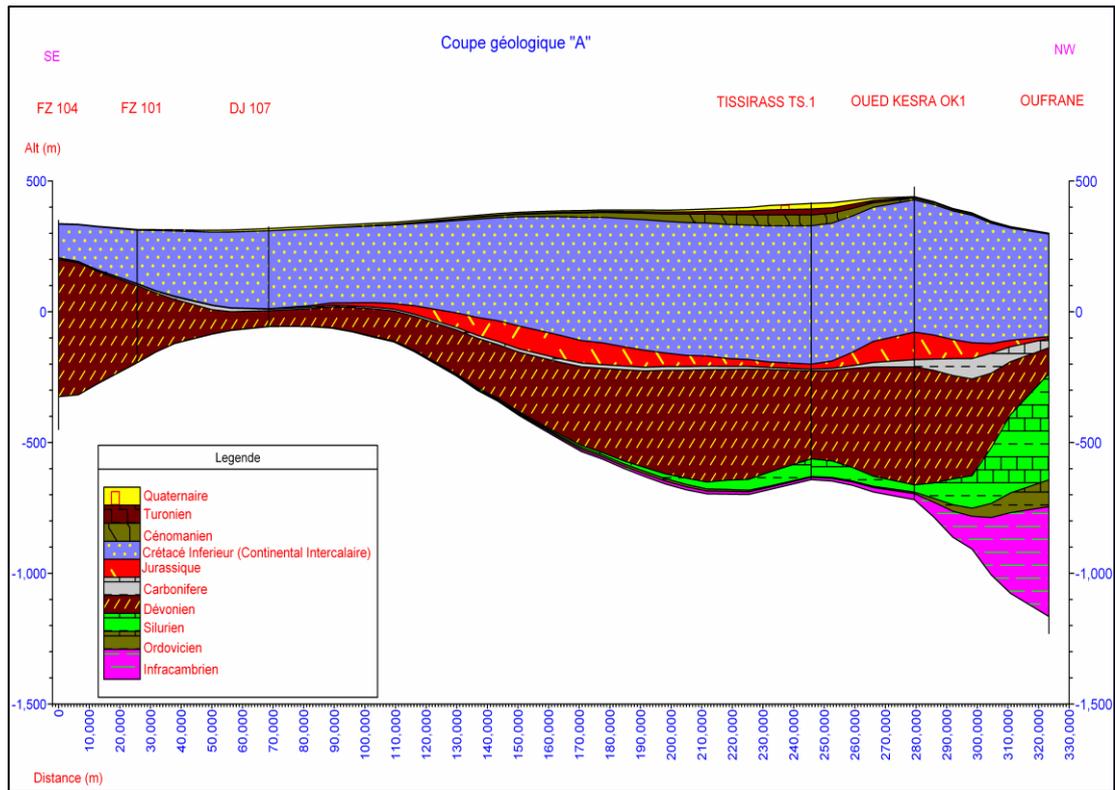


Figure II.9 : La coupe géologique « A » (ANRH, 2007).

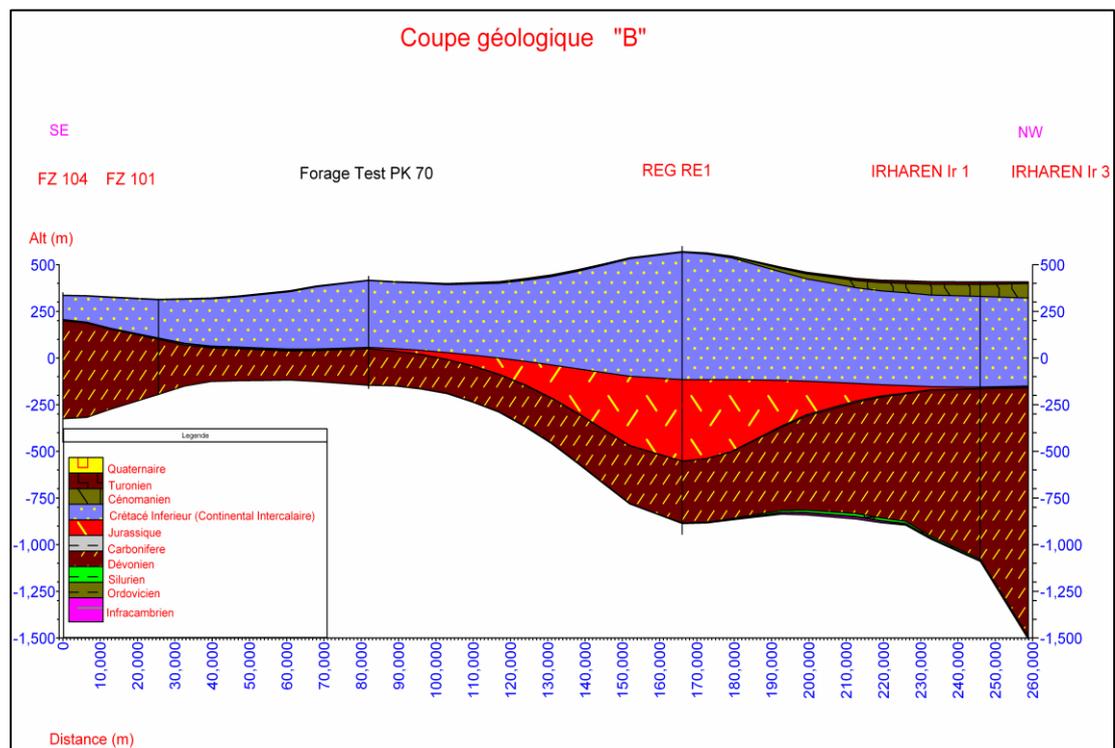


Figure II.10 : La coupe géologique « B » au travers de la zone d'étude (ANRH, 2007).

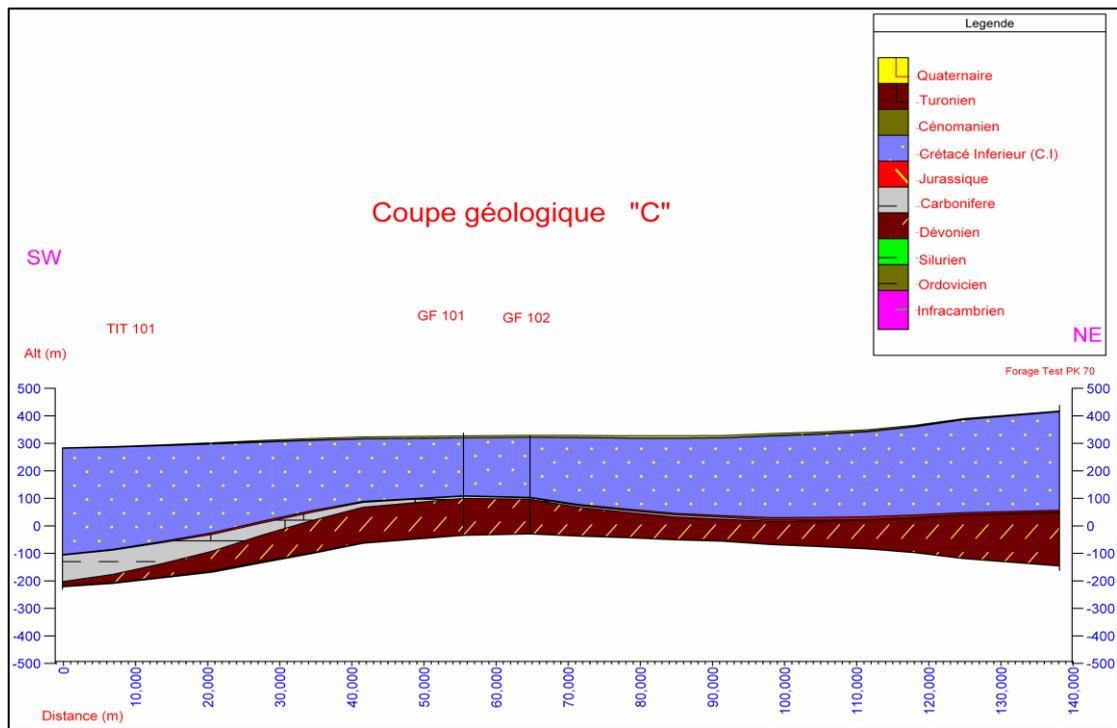


Figure II.11 : La coupe géologique « C » au travers de la zone d'étude (ANRH, 2007).

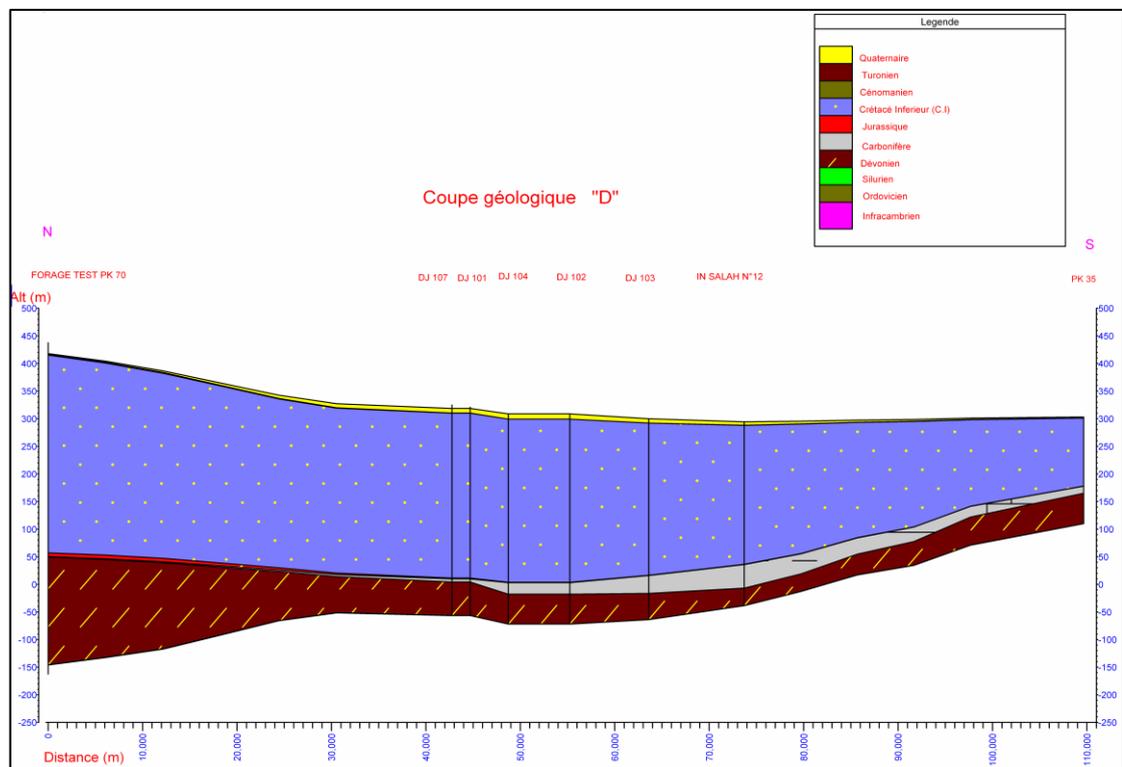


Figure II.12 : La coupe géologique « D » au travers de la zone d'étude (ANRH, 2007).

II.5.3. Caractéristiques du Forage Test PK 70

Le forage test est un forage d'exploration situé à 70 km au nord de la ville d'In Salah et à proximité du Piémont du plateau de Tademaït, possède les propriétés suivantes :

$$X : 2^{\circ} 38' 55'' \text{ E}, Y : 27^{\circ} 48' 42'' \text{ N}, Z : 437.7 \text{ m}$$

Les essais hydrauliques du forage test ont donné un niveau statique de la nappe NS= 117 m, et un niveau dynamique maximal de 136.59 m, soit un Rabattement maximal de : 19.59 m.

La coupe lithologique du forage montre que le forage a atteint le toit de la formation du primaire à la côte 375m (Argiles schisteuses violettes et grise qui peuvent être attribuées au carbonifère inférieur) (figure II.14).

II.5.4. Carte d'egale profondeur du CI

La carte isobathe du toit du substratum du primaire montre dans l'ensemble un prolongement du mur du réservoir utile du Sud vers le Nord (figure II.13), le pendage du toit du substratum relativement accentué à l'Ouest et au Sud.

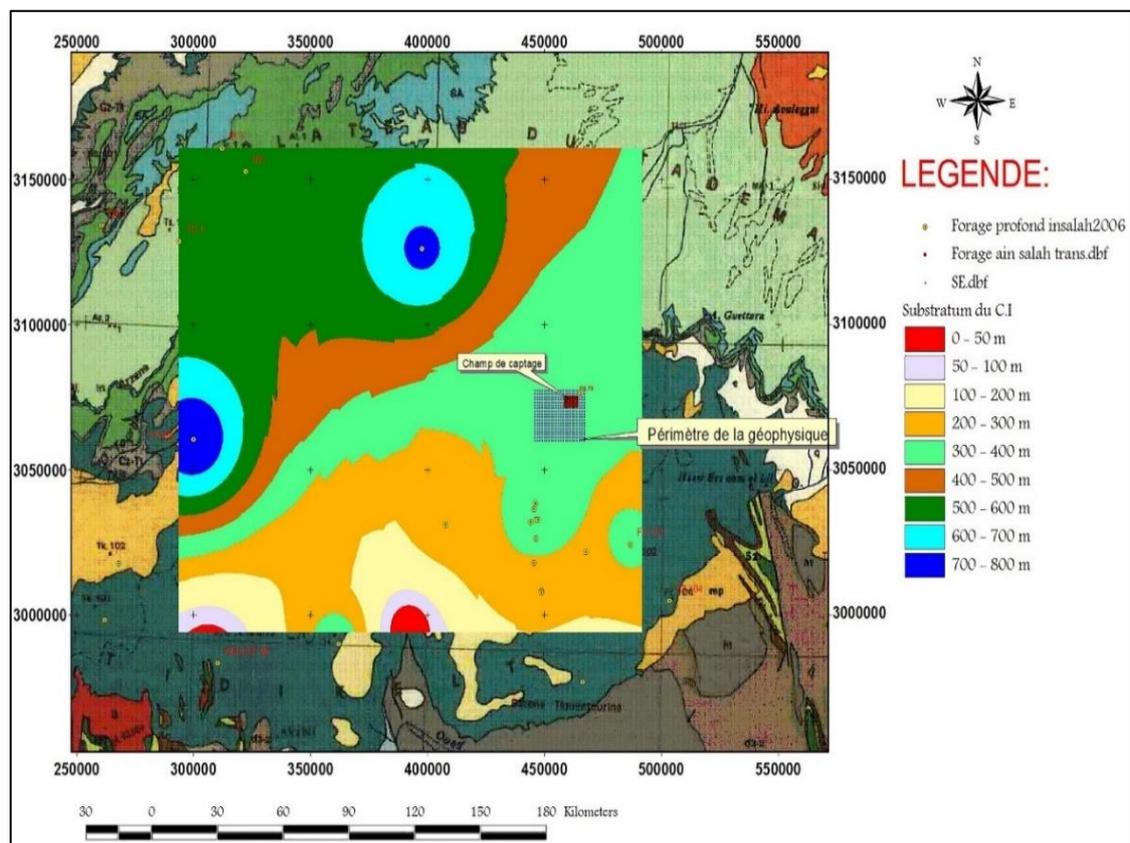


Figure II.13 : Carte de la variation de la profondeur du Continental Intercalaire.

(ANRH, 2007)

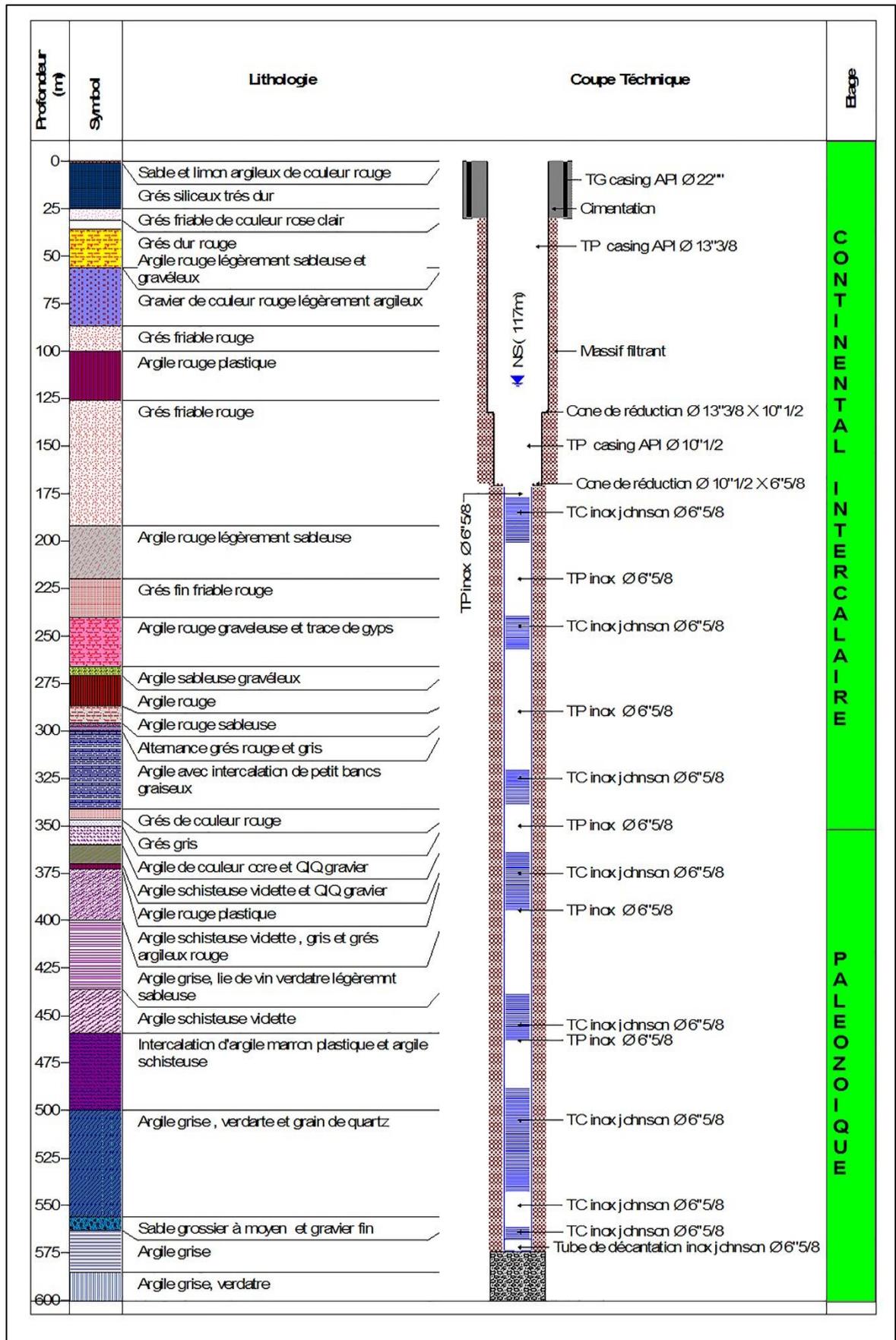


Figure II.14 : La coupe lithologique de forage test pk 70. (ANRH, 2007)

La profondeur maximum du toit des formations primaire se localise au Nord-Ouest et à l'Ouest du périmètre d'étude et qui atteint 700 à 800 m de profondeur, par contre les profondeurs minimums se localisent le long des affleurements de la formation carbonifère, elles oscillent entre 50 à 100 m.

La profondeur du substratum dans la zone d'étude est entre 300 et 400m.

II.5.5. Carte d'égal épaisseur du CI

La carte iso paque du continental intercalaire tracée à partir de 27 log de forages (figure II.15), montre la variation de l'épaisseur dans la région. L'épaisseur maximale se localise à l'Ouest d'In Salah et qui atteint 700 à 750m.

Dans la partie Sud de la région d'In Salah, l'épaisseur devient moins importante et ne dépasse guère les 50m.

L'épaisseur du continental intercalaire dans la zone d'étude est entre 300 à 400m.

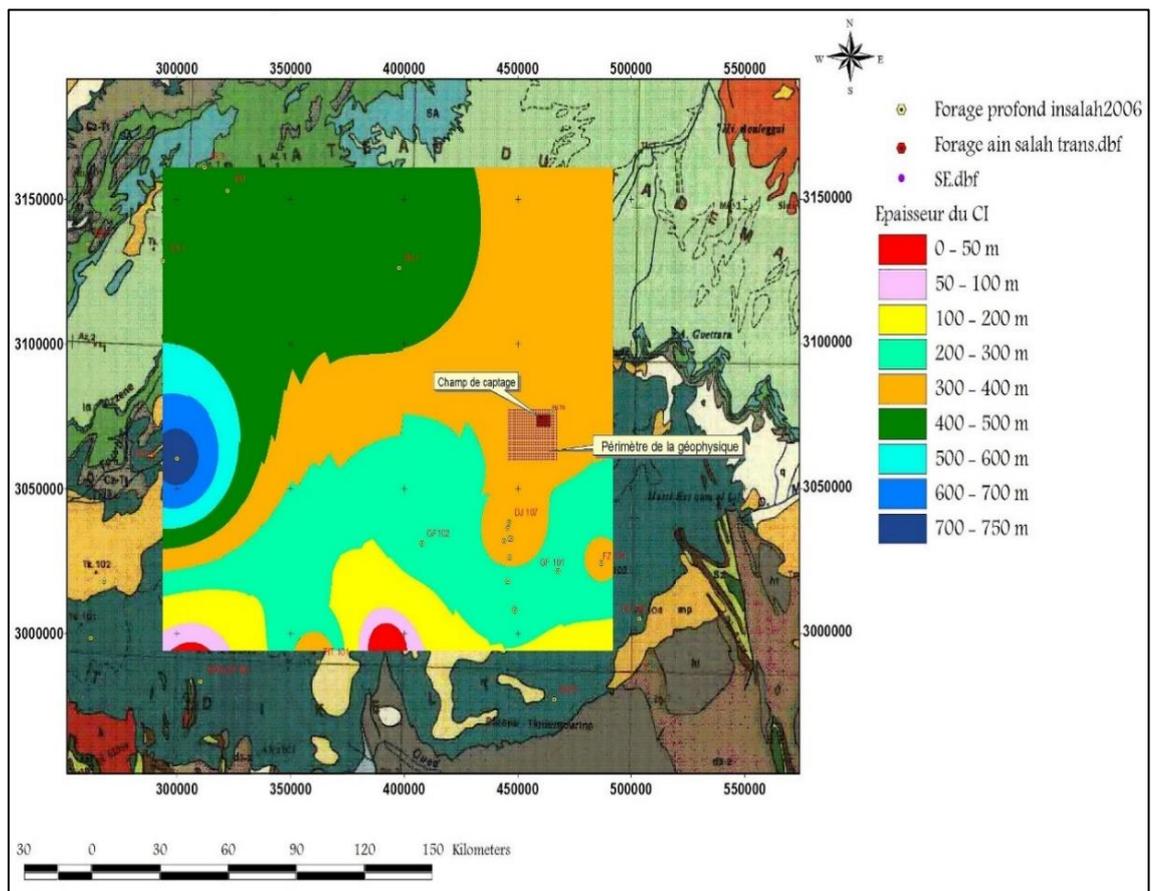


Figure II.15 : Carte de la variation de l'épaisseur du Continental Intercalaire, (ANRH, 2007).

II.5.6. Piézométrie du CI au site du champ de captage

La carte piézométrique est la synthèse essentielle de l'étude hydrogéologique et hydrodynamique. Elle schématise la morphologie de la surface piézométrique de la nappe et permet d'obtenir des informations importantes sur le sens d'écoulement des eaux souterraines et le comportement hydrodynamique de l'aquifère.

L'établissement de cette carte repose sur des mesures piézométriques à une période donnée.

Le traitement des données piézométriques de l'ANRH de l'année 2007 en utilisant le logiciel Surfer nous a aidés à tracer la carte piézométrique du champ de captage (figure II.16). Cette dernière montre que la piézométrie présente une baisse de l'ordre de 15 m vers le Sud. De ce fait l'écoulement de Nord vers le Sud (M. Madi,2017).

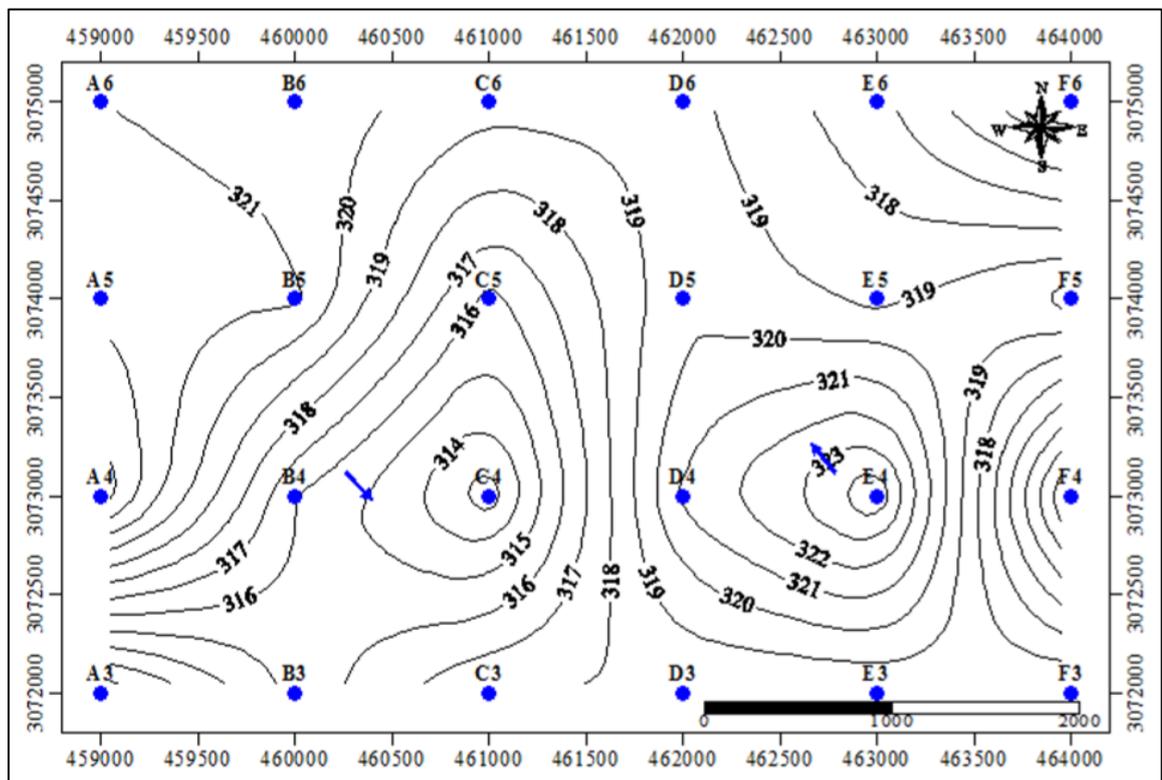


Figure II.16 : La carte de la piézométrie du champ de captage (M. Madi,2017).

La carte piézométrique de référence élaborée au cours du projet du SASS (2003 a et b) montre que les 24 ouvrages du champ de captage d'In Salah se trouvent entre les deux niveaux piézométriques 300 et 325 m.

II.6. Comportement hydrodynamique du CI au site du champ de captage

La détermination des différents paramètres hydrodynamiques est indispensable pour l'évaluation de la capacité du réservoir aquifère et l'étude du comportement général de la nappe vis-à-vis de l'exploitation.

Dans la présente étude, nous allons interpréter les résultats des deux pompages d'essais (par palier et longue durée), exécutés aux niveaux des forages dans la nappe CI.

II.6.1. Les essais de pompage

Le concept fondamental de l'essai de pompage est très simple : de l'eau est extraite (par pompage ou puisage) d'un puits ou d'un forage, faisant ainsi baisser le niveau d'eau. Le niveau d'eau dans le forage d'extraction et le débit de pompage sont observés pendant un certain temps, de même que divers autres paramètres, lorsque c'est possible (par ex. les niveaux d'eau dans des forages d'observation). La manière dont le niveau d'eau réagit au pompage est ensuite analysée pour en tirer des informations sur les caractéristiques de performance du forage et les propriétés hydrauliques de l'aquifère. (P. Dross.2011)

Un forage d'exploration et son piézomètre ont été implantés pour :

- a) Reconnaître le Continental Intercalaire aquifère jusqu'à sa base ou jusqu'à 600 m de profondeur.
- b) Réaliser des essais de pompage.
- c) Prélever des échantillons d'eau pour l'analyse et la détermination de sa qualité chimique, pour un éventuel traitement avant d'être transporté et consommation de l'eau extraite.
- d) Déterminer les débits unitaires disponibles.
- e) Définir la géométrie du nouveau champ de captage, le nombre et l'espacement des forages.

Les essais de pompage ont été réalisés du 17/03/2008 au 22/03/2008 après développement à l'air puis à la pompe.

Les essais de pompage ont comporté un essai par paliers enchaînés et un essai de longue durée. Ils ont été effectués dans le puits de pompage (ex piézomètre transformé). Ils concernent l'ensemble des niveaux crépines.

L'essai de longue durée a consisté en un pompage à débit constant de 72 heures suivi de 24 heures de remontée. Son interprétation a permis de calculer la transmissivité.

II.6.2. Essai sur le forage C05

C05 est un forage entre 24 forages à l'Alimentation en Eau Potable de Tamanrasset à partir d'In Salah, Les travaux s'est déroulés du 01-11-2007 jusqu'au 27-03-2008. Sa profondeur est de 600 mètres, (Voir annexes ;7,8,11,12).

Le forage « C05 » possède les propriétés suivantes :

X : 02°36'14.8"E, **Y** : 27°47'23.9"N, **Z** : 436 m ;

Les essais hydrauliques ont donné un niveau statique de la nappe NS= 120.3 m, et un niveau dynamique maximal de 130.49 m, soit un Rabattement maximal de : 10.19 m.

II.6.2.1. Essais de pompage par paliers

Conçu pour déterminer le rapport à court terme entre le rendement et le rabattement du forage testé. Il consiste à effectuer des pompages dans le forage, avec une série de paliers à débit différent, le débit augmentant habituellement à chaque palier. Le dernier palier devrait se rapprocher du rendement maximal estimé pour le forage. (P. Dross.2011)

Pour la représentation graphique des données, nous avons utilisé le logiciel STATISTICA.

II.6.2.1.1. Le bilan de pompage par palier

Le tableau suivant résume les résultats du rabattement final pour chaque palier.

Tableau II.2 : bilan de pompage par palier pour forage C05.

Palier	Débit (l/s)	Durée de palier (min)	Durée de remonté (min)	Niveau dynamique(m)	Rabattement minimal (m)	Rabattement maximal (m)	Niveau statique (m)
01	30	240	60	126.89	0	6.59	
02	40	240	60	127.70	6.59	7.40	120.30
03	45	240	60	128.94	7.40	8.64	

D'après le (tableau II.2) du bilan de pompage par palier, on obtient trois couple débit-rabattement qui nous permettent de tracer la courbe suivante :

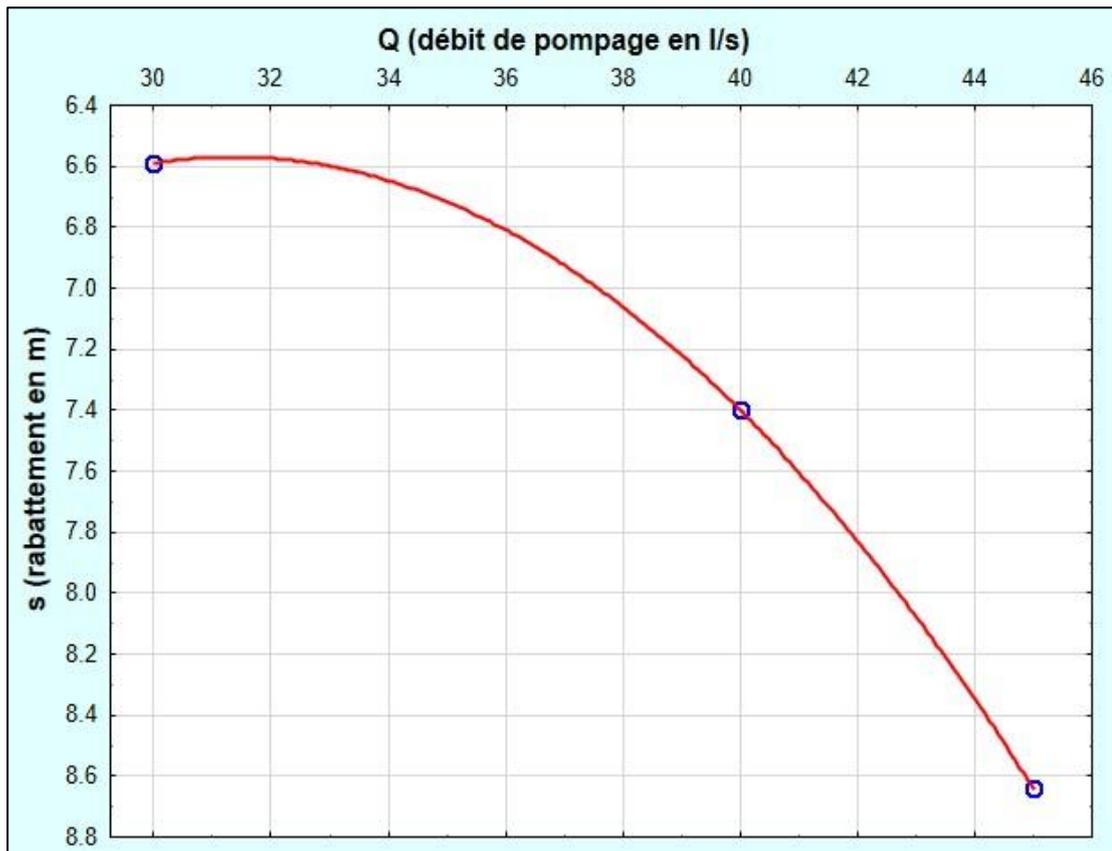


Figure II.17 : Courbe caractéristique du forage «C05 ».

La courbe caractéristique montre une pente régulière

II.6.2.1.2. Calcul du rabattement spécifique (s/Q)

L'équation de Jacob, permet de déterminer le rabattement (s) dans le puits à l'instant (t) pour n'importe quel débit pompé de l'ouvrage, elle est de la forme

$$s = B (Q) + C (Q^2) ; \text{ avec}$$

s : rabattement dans le forage;

B : perte de charge linéaire ;

C : perte de charge quadratique caractérisant l'état du développement du forage ;

D'après l'équation de Jacob : $s = BQ + CQ^2$

On divise cette équation par Q, on obtient l'équation suivante : $s/Q = B + CQ$

Qui est l'équation d'une ligne droite

Avec : s/Q : représente le rabattement spécifique en h/m².

Le tableau suivant représente le rabattement spécifique dans chaque palier.

Tableau II.3 : le rabattement spécifique pour forage C05.

Palier	Rabattement Maximal (m)	Débit (l/s)	Rabattement Spécifique (m/l/s)
01	6.59	30	0.22
02	7.40	40	0.185
03	8.64	45	0.192

D'après le (tableau II.3) du rabattement spécifique, on obtient trois couple débit-rabattement spécifique qui nous permettent de tracer la courbe suivante :

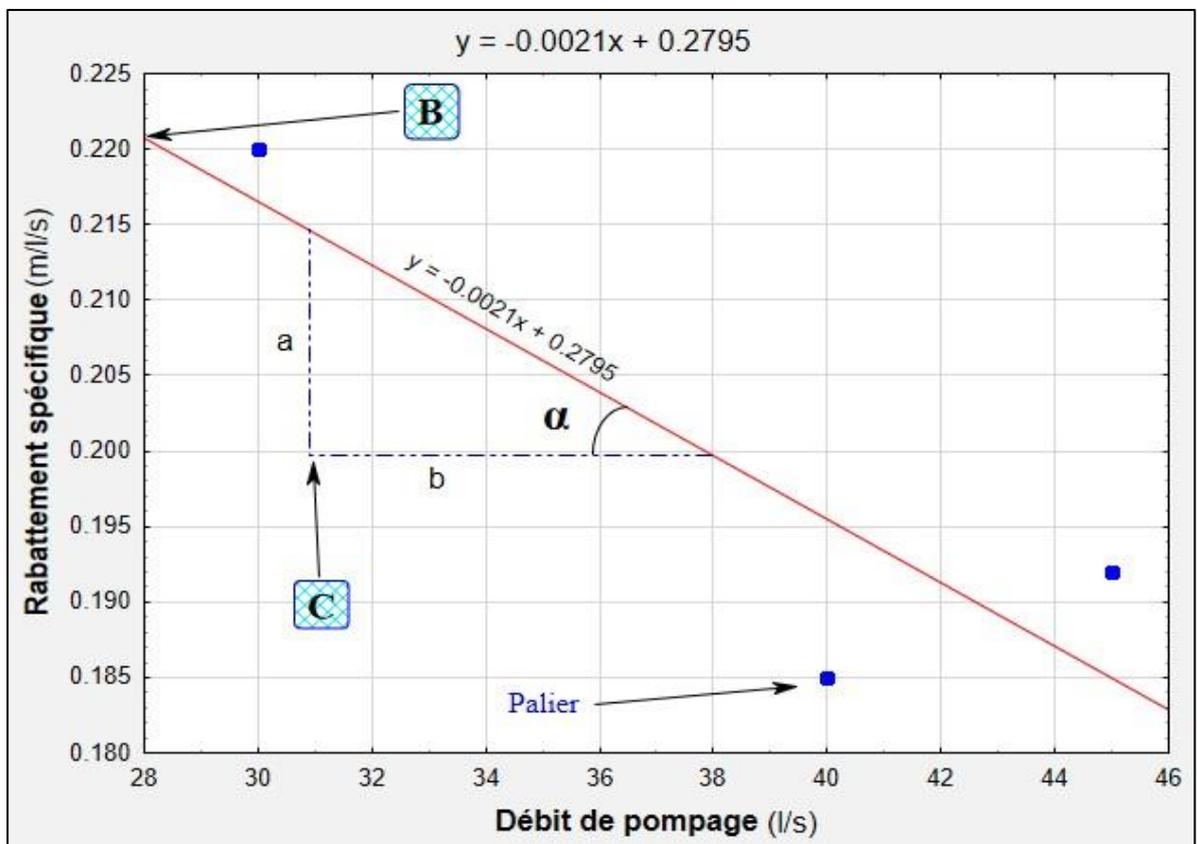


Figure II.18 : Courbe Droite débit / rabattement spécifique

La courbe (figure II.18) est une ligne droite qu'est de l'équation suivante

$$s/Q = B + CQ$$

Avec :

B : représente le coefficient de perte de charge linéaire (c'est le point de l'intersection de la droite avec l'axe des y).

C : représente le coefficient de perte de charge quadratique (c'est la pente de la droite).

D'après le graph les coefficients de perte de charge est :

$$\mathbf{B} = 2.21 \times 10^{-1} \text{ (ms/l)}$$

$$\mathbf{C} = 2.14 \times 10^{-3} \text{ (ms}^2\text{/l}^2\text{)}$$

Alors l'équation de la courbe caractéristique s'écrit :

$$\mathbf{s} = 2.21 \times 10^{-1} \mathbf{Q} + 2.14 \times 10^{-3} \mathbf{Q}^2$$

La valeur du coefficient C, exprimée en min/ms, reflète la condition du puits pompe (Todd,1980).

- Une valeur de C inférieure a 0,5 min²/ms indique un puits correctement conçu et bien développé.
- Une valeur de C comprise entre 0,5 et 1,0 min²/m⁵ indique un puits soit assez mal conçu soit légèrement colmaté ou détérioré.
- Une valeur de C comprise entre 1,0 et 4,0 min²/m⁵ indique un puits soit très mal conçu soit sévèrement colmaté ou détérioré.
- Une valeur de C supérieure à 4,0 min²/m⁵ indique un puits extrêmement mal conçu ou Si sévèrement colmaté ou détérioré qu'il sera difficile de le restaurer.

Dans le cas de notre forage « C05 » la valeur du coefficient C = 0.036 min²/m⁵ ce qui indique un puits correctement conçu et bien développe.

II.6.2.1.3. Calcul du débit spécifique

Le débit spécifique est le débit que le forage peut nous donner en régime permanent, (par mètre de rabattement exercé par le pompage), On utilise les résultats de rabattement maximal pour chaque palier pour déterminer le débit spécifique.

On a le rabattement total du 1ere palier qui est :

$$s = 6.59 \text{ m et } Q = 30 \text{ l/s}$$

$$Q_s = \frac{Q}{s} = 4.55 \text{ l/ms}$$

Dans le tableau suivant les résultats d'étude essais de pompage par paliers pour le forage «C05 », les valeur observés et calculés.

Tableau II.4 : Les résultats d'étude essais de pompage par paliers.

N° Palier	Q (l/s)	ND (m)	ND (m) calculé	s (m) observé	s (m) calculé	s/Q spécifique	Q/s spécifique
01	30	126.89	128.86	6.59	8.556	0.22	4.55
02	40	127.70	132.56	7.40	12.264	0.185	5.4
03	45	128.94	134.58	8.64	14.278	0.192	5.21

Il ressort de ces essais que, pour un pompage d'un débit de 5 litre par seconde, provoque un rabattement 2.02 mètre et un pompage d'un débit de 10 litre par seconde, provoque un rabattement 3.7 mètre dans le forage.

II.6.2.2. Essais de pompage de longue durée

L'essai à débit constant est l'essai de pompage le plus couramment pratiqué, et son concept est très simple : on effectue des pompages à débit constant sur une longue durée (de plusieurs heures à plusieurs jours, voire plusieurs semaines) en observant les niveaux d'eau et les débits de pompage. Pour que ces essais à débit constant aient une utilité maximale, il faudrait mesurer les niveaux d'eau à la fois dans un forage d'observation et dans le forage de pompage (ou mieux encore, dans plusieurs forages d'observation situés à des distances différentes du forage de pompage).

L'analyse des données des essais à débit constant permet de déduire la transmissivité de l'aquifère. Le coefficient d'emmagasinement de l'aquifère ne peut être calculé que si l'on dispose de données provenant de forages d'observation. (P. Dross.2011).

Interprétation d'essai de longue durée, (72 h) à débit constant de 56 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe, Le rabattement dans le forage de pompage est 120.3 m.

Pour la représentation graphique des données, nous avons utilisé le logiciel **Aquifer test**.

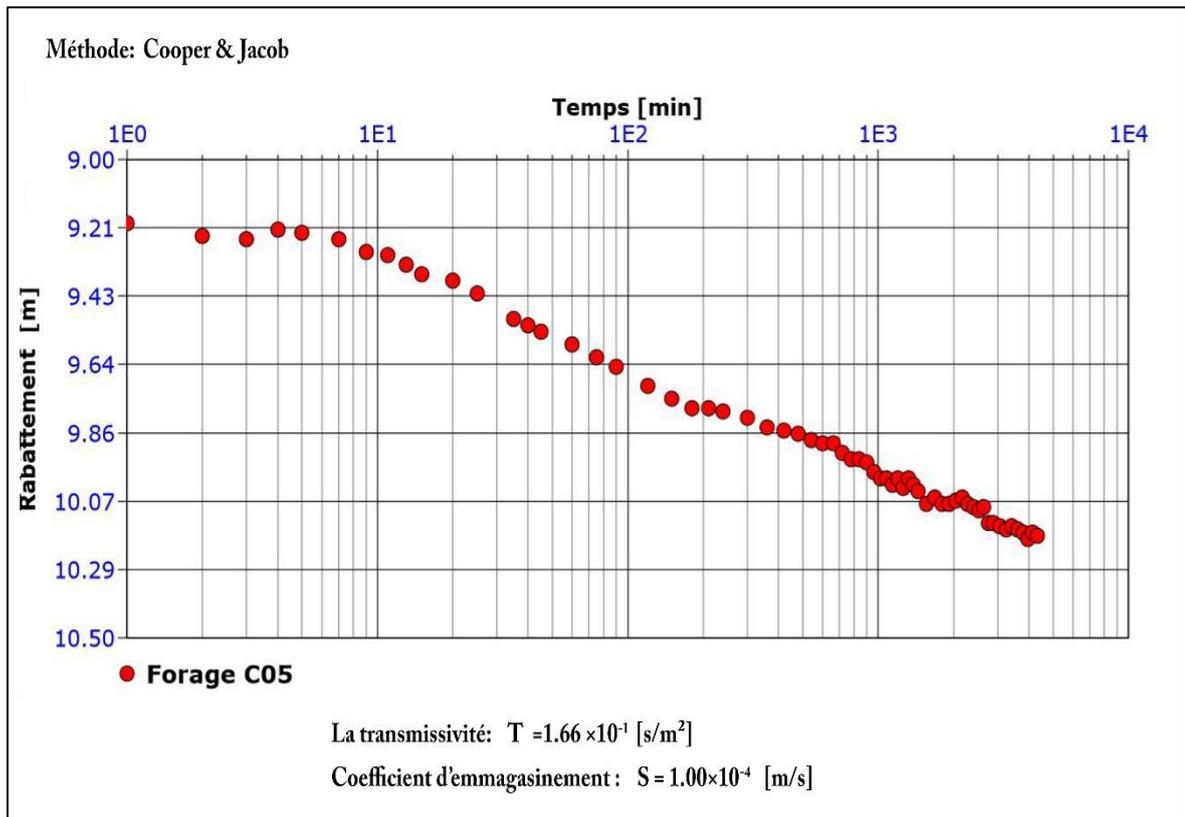


Figure II.19 : Essai de pompage longue durée à forage «C05» par la méthode de Cooper-Jacob de la descente.

Le courbe obtenue montrent phénomène bien marqué. Au début du pompage les points représentatifs sont espacés, non linéaires traduisant l'effet de Capacité de l'ouvrage de captage, le rabattement diminue jusqu'à stabilisation pendant un certain temps plus au moins lent. Ceci est probablement dû à une alimentation par flux imposé causé par un changement latéral de la perméabilité de la formation aquifère (les grés moyens argileux passent à des grés grossiers).

II.7. Conclusion

Notre but d'entamer cette étude est en fait d'apporter des confirmations sur le comportement hydrogéologique et hydrodynamiques des formations de la région d'étude. Elle nous a permis de mettre en évidence :

La géologie de la région est très importante, Le Crétacés Inférieur couvre une grande partie de notre région d'étude, Le Crétacés Supérieur est présent au Nord de la région, et au Sud du plateau de Tademaït, et le paléozoïque couvre la partie Sud de la région et le Nord du Hoggar.

Continental Intercalaire, est un réservoir contenu dans les formations continentales grés-argileuses d'âge Crétacé inférieur, où l'eau s'est infiltrée au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire.

L'ensemble des résultats obtenus par l'interprétation des courbes de pompage d'essai et la courbe de transmissivité nous ont permis de dire qu'on est dans le cas d'une nappe libre de bonnes caractéristiques hydrodynamiques, D'une manière générale, on estime que ces valeurs obtenues sont considérables, de ce fait on peut dire que notre nappe peut être exploitée du point de vue hydrodynamique.

C*hapitre* **III**

Etude Hydrochimique

III.1. Introduction

L'analyse hydrochimique des eaux constitue un complément indispensable à l'étude hydrogéologique et hydrodynamique des nappes et à la gestion des ressources en eau. Elle permet d'obtenir de nombreuses informations sur le milieu dans lequel les eaux souterraines circulent, la nature de l'encaissant, les zones d'alimentation et de circulation, la potabilité des eaux, ..., etc.

Dans la zone objet de la présente étude, la chimie des eaux peut être influencée par l'effet de la dissolution des formations géologiques,

En raison de l'utilisation multiple de ces eaux, cette étude a été menée afin de contrôler l'état actuel de la chimie des eaux, et rechercher l'origine naturelle ou anthropique de la variabilité des paramètres physico-chimiques de cette ressource.

Pour cela une analyse des paramètres physico-chimiques a été faite, au niveau du laboratoire de l'ANRH d'Adrar portée sur 24 points d'eau constituant le champ de captage, de notre zone d'étude.

III.2. Technique et méthode d'analyses hydrochimique

Les paramètres physico-chimiques caractérisés ont été mesurés par les prélèvements et les analyses qui ont été réalisés au niveau du laboratoire de chimie des Eaux de l'ANRH d'Adrar.

Pour le traitement et la représentation graphique nous avons utilisé ; le logiciel d'hydrochimie Diagramme du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon et le logiciel STATISTICA pour les traitements statistiques

Pour réaliser les cartes isochimiques des différents éléments, nous avons utilisé le logiciel Arc Gis par l'application de la méthode d'interpolation IDW (Inverse Distance Weighted).

Cette étude hydrochimique a pour but ;

- Démontrer les différents éléments qui possèdent une action sur l'évolution du chimisme des eaux.
- Déterminer les faciès chimiques des eaux.
- Déterminer l'origine des différents éléments chimiques majeurs.

III.3. Analyse des échantillons des eaux

Les analyses faites sur un échantillon unique sont à considérer comme un complément à la connaissance générale des eaux du Continental Intercalaire.

Le chimisme naturel des eaux dépend essentiellement de la composition lithologique des milieux traversés et du temps de séjour. Les analyses effectuées in situ concerne les paramètres physiques : Température (T), potentiel d'Hydrogène (pH), le potentiel Redox (Eh), Conductivité Électrique (CE), l'oxygène dissous (O₂) et au laboratoire elle portera sur les éléments majeurs (Cations : Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ et Anions : Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻) et les éléments d'origine biologique (NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ et PO₄⁻), (Voir annexes ;9,10).

III.4 Balance Ionique

La vérification des résultats des analyses pour une bonne interprétation et représentation graphique des données est très importante, Pour l'ensemble des échantillons nous avons procédé à la vérification des analyses par la balance ionique à partir de la relation.

$$e\% = \frac{\sum r.cations - \sum r.anions}{\sum r.cations + \sum r.anions} \times 100$$

- e < 2% bonne analyse
- 2% < e < 5% analyse acceptable
- e > 5% mauvaise analyse

La vérification des résultats d'analyses pour une bonne interprétation et représentation graphique des données est très importante, la vérification de la balance ionique des résultats des analyses de la région d'étude est très bonne, elles présentent une balance dans l'intervalle de ±5%.

III.5. Classification des eaux

III.5.1 Diagramme de SCHOELLER BERKALOFF

Le diagramme de Schöeller Berkaloﬀ permet de représenter les faciès chimiques de plusieurs échantillons d'eaux dans deux graphes. Les figures (figure III.1 et figure III.2) des différents forages de champ de captage :

- La domination cations du sodium et potassium par rapport aux autres éléments dans les forages (A03, A04, B03, A05, C06, D05, E06, F03, F06, D04).
- La domination du faciès Chloruré Sodique dans les forages (D03, B05, A06, B06, C04).

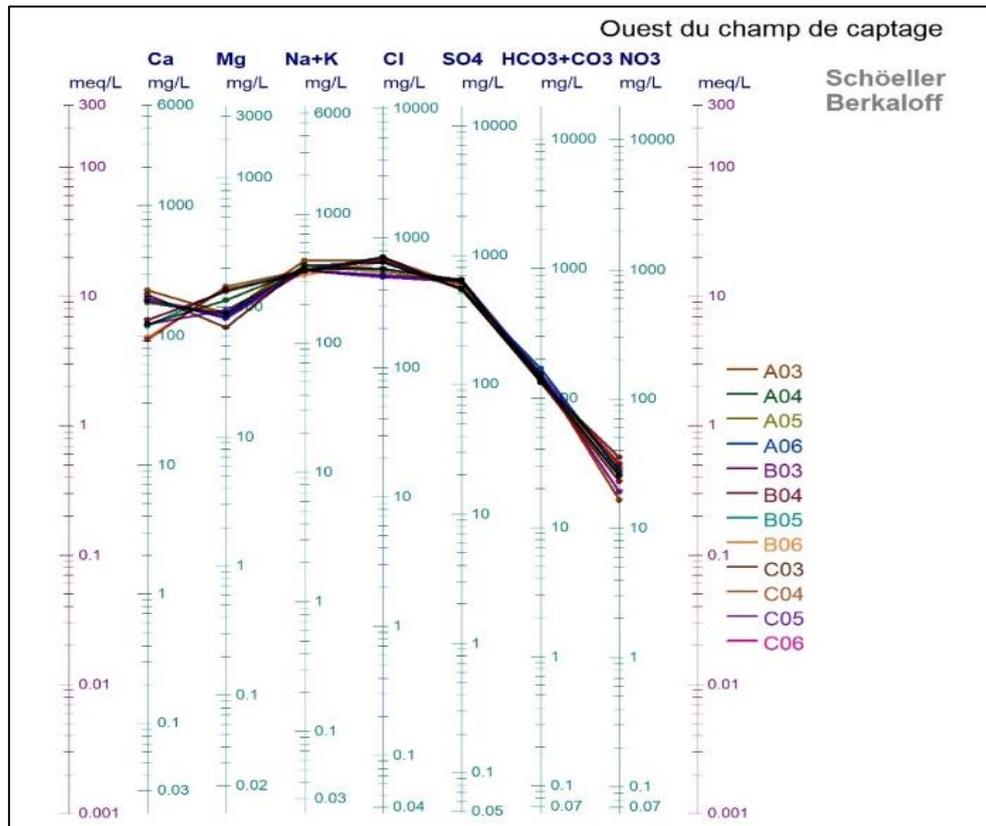


Figure III.1 : Digramme de Schöeller des eaux des forages dans Ouest du (CC)

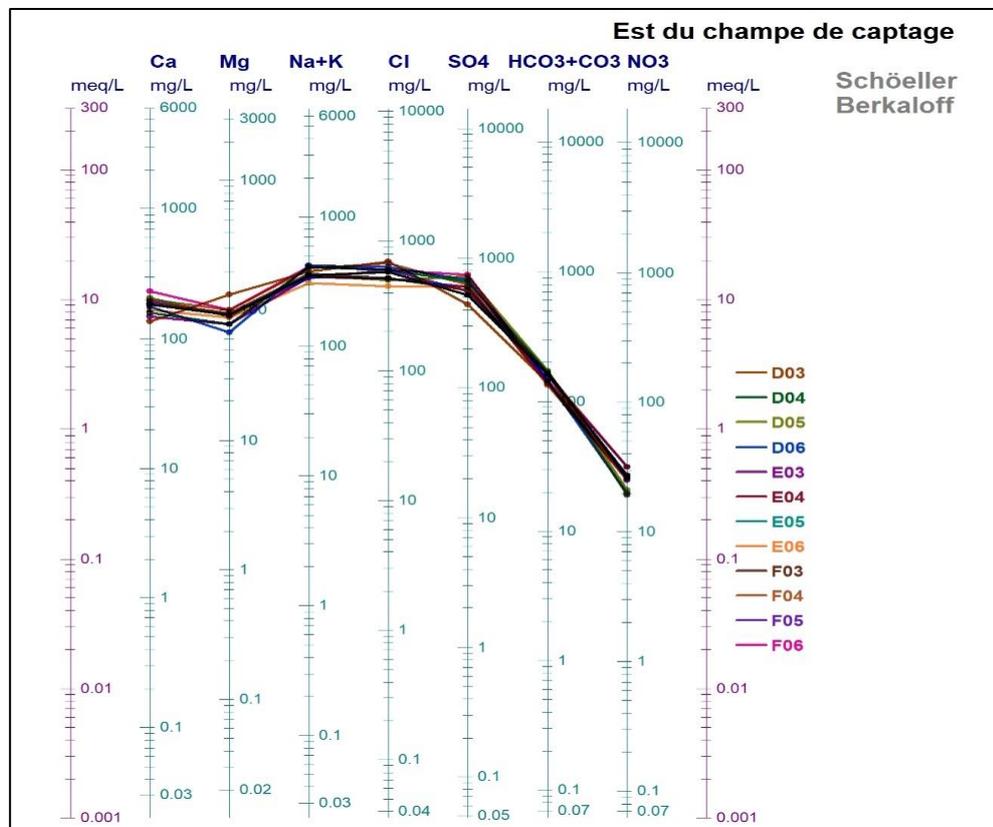


Figure III.2 : digramme de Schöeller des eaux des forages dans Est du (CC)

III.5.2. Diagramme de PIPER

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper permet de différencier les familles d'eaux, l'examen des représentations graphiques (figure III.3) diagramme obtenue permet de déduire les interprétations suivantes :

- Domination du magnésium et sodium dans le triangle des cations sur le calcium.
- Domination des chlorures et sulfates dans le triangle des Anions sur les bicarbonates.

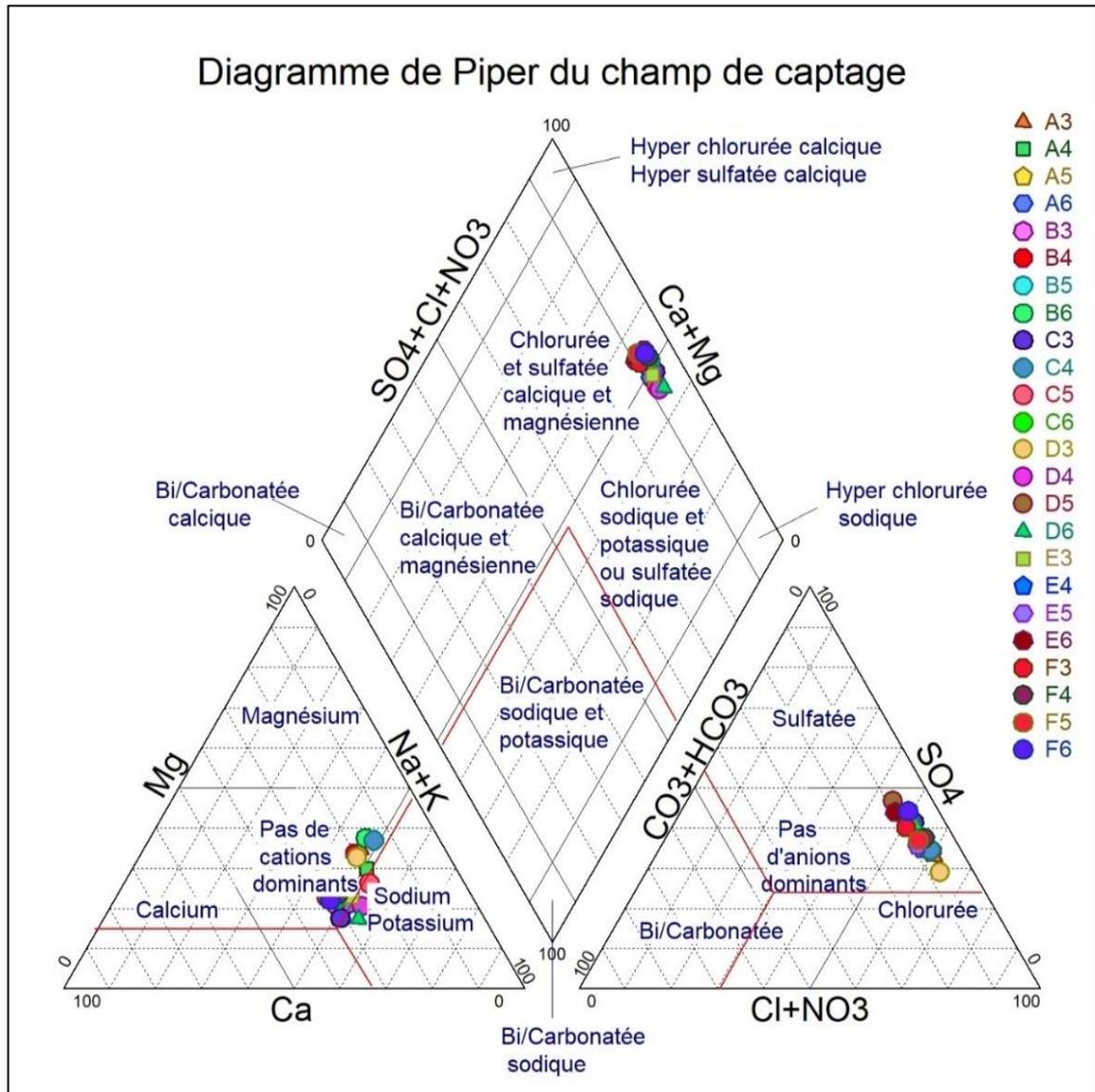


Figure III.3: Représentation graphique des eaux du « CC » sur le diagramme de PIPER

III.6. Les faciès chimiques

Les résultats d'analyses des eaux des forages de la région champ de captage montrent que deux faciès hydrochimiques sont dominants dans toute la région, le chloruré sodique et le sulfaté sodique (figure III.4).

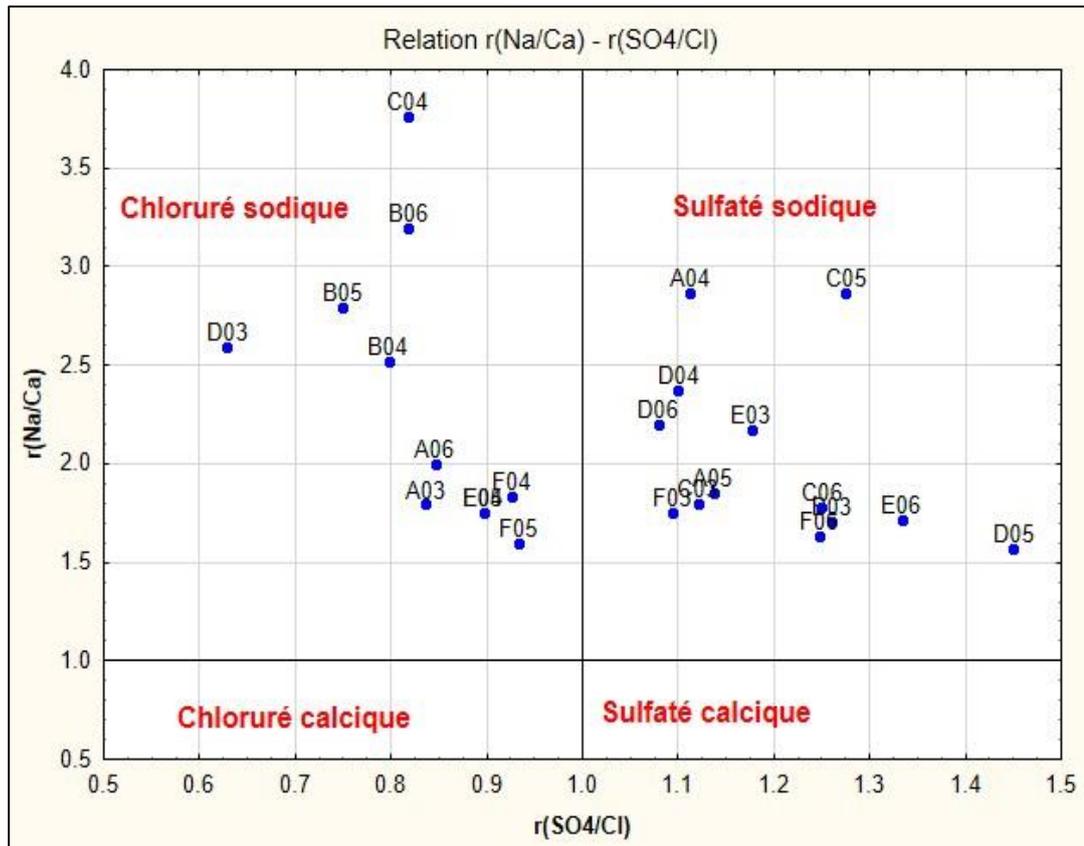


Figure III.4: diagramme de faciès Na/Ca vs SO₄/ Cl

D'après le diagramme de faciès des eaux du champ de captage, Présente deux familles de faciès bien distinguées sulfaté-sodique et chloruré-sodique.

III.7. Variation des paramètres physico-chimiques

III.7.1. Température (T°)

Les eaux souterraines du champ de captage, gardent généralement une fraîcheur constante, mais la température des eaux de surface varie selon plusieurs facteurs saisonniers et autres.

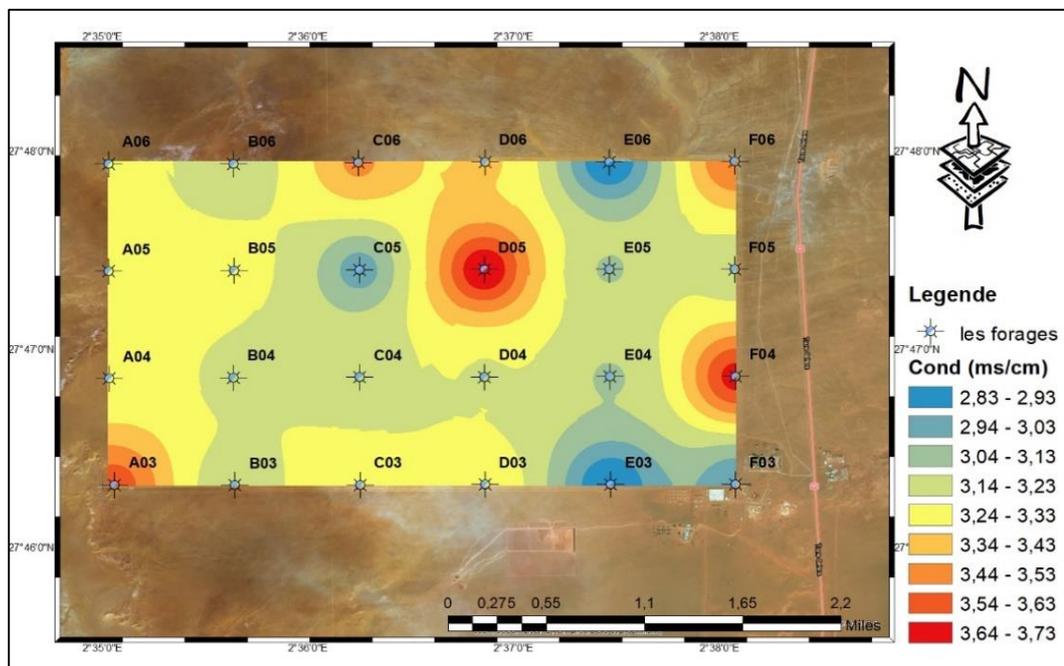
En absence des données de la température des eaux souterraines de notre région, il est recommandé de rappeler que cette dernière joue un rôle très important dans la mobilité des sels et des gaz, donc sur la conductivité électrique, elle permet de différencier les eaux qui circulent en profondeur ou en surface.

L'augmentation de la température est en fonction de la profondeur (1°C pour 33m). En effet de ce fait, et comme la profondeur de la nappe du CI à In Salah est comprise entre (300m et 400m), le thermomètre, enregistre des températures des eaux qui oscillent entre 20°C en hiver et 40°C en été.

III.7.2. Conductivité (EC) :

La conductivité qui est l'inverse de la résistivité traduit une aptitude de l'eau à laisser passer le courant électrique, la mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement, mais approximativement la minéralisation totale de l'eau in-situ par une approximation égale au produit de la conductivité électrique à 25°C par un coefficient compris entre 0.55 et 0.95 (Hounslow, 1995).

La carte obtenue à travers de l'analyse des données de la conductivité électrique CE montre que les eaux des forages du champ de captage ont une conductivité très élevée qui dépasse parfois largement les normes de potabilités algériennes, elles sont supérieures à 2980 $\mu\text{s}/\text{cm}$.(figureIII.5)



FigureIII.5 : Carte de la Conductivité électrique des eaux des forages du (CC).

La dispersion spatiale de la conductivité électrique CE (figureIII.5) montre qu'elle varie selon les forages, de 2830 à 2980 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dans les forages (C05, E03, E06 et F03) et de plus de 3000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dans les autres puits.

Forte conductivité à cause d'augmente la température et la concentration en sels dissous.

III.7.3. Potentiel Hydrogène

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau par la concentration en ions H^+ , les valeurs du pH dans la région d'étude varie de 6.67 à 7.26, ils sont dans la norme de potabilité.

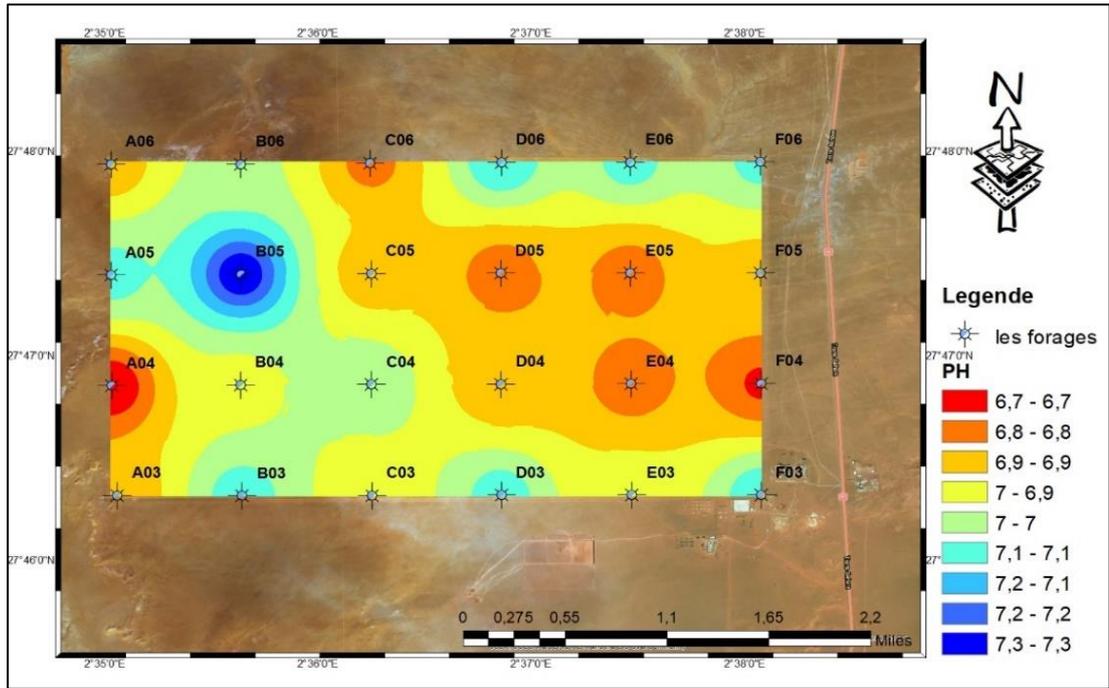


Figure III.6 : Carte de la Potentiel Hydrogène des eaux des forages du (CC).

La carte du Potentiel d’Hydrogène (figure III.6), montre que les forages de la partie Est paraissent PH plus acide par contre les forages de la partie Ouest plus alcalins surtout le forage B05. (7.3)

III.7.4. Dureté totale

La dureté de l'eau ou l'hydrométrie est une mesure globale de la concentration en sels (de calcium et de magnésium) dissous dans l'eau exprimée en degré français (°F), la dureté des eaux des forages du champ de captage entre 68 et 98°F, Le tableau suivant présente la potabilité en fonction de la dureté.

Tableau III.1 : présente la potabilité en fonction de la dureté (OMS)

TH (°F)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	40<
Qualité d'eau	très douce	eau douce	plutôt dure	dure	très dure

D'après les tableaux (III.1) nous pouvons dire que la qualité des eaux dans champ de captage est qualité très dure (TH >40).

Nous avons remarqué de la carte (figure III.7), que les eaux des forages du champ de captage ont une dureté très élevée dans le côté Est et Ouest-sud.

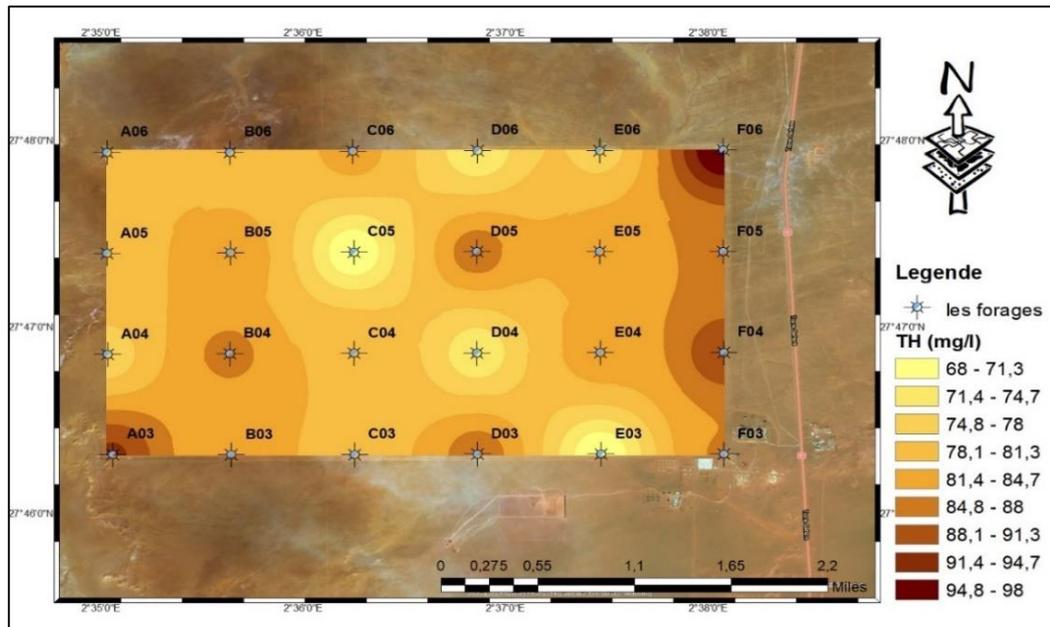


Figure III.7 : Carte de la dureté des eaux des forages du (CC).

III.7.5. Résidu Sec

Le résidu sec est la quantité des sels dissous et la matière organique contenue dans l'eau obtenue par dessiccation de l'eau des forages à 180°C,

Les résultats sur la carte montrent que les valeurs de déchets secs dans du champ de captage présentent des teneurs entre 1.8 et 2.3 mg/L de sédiments secs (figure III.8). la grande valeur existe dans coté Est du champ de captage et plus précisément dans les forages D05 et F04.

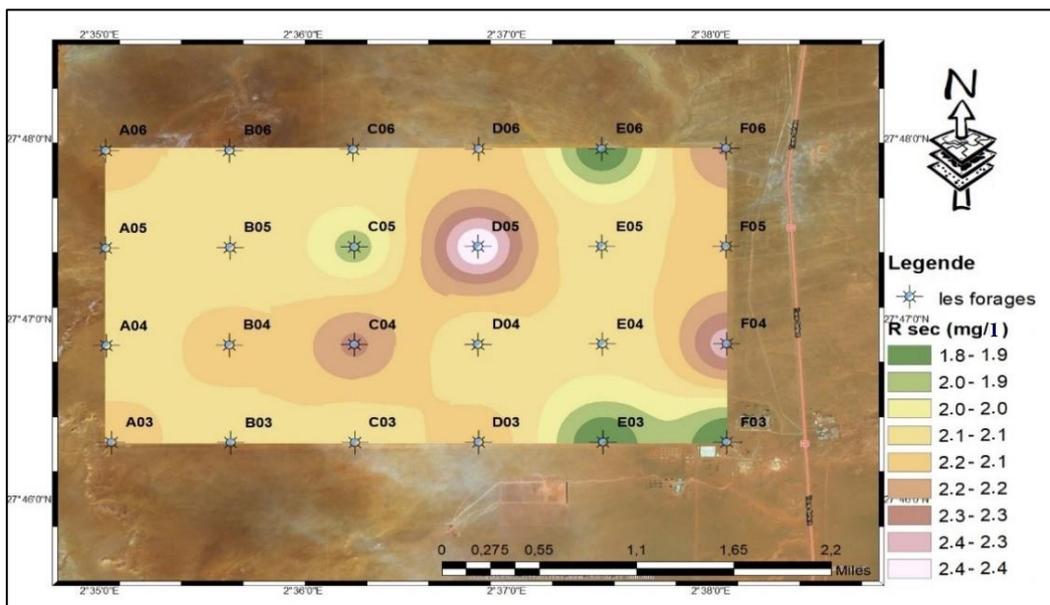


Figure III.8 : Carte de Résidu Sec des eaux des forages du (CC).

III.7.6. Titre alcalimétrique complet (TAC)

Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la somme des teneurs en ions hydroxyde, bicarbonate et carbonate exprimé en degré français (°F). $TAC = [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] + [OH^-]$

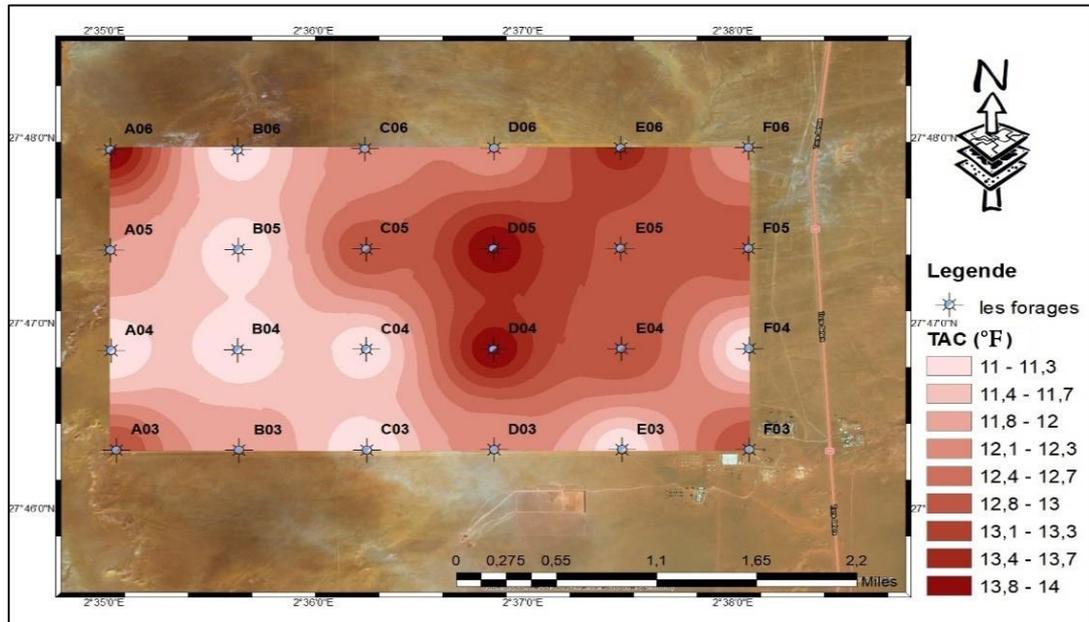


Figure III.9 : Carte du Titre alcalimétrique complet des eaux des forages du (CC).

Nous notons que de la carte pour le titre alcalimétrique complet (figure III.9), que les carbonates existent dans la région avec un pourcentage (11 à 14°F) et montre que les eaux ont une TAC élevée dans côté Est du (CC).

III.8. Variation des éléments majeurs

III.8.1. Sodium (Na^+) :

Le sodium est le plus abondant des éléments alcalins. Ses composés largement répandus dans la nature, représentent 26g/kg de la croûte terrestre.

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères très solubles tel que l'halite ($NaCl$), les teneurs dans la région sont très élevées et indiquent que les eaux des forages sont contenues dans des formations salifères qui dépassent largement les 280 mg/l,

La carte d'interpolation (figure III.10) qu'on a obtenu montre que la plus faible valeur du sodium (285 mg/l) est localisée dans le forage E06.

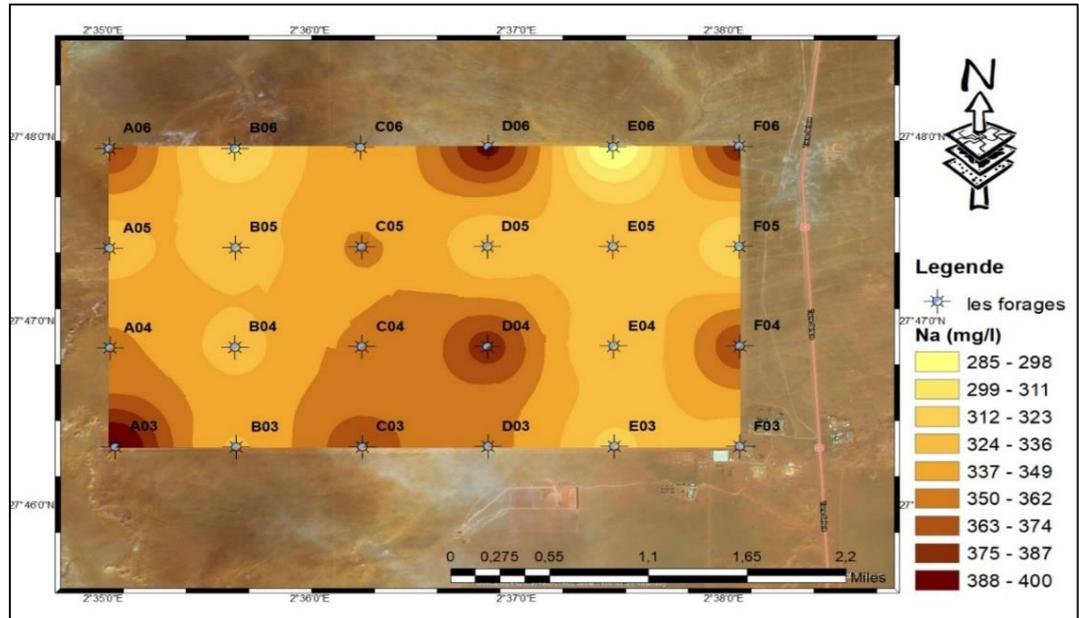


Figure III.10 : Carte de Sodium (Na^+) des eaux des forages du (CC).

III.8.2. Chlorure (Cl^-)

Ils sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl), et de calcium (CaCl_2) et de l'halite (NaCl).

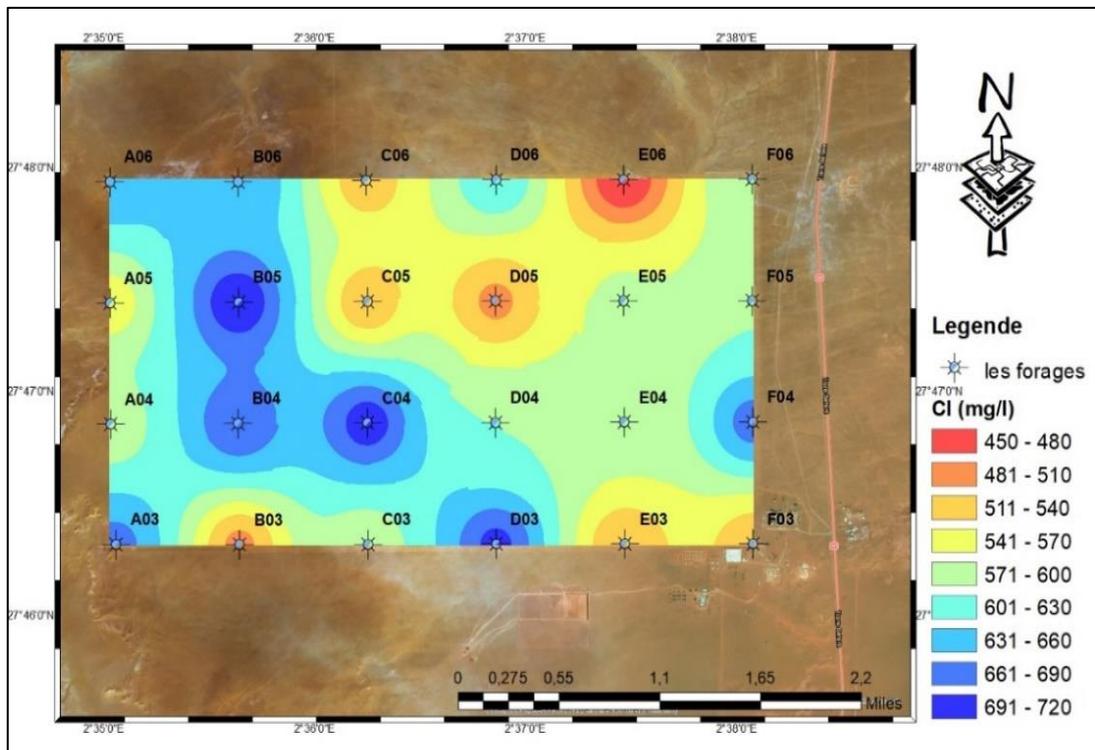


Figure III.11 : Carte de chlorures (Cl^-) des eaux des forages du (CC).

Les teneurs en chlorures sont très élevées dans notre région qui dépassent les 600 mg/l, les fortes teneurs sont localisées dans les forages (B05, C04, D03) ou les teneurs dépassent les 700 mg/l, Selon la figure III.11 Les fortes concentrations du Chlorure se trouvent au Sud Ouest.

III.8.3. Calcium (Ca^{2+})

La teneur en calcium est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par l'eau, La présence des ions Ca^{++} dans l'eau indique, soit une dissolution des formations carbonatées, calcite (CaCO_3), dolomie [$(\text{Ca},\text{Mg})\text{CO}_3$] ou bien la dissolution des formations évaporitiques, gypse [$\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$] et anhydrite (CaSO_4).

Les eaux potables de bonne qualité renferment de 100 à 140 mg/l de calcium

Les résultats des analyses des eaux du champ de captage ont montré que la concentration en ion calcium est forte la plupart d'entre eux dépassent 140 mg/l conséquence de formation géologique de la région, par attaque CO_2 dissous des roches calcaires (dolomie).

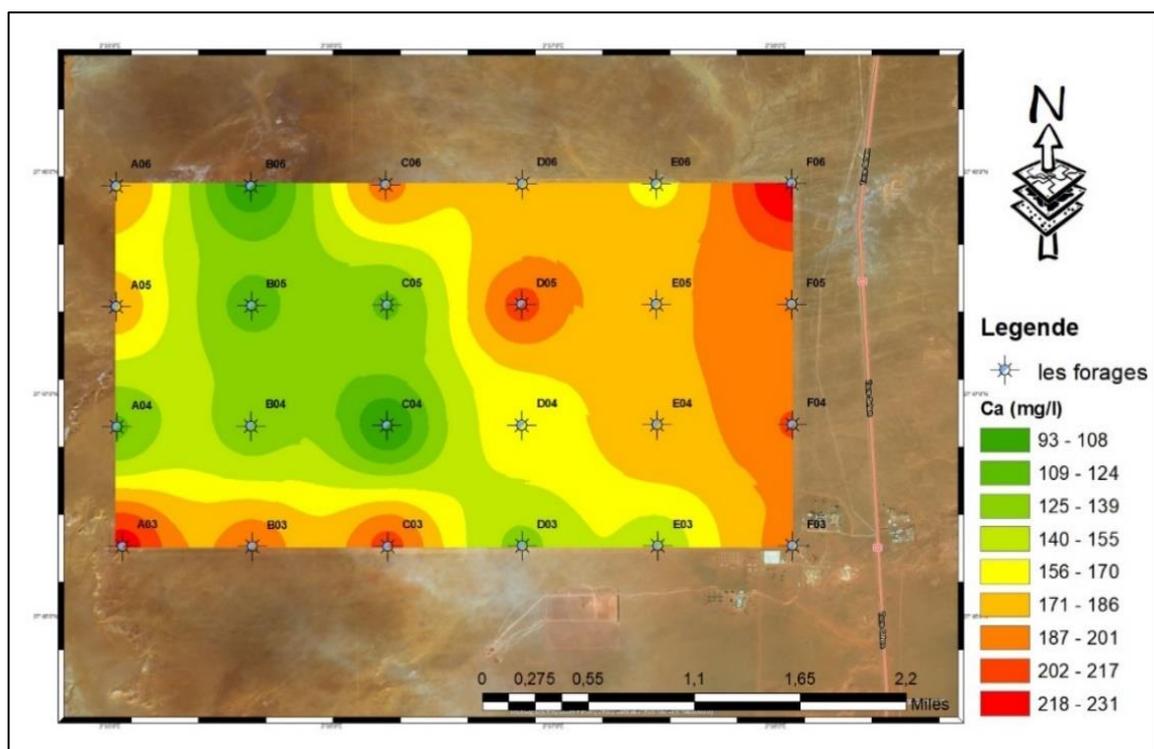


Figure III.12 : Carte de Calcium (Ca^{2+}) des eaux des forages du (CC).

La variation de cet élément est presque identique à la carte du Chlorure (figure III.12); faibles concentrations dans le côté Ouest et forte au côté Est.

III.8.4. Magnésium (Mg²⁺)

Le magnésium est l'un des éléments les plus répandus dans la nature, il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre, Il est souvent présent dans les roches évaporitiques (sel de Mg), la carnallite (KMgCl₃, 6H₂O), la kiesérite (MgSO₄, H₂O), et carbonatés, la dolomie [(Ca Mg) CO₃].

Il constitue un élément significatif de la dureté de l'eau. A partir d'une concentration de 100mg/l et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau. S'ils ne provoquent pas de phénomènes toxiques (sauf chez les personnes résultats des insuffisances rénales), les sels de magnésium, essentiellement les sulfates, peuvent avoir un effet laxatif à partir de 400 mg/l. les valeurs de magnésium dans champ de captage varient de 68 mg/l à 139 mg/l.

La carte de la répartition spatiale nous montre que les teneurs de Magnésium les plus grande se trouvent dans le côté Ouest et d'Est

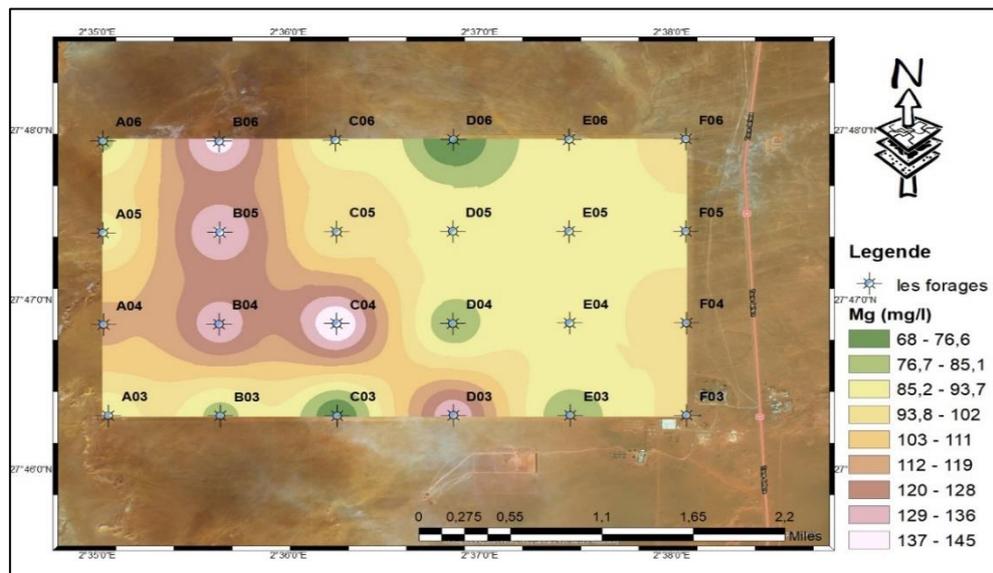
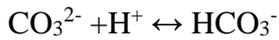


Figure III.13 : Carte de Magnésium (Mg²⁺) des eaux des forages du (CC).

III.8.5. Bicarbonates (HCO₃)

Les ions bicarbonates se forment à partir de la dissolution des minéraux carbonatés par des eaux chargées en gaz carbonique lors de son l'infiltration dans le sous-sol comme le montre les équilibres chimiques suivants :





Leur concentration dépend de plusieurs facteurs tels que le pH, l'alcalinité ainsi que la température du milieu aqueux, Les teneurs en bicarbonates dans les eaux de la zone d'étude varie de 131 à 171 mg/l.

La carte de la Bicarbonates (figure III.14) montre que les forages de la partie Est paraissent plus élevée par rapport aux forages la partie Ouest.

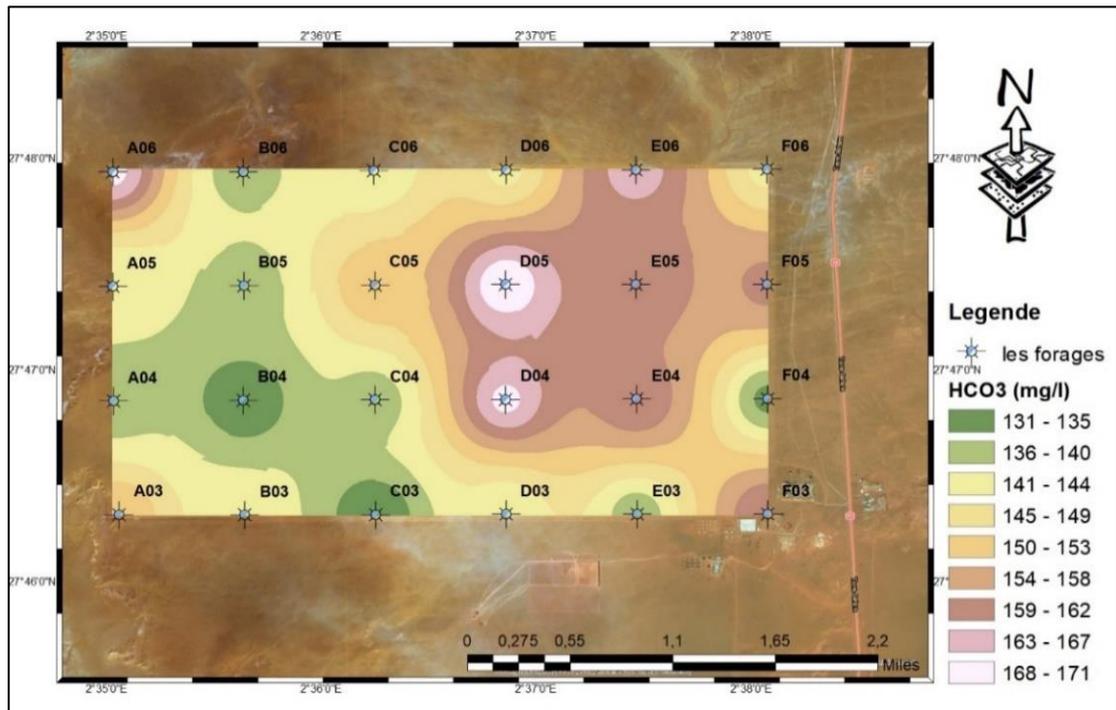


Figure III.14 : Carte des Bicarbonates (HCO_3) des eaux des forages du (CC).

III.8.6. Potassium (K^+)

La teneur du potassium dans les eaux naturelles est de l'ordre de 10 à 15 mg/l à une telle valeur, le potassium ne présente pas d'inconvénients pour la santé des individus, Les fortes teneurs en potassium peuvent être observées dans les eaux des formations argileuses et dans les eaux ayant traversées des formations évaporitiques riches en sylvite (KCl), les valeurs enregistrées sont entre 20 et 66 mg/l.

La nappe de la région est constituée d'argile et les grés dont la concentration en Potassium est très élevée dans le champ de captage.

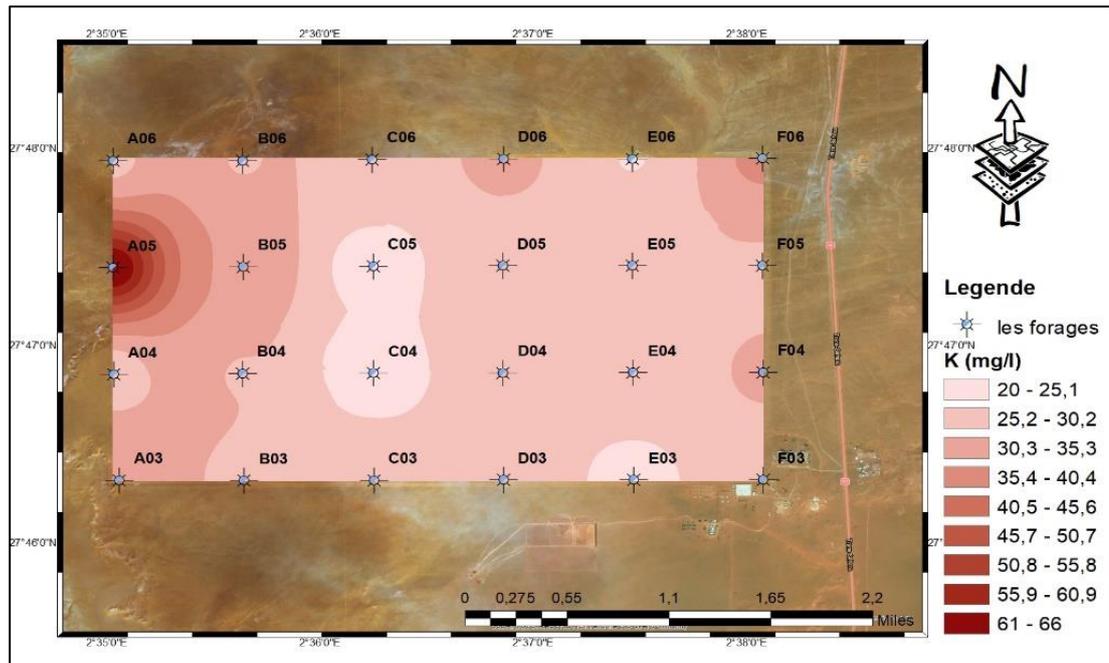


Figure III.15 : Carte de Potassium (K^+) des eaux des forages du (CC).

La carte de la teneur (figure III.15), en Potassium dans le côté Est du champ de captage et montre des concentrations faibles que celles du côté ouest.

III.8.7. Sulfates (SO_4^{2-})

Le sulfate est un des éléments majeurs des composés dissouts dans l'eau, des concentrations importantes en sulfate dans l'eau que nous buvons peut avoir un effet laxatif important combiné avec le calcium et le magnésium, les deux composés majeurs de la dureté de l'eau,

La présence des sulfates est généralement liée au lessivage des formations évaporitiques, tel que le gypse ($CaSO_4 \cdot 2(H_2O)$) et l'anhydrite ($CaSO_4$), ils peuvent provenir également de l'oxydation de la pyrite (FeS_2).

Le niveau maximum de sulfate suggéré par l'OMS dans les lignes directrices de la qualité demandée pour l'eau destinée à la consommation est de 500 mg/L en sulfates dans l'eau destinée à la consommation humaine, les teneurs des sulfates dans les eaux de la région varient de 440 mg/l à plus de 700 mg/l,

Selon la figure III.16 teneur des sulfates dans le champ de captage est très élevée sauf aux forages (D03, E04 et E05)

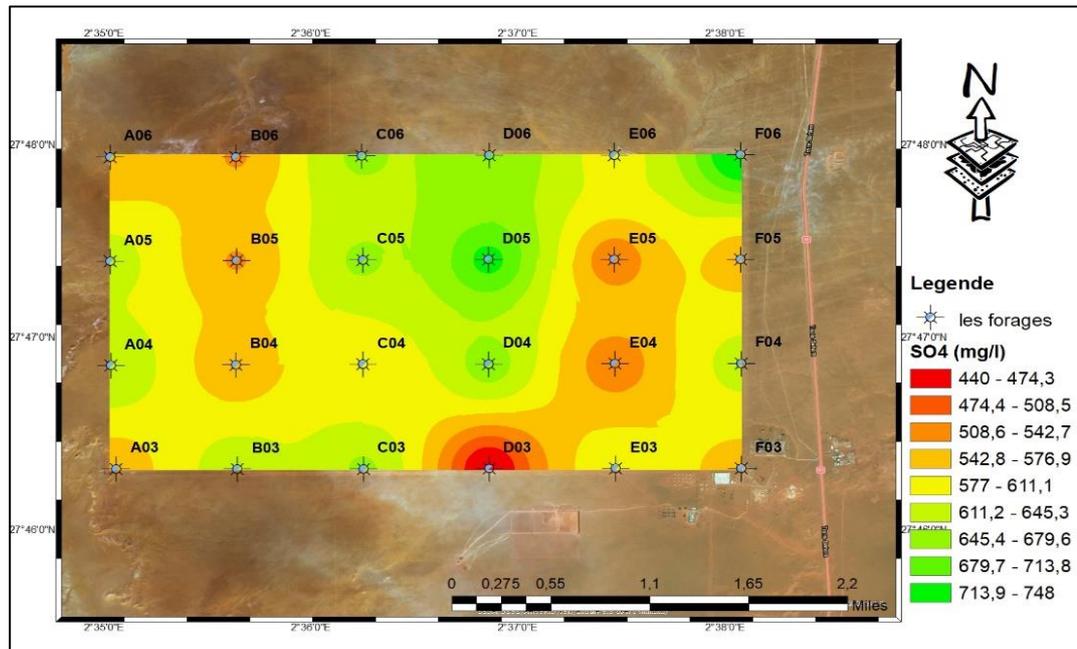


Figure III.16 : Carte des Sulfates (SO₄²⁻) des eaux des forages du (CC).

III.8.8. Nitrates (NO₃⁻)

L'ion nitrate est la forme oxydée de l'azote, les sources naturelles de nitrate sont principalement la pluie et les interactions avec le sol et la végétation (Jacques.B, 2008),

Un excès de nitrates dans les eaux de boisson peut provoquer une inflammation des muqueuses intestinales chez l'adulte. L'OMS considère comme limite maximale acceptable une concentration de 50mg/l de nitrates, l'eau des forages est bonne pour les normes de l'OMS.

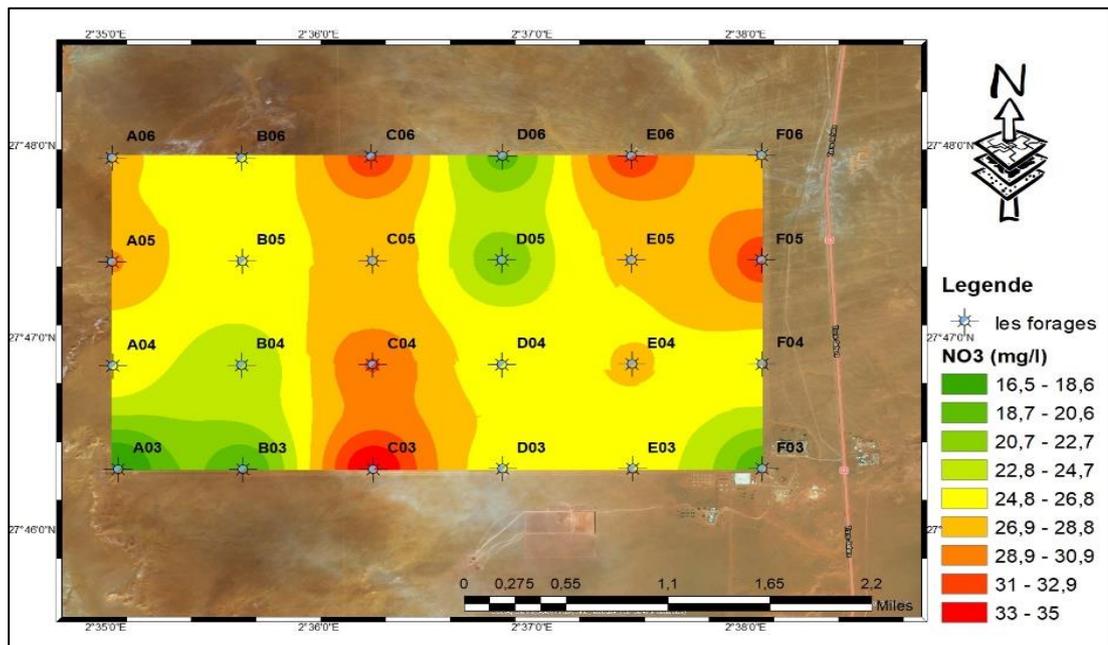


Figure III.17 : Carte de Nitrates (NO₃⁻) des eaux des forages du (CC).

Dans ce carte (figure III.17), nous remarquons La teneur de Nitrates est très élevé aux forages (C03, C06, E06, F05).

III.9. Origine de chimisme des eaux

III.9.1. Etude des relations inter-éléments

A partir des résultats de tableau III.2 ci-dessous on peut montrer que la majorité des éléments sont bien corrélés entre eux, voir mieux avec la conductivité. Tableau III.2: Matrice de corrélation entre les éléments physicochimiques

Le tableau ci-dessous présente la matrice des différentes corrélations entre les variables.

Tableau III.2: Matrice de corrélation entre les éléments physicochimiques

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	k ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
Ca ²⁺	1.000						
Mg ²⁺	-0.679	1.000					
Na	0.426	-0.140	1.000				
k ⁺	-0.140	-0.017	-0.732	1.000			
Cl ⁻	0.071	0.361	0.811	-0.666	1.000		
SO ₄ ²⁻	0.466	-0.294	0.800	-0.682	0.497	1.000	
HCO ₃ ⁻	0.448	-0.354	0.442	-0.557	0.257	0.472	1.000

III.9.2. Le couple Na-SO₄

Le graphe ci – dessous montre qu’il ya une grande corrélation entre les deux éléments (Na-SO₄) cette corrélation traduit l’uniformité d’alignement des points, indiquant probablement une origine commune (figure.III.19) l’exemple de la Mirabilite (K₂SO₄ :10H₂O).

III.9.3. Le couple K-SO₄

La comparaison de variation des éléments (k et SO₄), (figure.III.18) montre qu’il y a une grande corrélation entre ces deux éléments présentant l’homogénéité d’origine de ces 2 éléments sont donc d’origine Arcanite (K₂SO₄)

III.9.4. Le couple Na⁺-Cl⁻

Le graphe ci – dessous (figure.III.20) montre qu’il ya une très grande corrélation entre les deux éléments (Na-Cl) cette corrélation traduit l’uniformité d’alignement des points, indiquant une origine commune qui est l’Halite (Na Cl).

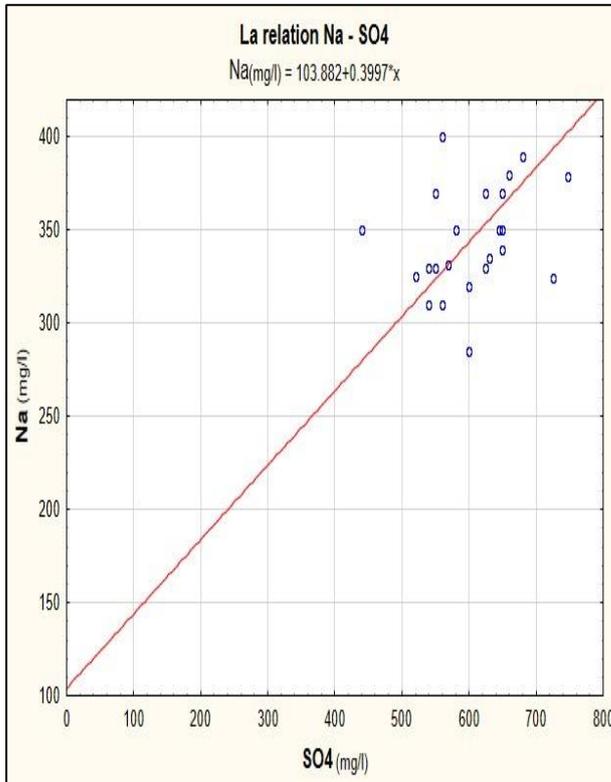


Figure III.19 : Le couple Na-So4

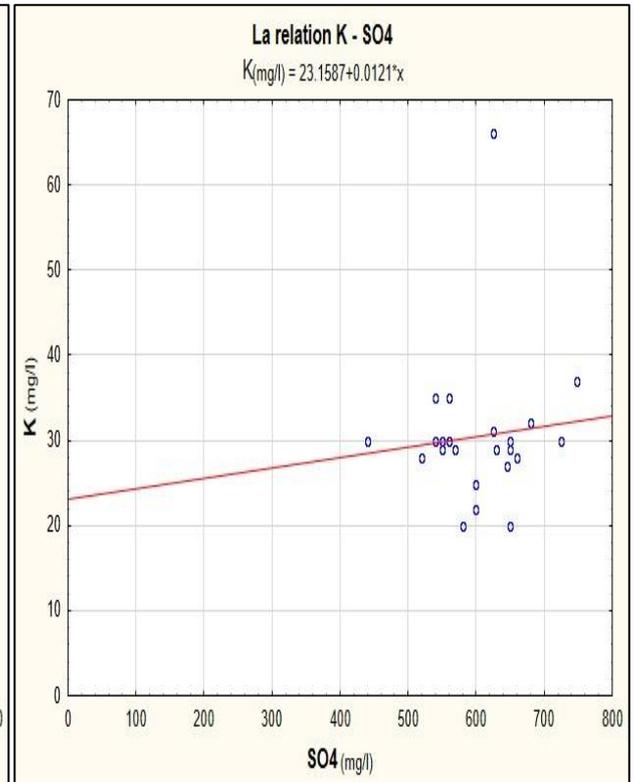
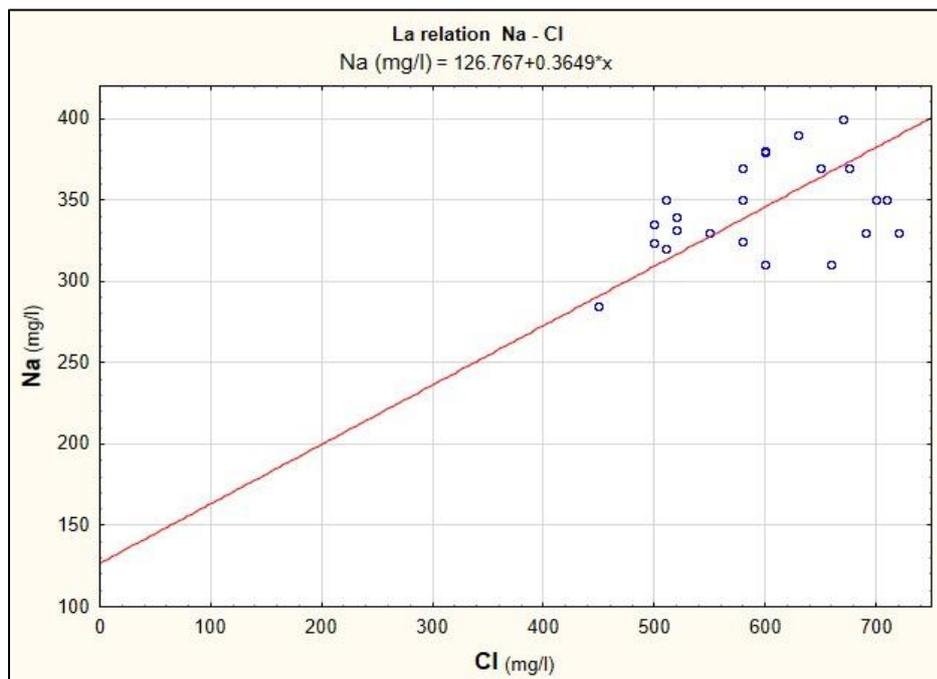


Figure III.18 : Le couple K-So4



FigureIII.20 : Le couple Na⁺-Cl⁻

III.10. Qualité chimique des eaux du CI dans le secteur d'étude

III.10.1. Potabilité des eaux

III.10.1.1. Les normes de potabilité

On a examiné dans cette partie la qualité chimique des eaux, en les comparant aux normes Algériennes de potabilité l'Organisation Mondiale de la Santé O.M.S (tableau III.3).

Donc le tableau ci-dessous il montre que : en ce qui concerne les critères d'acceptabilité au sens de l'OMS, il apparaît que la minéralisation totale est pratiquement conforme à la concentration maximale admissible selon la norme algérienne, qui est de 2'000 mg/l.

Tableau III.3 : Normes Algériennes de potabilité

Paramètre	valeur	Unite
PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUE		
Température	25	°C
pH (laboratoire)	6.5-8.5	-
Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$	2800	$\mu\text{S}/\text{cm}$
Résidu sec à (105°C) mg/l	2000	mg/l
Calcium (Ca^{++}) mg/l	200	mg/l CaCO_3
Magnésium (Mg^{++}) mg/l	150	mg/l CaCO_3
Sodium (Na^+) mg/l	200	mg/l
Potassium (K^+) mg/l	20	mg/l
Chlorures (Cl^-) mg/l	500	mg/l
Sulfate (SO_4^{--}) mg/l	400	mg/l
SUBSTANCES INDÉSIRABLES		
Nitrate (NO_3^-) mg/l	50	mg/l
Bicarbonates (HCO_3^-) mg/l	300	mg/l CaCO_3

Les paramètres dépassant les concentrations maximales admissibles selon les normes algériennes sont :

- Teneur en sodium (env. 2 fois la norme)
- Teneur en potassium (env. 1.7 fois la norme)

- Teneur en chlorures (env. 1.2 fois la norme)
- Teneur en sulfates (env. 1.5 fois la norme)

Les teneurs en calcium et en magnésium sont également conformes à la norme algérienne, de même que les concentrations en fer et en manganèse.

III.10.2. Aptitudes des eaux à l'irrigation

L'aptitude des eaux à être utilisées pour l'irrigation, peut être évaluée par un certain nombre de coefficients plus ou moins fiables parmi lesquels : Le pourcentage en sodium (% Na). et Sodium adsorption ratio (S.A.R).

III.10.2.1. Diagramme de REVERSIDE

Le sodium est un élément des bases alcalines et alcalino-terreuses, joue un rôle important dans le maintien de la perméabilité des sols pour l'irrigation. Pour déterminer ce risque, Riverside a créé une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par la minéralisation totale.

Le S.A.R est un indice qui mesure le danger que représente l'existence d'une teneur donnée en sodium dans l'eau. Il se calcule par la formule suivante :

$$S.A.R = \frac{rNa^+}{\sqrt{\frac{[rCa^{++} + rMg^{++}]}{2}}}$$

Le diagramme de Riverside (figure III.21) qui comporte les subdivisions suivantes :

- S.A.R < 10 : eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation des sols.
- 0 < S.A.R < 18 : eaux utilisées avec un danger appréciable d'alcalinisation
- 18 < S.A.R < 26 : eaux pouvant provoquer un danger d'alcalinisation.
- S.A.R > 26 : eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort.

On peut tirer de ce diagramme ci-dessus que la majorité des eaux sont des eaux présentant un danger appréciable d'alcalinisation parce que la valeur de S.A.R est élevée (13 < S.A.R < 22.5).

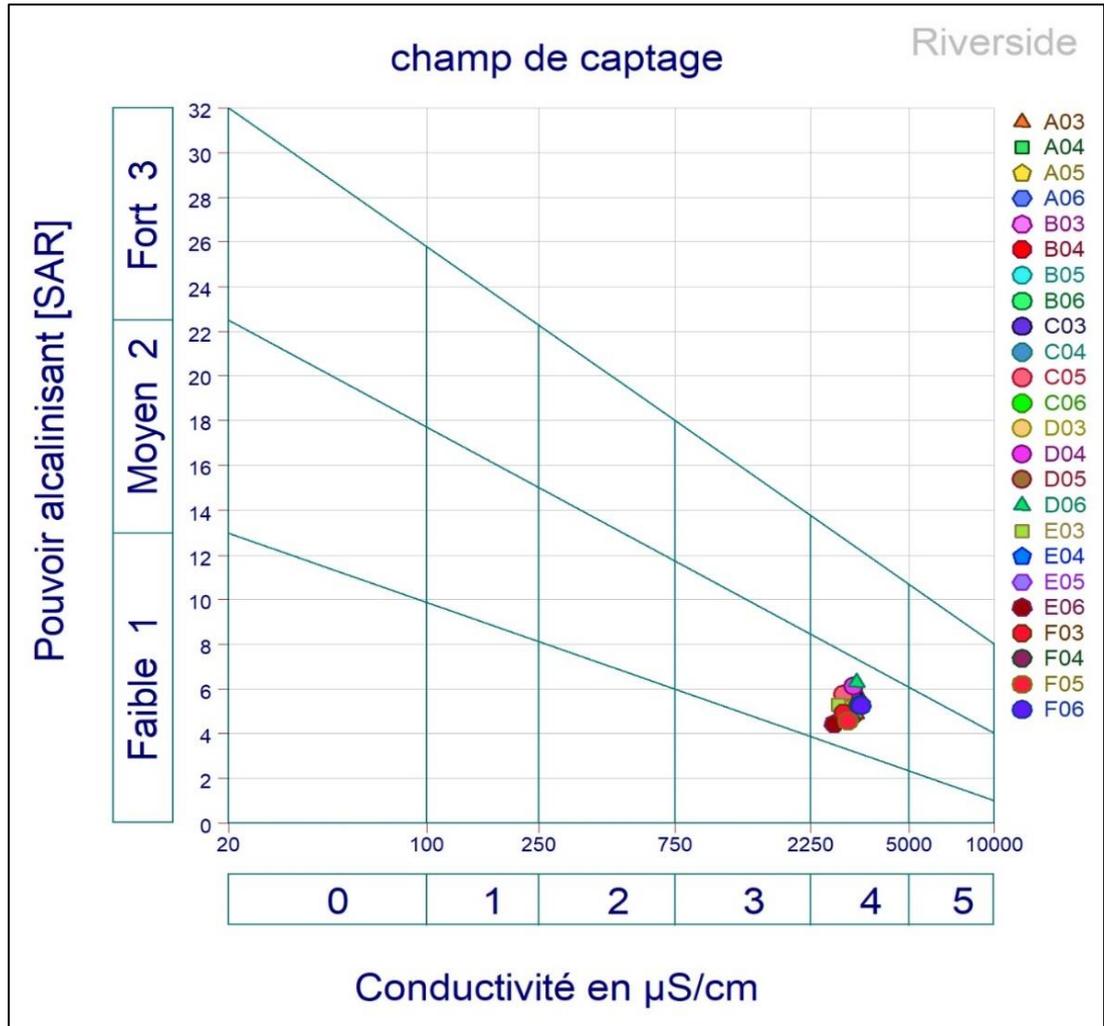


Figure III.21: le diagramme de « Riverside »

III.10.2.2. Le pourcentage de sodium (classification de WILCOX)

Il est connu que le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium. Les études menées par Wilcox sur cette question ont abouti au diagramme de la figure III.22, Nous avons jugé intéressant d'utiliser la classification de « Wilcox », fondée sur la conductivité électrique et le pourcentage du sodium soluble dans l'eau (Louvrier 1976), pour examiner ce problème. Le pourcentage du sodium peut être défini comme suit :

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

Les éléments sont exprimés en meq/l

Tableau III.4 : Classification des eaux d'irrigation (méthode Richards).

N°	Qualité	Classe	Utilisation
1	Excellente	C1-S1 C1-S2	Utilisation sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des sols.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	Convenable aux plantes qui ont une tolérance aux sels, cependant son utilisation peut générer des problèmes pour les argiles.
3	Admissible	C2-S3 C3-S1 C3-S2	La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérables aux sels sur des sols bien drainés.
4	Médiocre	C3-S3 C4-S1 C4-S2	En général, Eau fortement minéralisée, utilisée uniquement pour des plantes très résistantes aux sels dont le sol présente une bonne perméabilité.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant pas à l'irrigation, mais pouvant être utilisé sous certaines conditions, soit plantes très résistantes aux sels dont le sol et une bonne perméabilité.

D'après le tableau III.4 ci-dessus et de la figure III.22, la région d'étude se caractérise par une classe C4-S2 en général, Eau fortement minéralisée, utilisée uniquement pour des plantes très résistantes aux sels dont le sol présente une bonne perméabilité.

Selon cette classification les eaux des forages de la région de champ de captage ont un risque de salinité très élevé à l'irrigation.

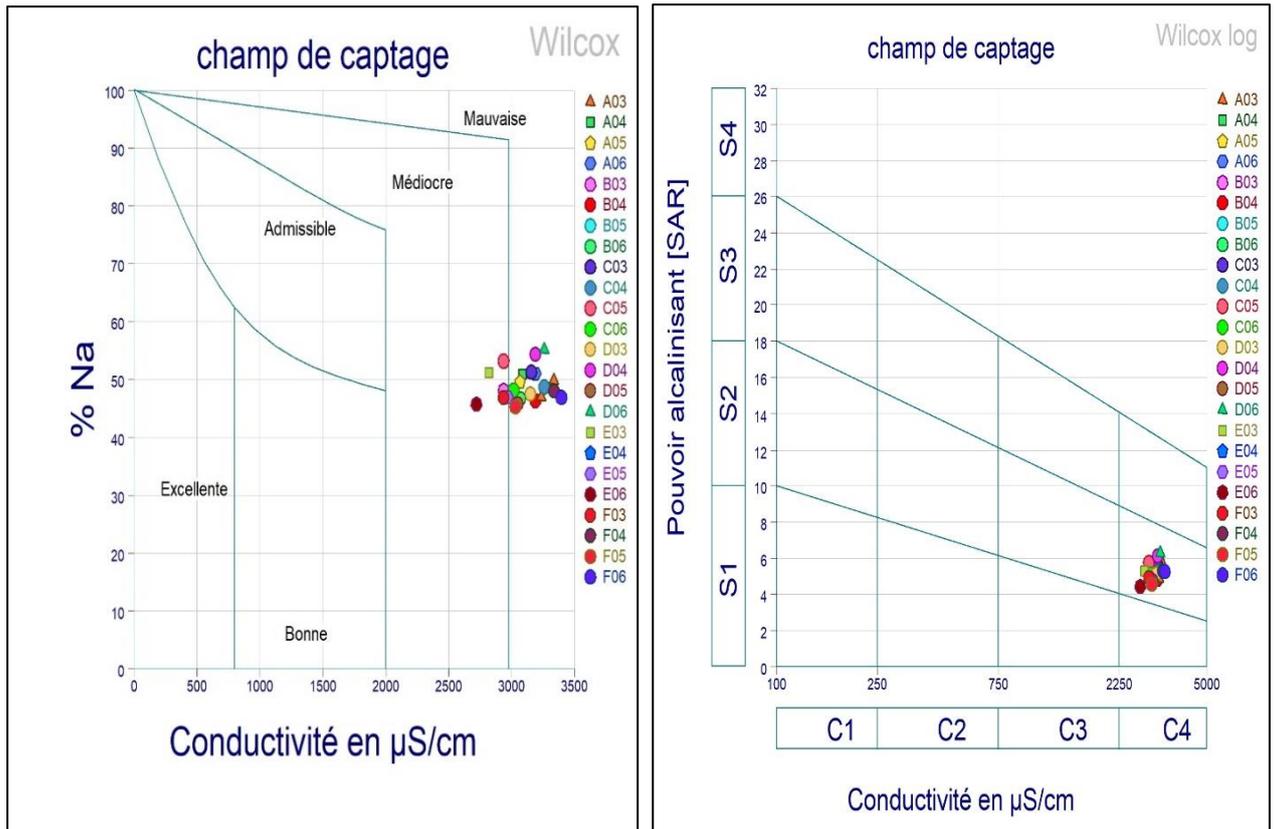


Figure III.22 : Diagrammes des Wilcox et Wilcox-log des eaux de (CC)

III.11. Conclusion

L'étude hydrochimique des eaux du champ de captage que nous avons mené, a montré qu'on a des eaux chargées ; notamment en élément du chlorure et des sulfates.

Ces paramètres ne posent aucun problème de santé publique, mais donnent une saveur à l'eau qui peut ne pas être appréciée par des consommateurs n'ayant pas l'habitude de cette eau.

Pour les ouvrages la qualité chimique des eaux du champ de captage doit être prise en considération afin d'éviter une dégradation future de ces équipements.

Pour le consommateur de ces eaux, nous recommandons de traiter les eaux par filtrage conditionné afin de les rendre un peu appréciables à l'usage domestique

C*hapitre* **IV**

Concept de fonctionnement
et caractéristique technique
du champ de captage
"CC"

IV.1. Introduction

Le transfert d'eau à partir de In Salah a pour but d'assurer l'approvisionnement en eau potable de la ville de Tamanrasset ainsi que les centres de vie situés sur son tracé. Il est dimensionné pour satisfaire la demande en eau de 2010 à l'horizon 2050. À l'horizon 2020, ce sera plus de 172000 personnes qui seront desservies par le réseau d'adduction, et à l'horizon 2050 : 337400 habitants. L'eau à transférer est captée de la nappe souterraine du Continental Intercalaire (CI), à partir d'une batterie de forages implanté à 70 km au nord de la ville de In Salah.

Dans ce chapitre nous traiterons en détail le concept et le fonctionnement du champ de captage, ainsi que les caractéristiques techniques et technologiques des différents éléments constituant ce système.

IV.2. Situation et caractéristiques du site du transfert

IV.2.1. Consistance du transfert

On générale nous remarquons que le transfert est constitué de quatre parties principales ils sont les suivants :

- Un champ de captage d'une capacité maximale de production de 50 000 m³/jour
- Six (06) stations de pompage de conception identique ;
- 1255 km de conduites d'adduction de 1400 à 700 mm de diamètre ;
- Un (01) réservoir terminal d'une capacité de stockage de 50'000 m³ ;

La figure IV.1 montre l'implantation du transfert du nord au sud avec le champ de captage au nord de la ville de In Salah, la conduite à écoulement gravitaire, six stations de pompage avec double conduite de refoulement et les ouvrages d'arrivée à l'entrée de la ville de Tamanrasset. (ADE projet)

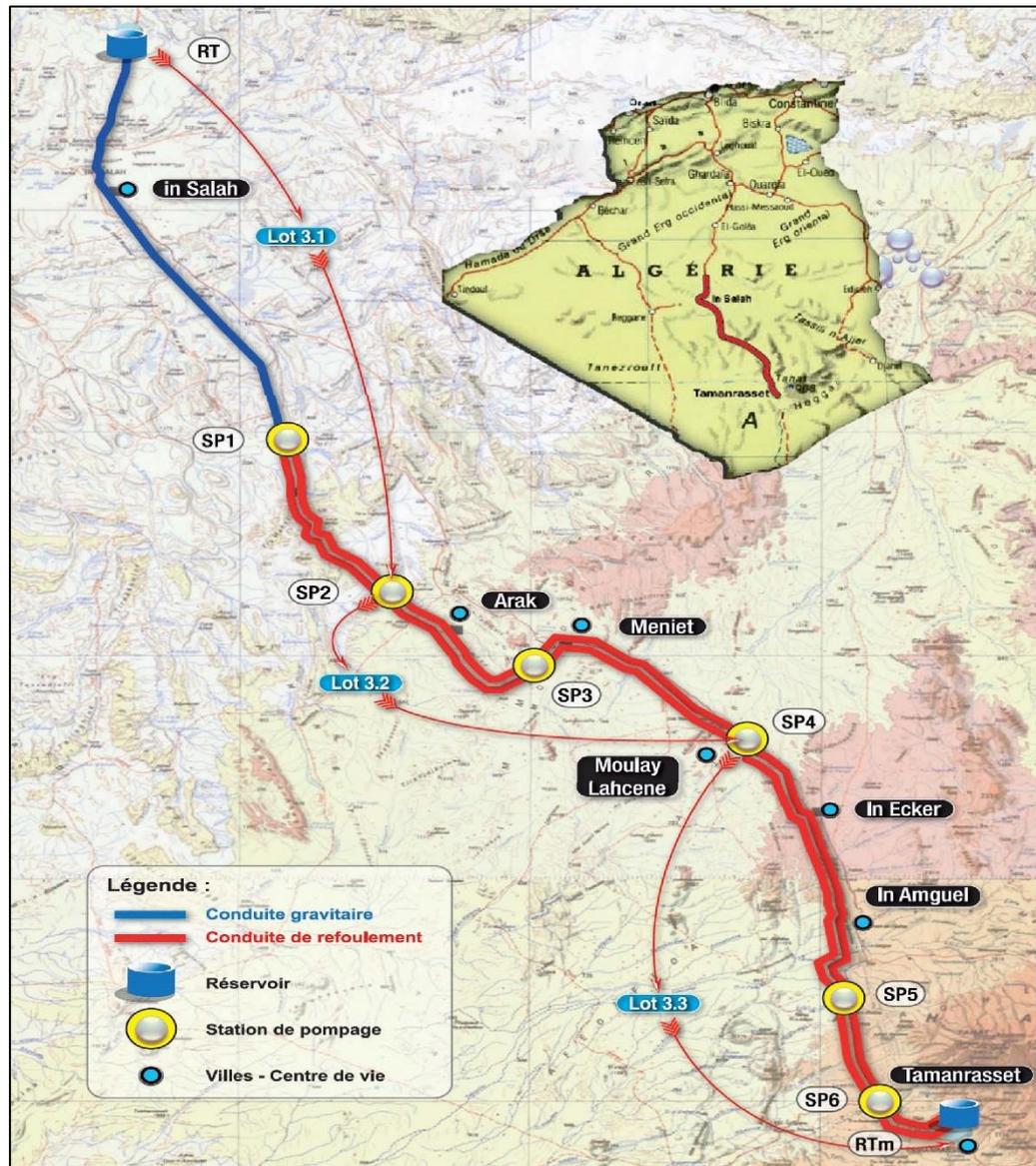


Figure IV.1: Carte d'implantation du transfert « In Salah – Tamanrasset » (ADE projet).

IV.2.2. Localisation géographique

La ville de Tamanrasset se situe dans le massif de l'Ahaggar, dans le sud du Sahara Algérien. C'est le chef-lieu de la Wilaya qui en porte le nom. Elle comprend 7 Daïrates et 10 communes, dont celle de In Salah. Les deux villes de Tamanrasset et In Salah, distantes de 650 km environ, constituent les extrémités sud et nord du présent aménagement.

La Route Nationale n°1 "RN1" relie Tamanrasset à Alger via In Salah et constitue l'axe vital du site du transfert en matière de développement.

La RN1 traverse le massif d'Arak en passant sur 30 km dans une vallée encaissée, exposés à des crues d'oued dévastatrices. Pour cette raison, le tracé de l'adduction contourne le massif d'Arak par le sud.

La dénivelée entre In Salah et Tamanrasset est de plus d'un 1000m (1km).

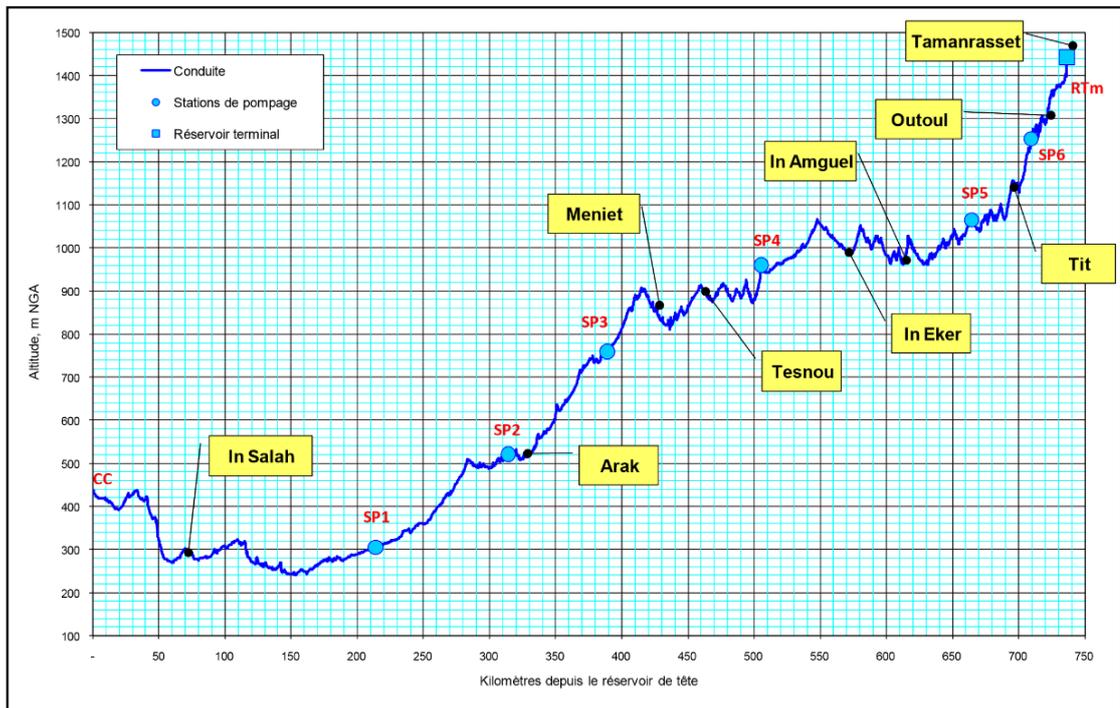


Figure IV.2: Profil en long schématique de l'adduction (ADE projet)

Le graphique (figure IV.2) ci-après montre un profil en long schématique de l'adduction du champ de captage jusqu'au réservoir d'arrivée à Tamanrasset.

IV.3. Concept de fonctionnement d'ensemble du transfert

La figure IV.3 donne une représentation schématique du transfert du réservoir de tête (RT) au champ de captage jusqu'au réservoir terminal (RTm) en passant par six stations de pompage. Les vannes de sectionnement sont placées à titre indicatif. Elles sont peu nombreux compte tenu des conditions particulières du transfert.

Le centre de contrôle donne et actualise une consigne de débit journalier. Il collecte périodiquement les données de fonctionnement des différents ouvrages. Il reçoit automatiquement les alarmes fatales. (ADE projet)

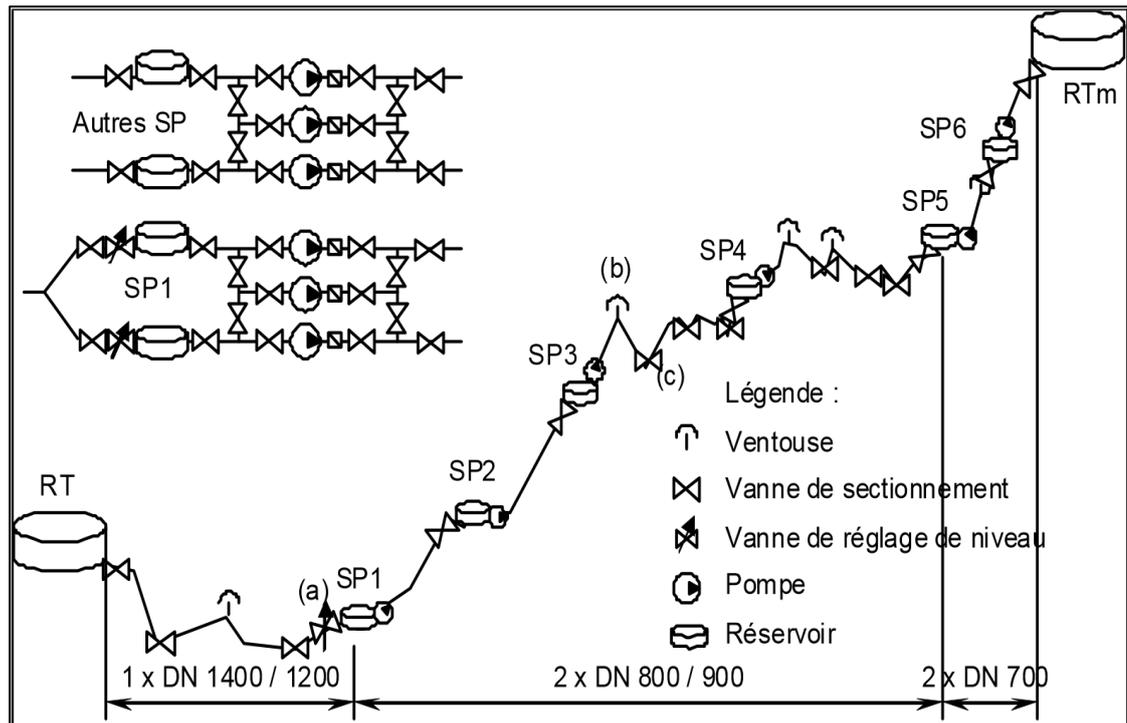


Figure IV.3: Schéma vertical de principe du transfert. (STUCKY ENHYD)

Le réseau de collecte fonctionne de manière autonome, sur la base d'une consigne de débit moyen journalier donnée par le centre de contrôle. Cette consigne peut être modulée pour une réduction de puissance en heures de pointe pour une priorité sur la consommation électrique. Elle peut aussi être ajustée pour maintenir le réservoir de tête près de son niveau haut pour une priorité sur la sécurité du transfert d'eau.

Le système de transfert fonctionne avec des variations de débit aussi lentes que possible. Ceci est imposé par les très grandes longueurs de conduites entre stations de pompage. Les stations de pompage fonctionnent à vitesse variable. (STUCKY ENHYD)

IV.4. Concept de champ de captage

IV.4.1. Choix du site d'implantation des forages

Pour l'alimentation en eau potable de la ville de Tamanrasset à partir de la région de In Salah, une enquête et des simulations sur le modèle SASS ont conduit à délimiter l'emplacement du champ de captage au pied de la falaise de Tademaït, en bordure de la RN1, au sud de l'oued Redjem, à 70km au nord de In Salah. Avec cet emplacement, les influences réciproques des prélèvements sur l'exploitation agricole actuelle d'une part et sur les prélèvements planifiés pour les besoins du développement agricole d'autre part sont acceptables. (ADE projet)

IV.4.2. Emplacement du champ de captage

Le site du champ de captage est situé au nord de In Salah, limité à l'est par la RN1 et à l'ouest par un oued, au nord par la falaise du Tademaït.

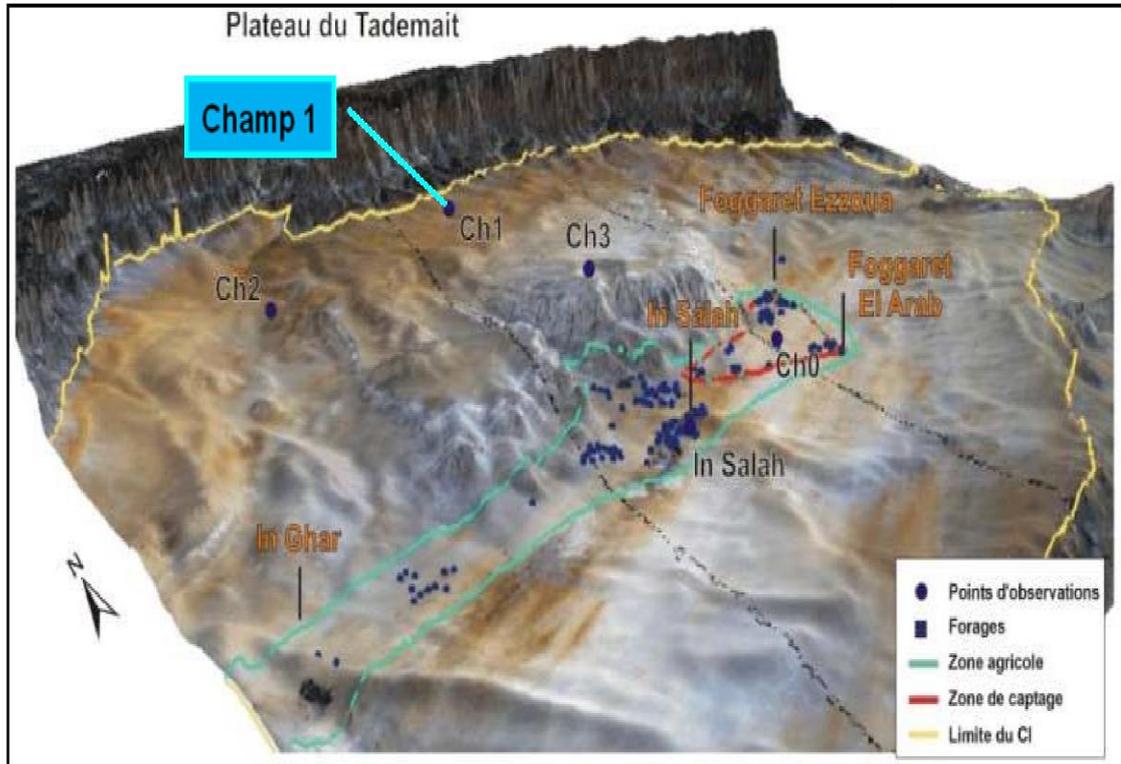


Figure IV.4: Emplacement du champ de captage dans la région de In Salah (ADE projet)

IV.4.3. Description des ouvrages du champ de captage

Le réseau de collecte exploite 24 forages de 600 m de profondeur, avec chambre de pompage à 270 m de profondeur sur le champ de captage, 70 km au nord de In Salah. Le réseau de collecte et les ouvrages annexes comprennent :

- a) Vingt-quatre (24) installations de pompage dans des forages profonds (600 m de profondeur) pour 50000 m³/jour.
- b) Huit (8) châteaux d'eau avec les conduites de liaison depuis les têtes de forage et jusqu'à la chambre de réglage à l'entrée du réservoir de tête.
- c) Un système d'alimentation électrique avec poste de couplage et transformation depuis l'arrivée d'une ligne à haute tension, distribution moyenne tension dans le champ de captage, groupes électrogènes de secours et systèmes basse tension.
- d) Un réservoir de tête de 50000 m³.

- e) Un système de prétraitement de l'eau avec préparation d'hypochlorite, chloration, correction du pH pour mise de l'eau à l'équilibre calco-carbonique et laboratoire.
- f) Station de déminéralisation
- g) Les ouvrages associés : salle de commande, chambre de débitmètre, atelier, magasin, défense contre l'incendie etc.
- h) Une cité d'exploitation.

Vingt-quatre forages identifiés selon une grille A-F, 3 –6 comme indiqué sur la figure IV.5 sont disposés selon une maille de 1000 m (1km).(ADE projet)

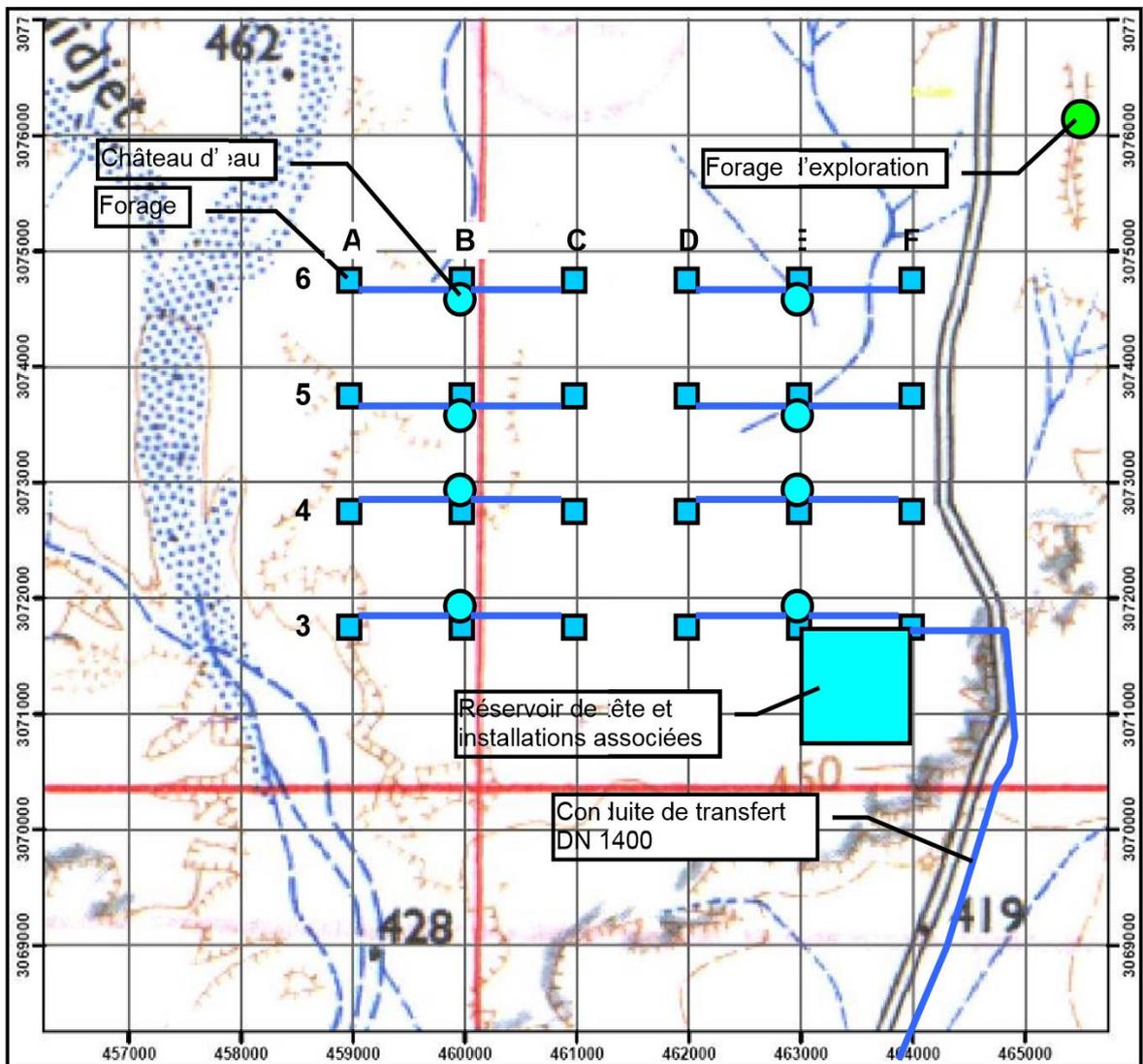


Figure IV.5 : champ de captage – Réseau de collecte et réservoir de tête. (MCC)

Le tableau IV.1 donne les altitudes du terrain naturel aux positions des forages.

Tableau IV.1: Altitudes du terrain des forages du champ de captage (MCC).

Altitudes m.NGA du terrain naturel au niveau des forages						
	A	B	C	D	E	F
6	445.50	442.70	442.90	441.50	442.30	442.70
5	440.90	439.80	441.80	439.90	438.50	439.40
4	445.40	440.60	440.30	438.40	437.30	437.60
3	443.50	440.60	439.30	437.60	437.60	437.80

IV.4.3.1. La complétion des forages de captage

IV.4.3.1.1. Mode de forage

Le forage exécuté par « ROTARY » avec circulation de boue synthétique au polymère dégradable. La densité recommandée pour la boue est de 1,20, viscosité moyenne comprise entre 40 et 45 seconde Marsh, et des mesures de contrôles pluri-journalières. L'utilisation de bentonite est interdite.

La pénétration de l'outil s'effectue par abrasion et broyage du terrain par rotation sans chocs. Un atelier de forage rotary se constitue en plus d'un outil des masses- tiges, d'un train de tiges, d'une tige carrée et d'une tête d'injection. Sous la double action (rotation et pression) de ces organes, l'outil détache du terrain, au fond du trou, les sédiments sont remontés sous l'action de la boue de forage injectée à l'intérieur des tiges par la pompe par l'espace annulaire. (Lamrahi.H. 2004).

IV.4.3.1.2. Tête du forage

Chaque tête de forage est préparée comme suit :

- Préparation d'une dalle en béton armé de 1 x 1 m, épaisseur 0.3 m, avec joint bitumineux de 5 mm autour de la tête de forage.
- Tube en acier de construction compatible API 5 CT 13''3/8 de la tête de forage arasé, avec bride plate en acier DN 350 PN 10, surface 0.5 m au-dessus de la dalle en béton ; peinture bitumineuse du tube sous et dans le passage de la dalle ; peinture époxy de l'ensemble tube et bride.
- Bride pleine DN 350 PN 10 avec joint plat et boulonnerie en acier inoxydable, avec trou taraudé 1'' gaz cylindrique, zinguée au bain, avec bouchon 1'' gaz en fonte malléable zingué au bain (MCC).

IV.4.3.1.3. Colonne de protection

La colonne de captage présente un recouvrement de 5 m avec la chambre de pompage.

Elle est isolée de celle-ci par un joint néoprène. Un dispositif de gravillonnage par circulation (port collar et crépine témoin) est placé à sa partie supérieure. Suivant la lithologie, une ou plusieurs zones sont crépinées.

Des tubes d'extension aveugles (filetés manchonnées) sont placés au droit des couches argileuses. Un tube décanteur de 6 m avec bouchon de lavage est placé à la base. La position, la longueur des tubes aveugles et des crépines,

La longueur moyenne des crépines est de 100 m, celle des tubes pleins de 100 m pour la solution de base, 230 m pour la variante, (figure IV.6). La profondeur moyenne de la base des crépines est de 600 m, la profondeur maximum de 650 m. Des centreurs à lames sont placés chaque 12 m sur la colonne de captage de diamètre 6" 5/8 (MCC).

IV.4.3.1.4. Equipement en pompe immergée

La fourniture comprend vingt-quatre (24) pompes complètes installées dans chambre de pompage (figure IV.7) Ils sont placés selon l'HMT de la pompe.

Le moteur est à démarreur électronique, la puissance est de l'ordre de 160 kW et le courant nominal est de l'ordre de 300 A. (Voir annexes ; 13,14).

IV.4.3.1.5. Conduite de refoulement

Les forages sont raccordés par groupes de trois sur les huit châteaux d'eau B3 à B6 et E3 à E6, avec une vanne de vidange 1'' au départ de la tête de forage (figure IV.7). Les conduites de refoulement ont une longueur de 1000 m pour les forages des séries A, C, D et F, et une longueur minime pour les forages des séries B et E.

Les conduites de refoulement entre les forages et les châteaux d'eau ont une pente montante de 2 mm/m, constante de la tête de forage au château d'eau. Elles sont montées sur sellettes (MCC).

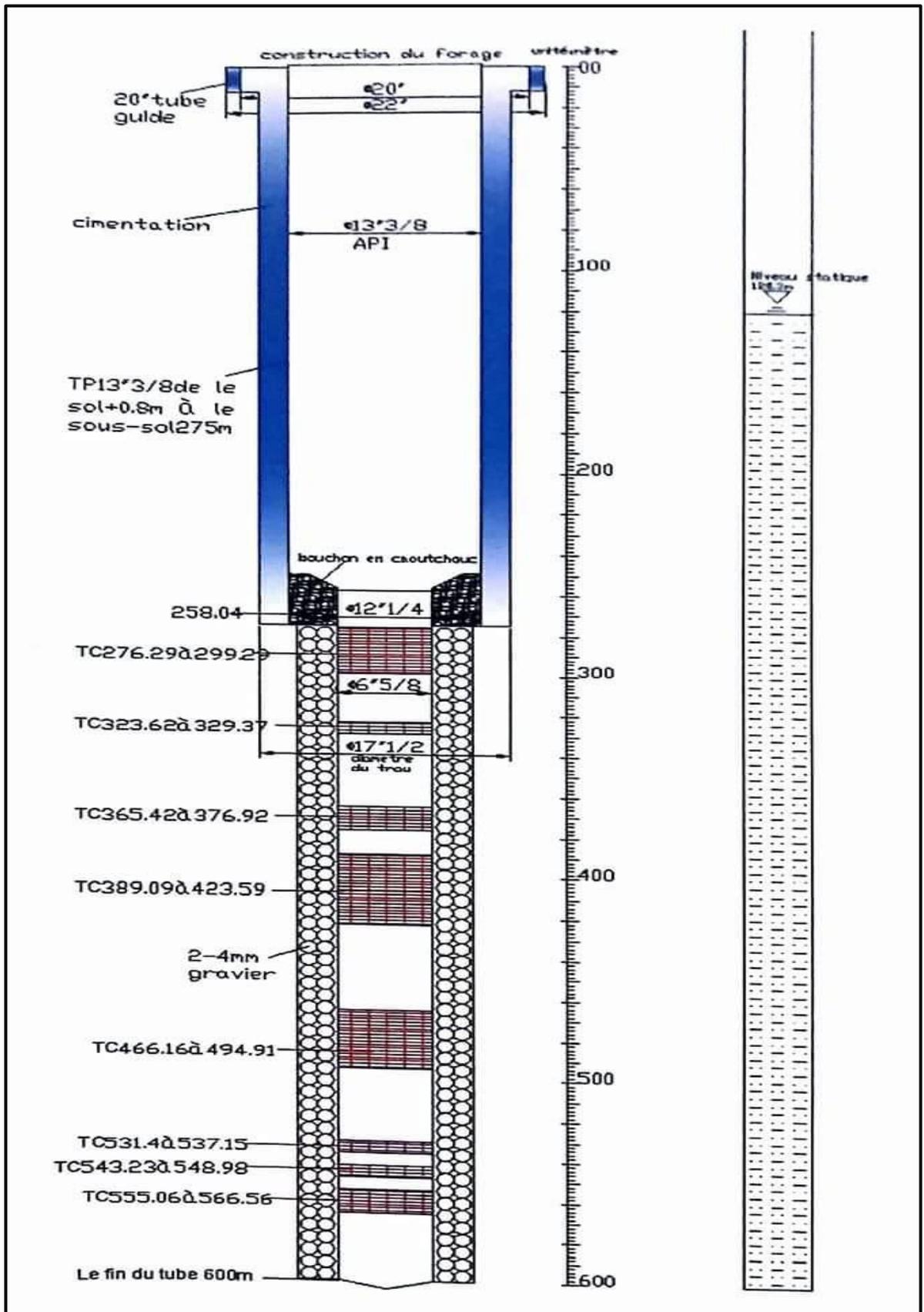
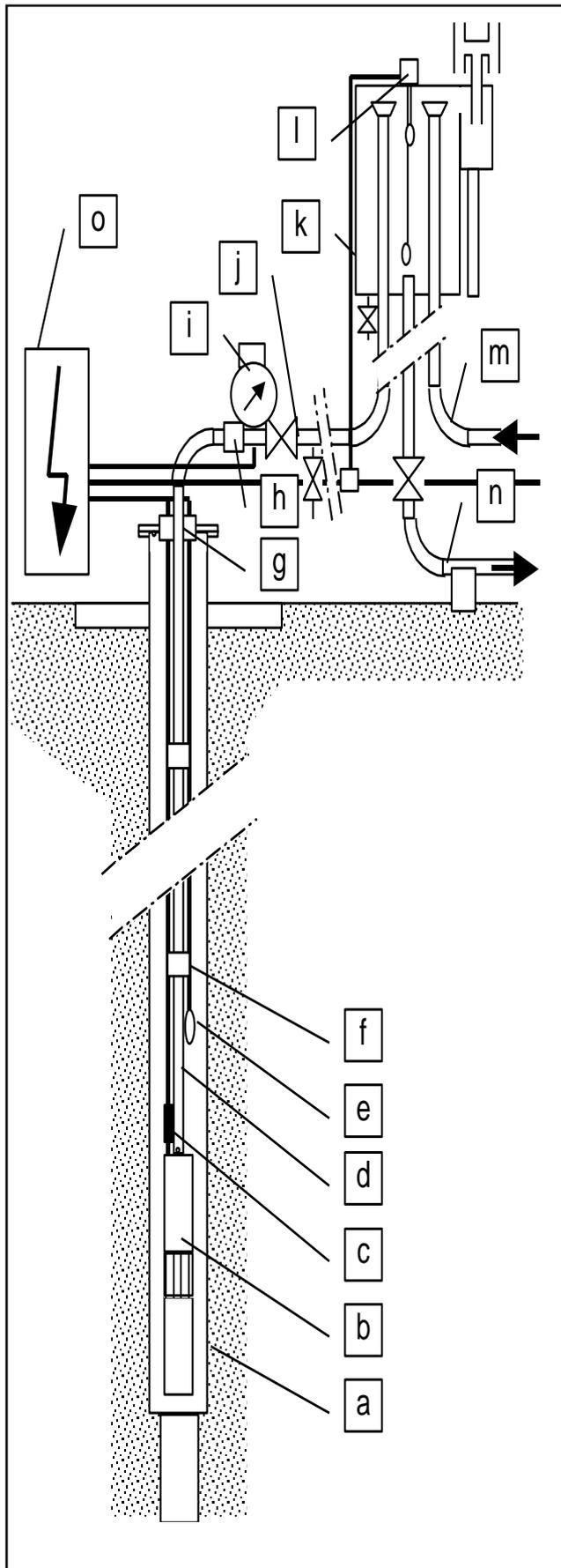


Figure IV.6: Coupe technique du forage C05(MCC).



- a) Chambre de pompage $\varnothing 13''3/8$, fond 270 m sous la tête de forage, alimentée par en dessous par des crépines $\varnothing 6'' 5/8$.
- b) Pompe de forage, débit nominal 35 l/s.
- c) Epissure de câble.
- d) Conduite de refoulement en éléments démontables.
- e) Détecteur de niveau bas.
- f) Collier de fixation.
- g) Tête de forage avec passages de conduite et de câbles.
- h) Pièce de démontage.
- i) Ventouse, manomètre, compteur d'eau, détecteur de débit.
- j) Vanne de sectionnement, vidange.
- k) Château d'eau avec évent.
- l) Détecteurs de niveaux haut et bas.
- m) Arrivée d'un autre forage.
- n) Départ du château d'eau.
- o) Cabine électrique de tête de forage.

Figure IV.7: Système de pompage(MCC).

IV.4.3.2. Châteaux d'eau

Les châteaux d'eau sont couverts, en acier zingué au bain, avec trou d'homme DN 600 à couvercle verrouillé, avec une boîte latérale formant trop-plein (photo IV.1) et évent à H de marine sans pénétration de poussières.

Ils sont composés d'une cuve rectangulaire de 180 m³ de capacité et de hauteur variable par rapport au sol. La cuve est soutenue à la fondation par deux rangées de poteaux en profil d'acier zingués au feu, avec les raidisseurs nécessaires pour assurer la tenue aux sollicitations horizontales (vent). Les poteaux sont fondés sur un maillage de fondations filantes. La couverture en tôle d'acier zinguée au feu est conique pour assurer une rigidité suffisante. Elle est surmontée d'une superstructure porteuse et d'une toiture.

Trois conduites de refoulement de forages DN 150 aboutissent par des déversoirs dans chaque château d'eau (figure IV.7), par le fond ou par le côté, Deux conduites de départ DN 300 ont leur entonnement 10 cm au-dessus du radier du château d'eau. Une vidange avec vanne 1'' est placée au point bas, Une échelle à crinoline en acier zingué, avec grille d'entrée verrouillée, permet l'accès à l'évent et au trou d'homme. Une balustrade en acier zingué est montée autour de chaque château d'eau (MCC).



Photo IV.1: Châteaux d'eau.

IV.4.3.3. Station de déminéralisation

L'eau extraite dans la région de In Salah est potable. Elle est désinfectée en tête de transfert avec cinq désinfections de rappel et une désinfection finale à l'arrivée. La conception du transfert devrait minimiser les entrées de poussières et autres contaminants. Cette eau reste remarquable par sa minéralisation totale de 2 g/l et par ses taux élevés de chlorures et sulfates, ces deux taux ainsi que la minéralisation totale étant susceptibles d'augmenter avec le temps. Dans le cadre d'une évolution vers des normes plus sévères, L'usine a été construite de déminéralisation pour ramener la minéralisation totale au-dessous de 1 g/l (figure IV.8).

Son implantation a été fixée en tête du transfert, (Voir annexe ;16). (CTH).

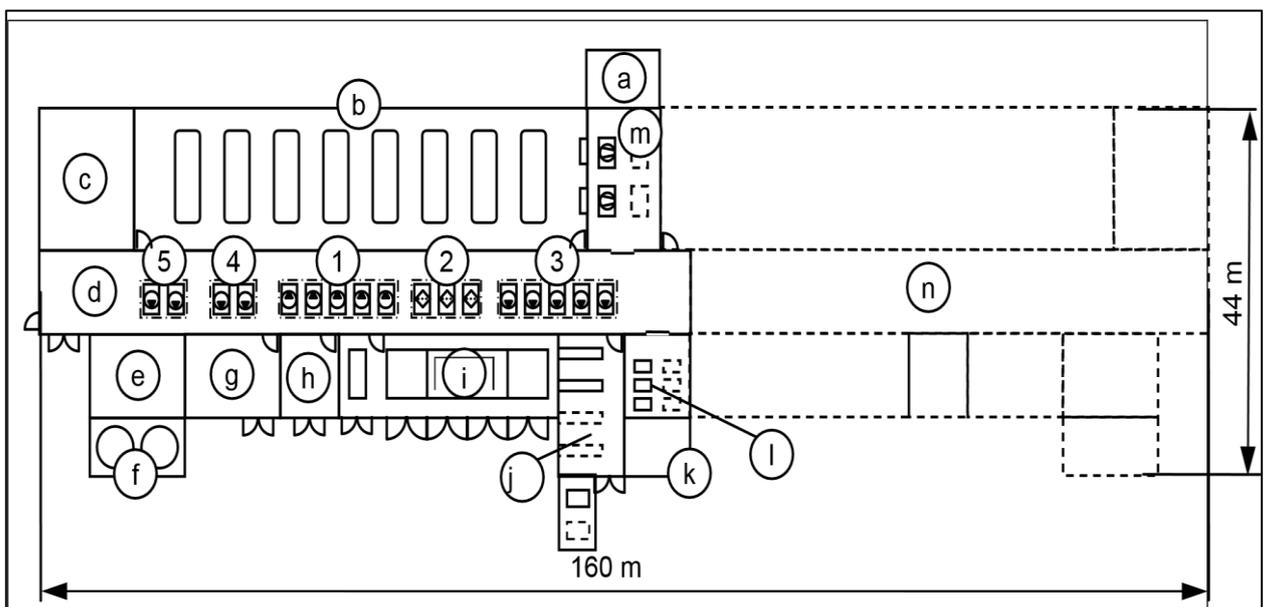


Figure IV.8: Disposition de la station de déminéralisation(CTH).

Les ouvrages principaux de la station de déminéralisation installés sont :

- a) Chambre d'arrivée des quatre conduites de liaison DN 600.
- b) Plate-forme des filtres à sable - charbon.
- c) Bâche d'eau de rinçage des filtres.
- d) Salle des pompes avec place de montage, desservie par pont roulant. Cette salle contient notamment :
 - 1) Pompes de reprise d'eau filtrée.
 - 2) Filtres fins.
 - 3) Pour un procédé d'électrodialyse, des filtres à cartouche de charbon actif pour l'élimination des traces de résines.

Pour un procédé d'osmose inverse, des groupes de pompes haute pression avec turbine de récupération d'énergie.

- 4) Pompes de lavage des filtres (1+1).
- 5) Pompes de by-pass d'eau filtrée, à vitesse variable (1+1).
- e) Bâche d'eau filtrée.
- f) Stockage de réactifs à vapeurs toxiques.
- g) Local des réactifs avec pompes de dépotage et de dosage.
- h) Local de climatisation.
- i) Local des filières de déminéralisation et du groupe de lavage.
- j) Local de distribution 400 V avec poste de transformation 10 – 0.4 kV et place en réserve pour l'extension de phase 2.
- k) Bâche d'eau traitée.
- l) Local des pompes de reprise d'eau traitée à vitesse variable avec pont roulant ;
- m) Local des compresseurs avec pont roulant avec place en réserve pour l'extension de phase 2 ;
- n) Espace réservé pour l'extension de phase 2 ;

Pour assurer l'accès aux locaux des pompes de reprise d'eau traitée et des compresseurs, la salle des pompes couvre une partie de l'espace réservé pour l'extension de phase 2 ;

Compte tenu de la longueur de la salle des pompes, une place de montage avec accès pour véhicule lourd est ménagée à chaque extrémité ;

La salle de commande est placée en extrémité de la place de montage, le laboratoire, le local des groupes électrogènes et l'atelier sont des bâtiments séparés ;

La conduite d'évacuation des effluents est souterraine, en béton armé résistant aux sulfates ; (MES).

La station de déminéralisation est construite en deux phases :

- Le débit de phase 1 est 45 000 m³/jour d'eau brute en régime permanent, c'est-à-dire 0.52 m³/s.
- Le débit de phase 2 est 90 000 m³/jour d'eau brute en régime permanent, c'est-à-dire 1.04 m³/s.

Les équipements de phase 1 absorbent le débit de phase 1. Ils doivent assurer une production journalière garantie d'au moins 38000 m³ d'eau partiellement déminéralisée

conforme aux normes internationales pour l'eau potable. Résumé de la façon dont la station fonctionne dans la figure suivante :

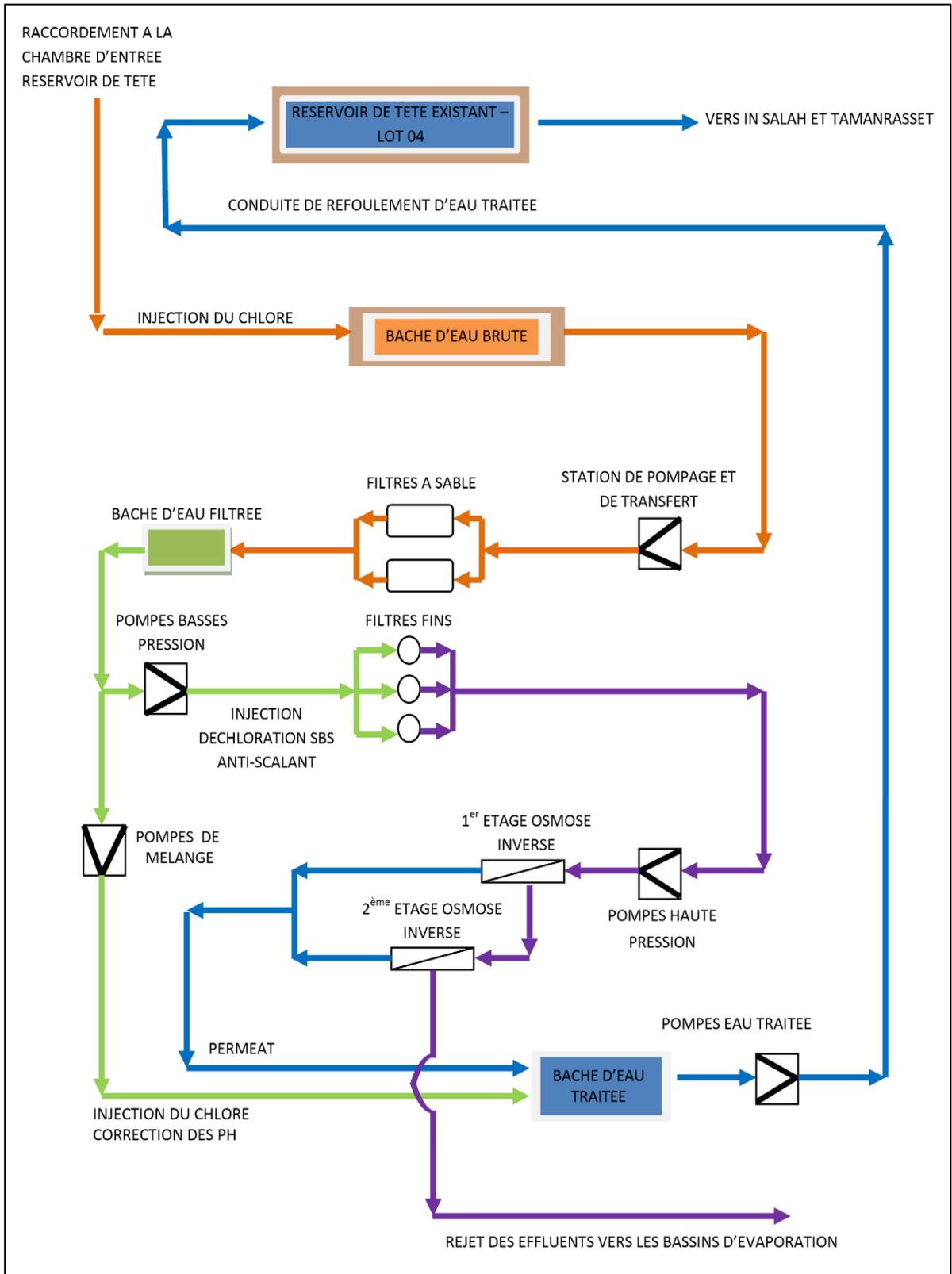


Figure IV.9 : Schéma synoptique de la station de déminéralisation d'eau par osmose inverse(MES).

IV.4.3.4. Réservoir de tête

Le réservoir de tête RT a une capacité utile de l'ordre de 50000 m³, suffisante pour couvrir 24 heures d'arrêt de pompage ou du système de correction de pH. Il est divisé en deux chambres de stockage (figure IV.10), deux ensembles de bassins de mélange d'additifs et une chambre de sortie. Les vannes écluses vers la chambre de sortie sont motorisées et agissent comme vannes de tête du transfert. Les ouvrages principaux du réservoir de tête sont :

- 1) Chambre des débitmètres et vannes de réglage à l'arrivée au réservoir depuis les châteaux d'eau.
- 2) Réservoir de tête avec chambres de mélange d'additifs avec zone d'extension.
- 3) Chambre de débitmètre de sortie.
- 4) Locaux de préparation d'hypochlorite et de dosage de produits de traitement, local de stockage.
- 5) Laboratoire avec coin bureau.
- 6) Poste de transformation haute tension.
- 7) Poste de distribution 10 kV avec coin bureau, local de distribution 400 V avec coin bureau.
- 8) Local des groupes électrogènes avec pont roulant.
- 9) Echangeurs de chaleur de réfrigération, cheminées.
- 10) Salle de commande avec WC.
- 11) Atelier avec coin bureau et WC, magasin.
- 12) Dépôt de carburant, local de transfert de carburant.
- 13) Local des pompes à incendie.



Photo IV.2: Réservoir de tête.

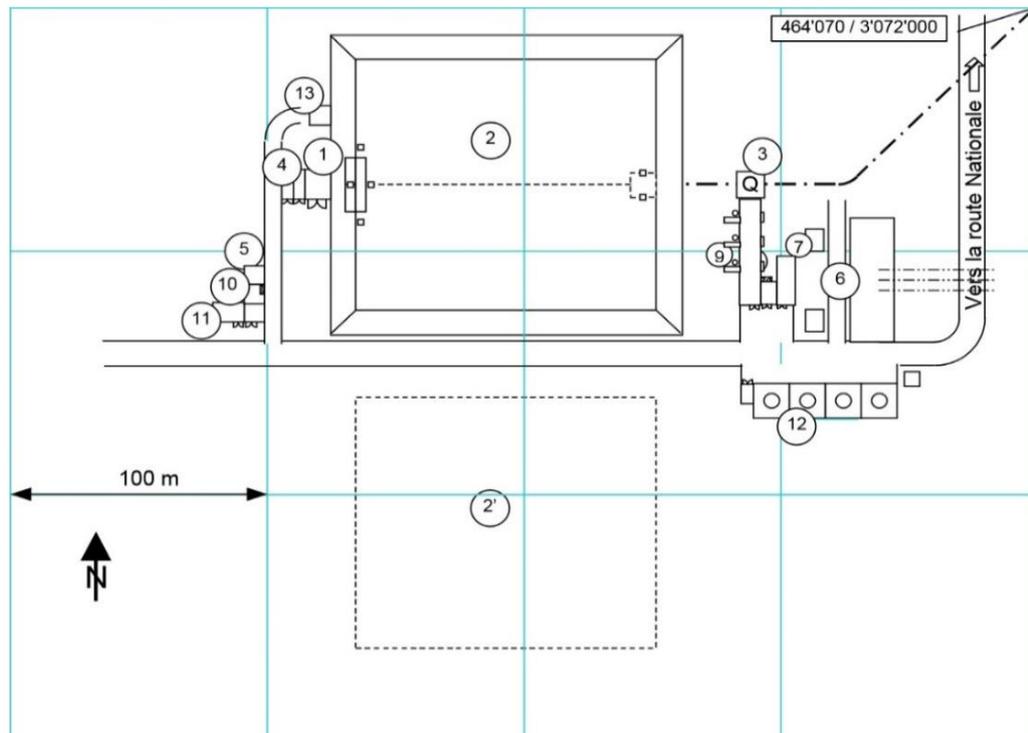


Figure IV.10: Disposition des ouvrages du réservoir de tête RT(MCC).

IV.4.4 Les stations des pompages

IV.4.4.1. Caractéristiques des stations de pompage

Le transfert comporte six stations de pompage de conception identique avec notamment pour chaque station :

- a) Une chambre de débitmètres et vannes d'entrée.
- b) Une chloration de rappel.
- c) Deux réservoirs de 2 000 m³ chacun.
- d) Trois groupes motopompe à entraînement par moteur diesel, de hauteur manométrique totale de 320 mCE sous 0.579 m³/s.
- e) Un collecteur de sortie avec vannes et débitmètres.
- f) Un ensemble de stockage et alimentation de carburant.
- g) Les ouvrages associés : salle de commande, atelier, magasin, défense contre l'incendie etc. avec une cité d'exploitation. (Voir annexe ;16).

IV.4.4.2. Disposition et emplacement des stations

Toutes les stations de pompage sont identiques, sauf la SP1 qui comporte des vannes de régulation de niveau à l'entrée de la conduite à écoulement gravitaire dans ses réservoirs d'aspiration.

La figure IV.11 montre la disposition de principe des stations de pompage en bord de route.

Toutes les stations de pompage sont réglées de la même manière : elles adaptent la vitesse de rotation des pompes en service, par impulsions. Pour les SP2 à 6, la consigne de réglage porte sur le niveau dans les réservoirs d'aspiration. La station de pompage SP1(photo IV.3) reçoit sa consigne de débit du centre de contrôle et les vannes de réglage de niveau adaptent le remplissage des réservoirs d'aspiration. (STUCKY ENHYD)

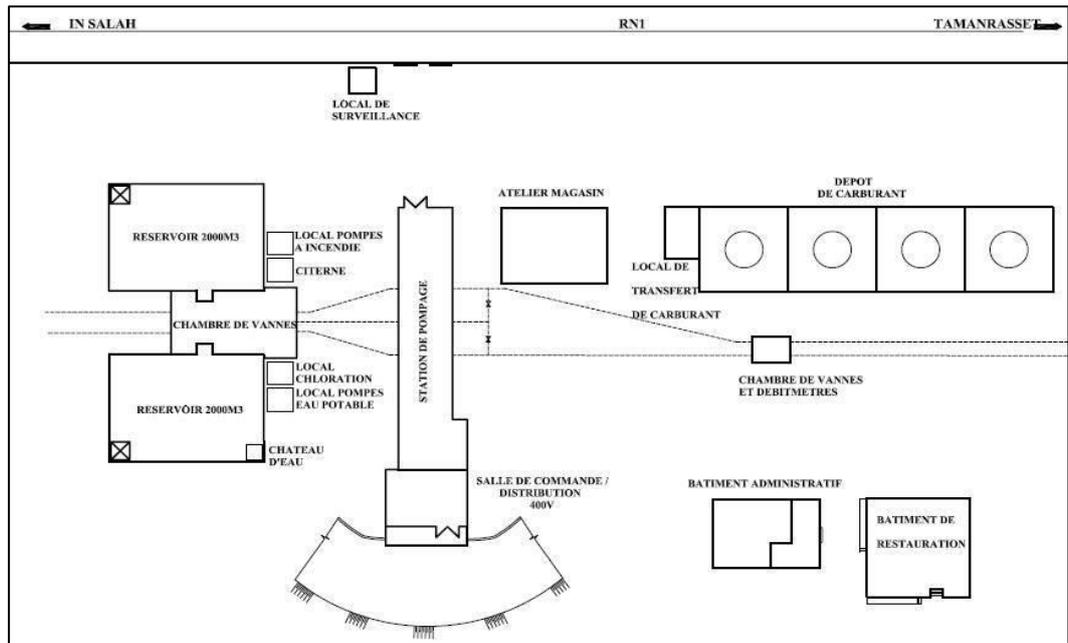


Figure IV.11: Structures principales des stations de pompage (STUCKY ENHYD).



Photo IV.3 : Salle des pompes.

Chaque station de pompage est équipée avec trois pompes à plan de joint horizontal, débitant 0.579 m³/s sous une hauteur manométrique totale (HMT) de 320 mètres de colonne d'eau (mCE).

IV.4.5. Cité d'exploitation

La cité d'exploitation est placée près de la station de pompage selon la configuration du terrain. Elle comporte :

- Un bâtiment administratif.
- Un bâtiment de restauration.
- Un dortoir.
- Deux villas des cadres.
- Une villa du chef de station.
- Un bâtiment du service de sécurité.
- Neuf villas-studios à quatre studios.
- Une place de parc ombragée pour 12 véhicules légers.

La figure IV.12 montre un exemple de disposition des bâtiments de la cité d'exploitation.

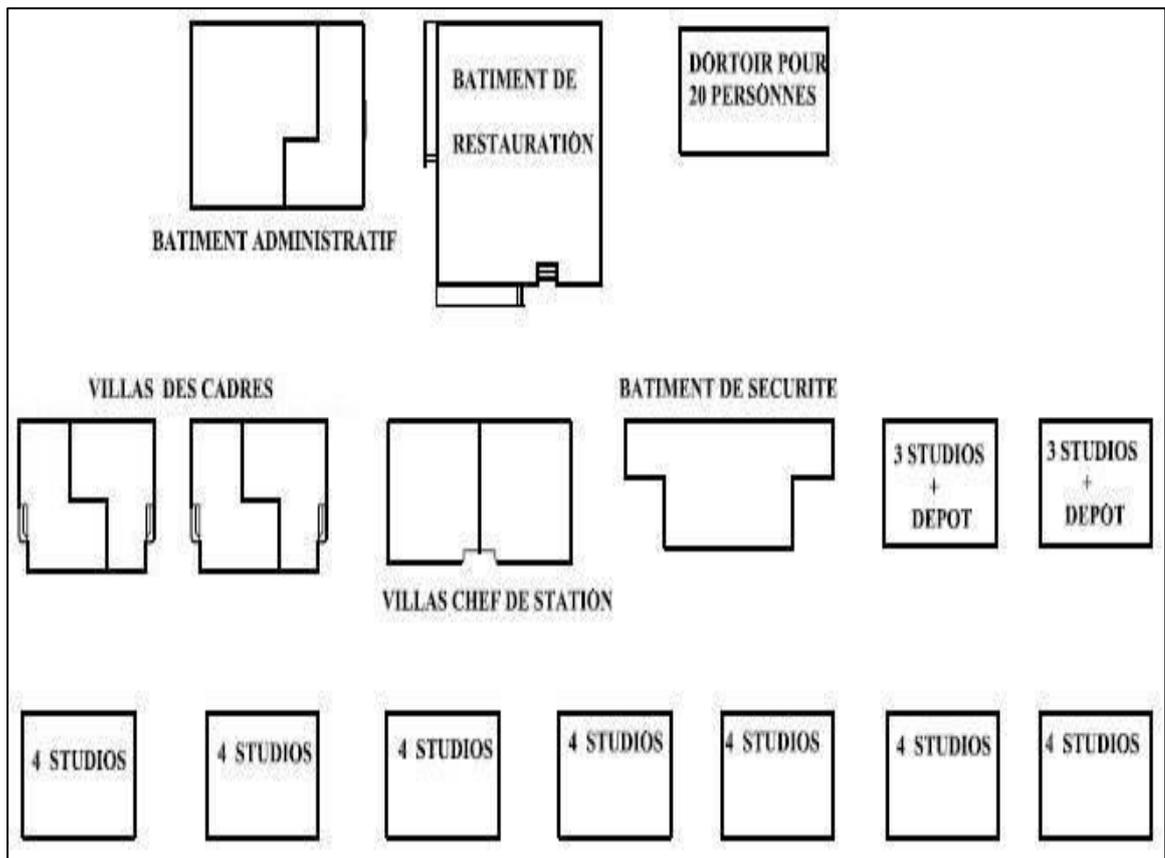


Figure IV.12 : Cité d'exploitation. (STUCKY ENHYD)

IV.4.6. Réservoir terminal

IV.4.6.1. Emplacement du réservoir terminal

Le réservoir terminal est placé dans une cuvette sur le flanc Est d'une colline rocheuse à côté des réservoirs existants de l'adduction In Amguel – Tamanrasset. Le site est légèrement plus élevé que les toits des réservoirs existants.

La chambre de comptage est située au nord de la RN1, en pied de colline(photoIV.4). Le réservoir terminal est construit sur la première terrasse de la colline. La cité d'exploitation est située à l'est de la colline. (Voir annexes ;15).



Photo IV.4: Réservoir terminal.

IV.4.6.2. Description générale du réservoir terminal

Le réservoir terminal a été redéfini pour une fonction de sécurisation du réseau de distribution. On peut distinguer pour le réservoir terminal :

- Un réservoir à deux chambres.
- Une chambre de sortie en béton commune aux deux chambres.
- Deux conduites entrantes en acier soudé DN 600 depuis la chambre de comptage.
- Deux conduites sortantes en acier soudé DN 800 jusqu'à la chambre de comptage.
- Un exutoire de trop-plein DN 800 de chaque chambre du réservoir et un collecteur de trop-plein en béton DN 1200 jusqu'à la citerne à proximité de la chambre de comptage.
- Deux tuyaux de vidange en fonte ductile DN 200, avec sortie dans le trop-plein.

- Deux gaines synthétiques enterrées pour l'alimentation du réservoir en courant alternatif 230 V et pour la transmission des mesures entre le réservoir et le centre de contrôle du transfert.
- La clôture et les installations de surveillance.

IV.4.6.3. Disposition des structures du réservoir terminal

Le réservoir est composé de deux chambres en béton armé de volume utile 25 000 m³ chacune. Comme indiqué sur la figure IV.13, chaque chambre comporte :

- ❖ Une entrée avec col de cygne DN 600.
- ❖ Une conduite sortante DN 800 avec passage de mur étanche en fonte ductile et bride DN 800 PN 10 dans la chambre de sortie.
- ❖ Une vidange DN 200 avec passage de mur étanche en fonte ductile et bride DN 200 PN 10 dans la chambre de sortie.
- ❖ Un reniflard avec bride DN 100 PN 10 dans la chambre de sortie.
- ❖ Une cheminée de trop-plein.

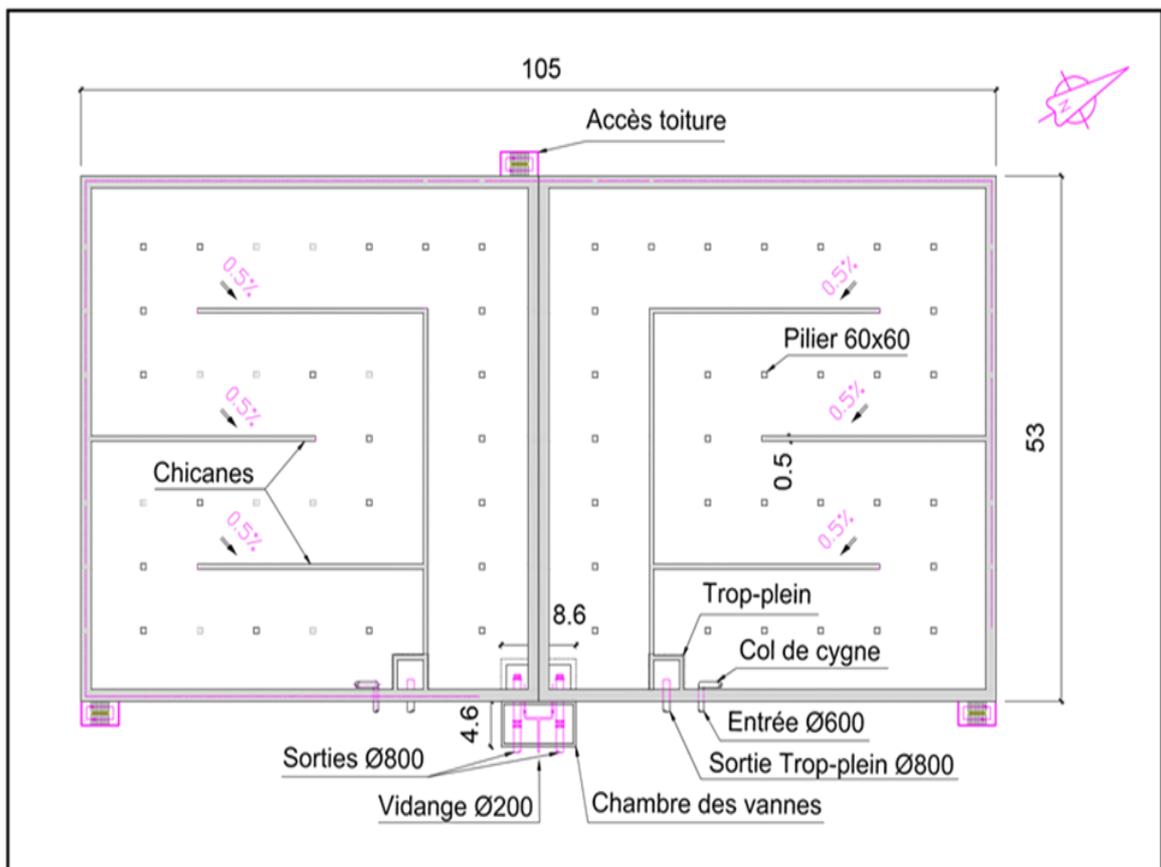


Figure IV.13 : Disposition des chambres et autres ouvrages principaux du réservoir terminal.(MCC)

IV.4.7. Contrôle du transfert

Le centre de contrôle du transfert est situé à côté de la chambre de comptage à Tamanrasset(photo IV.5). Depuis le centre de contrôle, l'opérateur transmet le débit de consigne à la SP1 et recueille les données de fonctionnement du champ de captage et de toutes les stations de pompage.

L'enregistrement des indications à distance est transmis du réseau de collecte, de chaque station de pompage, de la chambre de comptage et du réservoir terminal au centre de contrôle sur requête du centre de contrôle. A chaque transfert de données, l'automate du centre de contrôle synchronise les automates des autres sites sur la base du système de télégestion. Les données transmises comportent notamment pour toute la période depuis la dernière transmission :

- a) Pour toutes les grandeurs proportionnelles, la valeur maximum, moyenne et minimum observée chaque heure.
- b) Pour toutes les grandeurs logiques, le nombre de valeurs positives observé chaque heure.
- c) Toutes les alarmes.
- d) Le journal d'exploitation pour la période concernée.

Ces données sont sauvegardées automatiquement au centre de contrôle. Les alarmes fatales et leur quittance sont immédiatement transmises au centre de contrôle.

Le centre de contrôle peut en tout temps modifier prioritairement le débit de consigne de la SP1 et les niveaux de consigne des réservoirs des SP2 à SP6.



Photo IV.5: Centre de contrôle à Tamanrasset.

IV.4.8. Chambre de comptage

La chambre de comptage est un local fermé en béton armé. Une structure d'entrée en maçonnerie en surface abrite les conditionneurs des débitmètres.

La chambre de comptage est située au nord de la RN1, en pied de colline. Le réservoir terminal est construit sur la première terrasse de la colline.

La chambre de comptage et de vannes réalise le contrôle et la répartition des eaux à l'arrivée du système de transfert vers un réservoir à deux chambres et vers les départs de distribution.



Photo IV.6 : Chambre de comptage

IV.5. Alimentation en énergie

Le concept d'alimentation en énergie a été élaboré en collaboration avec le Ministère de l'Énergie. Les pompes de forages et la station de traitement au champ de captage sont alimentées en électricité 220 kV depuis la nouvelle usine Sonelgaz de In Salah, avec une sécurisation à 100% par une production diesel-électrique sur site.

Les installations de pompage sont alimentées dans une première phase en carburant diesel depuis la nouvelle raffinerie d'Adrar. Les moteurs diesel des groupes motopompes sont

à alimentation mixte mazout – gaz. Selon la disponibilité de gaz naturel, le mélange en masses pourra atteindre 90% de gaz pour 10% de carburant liquide.

Le tableau IV.2 montre le calcul de consommation pour une alimentation 100% mazout (huile diesel DO). La consommation totale des 6 stations de pompage au débit nominal est de l'ordre de 130 tonnes par jour. En première approximation, ce chiffre de 130 t/j est valable aussi pour le mélange mazout – gaz naturel.

Chaque station de pompage est équipée avec 4 cuves de 180 m3 chacune, assurant une autonomie locale de 21 jours.

Tableau IV.2 : Consommation de carburant des stations de pompage, (SATEIG).

Station de pompage		1	2	3	4	5	6
Position	km	214	314	389	505	664	709
Pompage	kW	4 220	4 126	4 207	3 770	3 652	3 140
Pompage	kg/h DO	926	906	924	827	802	689
Auxiliaires	kg/h DO	43	43	43	43	43	43
Total	t/j DO	23.3	22.8	23.2	20.9	20.3	17.6

IV.6. Démographie et besoins en eau de la ville de Tamanrasset

Le projet vise à la couverture des besoins en eau potable de Tamanrasset et des localités environnantes à l'horizon de l'année 2050.

Le tableau IV.3 montre le scénario retenu pour la croissance de la population et la demande en eau correspondante. Il a été admis une croissance de 5% à 4% jusqu'en 2030, puis une diminution du taux de croissance pour atteindre 1.8% en 2050.

Une dotation totale en eau de 220 l/jour/personne a été prise, couvrant les besoins domestiques, artisanaux et publics. Cette dotation faible en comparaison internationale est à mettre en rapport d'une part avec les traditions d'économie d'eau en pays aride, et d'autre part avec la grande valeur de l'eau extraite en profondeur, transférée par pompage jusqu'à Tamanrasset et partiellement déminéralisée.

Tableau IV.3 : Croissance de la population et besoin en eau. (STUCKY ENHYD)

Horizon		2005	2010	2020	2030	2040	2050	2080
Tamanrasset	Hab.	90 600	112 500	168 500	226 400	273 500	328 500	561 000
Centres secondaires	Hab.	2 700	3 100	4 000	5 200	6 800	8 900	19 800
Total Population	Hab.	93 300	115 600	172 500	231 600	280 300	337 400	580 800
Besoins	m ³ /jour		25 522	38 085	51 133	61 885	74 492	128 230

IV.7. Débit en eau transfère

En d'études détaillé, l'Administration a ajouté aux besoins calculés d'autres besoins. Le débit journalier du projet est porté à 100 000 m³/jour soit 1.157 m³/s pour l'eau traitée en tête du transfert.

IV.8. Conclusion

Le transfert est constitué d'un champ de captage d'une capacité maximale de production de 50 000 m³/jour et six stations de pompage et 1255 km de conduites d'adduction, se termine avec un réservoir terminal.

Après avoir connu la capacité de production du champ de captage et le scénario retenu pour la croissance de la population et la demande en eau correspondante, nous remarquons que ce champ de captage est insuffisant pour la couverture des besoins en eau potable de Tamanrasset et et ces localités environnantes à l'horizon de l'année 2050 ce qui nécessite la mobilisation des quantité complémentaire par installation d'autre champ.

C*onclusion*

Générale

CONCLUSION GENERALE

Le champ de captage a été implanté au Nord de la ville de Ain Salah a une distance de 70km à proximité du Piémont du plateau de Tademaït., et de 720km du chef-lieu de la wilaya de Tamanrasset.

Le secteur d'étude fait partait d'une grande zone allongée sensiblement, orientée SO-NE elle renferme trois traits morphologiques : Plateau de Tademaït, Reg, Sebka.

Nous avons examiné au travers de ce travail La région de champ de captage, qui est caractérisée par un climat saharien de type hyper aride. Les précipitations annuelles sont très faibles, et La température moyen mensuelle est trop élevée durant toute l'année, et elle est de 27°C.les vents sont particulièrement violents.

La géologie de la région est très importante, Le Crétacés Inférieur couvre une grande partie de notre région d'étude, Le Crétacés Supérieur est présent au Nord de la région, et au Sud du plateau de Tademaït, et le paléozoïque couvre la partie Sud de la région et le Nord du Hoggar.

Le champ de captage dispose de 24 forage de profondeur 600m qui capte de la nappe Albien, le niveau statique est de 128m et la majorité des forages sont productifs avec de faible rabattement, peuvent assurer un débit très important qui peut dépasser 40 l/s.

L'ensemble des résultats obtenus par l'interprétation des courbes de pompage d'essai et les cartes de transmissivité nous ont permis de dire qu'on est dans le cas d'une nappe libre de bonnes caractéristiques hydrodynamiques, D'une manière générale, on estime que ces valeurs obtenues sont considérables, de ce fait on peut dire que notre nappe peut être exploitée du point de vue hydrodynamique.

L'étude hydrochimique des eaux du champ de captage que nous avons mené, a montré qu'on a des eaux chargées ; notamment en élément du chlorure et des sulfates, ce qui acquièrent une agressivité de cette eau pour les matériaux ferreux et les bétons.

Ces paramètres ne posent aucun problème de santé publique, mais donnent une saveur à l'eau qui peut ne pas être appréciée par des consommateurs n'ayant pas l'habitude de cette eau.

Pour les ouvrages la qualité chimique des eaux du champ de captage doit être prise en considération afin d'éviter une dégradation future de ces équipements.

Conclusion Générale

Pour le consommateur de ces eaux, nous recommandons de traiter les eaux par filtrage afin de les rendre un peu appréciables à l'usage domestique.

Recommandation

Pour une bonne continuité de fonctionnement de ce système qui est vital pour la population de Tamanrasset nous recommandons ;

- A de traiter la salinité élevée des eaux produites, pour éviter les complications sanitaires chez les consommateurs.
- L'entretien périodique pour les conduites pour éviter la corrosion avec le métal
- Inspection périodique des installations d'équipement.
- Installation d'un autre champ pour la couverture des besoins en eau potable de Tamanrasset et ces localités environnantes à l'avenir.

R *Références bibliographiques*

Références bibliographiques

Références bibliographiques

ANRH (Agence nationale des ressources hydrauliques) (2007) Champ de captage In Salah, Direction régionale Sud-Ouest Adrar, Rapport technique 63p.

BELLAOUEUR ABD EL-AZIZ, (2008), " Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la de Ouargla soumises à la remontée des eaux de la nappe phréatique et perspectives de palliatives (Sahara Nord-est Septentrional –Algérie) ", Mémoire Magistère, Université de Batna, 50p.

Bel. F., et Demargne F. 1966 : Etude géologique du Continental Terminal ; DEC, ANRH, Alger, Algérie, 24 planches, 22p.

BEL et CUCHE ; 1969 : Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal ; ERESS ; Ouargla.

Busson, G. 1970 : Le Mésozoïque saharien. 2ème partie : Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 11, 811p. Ed. C.N.R.S.

BURGEAP (1963) : Etude du Continental Intercalaire Saharien. Rapport scientifique, ANRH, Alger, Algérie.

CORNET. A, ROGNON. Ph ; 1961 : Les débits circulant dans la nappe du CI Sahara alg. Pub 57 AISH (coll Athènes) et Chron d'hydrog n°11,1967

GEOPETROLE ; 1963 : Etude analogique de la nappe du Continental Intercalaire saharien , pour l'org. mise en valeur sous-sol saharien.

HADJ FATEH I. et ROUAS D., (2013) .Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe du Continental Intercalaire de la région de Touat (wilaya d'Adrar), Mém, Ing, Ourgla, 122p.

Hanane LAMRAHI. 2004. Contribution à l'étude des pompages des eaux souterraines pour l'irrigation dans le périmètre irrigué des Doukkala. Mémoire de troisième cycle Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en Génie Rural.IAV Hassan II. Rabat Maroc.

Hounslow.A.W (1995): Water quality data analysis and interpretation, Ed LEWIS PUBLISCHERS, 420p.

Références bibliographiques

Jacques.Boudin (2008): Cours de Lithologie et Chimie des Eaux Souterraines, Module de géologie département Géosciences, Université de Poitier, Fichier PPT, 34p.

KILIAN. C. 1931. Les principaux complexes continentaux du Sahara. C.R. Soc. Géol. Fr. Paris.

M. Madi,2017 Modélisation du système aquifère et périmètre de protection du captage d'eau potable dans le Sahara septentrional. Thèse Doctorat, Science Hydraulique, Univ. Kasdi-Merbah OUARGLA.

Mohamedou OULD BABA SY,(2005), "Recharge et paleorecharge du systeme aquifere du sahara septentrional ", Thèse de Doct, Universite de tunis el manar.

Observation Sahara et du Sahel, (2005). Système aquifère du Sahara septentrional, Modèle Mathématique, Volume4, 271p.

OSS (Observatoire Sahara et Sahel). 2003. Système aquifère du Sahara septentrional: gestion commune d'un bassin transfrontière. Rapport de synthèse. OSS, Tunisie.

(OSS,1999) : le projet de l'OSS portant sur le SASS a été lancé en 1999 et avait contribué à l'amélioration de la connaissance de l'aquifère.

Philippe Dross 2011. Guide pratique pour les essais de pompage de puits. Comité international de la Croix-Rouge 19, avenue de la Paix .1202 Genève, Suisse.

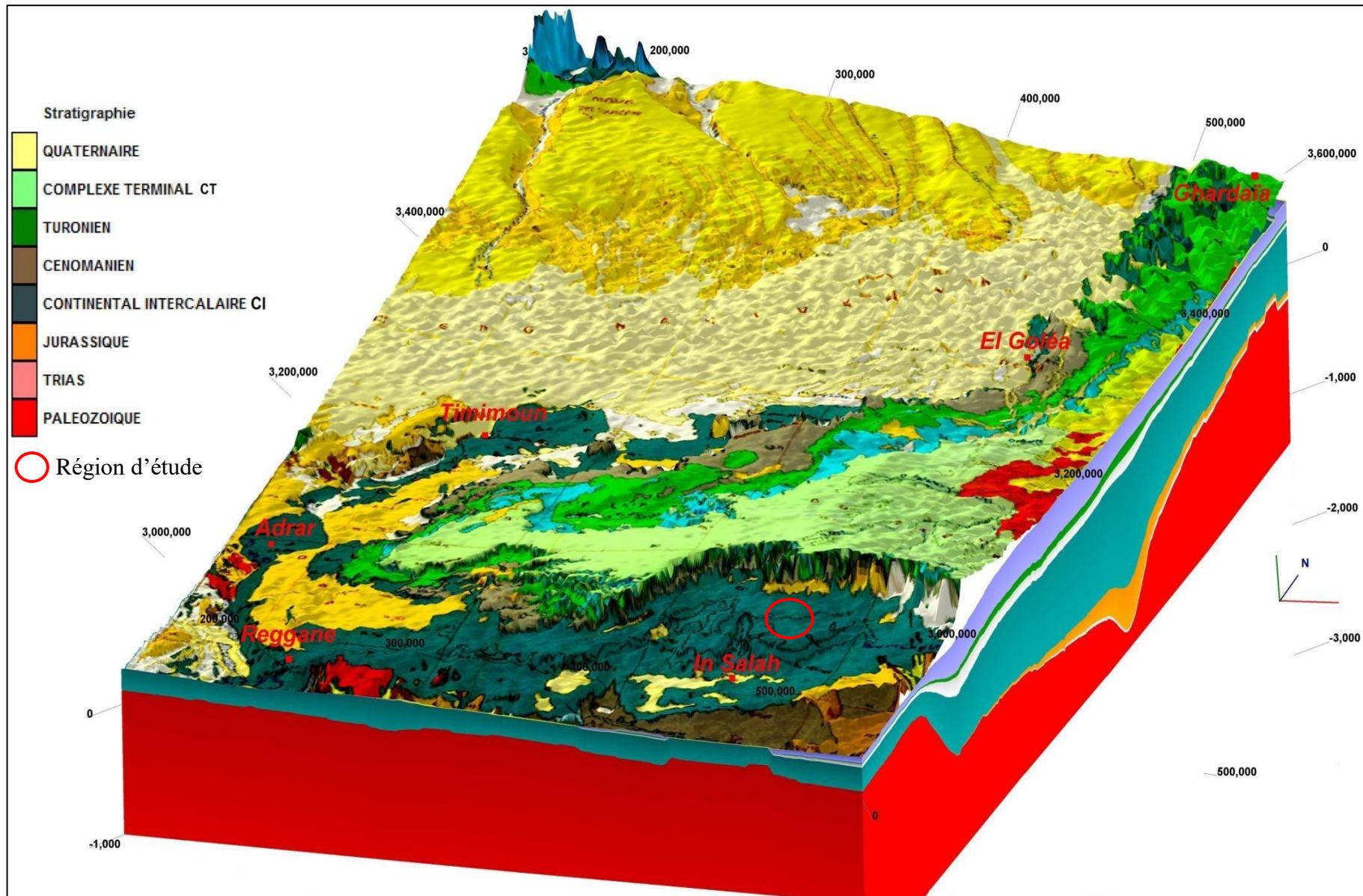
UNESCO (1972) Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional, Rapport sur les résultats du Projet REG-100, UNESCO, Paris (1972).

STUCKY ENHYD : entreprise nationale des études hydrauliques.



A *ANNEXES*

ANNEXES



Annexe.1. Carte géologique drapée sur diagramme hydrogéologique de la région d'étude

ANNEXES

N° BIRH: 0008-00013

Désignation: Zeriba zb 1 (CPA)

Localisation: X: 03°54'05 E

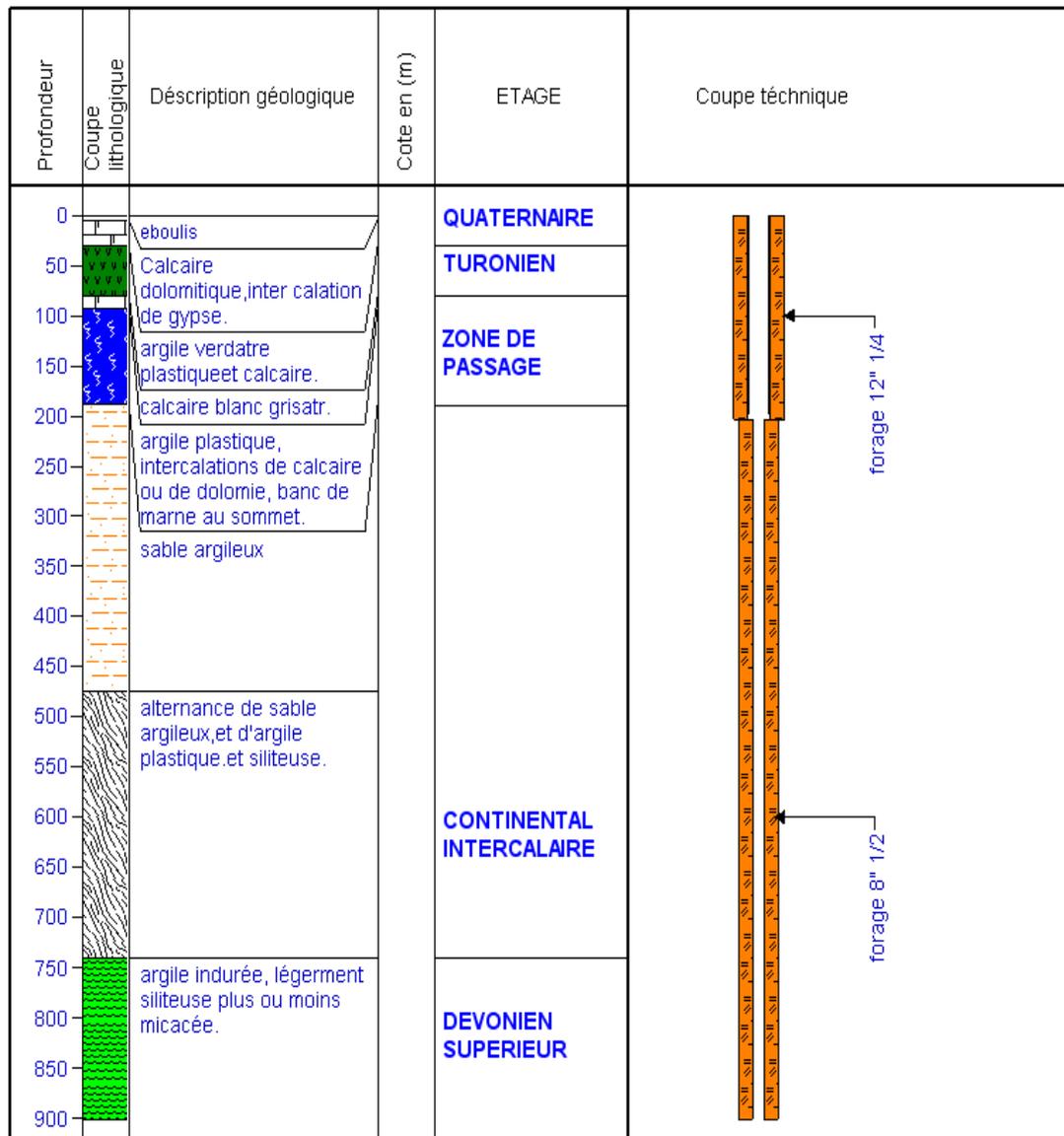
Y: 27°49'58 N

Z: 566m

Profondeur: 900

Ns:

Débit :



Usage :

Date travaux : 8/04/1956

Date fin : 25/04/1956

Etat :

Daira : IN SALAH

Commune : IN SALAH

Lieu-dit : IN SALAH

Annexe.2. La coupe lithologique de forage « zeriba zb1 ».

N°BIRH : N005-00006

Désignation: Irharen (cpa) IR 3

Localisation : X : 1°04'51" E

Y : 28°33'37" N

Z : 407.5 m

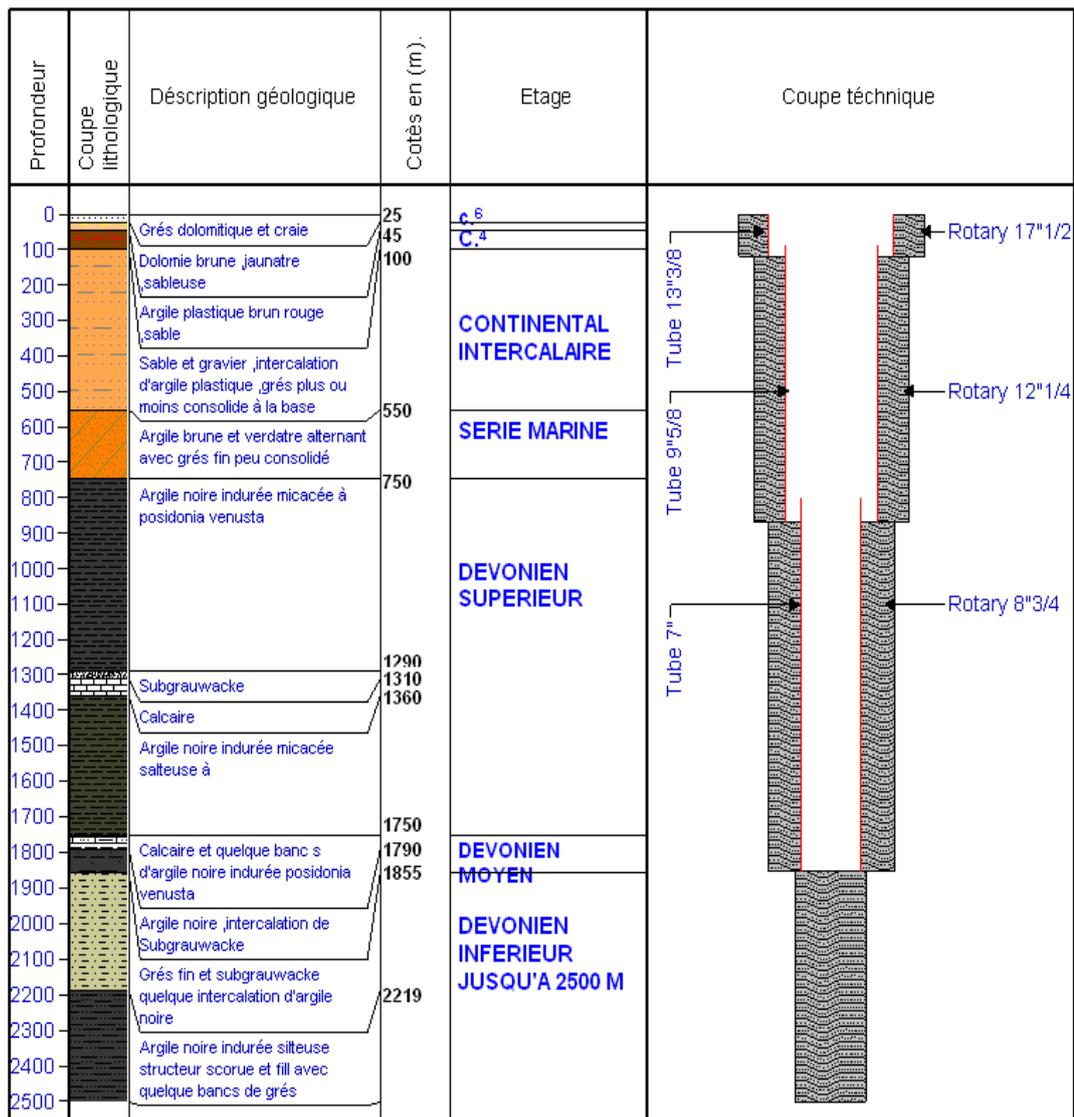
Profondeur: 2500 m

Ns: -140 à -150 m

Débit :



AGENCE NATIONALE DES RESSOURCE
HYDRAULIQUE
DIRECTION REGIONALE SUD-OUEST ADRAR



Usage :

Date de travaux : 01/12/1954

Date fin : 10/06/1955

Etat :

Daira : Hassi oukert

Coumune : AOUGROUTAOUGROUT

Lieu-dite :

Annexe.3. La coupe lithologique de forage « Irharen ».

ANNEXES

N°BIRH : N005-00007

Désignation: Oued kesra OK 1

Localisation : X : 0°33'30" E

Y : 28°18'43" N

Z : 367 M

Profondeur: 2500 m

Ns:

Débit :



AGENCE NATIONALE DES RESSOURCE
HYDRAULIQUE
DIRECTION REGIONALE SUD-OUEST ADRAR

Profondeur	Coupe lithologique	Description géologique	Cotés en (m).	Etage	Coupe technique
0					
100		Alternance de grés à ciment calcaire de grain fin à grossier et argile plus ou moins sableuse et plastique	136	CONTINENTAL INTERCALIRE	
200			186		
300		Alternance de grés et de sable avec des intercalations de gravier	235		
400			400	JURASSIQUE	
500		Argile plastique brun rouge banc de grés à sable moyen à grossier	443		
600			506	PALEOZOIQUE DEVONIEN SUPERIEUR	
700		Alternance de grés moyen à grossier de sable fin à grossier et de gravier fin avec argile bariolée	650		
800					
900				DEVONIEN MOYEN	
1000		Grés brun argileux avec intercalation d'argile	1000		
1100		Alternance d'argile plastique avec bancs de grés de sable et conglomérat	1137.7		
1200					
1300		Argile avec intercalation de grés un lit de calcaire			
1400					
1500		Argile et schiste argileux légèrement gréseux avec de rares et minces intercalation de grés			
1600					
1700		Schistes argileux noire avec des intercalation de grés de grés fin et de petit lit de calcaire			
1800					
1900		Calcaire dolomitise de la partie inferieure			
2000					
2100					
2200					
2300					
2400					
2500			2500		

Usage :

Date de travaux : 25/01/1954

Date fin :

Etat :

Daira : Hassi oukert

Coumune : Adrar

Lieu-dite :

Annexe.4. La coupe lithologique de forage « oued kesra ».

ANNEXES

N°BIRH : N004-00196

Désignation: Oufrane

Profondeur: 1516 m

Localisation : X : 0°08'16"

Ns:

Y : 28°27'03"

Débit :

Z : 261 m



AGENCE NATIONALE DES RESSOURCE
HYDRAULIQUE
DIRECTION REGIONALE SUD-OUEST ADRAR

Profondeur	Coupe lithologique	Description géologique	Cotés en (m).	Etage	Coupe technique
0		Calcaire ,blanchatre tres sableux	14	CRETACE INFERIEUR ET MESOZOIQUE PLUS ANCIEN	
120		Sable grossier avec intercalation d'argile brun rouge ,siltuse sableuse localement calcaire et de grés très fin	100		
240		sableuse localement calcaire et de grés très fin	272		
300		Fines passées de dolomie	302		
330		Grés gris blanc très argileux	354	GOTHLANDIEN	
436		Argile brun rouge très siltuse et sableuse localement calcaire	436		
590		Argile indurée grise très siltuse legerement dolomitique très nombreuse passées de siltstone argileux	590		
750		Minces passées de siltone et de calcaire			
835		Argile indurée dolomitique et calcaire ferrugineuse	835		
862		Argile indurée noire schisteuse très legerement dolomitique graptolithe	862		
990		Alternance de grés gris à grés quartzite que	990	ORDOVICIEN	
1020		legerement argileux	1066	RI+B	
1080		argile noire indurée	1154	R2	
1170		Quartzite gris blanc fin à très grossier localement kaolinique		CAMBRIEN	
1230		Grés quartzitique gris blanc fin à moyen grossier vers la base			
1290		passées d'argile noire indurée			
1350		Grés gris blanc fin à moyen localement grosier devenant vers la base plus grossier			
1440		verdatre			
1516			1516		

Usage :

Daira : Timimoun

Date de travaux : 02/05/68

Coumune : Metarfa

Date fin : 05/07/68

Lieu-dite :

Etat :

Annexe.5. La coupe lithologique de forage « Oufrane ».

N°BIRH : 0007-00024

Désignation: Fogaret Ez zoua 101

Profondeur: 476 m

Localisation : X : 2°52'

Ns: -3 m

Y : 27°20'30"

Débit :

Z : 301.76 m



**AGENCE NATIONALE DES RESSOURCE
HYDRAULIQUE
DIRECTION REGIONALE SUD-OUEST ADRAR**

Profondeur	Coupe lithologique	Description géologique	Cotés en (m).	Etage	Coupe technique
100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360 370 380 390 400 410 420 430 440 450 460 470 480 490 500 510 520 530 540 550		Argile et grès moyens à conglomératique Argile avec intercalations gréseux Argile noire avec intercalation de bancs calacire	216 320 476	CONTINENTAL INTERCALAIRE PRIMAIRE	

Usage :

Date de travaux : 29/09/1955

Date fin : 16/10/1955

Etat :

Daira : In salah

Coumune : In salah

Lieu-dite : In salah

Annexe.6. La coupe lithologique de forage « fougaret Ez zoua »

ANNEXES

Palier N°01 Q = 30 l/s				Palier N°02 Q = 40 l/s				Palier N°03 Q = 45 l/s			
DESCENTE		REMONTEE		DESCENTE		REMONTEE		DESCENTE		REMONTEE	
T (mn)	ND (m)	T (mn)	ND(m)	T (mn)	ND (m)	T (mn)	ND (m)	T (mn)	ND (m)	Temps (mn)	ND (m)
0	120.30	0	126.89	0	120.30	0	127.70	0	120.30	0	128.94
1	124.28	1	120.72	1	127.10	1	120.45	1	128.28	1	120.80
2	124.41	2	120.50	2	127.15	2	120.47	2	128.45	2	120.75
3	124.52	3	120.48	3	127.17	3	120.46	3	128.50	3	120.65
4	124.70	4	120.45	4	127.20	4	120.45	4	128.56	4	120.55
5	125.40	5	120.44	5	127.28	5	120.41	5	128.54	5	120.50
7	125.45	7	120.43	7	127.32	7	120.39	7	128.55	7	120.45
9	125.53	9	120.42	9	127.32	9	120.38	9	128.60	9	120.42
11	125.94	11	120.41	11	127.34	11	120.38	11	128.64	11	120.40
13	126.15	13	120.38	13	127.35	13	120.37	13	128.66	13	120.38
15	126.20	15	120.38	15	127.35	15	120.36	15	128.68	15	120.36
20	126.20	20	120.37	20	127.37	20	120.34	20	128.70	20	120.36
25	126.27	25	120.35	25	127.37	25	120.32	25	128.73	25	120.35
35	126.31	35	120.33	35	127.39	35	120.31	35	128.75	35	120.33
40	126.38	40	120.31	40	127.41	40	120.31	40	128.75	40	120.31
45	126.43	45	120.30	45	127.41	45	120.30	45	128.77	45	120.31
60(1h)	126.48	60(1h)	120.30	60(1h)	127.43	60(1h)	120.30	60(1h)	128.78	60(1h)	120.30
75	126.58			75	127.45			75	128.80		
90	126.66			90	127.48			90	128.83		
120(2h)	126.70			120(2h)	127.48			120(2h)	128.83		
150	126.76			150	127.50			150	128.85		
180(3h)	126.80			180(3h)	127.65			180(3h)	128.87		
210	126.85			210	127.68			210	128.90		
240(4h)	126.89			240(4h)	127.70			240(4h)	128.94		

Annexe.7. Les résultats de pompage par palier forage N° C05

ANNEXES

N° Forage : A 05		Lieu dit : PK 70 Lot : 01(SL : 1-2)		Projet : AEP de Tamenrasset à partir d'In Salah	
Niveau pose de la pompe = 145 m		T = 38° C	Date:29/07/2008		
Débit de pompage = 56 l/s		NS/Tubage = 118,16 m			
Temps réelle = 18h		T/Sol = 0,8 m			
DESCENTE		DESCENTE		REMONTEE	
T (mn)	ND (m)	T (mn)	ND (m)	T (mn)	ND (m)
0	120.3	1560	130.38	0	130.48
1	129.5	1680	130.36	1	121.67
2	129.54	1800	130.38	2	121.4
3	129.55	1920	130.38	3	121.38
4	129.52	2040	130.37	4	121.35
5	129.53	2160	130.36	5	121.3
7	129.55	2280	130.38	7	121.26
9	129.59	2400	130.39	9	121.22
11	129.6	2520	130.4	11	121.2
13	129.63	2640	130.39	13	121.11
15	129.66	2760	130.44	15	121.15
20	129.68	2880	130.44	20	121.14
25	129.72	3060	130.45	25	121.1
35	129.8	3240	130.46	35	121.07
40	129.82	3420	130.45	40	121.05
45	129.84	3600	130.46	45	121
60	129.88	3780	130.47	60	120.96
75	129.92	3960	130.49	75	120.94
90	129.95	4140	130.47	90	120.9
120	130.01	4320	130.48	120	120.84
150	130.05			150	120.8
180	130.08			180	120.78
210	130.08			210	120.77
240	130.09			240	120.75
300	130.11			300	120.71
360	130.14			360	120.7
420	130.15			420	120.65
480	130.16			480	120.62
540	130.18			540	120.62
600	130.19			600	120.58
660	130.19			660	120.58
720	130.22			720	120.6
780	130.24			780	120.62
840	130.24			840	120.58
900	130.25			900	120.57
960	130.28			960	120.53
1020	130.3			1020	120.53
1080	130.3			1080	120.5
1140	130.32			1140	120.49
1200	130.3			1200	120.48
1260	130.33			1260	120.48
1320	130.3			1320	120.48
1380	130.32			1380	120.48
1440	130.34			1440	120.48

Annexe.8. Les résultats de pompage longue durée forage N° C05

ANNEXES

Annexe.9. Résultats d'analyse physico-chimique des eaux des forages

	R sec mg/l a105°C	PH	Cond ms/cm	Turb NTU	TH mg/l	TAC mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	NO3 mg/l
A03	2100	6.81	3.58	0	92	13	223	89	400	35	670	560	153	16.5
A04	2000	6.67	3.26	0.1	76	11	122	113	350	27	580	645	137	26
A05	2000	7.03	3.33	0.1	80	12	178	90	330	66	550	625	140	29
A06	2100	6.82	3.24	0	80	14	185	84	370	29	650	550	168	27
B03	2000	7.04	3.16	0.01	82	12	196	82	335	29	500	630	143	19
B04	2100	6.9	3.21	1.5	86	11	131	134	330	30	690	550	131	23
B05	2000	7.26	3.26	1.4	84	11	118	137	330	35	720	540	137	25
B06	2045	6.95	3.16	1.4	80	11	97	139	310	30	660	540	137	25
C03	2000	6.87	3.33	0.14	80	11	206	70	370	30	580	650	131	35
C04	2200	6.99	3.13	1.2	81	11	93	145	350	20	710	580	137	31
C05	1900	6.81	2.98	0.1	68	13	122	95	350	20	510	650	153	28
C06	2000	6.77	3.45	0.1	83	12	191	88	340	29	520	650	140	32
D03	2100	7.04	3.31	1	87	12	135	134	350	30	700	440	140	26
D04	2000	6.81	3.22	0.2	72	14	160	79	380	28	600	660	168	26
D05	2380	6.75	3.73	0.1	87	14	206	89	324	30	500	725	171	21
D06	2100	7.06	3.34	0.3	72	12	177	68	390	32	630	680	143	20
E03	1800	6.9	2.83	0.8	68	11	147	79	320	22	510	600	137	25
E04	2000	6.76	3.12	0	83	13	185	92	325	28	580	520	162	27
E05	2000	6.76	3.12	0	83	13	185	92	325	28	580	520	162	27
E06	1800	7.03	2.84	0.01	76.6	13.5	165.96	87.77	285	24.8	450	600	164.7	32
F03	1800	7.05	2.95	0	85	13	189	95	332	29	520	569	162	19.35
F04	2280	6.72	3.67	0.1	91	11	202	100	370	31	675	625	134	26
F05	2100	6.84	3.17	0	85	13	194	92	310	30	600	560	159	32
F06	2190	7.02	3.52	0	98	12	232	100	379	37	600	748	143	27.31

ANNEXES



وزارة الموارد المائية
MINISTRE DES RESSOURCES EN EAU
 الوكالة الوطنية للموارد المائية
AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES
 Créé par décret N°81 / 167 du 25 juillet 1981 – Compte Trésorerie d'Alger N° 402.003.221

Antenne Régionale Sud Ouest

الفرع الجهوي للجنوب الغربي

Demandeur : ANRH ADRAR
 Analyse demandée : A.F
 Date de réception : 15/09/2011
 N° de laboratoire : 2476
 Désignation : D5

RESULTATS D'ANALYSES

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	RESULTATS	MINERALISATION GLOBALE	RESULTATS
pH -Labo	7,14	Calcium Ca++ mg/l	226
pH -In situ	-	Magnes. Mg++ mg/l	59
Conductivité ms/cm -Labo	3,200	Sodium Na+ mg/l	370
Conductivité ms/cm -In situ	-	Potass. k+ mg/l	36
Redox (mV) -In situ	-	Chlorure Cl- mg/l	600
Residu sec à 110° C mg/l	1995,00	Sulfate SO4-- mg/l	538
Temperature °C -In situ	-	Bicarbon. HCO3- mg/l	153
PARAMETRES DE POLLUTION	RESULTATS	Carbonate CO3-- mg/l	0
Oxygène Dissous mg/l-% -In situ	-	Silice SiO2 mg/l	12,50
Ammonium NH4+ mg/l	0,00	TH ° F	80
Nitrite NO2- mg/l	0,001	TAC ° F	13
Nitrate NO3- mg/l	28,00	TA ° F	0
O.phosphate PO4- mg/l	0,000	Minéralisation mg/l	1984
Mat. Ox.(mil. Ac.) mg/l O2	3,40	Somme des ions mg/l	2008
		Manganèse en mg/l	-

INTERPRETATION :

Eau de qualité physico-chimique Mauvaise
 le prélèvement a été fait par le demandeur

CHEF DU LABORATOIRE

Signé: Nasti B.

ANRH / D.R.S.O : B.P 364 Adrar (W.ADRAR)

وومم : ص.ب 364 ولاية أدرار

Tél.: (049) 96.66.92 – Fax : (049) 96.66.95

Annexe.10. Résultats d'analyse physico-chimique du forage D05.

ANNEXES



Annexe.11. le forage C05.



Annexe.12. Essai de pompage le forage C05.



Annexe.13. la pompe immergée

TYPE XSPD253-A/7R YEAR M		
cod. 32350350 Sn° 3666423		
Q=m³/h 126	H=m 270	η% <input type="text"/>
rpm 2900	kW 150	HP 200
∇/m=m 200	Hmax=m <input type="text"/>	MEI ≥ <input type="text"/>
Q=m³/h <input type="text"/>	H=m <input type="text"/>	η%= <input type="text"/>
rpm <input type="text"/>	kW <input type="text"/>	HP <input type="text"/>
∇/m=m <input type="text"/>	Hmax=m <input type="text"/>	MEI > <input type="text"/>
SAER ® EAC GUASTALLA (R.E.) ITALY ELETTROPOMPE www.saarelettropompe.com Made in Italy CE		

Annexe.14. caractéristique de la pompe



Annexe.15. Réservoir terminal.



Annexe.16. Station de pompage SP2 – Vue générale



Annexe.17. La station de déminéralisation