

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVEALABLES ET
DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En Vue De L'obtention Du Diplôme de Master en Géologie

Option : Hydrogéologie

THEME

**CONTRIBUTION A L'ETUDE
HYDROGEOLOGIQUE DE L'AQUIFERE DU
CONTINENTALE INTERCALAIRE (CI) DANS
LA REGION D'OUED RIGH**

Soutenu publiquement par :

M. NAILI Chouaib

Le 22/05/2016

Devant le jury :

Président :	Mr. MELOUAH Oualid	M. A. A Univ. Ouargla
Promoteur :	Dr. ZERROUKI Hichem	M. C. B Univ. Ouargla
Examineur :	Dr. NEZLI Imed Eddine	M. C. A Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2015/2016

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je souhaite exprimer ma gratitude et mes remerciements à tous les intervenants et toutes les personnes universitaires, professionnelles ou autres qui, de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation, en particulier :

Monsieur **Hichem ZERROUKI** pour la confiance dont il m'a gratifiée en acceptant d'encadrer les travaux de ce mémoire en se préoccupant constamment de son avancement, Je le remercie vivement d'avoir toujours été là. Il n'a jamais épargné un effort, à me faire profiter de son expérience. Ses encouragements ont été nécessaires au bon déroulement de mémoire

Je remercie aussi l'ensemble du personnel de l'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydraulique), Hydraulique et L'ADE (Algérie De l'Eau) d'Ouargla et Touggourt.

Je témoigne mon amitié à tous mes collègues de la faculté des hydrocarbures des énergies renouvelables, des sciences de la terre et de l'univers de l'université de Kasdi Merbah – Ouargla pour les bons moments passés ensemble et les échanges scientifiques.

Je voudrais remercier, à travers ce mémoire, tous les enseignants du département de Géologie 2015 /2016 qui nous ont constamment été d'un immense soutien tout au long de ce travail et j'adresse une pensée particulière, **Mr NEZLI Imad, Mr. DJIDEL Mohammed, Mr. ZEDDOURI A, Mme SAHRI Liela, MELOUAH Oualid, LAAOUINI Hamza, HOUARI Idir Menad** de tout l'encouragement pour terminer ce travail

Avant de terminer, je dois remercier ma famille pour son encouragement, son soutien et sa patience.

DIDICACE

REMERCIEMENTS

RÉSUMÉ

ABSTRACT

الملخص

Liste des tableaux

Listes des figures

Liste des Abréviations

INTRODUCTION GÉNÉRALE**Chapitre I : Cadre général**

I-1 Situation géographique et administrative de la vallée de l'Oued Righ.....	01
I-2 Géomorphologie et Topographie.....	02
I-3 Climat et Végétation.....	02
I-4 Activités économiques.....	03
I-5 Besoin /Ressources en eau.....	03
I-6 Conclusion	05

CHAPITRE II: Géologie régionale

I.1- Introduction	06
I.2- Historique des travaux antérieurs.....	06
II- Géologie locale	08
II.1- Introduction	08
II.2- Lithostratigraphie.....	09
II.2.1-Secondaire	09
II.2.1.1-Albien	09
II.2.1.2- Vraconien	09
II.2.1.3- Cénomanién	09
II.2.1.4- Turonien	09
II.2.1.5- Sénonien	10
II.2.1.5.1- Sénonien lagunaire	10
II.2.1.5.2- Sénonien carbonaté	10
II.2.2- Tertiaire	11
II.2.2.1- Eocène	11
II.2.2.1.1- Eocène carbonaté	11
II.2.2.1.2- Eocène évaporitique.....	11
II.2.2.2- Mio-Pliocène	11
II.2.3- Quaternaire	12
III- Tectonique	14
IV- Conclusion	16

CHAPITRE III: APERCU HYDROCLIMATOLOGIE

III.1. Introduction	17
III.2. Le climat.....	17
III.2.1. Etude des facteurs climatiques.....	17

A. La Température.....	17
A.1 Variations des températures moyennes annuelles et mensuelles.....	17
B. La pluviométrie.....	18
B.1 Variations moyennes mensuelles des précipitations.....	18
B.2 Variations interannuelles des précipitations.....	18
C. L'évapotranspiration potentielle (ETP)	19
D. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN.....	19
E. Indice de De Martonne.....	20
F. Climagramme de Louis Emberger	21
G. Relation température – évaporation.....	22
III.3. Conclusion.....	23

CHAPITRE IV: HYDROCHIMIE

IV. Introduction	24
IV.1. Matériels et méthodes d'analyse.....	24
IV. 1. Paramètres physiques.....	24
IV. 1. 1. Potentiel d'Hydrogène (pH)	24
IV. 1. 2. Température (T).....	24
IV. 1. 3. Conductivité électrique (CE).....	24
IV. 2. Eléments majeurs	25
IV. 2. 1. Calcium (Ca^{2+}) et Bicarbonates (HCO_3^-).....	25
IV. 2. 2. Magnésiums (Mg^{2+}).....	25
IV. 2. 3. Chlorures (Cl^-).....	25
IV. 2. 4. Potassium (K^+) et Sodium (Na^+).....	25
IV. 2. 5. Sulfates (SO_4^{2-}).....	25
IV.3. Résultats et discussions	26
IV.3.1. Représentation graphique des eaux sur le diagramme de PIPER.....	26
IV.3.2. Selon la classification de STABLER	28
IV.3.3. Selon le diagramme de SCHOELLER et BERKALLOF.....	29
IV.3.4. Etude de rapport caractéristique.....	29
IV.3.4.1. Rapport caractéristique r ($\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$).....	30
IV.3.4.2. Rapport caractéristique r ($\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$)	30
IV.3.4.3. Rapport caractéristique r ($\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$).....	30
IV.3.5. Aptitude des eaux à l'irrigation.....	31
IV.3.5.1. Diagramme de REVERSIDE	31
IV.3.5.2. L'interprétation du diagramme.....	32
IV.3.5.3. Diagramme de WILCOX.....	32
IV.3.5.4. Interprétation du diagramme.....	33

IV.4. Les problèmes techniques posés.....	33
IV .4.1. Le problème de tartre	33
IV .4.2. La présence de calcaire dans l'eau	35
IV .4.3. La température de l'eau	35
IV .4.4. La présence dans l'eau d'éléments favorisant le tartre.....	35
IV .4.5. La température	35
IV .4.6. Corrosion et notion de durée de vie des forages.....	37
IV.5 Les effets sur l'agriculture	37
IV.5.1. La salinité de sol	37
IV .5.2. Diminution de la perméabilité du sol.....	37
IV.5.3. Problème des maladies à transmission hydrique	37
IV.6. Conclusion.....	38

Chapitre V : L'hydrogéologie

V.1. Introduction.....	39
V-2 Hydrogéologie régionale	40
V-2-1 Le Continental Intercalaire.....	40
A\ Limites et morphologie du continental intercalaire	40
B\Toit du réservoir.....	41
C\Alimentation	41
D\Les exutoires	41
E\Epaisseur du réservoir	42
V-2-2-Le Complexe Terminal	42
IV-2-3 La nappe phréatique	43
V-3 L'hydrogéologie locale (de l'Oued Righ).....	45
V-3-1 La nappe phréatique	45
V-3-2 Les nappes du complexe terminal	45
A\La première nappe des sables CT1	45
B\La deuxième nappe CT2	46
C\La nappes des calcaires du Sénonien Eocène CT3.....	46
V-3-3 Nappe du Continental Intercalaire	47
V-4 Modèles lithologiques et stratigraphiques.....	47
V-5 Conclusion.....	50

CHAPITRE VI : HYDRODYNAMIQUE

VI .1. Introduction	51
VI.2. Déterminations des caractéristiques hydrodynamiques	51
VI .3. Méthode d'interprétation	53
A/ Méthode de Theis	53
B/ Méthode de C.E. Jacob.....	54
VI.4. Pompage d'essai de longue durée.....	55
VI.5. Calcul et interprétation des paramètres hydrodynamiques.....	56
VI.5.a. Pompage d'essai. Résultats de remontée.....	56
VI.5.b. Pompage d'essai. Résultats de descente, débit constant.....	57
VI.6. La piézométrie du CI.....	58

VI.6. Les problèmes techniques.....	59
VI.6.1. La chute de l'artésianisme et grande nombre de forage.....	59
VI.6.2.Tubage et équipement.....	60
VI.7.Conclusion	61

Conclusion Générale

Liste des tableaux

Tab. 01 : Récapitulatif des besoins et ressources en eau	03
Tab. 02: Population Débit AEP et débit d'irrigation des différentes localités.....	04
Tab 03 : Tableau récapitulatif et intérêt hydrogéologique des formations géologiques	15
Tab. 04: Classification Climatique de l'indice de de Martonne (1926).....	21
Tab. 05 : Classifications de Stabler des eaux de l'Albien	28
Tab.06: calcul des rapports caractéristiques.....	30
Tab. 07 : Classification d'une eau selon sa dureté (OMS, 1994).....	33
Tab. 08 : les résultats de la dureté.....	33
Tab 09 : Données générales sur la nappe du continentale intercalaire.....	42
Tab 10 : Synthèse hydrogéologique régionale des différentes aquifères.....	44
Tab 11: tableau récapitulatif des paramètres hydrodynamique.....	57

Liste des figures

Fig.01 : carte géographique de l'Algérie	01
Fig 02 : carte géographique de Oued Righ	01
Fig 04 : Coupe schématique Nord- Sud du Bas Sahara en partie d'après.....	07
Fig 05 : coupe géologique schématique Nord-Sud et intérêt hydrogéologique du complexe Terminal le long de la vallée de l'oued Righ.....	08
Fig 6 : Carte géologique du Sahara orientale 1/1 000 000. Extrait de la carte géologique du Nord Ouest de l'Afrique (1976).....	13
Fig.07: Evolution de la température moyenne annuelle de la station de Touggourt.....	18
Fig. 08: Evolution des précipitations mensuelles de l'Oued Righ station de Touggourt.....	18
Fig.09 : Evolution des précipitations annuelles de l'Oued Righ station de Touggourt.....	19
Fig. 10: Evolution d'évapotranspirations mensuelles de l'Oued Righ station de Touggourt..	19
Fig. 11: Courbe Pluiothermique de la station de l'Oued Righ station de Touggourt.....	20
Fig. 12: Abaque de l'indice de l'aridité de de Martonne (1926).....	21
Fig. 13: Climagramme d'Emberger de la station de l'Oued Righ station de Touggourt.....	22
Fig.14: Relation entre la température et l'évaporation à Oued Righ station de Touggourt.....	22
Fig 15. Carte présente les Localisations des forages dans le champ d'étude.....	26
Fig. 16: Famille des faciès sur le diagramme de piper	27
Fig 17: Famille des faciès selon le diagramme de STABLER.....	28
Fig 18 : Famille des faciès selon le SCHOELLER et BARKALOFF.....	29
Fig19 : Diagramme de REVERSIDE31	
Fig 20 : Carte Diagramme de WILCOX32	

Fig.21 : Composition chimique de tartre en pourcentage.....	34
Fig.22 : Photos illustrant les dépôts de tartre dans les canalisations.....	35
Fig.23 : Photo montre le système refroidisseur (Ancien).....	36
Fig.24 : Photos présentant l'état de la tête du forage Albien et ses annexes à Sidi Mahdi.....	37
Figure N°25 : Carte hydrogéologique du système aquifère CI et CT (Unesco, 1972).....	39
Fig.26 : Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal).....	40
Fig.27: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO, 1972).....	44
Fig. 28 : Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région d'Oued Righ.....	47
Fig29 : modèle lithologique de la région d'Oued Righ.....	48
Fig 30 : Coupe stratigraphique de la région d'Oued Righ.....	48
Fig 30: Organigramme simplifié du programme des pompages d'essai de nappe.....	52
Fig 31 : Illustration de la méthode de superposition de theis 1935.....	54
Fig 32: Pompage d'essai de Tendla. Droite représentative de la remontée.....	56
Fig 33: Pompage d'essai de Tendla. Droite représentative de la descente.....	57
Fig.34: Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003).....	58
Fig 35 : Carte piézométrique de la région d'étude.....	59

Introduction générale

Le système aquifère du Sahara septentrionale (SASS) s'étend sur une vaste superficie, dépassant les frontières Algériennes, il couvre ainsi la Tunisie et la Lybie. Étant donné le climat hyperaride du Sahara, les ressources hydriques fournies par le SASS demeurent l'artère principale qui approvisionne les différentes activités de la population.

Le SASS renferme deux grands systèmes aquifères qui sont :

- Une nappe phréatique de faible profondeur, de très mauvaise qualité et souvent polluée.
- La nappe du Complexe Terminal (CT), moins profonde mais de mauvaise qualité.
- La nappe du Continental Intercalaire (CI) très profonde dans le bassin Nord Oriental, et contenant des eaux chaudes et souvent très minéralisées.

Ces différentes nappes recèlent des potentialités hydriques importantes, qui sont actuellement abondamment exploitées pour les usages domestiques, industriels et l'irrigation agricoles.

Notre étude traitera les différents aspects hydrogéologiques de la nappe du Continental Intercalaire (CI) de la région d'Oued Righ. Cette région connaît une grande explosion démographique résultant d'une accentuation rapide sur la demande en eau. Le souci de la surexploitation des ressources en eau dans cette région nous a amené à effectuer cette étude hydrogéologique pour déterminer les aspects quantitatifs et qualitatifs de la nappe aquifère artésienne de continentale intercalaire CI (la nappe Albien).

Pour cette étude, il a été nécessaire d'effectuer un ensemble de certains travaux qui sont présentés dans ce mémoire en cinq chapitres :

-La partie cadre général : Qui est basé sur la géologie et la géomorphologie de la région d'étude.

-L'hydroclimatologie : Les paramètres climatiques sont calculés, sur la base de 39 années d'observation.

- L'étude hydrogéologique : Qui définit la géométrie de la nappe aquifère de continentale intercalaire.

-L'étude hydrochimique : Qui consiste à étudier la qualité des eaux de la nappe albienne.

- L'étude hydrodynamique : Qui définit les particularités hydrodynamiques de la nappe aquifère de Continentale Intercalaire.

Chapitre I : CADRE GENERAL

I-1 Situation géographique et administrative de la vallée de l'Oued Righ

La région de l'Oued Righ est l'une des régions les plus anciennement cultivées du Sahara, elle est située entre El Gog et Oum El Thiour et elle couvre une superficie de 150 Km du au nord la vallée de l'Oued Righ, la largeur de la zone varie entre 20 et 30 km.

La vallée de l'Oued Righ est une entité économique bien précise, qui regroupe près d'une cinquantaine d'Oasis situées au Nord-Est du Sahara, longeant les rives Ouest du grand Erg Oriental et au Sud du massif des Aurès (Dubost, 1992). Elle s'étend sur un axe Sud-Nord sur environs 150 Km, de la latitude 32°54` à 39°9` Nord, longitude de 05°50` , 05°75` Est couvre près de 20000 ha environ de Palmiers (Castagny ,1980). La vallée de l'Oued Righ débute au côté nord à Ain Chikh à 500 km au sud-est d'Alger, 330 km au sud de Constantine et elle atteint sa limite méridionale à plus 150 km, avec les palmeraies d'El Goug.

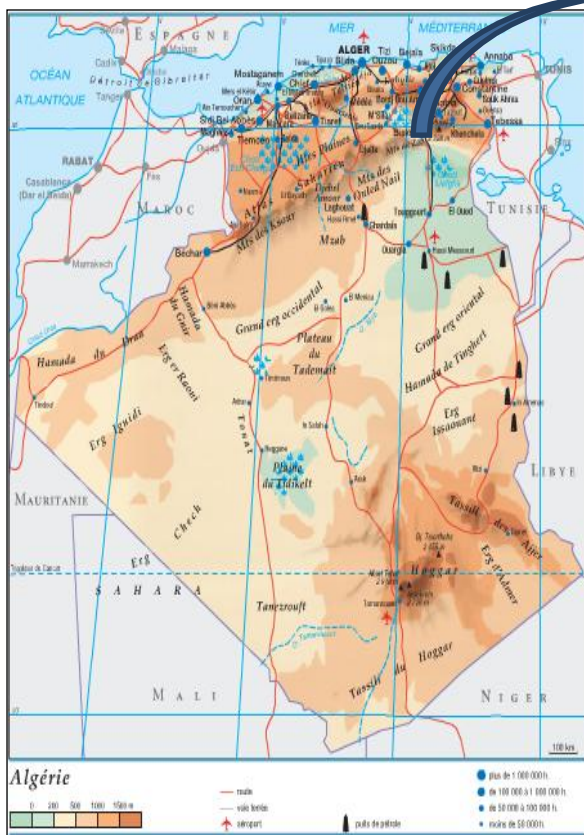


Fig.01: carte géographique de l'Algérie

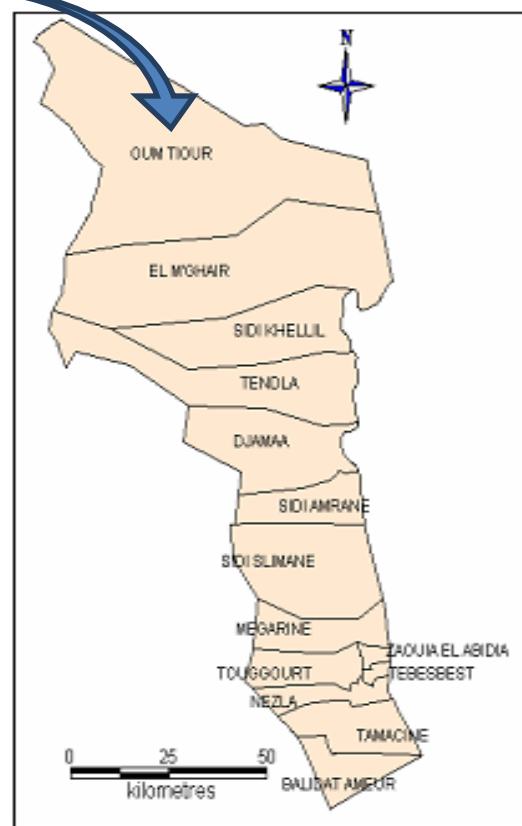


Fig 02 : carte géographique d'Oued Righ

Géographiquement, elle est encadrée par les Zibans entre Biskra et Tolga ; au Nord, au Sud-Ouest : les oasis de Ouargla, à l'Est la vallée de l'Oued Souf.

I-2 Géomorphologie et Topographie

Cette région a une morphologie homogène, elle se présente comme une dépression (large fossé) orienté Sud-Nord, composée d'une véritable mer de sable et de dunes qui s'étendent sur la plus grande partie et quelques plaines composées de sable et d'alluvions.

La variation des côtes est nettement remarquable, Elle descend régulièrement de **90m** à Goug, atteint la cote **0 m** à El Meghaier et **(-20m)** à Ourir, passant par la cote de **45 m** à Djamaa, cette région est connue sous le nom du Bas Sahara, à cause de sa basse altitude notamment dans la zone du chott au Nord où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer.

I-3 Climat et Végétation

Le climat est typiquement saharien, caractérisé par une forte aridité ou la pluviométrie est aléatoire de l'ordre de **60 mm**, ce qui ne favorise pas le développement de la végétation. La température est très élevée en été et une humidité faible.

La culture du palmier dattier reste la principale activité dans la région de l'Oued Righ, elle est développée et occupe entre **10%** à **15 %** de la superficie de la région.

I-4 Activités économiques

La vallée regroupait **50** oasis couvrant **15000** hectares en **1988 (I.N.R.AA)** Institut National des Recherches Agricoles Algérien.

Le domaine agricole qui était jadis la principale activité est un peu délaissé actuellement à cause du faible rendement des palmiers dû aux effets néfastes de la « salinisation » des eaux et des sols, des phénomènes de : la remontée de la nappe phréatique, le vieillissement des palmiers »...etc. de plus les sociétés pétrolières offrent des emplois plus rémunérés.

Les dernières statistiques (**1988**) montrent que l'agriculture n'occupe dans la région d'étude qu'une faible main d'œuvre **38%**, étant donné le contexte climatique hyperaride, l'agriculture est très consommatrice d'eau.

Parmi les espèces cultivées; la variété de « Deglat Nour » prédomine, suivie par « Ghars », « Degla Bayda ».

Dans le domaine de l'industrie, il existe plusieurs petites usines surtout des briqueteries implantées à proximité de la source de matière primaire, ainsi que des complexes de transformations hydrocarbures, transformation des plastiques (département

de transport et production) ; fabrique d'aluminium, ainsi que des entreprises de conditionnement de dattes.

Le tourisme existe aussi, de part l'existence de quelques repères touristiques comme les oasis, le lac de Temacine(Fig05), les anciennes Medinas, les tombeaux des rois...etc. Et surtout la Zaouia Tidjania qui accueille de nombreux visiteurs chaque année

I-5 Besoin /Ressources en eau

Les prélèvements d'eau dans cette région s'élèvent environ à **350** millions de m^3 /an, provenant essentiellement des deux complexes, celui du complexe terminal (CT) et celui du continentale intercalaire (CI).

Tab.01 : Récapitulatif des besoins et ressources en eau (ANRH Ouargla 2005)

COMPLEXES	CT	CT	CI	CT+CI
USAGE/	Irrigation	AEP	AEP	Total
Nombre de forage exploité	338	4	7	349
Nombre de forage non exploité	89	13	/	102
Nombre total de forage	427	17	7	451
Débit Q hec/m/an	210	02	30	243Hm3/An

Tab 02: Population Débit AEP et débit d'irrigation des différente localités (Source ANRH Ouargla)

Localités	Populations	Dotation en L	AEP L/S	Irrigation L/S
B.Amor	12345	150	50	1234.5
Temacine	15802	170	70	687.82
Nezla	42477	200	120	1590.44
Touggourt	37237	200	120	417
Tebesbest	30597	200	120	535.26
Zoaouia	16200	200	120	543.52
Megarine	11452	200	120	653.84
S/Slimane	7152	240	120	663
S/Amrane	9018	60	60	2655.43
Djamaa	34798	186.66	140	3462.1
Tindla	8049	220	30	986.71
S/khlil	5934	145	76	565.48
Meghaier	39432	111.66	120	2111.35
Oum Tiour	10500	125	30	742
Total	280993		1296	16848.45

Dans la région de l'Oued Righ, le débit extrait destiné à l'A E P est supérieur aux besoins .La dotation journalière mesurée est en moyenne de **(172,02 l/j/h)** qui dépasse les normes de l'**Organisation de la santé (OMS) [100-150 l/j/h]**, de même le débit extrait destiné à l'irrigation est supérieur aux besoins actuels. La dotation mesurée pour l'agriculture est en moyenne **1.12L/S/Hec**, elle dépasse les normes **1L/S/Hec** pour les plantes mixtes et **0.7L/S/Hec** pour les palmiers.

I-6 Conclusion

La région de l'Oued Righ montre des altitudes qui s'abaissent progressivement et régulièrement du Sud vers le Nord, d'où le rôle d'un collecteur de toute les eaux d'origine diverses et lointaines aboutissant à l'exutoire naturel.

Elle couvre une superficie de **3186.78** km² et sa population est plus de **280993** habitants.

L'exploitation des différents systèmes aquifères fait dans la région que le manque d'eau ne se pose pas. En revanche, les rejets d'eau domestiques et le surplus d'irrigation posent d'énormes problèmes.

En conséquence seule la nappe phréatique peut prétendre à une certaine réalimentation à la faveur des eaux.

CHAPITRE II: GEOLOGIE REGIONALE

I.1- Introduction

Le rôle de la géologie est primordiale en hydrogéologie, il permet la description lithologique et stratigraphique des formations et d'identifier celles susceptibles d'être aquifères.

La région d'étude fait partie du bassin du Sahara septentrional de l'Algérie ou du Bas Sahara.

La région du Bas Sahara se présente comme une vaste cuvette, limitée à l'Ouest par la dorsale du Mzab, au Sud par les hamadas du Tadmaït et de Tinghert et à l'Est par les plateaux du Dahar tunisien. Ses bordures, de hauteur modeste, s'inclinent en pente douce vers la partie déprimée matérialisée par l'axe SSW-NNE des oueds Mya et Righ. Vers le Nord au contraire, dressée au-dessus d'une dépression longitudinale occupée par des Chotts et dont le fond est inférieur au niveau de la mer, limité au Nord par les monts de l'Aurès et des Nememcha.

I.2- Historique des travaux antérieurs

Le bassin du Bas Sahara est comme son nom l'indique un pays plat, déprimé, de faible altitude (200 à -30 m dans les chotts). C'est un pays d'erg (le Grand Erg Oriental) et de chotts (Chott Melrhir) où le sable et le sel dominant (*Figure N°08*). Mais c'est une région abondamment pourvue en eau bien souvent artésienne (**A.CORNET 1961**).

La disposition en cuvette très plane en a fait une région ouverte, à la circulation facile, de tout temps pénétrée par les influences venues aussi bien du Nord et du Nord Est que du Grand Sud. C'est donc entre la bordure septentrionale du Hoggar et la bordure méridionale de l'Atlas saharien que se situe le grand bassin sédimentaire du Bas-Sahara. Avec plus de 600 Km de diamètre il couvre 720 000 Km² de superficie. Il s'étend des pieds de l'Aurès au nord jusqu'au Tassilis au sud. Une grande partie du bassin est recouverte par le grand Erg oriental, soit 125 000 Km². Dont la région d'étude en fait partie.

Les travaux de **BEL et DEMARGNE (1966)**, de **BUSSON (1970)** et de **FABRE (1976)** constituent les références de base utilisées dans cette synthèse géologique.

À partir du massif ancien les couches géologiques s'enfoncent vers le Nord pour être brutalement pincées par l'accident Sud atlasique. Dans l'ensemble, la couverture mésozoïque n'a pas subi de mouvements orogéniques et est demeurée tabulaire, mais elle est affectée à l'Est d'un mouvement de subsidence, qui est à l'origine de la cuvette des Grands Chotts algéro-tunisiens (*Figure N°10*). Le dôme central (la dorsale mozabite) forme un môle (**Paix1956**), qui l'isole des formations occidentales (*Figure N°09*).

Au cours des périodes plus humides, l'Oued Igharghar descendait des pentes du Hoggar pour rejoindre ce grand bassin mais l'arbre hydrographique est aujourd'hui masqué par la mer de dunes du Grand Erg Oriental. La grande gouttière de l'Oued Righ en représente la partie avale, plus ou moins colmatée par des placages sableux et des dunes vives et jalonnée de petites sebkhas.

On trouve ici le socle ancien à 3000 m ou plus de profondeur surmonté par les grès primaires plus ou moins plissés et érodés qui constituent les roches réservoirs des hydrocarbures. Au-dessus s'entassent les grès du Continental Intercalaire qui constituent l'aquifère du même nom. A la suite de la discordance cénomaniennne s'empilent encore les couches marines du Sénonien et de l'Eocène qui se terminent par la couverture continentale du Miopliocène également aquifère (Complexe Terminal).

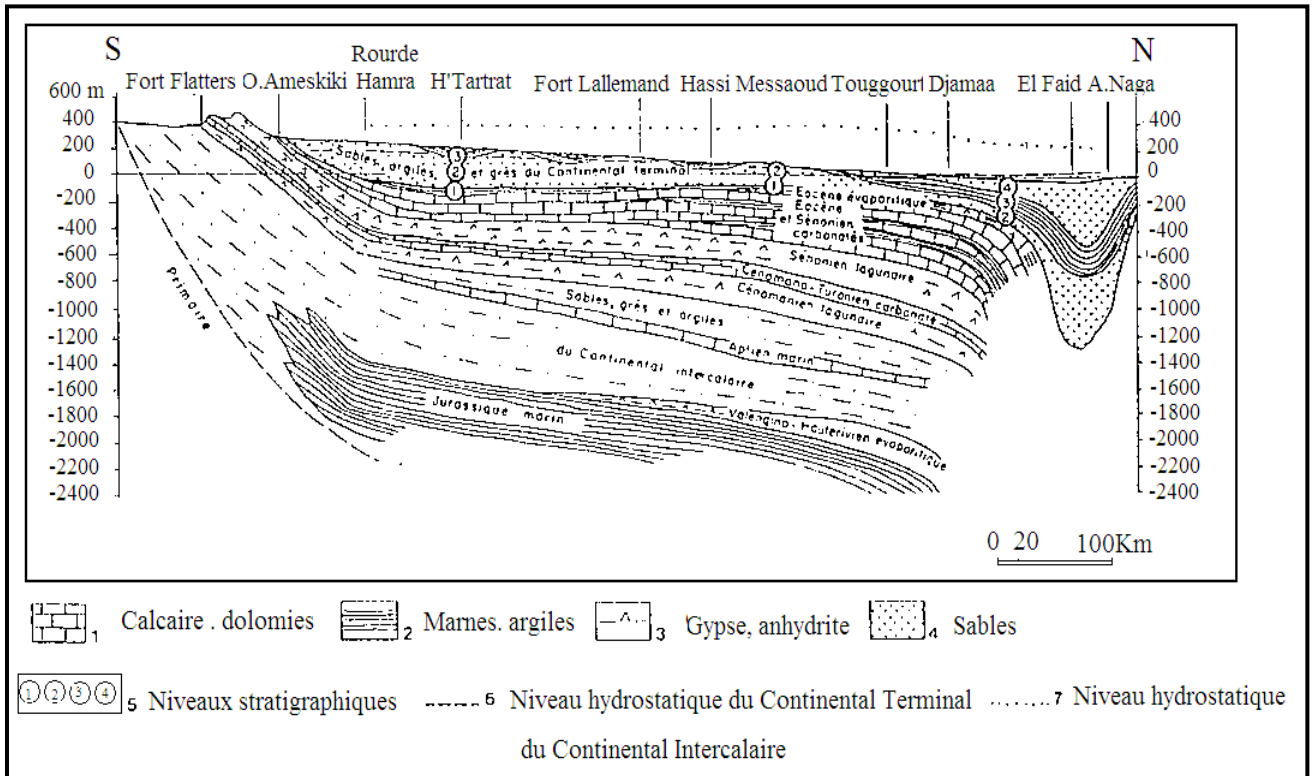


Fig 04 : Coupe schématique Nord- Sud du Bas Sahara en partie d'après A.CORNET (1961).

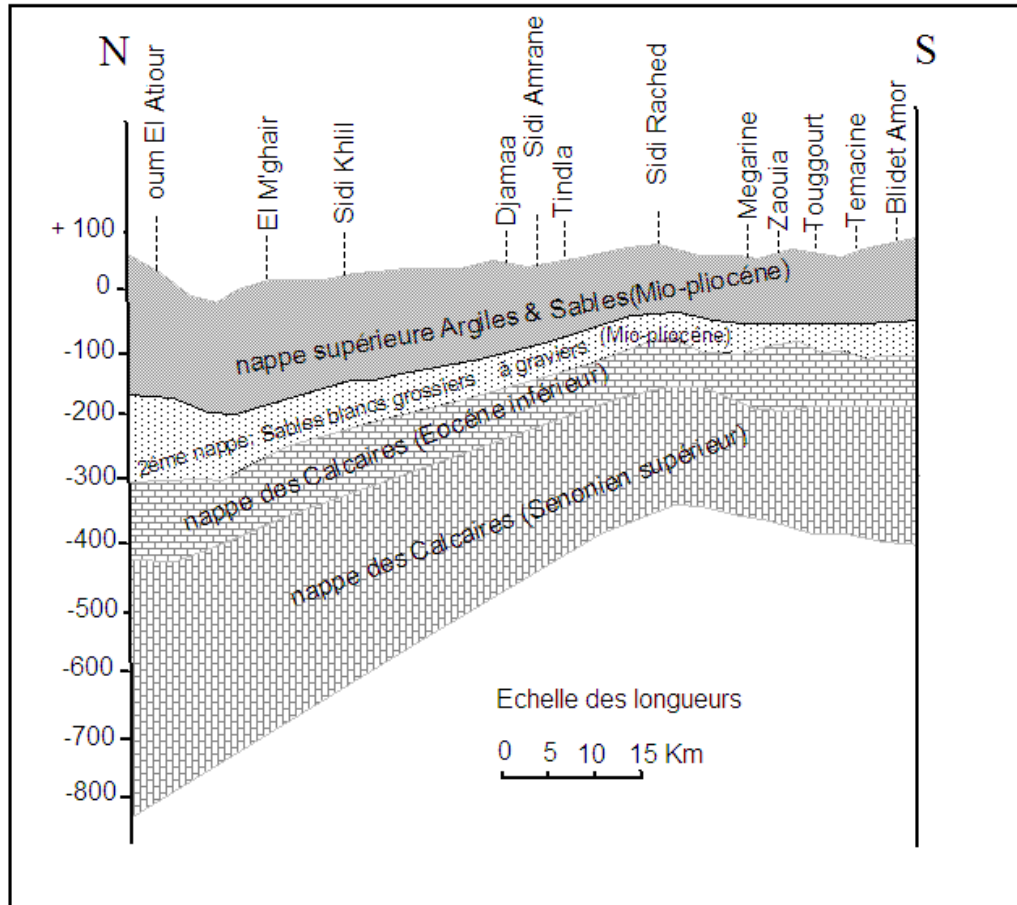


Fig 05 : coupe géologique schématique Nord-Sud et intérêt hydrogéologique du complexe Terminal le long de la vallée de l'oued Righ (Paix1956).

II- Géologie locale

II.1- Introduction

Pour étudier la géologie de la vallée de l'oued Righ, nous étendrons le champ d'investigation à tout le Bas-Sahara, on donne ici une idée sur la stratigraphie et la tectonique, caractérisant la région.

La zone d'étude fait partie du bassin oriental du Sahara qui est bien connu grâce aux recherches pétrolières. Il se présente comme un vaste synclinal ouvert vers le Nord.

Cette structure est d'orientation Est-Ouest ; elle sépare la fosse des chotts, au Nord, du reste du bassin.

Le long du versant Sud, existe une immense fosse de subsidence dans laquelle l'épaisseur maximum des sables et d'argiles de l'Oligocène et du Mio-Pliocène serait d'environ 2000m ; l'épaisseur maximum des séries post-albiennes est d'environ 3000m.

II.2- Lithostratigraphie

II.2.1-Secondaire

II.2.1.1-Albien

Se présente comme une série très épaisse formée d'une alternance de couches gréseuses avec des passées d'argiles schisteuses.

II.2.1.2- Vraconien

Il est constitué d'une alternance irrégulière de niveaux argileux et dolomitiques, d'argiles sableuses et, rarement, de grès à ciment calcaire, difficile à reconnaître en forage. Il est souvent été interprète comme de l'Albien ou du Cénomaniens. Ses limites supérieures et inférieures sont parfois assez floues, il est raisonnable de choisir comme limite inférieure du Vraconien la disparition du faciès sableux franc de l'Albien.

II.2.1.3- Cénomaniens

Le Cénomaniens est constitué par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites. L'épaisseur des bancs est de 1 à 5m environ. Dans la moitié Sud du bassin, le Cénomaniens est essentiellement constitué d'argiles et de marnes, avec de l'anhydrite et parfois même du sel, les carbonates sont rares. Dans la moitié Nord, au contraire les carbonates deviennent plus importants et alternent avec des évaporites, les argiles sont plus rares. La présence de nombreux bancs d'évaporites et d'argiles rendent le Cénomaniens imperméable (*BEL et CUCHE, 1969*).

Dans certains forages, le passage du Vraconien au Cénomaniens est net : un faciès sableux franc rapporté à l'Albien, est suivi par des argiles et des évaporites rapportées au Cénomaniens. Dans d'autres forages, le passage est moins visible : il existe un niveau de transition rapporté au Vraconien, dans ce cas il est préférable de choisir comme limite supérieure du Vraconien l'apparition des évaporites et dolomies du Cénomaniens. La limite supérieure du Cénomaniens est toujours nette, elle correspond à l'apparition des bancs calcaires ou dolomitiques du Turonien.

II.2.1.4- Turonien

La barre calcaire turonienne est la formation sédimentaire la mieux connue et facile à identifier sur les diagraphies par sa résistance électrique élevée. Le Turonien consiste en une épaisse barre de calcaire et de dolomie, qui tranche avec les évaporites et les argiles du Cénomaniens au dessous et du Sénonien au dessus. Du Sud au Nord du bassin oriental, le Turonien se présente avec un faciès caractéristique, on distingue trois zones :

-Dans la zone Sud du parallèle El Goléa, le Turonien est formé de deux barres : calcaire-marneux et calcaire-dolomitique encadrant un niveau marneux souvent de couleur verte. L'existence d'évaporites mélangées aux marnes vertes est signalée.

-Entre El Goléa et Djamaa, le Turonien est uniquement formé de calcaires et de dolomies les marnes vertes ont disparues. L'épaisseur utile de la barre turonienne est égale ou supérieure à **85%** de l'épaisseur totale (**80 m**).

-Au Nord de Djamaa, le Turonien change à nouveau de faciès et devient marneux, ce changement de faciès s'accompagne d'un épaissement très important. L'épaisseur cumulée des niveaux a priori perméables devient inférieure à **25%**.

Le Turonien a une épaisseur moyenne qui varie entre **50** et **100 m**. Elle augmente cependant dans la région des chotts où elle dépasse 300 m (*BEL et CUCHE, 1969*).

II.2.1.5- Sénonien

Le Sénonien est constitué de deux formations lithologiques superposées :

- Le Sénonien lagunaire à la base.
- Le Sénonien carbonaté au sommet.

II.2.1.5.1- Sénonien lagunaire

Le Sénonien lagunaire est constitué par une alternance irrégulière de bancs d'anhydrites, de dolomies, d'argile et de sel, il est très peu perméable (*BUSSON, 1970*).

Les variations de faciès sont peu importantes. L'anhydrite forme des bancs dont l'épaisseur peut atteindre quelques mètres. La dolomie constitue parfois des bancs qui peuvent aller de 10 à 15 mètres. Généralement, les argiles ne dépassent pas 1 à 2 mètres. On rencontre à la base du Sénonien dans certains endroits des bancs de sel.

La limite inférieure du Sénonien lagunaire est généralement franche : on peut facilement distinguer les évaporites et les argiles sénoniennes des calcaires et des dolomies. On prend comme limite supérieure : soit le toit du dernier banc d'anhydrite lorsque le changement est franc, soit le niveau où le pourcentage des carbonates devient supérieur à celui des évaporites lorsque le changement est progressif.

L'épaisseur du Sénonien lagunaire varie de 0 à 500 mètres ; elle augmente vers le Nord.

II.2.1.5.2- Sénonien carbonaté

Le Sénonien carbonaté est formé de dolomies et de calcaires dolomitiques, avec intercalations de marnes et d'argiles, plus rarement d'anhydrites. Le sommet de la formation est souvent marqué par un petit banc à silex.

La limite supérieure est toujours difficile à situer car il y a une continuité lithologique entre le Sénonien carbonaté et l'Eocène carbonaté qui le recouvre. Ces deux formations constituées de calcaire de même nature, ne peuvent se différencier qu'en ayant recours à des critères paléontologiques. Dans certaines coupes de forages pétroliers, les calcaires sont attribués à l'Eocène, en raison de la présence des nummulites.

Du fait de leur identité de faciès, le Sénonien et l'Eocène carbonatés doivent constituer une seule et même unité hydrogéologique que nous interpréterons comme un aquifère.

II.2.2- Tertiaire

II.2.2.1- Eocène

Comme dans le Sénonien, on distingue deux formations :

-l'Eocène carbonate à la base.

-l'Eocène évaporitique au sommet.

II.2.2.1.1- Eocène carbonaté

L'Eocène carbonate a des caractéristiques lithologiques qui le rendent difficile à distinguer du Sénonien. Seule la présence ou l'absence de nummulites permet de faire la différence. Les calcaires ont tendance à prédominer sur les dolomies et les évaporites sont beaucoup plus rares que dans le Sénonien, sinon totalement absentes. Les calcaires à silex rencontrés au sommet du Sénonien carbonate se poursuivent dans l'Eocène. La puissance de cette formation varie entre 100 et 500 m.

II.2.2.1.2- Eocène évaporitique

Dans l'oued Righ, la nappe des calcaires semble être située dans un niveau carbonaté appartenant à l'Eocène évaporitique.

L'Eocène constitue le dernier épisode marin du Sahara algérien (*BUSSON, 1970*).

II.2.2.2- Mio-Pliocène

Dans le domaine oriental du Sahara, le Mio-Pliocène est un puissant ensemble constitué de sables et d'argiles qui reposent en discordance sur diverses formations antérieures : Primaire, Continental Intercalaire, Cénomaniens, Turonien, Sénonien ou Eocène. Les niveaux sableux, argileux ou argilo - sableux ont une structure lenticulaire. Le Mio-Pliocène est caractérisé par une forte hétérogénéité, aussi bien dans la direction verticale que dans les directions horizontales.

BEL et *DEMARGNE* en 1966, ont tenté de différencier à l'échelle du bassin oriental plusieurs niveaux alternativement sableux ou argileux. Ces auteurs décrivent quatre niveaux différents dans le Mio-Pliocène qui seraient valables sur toute l'étendue du bassin oriental.

- le niveau 1 : de faible épaisseur et essentiellement argileux, n'existerait que dans la partie centrale du Sahara oriental, suivant une bande Nord-Sud.
- le niveau 2 : grés - sableux, serait le niveau le plus épais et le plus constant, il s'étend sur tout l'ensemble du Sahara oriental et continu dans le Sahara occidental. A la base on trouve parfois des graviers, le sommet se charge progressivement en argiles pour passer au niveau 3.
- le niveau 3 : une petite formation argilo - sableuse dont les limites inférieures et supérieures sont mal définies. Cette couche imperméable n'existe que dans certaines zones, elle est épaisse et constante que dans la région des chotts. Les argiles sableuses du niveau 3 séparent les sables des niveaux 2 et 4.
- le niveau 4 : c'est le deuxième niveau sableux du Mio-Pliocène, très épais dans la région des chotts. Son sommet affleure sur de grandes surfaces, est constitué par une croûte de calcaire gréseux (croûte hamadienne). On ne peut le distinguer seulement lorsqu'il repose sur le niveau 3 ; ailleurs les niveaux 2 et 4 sont confondus.

II.2.3- Quaternaire

Il est essentiellement sableux, à la base des couches d'argiles et d'évaporites semi-perméables le séparent du Pliocène supérieur, cette formation quaternaire renferme une nappe phréatique alimentée principalement par l'infiltration des eaux des Oueds et surtout par percolation des eaux en excès lors des périodes d'irrigation.

Le Quaternaire atteint une épaisseur variante entre 39 m à 67 m.

Il est formé par une alternance de calcaire, d'anhydrite et de marnes. Son épaisseur atteint une centaine de mètres sous les Chotts (BEL et CUCHE, 1969).

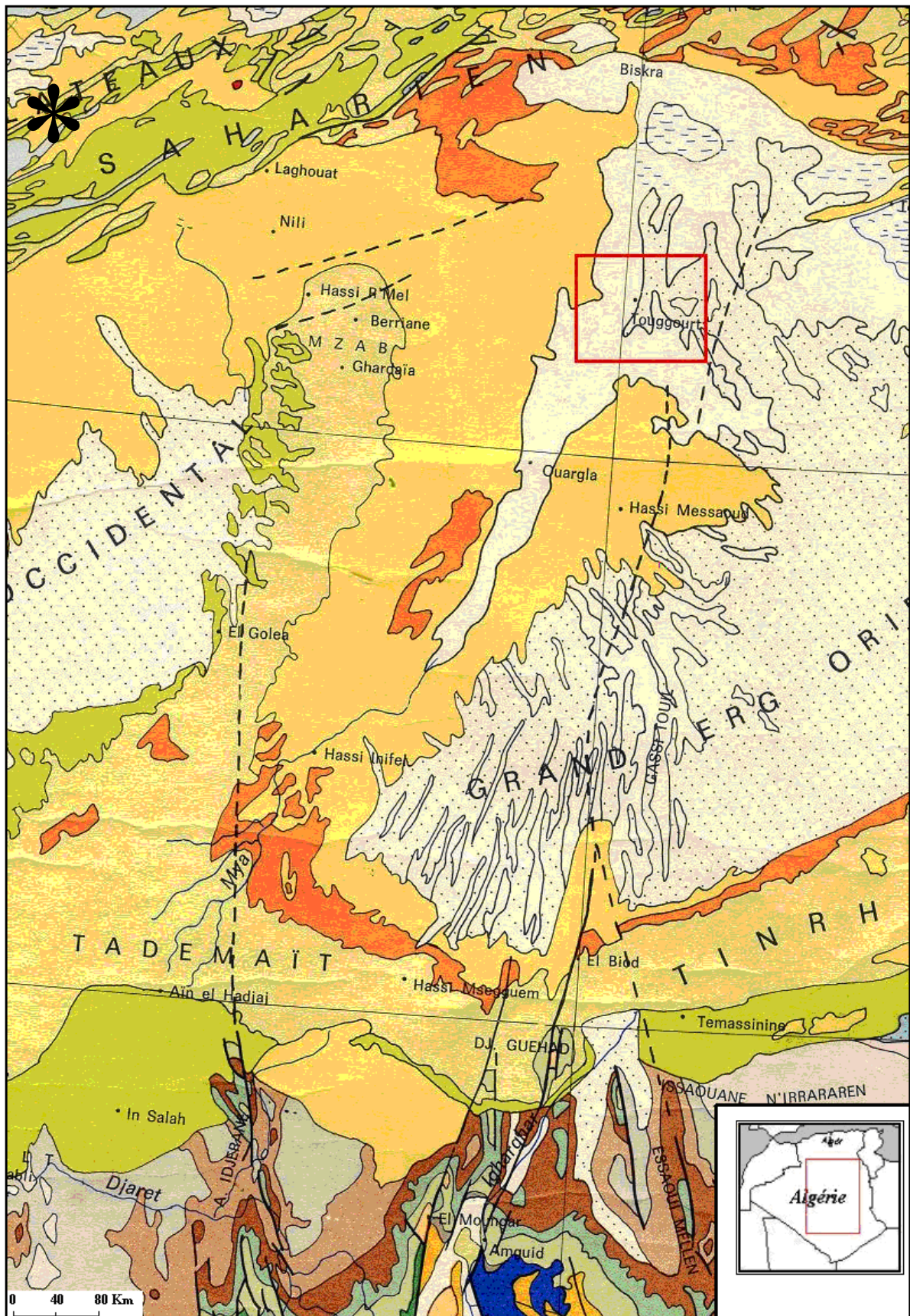




























Fig 6 : Carte géologique du Sahara orientale 1/1 000 000. Extrait de la carte géologique du Nord Ouest de l'Afrique (1976). [Légende page suivante]

<u>Légende</u>	PALEOZOÏQUE
QUATERNAIRE CENOZOÏQUE	
 QUATERNAIRE.	 Carbonifère indifférencié.
 Sebkhia, lacs.	 Carbonifère supérieur et Permien.
 Dunes.	 Carbonifère inférieur.
 Néogène + Oligocène.	 Dévonien indifférencié.
 Eocène.	 Dévonien supérieur et moyen.
	 Dévonien inférieur.
	 Silurien.
	 Ordovicien.
	 Cambrien.
MESOZOÏQUE	
 Crétacé indifférencié.	 Primaire indifférencié.
 Crétacé supérieur et moyen.	 Champ de dykes.
 Crétacé inférieur.	 Contour, limite d'affleurement.
 Jurassique indifférencié.	 Faille, décrochement.
 Jurassique supérieur et moyen.	 Front de chevauchement.
 Jurassique inférieur.	
 Trias ou Permo-Trias.	

III- Tectonique

Après le dépôt des formations marines du Primaire, le Sahara subit des mouvements tectoniques hercyniens verticaux et horizontaux, puis de nouveaux mouvements post triasique.

L'orogénèse atlasique est à l'origine de l'apparition des déformations à grand rayon, les calcaires du M'Zab sont transformées en dorsale, ceux de Tadmaït en cuvette, au Sud l'axe d'Amguid -el-Biod s'effondré pour faire place à un axe synclinal méridien qui se poursuit jusqu'à l'Aurès (*BEL et DEMARGNE., 1966*).

Et enfin la phase Plio-Quaternaire dont les mouvements s'insèrent avec le précédents dans la phase Alpine, d'où l'apparition des cassures de direction Est Ouest accentuant la surrection du massif des Aurès et l'affaissement de la partie Sud "Sillon sud Aurésien". Ces fractures régissent directement l'écoulement des eaux souterraines d'où la formation des Chotts tels que Chott Melghir et Chott Merouane ou se déverse l'oued Righ.

ERE	Etage	Lithologie	Intérêt Hydrogéologique	
Q u a t e r n a i r e		Sables.	Nappe superficielle (la nappe phréatique)	
		Argiles, évaporites.	Substratum (imperméable)	
T e r t i a i r e	Mio-Pliocène	Sables.	1 ^{ère} nappe des sables (Complexe Terminal).	
		Argiles gypseuses	(semi-perméable)	
	Pontien	Sables, graviers et grès	2 ^{ème} nappe des sables (Complexe terminal).	
	Eocène	Moyen	Argiles lagunaires	Substratum (imperméable)
		Inférieur		Nappe des calcaires (Complexe Terminal).
S e c o n d a i r e	Crétacé	Sénonien calcaire	Dolomies et calcaires	
		Sénonien lagunaire	Evaporites, argiles	Substratum (imperméable)
		Cénomaniens	Argiles, marnes	Substratum (imperméable)
		Albien		Nappe albienne
		Barrémien	Sables et grès	(Continental Intercalaire).

Tab 03 : Tableau récapitulatif et intérêt hydrogéologique des formations géologiques

Le tableau N°02, résume la géologie de la région en deux grands ensembles représentant un système aquifères à différentes nappes, selon la lithologie et la perméabilité des formations.

Ainsi on note :

- ❖ Formations perméables siège de nappes aquifères on a :
 - La nappe superficielle constituée de sable d'âge Quaternaire.
 - Le Complexe Terminal du Mio–Pliocène constitué d'un remplissage de formations continentales sablo - argileuse qui repose en discordance sur les calcaires érodés de l'Eocène inférieur.
 - Le continental Intercalaire Sablo – gréseux d'âge de l'Albien.
- ❖ Formations imperméables constituées d'argiles et de marnes servants de substratum et toits des nappes.

IV - Conclusion

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

Le système multicouche du Sahara septentrional a pu être schématisé dans son ensemble. Ce système recèle d'importantes réserves d'eau.

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

Le Continental Intercalaire est défini par deux niveaux grés-sableuses, aquifères : L'Albien et le Barrémien, séparés par une couche semi-perméable d'âge Aptien, et recouvert par une couche argilo-marneuse argileuse à évaporites, du Cénomanién.

Le substratum de Continental Intercalaire est constitué par des formations argileuses, Argilo-sableuses ou carbonatées, qui sont en discordance sur les terrains du Paléozoïque. Parfois le Paléozoïque est remplacé par le Néocomien argileux ou le Jurassique.

CHAPITRE III: APERCU HYDROCLIMATOLOGIE

III.1. INTRODUCTION

Le Sahara algérien correspond à un désert zonal dans la typologie des zones désertiques. La sécheresse qualifie une situation de manques d'eau « déficitaires », caractérisée par des écarts négatifs accusés de diverses variables hydrologiques par rapport à leur état pour une région ou une zone climatique donnée.

Ces zones arides au sens large du terme connaissent une évaporation de 10 à 20 fois plus d'eau qu'il n'en tombe chaque année, en moyenne (Margat, 1985).

III.2. Le climat

Notre zone d'étude fait partie du grand bassin saharien. Le climat est typiquement saharien caractérisé par des précipitations très peu abondantes et aléatoires, par de fortes amplitudes thermiques et par une faible humidité relative de l'air.

L'étude hydrogéologique nécessite une étude sur le climat par les phénomènes à savoir ; précipitation, température et évapotranspiration, à l'aide des données climatiques disponibles auprès de la station météorologique d'Oued Righ à Touggourt.

III.2.1. Etude des facteurs climatiques

A. La Température

La température est un élément fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent influe sur le taux de salinité des eaux. Toutefois, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique.

A.1 Variations des températures moyennes annuelles et mensuelles

Le régime thermique de la région est caractérisé par des températures élevées en été et relativement moyen en hiver.

La courbe représente la variation annuelle de la température, sur une période quarante ans (1975-2014), elles montrent les valeurs moyenne varie de 24 ,35 °C il a été constaté que l'année 2011 la plus tempérée avec une moyenne 20,35°C tandis que l'année 1976 est moins tempéré. En général, La température moyenne annuelle est de 23 °C. (Fig.09)

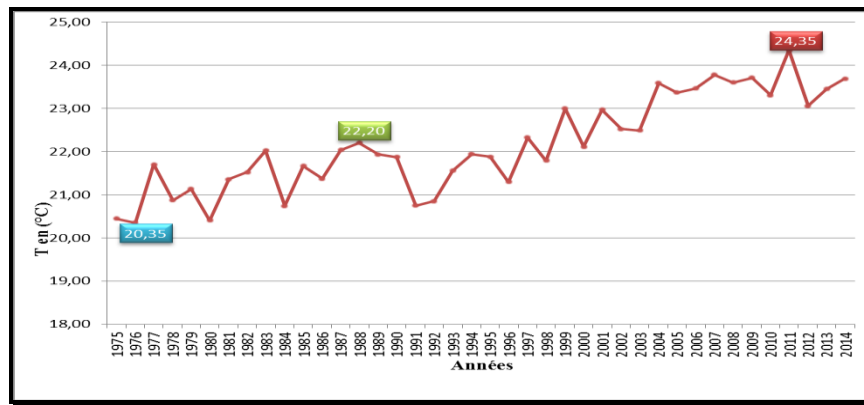


Fig.07: Evolution de la température moyenne annuelle de la station de Touggourt (1975/2014).

B. La pluviométrie

B.1 Variations moyennes mensuelles des précipitations

La courbe des variations des moyennes mensuelles des précipitations, sur une période de quarante ans (1975-2014) montre que le mois de Janvier est le plus pluvieux, avec une précipitation de 12,61 mm tandis que le mois de juin est le plus sec, avec 0,85 mm (Fig. 11)

B.2 Variations interannuelles des précipitations

L'analyse de la courbe des variations annuelles des précipitations effectuée sur une période de quarante ans (1975-2014) montre que les années 1980 et 1990 sont les plus arrosées avec une précipitation de 12,75 et 12,37 mm et les deux années 1989 et 2008 sont les plus sèches avec 0,95 et 1,2 mm de précipitation. Notons que les précipitations moyennes inter annuelles s'évaluent à 5,14 mm (Fig. 12)

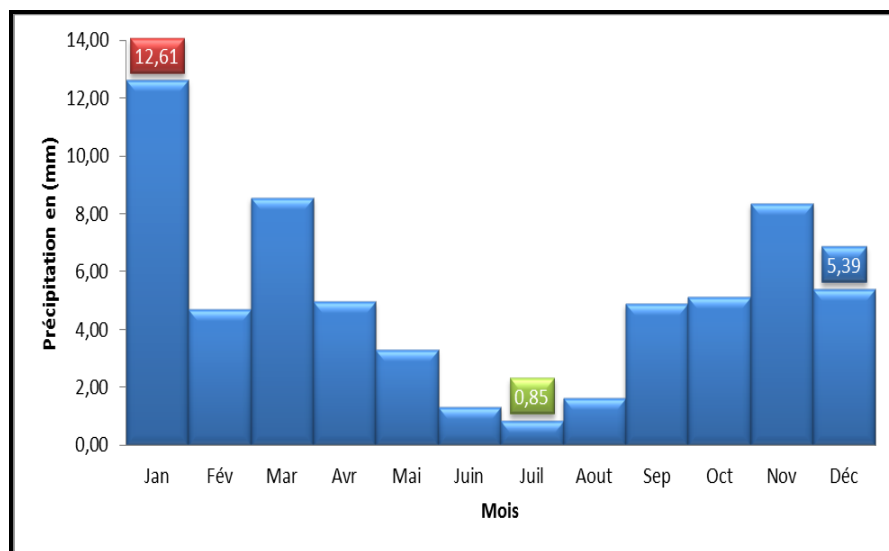


Fig. 08: Evolution des précipitations mensuelles de l'Oued Righ station de Touggourt (1975-2014)

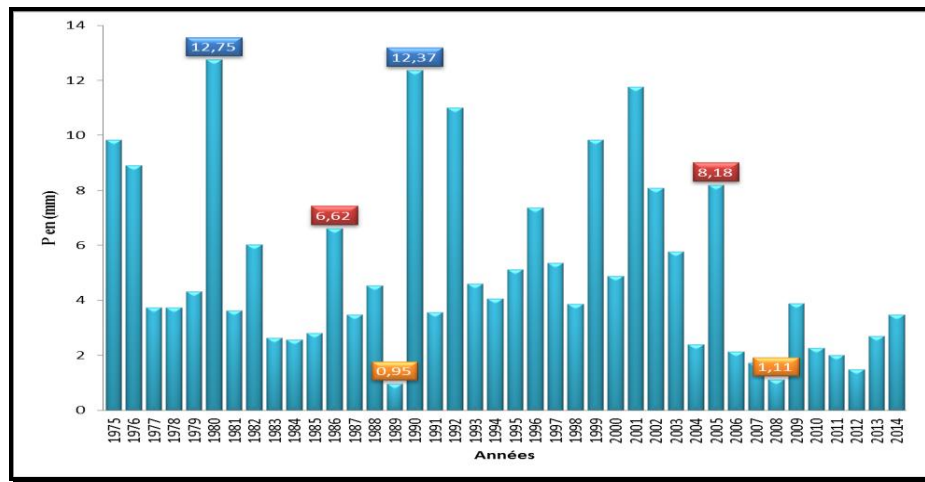


Fig.09 : Evolution des précipitations annuelles de l’Oued Righ station de Touggourt (1975-2014)

C. L’évapotranspiration potentielle (ETP)

Les températures élevées et les vents fréquents et violents provoquent une évapotranspiration potentielle considérable. Elles sont mesurée par un évapomètre type Piche, le cumule dépasse largement 3000 mm/an. La période allant du mois d’Avril au mois d’Août est la plus importante (plus de 3613 mm/mois) où le mois de Juillet représente la valeur maximale d’évaporation de 442 mm voir (Fig. 13)

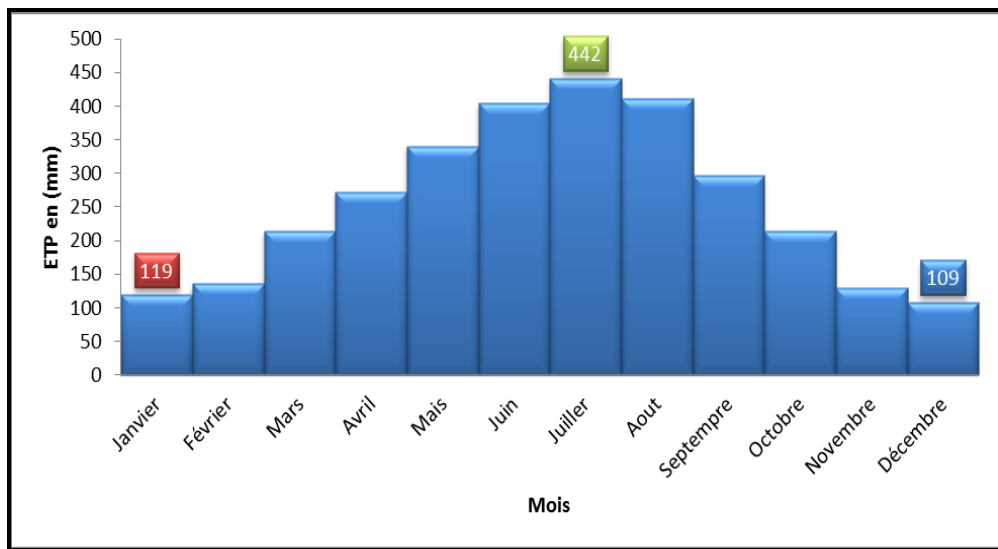


Fig. 10: Evolution d’évapotranspirations mensuelles de l’Oued Righ station de Touggourt (1975-2014)

D. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN

Le diagramme Ombrothermique de Gausсен est l’un des indices le plus utilisé. Cet indice tient compte des moyennes mensuelles des précipitations (P en mm) et de la température (T en °C) et

donne une expression relative à la sécheresse estivale en durée et en intensité (Gausсен et Bagnouls, 1952) Un mois donné est considéré comme sec quand $p < 2t$, c'est-à-dire quand les pertes en eaux (supposées causées par une température trop forte) sont supérieures aux apports (précipitations).

On constate que la saison sèche est formée par plusieurs mois secs consécutifs. Le diagramme de Gausсен (Fig.15) a permis de mettre en évidence une saison humide débutant au mois de novembre qui se termine au mois de février, et une saison sèche qui s'étale du mois d'Avril jusqu'au mois de Novembre.

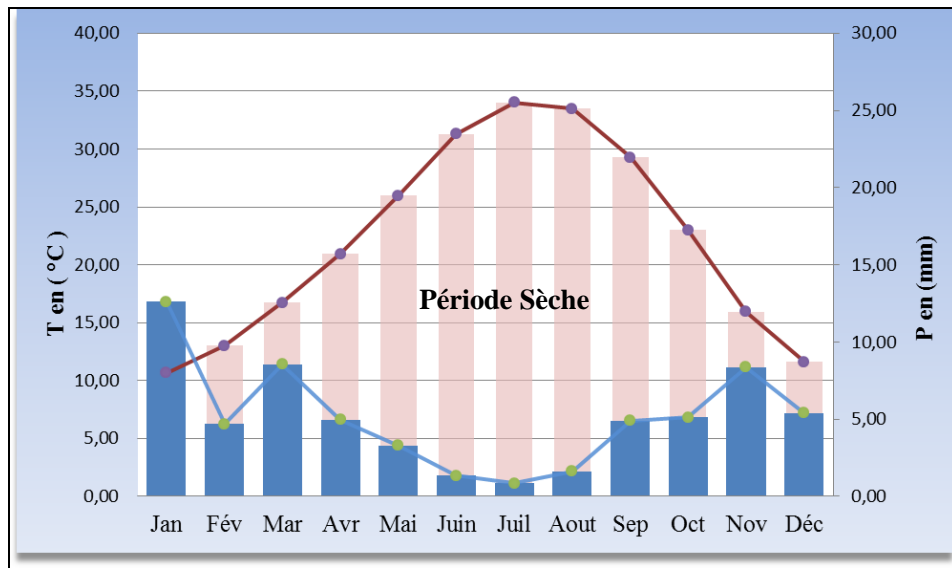


Fig. 11: Courbe Pluviothermique de la station de l'Oued Righ station de Touggourt.

E. Indice de De Martonne

Cet indice est calculé en fonction des températures et des précipitations ; L'aridité augmente quand la valeur de l'indice diminue. L'indice de Martonne (1926) a défini l'aridité du climat à l'échelle annuelle par l'équation :

$$I = \frac{P}{T+10}$$

Où

I : indice d'aridité

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T : températures moyennes annuelles en °C.

Application : $P= 5,14\text{mm}$ et $T= 22,16\text{ °C}$ alors $I= 0,16$

Suivant les valeurs de (I) L'aridité augmente quand la valeur de l'indice diminue. Au niveau mondial, De Martonne (1962) a proposé de différents grands types de macroclimats, et il a établi la classification suivante :

Tab. 04: Classification Climatique de l'indice de de Martonne (1926)

Intervalle de l'indice	Type de Climat
$I < 5$	Climat hyperaride
$5 < I < 7,5$	Climat désertique
$7,5 < I < 10$	Climat steppique
$10 < I < 20$	Climat semi-aride
$20 < I < 30$	Climat tempéré

Selon les paramètres enregistrés au niveau de station de Touggourt, si on projette ces données sur la région de l'Oued Righ, on peut classer cette zone qui se plonge dans la classe d'un climat hyperaride voire la (Fig. 12)

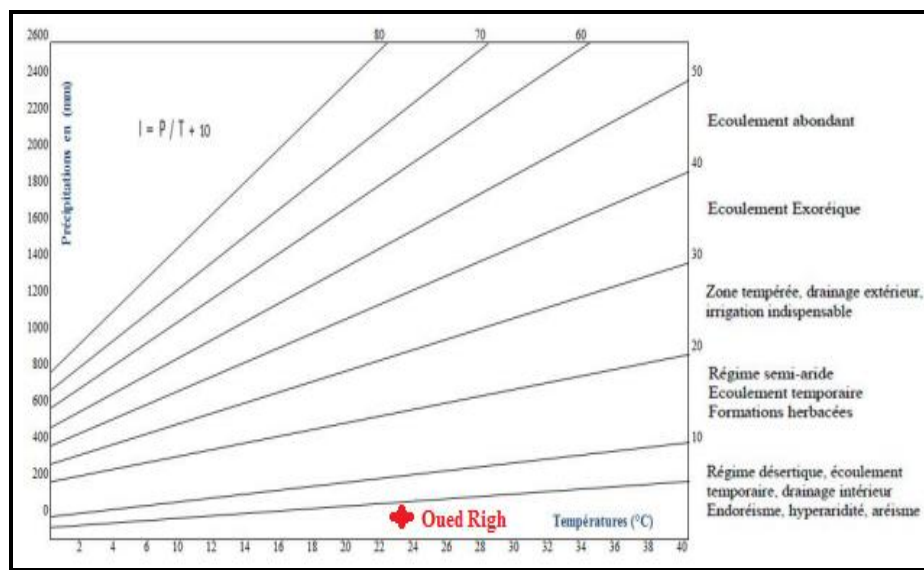


Fig. 12: Abaque de l'indice de l'aridité de de Martonne (1926).

F. Climagramme de Louis Emberger :

Pour déterminer les climats de la zone méditerranéenne, 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 des mois le plus froid et le plus chaud. Il propose donc la formule suivante :

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

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

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (degrés/Kelvin).

m : moyenne des minima du mois le plus froid (degrés/Kelvin).

L'application numérique donne les résultats suivants :

$P = 5,14 \text{ mm}$, $M = 306,15 \text{ °K}$, $m = 279,68 \text{ °K}$

Ce qui donne : **Q2= 0,38**

Le rapport de la station de Touggourt montre que le climat de la région de l'Oued Righ est de type saharien. (Fig. 17)

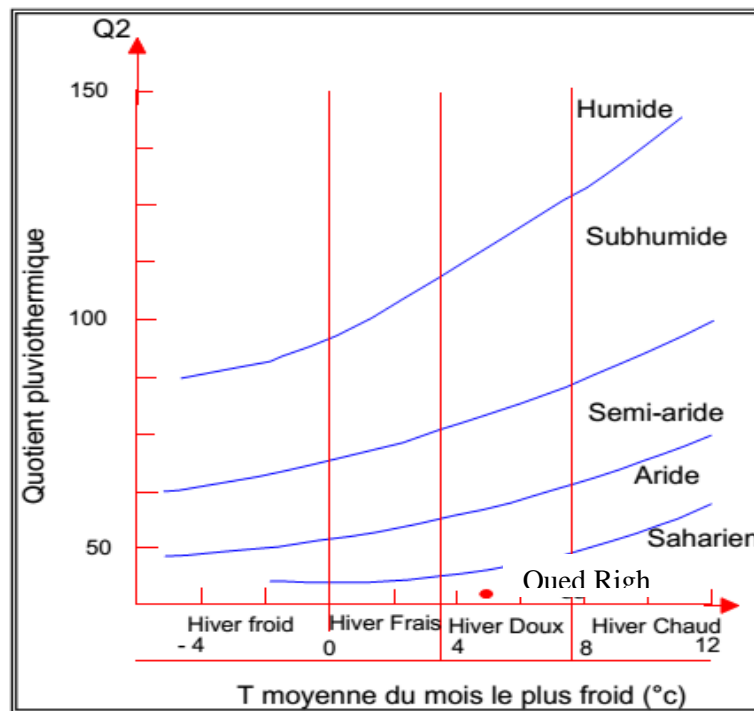


Fig. 13: Climagramme d'Emberger de la station de l'Oued Righ station de Touggourt.

G. Relation température - évaporation :

La relation entre la température et l'évaporation montre une corrélation positive, car l'augmentation de température provoque une évaporation intense

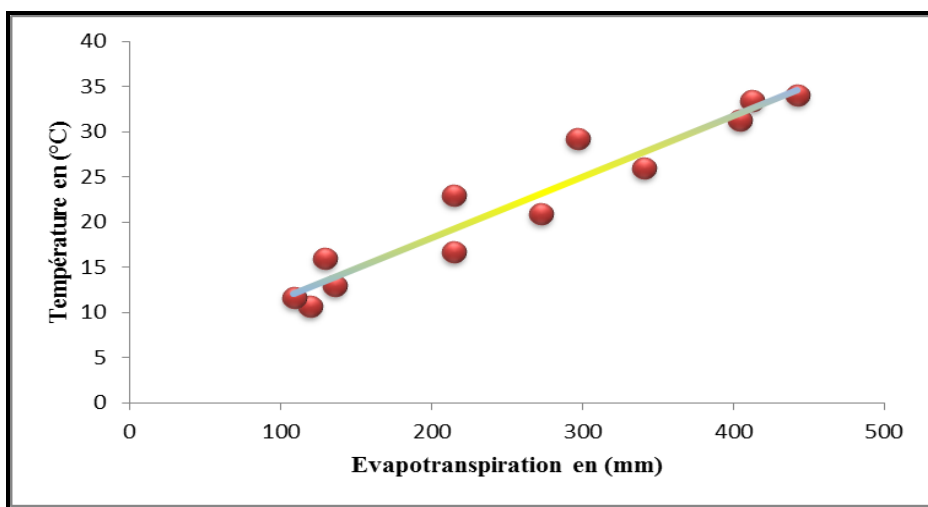


Fig.14: Relation entre la température et l'évaporation à Oued Righ station de Touggourt.

III.3 Conclusion

La région de l'Oued Righ fait partie de Sahara septentrional. Elle est caractérisée par un climat du type hyper-aride, les études hydroclimatologiques ont permis de déduire que :

Le climat de la région est caractérisé par un été chaud et sec et un hiver froid.

Cette zone est caractérisée par l'irrégularité et la faiblesse de ses précipitations. Les précipitations moyennes annuelles pour la période 1975 –2014 sont de 5.14 mm.

La température moyenne est de 34°C avec un maximum de 41,51°C au mois de juillet et un minimum au mois de janvier 4,65°C.

Les températures sont élevées, 24,35°C en moyenne annuelle pour la période (1975-2014), et 41,51°C au mois le plus chaud, ce qui explique la forte évaporation.

CHAPITRE IV: HYDROCHIMIE

IV.1. Introduction

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines sont nombreuses, et la composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, ainsi que le choix de son usage (alimentation en eau potable, irrigation, industrie, etc.), tous ces derniers (on peut dire le chimisme naturelle) dépend essentiellement de la composition géologique des milieux traversés et du temps de séjour. Le chimisme est principalement régi par les équilibres calco-carboniques (Ca^{++} , HCO_3^-) auxquels viennent se greffer d'autres éléments (Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , NO_3^-). Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que la nature géologique des formations traversées par les eaux, les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface.

L'intérêt principal de cette partie de l'étude est de mieux caractériser la qualité des eaux souterraines et les faciès chimique du Continentale Intercalaire de la région d'Oued Righ.

IV.1. Matériels et méthodes d'analyse

Les analyses des paramètres physiques et les éléments chimiques ont été faits par L'ANRH et L'ADE de Touggourt

IV. 1. Paramètres physiques

Le pH, la température, et la conductivité sont mesurés in situ au moyen d'appareillage de terrain avec une valise multi paramètres HANNA qui contient des sondes sélectives (pH mètre, conductivimètre).

IV. 1. 1. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le PH est la mesure de la concentration en protons (ion hydrogène ou H) dans une solution donnée. Pour les eaux souterraines, le PH varie entre 7 et 8.5 et ne dépassent pas la norme (6.5 à 8.8).

IV. 1. 2. Température (T)

Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol.

IV. 1. 3. Conductivité électrique (CE)

Elle est liée à la présence des espèces ioniques en solution, elle est proportionnelle au degré de minéralisation et varie en fonction de la température.

La variation de la minéralisation de l'eau est régie par plusieurs facteurs:

- Évaporation importante liée à l'approximation de la surface
- Temps de séjour et échange eaux encaissant
- Sens générale d'écoulement de la nappe

- Échanges avec nappes adjacentes

Le lessivage des sols entraîne naturellement la dissolution d'un certain nombre de sel (bicarbonates, chlorures, sulfates, sodium...etc.) et provoque un accroissement de la conductivité.

IV. 2. Eléments majeurs

IV. 2. 1. Calcium (Ca^{2+}) et Bicarbonates (HCO_3^-)

L'apport atmosphérique en ces deux éléments étant négligeables, leur teneur dans les eaux carbonatées a toujours une origine interne au système. Leur abondance relative est fonction de l'état du système calcocarbonique. On peut retenir parmi les différents facteurs qui contrôlent la teneur en Ca^{2+} et HCO_3^- :

- L'agressivité de l'eau qui entre dans le système, régie par sa teneur en CO_2 dissous et son pH (c'est elle qui détermine le potentiel de cette eau à dissoudre);
- Le temps de séjour de l'eau dans l'aquifère. En effet, la dissolution étant contrôlée par la cinétique des réactions chimiques, un certain temps est nécessaire à sa réalisation. Toutefois, même si la réaction chimique n'est pas terminée, la dissolution des carbonates commence dès le contact de l'eau avec la roche.

IV. 2. 2. Magnésiums (Mg^{2+})

Les apports de magnésium par la pluie sont négligeables. La présence de Mg témoigne de la dissolution de dolomies, de calcaires ou éventuellement de marnes dolomitiques. L'acquisition de cet élément est lente (la cinétique de dissolution est longue, supérieur à celle des calcaires). Le magnésium est donc un bon indicateur d'eaux à temps de séjour prolongé dans l'aquifère.

IV. 2. 3. Chlorures (Cl^-)

Sont des éléments conservatifs; leur origine est en générale exclusivement météorique. Les apports internes en Cl^- ont des origines facilement identifiables en fonction de la situation ou de la géologie des systèmes étudiés:

- Dépôts évaporitiques;
- Pollution anthropique (salage des routes, épandages, eaux usées...);
- Proximité d'une bordure littorale.

IV. 2. 4. Potassium (K^+) et Sodium (Na^+)

Ces ions sont généralement présents à de faibles teneurs dans les eaux, ils ne sont pas conservatifs. Leur origine est également principalement externe au système (apport atmosphérique). Toutefois, ils peuvent aussi provenir soit de l'altération des minéraux silicatés dans l'aquifère. Soit d'échanges de cations avec les minéraux argileux ou des substances organiques.

IV. 2. 5. Sulfates (SO_4^{2-})

La présence des ions de sulfate dans l'eau est liée essentiellement à la dissolution des formations gypseuses. Il y a des origines diverses :

-Origine interne au système: par oxydation des minéraux sulfurés présent dans les calcaires (pyrite) ou par dissolution de gypse ou d'anhydrite dans les terrains traversés

-Origine biologique: la dégradation de la matière organique dans le sol produit des teneurs faibles en sulfates.

Tab.04: les analyses physico-chimiques en mg/l, des eaux de la nappe Albien de la région d'Oued Righ.

NF	Année	Ca ⁺² (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	CE (µS/cm)	pH
F1	Sidi Amrane	163.8	105	230	55.5	213.5	688	460	2400	8.04
F2	Ain Abane	163.8	108.8	165	52	161.65	763	295	2130	7.93
F3	Sidi Amrane	527	226	670	19	107	1788	1330	7900	8
F4	Ain Choucha	459	146	570	10	131	1600	760	5600	8.1
F5	Elmgheier	485	172	600	10	136	1688	800	5500	7.9
F6	Nezla	192.83	114.21	300	25	162.66	380	709.74	2610	7.04
F7	Nezla	208.41	87.41	200	25	153.37	450	605.26	2600	7.16
F8	Touggourt	216.43	89.91	250	25	171.96	450	659.31	1750	7.1
F9	Touggourt	156.31	182.25	200	15	124.06	562	581.68	1700	6.75
F10	Touggourt	192.38	89.90	200	20	141.96	400	552.6	1750	7.17
Normes OMS		200	150	200	10	250	200	250	1000 à 3000	6.5 à 8.8

IV.3. Résultats et discussions

IV.3.1. Représentation graphique des eaux sur le diagramme de PIPER

Ce diagramme comporte un losange et deux triangles équilatéraux dont les cotes sont subdivisées en 100 parties égales correspondantes à des pourcentages par rapport a :

- Un triangle destiné aux cations.
- Un triangle destiné aux anions.

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper permet d'avoir une approche vraie de la composition chimique d'une eau. Les cations se trouvant à l'intérieur de sous triangle (pas de cations dominants). Les anions sont proches de zone de sous triangle (pas de anions dominants) ; avec une légère tendance vers les chlorures.

La projection sur le diagramme de piper des forages du Continentale Intercalaire montre que les eaux ont un faciès chimique à dominance de nature sulfaté calcique, et chloruré calcique. L'existence de ce faciès est engendrée généralement par le contact de l'eau avec les formations géologiques en présence des roches gypseuses et anhydritique.



Fig 15. Carte de positionnement des forages captant la nappe du CI dans la zone d'étude.

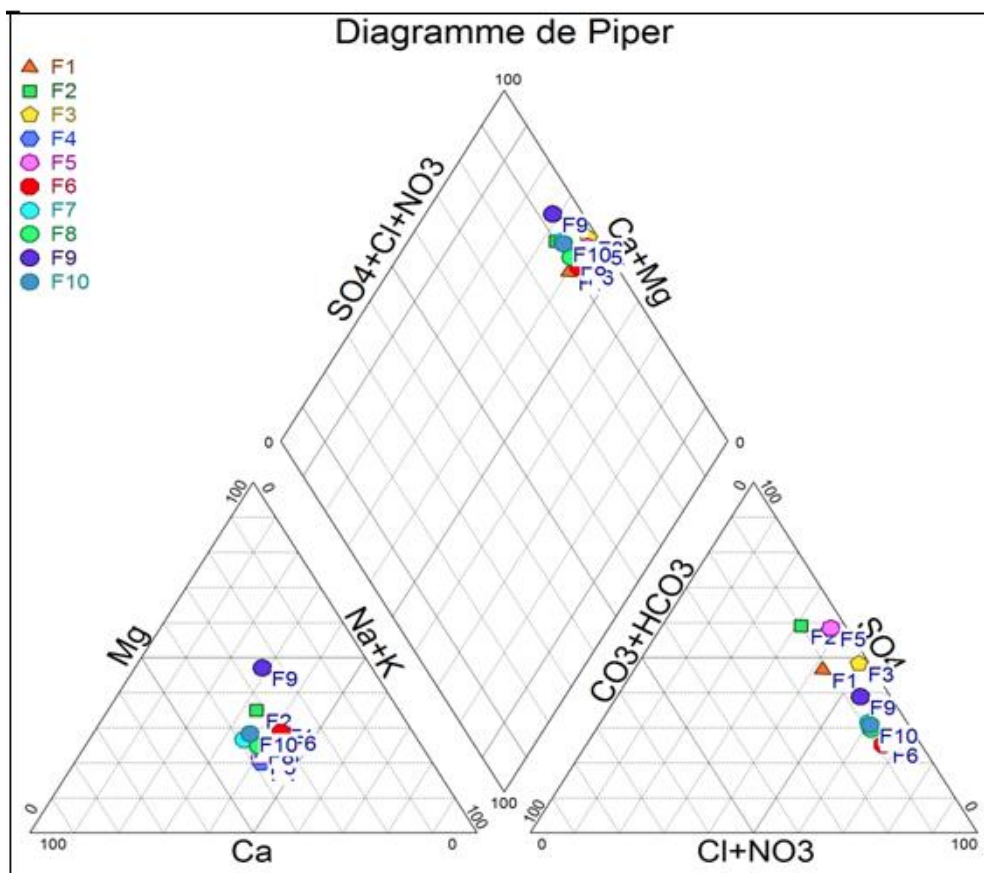


Fig. 16: Famille des faciès sur le diagramme de piper.

IV.3.2. Selon la classification de STABLER

Il consiste à calculer le pourcentage de chaque élément par rapport à la concentration totale

Tab. 05 : Classifications des eaux de Stabler.

Les forages	Formules caractéristiques	Faciès chimique
F01 F02	$r\%Mg^{+2} > r\%Ca^{+2} > r\%Na^{+} > r\%K^{+}$ $r\%SO_4^{-2} > r\%Cl^{-} > r\%$ alcalinité	Sulfaté magnésique
F03 F04 F05	$r\%Na^{+} > r\%Ca^{+2} > r\%Mg^{+2} > r\%K^{+}$ $r\%SO_4^{-2} > r\%Cl^{-} > r\%$ alcalinité	Sulfaté sodique
F06	$r\%Na^{+2} > r\%Ca^{+2} > r\%Mg^{+2} > r\%K^{+}$ $r\%Cl^{-} > r\%SO_4^{-2} > r\%$ alcalinité	Chloruré sodique
F07 F08	$r\%Ca^{+2} > r\%Mg^{+2} > r\%Na^{+2} > r\%K^{+}$ $r\%Cl^{-} > r\%SO_4^{-2} > r\%$ alcalinité	Chloruré calcique
F09 F10	$r\%Mg^{+2} > r\%Ca^{+2} > r\%Na^{+2} > r\%K^{+}$ $r\%Cl^{-} > r\%SO_4^{-2} > r\%$ alcalinité	Chloruré magnésique

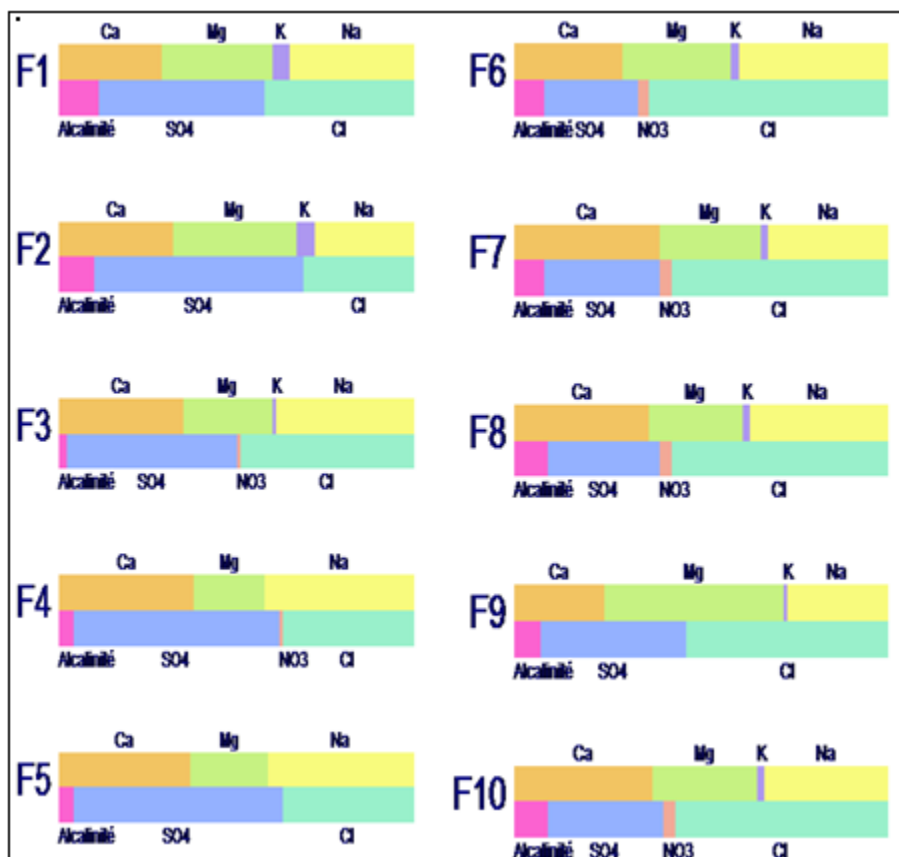


Fig 17 : Famille des faciès selon le diagramme de STABLER

IV.3.3. Selon le diagramme de SCHOELLER et BERKALLOF

C'est un diagramme semi-logarithmique qui permet de donner des indications sur certains paramètres hydrochimiques des eaux.

La représentation teneurs chimique des points d'eau sur ce diagramme montre que les faciès dominant sont dans le tableau sousdessus.

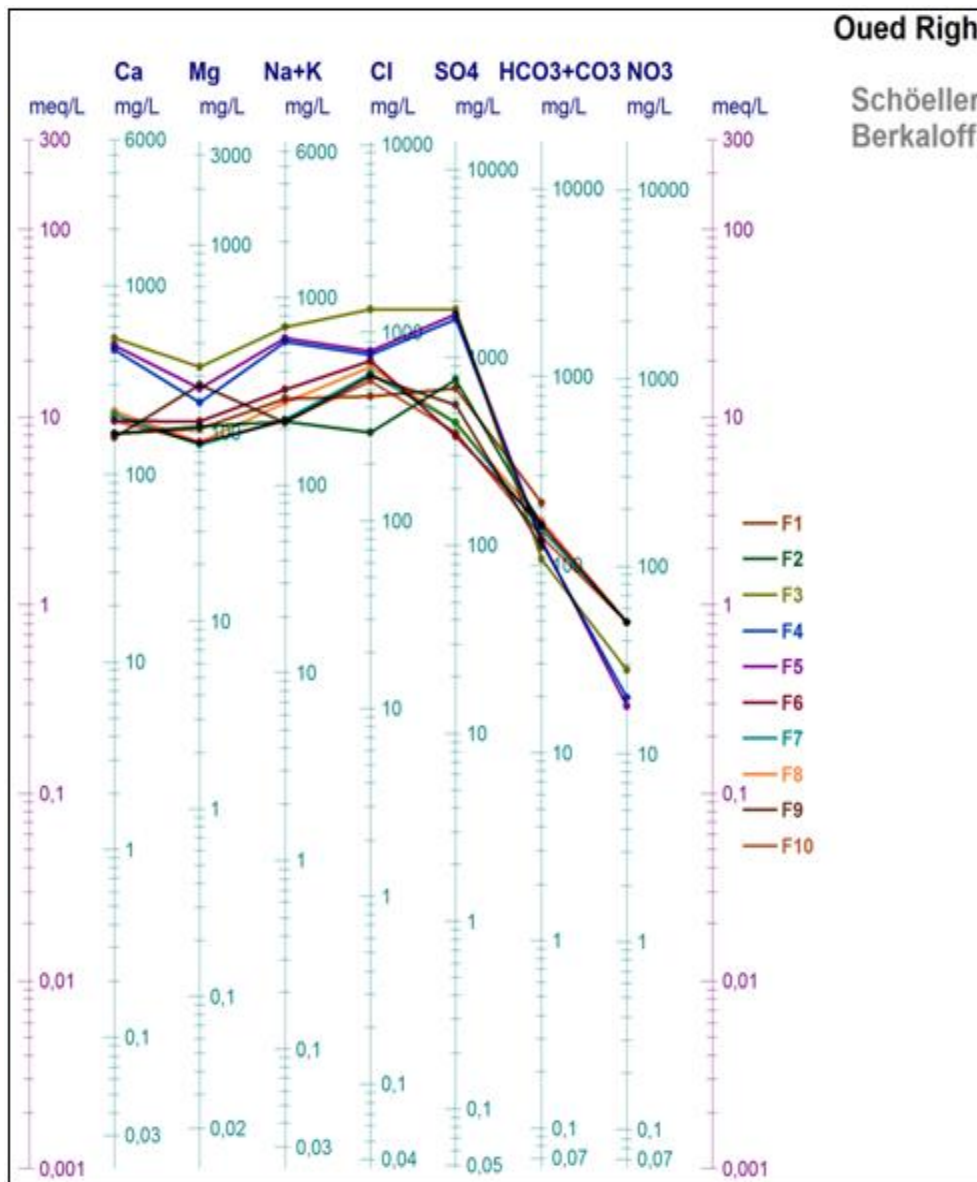


Fig 18 : Famille des faciès selon le SCHOELLER et BARKALOFF.

Tab.19 : les faciès chimiques des eaux de la nappe CI.

Les forages de CI	Les faciès chimique	Les Formules caractéristiques
F1, F2, F3, F4 F5	Sulfaté Sodique	$\text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2}$
F6, F7, F8, F10	Chloruré Sodique	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^-$ $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$
F9	Chloruré Magnésique	$\text{Cl}^- \geq \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^-$ $\text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{+2}$

IV.3.4. Etude de rapport caractéristique

Cette étude permet de préciser le milieu de provenance des eaux souterraines, et comparer leur concentration en éléments chimique. L'étude basée sur les rapports suivant :

$$r(\text{SO}_4/\text{Cl}) \quad r(\text{Na}/\text{Mg}) \quad r(\text{Mg}/\text{Ca})$$

Tab.6: calcul des rapports caractéristiques.

forages d'eau	$r(\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+})$	$r(\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+})$	$r(\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-)$
F1	0,64	1,40	1,50
F2	0,66	1,01	2,59
F3	0,43	1,27	1,34
F4	0,32	1,24	2,11
F5	0,35	1,24	2,11
F6	0,59	1,56	0,54
F7	0,42	0,96	0,74
F8	0,42	1,16	0,68
F9	1,17	1,28	0,97
F10	0,47	1,04	0,72

IV.3.4.1. Rapport caractéristique r (Mg^{2+}/Ca^{2+})

Le rapport est inférieur de 1 pour tous les forages, expliquant la prédominance de calcium par apport le magnésium, résultant à la dissolution des formations carbonaté, par exception le forage F9 est supérieur de 1, ce qui indique la prédominance de magnésium, qui est probablement résultant des Dolomie.

IV.3.4.2. Rapport caractéristique r (Na^+/Ca^{2+})

Le rapport (Na^+/Mg^{2+}) est supérieur de 1 dans tous les forages, donc, le sodium est plus dominant que le calcium, ce résultat explique la prédominance des formations évaporitique.

IV.3.4.3. Rapport caractéristique r (SO_4^{2-}/Cl^-)

Le rapport est supérieur de 1 pour les forages F1, F2, F3, F4, et F5, qui explique la prédominance de sulfates par apport aux chlorures suite à la présence des formations gypsifères et anhydritique, et pour les forages F6, F7, F8, F9, F10 le rapport est inférieur à 1, alors les chlorures sont plus dominant que les sulfates, liée au lessivage des formations salifères (halite), donc la dissolution des sels est massif.

IV.3.5. Aptitude des eaux à l'irrigation

L'aptitude des eaux à l'irrigation est reliée à son effet sur les sols et les cultures, ces derniers sont effectués de matières différentes par la nature des sels dissouts dans les eaux destinées à l'agriculture.

IV.3.5.1. Diagramme de REVERSE

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, **Reverside** a créé une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par le sol (**SAR**) et la minéralisation totale.

Donc le **SAR**, sera calculé par la formule suivante : $SAR = Na^+ / \sqrt{(Ca^{+2} + Mg^{+2})/2}$

Où tous les concentrations sont exprimées en **még/l**

On a les classifications suivants :

- SAR > 10 eau à faible danger d'alcalinisation des sols, eau excellents
- 10 < SAR < 18 eau avec un danger d'alcalinisation assez appréciable, eau bonnes
- 18 < SAR < 26 eau avec un danger d'alcalinisation important, eau convenables
- SAR < 26 eau présentant un danger d'alcalinisation très fort, eau médiocres

Tab.15: classification de qualité des eaux en fonction des valeurs du SAR.

Nom	Na %	SAR	Analyse
F1	4,05	0,21	eau excellent
F2	1,79	0,11	eau excellent
F3	30,75	0,66	eau excellent
F4	33,52	1,05	eau excellent
F5	32,30	1,04	eau excellent
F6	2,90	0,18	eau excellent
F7	2,10	0,13	eau excellent
F8	2,53	0,16	eau excellent
F9	1,63	0,11	eau excellent
F10	2,18	0,13	eau excellent

Les résultats du SAR montre que toutes les eaux de la nappe CI sont des eaux excellents et utilisable pour l’irrigation sans risque d’alcalinisation de sol.

IV.3.5.2.L’interprétation du diagramme

D’après le diagramme de **Reverside**, les eaux de l’Albien de région d’étude ont une salinité très forte, mais avec une faible alcalinisation, donc on peut déduire que ces eaux sont utilisables pour l’irrigation ou non utilisables d’après les calculs de SAR, et les résultats dans le tableau suivant :

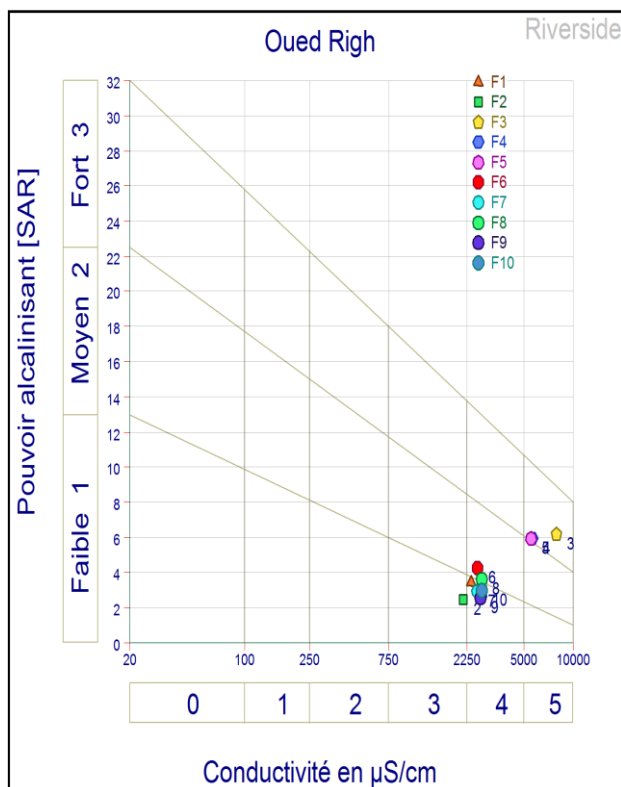


Fig19 : Diagramme de REVERSIDE

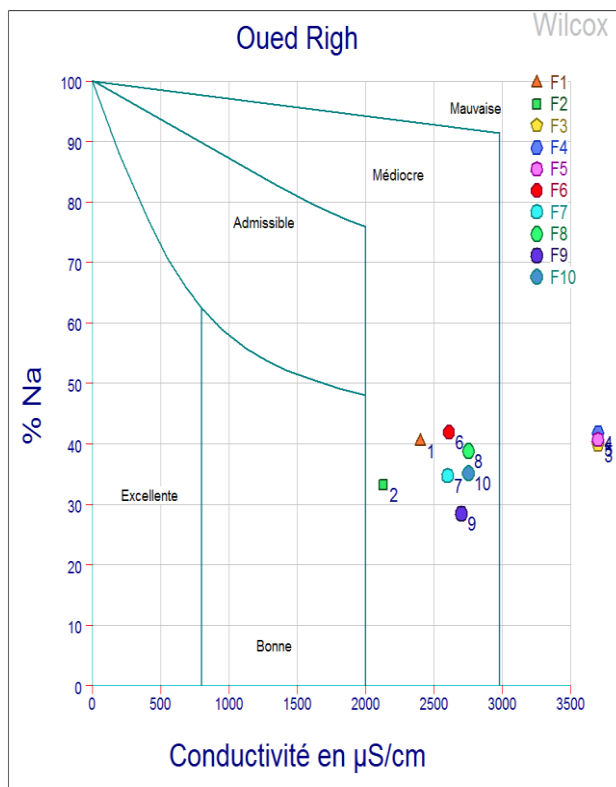


Fig 20 : Carte Diagramme de WILCOX

IV.3.5.3. Diagramme de WILCOX

Il est connu en général que le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium (**Lourrier 1976**).

Pour cette raison **Wilcox** a établi en **1954** un diagramme qui tient compte du pourcentage de sodium, et de la conductivité électrique, définissant **5** classes d'eau (excellente, bonne, admissible, médiocre, mauvaise) dont le pourcentage de sodium sera calculé par la formule suivante :

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

IV.3.5.4. Interprétation du diagramme

D'après le diagramme on constate que les valeurs obtenues sont de qualité médiocre, et pour les forages F3, F4, F5, sont hors du diagramme, on peut déduire que ces eaux ont une qualité mauvaise pour l'irrigation.

IV.4. Les problèmes techniques posés

II.5. La dureté de l'eau

La dureté de l'eau correspond à la présence de sels des ions alcalino-terreux : calcium et magnésium dans l'eau. Avec :

$$TH (\text{°F}) = ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]) \times 5 \quad ; [Ca^{2+}] \text{ et } [Mg^{2+}] \text{ en meq.l}^{-1}.$$

Les eaux peuvent être classées suivant les indications du Tableau. 02.

Tab. 07 : Classification d'une eau selon sa dureté (OMS, 1994)

TH (°F)	Spécificité de l'eau
0 à 6	Eau très douce
6 à 15	Eau douce
15 à 30	Eau moyennement dure
30 et plus	Eau très dure

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
TH (°F)	84	86	224	175	192	95	88	91	114	85

Tab. 8 : les résultats de la dureté

D'après le tableau de classification ci-dessus et les résultats des duretés obtenus, on constate que les eaux de l'Albien de région d'étude sont très dures, et alors la minéralisation est élevée qui provoque les problèmes de l'entartrage des canalisations.

IV .4.1. Le problème de tartre

Le tartre est un dépôt adhérent, formé principalement par la précipitation du carbonate de calcium. Il représente environ 90% du précipité global. Le tartre provient de l'action de la chaleur de l'eau qui transforme le calcium et le magnésium en carbonate.

On appelle « Tartre » les incrustations adhérentes et dures qui se forment sur les surfaces des canalisations. Le tartre ainsi constitué est compact, dur, fortement adhérent et peu poreux.

La dureté de l'eau est principalement causée par la présence d'ions calcium (Ca^{+2}) et magnésium (Mg^{+2}) dans l'eau. Une eau dure peut poser des problèmes d'entartrage des appareils (Débitmètre, vannes) et des canalisations d'eau chaude.

200 m³ d'eau à 42°F (Soit la consommation annuelle d'une famille de 4 personnes) peuvent déposer jusqu'à 10 kg de calcaire.

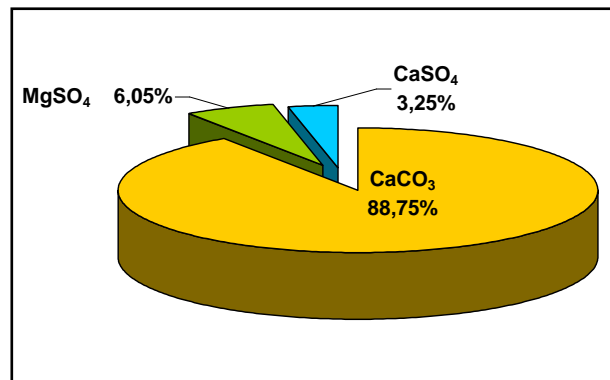


Fig.21 : Composition chimique de tartre en pourcentage.

Les tartres sont généralement composés de sels d'alcalino-terreux peu sensibles (Ca, Mg), les plus courants sont :

Le sulfate de calcium :

Qui existe sous trois formes cristallines :

- ◆ Le gypse : ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) qui se forme au froid.
- ◆ L'hémi-hydrate de calcium : ($\text{CaSO}_4, 1/2\text{H}_2\text{O}$) qui se produit à chaud.
- ◆ L'anhydrite : (CaSO_4) qui est la forme la plus courante à chaud.

Le carbonate de calcium :

Existe sous deux types

- ◆ Aragonite : (CaCO_3) système cristallin orthorhombique
- ◆ Calcite : (CaCO_3) système cristallin rhomboédrique à six faces.

L'hydroxyde de magnésium :

($\text{Mg}(\text{OH})_2$) qui se présente sous forme de très peu soluble, système cristallin hexagonal.

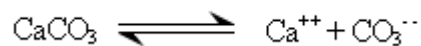
On trouve également des silicates de fer et de magnésium, silicate de fer et silicate de sodium.

La formation de ces types de tartres fait intervenir différents phénomènes physico-chimiques. La conjugaison de ces différents phénomènes a des conséquences importantes au niveau du comportement des sels minéraux dissous.

Les paramètres de l'entartrage sont les suivants :

- La présence de calcaire dans l'eau (170 mg/l _ 312,62 mg/l).
- La température de l'eau (28,6 °C _ 57,7 °C).
- La présence dans l'eau d'éléments favorisant (manque des éléments lourds par défaut d'analyse).

IV .4.2. La présence de calcaire dans l'eau



La présence de sels de calcium et dans une moindre mesure, de magnésium dans l'eau est le premier facteur qui contribue au caractère entartrant de l'eau. Ainsi, plus la dureté de l'eau est élevée, plus il y a de prédisposition au dépôt de calcaire (en fait, du carbonate de calcium CaCO_3) sur les parois en contact avec l'eau. Mais la présence de sels de calcium dans l'eau n'est pas à elle seule suffisante pour provoquer l'entartrage.

IV .4.3. La température de l'eau

La réaction chimique qui provoque la précipitation du carbonate de calcium est largement favorisée par l'élévation de la température qui, en libérant du gaz carbonique accélère la précipitation du tartre (Ou moins 100 fois plus).

IV .4.4. La présence dans l'eau d'éléments favorisant le tartre

On a pu constater que deux types d'eaux de composition identique, placées dans les mêmes conditions n'ont pas forcément le même pouvoir entartrant. Le phénomène tient à la présence dans l'eau des éléments chimiques en quantité infinitésimale susceptible de déclencher le phénomène d'entartrage. Ainsi, la présence dans l'eau d'ions cuivre ou d'ions zinc freine le dépôt de tartre qui reste en suspension dans l'eau, en revanche l'ion Fe^{++} est connu pour être un élément favorisant. Les quantités nécessaires sont très faibles, de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de microgrammes par litre.



Fig.22 : Photos illustrant les dépôts de tartre dans les canalisations.

IV .4.6. La température

L'augmentation de la température des formations est simultanée à la profondeur qui avoisinant les 2000 mètres, la température de l'eau peut atteindre les 65°C. Les forages albiens dégagent des températures aux alentours de 58°C à l'atmosphère. Qui va augmenter les contraintes physico-chimiques, par l'accélération des réactions chimiques pendant le transfert des eaux (tubage, refroidisseur et canalisations), où elle facilite la corrosion du tubage et des annexes : (vannes, débitmètre...etc.), et la précipitation de tartre aux parois des canalisations.

Cette chaleur ne présente pas uniquement des inconvénients, mais elle pourrait offrir aussi des avantages parmi lesquels:

- Le Chauffage central et La Climatisation
- Energie (production de l'électricité par thermoconvection).
- Séchage des produits agricoles et industriels.
- Le soin Thérapeutique.

Malheureusement la chaleur fournie par les forages Albiens reste une source d'énergie non encore utilisée, tandis que ses effets indésirables évoluent jour après jour. Signalons qu'aucune étude à notre connaissance n'a été faite sur cette question.



Fig.23 : Photo montre le système refroidisseur (Ancien).

IV .4.7. Corrosion et notion de durée de vie des forages

La pression et la température élevées vont d'une part pour diminuer la résistance du métal à l'érosion (tubage, crépine ...etc.) et d'autre part, favoriser la corrosion. Dans ce cadre les forages Albiens nécessitent une surveillance et un entretien périodique concernant la tête de forage et ses annexes. Il est aussi indispensable d'exercer une surveillance sur l'état de la crépine, la cimentation et le tubage, notamment en face le salifère (Sénonien inférieur) et les formations aquifères (Turonien, Séno-éocène...etc.) par un examen régulier de diagraphie. Soulignons que la majorité des forages albiens ne sont pas contrôlés (par la diagraphie) jusqu'à l'apparition de ce type de problème. Dès que le forage commence à présenter des problèmes, le bouchage est la solution disponible.



Fig.24 : Photos présentant l'état de la tête du forage Albien et ses annexes à Sidi Mahdi.

La durée de vie d'un forage est influencée par la physico-chimie de l'eau (corrosion) les vibrations et les dépôts de sels massifs. C'est à partir d'une durée d'exploitation de 20 ans qu'il faut commencer à s'inquiéter de l'état des forages.

IV.5.3. Problème des maladies à transmission hydrique

Ces eaux trop chargées mobilisées vers les utilisations domestiques incitent certaines maladies qui touchent à l'homme, parmi lesquelles : Le choléra, les fièvres typhoïdes et les hépatites virales épidémiques.

IV.6. Conclusion

Cette étude hydro-chimique nous permet d'édifier un aperçu sur la qualité chimique de l'eau, dans la région d'Oued Righ.

L'analyse statistique présente les magnésiums, les sodiums, les chlorures et les sulfates comme des éléments dominants, les calciums possèdent une faible dominance par rapport aux autres éléments, Ceci traduit une recharge des nappes très faibles. On signale que pour chaque nappe les analyses statistiques produisent un cation et un anion éminent, ces deux éléments constituant généralement le faciès dominant de la nappe. Autre aspect à été traité c'est la répartition de l'élément, presque tous les éléments ont fréquences hétérogènes

La classification des eaux selon les méthodes Schœller et Piper montrent la dominance de faciès suivant : **Sulfaté calcique /magnésien** à composante chlorure calcique pour la nappe du Continental Intercalaire.

Dans la région d'étude, il n'y a pas un problème de quantité mais plutôt de qualité, donc il faut améliorer la qualité chimique de l'eau et garantir la potabilité de l'eau dans les normes internationales, avant de la mobiliser aux consommateurs particulièrement humains.

Chapitre V : HYDROGEOLOGIE

V.1. Introduction

La zone étudiée appartient au Bas Sahara. Cet environnement socio-économique se situe dans un contexte climatique de type désertique hyperaride. Les précipitations sont très faibles et irrégulières ne jouent qu'un rôle limité dans la recharges des nappes.

L'agriculture est la principale activité dans ce territoire.

Les ressources en eau souterraines du Sahara sont essentiellement constituées de :

- ◆ Ressources renouvelables provenant des infero-flux du versant sud des Aurès, donc le régional de Biskra.
- ◆ Ressources non renouvelables représentées par les deux grandes aquifères :
 - Continentale Intercalaire.
 - Complexe Terminal.

Ces deux systèmes hydrauliques fond du Sahara Algérien une région considérée comme très riche en ressource hydrique.

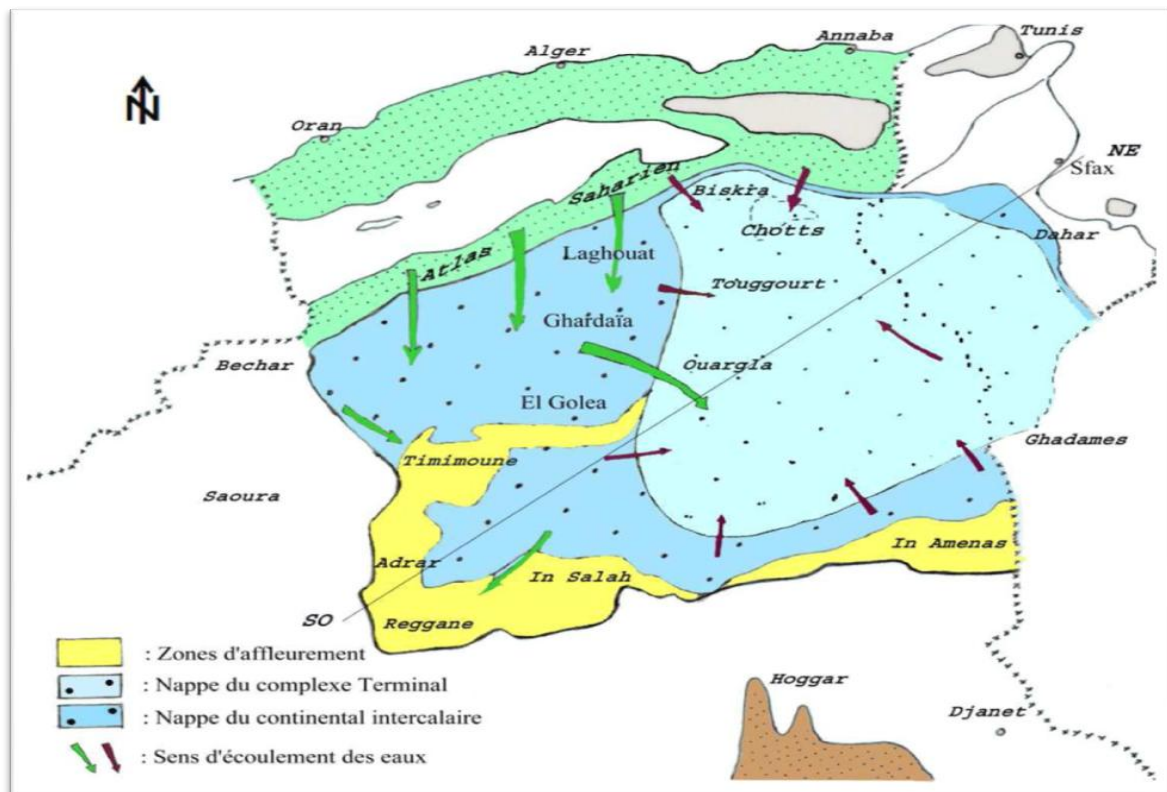


Figure N°24 : Carte hydrogéologique du système aquifère CI et CT (Unesco, 1972)

V-2 Hydrogéologie régionale

Le bassin sédimentaire du Sahara Septentrional constitue un vaste bassin hydrogéologique d'une superficie de **780000 km²**. On distingue deux grands ensembles Post-Paléozoïques, constituant deux systèmes aquifères séparés par d'épaisses séries argileuses ou évaporitiques de la base du Crétacé Sud.

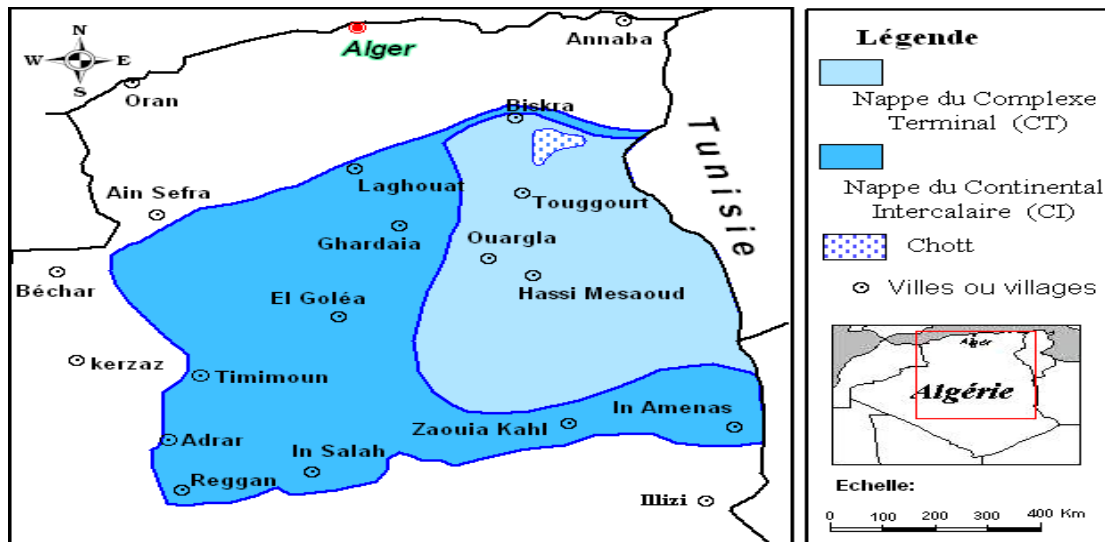


Fig.26 : Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal)

V-2-1 Le Continental Intercalaire

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins (l'Algérie, la Tunisie et la Libye). La partie Algérienne du Continental Intercalaire couvre **600000 km²**. Elle stock un volume d'eau considérable, estimé à **3.5x10⁹** milliards m³ environ. Cette nappe est plus connue sous la dénomination d'«Albien». Le terme Continental Intercalaire, par contre désigne 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).

A\ Limites et morphologie du continental intercalaire

Est limité au Nord par l'Atlas Saharien, à l'Ouest par l'axe Béchar Reggan et au Sud par l'axe Reggan- Ain Amenas ; à l'Est il se prolonge au delà des frontières Algéro-Libyenne et Algéro-Tunisienne. Il est partagé par la dorsale du M'zab en deux bassins :

- Le bassin Occidental Oriental.
- Le bassin Oriental qui englobe le Bas Sahara.

La transgression Cénomaniennne donne au Continental Intercalaire une limite supérieure beaucoup plus uniforme que sa limite inférieure.

A la périphérie, le Continentale Intercalaire, se termine évidemment en biseau sur les anciens reliefs hercyniens, mais il atteint très vite une grande puissance dans les anciennes cuvettes d'accumulation.

Au sens large, le Continentale Intercalaire recoupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien [la définition donnée par l'UNESCO dans « l'étude sur les ressources en eau du Sahara Septentrional »].

B\Toit du réservoir

Le toit du **CI** débute presque toujours au toit de l'Albien **+2000m** par rapport au sol, le mur de **CI** coïncide avec la discordance hercynienne sous les plateaux du Tademaït et du Tinhert.

Le toit de cette nappe varie selon les régions : à l'Ouest (Gourara-Touat), il est en surface et l'aquifère forme une nappe libre captée par les foggaras .à l'Est, le toit plonge progressivement sous d'épais terrains, jusqu'à atteindre son maximum de profondeur dans la dépression de l'Oued Righ.

Une même morphologie du substratum est observée dans le sens méridien, qui atteint son maximum au Nord, en bordure de l'Atlas Saharien.

C\Alimentation

Cette nappe s'est chargée au cours des périodes pluviales du Quaternaire. Actuellement, elle reçoit une faible recharge, surtout à partir du piémont de l'Atlas Saharien ; la quantité d'eau qui tombe annuellement sur les affleurements du Crétacé inférieur continental est estimée en **2,5** milliards m^3 /an. 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 **3.5×10^9** milliards m^3 , ce qui se signifie qu'il faudrait un débit continu de **$1000m^3/s$** pendant **1000 ans** pour le remplir.

D\Les exutoires

Ils sont constitués par :

- **Les foggaras** : longues galeries drainantes, fonctionnant sous un faible rabattement et utilisant la topographie locale pour permettre l'écoulement libre de l'eau vers des points bas (cas du bassin occidental).
- **Les puits artésiens** (bassin oriental).
- **Les sebkhas** : vastes étendues humides et salines, surfaces évaporantes dont le débit total n'est pas négligeable.

E\Épaisseur du réservoir

Son épaisseur utile est souvent déterminée à partir des diagraphies, cette épaisseur utile correspond à la sommation des horizons perméables gréseux et des couches calcaires dolomitiques de l'Aptien immergées au sein de cette série gréseux-sableuse.

Les plus fortes épaisseurs sont localisées de l'Est d'El Goléa ou elles sont comprises entre **750m** et **1000m**. La vallée de l'Oued Righ est un peu moins bien lotie avec des valeurs inférieures à 350 m.

❖ L'écoulement des eaux de cette nappe se fait dans la partie occidentale du Nord vers le Sud et dans sa partie orientale de l'Ouest vers l'Est (Tunisie).

Le Continentale Intercalaire proprement dit nappe d'eau douce comprise dans les grès Albo-Barrémiens.

Etendue	600 000 km²
Épaisseur total (m)	50 à 100
Profondeur (m)	60 à 2400
Profondeur au toit (m)	20 à 2000
Épaisseur de la couche utile productrice (m)	150 à 200
Débit (l/s)	50 à 400
Niveau statique par apport au sol (m) (Menaia)	Artésien (25 bars)
Rabattement par apport au N.S (m)(toute la région)	Artésien
Transmissivité (10⁻³ m² / s)	10 à 30
Coefficient d'emmagasinement (10⁻⁴)	6 à 1200
Alimentation moyenne (h.m³ / an)	270
Réserve théorique calculée (m³)	50000×10⁹
Température (°c)	25 à 70
Salinité des eaux	0,5 à 6g/l

Tab 09 : Données générales sur la nappe du continentale intercalaire

V-2-2-Le Complexe Terminal

Le système aquifère du Complexe Terminal est moins étendu que le CI néanmoins, il couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara Septentrional, sur environ **350.000 km²** ; sa profondeur oscille entre **100** et plus de **500m** et son épaisseur, en moyenne de **220 m**.

Les formations les plus récentes, déposées au Bas-Sahara. Il se compose de deux ensembles aquifères principaux d'âge et lithologie différentes, séparées par des formations semi-perméables ou imperméables ce sont :

- ⇒ Au sommet, des sables du Mio-Pliocène, couvrant en discordance pratiquement la totalité de l'Erg Oriental depuis la dorsale de M'zab à l'Ouest jusqu'au Dahar Tunisien à l'Est, l'épaisseur de l'aquifère des sable **50-100m** en moyenne, minimale dans la région de Hassi Messaoud **30m**, augmente vers le Sud **400 m**, et le Nord où elle peut atteindre **600 m**.
- ⇒ Les formations carbonatées du Sénonien supérieur, s'étendent sur l'ensemble du Bassin Oriental. L'Eocène inférieur ne couvre que la zone située au Nord d'une ligne de Djamaa – Tozeur.
- ⇒ Les calcaires et les dolomies du Turonien sont reliés hydrauliquement aux formations carbonatées précédentes par l'aquifère des sables du Mio-Pliocène. L'épaisseur moyenne de réservoir carbonaté est de **100 à 200 m** augmentant vers le Nord, atteint **500 m** sous le chott Melghir et **600 m** dans la fosse Atlasique.
- La nappe est en charge au Nord et libre dans sa partie Sud. sa porosité dépend de la lithologie, elle est estimée à **30%** dans les sables du Mio-Pliocène et à **20%** dans les calcaires du Sénonien et de l'Eocène supérieur.
- L'alimentation de la nappe du complexe terminal se fait sur les affleurements perméables, par infiltration des eaux de ruissellements apportées par les oueds qui descendent les reliefs des bordures. Un apport non négligeable se fait par l'impluvium propre de grand erg oriental.

IV-2-3 La nappe phréatique

Elle est contenue dans les niveaux sableux et argilo-évaporitiques du Quaternaire. Elle se présente sous forme pelliculaire par rapport à la nappe des sables qui lui succède en profondeur et dont elle est généralement séparée par un niveau semi-perméable du Mio-Pliocène.

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

Tab 10 : Synthèse hydrogéologique régionale des différentes aquifères (sans échelle)

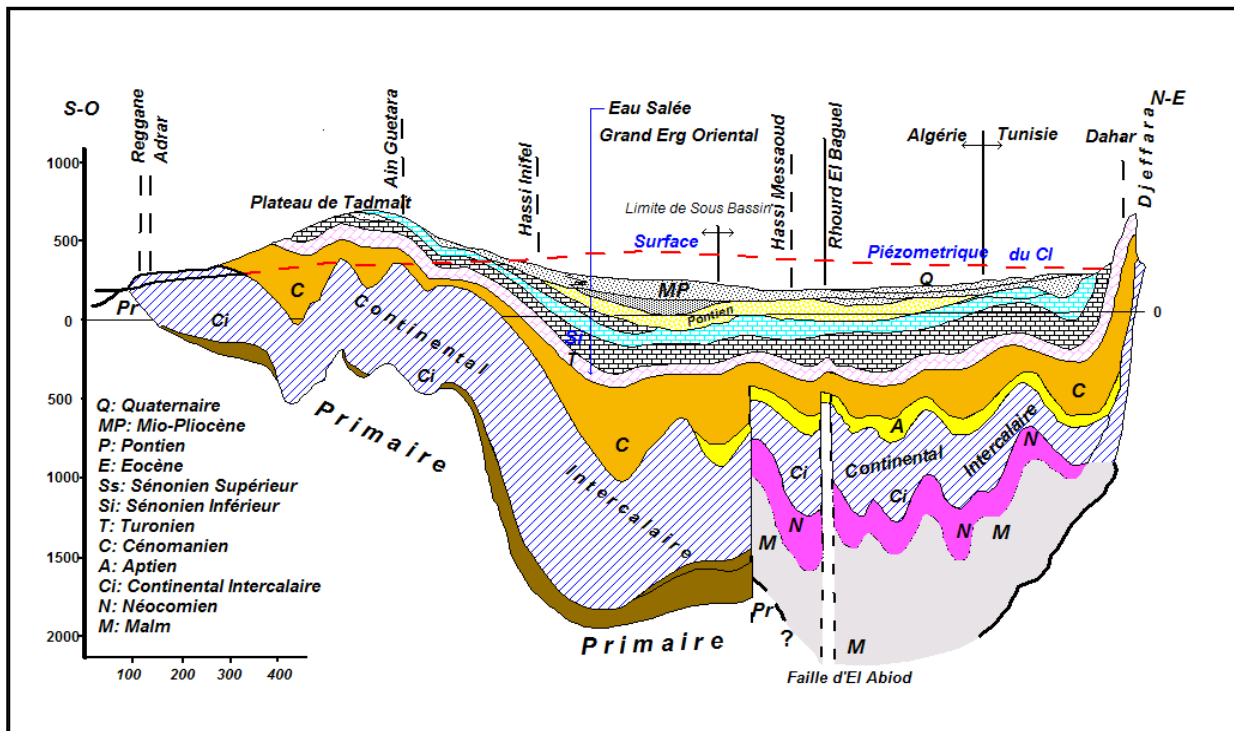


Fig.27: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO, 1972).

V-3 L'hydrogéologie locale (l'Oued Righ)

Dans la région étudiée, il existe deux systèmes aquifères, séparés par d'épaisses séries argileuses et évaporitiques, de la base de Crétacé supérieur, il s'agit du :

- ⇒ Continental intercalaire **CI**, aquifère profond compose de sable gréseux ou gréseux argileux.....
- ⇒ Complexe terminal **CT** compose de trois nappes superposées :
 - l'une dans les sables et argiles du Pliocène **CT1**.
 - L'autre dans les sables grossiers à graviers, du Miocène supérieur **CT2**.
 - La troisième dans les calcaires fissures, plus au moins karstiques de l'Eocène inférieur **CT3**.
- ⇒ Au dessus existe un aquifère superficiel à nappe libre, la nappe phréatique.

V-3-1 La nappe phréatique

La nappe phréatique est présentée dans toutes les oasis de la vallée.

Elle est contenue dans les sables fin à moyens, d'âge Quaternaire, contenant des cristaux de gypse. Elle s'épaissit du Sud vers le Nord et sa puissance moyenne est d'une vingtaine de mètres.

Elle est caractérisée par des eaux de fortes salinités ; les analyses des eaux de cette nappe montrent qu'elles sont très salées, la conductivité électrique est de l'ordre de 4.91ms/cm à 13.44 ms/cm.

La nappe phréatique est « gonflée » par l'excès de l'eau d'irrigation et des pompages du **CI** et du **CT**. C'est pour drainer cet excès que le réseau de drainage artificiel a été réalisé dans la dépression de l'oued righ. Elle est principalement alimentée par l'infiltration des eaux d'excès d'irrigation et des eaux d'assainissement, les eaux des forages dont les tubages sont détériorés par les faibles précipitations et par les percolations des nappes du complexe terminal. Les pertes sont surtout le fait de l'évaporation.

V-3-2 Les nappes du complexe terminal

Le complexe terminal est constitué de deux grands ensembles, l'un continental au sommet, l'autre marin à la base.

A\La première nappe des sables **CT1**

Hormis, La nappe phréatique, cette nappe est la moins profonde, sa puissance varie entre **50 à 100 m**.

Elle est constituée de sable fin à moyen, sable argileux et grès, d'âge Mio-Pliocène. Le faciès sableux varie largement, latéralement. Un niveau d'argile constitue son substratum, et son toit est constitué par des argiles et des évaporites. C'est une nappe captive. Elle était jadis très exploitée avec des débits faibles à moyens, de l'ordre de **20 à 40 l/s** (le débit global d'exploitation proche à $6 m^3 / s$) cependant, à cause de la salinité élevée de l'eau, les forages qui la captent sont actuellement moins utilisés.

B\La deuxième nappe CT2

Les formations contenant cette nappe sont également d'âge Mio-Pliocène. Comme la première nappe, elle est formée essentiellement de grès, de gravier et de sable avec la présence de quelques lentilles argileuses. Son épaisseur est de **20 à 36m**, elle est très exploitée avec un débit variant entre **25-45 l/s**. Des argiles à niveaux calcaires et des marnes forment son substratum, alors que des argiles et les argiles sableuses constituent son toit.

- Ces deux nappes sont alimentées localement par les rares précipitations et les infiltrations d'eaux de surface (de la nappe phréatique et du canal de l'Oued Righ), et les percolations des nappes artésiennes sous-jacentes. Les prélèvements par forages représentent leur seul exhaure.
- Ces deux nappes surmontent l'autre ensemble du Complexe Terminal ; constituant la troisième formation aquifère, formée par les carbonates de l'Eocène inférieur Sénonien supérieur.

C\La nappes des calcaires du Sénonien Eocène CT3

Ces deux étages géologiques ont été regroupés parce qu'ils forment un ensemble lithologique et hydrogéologique homogène. Essentiellement carbonaté, il est formé de calcaires, calcaires dolomitiques ou marneux, d'anhydrite et gypse, sa puissance est de **350m**, **200m** à Touggourt, **360m** à Meghaier. Il n'est pas très exploité. L'artisanisme étant à l'origine plus important au Nord.

A la base, le Sénonien lagunaire forme le substratum de cette nappe et au sommet, le toit est surtout argileux.

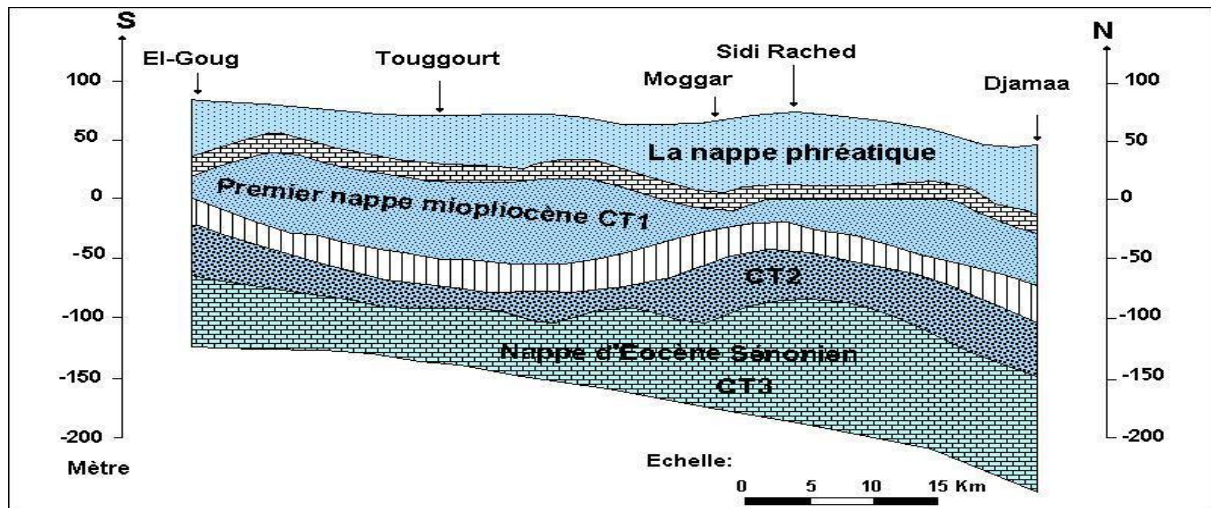


Fig. 28 : Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région d'Oued Righ

V-3-3 Nappe du Continental Intercalaire

C'est un aquifère profond, composé de sables gréseux ou argileux. Son épaisseur varie d'une région à une autre des valeurs inférieures à **350 m** (**200 m** à Touggourt).

Il est contenu dans les formations continentales du Crétacé inférieur (Barrémien Albien).

Le mur constitue par le socle ou Primaire déformé par l'orogénèse hercynienne et très irrégulière.

Les apports d'eau au système aquifère s'effectuent par:

- L'infiltration des eaux de ruissellement des reliefs situés à la périphérie du domaine et par des précipitations sur les affleurements.
- Le piémont de l'Atlas saharien, au Nord.
- Le plateau de Tihert, au Sud.

Pour **CORNET** cette alimentation est estimée à **25 m³/s**, **BURGEAR** la fixait à **15 m³/s**. Elle provient en grande partie du piémont de l'Atlas mais elle reste très faiblement alimentée par rapport au volume d'eau qu'elle contient.

Son exutoire est la zone des chotts avec un sens d'écoulement souterrain Sud Nord (dans le bassin oriental).

V-4 Modèles lithologiques et stratigraphiques

Pour ce travail on a utilisé le logiciel RockWorks 16, qui établit des modèles et des coupes stratigraphiques et géologiques à partir de la base de données des forages comme : l'altitude (Z), la profondeur totale (TD), le toit et le mur des différentes formations géologiques en considérant leur faciès géologique (argile, calcaire, grès...etc), à partir de ces données et autres.

Parce que le modèle est une représentation plus ou moins schématique de la réalité, le logiciel peut faire une corrélation entre les logs pour créer un modèle ou bien une coupe géologique ou stratigraphique,

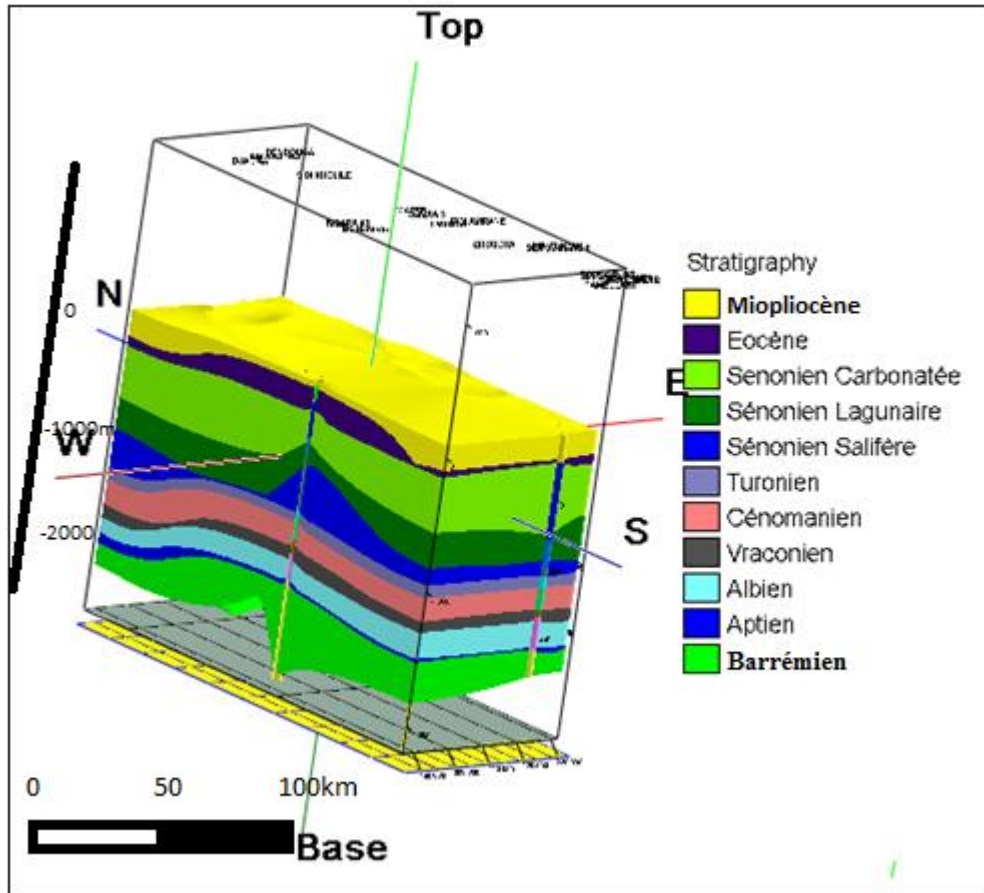


Fig29 : modèle lithologique de la région d'Oued Righ

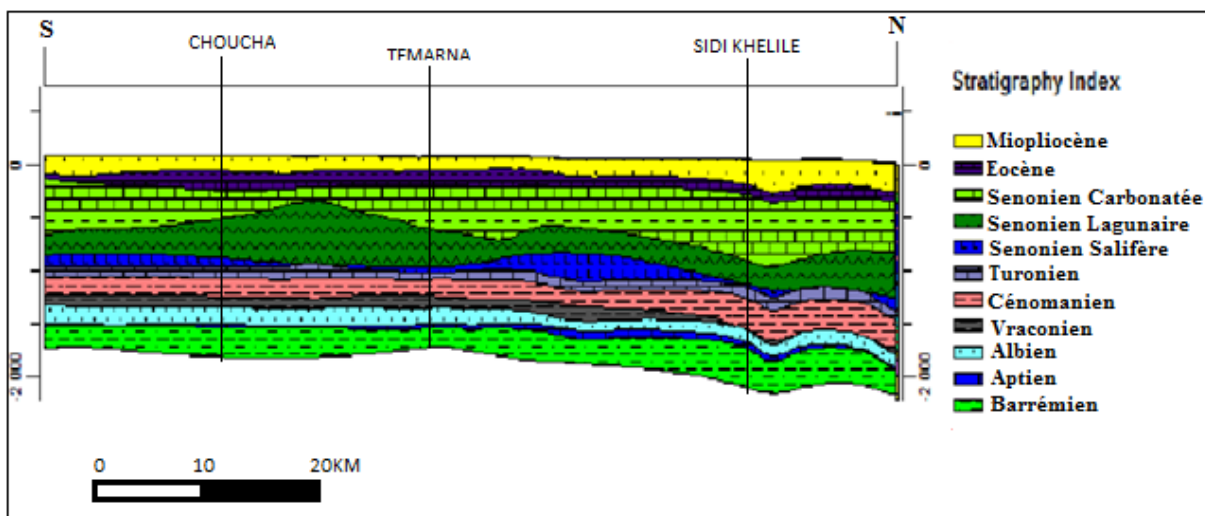


Fig 30 : Coupe stratigraphique de la région d'Oued Righ

A partir des observations de ces coupe et modèle lithologique, on remarque l'abondance des formations carbonatées (calcaire, dolomie), une homogénéité des couches, une stratification quasi horizontale dans la partie sud de la région.

Pour la partie Nord de la région il y a épaissement (Sénonien Carbonatée) et amincissement pour autre formation (Sénonien Salifère)

Concernant la lithologie de chaque étage, on remarque:

Le Mio-Pliocène est formé par des sables et des grès et parfois des calcaires et des argiles, l'épaisseur de cette formation est de l'ordre de 80 à 200m, Il peut y avoir des contacts entre les deux nappes sus-jacentes: Mio-Pliocène et Sénonien/Sénono-Eocène à cause de l'absence d'une limite imperméable claire, des changements d'eaux et des éléments chimiques peuvent être mis en place.

L'Eocène est caractérisé par des marnes, de l'anhydrite et parfois des sables au sommet, et des calcaires et des dolomies à la base.

Le Sénonien est subdivisé en trois sous étages, qui sont :

- Le Sénonien Salifère : il connu par les sel massif, son épaisseur est de l'ordre de 205m
- Le Sénonien anhydritique : son épaisseur varie de l'ordre de 240m, il caractérise par les anhydrite avec présence des argiles et des dolomie...etc
- Le Sénonien carbonaté : son épaisseur plus ou moins de 200m, il est caractérisé par des formations carbonatées (calcaire dolomitique en majorité)

Le Turonien se manifeste sous forme de bancs calcaires d'une épaisseur ne dépassant pas les 100 m dans la plupart des cas.

Le Cénomaniens est caractérisé surtout par des formations argileuses dolomitiques, on trouve parfois des calcaires, de l'anhydrite et rarement des sels, son épaisseur balance dans les environs de 200 m.

Parce que le Cénomaniens est connu par les argiles et les marnes, et son épaisseur est de l'ordre de 150m, il joue un rôle très important de l'isolation entre l'Albien et les eaux des deux aquifères (à l'exception des cas de présence de failles et fissures).

L'Albien est caractérisé par une grande épaisseur (>400 m) dans presque tous les forages, il est marqué essentiellement par des formations détritiques: grès, sables, parfois argiles et marnes et très rarement des calcaires.

V-5 Conclusion

Dans le bassin de l'Oued Righ, il existe deux systèmes aquifères :

- Le premier profond étendu, dit le Continentale Intercalaire (**CI**), constitué en grande partie par des sables et des grès d'âge Albien
- Le deuxième est multicouche, peu profond, moins étendu que le premier dit Le Complexe Terminal (**CT**), constitué de deux ensembles différents:

- L'un marin constitué par les calcaires d'âge Sénonien-Eocène **CT3**

- L'autre continentale constitué par des sables, graviers et des grés d'âge Mio-Pliocène caractérise la 1^{ère} et la 2^{ème} nappe du Complexe Terminal (**CT1**) (**CT2**)

Un aquifère superficiel qui surmonte ces deux ensembles dit nappe Phréatique contenue dans les sables fins à moyens d'âge Quaternaire à récent.

L'observation sur le modèle et la coupe géologique montre une stratification plus ou moins homogène dans toute la longueur de la région d'étude.

CHAPITRE VI : APERCU HYDRODYNAMIQUE

VI.1. Introduction

Ce chapitre est basé sur la définition des particularités hydrodynamiques.

Un essai est une opération couramment réalisée dans les études hydrogéologiques, il est nécessaire de rassembler toutes les informations hydrogéologiques disponibles, pour bien adapter le programme d'essai, qui sont :

- Type du système aquifère.
- Nature des terrains aquifères.
- Mesure sur terrain des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (transmissivité, coefficient d'emmagasinement, perméabilité.....)
- Observation directe de l'effet de l'exploitation sur l'aquifère (l'évolution des rabattements en fonction du temps).

Dans notre étude nous sommes basées sur les essais de nappe de longue durée à débit constant.

Les résultats des essais de pompages sont fournis par les services de l'ANRH de Touggourt.

VI.2. Déterminations des caractéristiques hydrodynamiques

La détermination des caractéristiques hydrodynamiques d'un système aquifère peut être exécutée par deux types d'essais (fig 29):

- Le premier ce qu'on appelle « **essai de nappe** » ou « **aquifer test** », permet la détermination de :
 - La transmissivité.
 - La perméabilité.
 - Le coefficient d'emmagasinement.
 - L'effet des limites.

Ces paramètres permettent d'évaluer les potentialités hydriques de la nappe son extension ainsi que son comportement hydrodynamique.

- Le second est appelé « **essai de puits** » ou « **Well test** ».

Les essais de puits sont exécutés à différents débits constants par palier de temps avec mesure de rabattement croissant pour chaque palier de débit.

L'essai de puits par palier de débit permet la détermination de : débit d'exploitation, rabattement critique, perte de charge, débit critique,

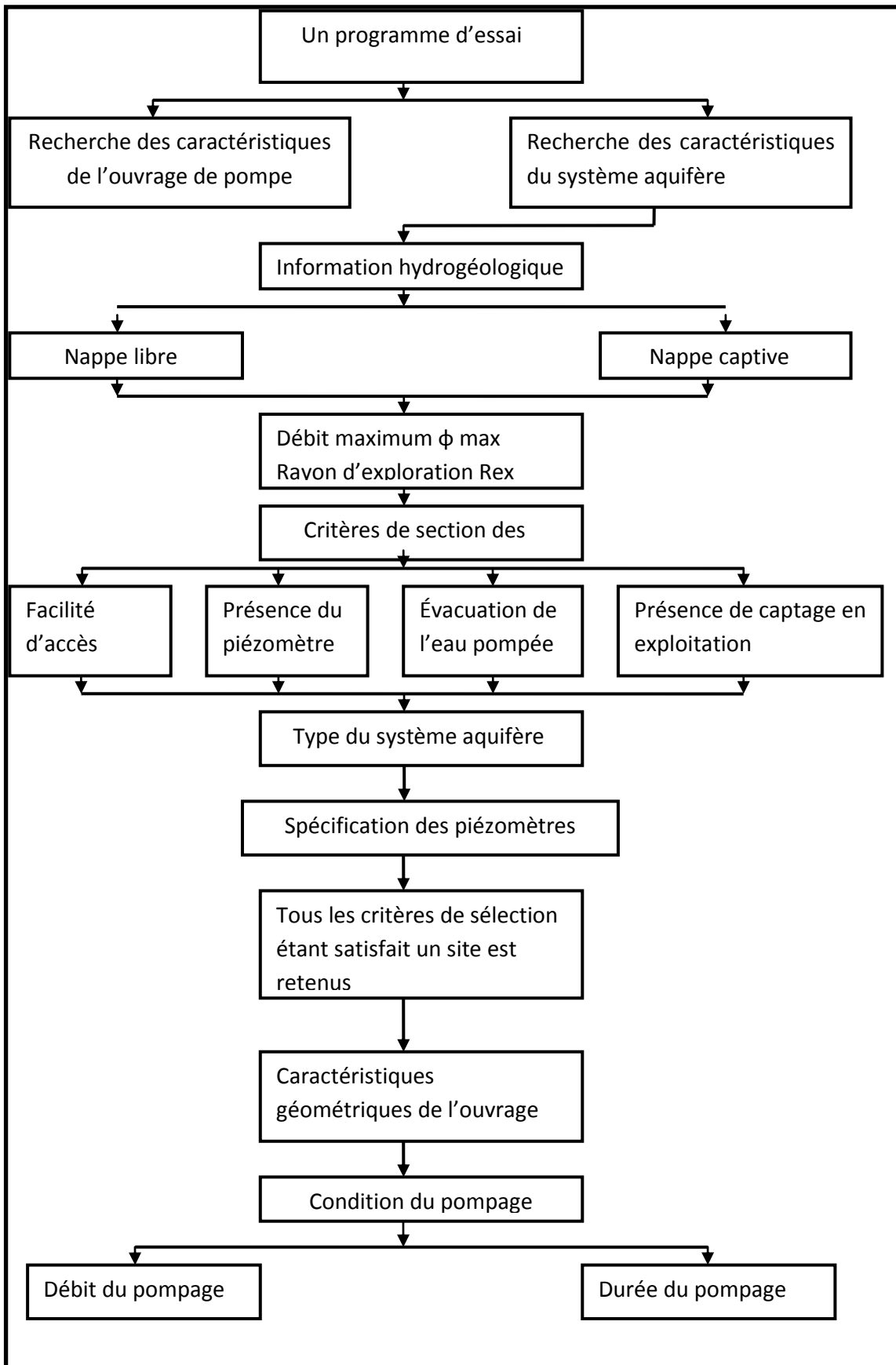


Fig 30: Organigramme simplifié du programme des pompes d'essai de nappe.

VI .3. Méthode d'interprétation

Pour la présentation graphique des données, et pour les interpréter, nous avons utilisé le logiciel « **Auqifertest** », on s'est basé sur l'interprétation par deux méthodes celle du :

C.E.Jacob et l'autre de **Theis**

A/ Méthode de Theis

La solution fournie par Theis (1935) est :

$$s = (Q/4\pi T) \int_u^{\infty} (e^{-u} / u) du$$

Avec :

$$u = r^2 S / 4Tt$$

où s = rabattement au temps t (mesuré depuis le début du pompage) et à la distance r du puits pompé,

Q = débit constant du pompage,

T = transmissivité de l'aquifère, et S = coefficient d'emmagasinement de l'aquifère.

La fonction intégrale est notée $W(u)$ en hydraulique des puits. En mathématiques, il s'agit de la fonction exponentielle intégrale $Ei(u)$, connue depuis le 18^{ème} siècle (Euler 1748), également définie par la série :

$$W(u) = Ei(u) = -\gamma - \ln u + (u/1.1!) - (u^2/2.2!) + (u^3/3.3!) - (u^4/4.4!)...$$

Où $\gamma = 0,577\ 213\ 664\ 9..$ est la constante d'Euler.

L'équation peut s'écrire :

$$s = Q.W(u) / 4\pi T$$

et en logarithmes décimaux :

$$\log s = \log (Q/4\pi T) + \log W(u)$$

alors on écrit:

$$r^2/t = 4 uT/S$$

et en logarithmes décimaux :

$$\log (r^2/t) = \log (4T/S) + \log u$$

Par conséquent, si les données de l'essai de pompage $\log s$ sont tracées en fonction de $\log (r^2/t)$, la courbe résultante sera identique au courbe théorique $\log W(u)$ versus $\log u$, à une translation près. C'est la base mathématique de la méthode graphique proposée par Theis (1935) : la courbe type $\log W(u)$ vs $\log u$ est superposée sur les résultats expérimentaux (Fig. xx) et les paramètres T et S sont trouvés successivement à partir des valeurs des déplacements d'axes, $\log (Q/4\pi T)$ et $\log (4T/S)$, selon leurs équations :

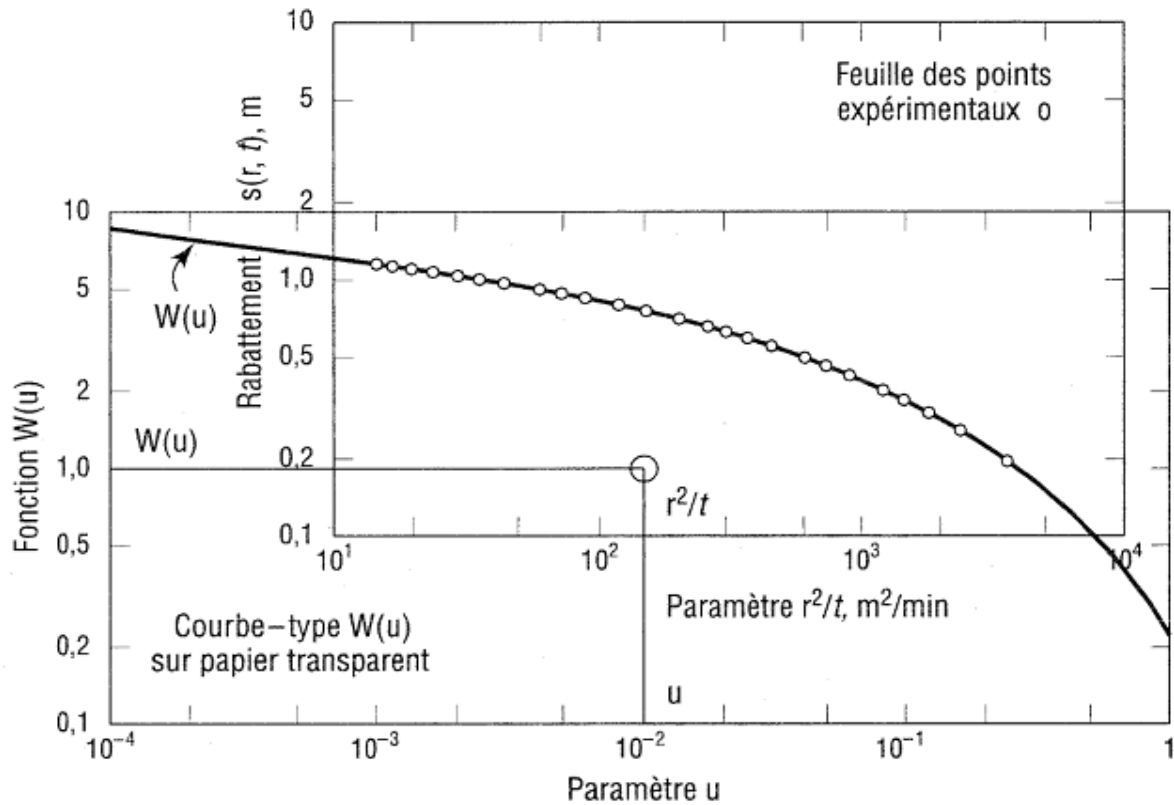


Fig 31 : Illustration de la méthode de superposition de theis 1935

B/ Méthode de C.E. Jacob

Les conditions de base d'application de cette expression :

- Validité de la loi du darcy : écoulement laminaire et milieu homogène et isotrope.
- Puits complet, c-à-d captant toute l'épaisseur de l'aquifère, atteignant le substratum et crépiné sur toute sa hauteur.
- Puits correctement développé et équipé.
- Surface piézométrique sub-horizontale.
- Débit de pompage constant.
- Rayon de puits le plus petit possible.

Une solution approchée de l'équation précédente peut être proposée :

$$s \approx \frac{0,183 \cdot Q}{T} \log_{10} \left(\frac{2,25 \cdot T \cdot t}{S \cdot r^2} \right)$$

s : Rabattement (m)

Q : Débit (m³/s)

T : Transmissivité (m²/s)

t : Temp (s)

r : Distance puits de pompage au piézomètre (m) .

S : coefficient d'emmagasinement

Cette approximation reste valable pour des valeurs de u inférieures à 10^{-1} ; c'est-à-dire, en pratique, pour des temps de pompage long et à des distances proche du puits de pompage.

VI.4. Pompage d'essai de longue durée

Les pompages d'essai de longue durée sont exécutés par un seul palier de débit à débit constant prolongé durant au moins 42h, avec un maximum de 72h, avec la même durée d'observation pour la phase de la remonté.

L'exécution et l'interprétation des données mesurées, rabattements, temps reposent sur l'emploi des expressions d'hydrodynamique établi par **Theis 1935, Wenzel 1942,**

C.E Jacob 1950.

Dans notre étude nous allons baser sur la méthode de **C.E Jacob 1950** dont la relation entre le rabattement et le temps de pompage s'écrit:

$$S = 0.183 \frac{Q}{T} \cdot \log \frac{2.25 T t}{X^2 s}$$

Avec:

S:rabattement mesure dans l'ouvrage en (m)

Q:débit de pompage constant en (m³/s)

T:transmissivité en (m²/s)

S:coefficient d'emmagasinement

t:temps écoulé correspond de pompage en (s)

X:la distance du piézomètre à l'axe du puit (forage) en (m)

La méthode de **C.E.Jacob** est applicable dans des conditions :

- une nappe captive et homogène et isotrope, épaisseur constante.
- une nappe horizontale d'extension infinie.
- une nappe totalement captée (toute l'épaisseur).
- pompage à débit constant.

Relation entre les rabattements résiduels et les temps de remontée de niveaux

Les données de remontée des niveaux, après arrêt du pompage, permettent d'établir le graphique traçant la droite représentative de l'expression de C.E. Jacob. Les rabattements résiduels, exprimés en m (ou les niveaux d'eau), sont portés en ordonnées linéaires, la valeur $t+t'/t'$ en abscisses logarithmique. Seul la transmissivité peut être calculée, avec l'expression

$$s_r = \frac{0,183 Q}{T} \cdot \log \frac{t + t'}{t'}$$

VI.5. Calcule et interprétation des paramètres hydrodynamiques

VI.5.a. Pompage d'essai. Résultats de remontée après arrêt du pompage

La transmissivité est calculé par la pente de la droite représentative ($S=f(t)$), l'échelle des coordonnées n'étant pas homogène, la pente est déterminée par l'accroissement des rabattements au cours d'un coefficient ou gradient logarithmique dite (C) d' ou la transmissivité est calculée par l'expression suivante:

$$T=0.183.Q/C$$

Où

$$C= S_2-S_1/ \log t_2-\log t_1$$

les différents paramètres de l'essai de pompage à débit constant en régime transitoire, (remontée après arrêt de pompage) sont calculés dans les forages :Sidi Khelile F2, Sidi Khelile F3, Sidi Slimane F2, Tendla F2, Touggourt F1, Temacine, El Kesour, Sebbala, Ain Abban.

VI.5.a. Pompage d'essai. Résultats de remontée

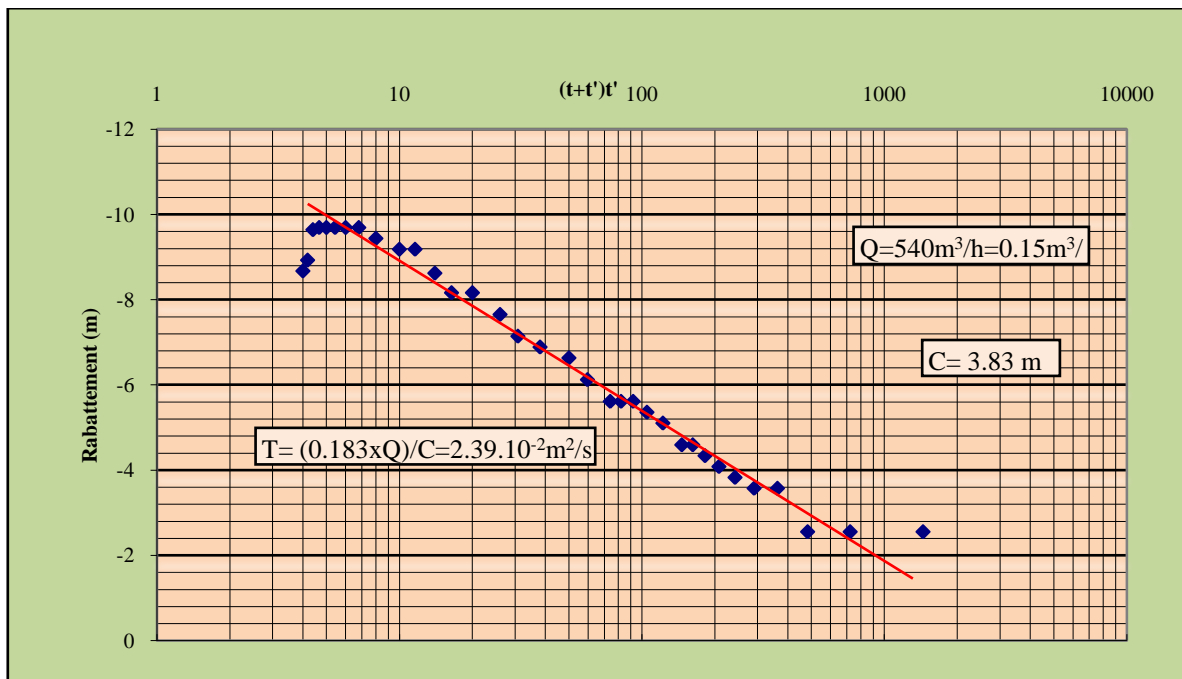


Fig 32: Pompage d'essai de Tendla. Droite représentative de la remontée.

Les résultats d'interprétation des essais de pompage de longue durée des forages étudiés sont présentés dans le tableau ci-joint :

Nom du puits	Transmissivité (m^2/s)	Débit (l/s)	Epaisseur (m)	Perméabilité (m/s)
Sidi Khelile F2	$2,5 \cdot 10^{-3}$	332,60	323	$7,7 \cdot 10^{-6}$
Sidi Slimane F2	$2,68 \cdot 10^{-3}$	139	305	$3,34 \cdot 10^{-5}$
Sidi Khelile F3	$1,32 \cdot 10^{-2}$	144,44	355	$3,72 \cdot 10^{-5}$
Tendla F2	$2,4 \cdot 10^{-2}$	332,62	357	$7 \cdot 10^{-6}$
Touggourt	$1,32 \cdot 10^{-2}$	153,84	359	$3,68 \cdot 10^{-5}$
Temacine	$1,45 \cdot 10^{-2}$	230,19	355	$4,08 \cdot 10^{-5}$
El ksour	$2,5 \cdot 10^{-3}$	332,60	355	$7 \cdot 10^{-6}$
Sebbala	$1,08 \cdot 10^{-2}$	336	314	$3,44 \cdot 10^{-5}$
Ain Abbane	$1,36 \cdot 10^{-2}$	270	334	$4,07 \cdot 10^{-5}$

Tab 11: tableau récapitulatif des paramètres hydrodynamique

D'après les résultats, on trouve que les valeurs de transmissivité sont importantes au niveau des puits Sidi Khelile F2, Sidi Slimane F2, et El ksour, la perméabilité est forte à forte modérée dans les puits Sidi Khelile F2, El ksour et Tendla F2.

VI.5.b. Pompage d'essai. Résultats de descente, débit constant

Le graphe au-dessous se représente l'essai de pompage en cas de décente avec une débit constant.

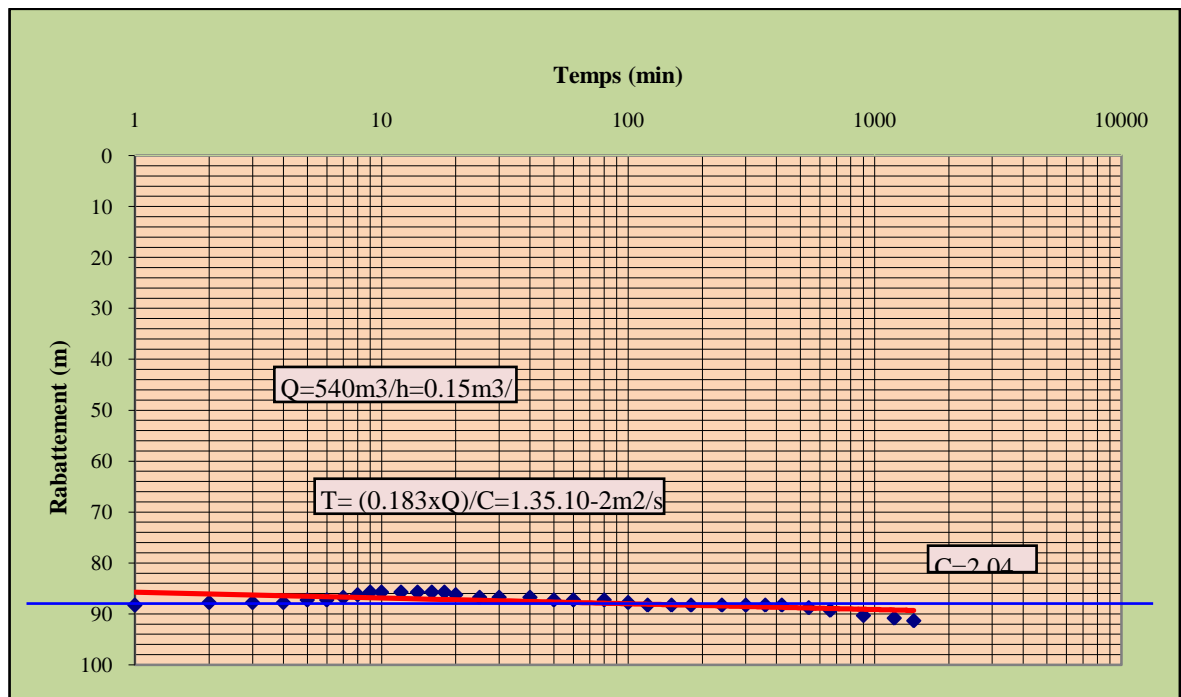


Fig 33: Pompage d'essai de Tendla. Droite représentative de la descente.

Nom du puits	Transmissivité (m^2/s)	Débit (l/s)	Epaisseur (m)
Sidi Khelile F2	$6,08 \times 10^{-3}$	332,60	323
Sidi Slimane F2	$1,07 \cdot 10^{-2}$	139	305
Tendla F2	$1,35 \cdot 10^{-2}$	150	357
Touggourt	$9,83 \cdot 10^{-3}$	153,84	359
Temacine	$2,1 \cdot 10^{-2}$	230,19	355
El ksour	$6,08 \cdot 10^{-3}$	332,60	355

Tab 12: tableau récapitulatif des paramètres hydrodynamique

A partir de ces paramètres hydrodynamiques et leur interprétation, on peut déduire qu'on est dans un aquifère à nappe captive très puissante illimité, de bonnes caractéristiques hydrodynamiques.

VI.6. La piézométrie du CI

La carte ci-dessous montre en générale le niveau piézométrique du CI pour le SASS (Système Aquifère de Sahara Séptentrionale)

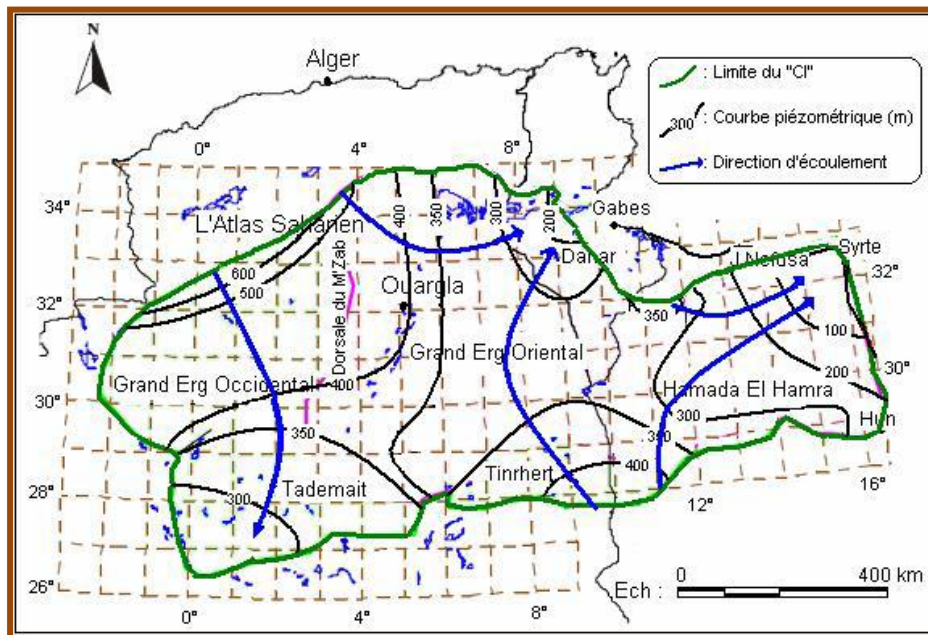


Fig.34: Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003)

Les relevés des niveaux piézométriques qui nous avons utilisées, ils ont été effectués en différents périodes, donc on peut pas faire une carte piézométrique a cause de manque des données, mais dans la figure 35, on réalise une carte indique les localisations des forages avec les niveaux piézométrique de l'Albien à l'aide d'un logiciel Surfer 12.

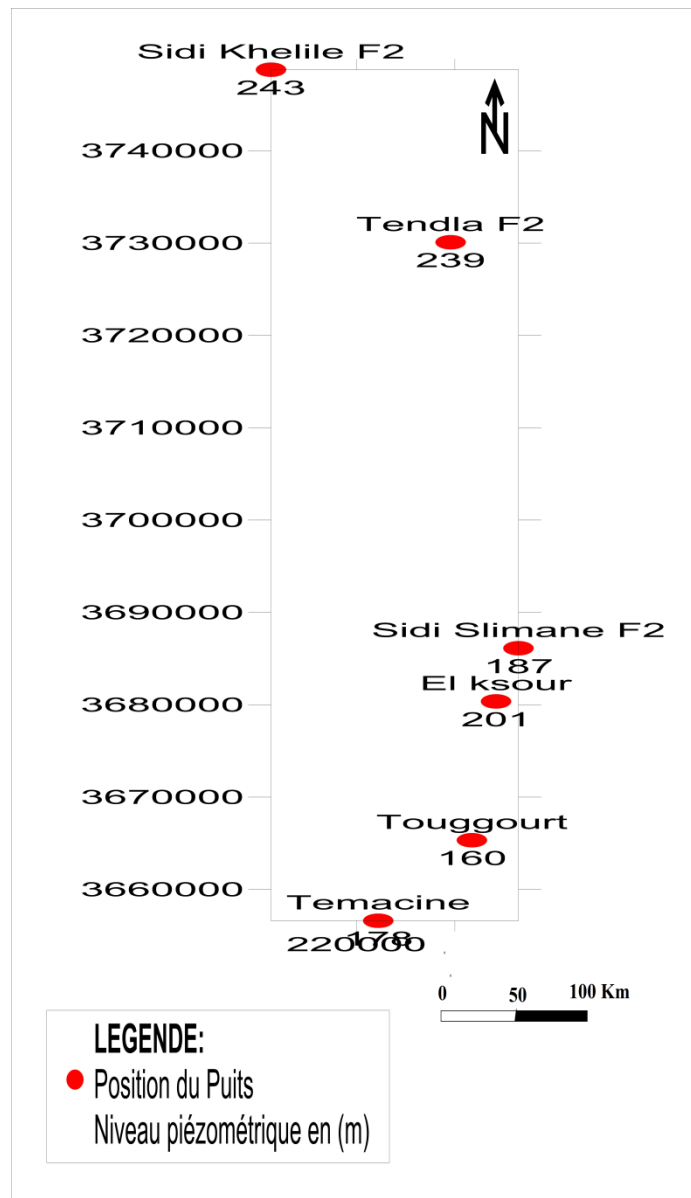


Fig 35 : Carte piézométrique de la région d'étude

VI.6. Les problèmes techniques

La multiplication des forages, les pompages intensifs à des débits de 20 à 300 l/s, et les drainages insuffisants, engendrent certains problèmes particuliers tels que la chute de l'artésianisme, la remontée des niveaux hydrostatiques de la nappe phréatique, et des questions d'insalubrité et de santé publique.

VI.6.1. La chute de l'artésianisme d'un grand nombre de forages

Les forages de l'Albien sont connus par leurs artésianisme. Mais, progressivement, une diminution de la pression (actuellement autour de 15 à 20 bars), et aussi parfois la densité élevé des forages dans certain zones car la distance entre forage atteint dans des cas 500m.

Ce problème de densité des forages s'accroît d'année en année avec des nouvelles autorisations de forer.

VI.6.2. Tubage et équipement

A cause de la corrosivité des eaux, les tubages des forages présentent fréquemment des perforations, surtout au niveau des couches aquifères, favorisant la communication entre les nappes du CT et du CI. Ce problème est d'autant plus grave quand il touche le niveau « Salifère ». Il représente alors un danger pour l'environnement et la qualité chimique des eaux des différentes nappes.

Pour prévenir ce problème, les têtes de forages (Surtout Albien) et leurs annexes (Vannes, conduits, débitmètre, ...etc.) nécessitent un contrôle et un entretien réguliers. Actuellement les sociétés de services utilisent un équipement lourd (Tubage double, crépin double et cimentation double tête de puits en inox....etc.), dont on ne connaît pas encore les résultats.

VI.7.Conclusion

Le Continental Intercalaire (CI) représente un système aquifère multi couches, qui renferme de réserve en eaux considérables à plus de 50 000 milliards de m³. Faiblement réalimentées actuellement. La région des chotts constitue l'exutoire naturel de ces complexes hydrauliques.

Dans la région d'étude, la nappe est captive, artésienne, située à plus de 1500 m des profondeurs et la température de l'eau est élevée (41 à 60°C). Elle est exploitée par dizaine des forages.

Les conséquences de la surexploitation de cette aquifère sont multiples :

- Rabattement global de la nappe aquifère.
- Décompression progressive du système aquifère (disparition de l'artésianisme)
- Remontée des eaux de la nappe phréatique et salinisation de l'eau et du sol, par accumulation des eaux d'irrigation mal drainées.

La corrosivité et la température élevée des eaux, posent également certains problèmes techniques, qui concernent surtout les forages Albien, qui ne sont pas équipés de façon adéquate.

Conclusion générale

La région de l'Oued Righ se présente comme une cuvette synclinale du Bas Sahara qui fait partie d'une large fosse de direction N-S.

Les ressources en eau dans le bas sahara sont représentées par les deux grandes aquifères :

- A. Continental Intercalaire (CI) ; c'est un aquifère profond composé de sable gréseux ou gréseux argileux,
- B. Complexe Terminal, (CT) composé de trois nappes superposées

La plus grande partie de l'eau de cette ressource a été remplie pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire.

Les précipitations sont très faibles et irrégulières, de 5,14 mm/an et ne jouent pas un rôle notable dans la recharge directe des nappes. Les variations interannuelles des précipitations sont très grandes.

La classification des eaux selon les méthodes Piper, Stabler et Schöeller sont montrées la dominance des faciès suivants : Sulfaté magnésien.

Chimiquement, les eaux de l'Albien sont trop minéralisées et très dures. Ceci qui nécessite des précautions avant leur utilisation pour l'irrigation, Quant à leur consommation comme eau de boisson, un traitement est très recommandé.

Le Continental Intercalaire est défini par deux niveaux grés-sableuses, aquifères : L'Albien et le Barrémien, séparés par une couche semi-perméable d'âge Aptien, et recouvert par une couche argilo-marneuse argileuse à évaporites, du Cénomanién.

La nappe du Continental Intercalaire est captive et artésienne très profond à l'ordre de 1500 m. Ses eaux sont chauds, exploités par dizaines des forages.

L'interprétation des essais du puits à débit constant en régime transitoire montre d'une manière générale que les valeurs de transmissivité et celles de perméabilité sont importantes, on peut déduire qu'on est dans un aquifère à nappe captive très puissante illimité, à substratum imperméable, de bonnes caractéristiques hydrodynamiques.

Références bibliographiques

1. **Rahima BEN HAMIDA et Elalmi TALBI, 2006**, Essai de calcul de bilan hydrique de la vallée de l'Oued Righ, Mémoire de l'Ingéniorat, Université Kasdi Merbah-Ouargla. pp60- 70
2. **CORNET. A (1964)** : introduction à l'hydrogéologie du sahara. Cours ronéoté destiné aux officiers du cours préparatoire aux Affaires Sahariennes. service des études scientifiques. Birmandreis, Alger, 1961,
3. **Castany G. (1982)** : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod .université . Bordas .Paris.pp128-154
4. **ANRH. (2006)**. Données sur les Logs stratigraphiques des forages de la Wilaya de Ouargla. Algérie. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Direction régionale Sud, Ouargla.
5. **BOUSSAID MAHMOUD- BENGAGA DJAAFAR. 2011**,étude hydrogéologique **du** Continental Intercalaire de la région de Touggourt. L'impact des problèmes techniques, Mémoire de D'Ingéniorat, Université Mentouri, Constantine. P50-56
6. **Guettiche Saliha & Benabdasdik Djahida 2006**, Contribution à l'étude de la possibilité de réutilisation les eaux de la nappe phréatique pour l'irrigation dans la région de l'Oued Righ, Mémoire de l'ingéniorat, Université Mentouri. Constantine. P44-50
7. **BELKSIER MOHAMED SALAH-2009**, Hydrogéologie et hydrochimie de la nappe superficielle dans la région de l'Oued Righ et l'évaluation de sa vulnérabilité, Mémoire de Magistère, Université Badji Mokhtar- Annaba. P30-40
8. **Boussaâda Nawel année 2008** Evaluation des ressources en eau et modes de gestion dans la vallée d'Oued righ (Sud Est Algérien), Mémoire de L'ingéniorat, Université Mentouri. Constantine.pp 60-63
9. **HLASSA Younès 2015**, Caractérisation et cartographie géostatistique de la salinité des eaux : Cas de complexe terminal de l'Oued Righ (Sahara Algerien), Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah, Ouargla. Pp26-35
10. **Arfa Zeineb 2012**, Typologie physico-chimique des eaux des aquifères d'Oued Righ (Sud algérien) : Étude comparative entre le Complexe Terminal (CT) et du

Continental intercalaire (CI) par les méthodes statistiques multivariées , Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah, Ouargla. **Pp30-45**

11. **Helel Faycal et OURIHANE DALILA 2004**, Etude hydrogéologique du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal de la région de Touggourt. Aspect hydrochimique et problèmes techniques posés, Mémoire de L'ingénieur, Université Houari Boumedian, Alger. P53- 57
12. **Hned Brahim, 2015**, Application de l'approche hydrodynamique à l'étude de la nappe du complexe terminal – Région oued righ – Mémoire de L'ingénieur, Université kasdi Merbah, Ouargla pp27-37
13. **HOUARI Idir Menad 2012**, Contribution à l'étude de l'évolution géochimique des eaux de la nappe du complexe terminal du Sahara Septentional, Mémoire de Magistère, Université kasdi Merbah, Ouargla pp41-45
14. **Chahrazad AMAMOU 2012**, Modèle de terrain pour l'étude des performances épuratoires de sols naturels, Mémoire de l'ingénieur, Polytech' Clermont-Ferrand (CUST).pp60-65
15. **Éric Gilli, Christian Mangan, et Jacques Mudry**, 2^{ème} édition, Hydrogéologie, objets, méthodes, applications.pp 124-125
16. **ANRH**. Données les Logs stratigraphiques des forages de la Wilaya de Ouargla. Algérie. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Direction régionale Sud, Ouargla.
17. **ANRH**. Données sur les Logs stratigraphiques des forages de la Wilaya de Ouargla. Algérie. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Touggourt.
18. **ADE**, Données les analyses chimique des eaux de l'Albien, Algérie De l'Eau, Touggourt.