

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA -
FACULTE DES HYDROCARBURES, ENERGIES RENOUVLABLES
ET 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

***Suivis et étude des forages hydrauliques
de la région d'Oued Righ***

Soutenu publiquement par :

GHENDIR lahcen

Devant le jury :

Président : M.KECHICHED Rabah

M.A.A Univ. Ouargla

Promoteur : M. BOUSELSAL Boualem

M. C. B Univ. Ouargla

Examineur : M. FENAZI Bilal

M.A.A Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2015/2016



Dédicace

J'ai le grand honneur de dédier ce travail à :

Ma très chère mère

Mon très cher père

Mes chères grands-mères et grand-père

*Mes très chers frères et sœurs : Mabrouk, Ahmed, A.Elghani, M Taieb, Kanza
, Nawale....*

Toute ma famille, mes tantes, mes cousins et mes cousines.

A tous mes camarades

A tout mes amis que j'ai connus dans ma vie

A tous les enseignants et toutes les enseignantes de géologie

A tout le personnel de lycée de Al Horia.



REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pu voir le jour sans le soutien, les aides et les encouragements dont j'ai constamment bénéficié de la part de tous ce qui m'entourent.

Nous tenons aujourd'hui à les en remercier. Ma reconnaissance va tout particulièrement :

En premier lieu à Dieu Allah le Tout - Puissant qui m'a donné la bonne volonté, le courage et la patience afin d'arriver à la réalisation de ce modeste travail.

Mes remerciements vont à mon directeur de mémoire monsieur le docteur **BOUSELSAL Boualem** de l'université de KASDI Merbah Ouargla, pour tous ce qu'il a su m'apprendre et me faire découvrir, en acceptant de m'encadrer et me guider, tout le long de ce mémoire, pour sa gentilles et sa disponibilité à mon égard. Et nous tenons à lui dire combien il est enrichissant de travailler à son cotés.

Je tiens à remercier également monsieur **FENAZI Bilal** , MAA à l'université de KASDI Merbah Ouargla, d'avoir bien voulu s'intéresser à ce travail et qui a bien accepté de me faire le grand honneur de présider le Jury de ma soutenance.

Mes sincères remerciements vont également au membre du jury messieurs **KECHICHED Rabah**, MAA à l'université de KASDI Merbah Ouargla, qui à consacré une part importante de son temps à la lecture et à l'évaluation de ce travail.

Mes remerciements vont à tous les enseignants du département de géologie de l'université de KASDI MERBEH.

Toute ma gratitude va à M^r. **SAYAH Lembarek Youcef** ingénieur d'état et chef service du la direction de l'**ANRH** « Touggourt ».

Mes remerciements vont les responsables de la direction de l'**ADE** de Touggourt.

Je tiens a remercie le personnel de l'**ADE** de Touggourt, notamment à Mr. **BEN AZZA Amer** pour sa meilleure aide,

Mes remerciements vont aussi à tous les techniciens de la direction de l'**ADE** (Touggourt).

Mes remerciements vont aussi à tous ceux qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Enfin nous tenons à remercier nos amis qui m'ont soutenu dans les moments difficiles.

Ma pensée se tourne particulièrement vers : « *Il est bon d'avoir des gens sur qui l'on peut toujours compter* ».

Introduction general.....	1
1- SITUATION GEOGRAPHIQUE	2
1.1 Situation géographique	2
1.2. Situation administrative	2
1.3. Aperçu socio-économique	2
2- CONTEXTE GEOLOGIQUE	4
2.1. Introduction	4
2.2. Géologie régionale	4
2.3. Géologie locale	5
2.3.1. Le Mésozoïque	5
2.3.2. Le Cénozoïque	8
2.3.3. Le Quaternaire	9
2.4. Tectonique générale	9
2.5. Paléogéographie	11
3- CONTEXTE CLIMATIQUE	12
3.1. Introduction	12
3.2. Les paramètres climatiques	13
3.2.1. Précipitations	13
3.2.2. Température	15
3.2.3. L'humidité	16
3.2.4. Le vent	16
3.2.5. L'évaporation	16
3.3. Régime climatique	17
3.3.1. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN	17
3.3.2. Indice DE MARTONNE	18
3.3.3. Bilan hydrique	18
4- CONCLUSION	19
1- PRESENTATION DE SYSTEM AQUIFERE D'OUED RIGH	21
1.1. Introduction	21
1.2. Le Continentale Intercalaire	21
1.2.1. Les limites et morphologie du continental intercalaire	21
1.2.2. Alimentation	22
1.2.3. Les exutoires	23
1.2.4. Epaisseur du réservoir	23
1.3. Le Complexe Terminal	25
1.4. La nappe phréatique	26
2- SYNTHESE DES DONNES HYDROGEOLOGIQUE DES AQUIFERES.....	27
3- QUALITE DES EAUX DES AQUIFERES D'OUED RIGH	27
3.1. Qualité des eaux de la nappe phréatique	27
3.1.1. Détermination de faciès chimique	27
3.1.2. Potabilité des eaux vis-à-vis aux paramètres physico-chimiques	28
3.1.3. Potabilité des eaux de la nappe phréatique	30
3.2. Qualité des eaux des aquifères de CT	30
3.2.1. Le faciès chimique	30

3.2.2. Potabilité des eaux vis-à-vis aux paramètres physico-chimiques	31
3.2.3. Aptitude des eaux à l'irrigation	34
3.3. Qualité des eaux des aquifères de CI	34
3.3.1. Le faciès chimiques	34
3.3.2. Potabilité des eaux vis-à-vis aux paramètres physico-chimiques	35
3.3.3. Aptitude des eaux à l'irrigation	37
4- CONCLUSION	37
1- GENERALITES SUR LES FORAGES D'EAU	39
1.1. Les méthodes de forage	39
1.2. Forage au marteau fond de trou (MFT)	40
1.3. Forage au marteau fond de trou avec tubage à l'avancement	40
1.4. Forage rotary circulation directe	41
1.5. Forage en circulation inverse	41
1.6. Forage par battage	42
2. EQUIPEMENT DE FORAGE	42
2.1. Les tubages pleins	42
2.2. La crépine	43
2.3. Le massif filtrant	44
3- LES FORAGES HYDRAULIQUES DANS LE SAHARA SEPTENTRIONAL	44
3.1. Considérations générales	44
3.1.2. Règlements sur les forages	44
3.1.3. Forages de Continental Intercalaire (CI)	45
3.1.3.1. Exécution et équipement	45
3.1.3.2. Diagraphie	45
3.1.3.3. Le programme de boue	46
3.1.3.4. Cimentation	46
3.1.3.5. Essais des débit	47
3.1.3.6. Equipement de surface	47
3.1.3.7. Contrôle des forages	48
3.2.1. Forages au Complexe Terminal (CT)	48
3.2.1.1. Forage de reconnaissance	48
3.2.1.2. Exécution et équipement	48
3.2.1.3. Diagraphies	49
3.2.1.4. Programme de boue	49
3.2.1.5. Equipement de surface	49
4- SUIVIS DES FORAGES HYDRAULIQUE DANS LA REGION TOUGGOURT	50
4.1. Forage dans la nappe de complexe terminale à AIN TEBESBEST	50
4.1.1. Localisation du forage	50
4.1.2. But de forage	50
4.1.3. Construction du forage	50
4.1.4. Les essais par palie	51
4.1.5. Stratigraphie	51
4.2. Forage dans la nappe de complexe terminale d'AIN THOMAS	53

4.2.1. Localisation du forage	53
4.2.2. But de forage	53
4.2.3. Construction du forage	53
4.2.4. Les essais par palier	54
4.2.5. Stratigraphie	54
4.3. Forage dans la nappe de complexe terminale d'AIN BEN ZAANOUNE	56
4.3.1. Localisation du forage	56
4.3.2. But de forage	56
4.3.3. Construction du forage	56
4.3.4. Les essais par palier	57
4.3.5. Stratigraphie	57
4.4. Forage dans la nappe de complexe terminale de ZAOUIA	59
4.4.1. Localisation du forage	59
4.4.2. But de forage	59
4.4.3. Construction du forage	59
4.4.4. Développement	59
4.4.5. Essai de débit	59
4.4.6. Stratigraphie	59
4.5. Forage dans la nappe de complexe terminale de continental intercalaire	61
4.5.1. But de forage	61
4.5.2. Localisation du forage	61
4.5.3. Construction du forage	61
4.5.4. Stratigraphie	62
4.5.5. Observations diverses	63
4.5.6. Essai par paliers	63
4.5.7. Principaux résultats obtenus	63
5- CONCLUSION	65
CONCLSUION GENERALE	66

LISTES DES FIGURES

FIGURE 01	Situation géographique de la région Touggourt	3
FIGURE02	Carte de découpage administratif de la région de Touggourt	3
FIGURE03	carte géologique du Sahara orientale	5
FIGURE04	carte géologique de la région de Touggourt, extrait de la carte géologique de l'Algérie	6
FIGURE05	Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt	10
FIGURE06	Carte des sous- bassins versants du Sahara algérien et des stations Météorologiques d'après Cahiers de Sécheresse	13
FIGURE07	Variation des précipitations interannuelles à la station de Touggourt durant la période (1990-2011)	14
FIGURE08	Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt durant la période (1990-2011) .	15
FIGURE09	station de Touggourt de Variations des températures moyennes mensuelles	16
FIGURE10	Diagramme Ombro-Thermique de GAUSSEN	17
	PARTIE II	
FIGURE 11	.de l'extension géographique des aquifères de continental intercalaire et Carte complexe terminal	21
FIGURE 12	hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du CI	22
FIGURE 13) UNESCO1972 (Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara Septentrionale	24
FIGURE 14	Piper des eaux de l'aquifère superficiel Diagramme de	28
FIGURE 15	Répartition des teneurs des cations dans de l'aquifère superficiel	29
FIGURE 16	Répartition des teneurs des Anions dans de l'aquifère superficiel	30
FIGURE 17	La représentation du diagramme de Piper de la nappe CT	31
FIGURE 18	Histogramme de la variation de pH des eaux de la nappe CT	31
FIGURE 19	Histogrammes de la conductivité électrique de la nappe du CT	32
FIGURE 20	Le diagramme de Richards des eaux de la nappe CT	34
FIGURE 21	La représentation du diagramme de Piper de la nappe CI	34
FIGURE 22	Histogramme de la variation de pH des eaux de la nappe CI	35
FIGURE 23	La représentation du diagramme de Richards de la nappe CI	37
	PARTIE III	
FIGURE 24	Sonde de forage au marteau fond de trou	40
FIGURE 25	Sonde de forage rotary	41
FIGURE 26	Sonde de forage par Battage	42
FIGURE 27	Les types des crépines	43
FIGURE 28	Emplacement du massif filtrant dans le forage	44
FIGURE 29	Fiche technique de forage Ain Tebesbest	52
FIGURE 30	Fiche technique de forage Ain Thomas	55
FIGURE 31	Fiche technique de forage d'Ain Ben Zaanoune	58
FIGURE 32	Fiche technique de forage Zaouia	60
FIGURE 33	Fiche technique de forage Albien 1800m	64

<i>N° de tableau</i>	<i>Titer de tableau</i>	<i>Page</i>
PARTIE I		
Tableau 01	Précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt (1990-2011)	14
Tableau 02	Précipitations moyennes interannuelles à la station de Touggourt (1990-2011)	14
Tableau 03	Températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt (1990-2011)	15
Tableau 04	L'humidité moyenne mensuelle à la station de Touggourt (1990-2011)	16
Tableau 05	Vitesse moyennes mensuelles des vents à la station de Touggourt	16
Tableau 06	Evaporation moyenne mensuelle à la station de Touggourt (1990-2011)	17
Tableau 07	Données de diagramme Ombro-Thermique de GAUSSEN	17
Tableau 08	Classification DE MARTONNE	18
Tableau 09	bilan hydrique selon C.W Thornthwaite à la station de Touggourt (1990/2010)	19
PARTIE II		
Tableau 10	Données générales sur la nappe du continentale intercalaire	24
Tableau 11	Synthèse hydrogéologique régionale des différentes aquifères	27
Tableau 12	Comparatif de la concentration des éléments chimiques des eaux du CT avec les normes de l'OMS et norme algérienne	33
Tableau 13	Comparatif de la concentration des éléments chimiques des eaux du CI avec les normes de l'OMS et norme algérienne	37
PARTIE I		
Tableau 14	Programme de boue pour les forages CI	46
Tableau 15	Résultats des essais de pompage par palier	51
Tableau 16	Résultats des essais de pompage par palier	54
Tableau 17	Essai par palier (source d'eau)	57

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Dans la région de Touggourt (SE Algérie), la rareté des précipitations et l'augmentation de la demande sur l'eau, pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et pour l'industrie, nécessite le recours des ressources en eau profondes, les prélèvements des eaux de la nappe libre (Phréatique), de complexe terminal et de continentale intercalaire, ne s'asse pas à augmenté chaque année.

Selon le rapport de l'ANRH de la subdivision de Touggourt , le nombre total des forages recensés dans la région d'Oued Righ Sud est de l'ordre de 425 forages. Parmi les 425 forages recensés seulement 339 forages (CT, CI) sont exploités, tous les 6 forages CI sont en service et 86 forages CT non exploités. En se basant sur des critères d'expertise prenaît sur terrain parmi ces 86 forages CT non exploités, 62 forages sont classés exploitables, ils sont généralement a l'arrêt, non électrifier, de réserves, nouveaux forages, abandonnés à cause de l'éloignement,...etc. les 24 forages restés non récupérables qui nécessitent leur bouchage sont généralement des puits ensablés, accidentés, mal réalisés, très anciens, à eau très salés, taris...etc. Dans cette zone la nappe du Complexe Terminal (Mio-pliocène et Eocène) est exploitée par 333 forages, parmi ces forages seulement 2 forages sont destinés pour l'alimentation en eau potable, les autres sont destinés essentiellement pour l'irrigation de plus d'un million des palmiers réparties dans toute la région d'étude.

Le présent travail est pour objectif de mètre la lumière sur l'industrie des études des forages hydrauliques dans la région d'Oued Righ, le sujet est divisé en trois parties :

Partie 01: Généralités sur de la zone d'étude: dans cette partie nous avons définie les caractéristiques géographiques, socio-économiques, climatiques et géologiques de la région d'étude.

Partie 02: Etude Hydrogéologie de la région de Oued Righ: dans cette partie nous avons étudié les particularités hydrogéologiques, piézométriques et hydrochimiques des aquifères d'Oued Righ.

Partie 03: Suivis des forages hydrauliques dans la région d'Oued Righ: dans cette partie nous avons présenté des généralités sur les forages hydrauliques et traité les procédures de réalisation des forages réels dans la région d'Oued Righ. Nous avons également présenté les rapports de quelques forages réalisés dans la région, depuis le démarrage de forage jusqu'au la mise en marche de la pompe d'eau.

A la fin nous avons sortir avec une conclusion générale qui présente les résultats acquis à la fin de l'étude.

Partie I :

Généralités sur la zone d'étude

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.

1.1 Situation géographique.

La vallée d'Oued Righ se situe au SUD-EST de l'Algérie, plus précisément au Nord-Est du Sahara sur la limite Nord du Grand Erg Oriental, et la bordure Sud du massif des Aurès, elle commence au Sud par le village d'El Goug (Touggourt) et se termine sur une distance de 150km plus au Nord vers le village d'Oum-Thiours (100 km de la wilaya de Biskra).

Du point de vue géographique, notre région d'étude n'est autre que la vallée sud d'Oued Righ, entité géographique bien définie. Sa délimitation naturelle est marquée par:

- Au Sud les dunes de grand erg oriental de la wilaya de Ouargla.
- A l'Est les dunes de la wilaya d'Oued Souf.
- Au Nord les daïra de Djamaa, et El Meghaïer appartenant à la wilaya de Oued Souf.
- A l'Ouest par la wilaya de Gardaia.

1.2. Situation administrative.

La zone d'étude est située dans la wilaya d'Ouargla, elle est répartie entre quatre Daïras et huit communes dont la commune de Touggourt est la plus importante illustre la répartition des oasis dans la zone d'étude.

1.3. Aperçu socio-économique.

La vallée de l'Oued Righ regroupait jusqu'à 1988 cinquante (50) Oasis couvrant 15000 ha répartis le long de la vallée de part et d'autre, drainées par le canal collecteur. D'après les enquêtes de la FAO 1988, la vallée de l'Oued Righ comprend près de deux millions de palmiers sur un total de 7,5 millions que compte le pays.

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

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

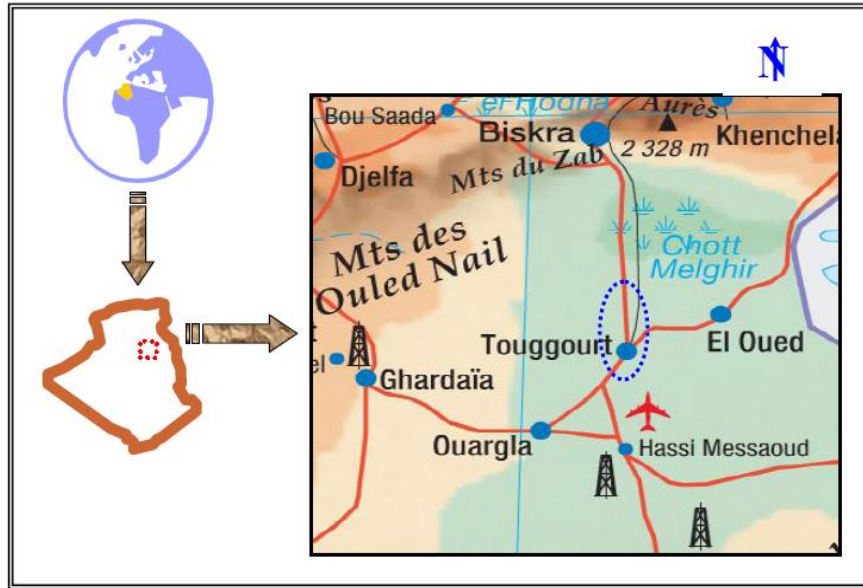


Fig. 01 : Situation géographique de la région Touggourt.

Du point de vue administratif, elle fait partie wilaya Ouargla par quatre daïras, du Sud vers le Nord : Témacine, Touggourt, Sidi Slimane, Mégarine, El-nezla, Tebesbest, Zaouia, El-megarine, Sidi Slimane La région Touggourt qu'elle existe huit communes du sud vers le nord Baldat Amor ,Témacine.

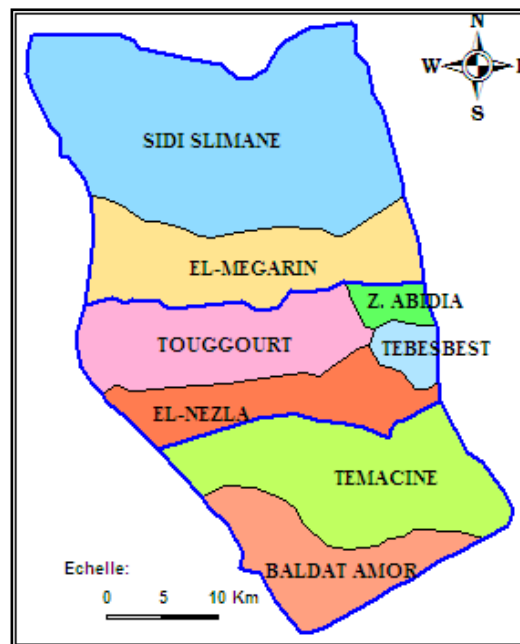


Fig. 02 : Carte des communes administratif de la région de Touggourt.

2. CONTEXTE GEOLOGIQUE.

2.1. Introduction.

La reconnaissance géologique de la région est une étape indispensable dans toute étude hydrogéologique. Elle permet la détermination de la nature lithologique et la description stratigraphique des formations et distinguer par conséquent celles pouvant renfermer des nappes souterraines.

Dans le but d'identifier les caractéristiques géologiques du réservoir, nous aborderons en premier lieu les aspects géologiques à l'échelle régionale puis à l'échelle locale propre à la zone de Touggourt.

2.2. Géologie régionale.

La région de Touggourt fait partie du Bas Sahara situé entre l'accident sud atlasique, et les premiers contreforts des monts des Aurès, au Nord ; la falaise méridionale du Tihert, au Sud. Les affleurements crétacés du Dahar, à l'Est et la dorsale du Mzab, à l'Ouest.

Le Bas Sahara est caractérisé par l'extrême simplicité de sa topographie. Mis à part le coté Nord, les autres bordures sont de hauteur modeste et s'inclinent en pente douce vers la partie déprimée, matérialisée par l'axe SSW-NNE et parcourue par les oueds Mya et Righ. Toutefois, vers le Nord, se dresse une haute barrière composée des monts des Ouled Naïl, des Aurès et des Nemamcha, bordant une dépression longitudinale occupée par des chotts dont le fond est inférieur au niveau de la mer. Il s'étend sur 720 000 Km² de superficie

Le Bas Sahara se présente ainsi comme une cuvette synclinale dont les terrains, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire sont dissimulés en grande partie par le grand erg oriental. Cependant, quelques affleurements sont observés sur les bordures.

Nous distinguons de bas en haut, trois ensembles (fig.3) :

- ♦ Les terrains paléozoïques affleurent au Sud, entre les plateaux du Tademaït et Tihert et le massif du Hoggar,
- ♦ Les terrains du Mésozoïque et Cénozoïque, constituent l'essentiel des affleurements des bordures du Bas Sahara.
- ♦ Des dépôts continentaux de la fin du Tertiaire et du Quaternaires, occupent le centre de la cuvette

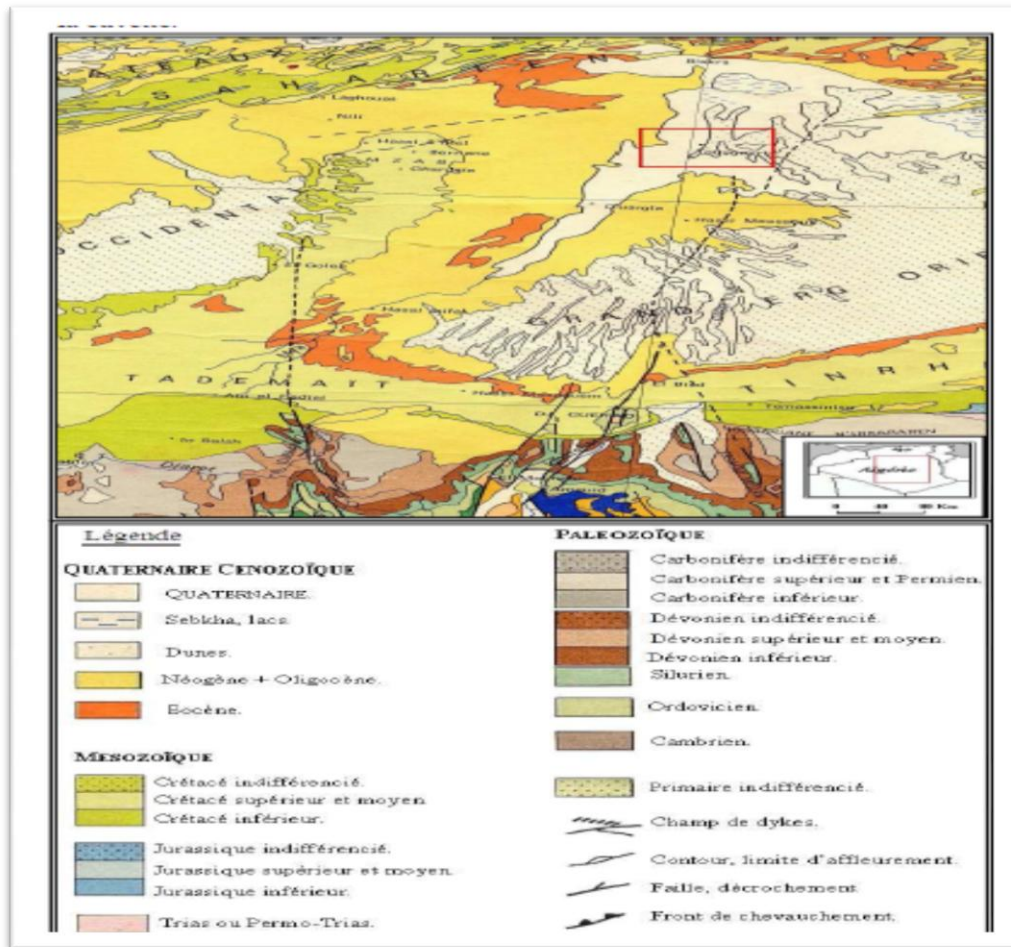


Fig. 03 : Carte géologique du Sahara orientale .

2.3. Géologie locale.

La carte géologique de Touggourt met en évidence l'affleurement des formations quaternaires, il s'agit des dunes récentes à Meggarine, Sidi Slimane, erg es Sayah... Le quaternaire continental à Merdjadja et les alluvions actuels à Temacine, Zaouïa

Les nombreux travaux d'auteurs tels que : (J. SAVORIN 1931, R. KARPOFF 1952, A. CORNET 1961 et R. FURON 1968) ont permis de reconstituer une série stratigraphique, aussi complète que possible. Les formations géologiques sont décrites des plus anciennes au plus récentes.

2.3.1. Le Mésozoïque :

a. Le Crétacé : Cette époque géologique est intéressante pour deux raisons : D'une part, le Crétacé affleure sur les bords du Bas Sahara (KARPOFF, 1952) repose sur le socle primaire composé des roches variées : schistes, grès et calcaire. D'autre part, l'étendue des affleurements crétacés est très importante en Algérie Orientale.

Le Crétacé est une série en grande partie continentale formée d'une alternance de couches gréseuses et argileuses.

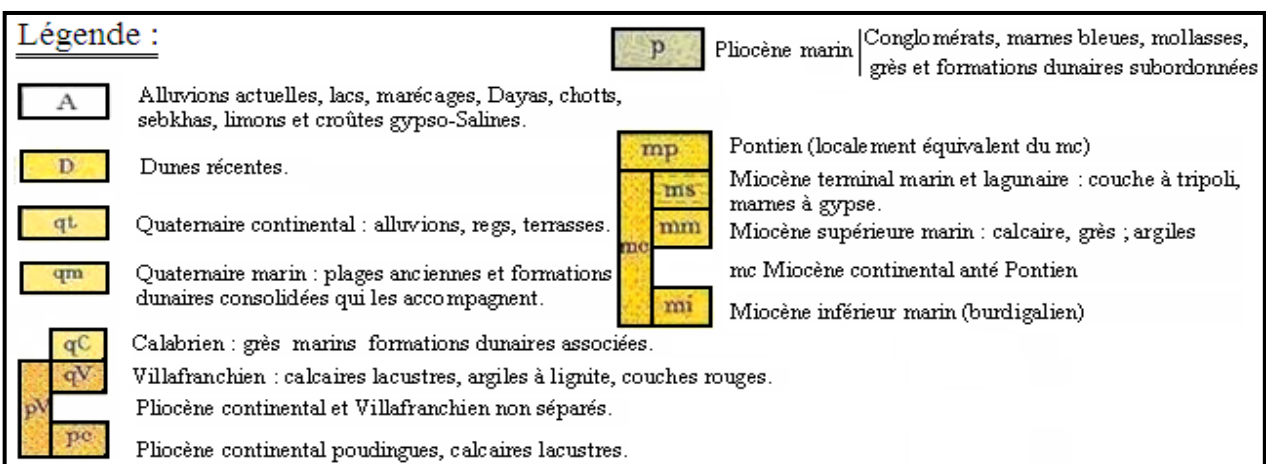
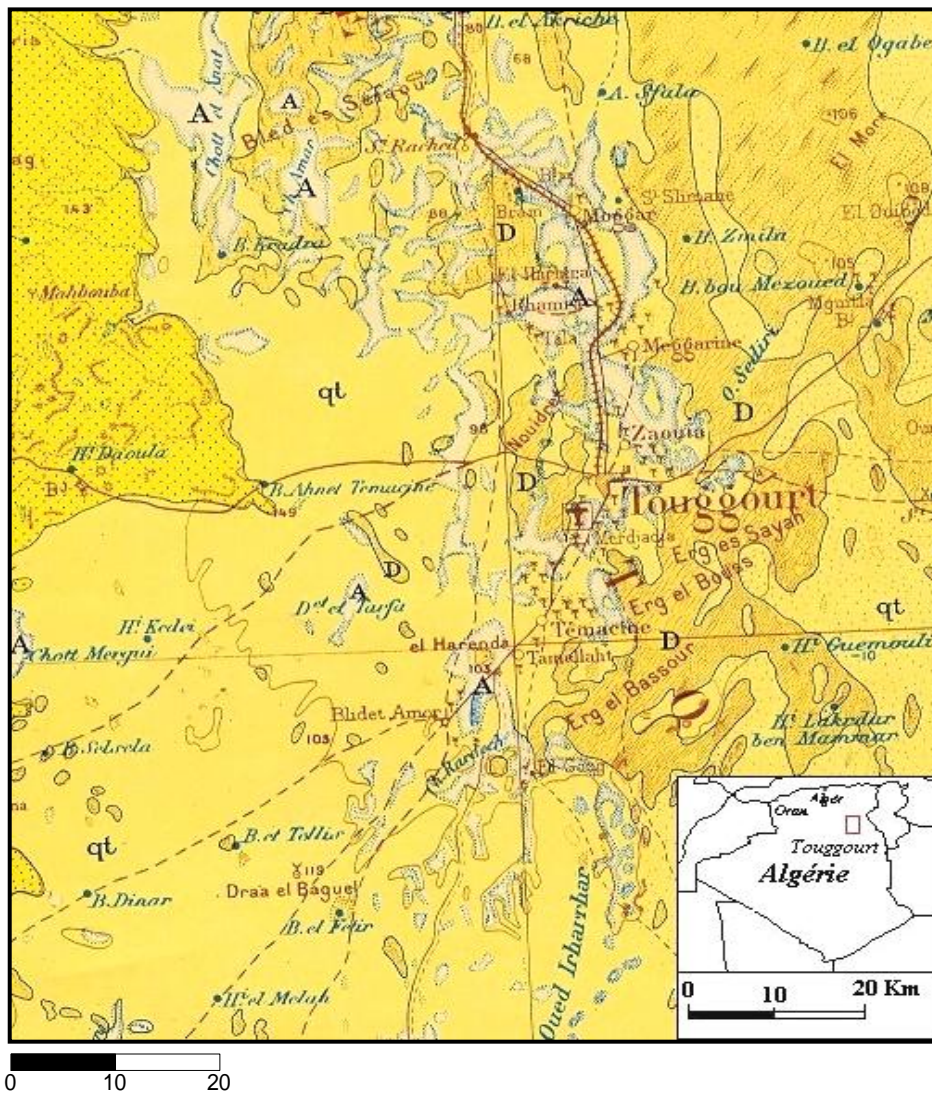


Fig. 04 : carte géologique de la région de Touggourt, extrait de la carte géologique de l'Algérie.

b. Le Néocomien : Il se subdivise en deux séries :

La série inférieure: A prédominance argileuse, elle est représentée par des argiles grises et vertes, plus ou moins pélitique. Dans ces argiles, sont intercalées des dolomies microcristallines et cristallines.

La série supérieure: On distingue deux ensembles : L'ensemble supérieur, constitue des dolomies et des calcaires microcristallins avec des intercalations d'argiles, de pélites et de marnes blanches et grises. L'ensemble inférieur, surtout anhydritique avec intercalations d'argiles plus au moins anhydritique, grises, vertes et rouges. Ces argiles passent à des marnes avec lits dolomitique. L'épaisseur du Néocomien est de 350 m.

c. Le Barrémien : Son épaisseur varie entre 150-200 m. le Barrémien est constitué des grès fins à moyen à ciment argileux ,avec des passes de dragées de quartz blanc laiteux, des intercalations de sables et de grès arkosique, plus au moins grossiers. Cette épaisse série détritique poreuse du Barrémien constitue un important aquifère de Complexe Intercalaire.

d. L'Aptien : L'Aptien présente les caractéristiques d'un terrain semi-perméable, son épaisseur varie de 28 à 31 m.

e. L'Albien : Il est essentiellement constitué de grès friables à ciment argileux et d'argiles sableuses. Les grès et les sables sont fins à très fins passant parfois à des pélites, les argiles souvent pélitiques sont de couleur grise ou verdâtre. Cette formation albienne présente les caractéristiques suivantes :

- ◆ Épaisseur croissant d'Est en Ouest.
- ◆ Teneurs élevées en éléments clastiques.
- ◆ Les teneurs en carbonates décroissants d'Est en Ouest depuis les valeurs supérieures à est constitué de dolomies microcristallines à cristallines, parfois blanches, crayeuses et tendres, contenant des débris de mollusque et entrecoupées de marnes grises dolomitiques.
- ◆ l'Albien se présente comme une série très épaisse (200-300m).

f. Le Vraconien : Il est constitué d'une alternance irrégulière de niveaux argileux et dolomitiques, d'argiles sableuses et plus rarement de passées de grès à ciment calcaire. Le Vraconien est imperméable. Son épaisseur est de 110 m environ.

g. Le Cénomaniien : A Touggourt, le Cénomaniien est constitue par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites et même des sels son épaisseur est de l'ordre de 200-250 m (formations imperméables).

h. Le Turonien : Au Turonien le régime marin persiste dans le Bas Sahara, et la mer présente le maximum d'extension. Dans l'ensemble, le Turonien est calcaire et dolomitique, marneux à la base, et dolomitique, ou calcaire au sommet. Il est de l'ordre de 90-100m.

i. Le Sénonien : Dans tous le Bas Sahara, le Sénonien est formé de deux ensembles très différents du point de vue lithologique :

- ♦ Le Sénonien lagunaire, à la base.
- ♦ Le Sénonien carbonaté, au dessus.

Le Sénonien carbonaté : Le Sénonien supérieur est carbonaté. Il est essentiellement constitué de dolomies et de calcaires micro-fissurés avec des intercalations de marnes d'argiles et plus rarement d'anhydrites. La limite supérieure de ce niveau est encore plus floue, en effet, il y a pratiquement continuité lithologique entre le Sénonien et l'Eocène carbonaté. Les deux niveaux sont formés de calcaires de même nature, seule la présence de nummulites permet d'identifier l'Eocène. Le système carbonaté est essentiellement formé de dolomies et de calcaires dolomitiques, avec des intercalations de marnes et d'argiles, plus rarement d'anhydrites

Le Sénonien lagunaire : La limite inférieure, du Sénonien lagunaire est généralement nette. En effet les évaporites et argiles Sénoniens sont aisément différenciables des calcaire et dolomies de Turonien. Le passage est beaucoup moins net entre Sénonien lagunaire et Sénonien carbonaté,

Du point de vue lithologique le Sénonien lagunaire est constitué par une alternance de bancs d'anhydrites, de dolomies, d'argiles et de sels.

Le Sénonien lagunaire est imperméable. Du point de vue hydrogéologique, ce niveau joue le rôle d'imperméable de base.

2.3.2. Le Cénozoïque :

a. L'Eocène : On distingue dans l'Eocène deux ensembles lithologiques : l'Eocène carbonaté à la base et l'Eocène évaporitique au sommet.

L'Eocène inférieur (carbonaté) : Il est composé de bancs de dolomies, de calcaire dolomitique, de calcaire à Nummulites et à rognons de silex. Sur tout le pourtour de la grande cuvette secondaire saharienne, il garde les mêmes caractéristiques lithologiques. Dans le sondage de Touggourt, il atteint 120 m d'épaisseur.

L'Eocène moyen (évaporitique) : Les sondages récents, profonds de 200 m, exécutés à Touggourt et dans la région s'étendant plus au Sud, rencontrent l'eau dans des couches

calcaires alternant avec les marnes rouges gypsifères et l'argile et d'anhydrites. Il s'agit sans doute déjà des niveaux supérieurs de l'Eocène moyen, présentant là un faciès plus calcaire.

b. L'Oligocène : Cet étage n'est pas connu dans la zone saharienne. Dans l'Atlas saharien, on lui attribue les dépôts détritiques formant des lambeaux isolés dans les dépressions topographiques. A l'Oligocène, le Sahara devait être un plateau émergé sur lequel s'effectuait une sédimentation continentale en tous points semblable à celle du Miocène, ce qui rend impossible toute discrimination d'étage.

c. Le Mio-Pliocène : Il correspond au Complexe Terminal. C'est un puissant ensemble de sable et d'argiles qui s'étend sur tout le Sahara et qui repose en discordance, indifféremment sur le Primaire, et le Crétacé inférieure : le Turonien, Cénomaniens, Sénonien et l'Eocène. Son épaisseur varie entre 140 m au Sud et 280 m au Nord.

2.3.3. Le Quaternaire :

Le Quaternaire est constitué de sable éoliens et sables argileux, résultat de la destruction de falaise Mio-Pliocène au Sud et à l'Ouest de la vallée de l'Oued Righ ; localement intercalés de lentilles d'argiles sableuse et gypseuses. Ces sables forment d'énormes accumulations dans le Grand Erg Oriental. C'est dans ce niveau que l'on rencontre la nappe phréatique. Son épaisseur est variable et peu atteindre localement une dizaine de mètre.

2.4. Tectonique générale

Au cours du Secondaire, le Sahara algérien oriental subissait des mouvements verticaux d'ensemble. Pendant que de véritables chaînes de montagnes se formaient plus au Nord, dans le géosynclinal de l'Atlas saharien, la zone saharienne tendait plutôt à un effondrement progressif de sa partie centrale, suivant un axe passant sensiblement par la vallée de l'Oued Righ et par le tronçon supérieur de la vallée de l'Oued Mya.

La géométrie actuelle des formations du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal du Sahara est caractérisée par l'absence des déformations tectoniques importantes.

La géométrie actuelle des formations du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal du Sahara est caractérisée par l'absence des déformations tectoniques importantes.

La chaîne des Maghrébides qui a subi plusieurs phases orogéniques au Tertiaire, va avoir des contre coups sur la Plate forme saharienne : Les mouvements de l'Eocène moyen à supérieur, sont bien nets, la phase du Miocène inférieur lui succède et donne naissance au Tell et aux Aurès. Enfin, la phase Plio-Quaternaire qui s'insère avec les précédentes dans la phase Alpine, d'où l'apparition des fractures de direction Est-Ouest forment la surrection du massif des Aurès et l'affaissement de la partie Sud « Sillon Sud Aurésien », ces fractures régissent

l'écoulement des eaux souterraines d'où la naissance des chotts tel que chott Merouane et chott Melguig. La flexure Sud Atlasique de direction Est-Ouest sépare deux domaines distincts, c'est ainsi qu'on peut avoir au Nord des points culminants « Monts des Aurès » et au Sud les points les plus affaissés.

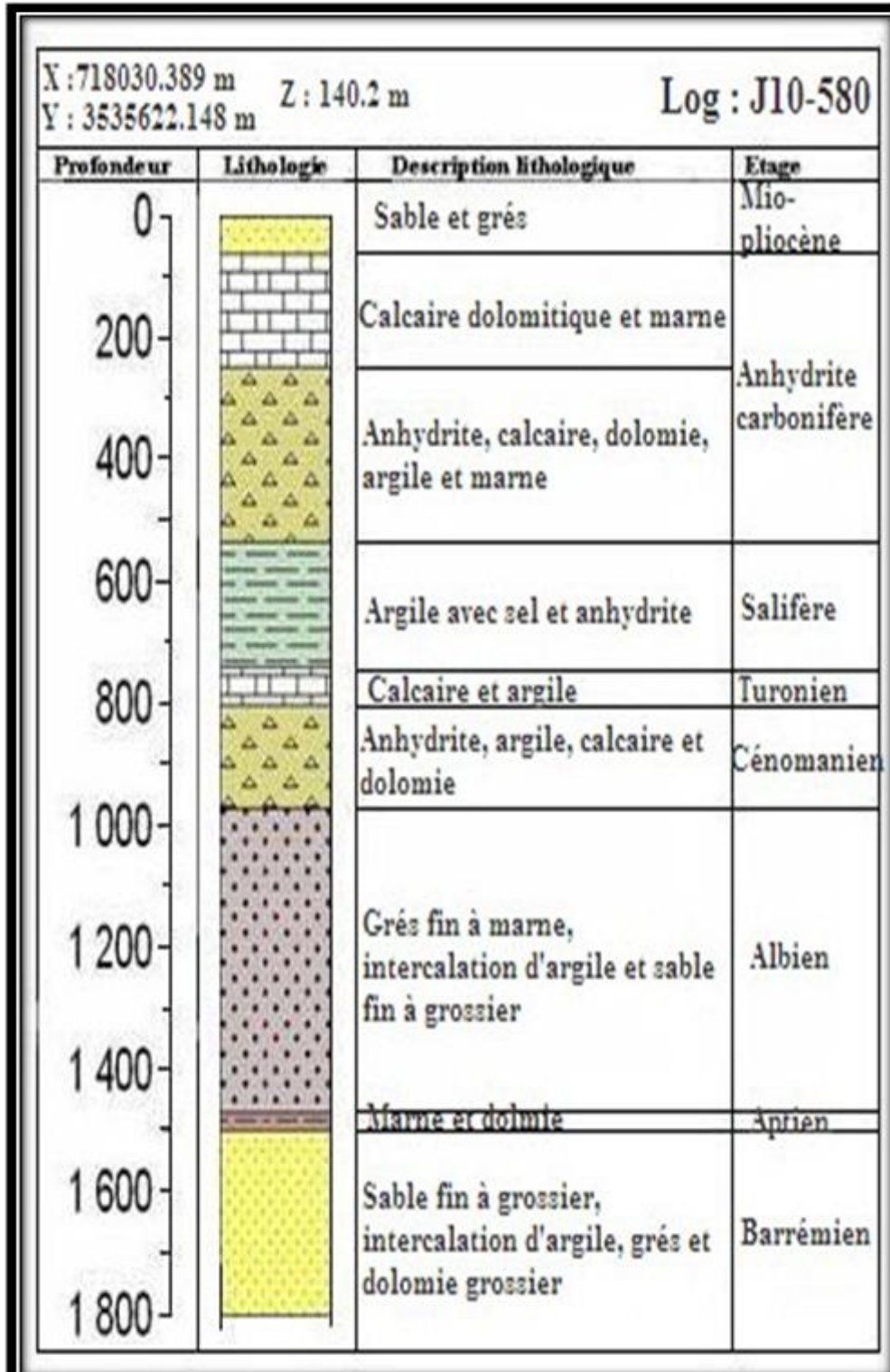


Fig. 05 : Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt.

2.5. Paléogéographie.

Les caractéristiques paléogéographiques du Sahara oriental, du Cénomaniens à la fin de l'Eocène sont donc :

- L'existence d'une plate forme très régulière sur laquelle les moindres variations du niveau de la mer, provoque des changements importants dans la sédimentation.
- L'existence d'une mer profonde dans le Bas Sahara actuel à partir de laquelle se produisent plusieurs transgressions dont les plus importantes étant celles du Cénomaniens et du Sénonien supérieur.
- A la fin de l'Eocène et la régression définitive de la mer s'accompagne de bouleversements important.
 - L'érosion enlève une partie des calcaires du Sénonien et l'Eocène.
 - Le régime marin est remplacé par un régime continental.

Cette reconstitution paléogéographique, est tirée des travaux de *F. BEL* et *F. DEMARGNE* (1966), elle s'applique à l'ensemble du Bas Sahara.

Pendant la première moitié de l'ère secondaire, la sédimentation dans la région de Touggourt et dans tout le Sahara oriental a été de type continental. En effet, du Trias à l'Albien, se sont déposés des argiles et des sables et des évaporites d'origine éolienne ou fluviale. On note cependant, quelques rares incursions marines, en particulier en Jurassique et à l'Albien. Ce dépôts constituent « le continentale intercalaire » et contiennent la plus importante ressource aquifère du Sahara.

Durant la seconde moitié du secondaire, d'autres phénomènes se sont succédé :

- Au dessous des grès continentaux albiens viennent en transgression les calcaires marins du Cénomaniens. Ces calcaires qui s'intercalent avec les argiles et les évaporites. Cette alternance est l'indice d'un régime marin peu profond, évoluant vers un régime lagunaire responsable du dépôt des évaporites et des argiles gypsifères.
- Au Turonien, le régime marin s'est stabilisé, permettant le dépôt d'une barre calcaire homogène, atteignant parfois plus de 100 mètres dans le Sahara oriental. La stabilisation du régime marin durant le Turonien n'est que temporaire.
- En effet, dès le début du Sénonien à Touggourt se dépose en alternance de l'anhydrite, des argiles, des dolomies ainsi que quelques bancs calcaires. Le dépôt parfois d'un banc de sel massif à la base dans le Bas Sahara témoigne particulièrement du régime lagunaire qui s'était installé sur le Sahara oriental durant tout le Sénonien inférieur.

- Au Sénonien supérieur, le régime marin réapparaît une nouvelle fois déposant ainsi la seconde série calcaire. Cette transgression Sénonienne semble moins importante que celle du Turonien. En effet, on note la présence de petites intercalations d'évaporites dans les calcaires Sénoniens, ce qui n'est pas le cas des dépôts turoniens.
- Au début de l'Eocène inférieur, la mer recouvre toujours le Sahara oriental, c'est le dépôt des calcaires à Nummulites.
- Durant l'Eocène moyen et supérieur, les sédiments marins de l'Eocène inférieur sont peu à peu remplacés par des dépôts lagunaires où alternent les argiles, les évaporites et les calcaires. La faible extension de ce golfe marin localisé dans le Bas Sahara marque les dernières manifestations de la mer saharienne dont la disparition définitive se situe vers la fin de l'Eocène.
- A la fin de l'Eocène, le Sahara oriental se présente sous l'aspect d'une plate forme calcaire émergée qui sera exposée à l'érosion durant tout l'Oligocène.
- Au Mio-pliocène, suite à l'épirogénèse alpine, des sédiments argileux et sableux continentaux se déposent sur l'ensemble du Sahara oriental. Cette sédimentation continentale se poursuit durant le Quaternaire. C'est donc aux époques Tertiaires et Quaternaire que le Sahara oriental a pris la configuration que nous lui connaissons aujourd'hui.

3. CONTEXTE CLIMATIQUE.

3.1. Introduction.

Le climat affecte une bonne partie des activités humaines, telle que la production agricole, la production et la consommation d'énergie, l'utilisation de certaines ressources telles que l'eau, les aspects essentiels de l'environnement relevant immédiatement de la climatologie.

L'objet de ce travail est l'étude des paramètres hydroclimatologiques mesurés depuis une vingtaine d'années à la station de Touggourt, représentative du climat régnant sur notre zone d'étude. Nous analyserons successivement : les valeurs mensuelles et annuelles des précipitations, températures de l'air, humidité relative, vitesse de vent et l'évaporation mesurée au niveau de cette station.

La carte ci-dessous présente les différents sous-bassins versants du Sahara algérien, et les principales stations météorologiques.

Selon cette carte, basée sur le découpage hydrologique adopté par L'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), la zone étudiée appartient au sous-bassin versant N° 04.

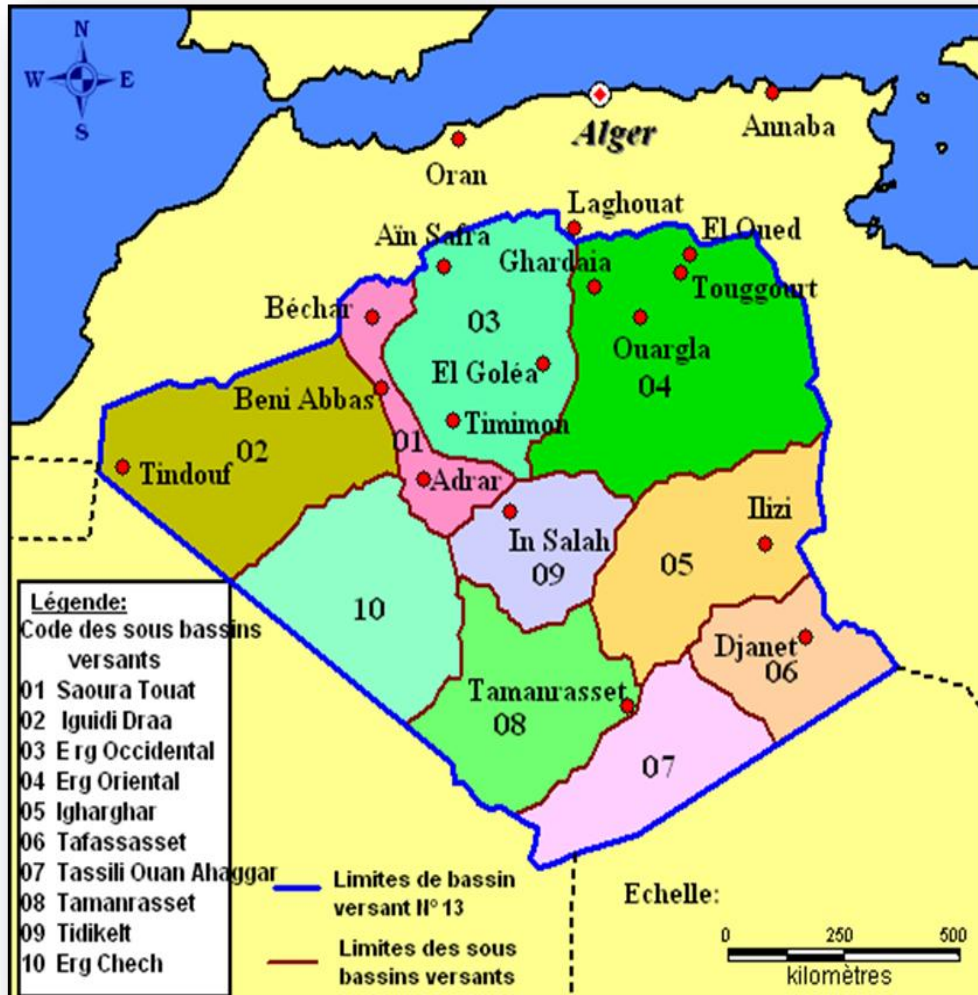


Fig. 06 : Carte des sous- bassins versants du Sahara algérien et des stations Météorologiques d'après Cahiers de Sécheresse.

3.2. Les paramètres climatiques :

3.2.1. Précipitations: Les précipitations proviennent des nuages. Transportés par la circulation atmosphérique, les nuages se déplacent et sous l'effet de la pesanteur, l'eau retombe sur le sol sous forme d'eau, de neige ou de grêle (état liquide ou solide) : ce sont les précipitations.

Les pluies ont un rôle primordial dans la constitution des réserves d'eau souterraine. Cependant seule une fraction des eaux pluviales arrivant sur le sol permet de recharger les nappes souterraines.

a. Précipitations moyennes mensuelles : Le tableau 1 ci-dessous représente les données des précipitations moyennes mensuelles calculées sur une période de 22 ans.

Tab. 01: Précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt (1990-2011)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
P(mm)	5.52	4.72	4.14	4.40	15.13	2.35	5,05	4.32	3.13	0.61	0.47	2.67	52,5

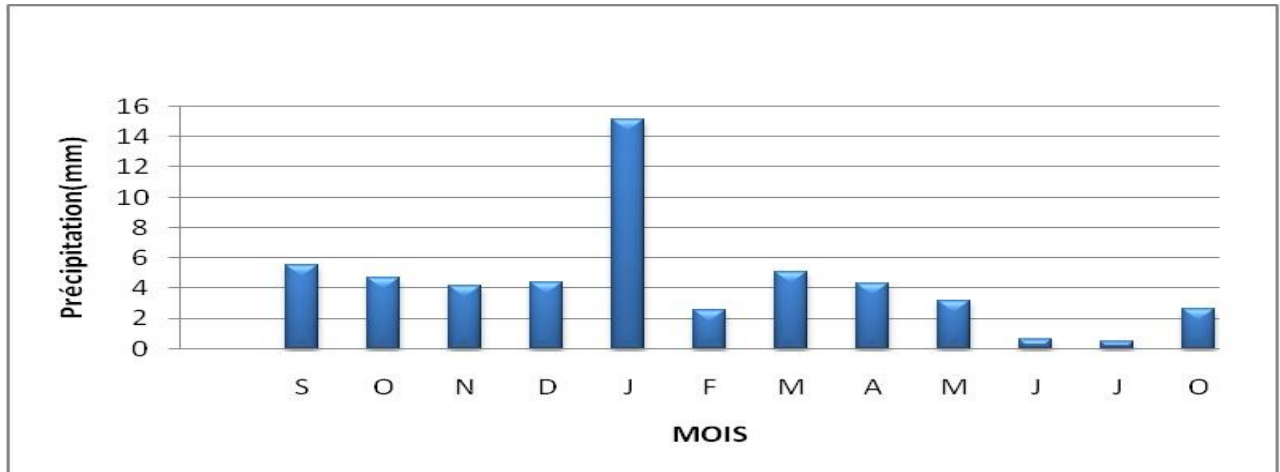


Fig. 07 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt durant la période (1990-2011)

La figure 07 montre l'évolution des précipitations moyennes mensuelles durant la période (1990-2011). Ainsi, on remarque que la répartition des précipitations est irrégulière, la quantité maximale est observée au mois de Janvier, elle est de l'ordre de 15.13 mm par contre au mois de Juin et Juillet, elle est presque nulle, de même que pour les autres mois où elle est relativement faible.

b. Précipitations interannuelles : Les précipitations moyennes interannuelles d'une durée d'observation de 21 ans (1990-2010) pour la station de Touggourt sont résumées dans le tableau 2.

Tab. 02: Précipitations moyennes interannuelles à la station de Touggourt (1990-2011)

Années	P(mm)	Années	P(mm)	Années	P (mm)	Années	P (mm)
1990/91	53.2	1995/96	137.6	2000/01	71.3	2005/06	57.6
1991/92	125.9	1996/97	25.8	2001/02	166.4	2006/07	102.1
1992/93	47.5	1997/98	61.9	2002/03	62.8	2007/08	24.4
1993/94	51.3	1998/99	72.6	2003/04	133.5	2008/09	176
1994/95	28.5	1999/00	50.2	2004/05	74.9	2009/10	49.4

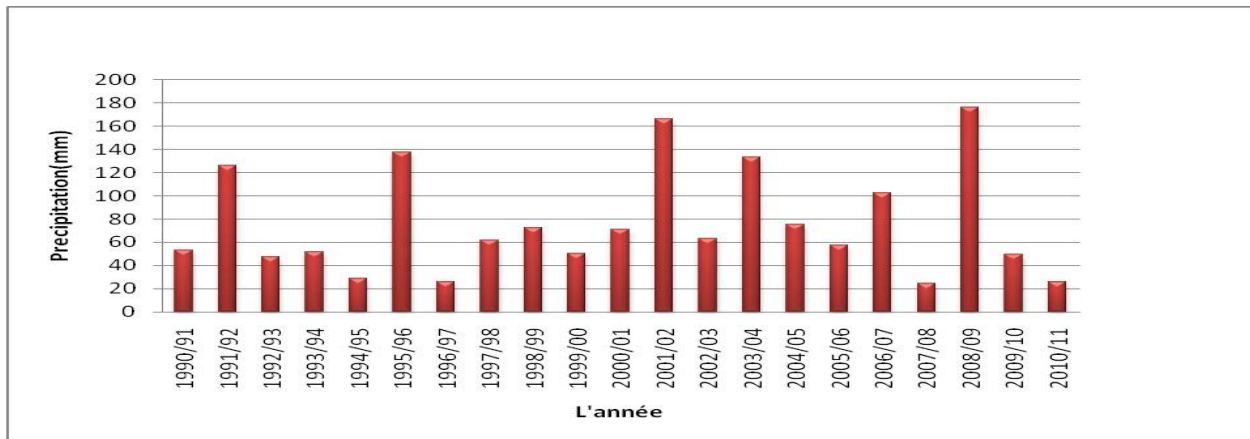


Fig. 08 : Variation des précipitations interannuelles à la station de Touggourt durant la période (1990-2011)

D'après l'histogramme, on remarque qu'une variabilité de la pluie annuelle est enregistrée au cours de la période (1990-2010). On remarque une valeur maximale annuelle de 176 mm pour l'année (2008-2009) qui représente l'année la plus pluvieuse, et une valeur minimale annuelle de 24.4 mm enregistrée pour l'année (2007-2008), on remarque que 30% des valeurs sont supérieures à la moyenne et 70% des valeurs sont inférieures à cette dernière.

3.2.2. Température : Dans notre région d'étude caractérisée par un climat Saharien, la température joue un rôle très important par son influence sur les autres paramètres météorologiques tel que l'évaporation et le taux de l'humidité de l'atmosphère.

Tab. 03: Températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt (1990-2011)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	moy
Temp °c	29.11	23.39	16.21	11.93	10.89	13.06	16.85	20.95	26.05	31.06	33.96	33.53	22.29

A partir du climat répandu dans notre région d'étude les températures se caractérisent par des valeurs maximales en été qui atteignent 41.24°C et des valeurs minimales enregistrées en hiver d'ordre de 4.56°C quant à la moyenne annuelle correspondante à cette période, elle est de 22.2°C. La figure suivante représente les variations des températures moyennes mensuelles et montre que les mois les plus chauds sont : Juillet et Aout avec des températures qui dépassent 30 °C et les mois les plus froids sont : Décembre, Janvier et Février avec des températures inférieures à 6°C.

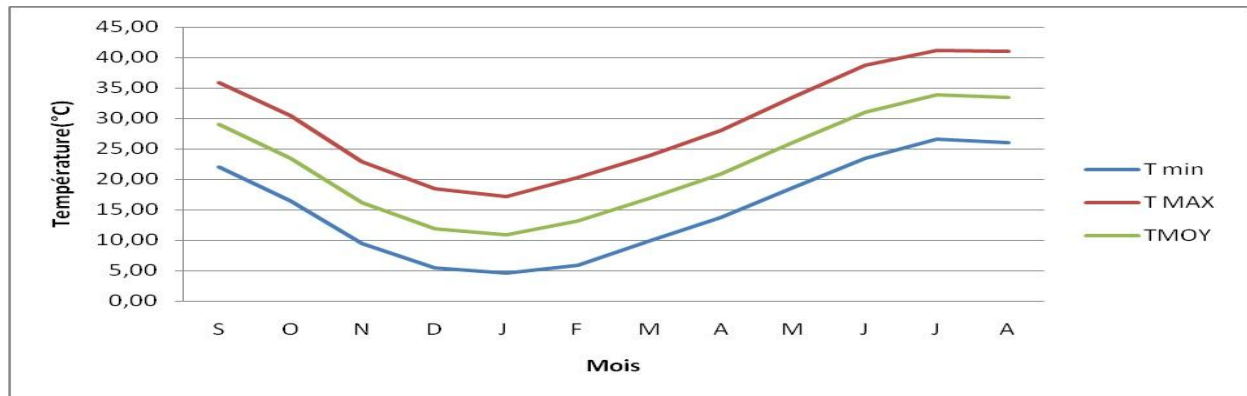


Fig. 09 : Variations des températures moyennes mensuelles minimales et maximales à la station de Touggourt durant la période (1990-2011)

3.2.3. L'humidité : L'humidité est très importante car elle influe sur l'évaporation, elle est plus élevée en hiver qu'en été. Ceci s'explique par l'effet de la température qui est élevée en été et basse en hiver, et le maximum correspond au mois le plus froid.

Le tableau suivant donne les valeurs de l'humidité moyennes mensuelles observées en 22 ans.

Tab. 04: L'humidité moyenne mensuelle à la station de Touggourt (1990-2011)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
H (%)	32.40	37.50	43.96	48.90	48.94	37.16	36.29	31.70	28.93	25.13	22.88	24.72

On remarque que l'humidité augmente à partir du mois de Novembre jusqu'à Janvier au cours duquel est enregistrée une valeur moyenne maximale de 48.90%. Cependant, elle diminue en été pour atteindre une valeur minimale en Juillet de l'ordre de 22.88%.

3.2.4. Le vent : Le vent est un autre facteur climatique important dans la caractérisation du climat. Les résultats des moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrées à la station de Touggourt (1990-2011) sont présentés dans le tableau suivant :

Tab. 05: Vitesse moyennes mensuelles des vents à la station de Touggourt

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Vitesse (m/s)	2.89	2.50	2.48	3.42	2.98	2.74	3.32	3.83	3.88	3.77	3.27	2.91

On remarque d'après le tableau, que la vitesse minimale du vent est enregistrée au mois de l'octobre, elle est de 2.50 m/s et la vitesse maximale est enregistrée en Mai et atteint 3.88m/s. Ces vents soufflent dans des directions différentes.

3.2.5. L'évaporation : Les phénomènes d'évaporation interviennent dans le cycle hydrologique dès le moment où les précipitations; sous forme liquide ou solide; atteignent la surface du sol. De plus l'humidité du sol, soit qu'elle provient des pluies récentes infiltrées à faible profondeur, soit qu'elle remonte par capillarité directement de la nappe phréatique ou

par l'intermédiaire de la couverture végétale constitue un élément important pour l'évaporation. Nous avons indiqué dans le tableau ci-dessous la moyenne mensuelle de l'évaporation mesurée à Touggourt pour la période (1990 – 2011).

Tab. 06: Evaporation moyenne mensuelle à la station de Touggourt (1990 – 2011)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Evap (mm)	256,7	192,48	127,80	97,68	85,21	118,71	186,17	230,24	295,15	357,57	385,83	334,20

Les données du tableau indiquent que la variation mensuelle de l'évaporation augmente en été et diminue en hiver, elle correspond à celle des températures. L'évaporation maximale est observée en Juillet, elle est de l'ordre de 385.83 mm et le minimum est enregistré en Janvier avec une valeur de 85,21 mm ce qui est logique vu que la température est le facteur principal qui influe sur l'évaporation.

3.3. Régime climatique :

3.3.1. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN : Le diagramme ombro-thermique de GAUSSEN permet de calculer la durée de la saison sèche. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle qui sont portées sur des axes où l'échelle de la température est double de la pluviosité.

Tab. 07: Données de diagramme Ombro-Thermique de GAUSSEN.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P	5,52	4,72	4,14	4,4	15,1	2,35	5,05	4,32	3,13	0,61	0,47	2,67
2T	58,22	46,78	32,42	23,86	21,8	26,12	33,7	41,9	52,1	62,12	67,92	67,06

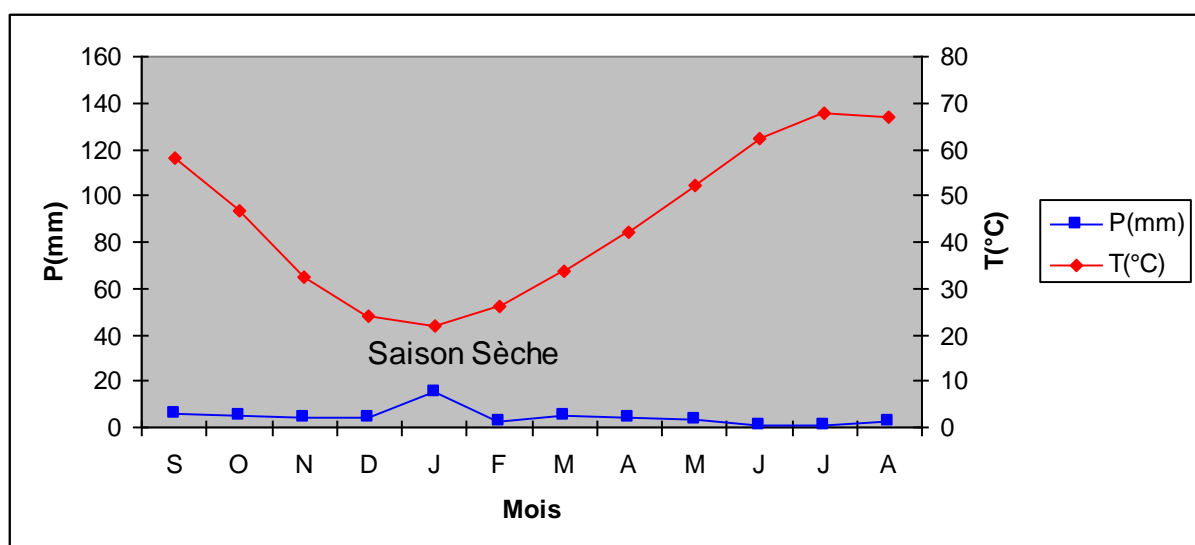


Fig. 10 : Diagramme Ombro-Thermique de GAUSSEN.

Dans le cas de notre région d'étude la courbe des pluies passe au-dessous de celle des températures. Cette allure permet de constater que la période sèche s'étale le long de l'année avec une intense sécheresse du mois de Juin à Septembre même en Janvier, le mois où les précipitations atteignent leur maximum.

3.3.2. Indice DE MARTONNE:

Pour enrichir plus l'idée sur le climat d'une région, le géographe DE MARTONNE a proposé en 1923 un indice d'aridité vite devenue célèbre fondé sur le régime des précipitations et des températures selon la formule suivante:

Il est défini par la relation suivante: $A = P/(T+10)$

Où: **P**: précipitation moyenne annuelle (mm) et **T**: température moyenne annuelle (°C).

Tab. 08: Classification DE MARTONNE

Valeur de l'indice	Type de climat
$A < 5$	Hyper-aride
$5 < A < 7.5$	Désertique
$7.5 < A < 10$	Steppique
$10 < A < 20$	Semi-aride
$20 < A < 30$	Tempéré

Pour la station de Touggourt: $P=52.51\text{mm}$ et $T=22.29^\circ\text{C}$, donc $A= 1.62$

Ainsi, on obtient un indice d'aridité : $A < 5$

Selon la classification de DEMARTONE, il s'agit d'un régime hyper-aride.

3.3.3. Bilan hydrique.

C.W Thornthwaite, en prenant en compte la température de l'air à proposé la formule suivante: $ETP = 16(10t/I)^a \cdot k$

Avec : $i = (t/5)^{1.514}$ et $a = 1,6 I/100 + 0,5$

ETP : évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle (mm)

I : indice thermique mensuel.

a : paramètre arbitraire lié à la température

I : somme des indices thermiques mensuels.

t: température moyenne mensuel (°C).

K : coefficient d'ajustement mensuel.

Les résultats de calcul de l'ETP par la méthode de C.W.Thornthwaite sont présentés dans le tableau ci-après.

Tab. 09: bilan hydrique selon C.W Thornthwaite à la station de Touggourt (1990/2010).

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	total
P	5.52	4.72	4.14	4.40	15.13	2.35	5,05	4.32	3.13	0.61	0.47	2.67	52,5
T	29.11	23.39	16.21	11.93	10.89	13.06	16.85	20.95	26.05	31.06	33.96	33.53	-
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	-
I	14.4	10.3	5.9	3.7	3.2	4.3	6.3	8.8	12.2	15.9	18.2	17.8	121.0
ETP	139.8	77.3	28.0	12.5	10.8	16.4	36.9	67.0	125.3	194	245.0	222.2	1175.2
RFU	00	00	00	00	4.4	00	00	00	00	00	00	00	-
ETR	5.5	4.7	4.1	4.4	10.8	6.7	5.1	4.3	3.1	0.6	0.5	2.7	52.5
EXC	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
DA	134.3	72.5	23.9	8.1	0.0	9.6	31.8	62.7	122.2	193.4	244.6	219.6	1122.7

Le bilan hydrique établi par la méthode de Thornthwaite pour la station de Touggourt pour la période de 20 ans (1990-2010) est déficitaire ; la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce que évapotranspiration potentiel (ETP) est plus importante que les précipitations, sauf au mois de janvier, le réserve facilement utilisable est nulle pendant les onze mois de l'année. Le déficit agricole est présent pendant onze mois de l'année, elle atteindra son maximum au mois de juillet 244.6mm.

Le bilan hydrique de la région de Touggourt montre aussi que la recharge par la pluie efficace est négligeable.

4. CONCLUSION.

La région de Touggourt fait partie du Bas Sahara qui se présente comme une cuvette synclinale. Tous les terrains, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire sont dissimulés en grande partie par le grand erg oriental. Cependant, quelques affleurements sont observés, sur les bordures. Les prospections géophysiques et les sondages pétroliers ont précisé la profondeur du socle précambrien, situé entre 3000 et 5000 mètres. Il s'ensuit que les dépôts sédimentaires ont environ 4000 mètres d'épaisseur ; les terrains paléozoïques affleurent au Sud, entre les plateaux du Tademaït et Tinghert et le massif du Hoggar, les terrains du Mésozoïque et du début du Cénozoïque constituent l'essentiel des affleurements des bordures et en fin les dépôts continentaux tertiaires et quaternaires occupent le centre de la cuvette.

L'étude climatologique montre que le climat de la zone d'étude est hyper aride de type saharien. La plus forte température de l'ordre de 41.24°C est enregistrée au mois de Juillet au cours duquel l'évaporation est maximale et est de 385.83 mm tandis que la plus faible température est de 4.56°C correspond au mois de Janvier durant lequel l'évaporation est minimale atteignant une valeur de 85.21 mm. Quant aux précipitations, le mois de janvier est le plus humide avec une valeur de 15.13mm et le mois de juillet est le plus sec avec 0.47mm. Le bilan est déficitaire, l'excédent est nul et la RFU est épuisée durant toute l'année malgré qu'elle présente uniquement une valeur de 4.4 mm pendant le mois de janvier.

Les précipitations sont de l'ordre de 52.5 mm.

Partie II :

Etude Hydrogéologie

de la région d'Oued Righ

1. PRESENTATION DE SYSTEME AQUIFERE D'OUED RIGH .

1.1. Introduction.

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 une épaisse série argileuse et évaporitiques de la base du Crétacé Sud. Il s'agit de continental intercalaire et le complexe terminale.

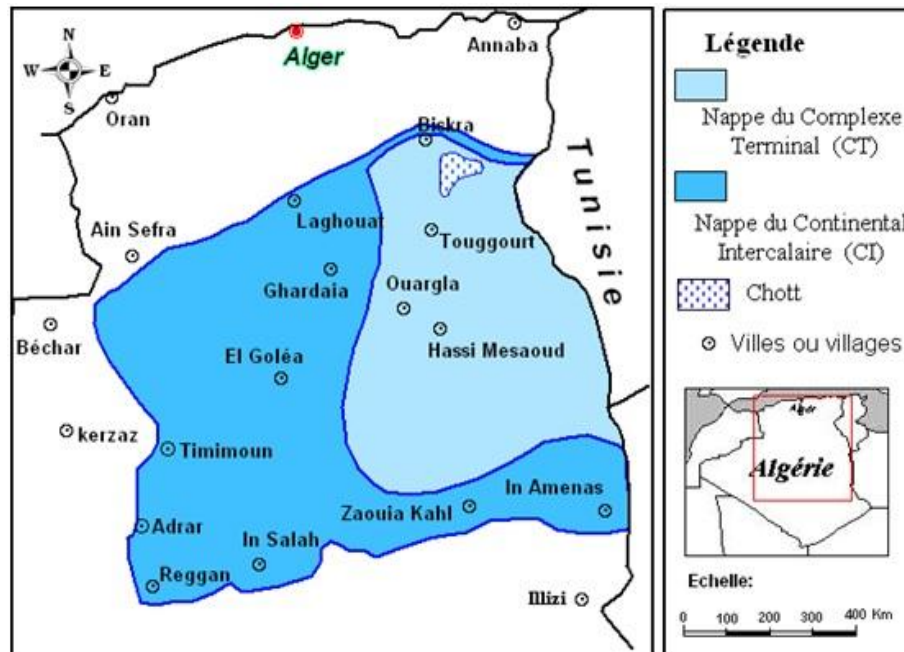


Fig. 11 : Carte de l'extension géographique des aquifères de continental intercalaire et complexe terminal.

1.2. Le Continentale Intercalaire.

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

1.2.1. Les limites et morphologie du continental intercalaire.

Le Continentale Intercalaire est limité au Nord par l'Atlas Saharien, à l'Ouest par l'axe Béchar Réggan 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 et Le bassin Oriental qui englobe le Bas Sahara.

La transgression Cénomaniennne donne au Continentale Intercalaire une limite supérieure beaucoup plus uniforme que sa limite inférieure. Au périphérique, 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.

Le toit du CI débute presque toujours au toit de l'Albien et le mur de CI coïncide avec la discordance hercynienne sous les plateaux du Tadmaït et du Tinhert. il 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.

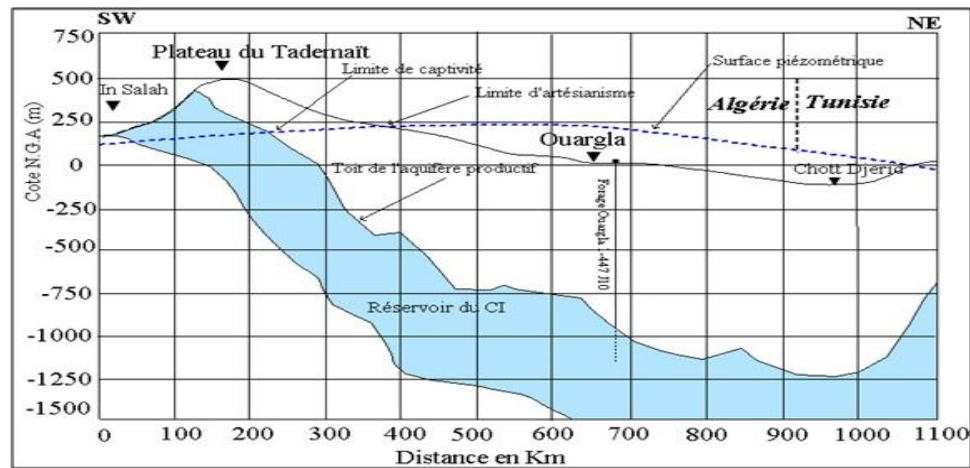


Fig. 12 : Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du CI.

1.2.2. 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. Mais, il est difficile d'appliquer à ces formations un coefficient d'infiltration, es conditions climatiques (hauteur de pluies faibles et évaporation intense), étant très différentes de celles des régions ou 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 $1000 m^3/s$ pendant 1000 ans pour le remplir.

1.2.3. Les exutoires.

Les exutoires de continentale Intercalaire 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 : ce sont des vastes étendues humides et salines, surfaces évaporantes dont le débit total n'est pas négligeable.

1.2.4. Epaisseur 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 et les Zibans sont un peu moins bien lotis avec des valeurs inférieures à 350 m.

D'après BRL, les caractéristiques du réservoir montrent que les niveaux argileux ne constituent jamais des horizons continus de grandes extensions qui permettraient la formation d'un système aquifère multicouche.

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-Barremiens. Des données générales sur la nappe du continentale intercalaire sont illustrées dans le tableau 10.

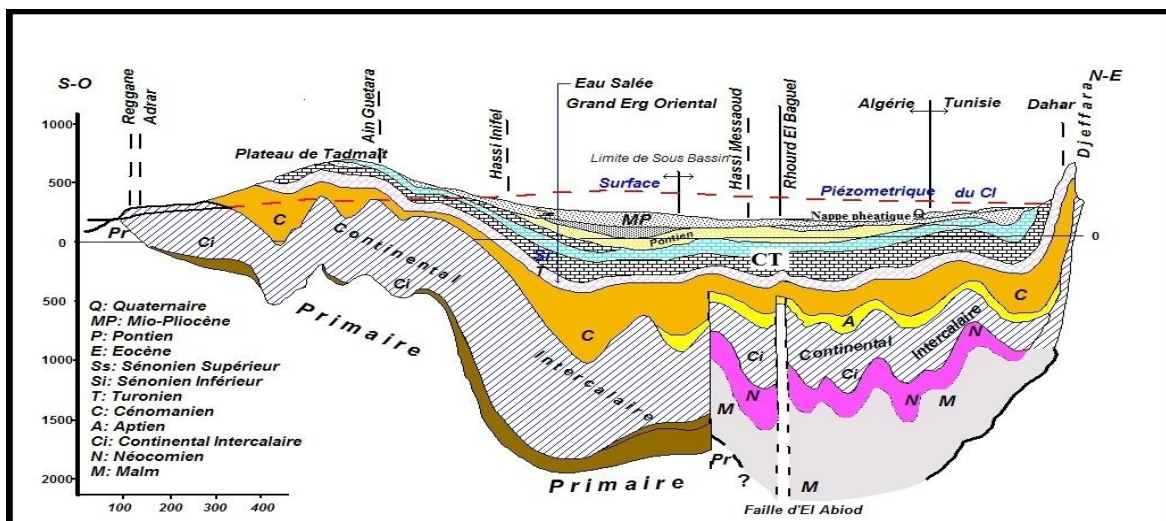


Fig. 13 : Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara Septentrionale (UNESCO 1972).

Tab.10: Données générales sur la nappe du continentale intercalaire.

Etendue	600 000 km²
Epaisseur total (m)	100 à 250
Profondeur (m)	60 à 2400
Profondeur au toit (m)	20 à 2000
Epaisseur 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

1.3. 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.

Sont désignées sous le nom de Complexe Terminal (CT) 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 ou elle peut atteindre 600 m.
- ♦ Les formations carbonatées des 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.

Le complexe terminal d'après l'ERESS (1972) comprend les formations les plus récentes déposées au bas Sahara est limité à l'Ouest par la dorsale de M'zab, au Nord par l'accident majeur de l'Atlas saharien, à l'Est par le Dahar, au Sud par une ligne passant au Nord de l'axe In Saleh-Zarzaitine sous l'Erg oriental.

Le substratum du complexe aquifère est d'une manière générale, constitué par la formation lagunaire du Sénonien. La couverture est formée par les argiles plus au moins sableuses du sommet du Mio-Pliocène et les marnes et évaporites de l'Eocène moyen pour l'aquifère Eocène.

La couverture est constituée par des argiles plus au moins sableuses du sommet du Mio-Pliocène et marnes et évaporites de l'Eocène moyen pour l'aquifère Eocène.

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.

Les études consultées montrent que l'écoulement se fait : Du Sud vers le Nord (dans le bassin oriental), il converge des zones d'alimentations vers les chotts Merouane et Melghir ainsi que vers l'exutoire souterraine du Golg de Gabes. Dans la partie de la Chébkha de direction Ouest est un vidage de la nappe vers la ligne de sebkhas de l'Oued Mya et chott Melghir. Dans le bassin occidental, une partie importante de l'écoulement rejoint les séries sous-jacentes du continental intercalaires et contribué à l'infero-flux de l'oued Saoura.

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.

1.4. La nappe phréatique.

Elle est continue 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.

Dans la région Touggourt la nappe phréatique est présentée dans toutes les oasis, 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.

La nappe phréatique est caractérisée par des eaux de fortes salinités ; la conductivité électrique varie entre 4.91ms/cm et 13.44 ms/cm.

La nappe phréatique est remontée 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.

2. SYNTHÈSE DES DONNÉES HYDROGÉOLOGIQUE DES AQUIFÈRES DE TOUGGOURT .

Dans la région d'étude, le système aquifère est constitué de trois aquifères :

- ♦ Continental intercalaire **CI**, aquifère profond composé de sable gréseux ou gréseux argileux.
- ♦ Complexe terminal **CT** composé 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** et la troisième dans les calcaires fissures, plus au moins karstiques de l'Eocène inférieur **CT3**.
- ♦ Au dessus existe une aquifère superficielle libre composée des sables.

Tab.11: Synthèse hydrogéologique régionale des différentes aquifères.

ERE	Etage		Lithologie	Nature 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
		Inférieur		Nappe des calcaires (Complexe Terminal).
S e c o n d a i r e	C r é t a c é	Sénonien calcaire	Dolomies et calcaires	
		Sénonien lagunaire	Evaporites, argiles	Substratum
		Cénomaniens	Argiles, marnes	Substratum
		Albien Barrémien	Sables et grès	Nappe albienne (Continental Intercalaire).

3. QUALITE DES EAUX DES AQUIFERES D'OUED RIGH.

3.1. Qualité des eaux de la nappe phréatique.

3.1.1. Détermination de faciès chimique.

Le diagramme de Piper permet de constater que les eaux analysées sont globalement chloruré sodique.

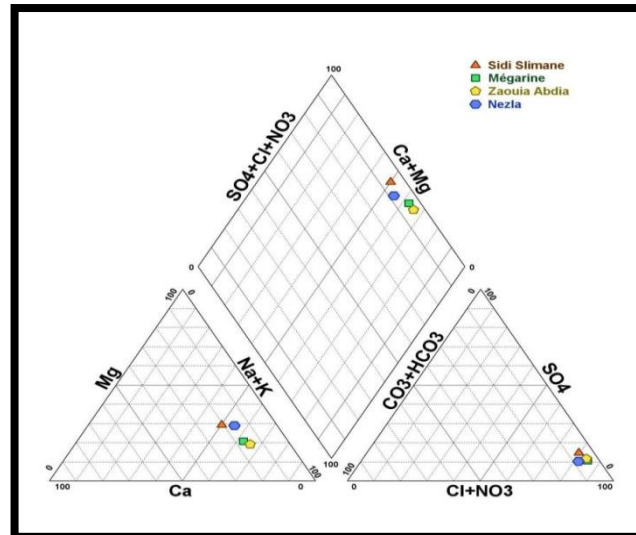


Fig. 14 : Diagramme de Piper des eaux de l'aquifère superficiel.

3.1.2. Potabilité des eaux vis-à-vis aux paramètres physico-chimiques.

a. Le calcium (Ca^{++}) : Le calcium provient soit de la dissolution des formations carbonatées CaCO_3 , soit à la dissolution des gypses $\text{CaSO}_4 (\text{H}_2\text{O})_2$. Les valeurs de la concentration du calcium présentées dans la (figure 15) varient entre 366 et 462 mg/l. Ces valeurs dépassent largement la norme fixée par l'OMS qui est de l'ordre de 200 mg/l. La valeur maximale est enregistrée au niveau du forage de Sidi Slimane.

b. Le Magnésium (Mg^{++}) : Ces ions proviennent de la dissolution des roches magnésiennes du gypse et des minéraux ferromagnésiens. Donc les origines du magnésium sont comparables à celle du calcium. La (figure 15) montre que la courbe du magnésium est presque en coïncidence avec celle du calcium à l'exception de la valeur enregistrée à Mégarine (250 mg/l). On note que ces valeurs du magnésium dépassent la norme de l'OMS qui a été fixée à 150 mg/l.

c. Le sodium (Na^+) : Le sodium est toujours présent dans les eaux naturelles en proportion variable. Le sodium peut provenir du lessivage des formations géologiques riches en NaCl . Les concentrations enregistrées sur (la figure 15) montrent que la teneur en Na^+ est très élevée et dépasse largement la norme de l'OMS 100 mg/l. avec une valeur maximale de 1848 mg/l dans le forage de Zaouïa. Cette augmentation est due aux eaux chargées provenant de la dissolution des sels de la croûte superficielle par les eaux d'irrigations, et par les rejets des eaux usées.

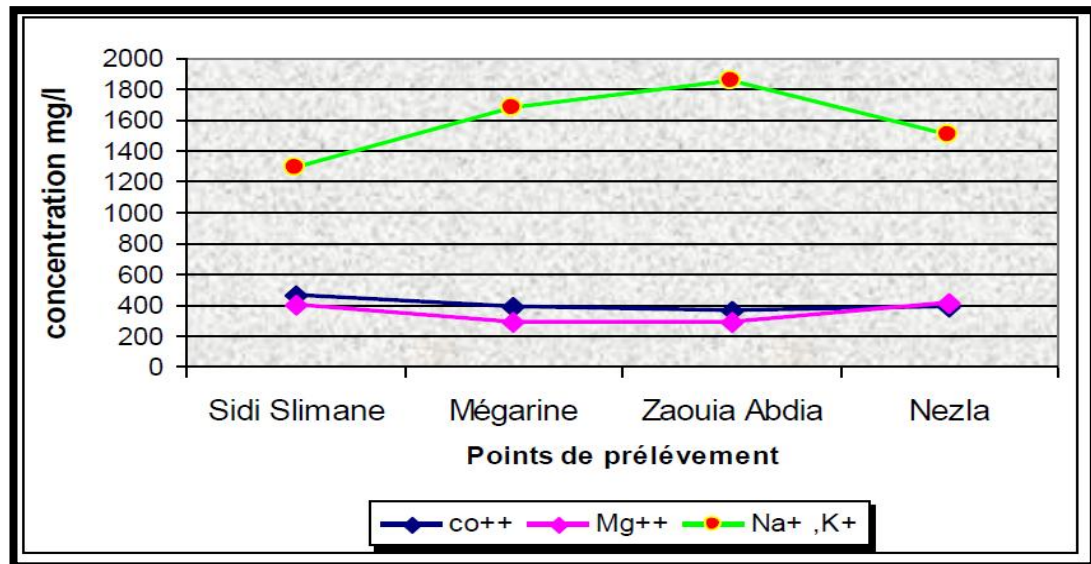


Fig. 15 : Répartition des teneurs des cations dans de l'aquifère superficiel.

d. Les chlorures Cl^- : Les chlorures sont toujours présent dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau résulte de :

- ♦ La dissolution des sels naturels par le lessivage de terrains gypseux, marneux ou argileux.
- ♦ L'évapotranspiration intense dans les régions où le niveau piézométrique est proche de la surface du sol, c'est le cas de la nappe phréatique de notre région d'étude.

Les valeurs de la concentration du chlore sont bien présentées dans la figure 16 par des teneurs trop élevés par rapport à la norme de l'OMS 350 mg/l. Qui sont dépassées 3349 mg/l au niveau du forage de Nezla. La forte concentration du chlore due essentiellement à la dissolution des sels et l'évaporation.

e. Les sulfates (SO_4^{2-}) : Les sulfates sont toujours présents dans l'eau naturelle, leur présence dans l'eau provient de :

- ♦ La dissolution des formations gypseuses.
- ♦ Légère solubilité de $CaCO_4$ avec des passées gypseuses.
- ♦ Des eaux usées industrielles.

Les résultats des analyses chimiques, donnent des valeurs des sulfates varient entre 564.9mg/l et 829.9mg/l. ces valeur sont très élevées par rapport à la norme de l'OMS qui est 250mg/ l. Cette augmentation des teneurs peut être due a la dissolution des formation gypseuses.

f. Les bicarbonates HCO_3^- : Elles proviennent de la dissolution des roches carbonatées en fonction de la tension en CO_2 , de la température, le pH de l'eau et la nature lithologique des terrains traversées. Les bicarbonates sont le résultat de l'équilibre physicochimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique.

Les valeurs de la concentration de HCO_3 sont comprises entre 300 mg/l au niveau du forage de Megarine et 588 mg/l au forage de Nezla.

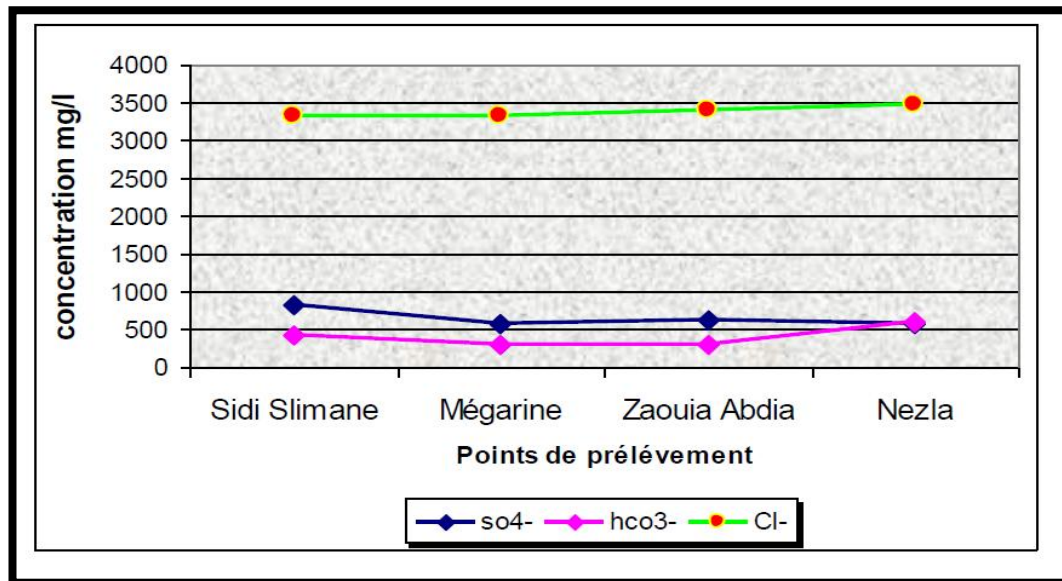


Fig. 16 : Répartition des teneurs des Anions dans de l'aquifère superficiel.

3.1.3. Potabilité des eaux de la nappe phréatique

Les interprétations précédentes des analyses chimiques pour cette nappe montrent que tous les éléments chimiques que se soit cations ou anions dépassent largement les normes fixées par l'OMS pour une eau potable. Ce qui indique que les eaux de la nappe phréatique sont imbuables.

3.2. QUALITE DES EAUX DES AQUIFERS DE CT .

3.2.1. Le faciès chimique.

La représentation des concentrations des éléments chimique des différents points d'eau sur le diagramme de Piper (figure 17) pour la période février 2010 montre que la majorité des échantillons coïncident sur les pôles caractérisant par un faciès sulfaté sodiques.

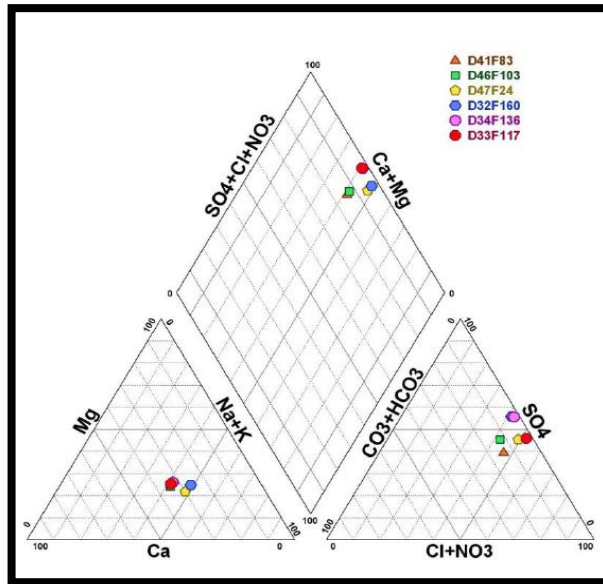


Fig. 17 : La représentation du diagramme de Piper de la nappe CT

3.2.2. Potabilité des eaux vis-à-vis aux paramètres physico-chimiques.

a. **La température** : La température moyenne des eaux de la nappe du complexe terminal est de l'ordre de 23°C, et celle augmentation de la température du essentiellement à la profondeur de cette nappe.

b. **Potentiel hydrogène pH** : Les valeurs de pH présentés dans la (figure 18) ci-dessous montrent clairement que toutes ces valeurs se trouvent dans l'intervalle de potabilité.

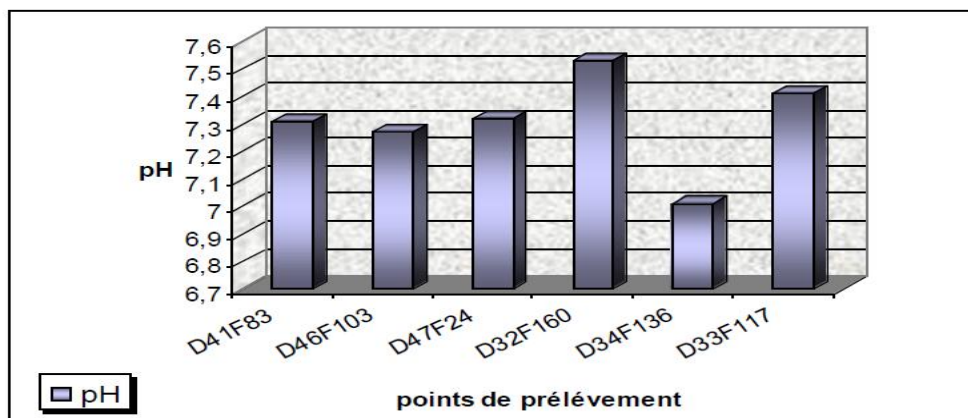


Fig. 18 : Histogramme de la variation de pH des eaux de la nappe CT

c. **Conductivité électrique** : La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface, et séparé l'une de l'autre de 1 cm, exprimés en $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. La conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. Elle est également plus importante lorsque la température de l'eau augmente (OMS,1994). L'OMS recommande comme valeur limite 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. La figure 19 montre que la teneur de la conductivité dans la nappe du CT varie entre 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 7000 $\mu\text{S}/\text{c}$.

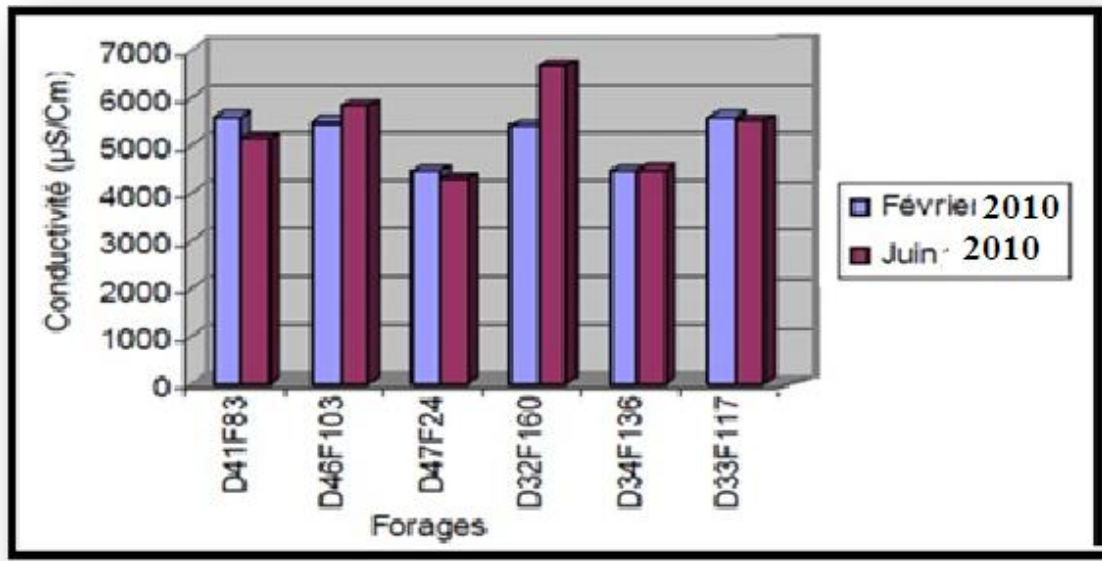


Fig. 19 : Histogrammes de la conductivité électrique de la nappe du CT

d. Le Calcium (Ca^{+2}) :

Le tableau 12 montre que : la valeur de Ca^{+2} dans tout les forages varient entre (529-338 mg/l), par le cause de la conteneue enrichissante des formations carbonatées et formations gypseuses au niveau du forage. On note que les valeurs du calcium sont supérieures à la norme de l'OMS qui est de l'ordre de 200 mg/l.

e. Le Magnésium (Mg^{+2}):

Le tableau 12 donne une vision sur la répartition du magnésium sur la région d'étude. On observe que les valeurs de la concentration de Mg^{++} se trouvent dans l'intervalle de la norme de l'OMS (150 mg/l) et la plus part des teneurs qui dépassent cette valeur sont localisées dans les forages (D46F103-D32F160-D33F117).

f. Le sodium et potassium ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) :

Le tableau 12 montre clairement la répartition des concentrations de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, qui sont dépassés largement la norme fixée par l'OMS et sont comprise entre 560 et 920 mg/l. L'origine du sodium est liée principalement la couche argileuse imperméable (échange de base) et certains formations évaporétiqes.

g. Les Chlorures (Cl^-) :

Les teneurs en chlorures qui sont réparties dans le tableau 12 sont extrêmement élevées et dépassant les normes limites de l'OMS (350 mg/l). Ces teneurs proviennent de la dissolution des sels naturels par le lessivage des formations salifère,

h. Les Sulfates (SO_4^{-2}) : Les valeurs des sulfates distribués dans le tableau 12 montrant que toutes ces valeurs sont supérieures à la norme (250 mg/l). Les teneurs du SO_4^{-} varient entre 1050 et 1770 mg/l. Cette augmentation peut être due à la dissolution des formations gypseuses.

i. Les Bicarbonates (HCO_3^-): Les concentrations des bicarbonates présentés sur le tableau ci-dessus montrant des valeurs varient entre 80 et 520 mg/l. on remarque que la concentration de bicarbonate se fait progressivement dans les forages (D41F83-D46F103) et les valeurs les plus faibles (<100 mg/l) sont localisées dans le forage (D34F136).

j. Potabilité des eaux de la nappe du complexe terminal.

Les résultats obtenus nous à montrer que seulement les teneurs en Mg^{++} sont dans l'intervalle des valeurs limites. Les teneurs Ca^{++} , Cl^- , K^+ , Na^+ et So_4^{-} ont dépassées les normes de l'OMS (250mg/L) et la norme Algérienne (400 mg/l) pour les eaux potables, l'excès de ces éléments dans l'eau de boisson peut entraîner des problèmes sur la santé humaine. Donc les eaux de la nappe de complexe terminale sont non potable, l'utilisation de cette eau pour AEP sans traitement est déconseillée

Tab.12: Comparatif de la concentration des éléments chimiques des eaux du CT avec les normes de l'OMS et norme algérienne.

minéralisation globale mg/l	forages						Normes	
	D41F83	D46F103	D47F24	D32F160	D34F136	D33F117	Norme OMS	Norme algérienne
Ca^{+2}	428,85	529,05	388,77	440,88	412,82	521,04	200	200
Mg^{+2}	199,3	226,03	170,37	252,77	199,3	238,18	150	150
$\text{Na}^+ + \text{k}^+$	600	720	700	910	590	710	120	200
Cl^-	1025,22	1014,31	856,94	915,04	996,38	1372,57	350	500
So_4^{-2}	1175	1475	1075	1675	1775	1650	250	400
HCO_3^-	535,92	518,5	170,12	112,92	88,72	112,92	,	,

3.2.3. Aptitude des eaux à l'irrigation.

La représentation des résultats obtenus sur le digramme de Richardes montre que toutes les valeurs sont placées entre la classe $\text{C}_4 \text{S}_2$ et $\text{C}_5 \text{S}_2$, ce qui indique une eau à forte salinité. Le

danger d'alcalinisation du sol est appréciable, traduisant le fait que les eaux de cette nappe ne convenant pas à l'irrigation. Mais pouvant être utilisées pour les cultures tolérantes aux sels et dans un sol bien drainé.

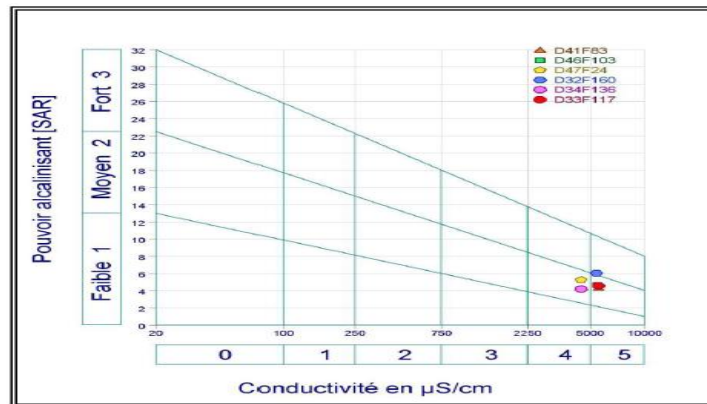


Fig. 20 : Le diagramme de Richards des eaux de la nappe CT

3.3. QUALITE DES EAUX DES AQUIFERES DE CI.

3.3.1. Le faciès chimiques : Le diagramme de Piper montre que les eaux de CI sont sulfatées calciques. Cela est dû à la nature des terrains traversés.

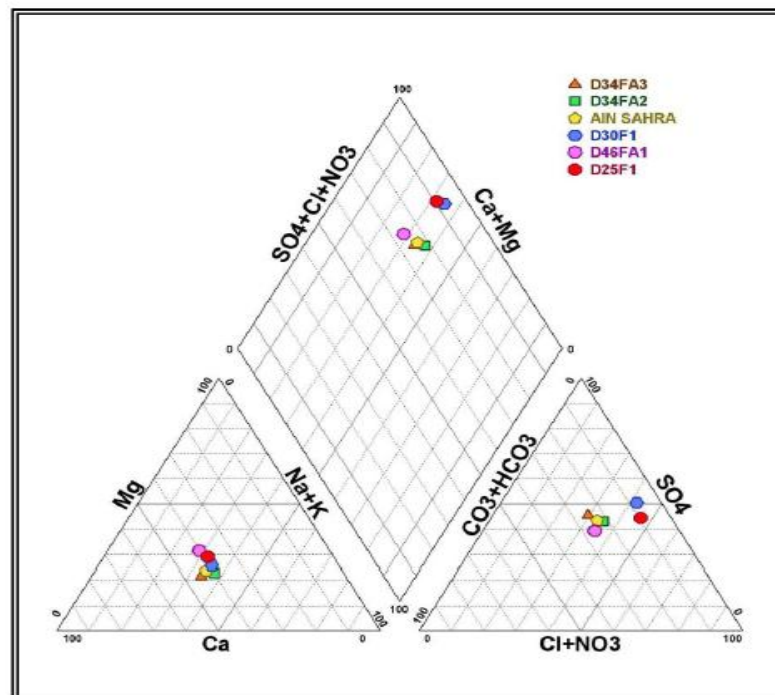


Fig. 21 : La représentation du diagramme de Piper de la nappe CI.

3.3.2. Potabilité des eaux vis-à-vis aux paramètres physico-chimiques.

a. La Température : L'OMS ne recommande aucune valeur limite de la température, pratiquement la température de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la santé de l'homme. Les

températures enregistrées au cours des prélèvements donnent une température moyenne de l'ordre de 28 °c. Cette augmentation est due à la profondeur de la nappe du continental intercalaire.

b. Conductivité électrique : La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale dans l'eau. Les valeurs de la conductivité électrique mesurées varient entre 2350 et 3050 $\mu\text{s}/\text{cm}$. ces valeurs obtenues dépassent largement la norme de l'OMS et la norme algérienne pour l'eau potable.

c. Potentiel hydrogène pH : Le pH n'a pas de significative hygiénique, mais il représente une action dans la détermination de l'agressivité de l'eau vis à vis des métaux. Les résultats des analyses sont représentés dans la (figure 29) et montrant que tous les valeurs de pH sont dans l'intervalle de potabilité.

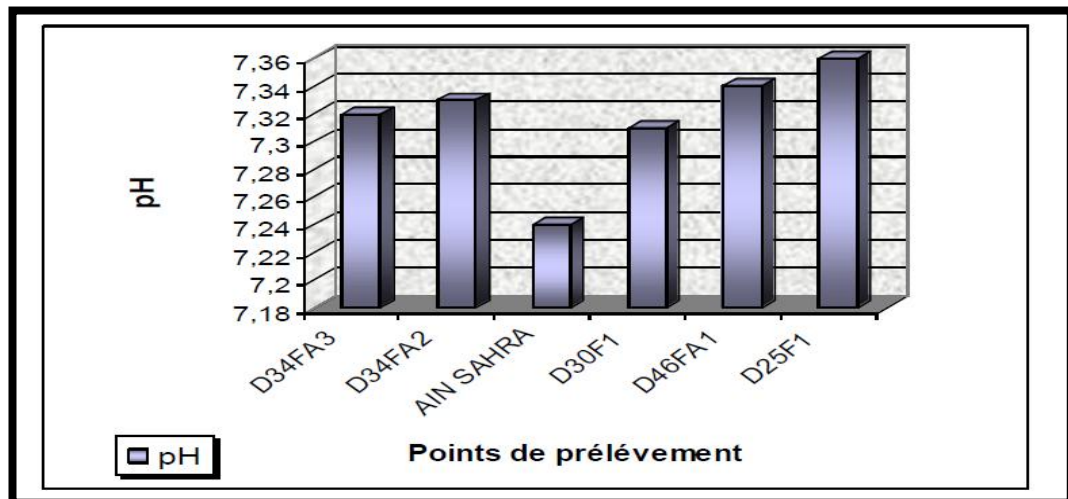


Fig. 22 : Histogramme de la variation de pH des eaux de la nappe CI.

d. Le Calcium (Ca^{++}) :

Les résultats des analyses du calcium présentés dans le tableau 13, nous a montrés que les valeurs obtenus ne dépassent pas largement la norme de l'OMS (200 mg/l) et elles sont variés entre 232 et 268 mg/l.

e. Le Magnésium (Mg^{+2}) : Les valeurs des concentrations du magnésium sont présentés dans le tableau 13, et montrent que sur l'ensemble des prélèvements les teneurs en Mg^{++} sont relativement faibles et inférieur à la norme fixée par l'OMS qui est 150 mg/l. on observe aussi que les valeurs les plus faibles sont situés dans le forage (D34FA3).

f. Le sodium et potassium ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) : Les teneurs de sodium et potassium enregistrés dans le tableau sont supérieur à la norme limite 100 mg/l. elles sont variés entre 170 et 260 mg/l où les valeurs faibles se localisent au centre dans le forage

(D46FA1). Le sodium dans l'eau provient des formations géologiques contenant de chlorure de sodium.

g. Les Chlorures (Cl⁻) :

Les teneurs fortes en chlorures communiquent à l'eau un goût désagréable surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium. Pour les prélèvements des eaux effectués les teneurs en sulfates sont fortes dans l'eau du continental intercalaire le tableau 13, les valeurs de Cl varient entre (540-410 mg/l) ,cette valeur dépasse largement les normes de l'OMS, ce caractère chloruré dû à la dissolution des formations salifères.

h. Les Sulfates (SO₄²⁻):

Les résultats des analyses effectués révèlent des valeurs très élevées dans les eaux de tous les forages. Les résultats obtenus sont variés entre 620et 880 mg/l dans le tableau 13.

les teneurs en sulfate sont largement supérieures aux normes de potabilité (250 mg/l). Ces teneurs élevés dus probablement à l'oxydation des minéraux sulfurés présents dans les calcaires ou par la dissolution de gypse dans les terrains traversés.

i. Les Bicarbonates (HCO₃⁻) :

Les valeurs des bicarbonates présentés sur le tableau 13, montrent clairement que les teneurs les plus faibles (161mg/l) sont localisés dans le forage (D30F1-D25F1) elles commencent à augmenter pour atteindre des valeurs de 602mg/l.

j. Potabilité des eaux de la nappe du continental intercalaire (CI).

À partir les résultats obtenus on a constaté que les teneurs en Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Cl⁻, K⁺ et Na⁺ sont dans l'intervalle des valeurs limites, les teneurs en sulfates ont dépassées les normes de l'OMS (250mg/L) et la norme Algérienne (400 mg/l) pour les eaux potables, l'excès de sulfates dans l'eau de boisson peut entraîner des troubles intestinaux .

Tab.13: Comparatif de la concentration des éléments chimiques des eaux du CI avec les normes de l'OMS et norme algérienne.

minéralisation globale mg/l	forages						Normes	
	D34FA3	D34FA2	AIN SAHRA	D30F1	D46FA1	D25F1	Norme OMS	Norme algérienne
Ca ⁺²	256,51	244,48	256,51	268,53	232,46	240,48	200	200
Mg ⁺²	75,34	85,06	87,49	106,94	109,94	109,37	150	150
Na ⁺ +k ⁺	210	240	223	260	170	210	120	200
Cl ⁻	407,52	514,16	468,46	537,69	435,37	480,56	350	500
So ₄ ⁻²	857	850	825	875	675	625	250	400
HCo ₃ ⁻	602,3	541,53	567,13	161,7	566,42	165,65	.	.

3.3.3. Aptitude des eaux à l'irrigation.

Le digramme de Richardes ci dessous nous a montré que toutes les valeurs sont placées dans la classe C_4S_1 , ce qui traduit par une eau à forte salinité. Le danger d'alcalinisation du sol est moins par rapport à la nappe CT. Donc on peut utiliser l'eau de cette nappe pour l'agriculture des palmiers qui est la principale activée de notre région d'étude.

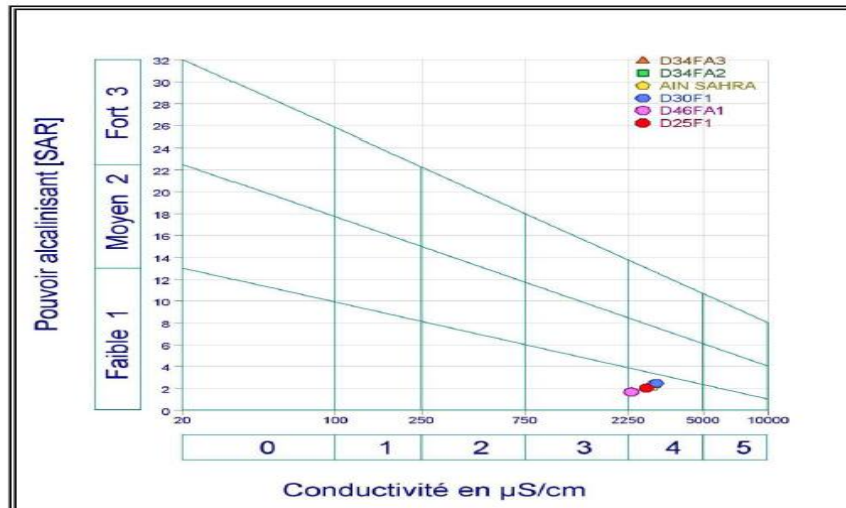


Fig. 23 : La représentation du diagramme de Richards de la nappe CI

4. Conclusion.

La zone d'étude appartient au Bas Sahara. Les ressources en eau souterraines du Sahara sont essentiellement constituées des ressources renouvelables provenant des infero-flux du versant sud des Aurès et des ressources non renouvelables représentées par les deux grandes aquifères de continentale Intercalaire et de complexe Terminal. Dans la zone d'étude, le système aquifère est constitué de trois aquifères : continental intercalaire composé de sable gréseux ou gréseux argileux, complexe terminal composé de trois nappes superposées les deux premières CT1 et CT2 composées des sables d'âge Mio-Pliocène et la troisième CT3 dans les calcaires fissures, plus au moins karstiques d'âge l'Eocène inférieur. Et au dessus de ces deux aquifères il existe une aquifère superficielle libre composées des sables.

Les interprétations précédentes des analyses chimiques pour la nappe phréatique montrent que tous les éléments chimiques que se soit cations ou anions dépassent largement les normes fixées par l'OMS pour une eau potable. Ce qui indique que les eaux de la nappe phréatique sont imbuables.

Le diagramme de Piper permet de constater que les eaux analysées sont globalement chloruré sodique

Les eaux des aquifères de complexe terminal et de Continental Intercalaire, sont très minéralisé, elles sont de mauvaise qualité physico-chimique en référence des normes de l'OMS et des normes algérienne pour l'eau potable, elles nécessitent un traitement avant l'utilisation. Ils sont aussi de qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation, ils se trouvent dans les classes de C_4S_1 , C_4S_2 et de C_5S_2 dans le diagramme de Richards.

Le diagramme de Piper montre que la majorité des échantillons de la nappe CT coïncident sur les pôles caractérisant les faciès sulfaté sodiques.

Le diagramme de Piper permet de constater que les eaux analysées de la nappe CI sont globalement sulfatées Calciques.

Partie III :

Suivis des forages

hydrauliques dans la région d'oued Righ

1. GENERALITES SUR LES FORAGES D'EAU.

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

Le forage, à la différence d'un puits, est un trou vertical profond et de diamètre plus restreint. Il est creusé par un procédé mécanique à moteur (foreuse) en terrain consolidé ou non, pour exploiter des aquifères. Il existe de nombreuses méthodes de foration dont la mise en œuvre dépend de paramètres très divers, les plus utilisés en Algérie sont ; le forage rotary circulation directe, le forage au marteau fond de trou (MFT) et le forage par percussion.

On peut citer deux types de forages ; le forage de prospection, utilisé dans un contexte hydrogéologique difficile (par exemple présence d'aquifères multicouches avec des niveaux d'eau salée), il s'avère intéressant de réaliser des forages de prospection. Ils permettent de s'assurer de la présence et de la qualité de l'eau souterraine, de connaître la nature de l'aquifère, ou d'étalonner les relevés d'une campagne de prospection géophysique. Ils sont en général réalisés et équipés en petit diamètre (43 mm à 100 mm), puis soit conservés en piézomètre, soit rebouchés et abandonnés. Des essais de pompage simples permettent de vérifier la présence d'eau. La réalisation d'une campagne de forages de prospection est fréquente avant de réaliser un forage d'exploitation de diamètre important (> 200 mm). Une fois le forage de prospection fait, s'il s'avère positif il sera alésé et équipé pour devenir un forage d'exploitation. Ces derniers sont des ouvrages permettent d'atteindre et d'exploiter une nappe d'eau souterraine, même située à des profondeurs importantes, au delà de 500 mètres.

Un forage d'exploitation d'eau est destiné à permettre l'extraction de l'eau contenue dans une formation aquifère. C'est pourquoi, quelle que soit la méthode de forage retenue, l'équipement comporte toujours une colonne d'exploitation maintenant le terrain dans la partie supérieure non aquifère proprement dit.

1.1. Les méthodes de forage.

Il existe de nombreuses méthodes de foration dont la mise en œuvre dépend de paramètres très divers. Le Partie présente les méthodes de forages en tant que telles avec leurs avantages et inconvénients relatifs. Le partie suivant précisera les modalités de sélection de ces méthodes selon les critères usuels pour le domaine de l'eau minérale.

1.2. Forage au marteau fond de trou (MFT) :

Cette méthode de forage (Fig.38) utilise la percussion assortie d'une poussée sur l'outil, qui se trouve lui-même en rotation. L'énergie utilisée pour actionner cet outillage est l'air comprimé à haute pression (10-25 bars). C'est un procédé très intéressant en recherche hydrogéologique et principalement en terrains durs. Un marteau pneumatique équipé de taillants est fixé à la base d'un train de tiges et animé en percussion par envoi d'air comprimé dans la ligne de sonde, d'où le nom de "marteau fond de trou".

1.3. Forage au marteau fond de trou avec tubage à l'avancement :

Identique à la technique MFT "classique" exposée ci-avant, cette méthode concerne la mise en place d'un tubage des parois du trou au fur et à mesure de sa foration. Elle met en œuvre un taillant pilote avec aléreur excentrique qui permet de forer des trous d'un diamètre légèrement supérieur au diamètre extérieur des tubes. Le tubage est ainsi enfoncé progressivement à la suite de l'aléreur sous l'effet de son propre poids et de l'énergie de percussion du marteau. Les tubes sont solidarités entre eux soit par soudure, soit par filetage. Le taillant excentrique se déploie par rotation dans le sens des aiguilles d'une montre, une rotation en sens inverse en fin de foration permet son repli et la remontée de la garniture. Comme en foration au marteau fond de trou classique, l'évacuation des cuttings est là aussi assurée par la remontée de l'air, ici entre tiges et tube.

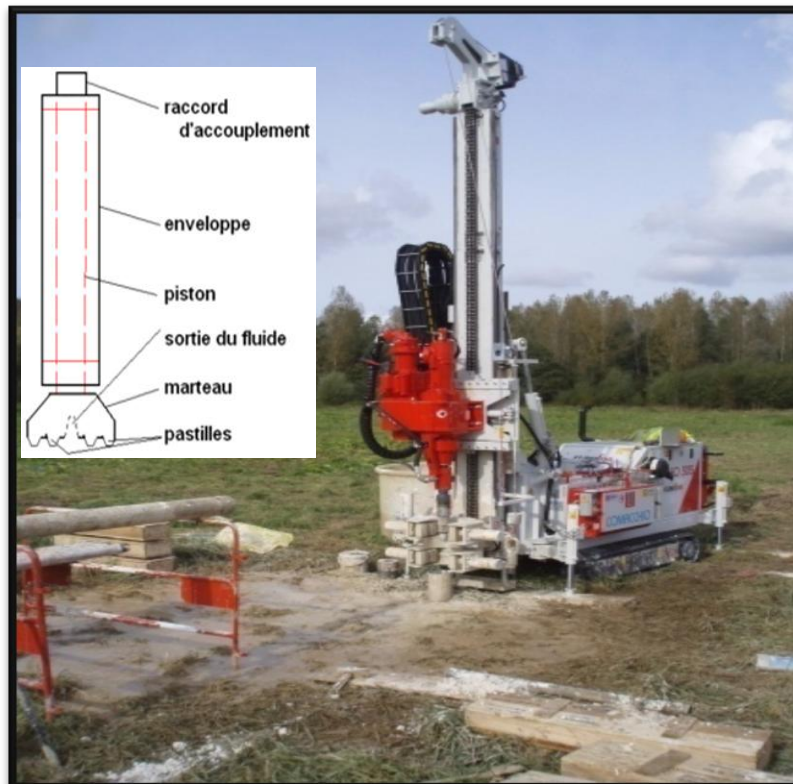


Fig. 24 : Sonde de forage au marteau fond de trou.

1.4. Forage rotary circulation directe:

La méthode de foration rotary utilise un outil (trépan) monté au bout d'une ligne de sonde (tiges vissées les unes aux autres), animé d'un mouvement de rotation de vitesse variable et d'un mouvement de translation verticale sous l'effet d'une partie du poids de la ligne de sonde ou d'une pression hydraulique. Le mouvement de rotation est imprimé au train de tiges et à l'outil par un moteur situé sur la machine de forage en tête de puits. Les tiges sont creuses et permettent l'injection de boue au fond du forage. Les outils utilisés en rotation sont des trépan de plusieurs types en fonction de la dureté des terrains rencontrés (outils à lames, outils à pastilles, molettes ou tricône, outils diamantés ou à carbures métalliques). Au-dessus du trépan, on peut placer une ou plusieurs masses-tiges très lourdes qui accentuent la pression verticale sur l'outil et favorisent la pénétration et la rectitude du trou. Le forage rotary nécessite l'emploi d'un fluide de forage préparé sur le chantier. Dans le cas de la circulation directe, le fluide est injecté en continu sous pression dans les tiges creuses de la ligne de sonde, il sort par les événements de l'outils et remonte à la surface dans l'espace annulaire (entre les tiges et les parois du trou).

1.5. Forage en circulation inverse:

Cette méthode de foration diffère des méthodes précédentes par une circulation du fluide (boue, eau ou air) dans l'espace annulaire (entre la formation et les tiges) avec remontée des cuttings par l'intérieur du train de tiges. Il existe également des tiges à double parois qui assurent l'injection et la remontée du fluide par l'intermédiaire des seules tiges.

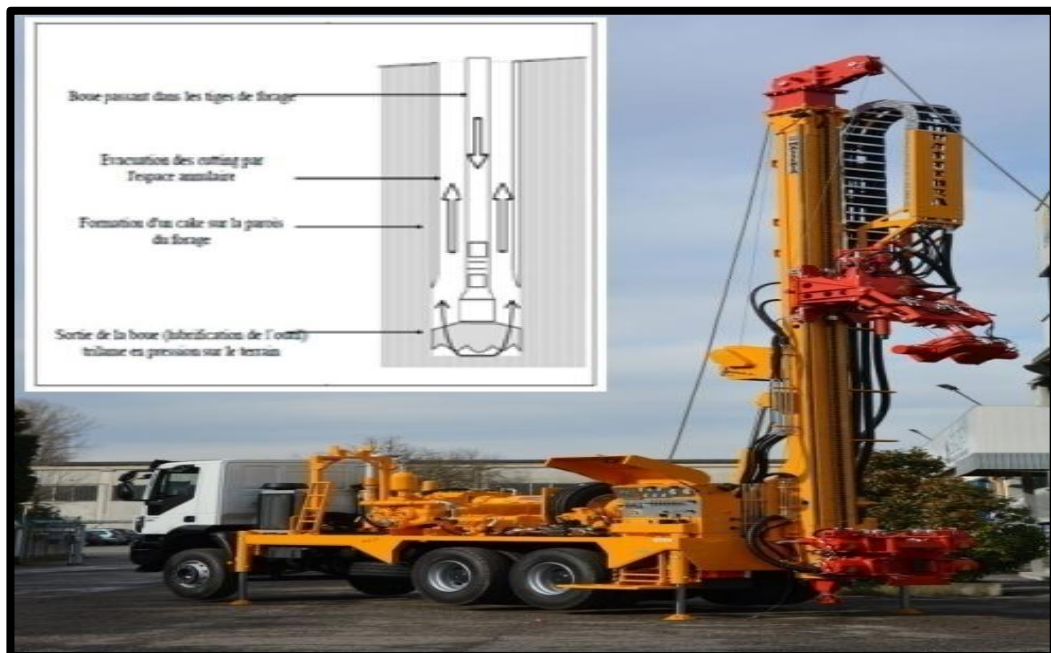


Fig. 25 : sonde de forage rotary.

1.6. Forage par battage :

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



Fig. 26 : Sonde de forage par Battage.

2. EQUIPEMENT DE FORAGE.

Trois éléments essentiels constituent l'équipement de forage d'exploitation sont, Les tubages pleins, les crépines ou tubages perforés et le massif filtrant.

2.1. Les tubages pleins.

La fonction de tube plein est de canaliser l'eau depuis la ressource jusqu'en surface, de tenir mécaniquement les terrains traversés, de participer à l'individualisation de l'eau captée du reste du forage ou de la surface et de permettre la fixation du matériel de tête d'ouvrage (supportée la pompe immergée, raccordement au réseau de surface). Le débit d'exploitation espéré et la

profondeur finale à atteindre conduisent à déterminer les caractéristiques des outils de forage et le diamètre des tubages à utiliser. D'autre part, en fonction du débit souhaité, le choix de la pompe immergée imposera le diamètre des tubages.

2.2. La crépine.

La crépine constituée l'élément principal de l'équipement d'un ouvrage d'exploitation d'eau. Placées à la suite du tubage plein, face à une partie ou à la totalité de la formation aquifère, les crépines doivent : Permettre la production maximale d'eau claire sans sable, résister à la corrosion due à des eaux agressives, résister à la pression d'écrasement exercée par la formation aquifère en cours d'exploitation, avoir une longévité maximale et induire des pertes de charge minimales. Il existe plusieurs types de crépines industrielles en acier (Fig.41) :

- Crépines à trous ronds : utilisé en terrains durs, sa densité de perforation est de 10%.
- Crépine à trous oblongs : avec des fentes rectangulaires verticales, de largeur au moins égale à l'épaisseur de la tôle, longueur standard 3 cm, sa densité de perforation varie de 10% à 20%.
- Crépine à prussiennes, avec des perforations rectangulaires horizontales, formant souvent, de bonne résistance mécanique, mais de faible pourcentage de perforation.
- Crépine à nervures repoussées, réalisé à plat puis roulé et soudé, de bonne résistance mécanique du fait du faible enlèvement de métal, de pourcentage de vide variant de 3 à 27%.
- Crépine type Johnson, à ouverture horizontale continue sur toute la longueur de la crépine, obtenue par enroulement en hélice d'un « fil enveloppe profile » soudé sur des génératrices métallique verticales. Les avantages principaux de telle crépine sont : la régularité et la précision des ouvertures, les faibles risques de colmatage et le coefficient d'ouverture le plus élevé par rapport aux autres crépines.

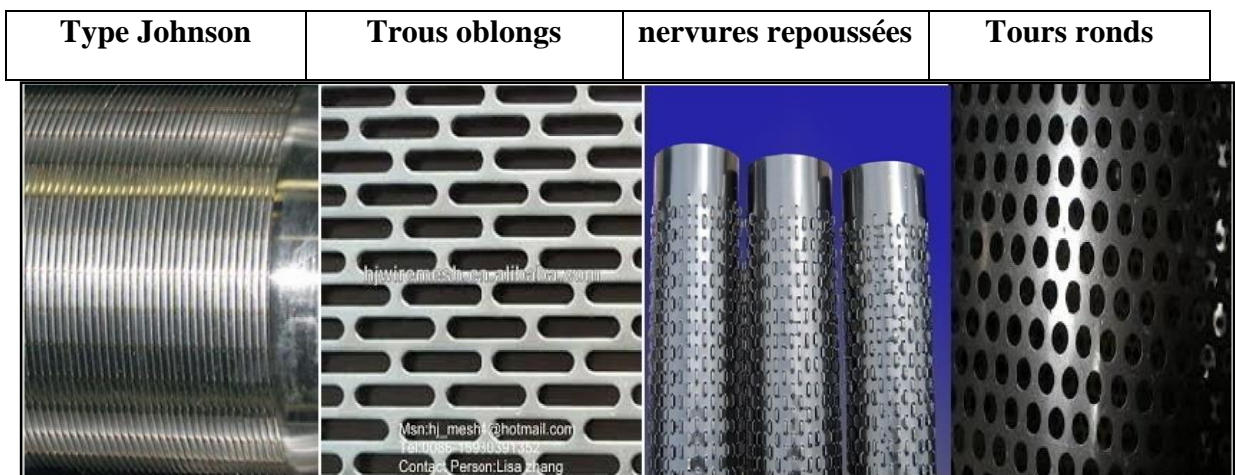


Fig. 27 : Les types des crépines.

2.3. Le massif filtrant.

Le massif filtrant (Figure.42) constitué des matériaux meubles formés d'éléments calibré (graviers, Granulats), disposé dans l'espace annulaire entre la crépine et les parois de puits pour empêcher l'érosion souterraine et prévenir le colmatage et la réduction conséquente de l'efficacité de puits. Le gravier filtre doit être assez uniforme, calibré, propre, rond et siliceux de préférence. Il ne doit pas être calcaire, ni concassé. Par ailleurs, il faut savoir qu'un gravier additionnel de granulométrie surdimensionnée dans une formation sableuse fine, peut provoquer un ensablement de l'ouvrage. Par contre, un massif filtrant de granulométrie trop fine peut conduire à une exploitation partielle de la nappe et rendre difficile l'élimination de la boue de forage.

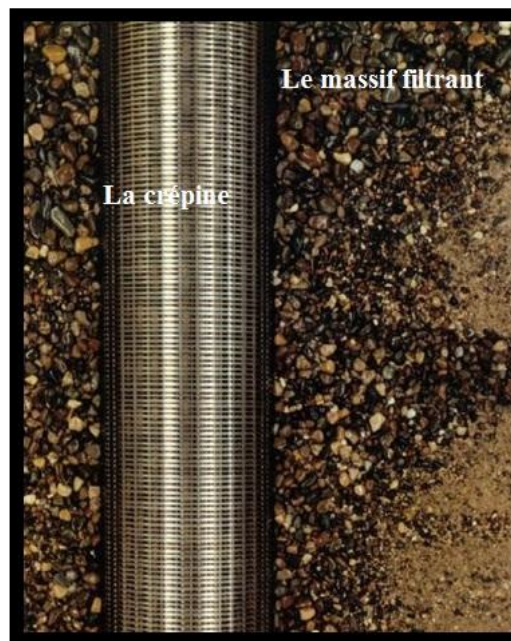


Fig. 28 : Emplacement du massif filtrant dans le forage.

3. LES FORAGES HYDRAULIQUES DANS LE SAHARA SEPTENTRIONAL.

3.1. Considérations générales.

Le Sahara septentrional est défini par les limites d'extension des nappes du continental intercalaire (CI) et du complexe terminal (CT). Ces limites sont constituées; au Nord par la ligne de Crête de l'Atlas saharien de la frontière Tunisienne jusqu'à Benhar, au Sud par une ligne reliant Reggane-In Salah et In Amenas, au l'Ouest par le méridien passant par Ain Sefra, Timimoun et raggane et au l'Estpar le frontières Algéro-Tunisienne et Algéro- Lybienne.

3.1.2. Règlements sur les forages.

Les dispositions du décret 86-277 du 2 septembre 1986 relatif à la concession des travaux des recherches des captages d'eau et l'exécute de tout forage hydraulique dans le bassin du Sahara Septentrional est soumise à l'avis technique préalable de l'ANRH.

Le forage à exécuter doit faire l'objet par le maitre d'ouvrage d'un rapport comportant :

- Les coordonnées exactes du forage.
- La profondeur prévisionnelle.
- L'usage de l'eau (AEP, irrigation, industrie).
- Les débits et pressions attendus.
- La coupe géologique et l'équipement prévisionnel du forage.

3.1.3. Forages de Continental Intercalaire (CI).

L'exécution d'un forage au CI nécessite l'établissement d'un programme qui prend en compte:

- la profondeur prévisionnelle de la couche aquifère à capter.
- les caractéristiques des couches à traverser, en particulier, la présence des couches salifères, nécessitant des dispositions techniques spéciales notamment de double tubage.
- les conditions géologiques particulières (pertes totales, éboulements. etc.)
- les caractéristiques des forages réalisés dans la région.

3.1.3.1. Exécution et équipement : Après exécution des opérations successives de forage et d'alésage de différents diamètres, et la mise en place des tubages et des crépines, l'équipement du forage sera constitué de tube guide, de colonne technique, de colonne de production et de colonne de captage. Ces tubes et crépines seront munis de centreurs.

Pour la mise en place du tube guide on procède à un forage de diamètre 32 pouces sur longueur minimum de 25 mètres, en suite on met en place un tubage de diamètre 26 pouces et on fait la cimentation totale de l'espace annulaire. Les raccords seront obligatoirement filetés et non soudés.

L'ouverture des crépines est déterminée par l'analyse granulométrique, les échantillons de terrain (cuttings) seront recueillis tous les 5 m (minimum) dans la couche aquifère et seront prélevés, tous les 10 m dans les formations situées au-dessus de l'aquifère. En règle générale, il est conseillé une ouverture qui laisse passer 50% des grains. La longueur de la colonne de captage ne doit pas excéder 200 m et doit comporter au moins 75% de crépines.

Il faut mentionner dans cette partie que la crépine utilisée dans le captage de l'aquifère du continental intercalaire est en double parois pour résister à la pression très forte , et aussi on ne procède pas à la mise en place du massif filtrant, vu l'impossibilité de leur introduction dans l'espace annulaire.

3.1.3.2. Diagraphie : La diagraphie fournit un certain nombre d'informations sur les terrains traversés par le forage ou l'état de trou nu. Le programme de boue sera donc déterminé en fonction des informations à recueillir de la diagraphie. Dans le cas des forages du continental intercalaire, l'enregistrement des diagraphies suivantes est obligatoire : Polarisation Spontanée (P.S), Gamma Ray, Laterolog, Diamètre et Résistivité.

3.1.3.3. Le programme de boue : il doit être établi en tenant compte, des terrains des aquifères et des couches supérieures ; Mio-Pliocène, Sénonien, les zones de pertes de boue, la présence des formations géologiques salifères et les zones de fortes pressions de couche (CI). Dans les zones salifères, la boue de forage devra être saturée en sel. A titre indicatif, les caractéristiques principales de la boue à utiliser sont illustrées dans le tableau les suivantes :

Tab. 14 : Programme de boue pour les forages CI.

	Densité g/cm³	Viscosité dynamique Marsh	Filtrat cm³
Colonne de technique	1,20	80	15 à 20
Colonne de production	1,35 à 1,40	45 à 60	10
Colonne de captage	1,30	45 à 60	4 à 5

3.1.3.4. Cimentation : La cimentation est une opération fondamentale dans l'exécution des forages profonds à l'Albien. Elle doit être particulièrement efficace pour protéger les tubages contre toute corrosion externe et assurer la solidité et l'étanchéité parfaite de la colonne de production.

L'opération de préparation du lait de ciment consiste à remplir avec un mélange eau + ciment (laitier de ciment), l'espace annulaire au dessus du réservoir de CI, jusqu'à la surface du sol. Le dosage est d'environ 50 litres d'eau pour 100 kg de ciment, ce qui donne 75 litres de laitier. Si vous disposez de bentonite, utilisez le mélange suivant : 70 litres d'eau, 4 kg de bentonite et 100 kg de ciment; ce mélange évitera à l'eau de filtrer hors du ciment, mais le temps de prise sera légèrement supérieur. A titre indicatif : les caractéristiques de ciment sont: densité (1,85-1,90), dosage (50 litres d'eau pour 100 kg de ciment), nature de ciment (Portland ou équivalent, résistant aux sulfates).

La mise en place de ciment consiste à remplir l'espace annulaire jusqu'au niveau du sol, et laisser sécher un minimum de 12 heures avant d'effectuer les opérations de développement. La cimentation doit être faite en règle générale avant les essais de pompage. Cependant, lorsqu'il n'est pas possible d'attendre 12 heures, il est toujours possible de faire une cimentation après les

opérations de développement et d'essais de pompage, dans la mesure où un bouchon d'argile a été déposé au dessus du gravier filtre.

L'opération de cimentation étant réalisée sous pression, elle sera considérée achevée lorsque le ciment sort en tête de puits de façon régulière et simultanée tout autour de l'espace annulaire. Pour contrôler la qualité d'exécution de la cimentation, on procédera aux diagraphies de contrôle suivantes : CBL/Densité variable et CET/Evaluation des cimentations.

3.1.3.5. Essais des débits : Les essais des débits, constituent une opération obligatoire qui doit suivre la phase de développement. Ils sont réalisés dans l'objectif de déterminer le débit d'exploitation du forage (CI et CT). Ces essais doivent se dérouler comme suit :

- Mesure de la pression en tête (Pression Statique P_o vanne fermée).
 - Réalisation de cinq paliers de débits croissants pour obtenir cinq points sur la courbe caractéristique.
 - Les débits peuvent correspondre à des pressions : $P_o/5, 2P_o/5, 3P_o/5, 4P_o/5$ et P_o (vanne ouverte).
 - Les mesures de pression et débit seront prises toutes les 15 minutes, de manière alternative. On change de palier quand 6 mesures successives donnent le même résultat.
 - Fermeture du forage pendant un temps égal à celui du dernier palier. Observation de la remontée aux rythmes ci-après (par mesure de pression):
 - toutes Les minutes pendant les 5 premières minutes.
 - toutes les 2 minutes jusqu'à la fin du 1^{ère} quart heure.
 - toutes les 5 minutes jusqu'à de la 2^{ème} quart heure.
 - toutes les 10 minutes jusqu'à de la 1^{ère} heure.
 - toutes les 15 minutes jusqu'à de la 2^{ème} heure.
 - toutes les 30 minutes jusqu'à de la 3^{ème} heure.
 - toutes les heures ensuite si nécessaire.
 - Le programme pourra être adapté aux conditions d'essais par l'hydrogéologie de l'Administration.
 - Les essais des débits devront être obligatoirement réalisés en présence de l'hydrogéologue de l'Administration.
- 3.1.3.6. Equipement de surface :** L'équipement de surface doit permettre d'assurer :
- La sécurité de l'ouvrage.
 - La commodité d'exploitation et d'entretien.
 - Le réglage du débit désiré.

- Le contrôle de la nappe.

Il doit comporter, une vanne de tête en acier inox (adaptée au débit, à la pression, au degré de corrosivité et à la température des eaux), une prise de pression en tête de forage et une vanne de service et un dispositif de réglage du débit.

3.1.3.7. Contrôle des forages : Pour assurer la conservation des nappes profondes de CI, les contrôles périodiques des forages profonds (CT et CT) sont obligatoires. Ils sont à la charge de la personne physique ou morale qui exploite le forage. Les objectifs du contrôle est ; la suivie de l'évolution des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe, la suivie des caractéristiques hydrauliques du forage et de son équipement, la suivie de la qualité des eaux et la maintenance de têtes de forage.

Le contrôle par l'Administration comporte les opérations suivantes :

- Une inspection annuelle de l'équipement de surface devra être réalisée pour vérifier l'état de fonctionnement des vannes et équipement constituant la tête de forage.
- Les opérations d'entretien courant devront être réalisées au cours inspection (manœuvre de la vanne de tête, nettoyage, graissage.etc.).
- Les fuites d'eau devront être impérativement signalées.
- Analyse d'eau du forage devra être réalisée annuellement pour contrôler la qualité d'eau.
- Des opérations spécifiques de contrôle du forage et devront être réalisées tous les 10 ans.

3.2.1. Forages au Complexe Terminal (CT).

3.2.1.1. Forage de reconnaissance : La phase de reconnaissance consiste à la foration d'un trou de diamètre 8^{1/2} pouces jusqu'à la profondeur finale prévue. Cette phase doit permettre l'enregistrement des diagraphies et le recueil des échantillons en vue de l'analyse granulométrique de l'établissement de la coupe géologique des terrains traversés et l'équipement du forage. L'exécution d'un forage au Complexe Terminal nécessite l'établissement d'un programme qui prend en compte :

- La profondeur prévisionnelle de la couche aquifère à capter et du débit escompté.
- Les caractéristiques des couches traverses en particulier la présence des nappes en surface.
- Les conditions géologiques particulières (pertes totales, éboulements.etc.).
- Les caractéristiques des forages réalisés la région.

3.2.1.2. Exécution et équipement: Après exécution des opérations successives de forage et d'alésage en différents diamètres et de mise. En place des tubages et crépines, l'équipement du forage sera constitué comme suit :

Pour la mise en place du tube guide procède à un forage en diamètre 32 pouces sur une profondeur minimum de 25 m, à la mise en place d'un tubage en acier grade J-55, de diamètre 26 pouces et la cimentation totale de l'espace annulaire.

Pour la mise en place de la colonne de production on procède à l'alésage en diamètre $24^{1/4}$ pouces du toit de l'aquifère à la mise en place d'un tubage en acier grade J-55 de diamètre $18^{5/8}$ pouces et à la cimentation de tout l'espace annulaire.

Pour la mise en place de la colonne de captage on procède à l'alésage en diamètre $12^{1/4}$ pouces du toit de l'aquifère à la profondeur finale, à la mise en place d'une crépine en acier inoxydable de type à file enroulé, de diamètre $9^{5/8}$ pouces, la section du fil de crépine devra être trapézoïdale, la crépine doit être surmontée d'un Liner en DIOX en vue de canaliser l'écoulement et permettre une réserve de gravier. Pour les forages à fort débit artésien on utilisera une suspension par un Liner Hanger.

Un massif de gravier siliceux roulé doit être mise en place pour améliorer la filtration de l'eau et assurer une bonne stabilité de la colonne de captage. Le gravillonnage sera décidé quand on a $d_{10} < 0,25$ mm et $1 < CU < 5$. Les dimensions des grains du massif de gravier seront déterminées par les dimensions d'orifices des crépines, elles mêmes fonction de la granulométrie du terrain.

L'ouverture des crépines étant calibré en fonction de la granulométrie des formations captées, les échantillons de terrain (cutings) devront être recueillis tous les 5 m (au minimum dans la couche aquifère). Il sera alors procédé d'une analyse granulométrique. Dans les formations situées au dessus de l'aquifère les échantillons de terrain seront prélevés tous les 10 m.

3.2.1.3. Diagraphies : Le programme de diagraphies dont le but essentiel, est la délimitation des formations aquifères, peut-être adapté par l'hydrogéologie de l'Administration. Néanmoins, les enregistrements suivants sont obligatoires : polarisation Spontanée(P.S), Résistivité, Diamètreur, Laterolog, Microlog.

3.2.1.4. Programme de boue : Le programme de boue doit-être établi en tenant compte: des terrains de mauvaise tenue, des zones de pertes de boue et des risques de colmatage dus à l'invasion des formations aquifères par la boue. Les principales caractéristiques de la boue à utiliser sont les suivantes : Densité (1.20), Viscosité (50 à 60 Marsh) et Filtrat (15 cm^3).

3.2.1.5. Equipement de surface : La tête de forage doit-être peinte et montée sur un socle bétonné, entouré d'un caniveau de collecte et d'évacuation des eaux. Pour les forages artésiens une prise de pression doit-être installée juste avant la vanne la distribution. Pour les forages en pompage, lors de l'installation de la pompe d'exploitation, un emplacement doit-être aménagé en vue de réaliser les mesures de niveau, à l'aide d'une sonde de diamètre 2 p.

4. SUIVIS DES FORAGES HYDRAULIQUE DANS LA REGION TOUGGOURT

4.1. Forage dans la nappe de complexe terminale à AIN TEBESBEST.

4.1.1. Localisation du forage : le forage est réalisé à la commune de Tebesbest, Daïra de Touggourt, Wilaya de Ouargla, les coordonnées de forage sont : X : 05° 34' 40.6" , Y : 32° 03' 31.9" , Z : 158m (GPS)

4.1.2. But de forage : c'est un forage destiné à l'irrigation, sa profondeur est d'ordre de 156m, la méthode de forage utilisée est le rotary avec une boue bentonitique.

4.1.3. Construction du forage : La réalisation de l'ouvrage s'est déroulée sur cinq phases:

Phase I : Construction de l'avant puits

- Installation du chantier, confection plate forme, bassins et rigoles .
- Forage en \varnothing : 20" de (0m – 10m).
- Mise en place de tube guide \varnothing : 18^{5/8} de (0m -10m) .
- Cimentation de l'espace annulaire en (HTS) suivis d'une attente prise du ciment.

Phase II : Colonne de production

- Forage de reconnaissance en \varnothing : 12^{1/4} de (10m – 156.17m)m .
- Elargissage et alésage en \varnothing : 17^{1/2} de (10m- 114m) .
- Mise en place du tube plein caising API \varnothing : 13^{3/8} de (0 – 114m) .
- Cimentation de la colonne de production en (HTS) suivis d'une attente prise du ciment.

Phase III : Colonne de captage

- Reforge et alésage en \varnothing : 12^{1/4} de (114 m– 156.17m) .
- Mise en place de la colonne de captage \varnothing : 8^{5/8} du bas en haut :
- sabot de décantation Tube Plaine Inox (Johnson) de (150m – 156m) .
- Crépines en Inox (Johnson) slot 20 de (126m – 150m).
- Tube de réserve tube pleine Inox (Johnson) de (108m – 126m) .

Phase IV : Gravillonnage , lavage et développement

- Mise en place d'un massif filtrant constitué de graviers siliceux roulé et lavé et tamisé d'un calibre de 4 à 6 mm du fond jusqu'à la tête de la crépine .
- Nettoyage avec circulation de l'eau claire.
- Développement avec compresseur.

4.1.4. Les essais par palier :

- Essai à blanc de 12h : NS =15.37m, ND max = 30.89 m, Q max = 40 l/s.
- Les essais par pompage.

- Essai débit par palier: Q1 =20 l/s, Q2 = 30 l/s, Q3 = 40 l/s.
- Niveau statique /Tubage : NS = 15.37 m.
- Rejet : réseau d'irrigation.

Tab. 15 : Résultats des essais de pompage par palier.

Paliers n°	N.D (m)	Débit l/s	Débit spécifique
Palier 1	27.01	20	1.71
Palier 2	28.28	30	2.32
Palier 2	30.84	40	2.58

4.1.5. Stratigraphie

- L'analyse faite sur les échantillons prélevés tous les mètres au cours du sondage, a permis d'établir les descriptions lithologiques suivantes :
- De 00 à 12 m: Sables Argileux.
- De 12 à 48m : Argile sableuse avec du gypse.
- De 48 à 73m Sable gréseux.
- De 73 à 81m : Calcaire friable.
- De 81 à 99m : Sable rouge siliceux avec des gravies.
- De 99à 113m : Argile rouge.
- De 113 à 146m : Sable grossier jaunâtre.
- De 146 à 156.17 : Argiles.

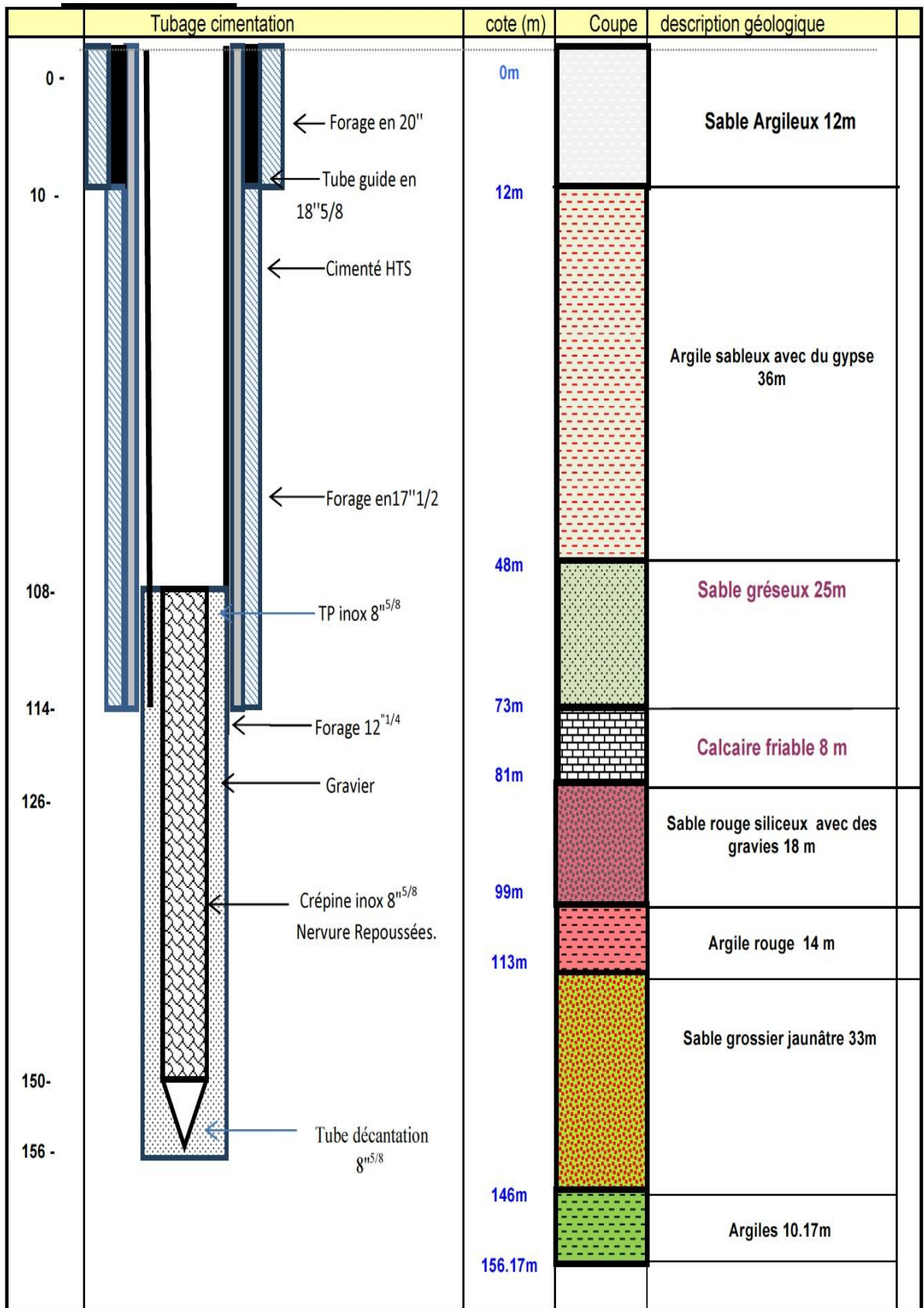


Fig. 29 : Fiche technique de forage Ain Tebesbest

4.2. Forage dans la nappe de complexe terminale d'AIN THOMAS.

4.2.1. Localisation du forage : le forage est réalisé à la commune d'El-Méggarine, Daira: d'El-Méggarine Wilaya d'Ouargla, les coordonnées de forage sont : X : 06° 06' 03" , Y : 33° 12' 45.7" , Z : 47m (GPS)

4.2.2. But de forage : c'est un forage destiné à l'irrigation, sa profondeur est d'ordre de 162m, la méthode de forage utilisée est le rotary avec une boue bentonitique.

4.2.3. Construction du forage : La réalisation de l'ouvrage s'est déroulée sur cinq phases:

Phase I : Construction de l'avant puits

- Installation du chantier , confection plate forme ,bassins et rigoles .
- Forage en \varnothing : 20" de (0 – 10)m .
- Mise en place de tube guide \varnothing : 18^{5/8} de (0 -10)m .
- Cimentation de l'espace annulaire en (HTS)suivis d'une attente prise du ciment.

Phase II : Colonne de production

- Forage de reconnaissance en \varnothing : 12^{1/4} de (10 – 162)m .
- Elargissage et alésage en \varnothing : 17^{1/2} de (10- 135)m.
- Mise en place du tube plein casing API \varnothing : 13^{3/8} de (+0.5 – 135)m.
- Cimentation de la colonne de production en (HTS) suivis d'une attente prise du ciment.

Phase III : Colonne de captage

- Reforge et alésage en \varnothing : 12^{1/4} de (135 – 162)m.
- Mise en place de la colonne de captage \varnothing : 8^{5/8} du bas en haut :
- sabot de décantation Tube Plaine Inox (Johnson) de (159 – 162) m
- Crépines en Inox (Johnson)slot 20 de (135 – 159) m
- Tube de réserve tube pleine Inox (Johnson) de (123 – 135) m

Phase IV : Gravillonnage ,lavage et développement

- Mise en place d'un massif filtrant constitué de graviers siliceux roulé et lavé et tamisé d'un calibre de 4 à 6 mm du fond jusqu'à la tête de la crépine .
- Nettoyage avec circulation de l'eau claire.
- Développement avec compresseur.

4.2.4. Les essais par palier :

- Essai à blanc de 12h : NS =27.23 m ,ND max = 52.15 m ,Q max = 40 l/s .

- Les essais par pompage.
- Essai débit par palier: Q1 = 20 l/s , Q2 = 30 l/s , Q3 = 40 l/s.
- Niveau statique /Tubage : NS = 27.23 m.
- Rejet : réseau d'irrigation.

Tab. 16: Résultats des essais de pompage par palier.

Paliers n°	N.Dynamique	Débit l/s	Débit spécifique
Palier 1	39.80	20	1.59
Palier 2	43.16	30	1.88
Palier 3	51.91	40	1.62

4.2.5. Stratigraphie :

- L'analyse faite sur les échantillons prélevés tous les mètres au cours du sondage, a permis d'établir les descriptions lithologiques suivantes :
- De 00 à 10 m: Grés.
- De 10 à 40m : Argile.
- De 40 à 55m : Sable gypseux.
- De 55 à 90m : Sable siliceux avec des graviers.
- De 90 à 130m : Grés.
- De 130à 135m : Argile rouge.
- De 135 à 154m : Sable grossier blanchâtre.
- De 154 à 159m : Calcaire.
- De 159 à 162m: Argile.

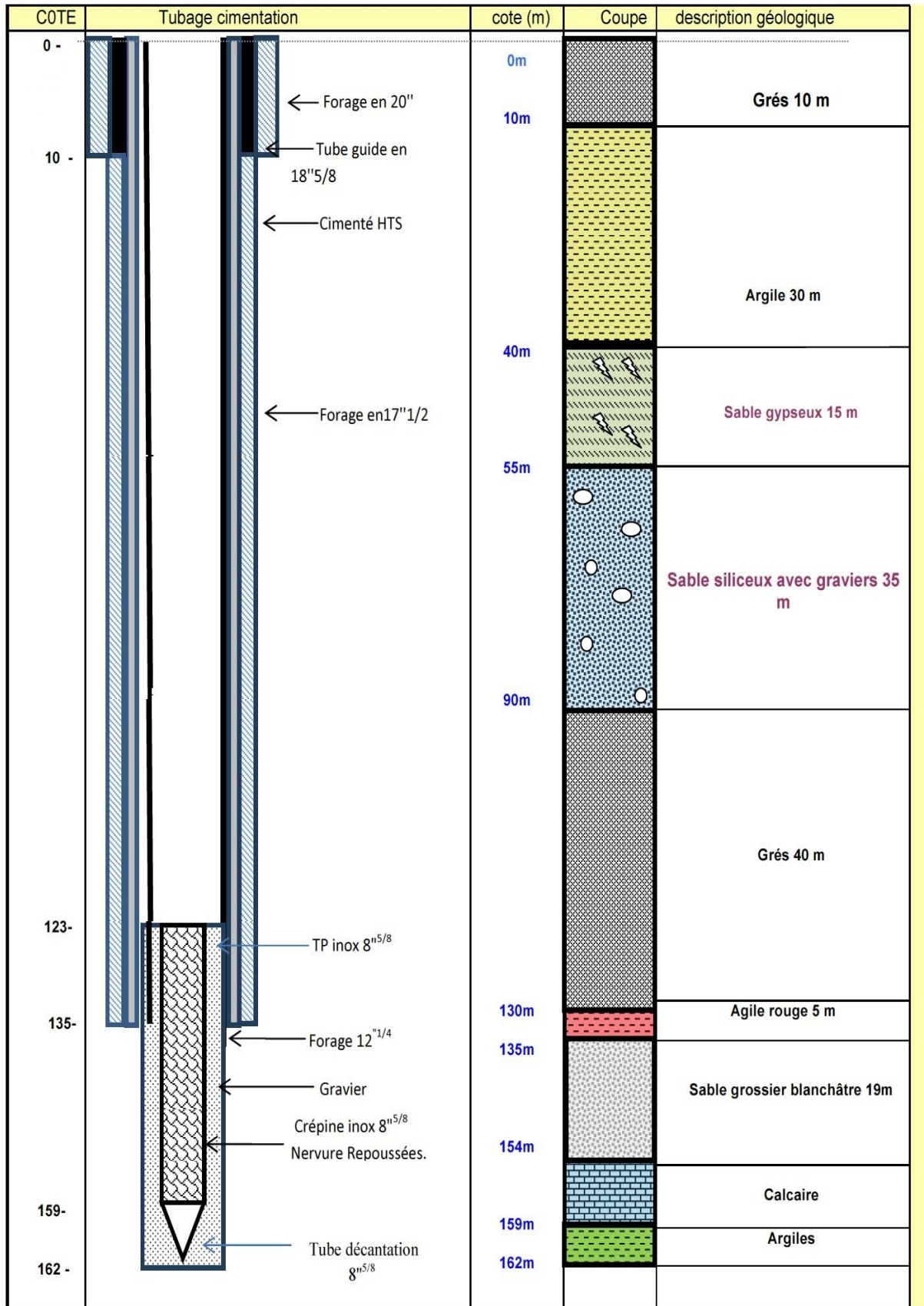


Fig. 30 : Fiche technique de forage Ain Thomas.

4.3. Forage dans la nappe de complexe terminale d'AIN BEN ZAANOUNE.

4.3.1. Localisation du forage : le forage est réalisé à forage Ain Ben Zaanoune à Daira de Touggourt, Wilaya de Ouargla, les coordonnées de forage sont : X : 06° 04' 31" , Y : 33° 04' 58.5" , Z : 70m (GPS)

4.3.2. But de forage : c'est un forage destiné à l'irrigation, sa profondeur est d'ordre de 155m, la méthode de forage utilisée est le rotary avec une boue bentonitique.

4.3.3. Construction du forage : La réalisation de l'ouvrage s'est déroulée sur cinq phases:

Phase I : Construction de l'avant puits

- Installation du chantier , confection plate forme , bassins et rigoles .
- Forage en \varnothing : 20" de (0 – 10)m .
- Mise en place de tube guide \varnothing : 18"5/8 de (0 -10)m .
- Cimentation de l'espace annulaire en (HTS) suivis d'une attente prise du ciment.

Phase II : Colonne de production

- Forage de reconnaissance en \varnothing : 12"1/4 de (10 – 155.27)m .
- Elargissage et alésage en \varnothing : 17"1/2 de (10- 120)m.
- Mise en place du tube plein casing API \varnothing : 13"3/8 de (0 – 120)m.
- Cimentation de la colonne de production en (HTS) suivis d'une attente prise du ciment.

Phase III : Colonne de captage

- Reforge et alésage en \varnothing : 12"1/4 de (120 – 155.27)m.
- Mise en place de la colonne de captage \varnothing : 8"5/8 du bas en haut :
 - sabot de décantation Tube Plaine Inox (Johnson) de (149 – 155) m (06m).
 - Crépines en Inox (Johnson) slot 20 de (119 – 149) m (30m).
 - Tube de réserve tube pleine Inox (Johnson) de (113 – 1119) m (06m).

Phase IV : Gravillonnage , lavage et développement

- Mise en place d'un massif filtrant constitué de graviers siliceux roulé et lavé et tamisé d'un calibre de 4 à 6 mm du fond jusqu'à la tête de la crépine .
- Nettoyage avec circulation de l'eau claire.
- Développement avec compresseur.

4.3.4. Les essais par palier :

- Essai à blanc de 12h : NS = 27.30 m, ND max = 37.69 m, Q max = 40 l/s .
- Les essais par pompage.

- Essai débit par palier: Q1 =20 l/s, Q2 = 30 l/s , Q3 = 40 l/s.
- Niveau statique /Tubage : NS = 27.30 m.
- Rejet : réseau d'irrigation.

Tab. 17: Résultats des essais de pompage par palier.

Paliers n°	N.D (m)	Débit l/s	Débit spécifique
Palier 1	34.61	20	2.73
Palier 2	36.79	30	3.16
Palier 2	37.48	40	3.92

4.3.5. Stratigraphie

L'analyse faite sur les échantillons prélevés tous les mètres au cours du sondage, a permis d'établir les descriptions lithologiques suivantes :

- De 00 à 11 m: Sables moyen.
- De 11 à 48m : Sables argileux + gypse.
- De 48 à 80m : Argiles sableux avec du gypse.
- De 80 à 102m : Sables gréseux.
- De 102 à 108m : Calcaire friable.
- De 108 à 117m : Sable rougeâtre.
- De 117 à 120m : Argiles rouge.
- De 120 à 149m: Sable grossier jaunâtre.
- De 149 à 155 m: argiles.

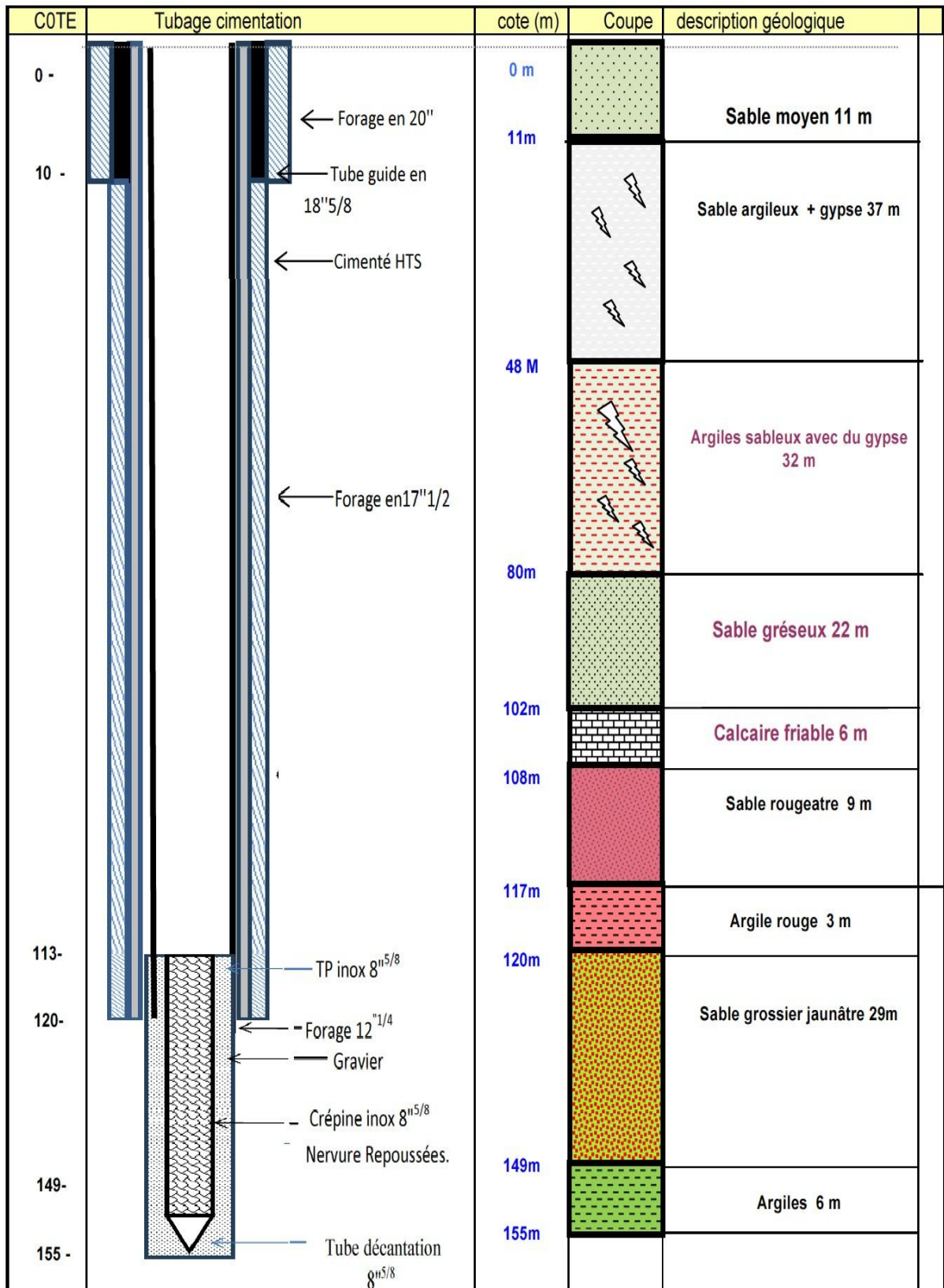


Fig. 31 : Fiche technique de forage d'Ain Ben Zaanoune.

4.4. Forage dans la nappe de complexe terminale de ZAOUIA.

4.4.1. Localisation du forage : le forage est réalisé à forage à zaouia, commune de Zaouia, Daira de Touggourt, Wilaya de Ouargla

4.4.2. But de forage : c'est un forage destiné à l'irrigation des palmiers, sa profondeur est d'ordre de 70m, la méthode de forage utilisée est le rotary avec une boue bentonitique.

4.4.3. Construction du forage : La réalisation de l'ouvrage s'est déroulée sur quatre phases:

Phase I

- forage reconnaissance en Ø26" de 0 à 10m.
- Mise en place d'un tube guide Ø18''^{5/8} de 0 à 10m.
- Cimentation de tube guide en HTS.

Phase II

- Forage de reconnaissance en Ø12''^{1/4} de 10 à 70m soit 60m.
- Elargissage et alésage en Ø17''^{1/2} de 10 à 42m soit 32m.
- Tubage en Ø 13''^{3/8} API de +0.40 à 42m soit 42.40ml.
- Cimentation de l'espace annulaire HTS.

Phase III

- Alésage en Ø12''^{1/4} de 42 à 70m soit 28 ml.
- Fourniture et pose colonne de captage Ø 8''^{5/8} :
 - sabot de décantation Inox Ø 8'' de 69 à 70 soit 01m.
 - Crépines à persiennes Inox Ø 8''^{5/8} slot 20 de 69 à 41,50m soit 27,50ml.
 - Tube réserve Inox Ø8''^{5/8} de 41,50 à 35,50m soit 06ml.

Phase IV (Gravillonnage)

Introduction de 3m³ de graviers roulé, tamisé, lavé, et calibré de 5 à 7mm a été entreposé dans l'espace annulaire du forage entre 35,50m à 70m.

4.4.4. Développement.

Un nettoyage général a été effectué à l'eau claire et à l'air lift avec compresseur 10 bars pour évacuation des cuttings et de la boue de forage.

4.4.5. Essai de débit.

Observation de la remontée : 24 heures ; Côte de la pompe : 30,00 m ; Niveau statique : 13,00m ; Niveau dynamique : 25,80m ; Débit max : 37 l/s.

4.4.6. Stratigraphie.

L'analyse faite sur les échantillons prélevés tous les mètres au cours du sondage, a permis d'établir les descriptions lithologiques suivantes :

- De 00 à 17m : Grés rouge, sable fin rougeâtre.

- De 17 à 33m : Calcaire dolomitique blanc et rouge .
- De 33 à 41m : Calcaire gréseux blanc à passées de marne blanche.
- De 41 à 60m : Agglomérées à ciment calcaire.
- De 60 à 64m : Sable grossier et gravier.
- De 64 à 68m : Sable fin et moyen jaunâtre.
- De 68 à 70m : Argile jaune sableuse.

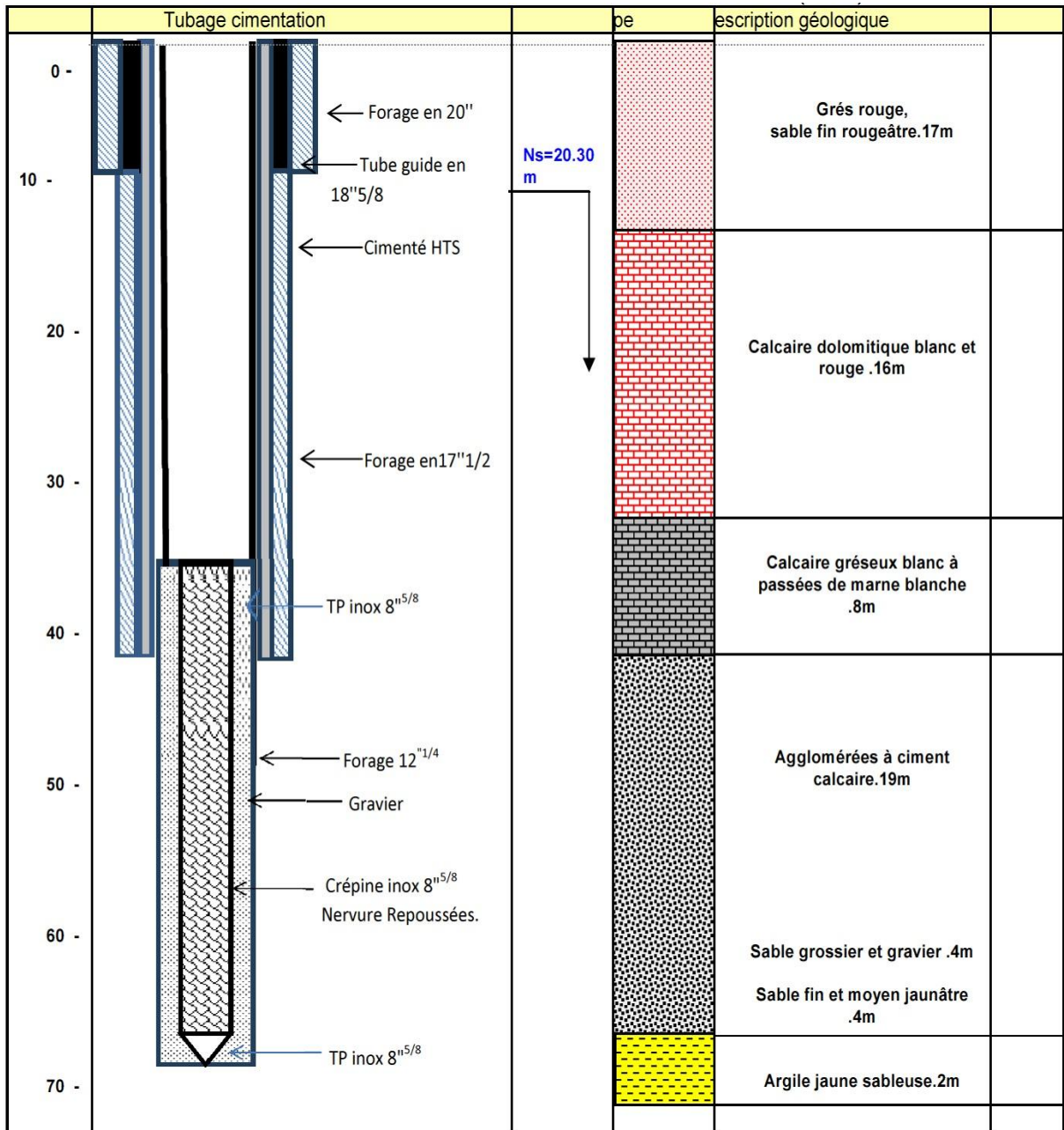


Fig. 32 : Fiche technique de forage de Zaouia.

4.5. Forage dans la nappe de continental intercalaire.

4.5.1. But de forage.

Le forage a été réalisé pour le renforcement et l'alimentation de l'AEP de l'extension la ville de Touggourt. Il a été prévu pour cela la réalisation d'un forage albien de 1800 ml dans la région de Haï Yasmin daïr de Touggourt. Ce programme a été confié à l'entreprise SARL SHAOLIN de droit algérien.

4.5.2. Localisation du forage.

Le forage d'eau a été implanté à environ 2Km à l'Ouest de la ville de Touggourt dont les coordonnées d'implantation sont : X : 06°01'52'' E / Y : 33°07'08'' N.

4.5.3. Construction du forage.

L'exécution du forage a été réalisée par une sondeuse Rotary et à circulation benthonitique. Le forage a été effectué suivant les phases ci-après exposées :

Phase I :

- forage en 28'' de diamètre à 31.3m.
- Installation d'un tube guide Ø24'' en TNRS entièrement cimenté
- Forage en 12''^{1/4} à 505ml et alésage en 22'' à 403ml.
- Pose d'une colonne technique Ø18''^{5/8} AIP en acier K55-87.5 ib/ft de 0 à 403m.
- Cimentation sous pression jusqu'à la surface ; Attente prise de ciment.

Phase II :

- Forage reconnaissance en Ø12''^{1/4} à 1602.25m.
- Forage et alésage en Ø17''^{1/2} de la côte 403m jusqu'au toit de la nappe à 1465.3m.
- Enregistrement de la diagraphie caliper.
- Pose d'une colonne de production Ø13''^{3/8} API en acier P55-47 lb/ft de 0 à 1465.3m.
- Cimentation sous pression de toute la colonne à double étage ; Attente prise de ciment.

Phase III :

- Forage en Ø8''^{5/8} jusqu'à la côte 1805m avec reconnaissance du continental intercalaire.
- Opération électrique des diagraphies (Gamma, PS, Résistivité, CBL et VDL).
- Alésage en 12''^{1/4} à 1805m.
- Pose de colonne de captage composée de tubes pleins Inox, de crépines johanson Inox Ø8''^{5/8} renforcé et un raccord diélectrique suivi d'un packer avec D.V et d'une colonne de production Ø9''^{5/8} API de 0 1800m.
- Cimentation de la colonne Ø9''^{5/8} au jour ; Attente prise de ciment.
- Enregistrement de diagraphie CBL/VDL.

- Mise en place du diapositif définitif de tête avec vanne maîtresse et vanne latérale pour le réglage du débit.

Phase IV :

- Dégorgement du forage avec de l'eau clair.
- Développement du forage.
- Essai de débit.

Remarque : dans les forages de continentale intercalaire on n'introduit pas le gravier additionnel a cause de la forte pression de nappe (sup 16 bar), en plus la crépine utilisée est renforcé en double parois.

4.5.4. Stratigraphie.

L'analyse faite sur les échantillons prélevés tous les mètres au cours du sondage, a permis d'établir les descriptions lithologiques suivantes :

- De 00 à 183m : Alternance d'argile et sable.
- De 183 à 292m : calcaire dolomitique, Argile et anhydrite.
- De 292 à 311m : Marne de couleur verdâtre.
- De 311 à 389m : Calcaire tendre avec passage de marne.
- De 389 à 397m : Marne.
- De 397 à 451m : Calcaire marneux.
- De 451 à 702m : Calcaire.
- De 702 à 746m : Grés friable de couleur gris.
- De 746 à 977m : Grés multicolore.
- De 977 à 980m : Sel massif et anhydrite.
- De 980 à 1150m : Grés et schiste avec un faible pourcentage quartz.
- De 1150 à 1220m : Marne.
- De 1220 à 1342m : Marne gréseux (Albien).
- De 1342 à 1353m : Argile rouge brique.
- De 1353 à 1501m : Grés argileux.
- De 1501 à 1629m : Grés.
- De 1629 à 1636m : Argile (Aptien).
- De 1636 à 1665m : Grés argileux(Barrémien).
- De 1665 à 1704m : Argile gréseux.

4.5.5. Observations diverses.

- Un dispositif anti éruption a été monté (POB) au cours de la deuxième et troisième phase
- Toutes les cimentations sont effectuées par une entreprise spécialisée dans le domaine en l'occurrence BJSP.
- Un technicien de fluides de forage est chargé de la fabrication de la boue et du suivi de toutes ses caractéristiques en fonction des terrains traversés.
- Pendant la phase du 24^{ème} la densité de la boue bentonitique est conservée à environ 1,15.
- Pendant la 2^{ème} phase la boue est salée saturée et de densité moyenne de 1,36.
- Au cours de la dernière phase elle a été conditionnée et conservée à une valeur de 1,26.

4.5.6. Essai par paliers.

Tab. 17: Essai par palier (source d'eau)

observations	Débit Q		Rabattement s	Rabattement Spécifique S/Q	Température au a la sortie
	l/s	m ³ /h	m(H ₂ O)	m/m ³ /h	°C
1 ^{er} palier 480mm	40.00	144.00	9.70	0.067	57.0
2 ^{ème} palier 480mm	109.89	395.60	66.34	0.168	57.0
3 ^{ème} palier 480mm	142.85	514.26	116.36	0.226	57.0

4.5.7. Principaux résultats obtenus.

- Profondeur finale : 1800m.
- Transmissivité : $9,89 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.
- Pression en tête de puits : 16 bars.
- Résidu Sec: 2,454 g/l.
- Débit : 166 l/s.
- Température de l'eau : 57°C.

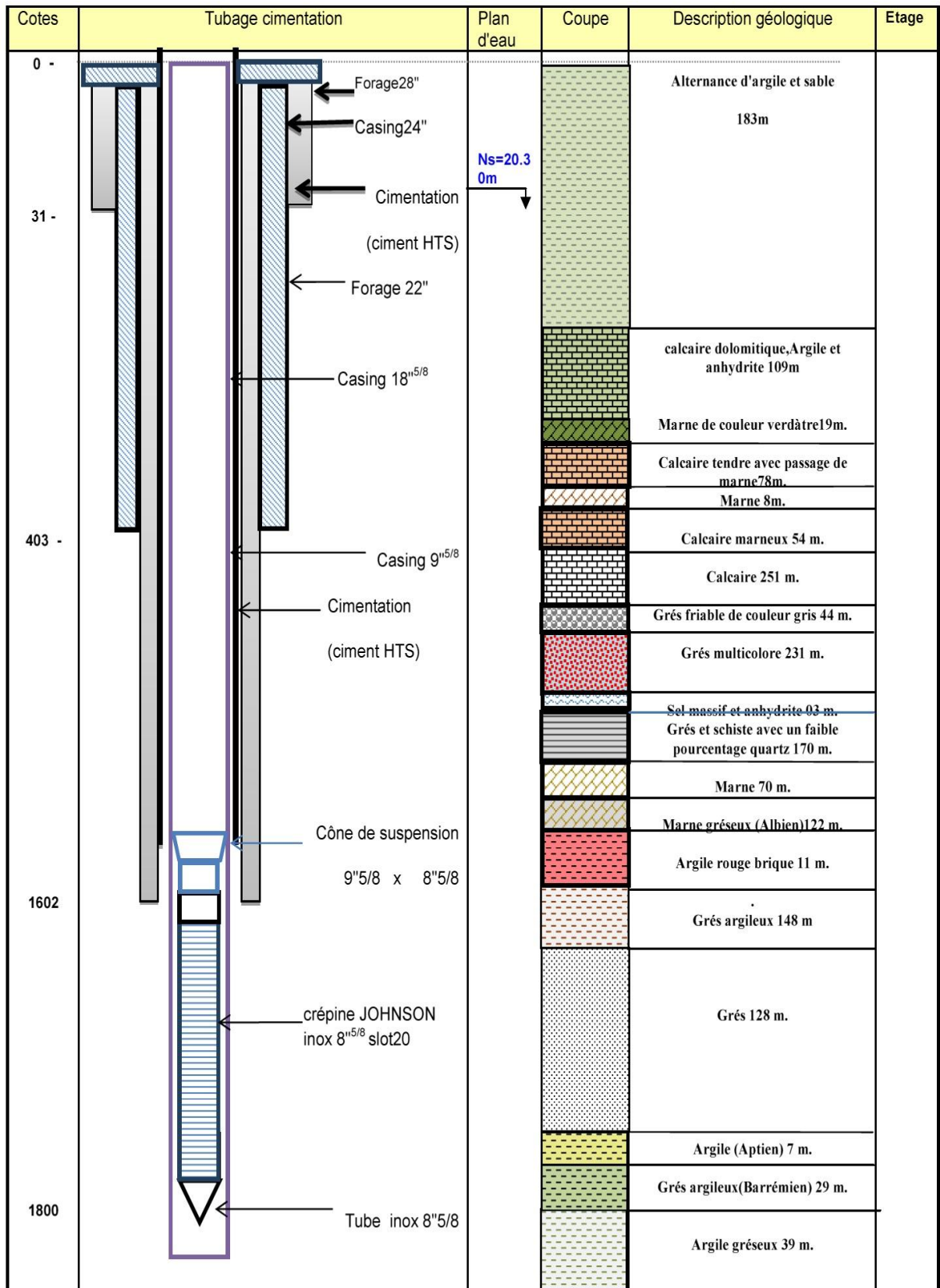


Fig. 33 : Fiche technique de forage Albiens 1800m.

5. CONCLUSION.

Les forages sont les plus adaptés pour exploiter les aquifères de Sahara septentrional, la méthode utilisée pour forer est le rotary. Les dispositions du décret 86-277 du 2 septembre 1986 relatif à la concession des travaux des recherches des captages d'eau l'exécute on de tout forage hydraulique dans les limites du bassin du Sahara Septentrional est soumise à l'avis technique préalable de l'ANRH. Le forage à exécuter nécessite l'établissement d'un programme qui prend en compte :

- La profondeur prévisionnelle de la couche aquifère à capter et du débit escompté.
- Les caractéristiques des couches traversent en particulier la nappe phréatique.
- Les conditions géologiques particulières (pertes totales, éboulements.etc.).
- Les caractéristiques des forages réalisés la région.

Le forage à exécuter dans l'aquifère de complexe terminale et l'aquifère de continentale intercalaire passe par les principaux étapes suivants: pose de tube guide, forage et pose de tube plein avec cimentation jusqu'au toit de la nappe captée, forage de réservoir est pose de crépine et de gravier additionnel (pour le CI cette étape est exclue), développement de puits pour élimination des particules fins et en fin l'exécution des essais de pompage pour déterminer le débit d'exploitation. Pour le forage dans la nappe superficielle, la procédure est simple et il ne pas réglementé par l'ANRH, elle peut s'effectuer manuellement ou mécaniquement, les puits sont soit complets ou capte partiellement la nappe.

En générale la réalisation d'un forage complet dans nappe libre passe par les étapes suivants ; pose de tube guide, forage et pose de tubage composé de tube plein, crépine et sabot de décantation vissé l'un sur l'autre, l'introduction de gravier additionnel surmonté par un bouchon d'argile et le ciment jusqu'à la surface de puits, développement de puits pour élimination des particules fins et en fin l'exécution des essais de pompage pour déterminer le débit d'exploitation.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La région de l'Oued Righ se situe au Sud-Est du pays, plus précisément au Nord-Est du Sahara. La vallée de l'Oued Righ commence au Sud au voisinage du village d'El Gouge (Touggourt) et se prolonge sur une distance de 150km plus au Nord vers le village d'Oum Thiour [100 km de la wilaya de Biskra]. La zone d'étude est située dans la wilaya de Ouargla, elle est répartie entre trois Dairas et huit communes dont la commune de Touggourt est la plus importante.

La région de Touggourt fait partie du Bas Sahara qui se présente comme une cuvette synclinale. Tous les terrains, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire sont dissimulés en grande partie par le grand erg oriental. Les prospections géophysiques et les sondages pétroliers ont précisé que les dépôts sédimentaires ont environ 4000 mètres d'épaisseur. La série géologique se compose de deux ensembles hydrogéologiques post paléozoïques importants : le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal.

Le climat de la zone d'étude est hyper aride de type saharien. La plus forte température de l'ordre de 41.24°C est enregistrée au mois de Juillet au cours duquel l'évaporation est maximale et est de 385.83 mm tandis que le mois de juillet est le plus sec avec 0.47mm de précipitation. Le bilan hydrique est déficitaire, l'excédent est nul et la RFU est épuisée durant toute l'année malgré qu'elle présente uniquement une valeur de 4.4 mm pendant le mois de janvier.

La zone d'étude appartient au Bas Sahara. Les ressources en eau souterraines du Sahara sont essentiellement constituées des ressources renouvelables provenant des infero-flux du versant sud des Aurès et des ressources non renouvelables représentées par les deux grandes aquifères de continentale Intercalaire et de complexe Terminal. Dans la zone d'étude, le système aquifère est constitué de trois aquifères : continental intercalaire composé de sable gréseux ou gréseux argileux, complexe terminal composé de trois nappes superposées les deux premières CT1 et CT2 composées des sables d'âge Mio-Pliocène et la troisième CT3 dans les calcaires fissures, plus au moins karstiques d'âge l'Eocène inférieur. Et au dessus de ces deux aquifères il existe une aquifère superficielle libre composée des sables.

Les interprétations précédentes des analyses chimiques pour la nappe phréatique montrent que tous les éléments chimiques que se soit cations ou anions dépassent largement les normes fixées par l'OMS pour une eau potable. Ce qui indique que les eaux de la nappe phréatique sont imbuables.

Les eaux des aquifères de complexe terminal et de Continental Intercalaire, sont très minéralisées, elles sont de mauvaise qualité physico-chimique en référence des normes de l'OMS et des normes algérienne pour l'eau potable, elles nécessitent un traitement avant l'utilisation. Ils sont

aussi de qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation, ils se trouvent dans les classes de C_4S_1 , C_4S_2 et de C_5S_2 dans le diagramme de Richards.

Les forages sont les plus adaptés pour exploiter les aquifères de Sahara septentrional, la méthode utilisée pour forer est le rotary. Les dispositions du décret 86-277 du 2 septembre 1986 relatif à la concession des travaux des recherches des captages d'eau l'exécute on de tout forage hydraulique dans les limites du bassin du Sahara Septentrional est soumise à l'avis technique préalable de l'ANRH. Le forage à exécuter nécessite l'établissement d'un programme qui prend en compte :

- La profondeur prévisionnelle de la couche aquifère à capter et du débit escompté.
- Les caractéristiques des couches traversent en particulier la nappe phréatique.
- Les conditions géologiques particulières (pertes totales, éboulements.etc.).
- Les caractéristiques des forages réalisés la région.

Le forage à exécuter dans l'aquifère de complexe terminale et l'aquifère de continentale intercalaire passe par les principaux étapes suivants: pose de tube guide, forage et pose de tube plein avec cimentation jusqu'au toit de la nappe captée, forage de réservoir est pose de crépine et de gravier additionnel (pour le CI cette étape est exclue), développement de puits pour élimination des particules fins et en fin l'exécution des essais de pompage pour déterminer le débit d'exploitation. Pour le forage dans la nappe superficielle, la procédure est simple et il ne pas réglementé par l'ANRH, elle peut s'effectuer manuellement ou mécaniquement, les puits sont soit complets ou capte partiellement la nappe.

En générale la réalisation d'un forage complet dans nappe libre passe par les étapes suivants ; pose de tube guide, forage et pose de tubage composé de tube plein, crépine et sabot de décantation vissé l'un sur l'autre, l'introduction de gravier additionnel surmonté par un bouchon d'argile et le ciment jusqu'à la surface de puits, développement de puits pour élimination des particules fins et en fin l'exécution des essais de pompage pour déterminer le débit d'exploitation.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- AMOURIA. N, AMOURIA. (2006):** Réalisation des forages dans la nappe albiene dans la région de Oued Righ Nord , aspects technique et qualité des eaux souterraines Université de Constantine - mémoire d'ingénieur
- Boughzala et Ftiti.2014.** Réalisation des forages hydrauliques dans la région d'El-Oued (SE Algérie). Mémoire d'ingénieur en Géologie de l'Ingénieur. Université d'Ouargla.60P.
- Bouselsal, B. 2016.** Etude hydrogéologique et hydrochimique de l'aquifère libre d'El Oued souf (SE Algérie). Th. Doctorat, Univ. d'Annaba, 204 p.
- BUSSON, G. 1967.** Le Mésozoïque saharien. 1ère partie : L'Extrême Sud-tunisien. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 8, 194 p. Ed. C.N.R.S.
- Busson, G. 1970 :** Le Mésozoïque saharien. 2ème partie : Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 11, 811p. Ed. C.N.R.S.
- Busson, G. 1971.** Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Edit., Paris, 464p.
- CASTANY Gilbert (1982).** Principe et méthode de l'hydrogéologie. Dunod, 237p.
- Cornet, A. 1964.** Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Géographie Physique et Géologie Dynamique. Vol.VI. 1964. fasc1,pp.5-72.
- Cote, M. 1993.** Une région saharienne malade de trop d'eau. Le Souf. Rapport, 17p.
- Cote, M. 2001.** Souf 2001 : l'Agriculture peut-elle résoudre le problème de la remontée de la nappe ? BG. Lausanne
- Detay, M. 1997.** La gestion active des aquifères. Masson Paris, 416 p.
- Djidel, M. 2008.** Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette d'Ouargla (Algérie). Th. Doctorat, Univ. d'Annaba, 208 p.
- Fabre, J. 1976.** Introduction à la géologie du Sahara d'Algérie et des régions voisines. SNED, Alger, 421p.
- Gilli E. Mangan C. Mudry J. 2004.** Hydrogéologie: objets, méthodes, applications. Dunod, Paris, 303 p.
- Hadraoui.Y et Cheboube.K. 2015.** Suivis de forages hydrauliques dans la région d'Ouargla (SE Algérie). Mémoire de licence en hydrogéologie. Université d'Ouargla.30P.
- UNESCO. 1972.** Etude des Ressources en Eau de Sahara Septentrional. (7 vols. et annexes). UNESCO, Paris, France.
- Algérie des eaux :** les analyses hydrochimiques des eaux des forages (CT et CI)
- Agence Nationale De Ressources Hydraulique (Ouargla):** les logs stratigraphiques

des forage.

Agence Nationale De Ressources Hydrauliques (secteur de Touggourt),les données climatiques de la station de Touggourt.

Hydraulique de Touggourt : les rapportes fin de sondage dans les trois aquifères (superficielle , complexe Terminale , continentale intercalaire).

Belksier Mohamed salah 2010 : Hydrogéologie et hydrochimie de la nappe superficielle dans la région de l'Oued Righ et l'évaluation de sa vulnérabilité.145P

Sayah lembarek Mohamed 2008 : Etude hydraulique du canal Oued Righ et détermination des caractéristique hydraulique.

Bouznad Imade Eddine 2010 : Ressources en eau et Essai de la gestion intégrée dans Sud d'Oued Righ (W. Ouargla) 128P.

Abide.M et Derdouri .Y 2014 : Réutilisation des eaux usées en irrigation : **STEP de TOUGGORT** 53P.

Bounegabe .B Chribat .M 2013 : Qualité des eaux de la nappe de Sable CT1 dans la région Touggourt 57P.

Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional : Elément d'hydrologie de surface

Albert Mabillot (1989) : le forage d'eau : guide pratique, éditions Lavoisier.

Site internet : OMS.com . 09/05/2016 à 9:50

Annexe

Annexe N°01: Inventaire des forages dans la nappe CT et CI

commune	Nom	x	y
Temacine	D41F83	806,092	271,975
Blidet Amor	D46F103	806,24	263,7
Blidet Amor	D47F24	807,985	261,78
Zaouia Abidia	D32F160	817,264	255,317
Touggourt	D34F136	813,43	282,8
Tebesbest	D33F117	816,145	283,762

commune	nom	x	y
Sidi Mahdi III	D34FA3	811,43	283,8
Sidi Mahdi II	D34FA2	814,145	287,762
Touggourt	AIN SAHRA	815,025	279,474
Mégarine	D30F1	818,252	293,443
Blidet Amor	D46FA1	815,091	288,657
Sidi Slimane	D25F1	818,56	299,061

RESUME

Dans la région de Oued Righ (SE Algérie), la rareté des précipitations et l'augmentation de la demande sur l'eau, multiplié le nombre de forages dans les trois nappes augmente chaque année.

L'étude des forages réalisés dans la région montre que les opérations de forages hydrauliques effectuées dans la région de Oued Righ, sont supervisées par l'ANRH pour les forages profondes (CT et CI), mais le forage dans la nappe superficielle ne sont pas réglementés, à cause des recommandations prises par l'état pour favoriser l'exploitation de la nappe libre pour baisser le niveau piézométrique.

Le forage dans la nappe de complexe terminal et la nappe de continental intercalaire passe par plusieurs étapes, les principales sont; pose de tube guide, forage et pose de tube plein avec cimentation jusqu'au toit de la nappe captée, forage de réservoir est pose de crépine et de gravier additionnel (pour les forages de CT), développement de puits pour élimination des particules fines et en fin l'exécution des essais de pompage pour déterminer le débit d'exploitation.

Mots clés : forage rotary, CT, CI, crépine, développement de puits.

Abstract

In the region of Oued Righ (SE Algeria), the scarcity of rainfall and the increasing demand on water, multiplied the number of drilling in three layers increases every year.

Study of drilling in the region show that the process of drilling in deep lyres in the valley right area overseen by the NATIONALE AGENCY OF WATER RESOURCES. but drilling in the ground water surface is not an organization because of the recommendations made by the state for the benefit of the exploitation of ground water due to the low level piezometric.

Drilling in the terminal complex ply and the continental interlayer sheet passes through several stages, the main ones; installation guide tube, drilling and installation of tube full with cementing to the roof of the collected water, reservoir drill is laying strainer and additional gravel (for drilling CT) development wells for disposal purposes particles end execution of pumping tests to determine the operating speed.

Keywords: rotary drilling, CT, CI , strainer, development wells.

المخلص

في منطقة واد ريغ ، ندرة هطول الأمطار وزيادة الطلب على المياه تضاعف، وعدد الحفر في الطبقات الثلاث يزيد كل عام. دراسة الحفر المستعمل في المنطقة تظهر أن عملية الحفر الهيدروليكي في الطبقات العميقة (المركب النهائي , و القارية المتداخلة) في منطقة واد ريغ تشرف عليها الوكالة الوطنية للموارد المائية. إلا أن أعمال الحفر في المياه الجوفية السطحية ليست منظمة، بسبب التوصيات التي قدمتها الدولة لصالح استغلال المياه الجوفية بسبب انخفاض المستوى البيزومتري.

الحفر في طبقة المركب النهائي والقارية المتداخلة يمر عبر عدة مراحل، أهمها؛ أنبوب الموجه، الحفر ووضع الأنبوب الموجه ثم تقوم بعملية التسليم إلى غاية سطح الجيب المائي المستغل، ثم تقوم بوضع المصفاة ووضع الحصى الصغير هذه الأخيرة تتم في الحفر في الطبقة (المركب النهائي) , ثم تقوم بعملية تطوير البئر من أجل التخلص من الجسيمات الرقيقة، وفي الأخير تقوم بعملية تجارب الضخ من أجل تحديد التدفق الذي يجب استغلاله.

الكلمات المفتاحية : الحفر الدوراني, المركب النهائي, القارية المتداخلة , المصفاة, تطوير البئر