

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des sciences appliquées

Département : de Génie Civil et Hydraulique

Mémoire de fin de'étude en vue de l'obtention du diplôme de

Master, Filière : FORAGE D'EAU

Spécialité : FORAGE D'EAU

Thème

**Suivi d'un forage d'eau dans le pôle urbain
27 Février (wilaya d'Ouargla)**

Présenté par :

- MEROUCHE ADEL
- DJENIDI SAMIR

Soumis au jury composé de :

Mahi .R	MAA	UKMO	Président
Mansouri .Z	MAA	UKMO	Examineur
Nettari .K	MAA	UKMO	Encadreur

Année universitaire 2021/2022

REMERCIEMENTS

Merci et gratitude à tous ceux qui ont travaillé dur pour nous et sacrifié tout ce qui était précieux et précieux pour arriver à ce stade, en commençant par les pères et mères, en passant par tous les professeurs, et en terminant par la direction de cet établissement d'enseignement, l'Université de Kasdi Merbah, le Collège des Sciences Appliquées en général, qui nous a beaucoup donné et son administration représentée par le Doyen et les chefs de départements Surtout la Faculté des sciences appliquées Département de Génie Civil et Hydraulique, la faculté, le personnel et autres, et tout cela grâce au père vertueux, Dr Nettari Kamal, qui ne nous a rien épargné de son vaste océan de connaissances.

DÉDICACE

Je commence mes humbles recherches, avec la louange et les remerciements de Dieu de m'avoir inspiré pour pouvoir écrire cette recherche

Au phare de la connaissance et à l'Imam choisi, au maître de la création, notre honorable messenger, notre maître Muhammad, que Dieu le bénisse et lui accorde la paix

Pour me donner une goutte d'amour A celui qui dose la coupe vide A celui qui a mangé ses doigts Pour nous donner un moment de bonheur A celui qui a récolté les épines de mon chemin Pour me paver le chemin de la connaissance au grand coeur (Mon cher père)

À celle qui m'a soigné amour et tendresse au symbole de l'amour et du baume de guérison au cœur blanc (chère mère)

Aux anges de la terre, les anémones, qui m'ont embrassé et planté des roses sur mon chemin (mes frères)

Aux camarades du chemin, les bâtisseurs du futur, les êtres humains les plus vrais et les plus merveilleux (mes amis)

À tous ceux qui ont éclairé l'esprit des autres avec ses connaissances ou guidé la bonne réponse à la confusion de ses interlocuteurs, il a donc montré à son éminence l'humilité des savants et sa générosité des connaisseurs (mes professeurs) et je mentionne particulièrement mon professeur et superviseur (Dr. Nettari Kamal) Je leur dis : Vous m'avez doté de vie, d'espoir et d'éducation sur une passion pour la connaissance et la connaissance. À vous tous

Je demande à Dieu Tout-Puissant de trouver l'acceptation et le succès et de me guider vers ce qu'il aime et dont il est satisfait

Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
Chapitre I : Généralités sur la zone d'étude	2
INTRODUCTION.....	3
I.CADER GÉNÉRALE DE LA ZONE D'ÉTUDE	3
I.1.SITUATION GÉOGRAPHIQUE	3
I.2 . LES LIMITÉE ADMINISTRATIVEMENT.....	4
I.3.LOCALISATION DE FORGE	5
CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES	6
INTRODUCTION	6
II.1. LES TEMPÉRATURES	6
II.2. PLUVIOMETRIE	7
II.3. LE VENT.....	8
II.4. SYNTHÈSE CLIMATIQUE DE LA RÉGION	9
III. LA POPULATION	10
IV. Hydrogéologie general.....	11
IV.1. Les nappes du Complexe Terminal.....	12
IV.2. La nappe du Continental Intercalaire	12
IV.3. La nappe phréatique	12
CONCLUSION	13
ChapitreII : Les techniques de forage	16
GENERALITES SUR LES FORAGES D'EAU.....	
Les méthodes de forage	16
1. Forage rotary circulation directe.....	17
2. Forage en circulation inverse.....	17
I. 3.Forage au marteau fond de trou avec tubage à l'avancement.....	18
I 4 .Forage au marteau fond de trou (MFT)	19
I .5. Forage par battage	19
I.EQUIPEMENT DE FORAGE.....	20
II .1 .Les tubages pleins	20
II.2.La crépine	20
II.3. Le massif filtrant.....	21
III.Exécution et équipement.....	22
III.1 .Le programme de boue	22

III .2.Cimentation	23
III.3. Essais des débits	24
III.4. Contrôle des forages	25
Chapitre III :Daigraphies	
I. <i>Introduction</i>	27
II. Diagraphie acoustique	27
II.1 Appareillage	27
II.2 Détermination de la porosité	28
III. Diagraphies radioactives	29
III.1 Diagraphie gamma-ray	29
Remarque.....	30
III .3 Diagraphie gamma-gamma (diagraphie de densité)	31
III.3.1 Principe	31
III.3.2 Appareillage	31
Remarques.....	32
III.3.3 Courbe gamma-gamma	33
Remarques	34
Chapitre VI : Suivi de forage	
Suivi de Forage Hydraulique dane la région 27 février.....	39
I.Localisation du forage	39
L'objectif du forage.....	39
Construction du forage	39
III .1. Réglementation du site de forage	39
III.2 . Technologie Rotative	39
III.2.1 Les avantage du forage rotatif.....	39
III.2.2. désavantages de forage rotatif	40
III .3.Système de rotation	40
III.3.1. plaque tournante.....	40
III.3.2 La Tige Carrée	41
<i>III.3.3Tiges de forage</i>	42
III.3.4 L'outil de forage.....	43
III.3.5. Système de circulation	43
Bassins	44
Pompe à boue	44

Tête d'injection	44
III.3.6. Système de levage	45
Treuil de forage.....	45
Le câble	46
Le mouflage.....	46
Le moufle fixe	46
IV.STRATIGRAHIE ET LITHOLOGIE	46
V.ESSAIS DE POMPAGES	47
V.1. Essais par palier et palier définitif	47
<i>Conclusion</i>	48

Liste des formes

FIGURE 01	Situation géographique OUARGLA	3
FIGURE02	Image représente les frontières de la wilaya d'OUARGLA	4
FIGURE03	Localisation du forage (Google Maps)	5
FIGURE04	Température moyenne mensuelle à Ouargla	6
FIGURE05	Répartition annuelle des pluies à Ouargla sur la période 1989-2006(ONM) [14]	8
FIGURE06	Courbe de variations de vitesse mensuelle des vents en m/s (2008-2018)	8
FIGURE07	Les nappes aquifères du Sahara Algérien ; Le Continental Intercalaire - Le Complexe Terminal (UNESCO, 1972)	11
FIGURE08	Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface Piézométrique du CI (ERESS 1972)	13
FIGURE09	Sonde de forage rotary.	17
FIGURE10	Sonde de forage au marteau fond de trou.	18
FIGURE 11	Sonde de forage par Battage.	19
FIGURE 12	Les types des crépines.	21
FIGURE 13	Emplacement du massif filtrant dans le forage.	22
FIGURE 14	a. Sonde compensée.b. Diagraphie acoustique.	28
FIGURE 15	Gamma-ray.	30
FIGURE 16	Exemple de gamma-ray.	31
FIGURE 17	Appareillage de diagraphie de densité et enregistrement.	32
FIGURE 18	Exemple de gamma - gamma.	33
FIGURE 19	Transformation du gamma-gamma en courbe de densité.	34
FIGURE 20	Courbe caractéristique de forage d'AEP à 27 février Ouargla	35
FIGURE 21	Courbe de la descente forage d'AEP 27 février Ouargla	36
FIGURE 22	Courbe de la remonter forage d'AEP 27 février Ouargla	37
FIGURE 23	Diagraphie 27 février Ouargla	
FIGURE 24	La table de rotation	41
FIGURE 25	La Tige Carrée	41
FIGURE 26	Les tiges de forage	42
FIGURE 27	Les outils utilisés	43
FIGURE 28	Bassins	44
FIGURE 29	Le lisier passe de la pompe à la tête d'injection	44
FIGURE 30	Système de levage	45

Liste des tableaux

N° du tableau	<i>Titer de tableau</i>	<i>Page</i>
Tab 01 :	Précipitations moyennes annuelles (mm) sur la période (1989-2006) (ANRH)	7
Tab 02:	population de la région d'Ouargla source (O N S)	10
Tab 03:	Évolution de la population	10
TAB 04 :	Programme de boue pour les forages CI.	23
Tabl 05 :	Vitesses dans les fluides et les matrices.	29
TAB 06 :	Type de Tiges utilisés	42
TAB 07 :	Les outils utilisés	43
TAB 08 :	Les résultats des essais	47
TAB 09 :	Les résultats de mesures sont résumés	48

INTRODUCTION GÉNÉRALE:

Ces dernières années, la wilaya d'Ouargla a connu une augmentation rapide de Population et développement agricole. Cette situation est engendre une très grande demande de mobilisation de ressources en eau. L'aquifère du complexe terminal est formé Les principales sources d'eau dans le Sahara. Parmi les problèmes on trouve communautés qui souffrent d'un déficit du système d'approvisionnement en eau Commune de Ouargla, qui affecte la disponibilité de l'eau ainsi que l'alimentation, et d'autre part un problème après arrondi vers réseau d'adduction d'eau potable. Dans ce cadre, un projet de construction d'un puits d'eau a été enregistré. Captage de la nappe du Complexe Terminal (CT) qui sera destinée à alimenter les citoyens une localité en pleine croissance dans la partie sud-ouest de l'État.

Le but de notre travail est de suivre pas à pas les différents technique de réalisation d'un forage à savoir la préparation, les travaux annexes comme la plate-forme le bassin de circulation de la boue le forage de reconnaissance, le reforage, l'emplacement du tube guide, le tubage la crépine, le cimentation et les phénomènes géologiques, ainsi que la méthode de test de débit utilisées.

CHAPITRE I :

Généralités sur la zone d'étude

INTRODUCTION :

Ce chapitre présente les traits majeurs du milieu d'étude notamment la localisation géographique du terrain, le cadre climatique. Ces éléments vont contribuer à situer le système aquifère dans le contexte régional et à identifier les éléments utiles à la compréhension des problématiques abordées au cours de l'étude.

I. CADRE GÉNÉRALE DE LA ZONE D'ÉTUDE :

I.1.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE :

La ville de Ouargla est située dans une dépression appelée « cuvette de Ouargla » qui couvre une superficie de 140 000 hectares. Elle inclut les agglomérations de Ouargla, N'Goussa, Rouissat, Ain El Beida et Sidi Khoulied.

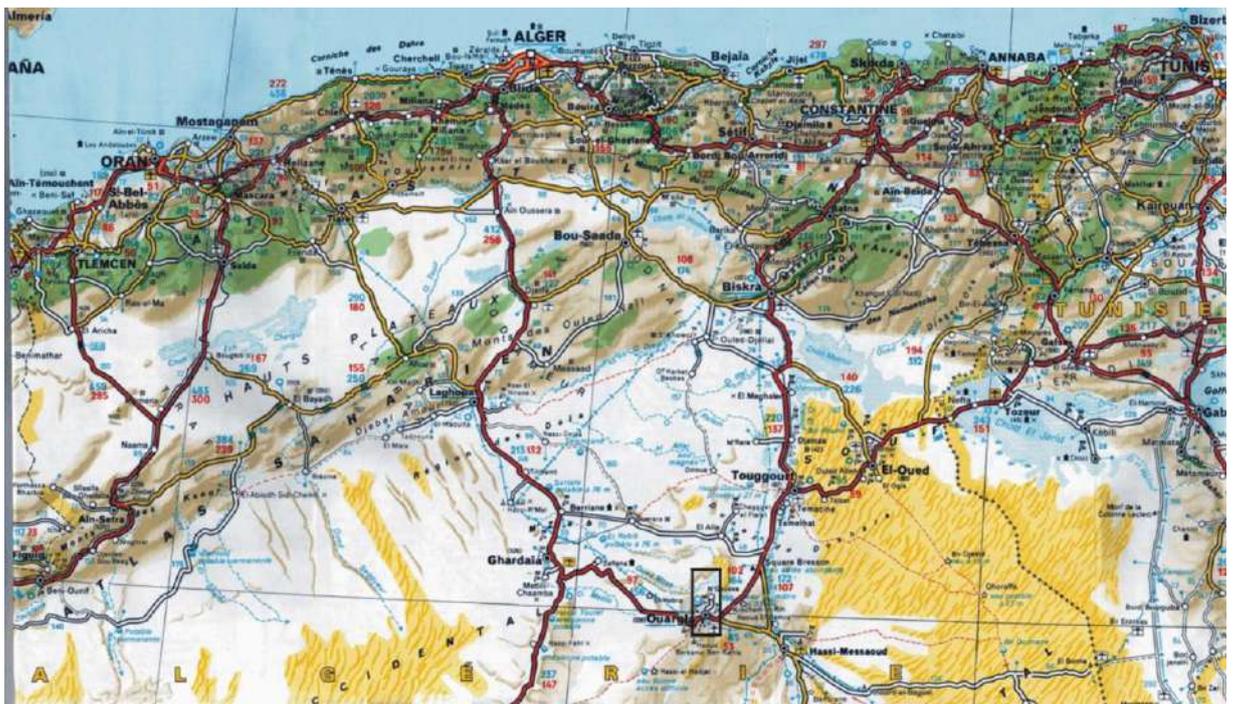


Figure N°1: Situation géographique d'Ouargla

I. 2 . LES LIMITÉE ADMINISTRATIVEMENT:

Elle est limitée administrativement au :

- Du nord-ouest, province de Ghardaïa
- De l'est, les villes de Sidi Khuwaylid et Ain Al-Bayda
- Du sud, la commune de Ruwaisat
- De l'ouest, la province de Ghardaïa

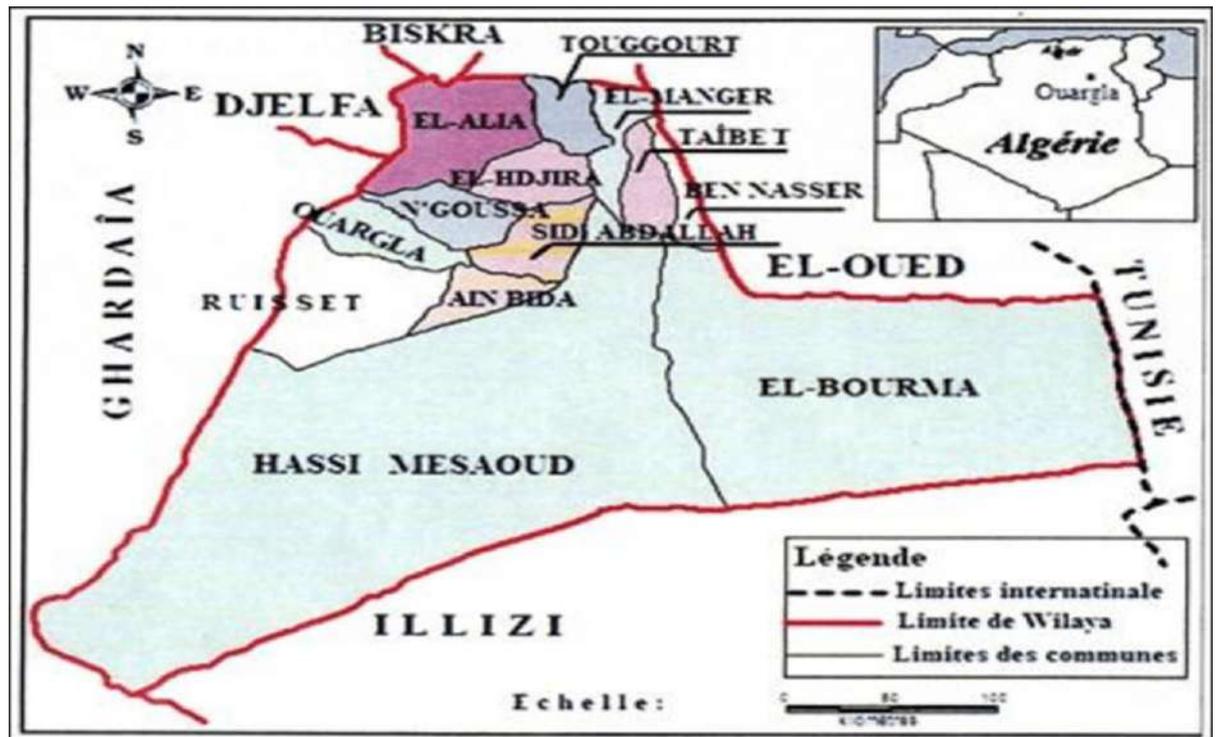


Figure N°2. Image représente les frontières de la wilaya d'Ouargla

I. 3.LOCALISATION DE FORGE

Le forage d'eau qui fait l'objet de ce suivi est situé dans la zone 27 Février, à proximité de l'ensemble immobilier ADL

Coordonnées de forage (GPS) : X : 31° 55'14.8" N. Y : 5° 18'25.8".

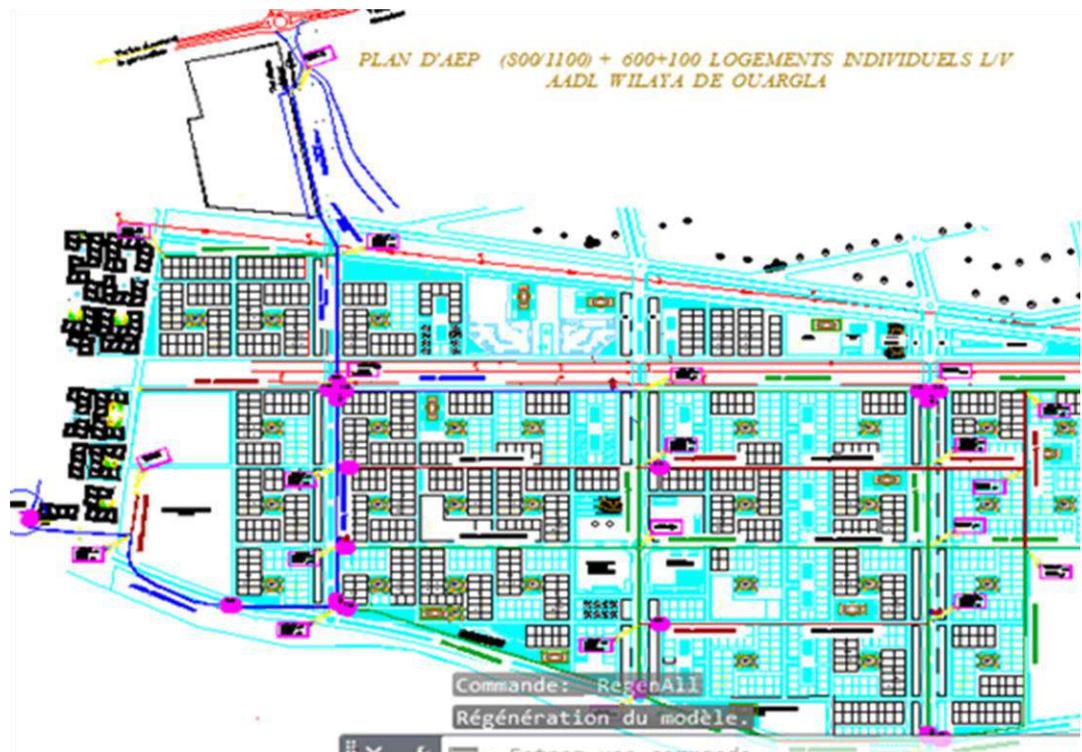


Figure N°3. LOCALISATION DE FORGE

II. CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES :

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 d'Ouargla, 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.

II.1. LES TEMPÉRATURES :

Dans notre zone d'étude, la température influe grandement sur les autres paramètres météorologiques tels que l'évaporation et le taux d'humidité de l'atmosphère. Elle est donc un paramètre déterminant dans le calcul du bilan hydrologique. Cela va être présenté sur la courbe des variations des moyennes mensuelles des températures.

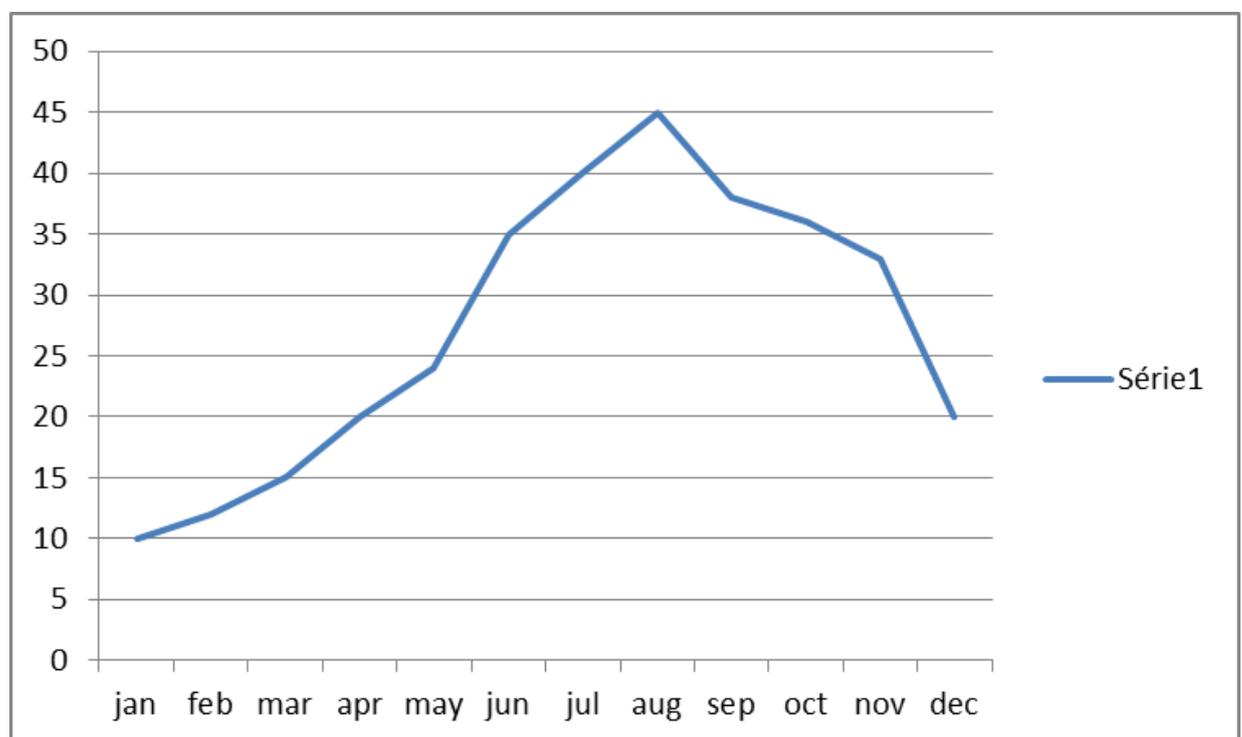


Figure N°4. Température moyenne mensuelle à Ouargla

Le diagramme de la température maximale à Ouargla indique le nombre de jours par mois qui atteignent certaines températures. , l'une des villes les plus chaudes du monde, en juillet il n'y a pratiquement pas un jour avec des températures inférieures à 40°C

II.2. PLUVIOMETRIE :

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 41,16 mm, janvier est le mois le plus Pluvieux (9 mm) et août le plus sec (1mm en moyenne). Le tableau 01 donne les précipitations moyennes annuelles sur la période (1989-2006).

Tab 01 : précipitations moyennes annuelles (mm) sur la période (1989-2006) (ANRH).

Année \ Mois	Mois												TOTAL
	<u>Sept</u>	<u>Oct</u>	<u>Nov</u>	<u>Dec</u>	<u>Jan</u>	<u>Fev</u>	<u>Mars</u>	<u>Avril</u>	<u>Mai</u>	<u>Juin</u>	<u>Juil</u>	<u>Aout</u>	
1989 / 1990	0	0	10,6	5	0	0,2	4,9	0	0	1	3	0	24,7
1990 / 1991	0	0	2,5	25,1	7,7	0	7,8	7	0	0	0	0	50,1
1991 / 1992	0	0	13,6	22,4	0	6,7	0,9	0	0	0	0	0	43,6
1992 / 1993	0	0,4	13,3	2	3,8	0	9,5	2,2	0	0	0,6	0	31,8
1993 / 1994	23,6	18	5,3	1,5	0,7	0	14,4	0	0	0	0	0	63,4
1994 / 1995	13,7	17	3,7	4,5	27,5	5,4	9,6	2,8	0,6	0,2	0	0	84,5
1995 / 1996	5,7	0	0	0,7	0	2	0	8	0,2	0	0	0	16,6
1996 / 1997	17,5	10	0	10,8	0	0,8	2,9	5,8	0	2,8	0	0	50,7
1997 / 1998	6,4	0	2,1	1,6	19,8	0,4	0	0	0	0	0	0	30,3
1998 / 1999	1	1,3	21	6,4	0	0	3,2	0	18	0	0	0	51,1
1999 / 2000	0	31	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	31
2000 / 2001	2,5	2,4	1,6	5	0,1	0	0	0	0	0	0	1,5	13,1
2001 / 2002	0,1	6,4	2,5	0	12,5	5,5	8,9	0	0	0	0	1,4	37,3
2002 / 2003	3,9	3,8	1	0,6	13,6	0	0,6	5,4	0	1,2	0	8,2	38,3
2003 / 2004	0	16	36,5	10,9	0	0,2	0	0	0	0	0	0	63,3
2004 / 2005	9,2	3,2	16,5	1,9	9,9	0,5	0,8	4,7	0	0,1	0	0	46,7
2005 / 2006	3,2	2	17,2	0	0,94	0	0	0	0	0	0	0	23,34

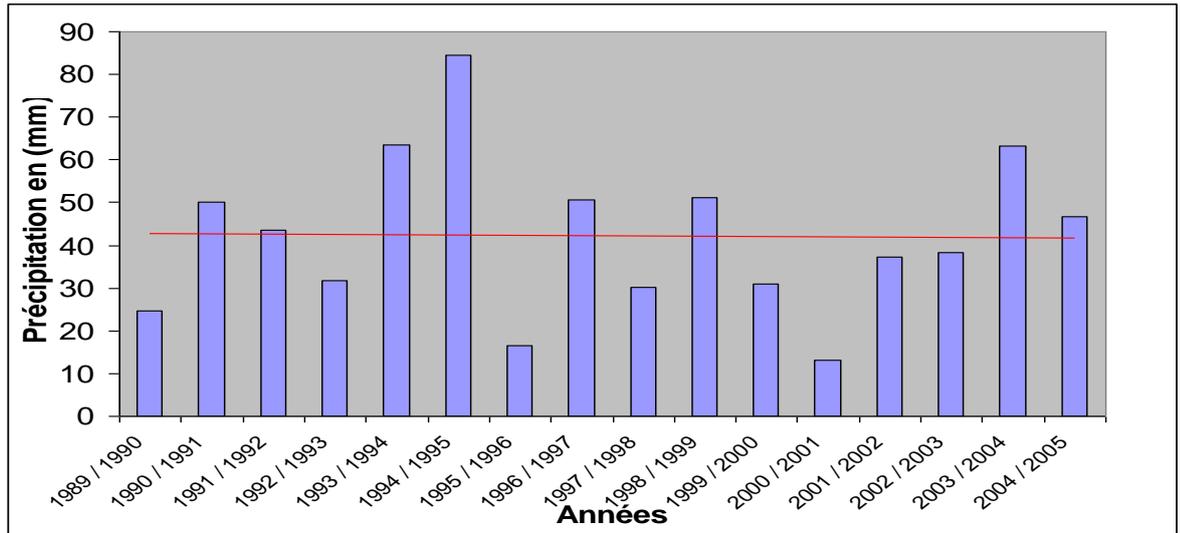


Figure N°5. Répartition annuelle des pluies à Ouargla sur la période 1989-2006(ONM) [14]

II.3. LE VENT :

Le vent est un élément le plus caractéristique du climat. Il est déterminé par sa direction, sa vitesse et sa fréquence. Les vents soufflants de l'Est vers le Nord-est sont les plus dominants provenant de la méditerranée, ils sont chargés d'humidité. Les vents soufflants du Sud vers le Sud-ouest sont moins fréquents (Secs et chauds).

Au printemps les vents sont plus forts, le vent d'Est appelé communément EL BAHRI souffle principalement pendant la période s'étalant des mois d'avril à juillet.

En été, il apporte de la fraîcheur, par contre il est peu apprécié au printemps car il donne naissance au vent de sable, donnant au ciel une couleur jaune, il peut durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse moyenne de 50 à 60 Km/h.

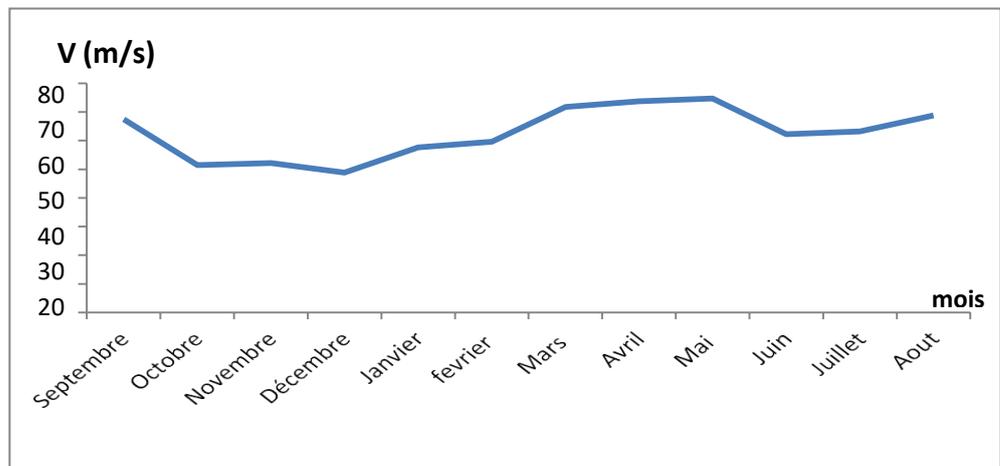


Figure N°6: Courbe de variations de vitesse mensuelle des vents en m/s (2008-2018)

II.4. SYNTHÈSE CLIMATIQUE DE LA RÉGION :

Le graphique d'Ouargla montre le nombre de jours par mois, pendant lesquels le vent atteint une certaine vitesse, car la mousson génère des vents forts continus de décembre à mai, et des vents calmes de juillet à octobre.

Le climat désertique prévaut dans la Wilayat de Ouargla, caractérisé par une faible pluviométrie, des températures élevées et une forte évaporation. Les températures moyennes mensuelles de l'année (2002) ont été enregistrées au mois de juillet (37,5 °C à Hassi Messaoud et (37) °C à Ouargla, alors qu'au mois de janvier, la température atteint (9.5) °C et pareil à Ouargla, et la température maximale dépasse souvent (45) °C et la plus basse est inférieure à (0) °C

Le phénomène des précipitations dans l'état est peu nombreux et irrégulier, allant de 50 mm à 350 mm annuels, notant que la moyenne annuelle des précipitations en 2002 a atteint 329 mm à Tougourt et 149 mm à Ouargla. La zone est connue sous le nom de vents de Sirocco, qui sont chauds et secs.

II. LA POPULATIN :

La région d'Ouargla comprend trois communes à savoir : Ouargla, Rouisset, et Ain beida. Le nombre de la population tel que issue des recensements est donné dans le tableau ci-dessous :

Tab 02: population de la région d'Ouargla source (O N S)

Code commune	commune	Population					
		1977	Dont agglo	1987	Dont agglo	1998	Dont agglo
1	Ouargla	47800	45989	75273	74999	112339	111586
2	Ain Beïda	7100	5605	9684	9549	14500	14321
5	Rouisset	9400	6191	19410	19171	37814	37615

Alors les taux d'accroissements de la population agglomérée sont : 3.5% pour Ouargla, 3.6% pour Ain beida, et 6.0% pour Rouisset.

L'évolution de la population est estimée dans le tableau ci-après :

Tab 03 : Évolution de la population

Commune	Population d'après Recensement 1998	Estimation de la population		
		2004	2005	2006
Ouargla	111586	137167	141968	146937
Ain Beïda	14321	17706	18343	19004
Rouisset	37615	53357	56559	59952
Total	163522	208230	216870	225893

IV. Hydrogéologie général:

La cuvette d'Ouargla appartient au Bas Sahara algérien. Il s'agit d'un immense bassin sédimentaire, en forme de synclinal dissymétrique, particulièrement bien doté en couches perméables favorables à la circulation souterraine des eaux. Certaines, recouvertes de terrains imperméables, assurent l'existence de nappes captives alors que d'autres, situées au sommet des dépôts et sans couverture étanche, permettent la formation de nappes phréatiques.

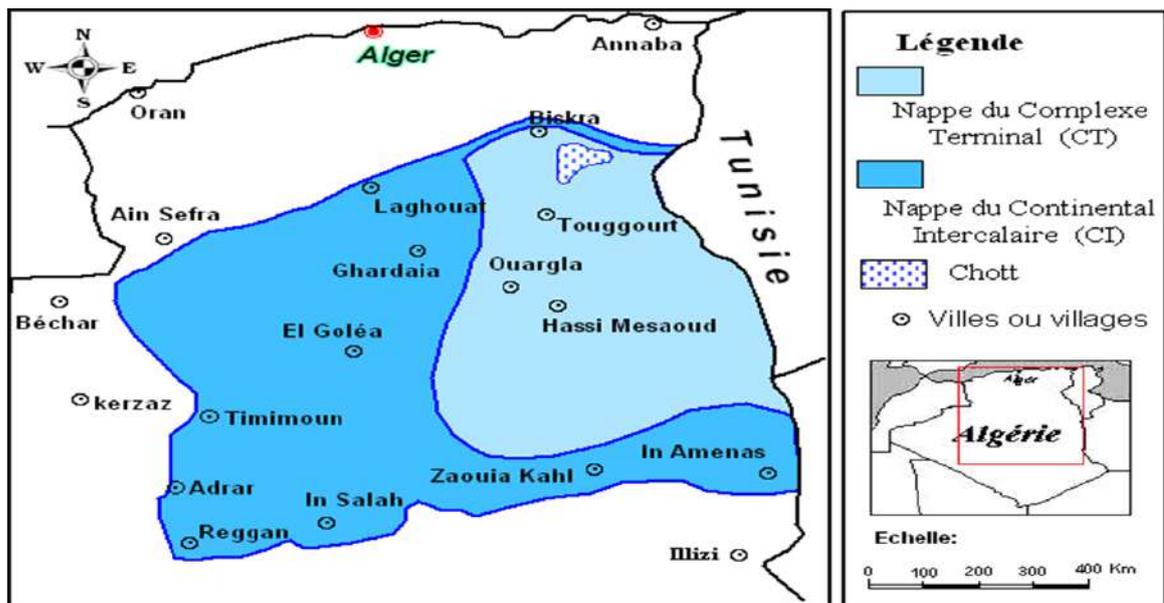


Figure 07: Les nappes aquifères du Sahara Algérien ; Le Continental Intercalaire - Le Complexe Terminal (UNESCO, 1972)

IV.1. Les nappes du Complexe Terminal :

Les formations du Complexe Terminal sont très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Mio-Pliocène. En fait, il est possible d'y distinguer trois corps aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables. Ces trois corps sont représentés par les calcaires et dolomies du Sénonien et de l'Eocène Inférieur, par les sables, grès et graviers du Pontien, et par les sables du Mio-Pliocène. La profondeur du Complexe Terminal est comprise entre 100 et 600 mètres et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m.

Selon un inventaire de l'ANRH en janvier 2005 les prélèvements de la nappe CT dans la cuvette d'Ouargla sont 83 Hm^3 pour 222 forages exploités, tandis que les prélèvements dans la région d'Ouargla sont 74 Hm^3 pour 191 forages exploités.

IV.2. La nappe du Continental Intercalaire :

La période quaternaire est constituée de sables éoliens et de sables limoneux, issus de la destruction de l'escarpement Moi-Pliocène, subdivisé localement par des lentilles d'argile sableuse et de gypse. Ces sables forment d'énormes accumulations dans le Grand Erg Oriental. A ce niveau on rencontre la nappe phréatique. Son épaisseur est variable.

Limites et morphologie du continental intercalaire

Le CI est limité au Nord par l'Atlas Saharien, à l'Ouest par l'axe Béchar- Régane et au Sud par l'axe Régane- 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. 12
- ✓ Le bassin Oriental qui englobe le Bas Sahara (Belksir 2009).
- ✓ Continentale Intercalaire est comprend une limite supérieure beaucoup plus uniforme que sa limite inférieure par La transgression Cénomaniennne.
- ✓ le Continentale Intercalaire, se termine assurément en biseau sur les anciens reliefs hercyniens, dans la périphérique mais il atteint très vite une grande puissance dans les anciennes cuvettes d'accumulation. (Bouznad 2009).

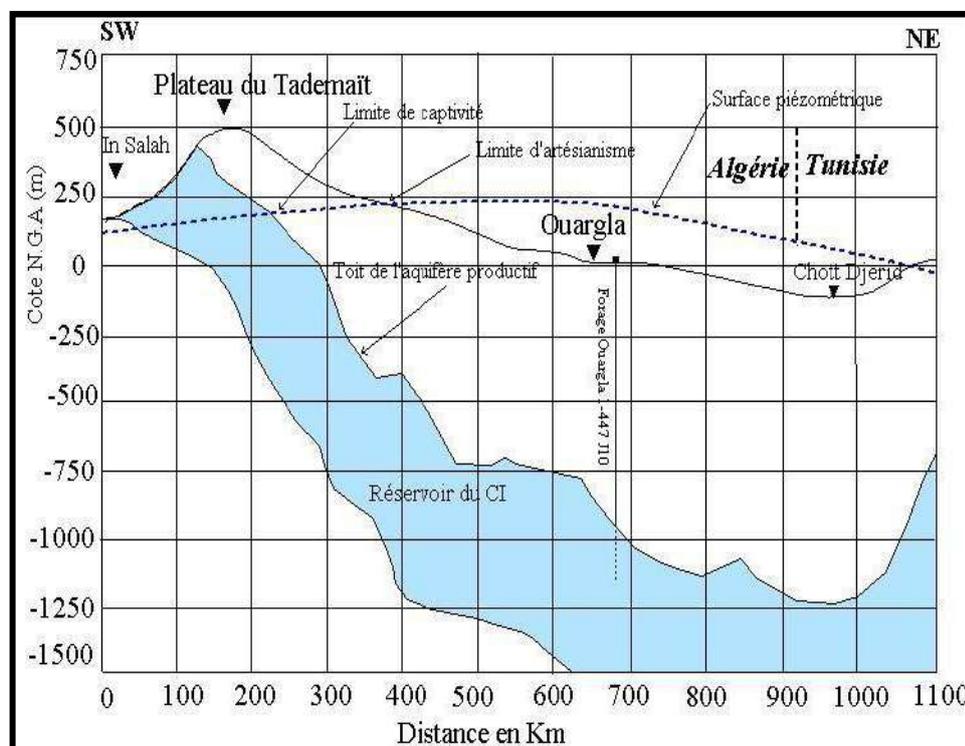


Figure 08: Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface Piézométrique du CI (ERESS 1972)

IV.3. La nappe phréatique :

La nappe phréatique se situe dans les couches sable gypseuses quaternaires de oued MYA, cette nappe coule de SUD vers le NORD en infero-flux. Sa surface libre où la frange capillaire se manifeste souvent sur le sol sous forme de petits chotts qu'on trouve de part et d'autre de la ville d'Ouargla. Cette nappe est alimentée par les eaux d'irrigation, les fuites de réseau d'AEP ainsi que les eaux usées et les rares précipitations qui contribuent à alimenter la nappe.

Le réseau de surveillance et de contrôle de la nappe phréatique est constitué de 157 piézomètres, selon les études effectuées, le sens d'écoulement des eaux est en général d'orientation nord où il arrive au niveau de sebkhat Sefioune qui est le principal exutoire. Les eaux de cette nappe présentent une forte minéralisation en sels dissous, cette forte minéralisation est due au phénomène de dissolution des sels contenus dans les sables gypso argileux du quaternaire et la concentration des sels par évaporation.

CONCLUSION :

Le climat de la région se caractérise par une grande sécheresse de l'atmosphère laquelle se traduit par un énorme déficit, et d'évaporation considérable ainsi la très forte insolation due à la faible nébulosité qui sous cette altitude donne l'importance accrue aux phénomènes thermiques.

Le climat saharien se caractérise par des étés aux chaleurs torrides et des hivers doux surtout pendant la journée.

Au cœur du Sahara on peut assister à des phénomènes inhabituels comme les pluies torrentielles durant certaines années exceptionnelles.

Les ressources en eau, qui existent dans la zone d'étude, sont, essentiellement, d'origine souterraine, donc la zone d'étude se compose des nappes suivantes :

- ❖ La nappe du complexe terminale ;
- ❖ La nappe du continental intercalaire ;
- ❖ La nappe phréatique.

CHAPITRE II :

Les techniques de Forage

► GENERALITÉS 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 permettant 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.

I – 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.

La partie suivante précisera les modalités de sélection de ces méthodes selon les critères usuels pour le domaine de l'eau minérale.

I – 1 – Le Forage rotary à 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 – 2 – 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.

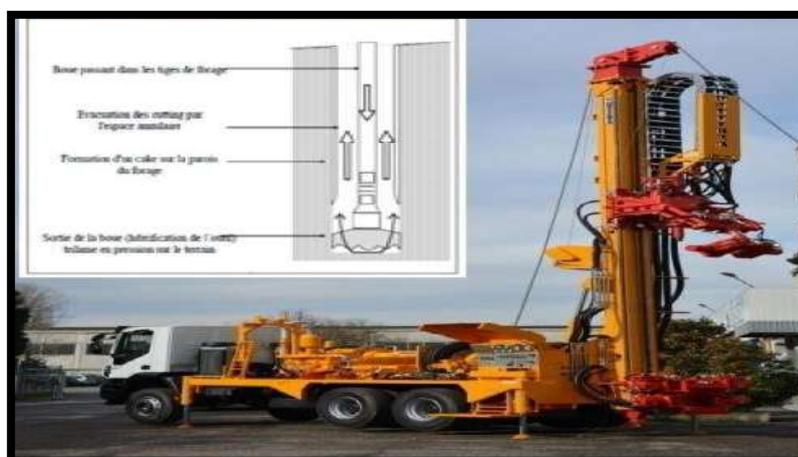


Figure 09 : Sonde de forage rotary.

Il existe également des tiges à double parois qui assurent l'injection et la remontée du fluide par l'intermédiaire des seules tiges.

I. 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 alésoir 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'alésoir 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.



Figure 10 : Sonde de forage au marteau fond de trou.

1 – 4 – Forage au marteau fond de trou (MFT) :

Cette méthode de forage 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 – 5 – 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.



Figure 11 : Sonde de forage par Battage.

II – ÉQUIPEMENT 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.

II – 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.

II – 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 :

- 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 profilé » 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.

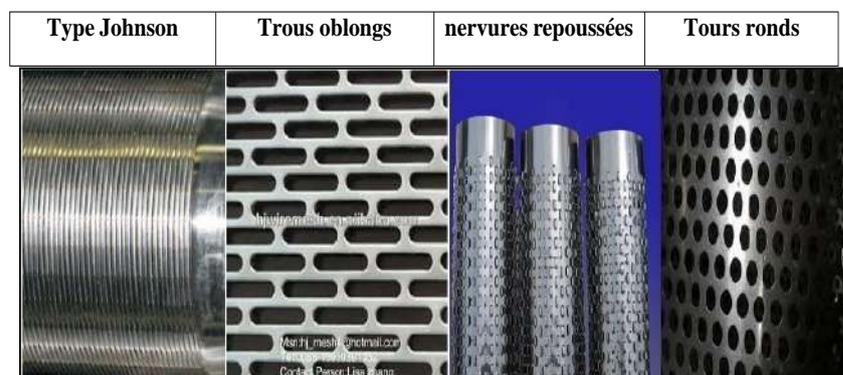


Figure 12 : Les types de crépines.

II – 3 – Le massif filtrant :

Le massif filtrant (Figure.13) 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.

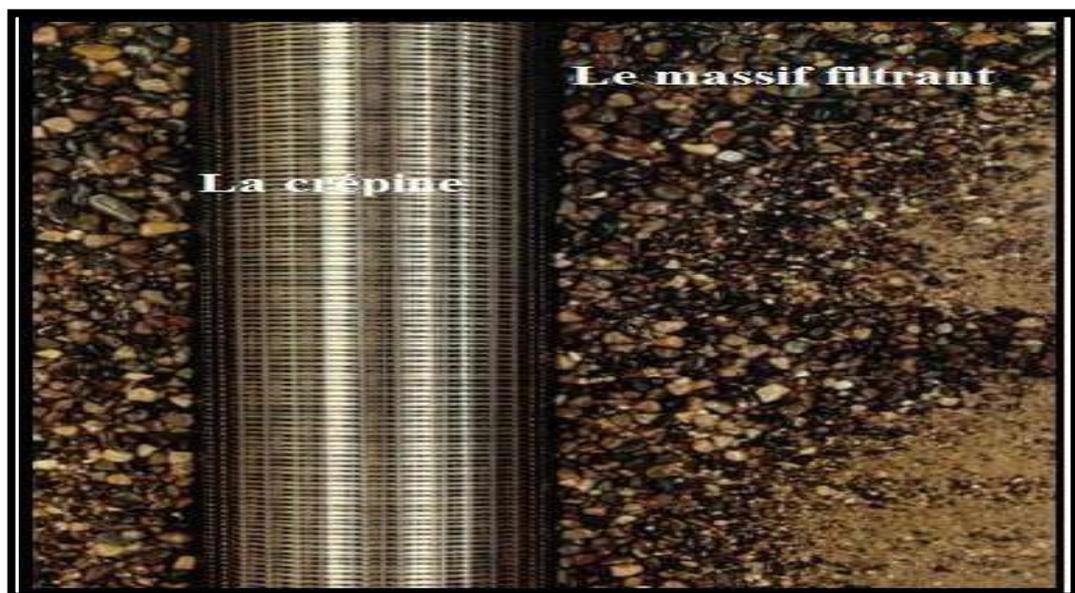


Figure 13 : Emplacement du massif filtrant dans le forage.

I – 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. 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.

III.1 .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 :

	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

TAB 04 : Programme de boue pour les forages CI.

III .2.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.

III.3. 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 1ère quart heure.
- ▶ toutes les 5 minutes jusqu'à de la 2ème quart heure.
- ▶ toutes les 10 minutes jusqu'à de la 1ère heure.
- ▶ toutes les 15 minutes jusqu'à de la 2ème heure.
- ▶ toutes les 30 minutes jusqu'à de la 3ème 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

III.4. 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.

CHAPITRE III :

Diagraphies

I. Introduction

Les diagraphies sont des enregistrements, dans un sondage, de mesures de paramètres physiques caractéristiques des formations traversées.

Remarque : Avant de pouvoir utiliser les diagraphies il faut faire une différence entre les forages exécutés au rocher, et qui sont le plus souvent en trou ouvert, et ceux exécutés en terrains meubles et donc tubés pour éviter l'effondrement des parois.

Définition : Une diagraphie instantanée enregistre les caractéristiques de la formation pendant le forage.

Définition : Une diagraphie différée détermine les caractéristiques de la formation après le forage.

II. Diagraphie acoustique :

II.1 Appareillage :

Un appareil de diagraphie acoustique consiste en un ou deux émetteurs et deux à quatre récepteurs, tous disposés dans un instrument nommé sonde ; celle-ci est descendue dans le forage.

La figure 1.a représente la sonde sonique à compensation de Schlumberger. Elle se compose de deux sources d'impulsions sismiques S1 et S2 et de quatre récepteurs R1 à R4 : l'intervalle R1R3 est égal à l'intervalle R2R4, soit 2 ft. La vitesse se déduit de la mesure des différences de temps d'arrivées d'une impulsion émise en S1 et reçue par R2 et R4 et, de la même manière, de S2 à R3 et R1 : on prend la moyenne des durées de trajet dans les deux sens.

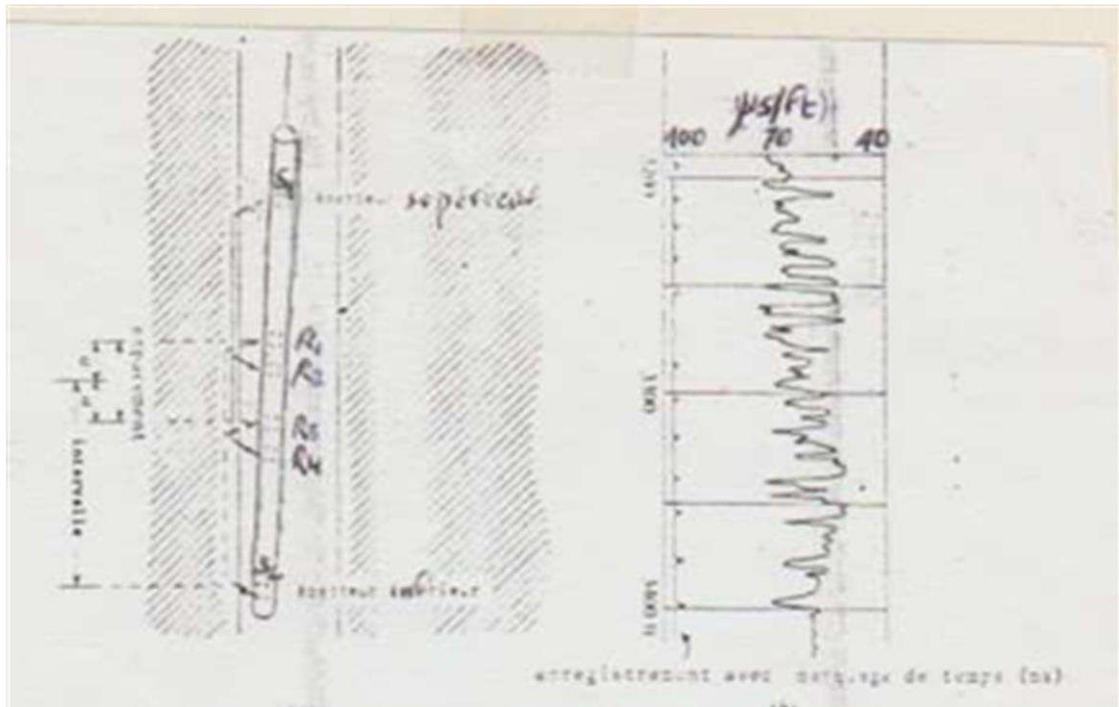


Figure 14 (a et b) : a. Sonde compensée. b. Diagraphie acoustique.

Le log sonique (figure 1.b) se présente comme le rapport du temps de trajet entre deux récepteurs (en $\mu\text{s} / \text{ft}$), en fonction de la profondeur.

II.2 Détermination de la porosité :

L'enregistrement indique le temps mis par l'onde acoustique pour parcourir l'unité de distance ($\mu\text{s} / \text{ft}$). On en déduit la porosité, à l'aide de la formule empirique de Willye appelée équation de temps moyen :

$$\Delta t = 1 - V_r = \Phi V_f + (1 - \Phi) V_m \quad \Phi = \frac{\Delta t - \Delta t_m}{\Delta t_f - \Delta t_m}$$

Avec :

Δt : temps de trajet dans la formation.

V_r : vitesse mesurée dans la formation.

V_f : vitesse dans le fluide qui remplit les pores.

V_m : vitesse de la matrice.

Φ : porosité de la matrice.

Les vitesses de diverses matrices sont données dans le tableau 1.

Matière	V_f ou V_m [ft / s]	Δt [μ s / ft]
Eau (pure à 20% de salinité)	5 250 - 4 600	190 - 217
Sel	15 000	66.7
Argile	16 000	62.5
Sables meubles	17 000	58.8
Sables consolidés	19 000	52.6
Calcaire	21 000	47.6
Dolomie	23 000	43.5

Tabl 05 : Vitesses dans les fluides et les matrices.

III. Diagraphies radioactives

III.1 Diagraphie gamma-ray

Le principe de la diagraphie gamma-ray est de mesurer la radioactivité naturelle. Cette méthode est le plus souvent employée pour mettre en évidence les couches argileuses qui contiennent des éléments radioactifs.

Le log d'une gamma-ray se présente sous la forme d'une courbe dont l'amplitude en fonction de la profondeur est graduée, généralement, en coups par seconde (cps). Les échelles couramment utilisées vont de 0 à 100, ou de 0 à 300 cps.

Remarque : Bien qu'essentiellement utilisée pour la reconnaissance des couches argileuses, la mesure gamma-ray est un excellent moyen de repérage de marqueur, à l'intérieur de couches

non-argileuses, renfermant des minéralisations susceptibles d'être détectées par leurs ions K, Th et U. ainsi, si les argiles sont toujours signalées par une réponse de la mesure gamma-ray, une déflexion positive de la courbe ne signifie pas toujours une présence d'argile. C'est le contexte géologique qui orientera l'interprétation (figures 2 et 3).

Remarque : Si la diagraphie est faite trop rapidement, l'effet de lissage peut, conduire à des résultats erronés (figure 3).

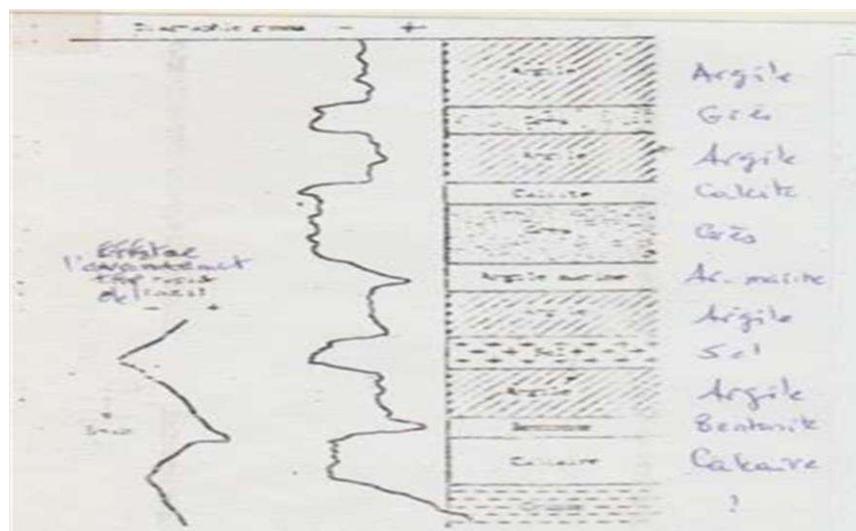


Figure 15: Gamma-ray.

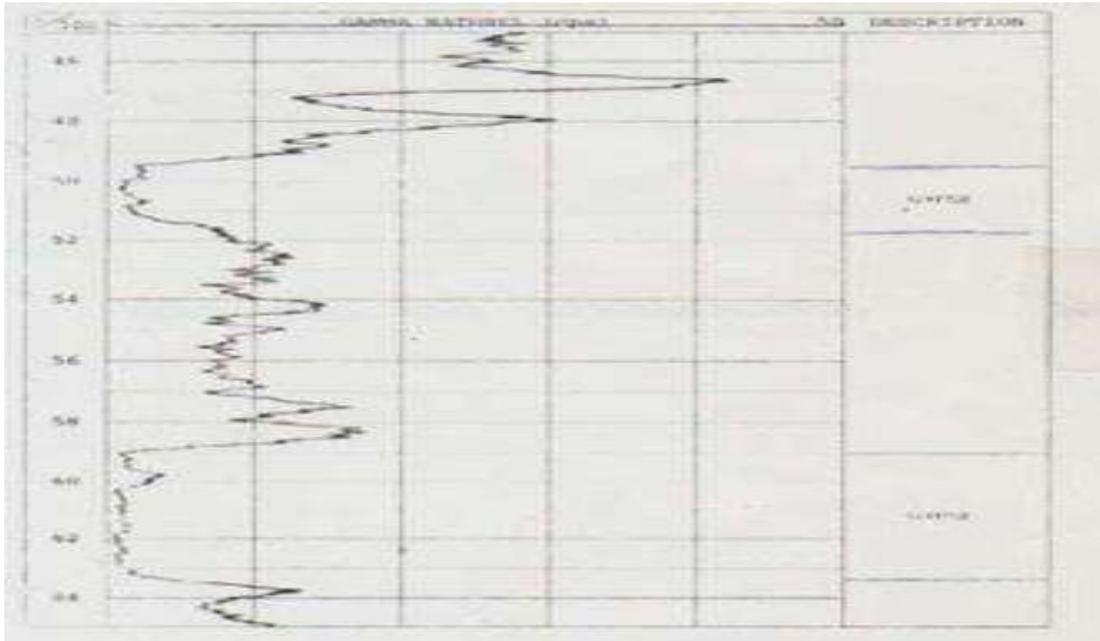


Figure 16: Exemple de gamma-ray.

III .2 Diagraphie gamma-gamma (diagraphie de densité) :

III.2.1 Principe

La diagraphie gamma-gamma est basée sur le principe de l'interaction entre une radioactivité incidente et les composants de la formation soumis au bombardement radioactif ; il s'agit de de radioactivité provoquée.

La formation est bombardée par un faisceau de rayons gamma provenant d'une source radioactive et un récepteur permet de mesurer le rayonnement gamma diffusé. On peut montrer que l'intensité du rayonnement diffusé est une fonction de la densité de la roche. Plus un terrain sera dense, plus le rayonnement sera amorti.

III.2.2 Appareillage

La figure 4 représente un schéma de l'appareil utilisé en diagraphie de densité. En bas de la sonde se trouve une source concentrée de rayons gamma, en général du Co60 ou bien du Cs137.

Le détecteur est un compteur à scintillations ; il est placé à 45 cm au-dessus de la source.

La sonde est appuyée par un ressort contre la paroi du forage. La source et le détecteur sont enveloppés d'un blindage plomb, à l'exception d'une fenêtre, face à la paroi ; ainsi, seuls atteignent le détecteur les rayons gamma qui ont traversé la formation adjacente.

Remarque : Le rayon d'investigation maximal est d'environ 15 cm. La plus grande partie du signal provient de la portion de roche située à moins de 7 cm de la paroi.

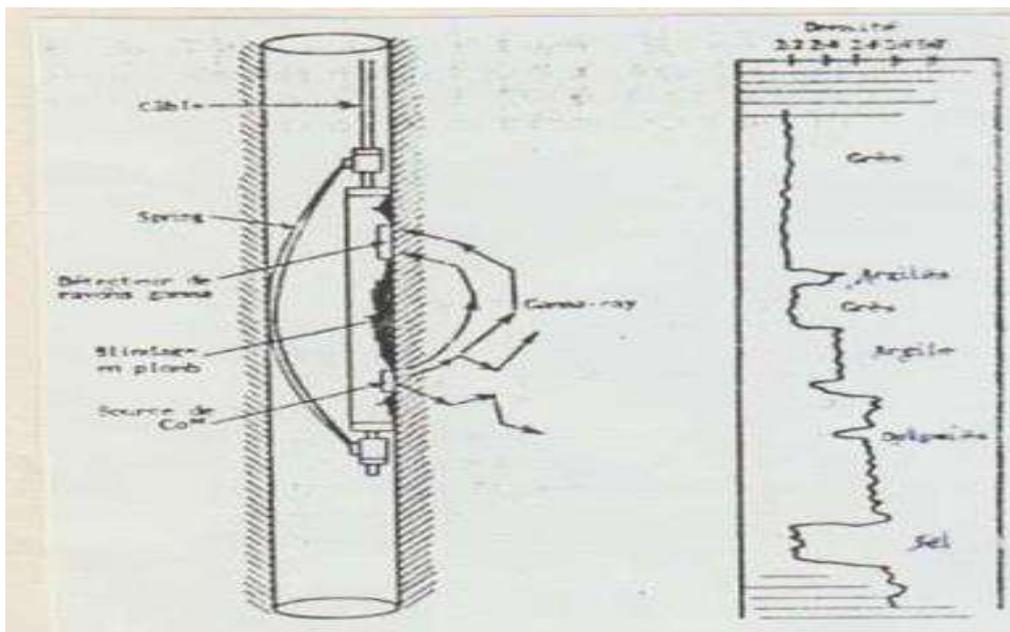


Figure 17: Appareillage de diagraphie de densité et enregistrement.

III.2.3 Courbe gamma-gamma :

Le document d'une diagraphie gamma-gamma se présente sous forme d'une courbe en cps (figure 5). Il est recommandé cependant d'inverser l'échelle de sorte que la densité augmente vers la droite.

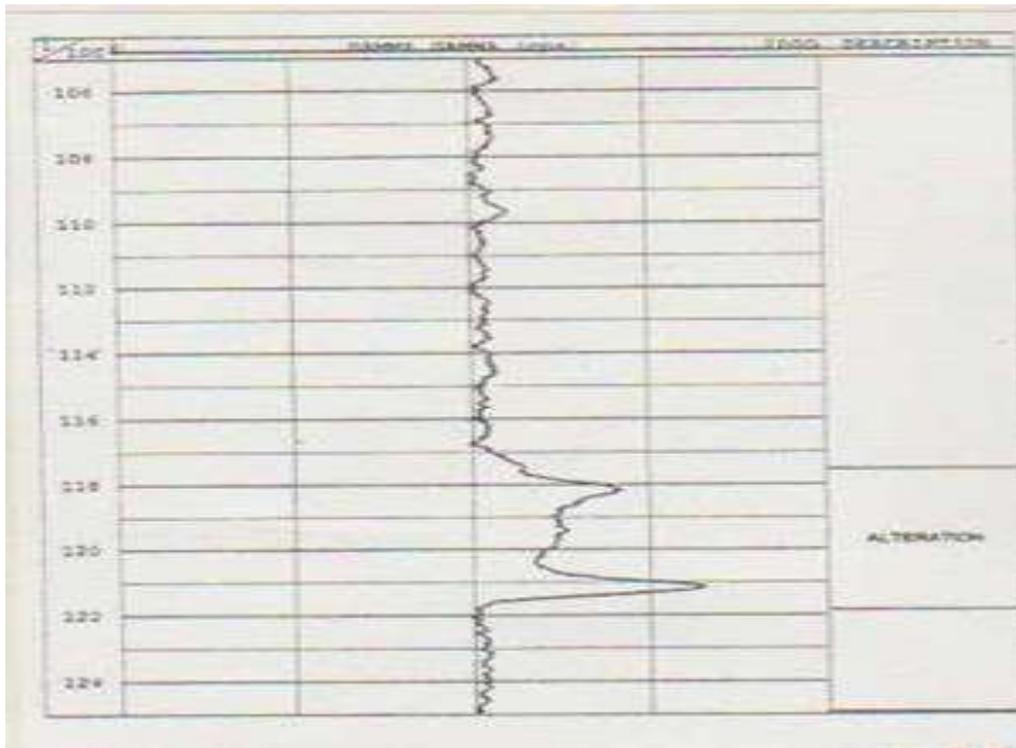


Figure 18: Exemple de gamma - gamma.

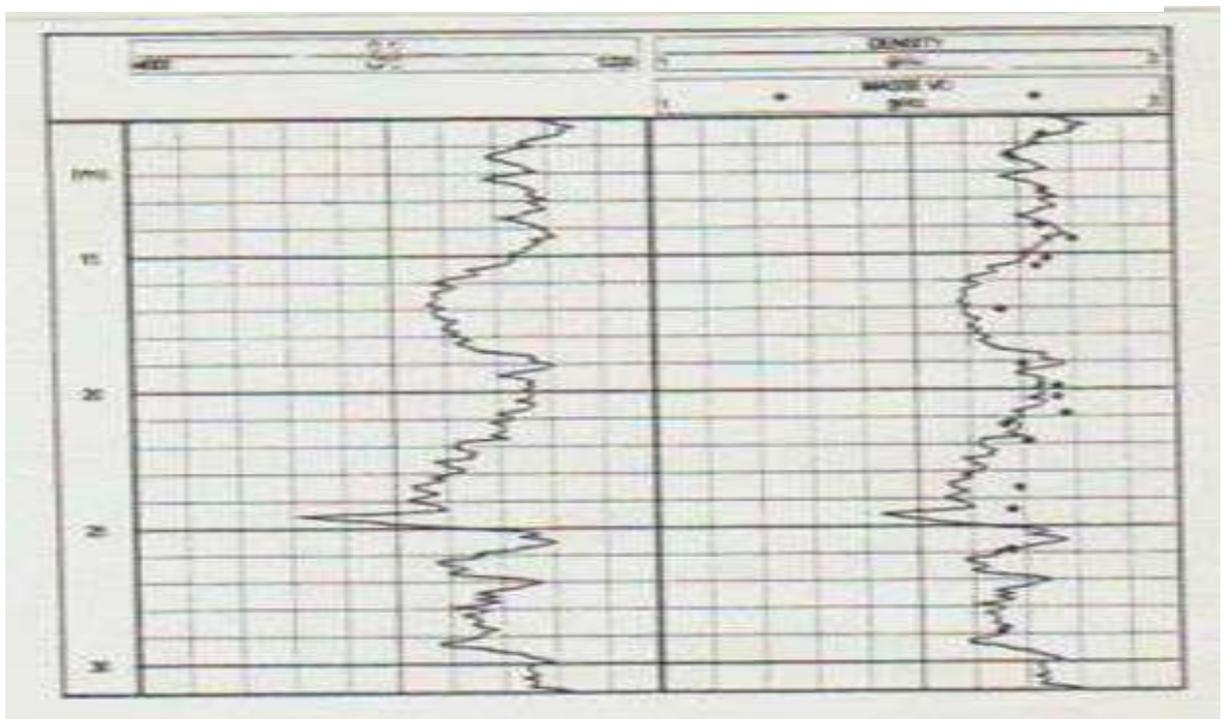


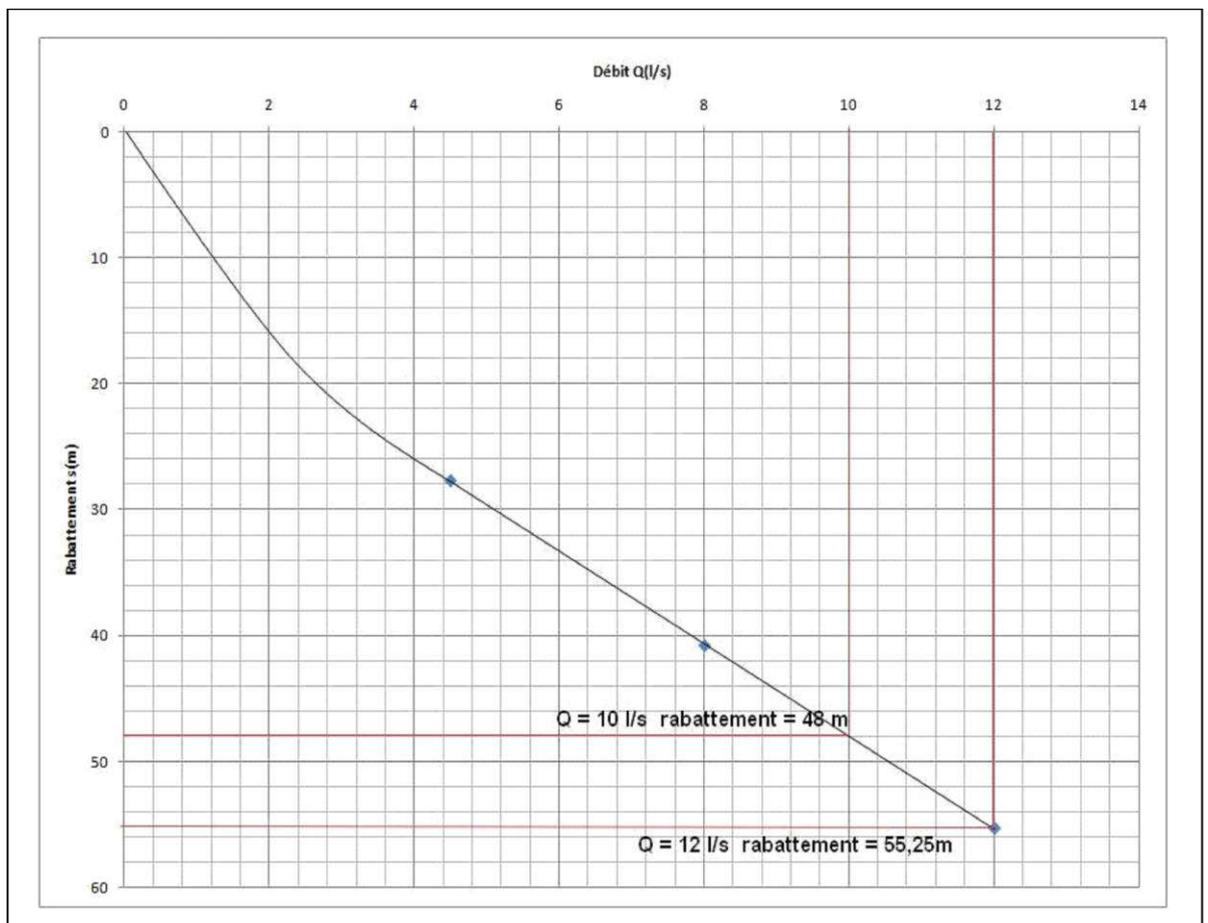
Figure 19: Transformation du gamma-gamma en courbe de densité.

Remarques :

- ▶ La courbe gamma-gamma peut donner de précieuses indications sur la lithologie (différences de densité). □ Les zones déconsolidées peuvent être mises en évidence
- ▶ . Cette mesure pourra aussi être utilement exploitée pour la vérification, par exemple, d'une injection d'un coulis de ciment.

La courbe caractéristique :

La courbe caractéristique à été établi d'après les résultats finale des essais par palier.



Courbe semi-logarithmiques de la descente et la remonter :

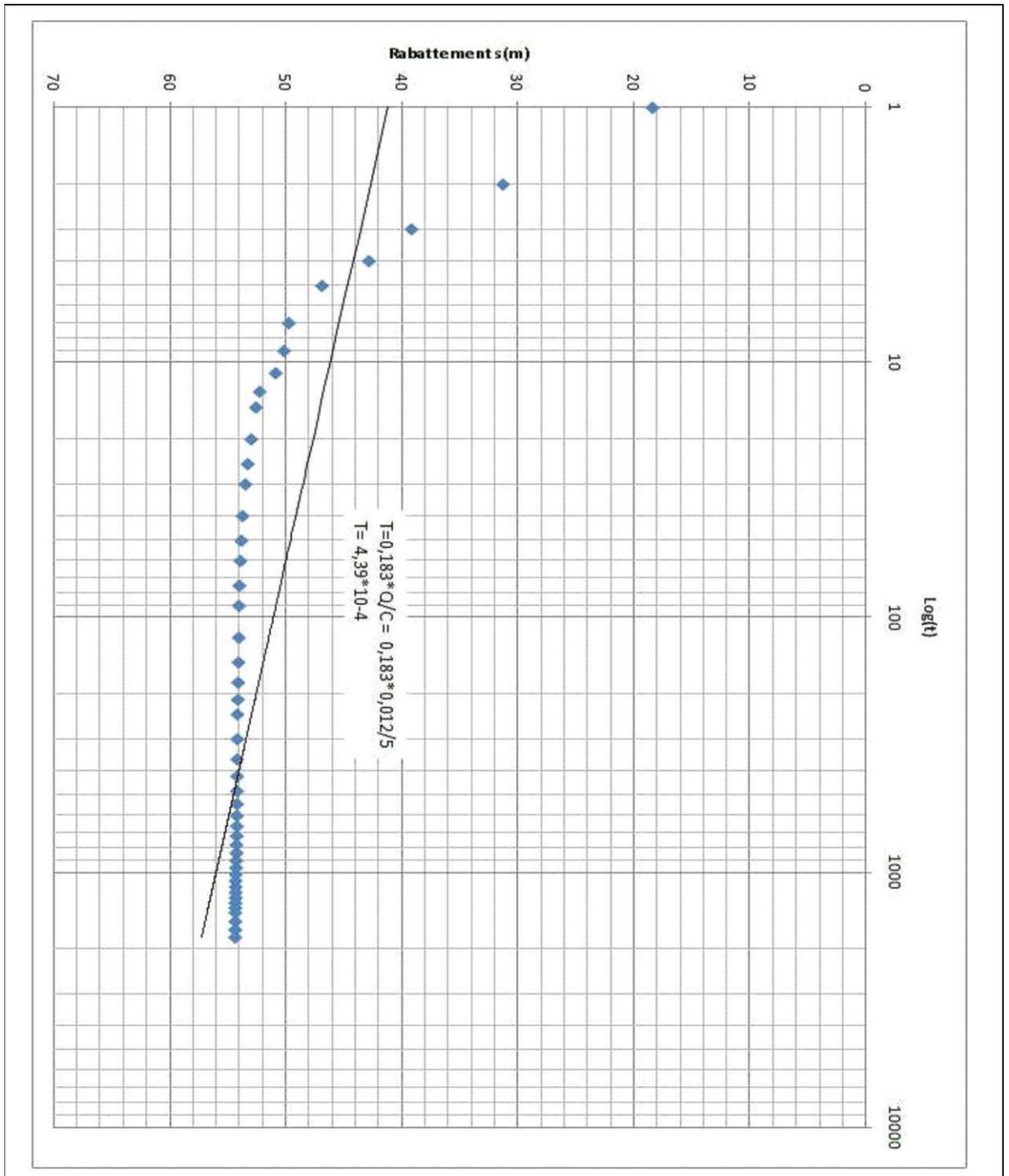


Figure 21: Courbe de la descente forage d'AEP 27 février Ouargla

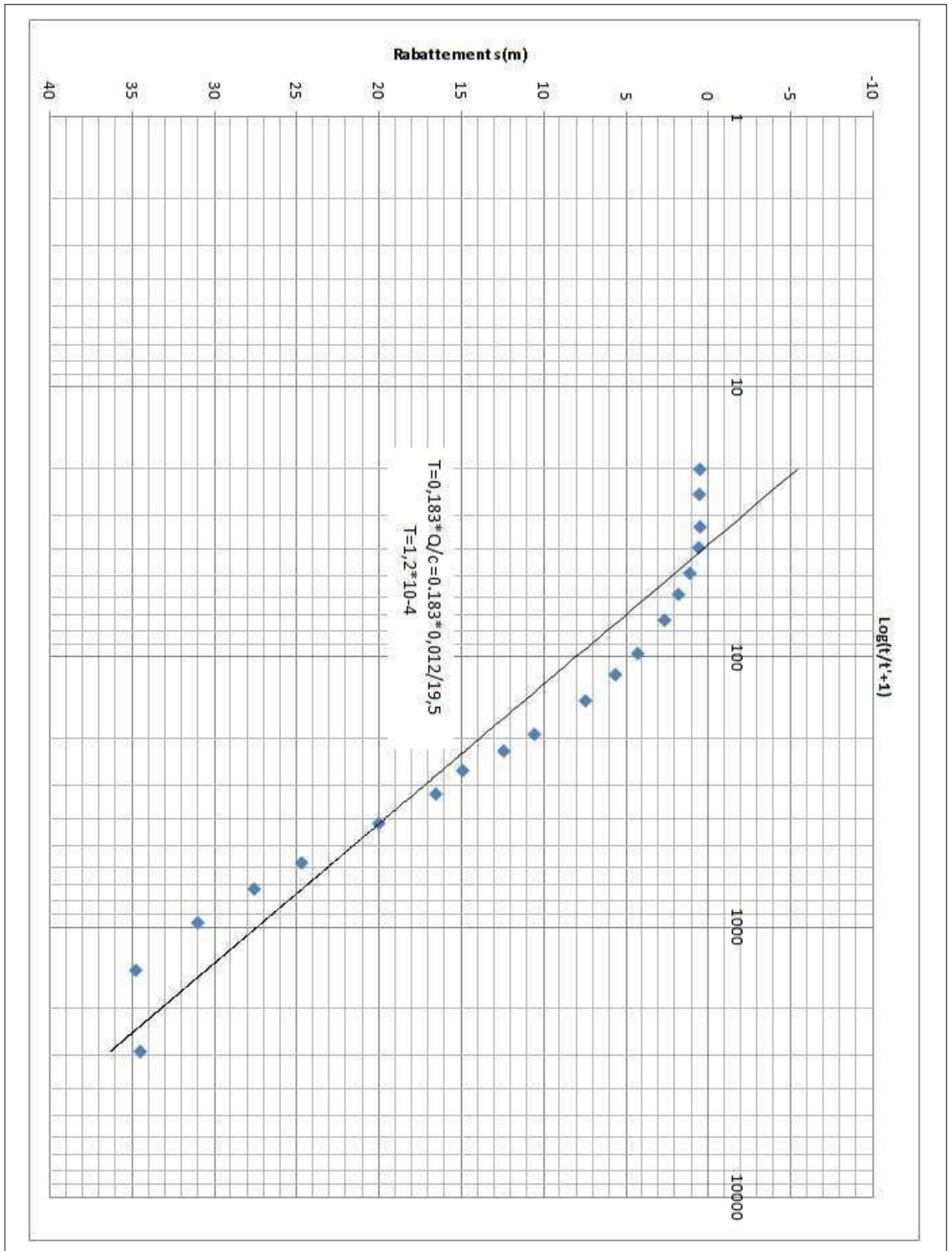


Figure 22:- Courbe de la remonter forage d'Aep 27 février Ouargla

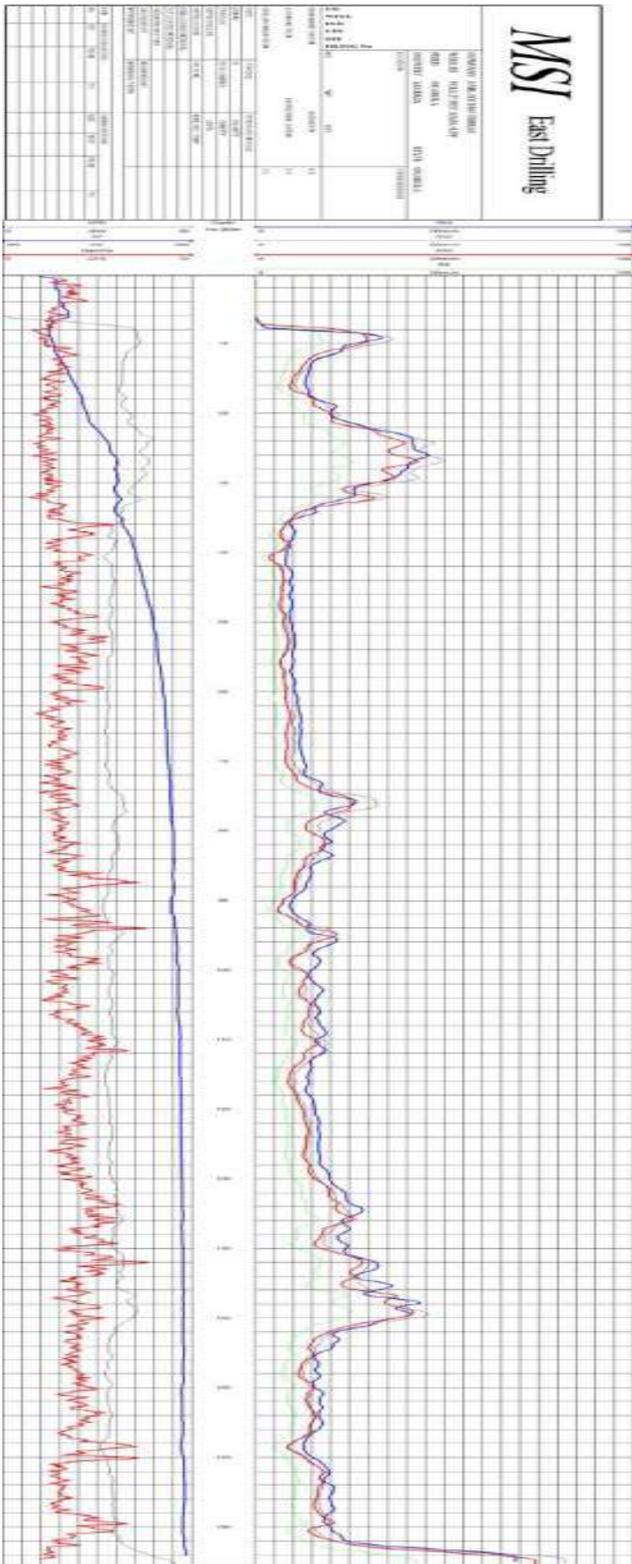


Figure 23:- Diagraphie 27 Février

CHAPITRE VI:

Suivi de Forage

Suivi de Forage Hydraulique dans la région 27 février :**I. Localisation du forage :**

Le forage est réalisé dans la commune de Ouargla, arrondissement de Ouargla, wilaya de Ouargla, les coordonnées du forage sont : X : 31° 55'14.8" N. Y : 5° 18'25.8".

II. L'objectif du forage

L'objectif du forage d'un puits dans la zone urbaine située le 27 février dans la commune de Ouargla est d'alimenter la zone en eau potable et utilisable à une profondeur de 200 mètres et sa technologie de forage est un procédé de forage rotatif moderne.

III. Construction du forage :**III.1. Réglementation du site de forage :**

Un chantier est limité dans l'espace et dans le temps. C'est à la fois le lieu où l'on va construire notre ouvrage et dans lequel on s'installe, il se compose de :

- ❖ les périmètres de sécurité d'un, rayon de 30m par rapport de l'axe de forage.
- ❖ L'appareil de forage installé sur une plate-forme de béton.
- ❖ La pompe à boue installée entre le bac à boue et l'appareil de forage.
- ❖ Espace de stockage des produits chimiques (bentonite et ciment...etc.).
- ❖ Bourbier de débile cutting et un réservoir d'eau.
- ❖ Un espace de stockage de matériel lourd (compresseur, tige de forage).
- ❖ Un bureau de géologue de chantier.

III.2. Technologie Rotative :

L'idée du forage rotatif s'étend depuis 3000 av. Il a été utilisé par les anciens Chinois puis les anciens Égyptiens, mais il n'a pas commencé à se répandre largement et de manière fiable avant la fin du XIXe siècle et le début du XXe siècle. L'idée, en général, est de remplacer le marteau dans le processus de forage par la rotation de l'arme de coupe de roche, qui a conservé son nom, le marteau, malgré l'absence de la raison du nom d'origine.

Le capitaine Anthony Lucas et Patello Higgins ont été les premiers à utiliser le forage rotatif à Spindletop, au Texas, en 1901. En 1925, le forage rotatif avait été développé à l'aide de moteurs diesel. La première tentative de forage rotatif consistait à utiliser une méthode

pour créer un écoulement d'eau à travers une colonne d'éléon creux, pour éliminer les fragments de roche et les produits de forage. Cela représentait une différence significative par rapport à l'ancienne méthode de forage par câble, où le processus de forage devait être arrêté pour enlever les fragments de roche.

L'utilisation du forage rotatif permet de nombreuses méthodes plus efficaces que celles utilisées avec le forage à percussion. Le forage rotatif a également réduit de nombreux problèmes rencontrés par les creuseurs de routes, dont le plus grave était peut-être le phénomène des fontaines d'huile qui se produisait avec le forage rotatif.

III.2.1 Les avantages du forage rotatif:

- ▶ La perméabilité de la formation autour du trou est peu perturbée par le fluide de forage.
- ▶ Les forages de grands diamètres sont exécutés rapidement et économiquement.
- ▶ Pas de tubage pendant le forage.
- ▶ Facilité de mise en place de la crépine.
- ▶ Bons rendements dans les terrains tendres.
- ▶ Consommation économique de l'énergie.

III.2.2. désavantages de forage rotatif :

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

III .3.Système de rotation :

III.3.1. plaque tournante:

Les tables rotatives sont conçues pour entraîner une chaîne de forage suspendue verticalement ou pour recevoir le couple d'entraînement de réaction de l'arbre. Créé par le moteur d'attaque. La table de rotation est constituée d'un bâti fixe qui supporte un rotor interne qui repose sur le stator via un roulement à billes principal.

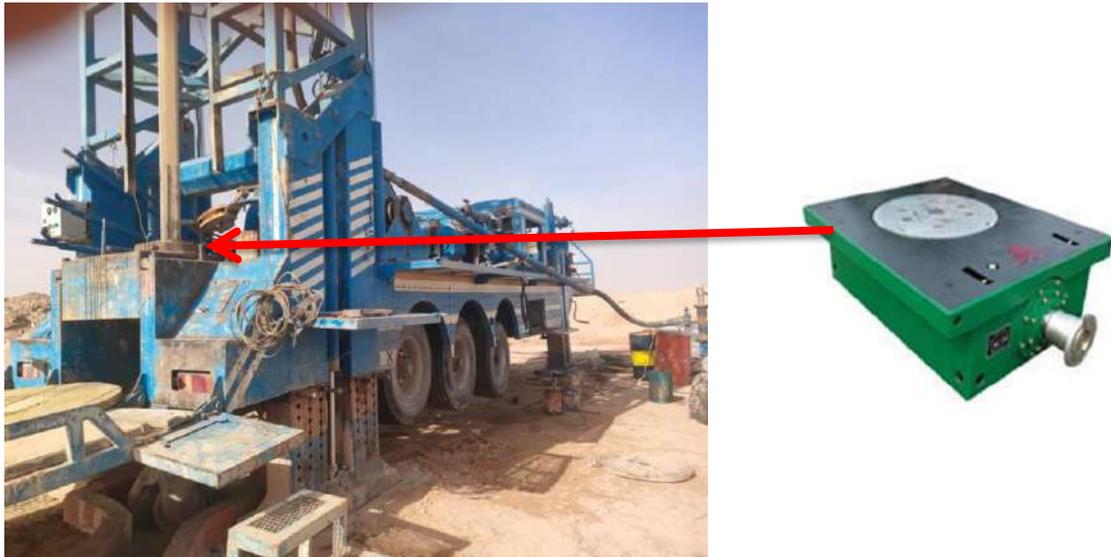


Figure 24: La table de rotation

III.3.2 La Tige Carrée :

C'est une tige installée entre la tête d'injection et la tige d'alimentation qui transmet le mouvement rotatif de la table rotative à la chaîne de forage, et la longueur de la tige carrée est de neuf mètres

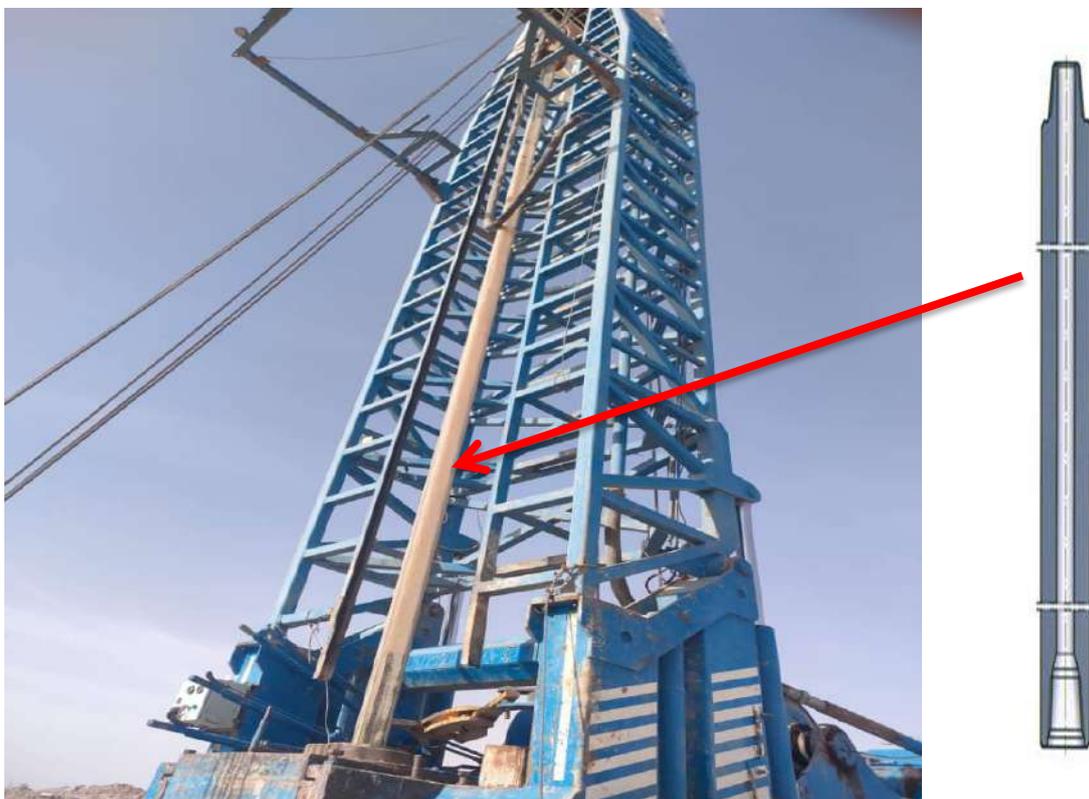


Figure 25 : La Tige Carrée

III.3.3 Tiges de forage :

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

N Tiges	Langueur m	Diamètre extérieur	Diamètre intérieur	Epaisseur	Poids nominale
20	9.50 m	110 mm	105mm	5 mm	27.12 kg/m

TAB 06 : Type de Tiges utilisés

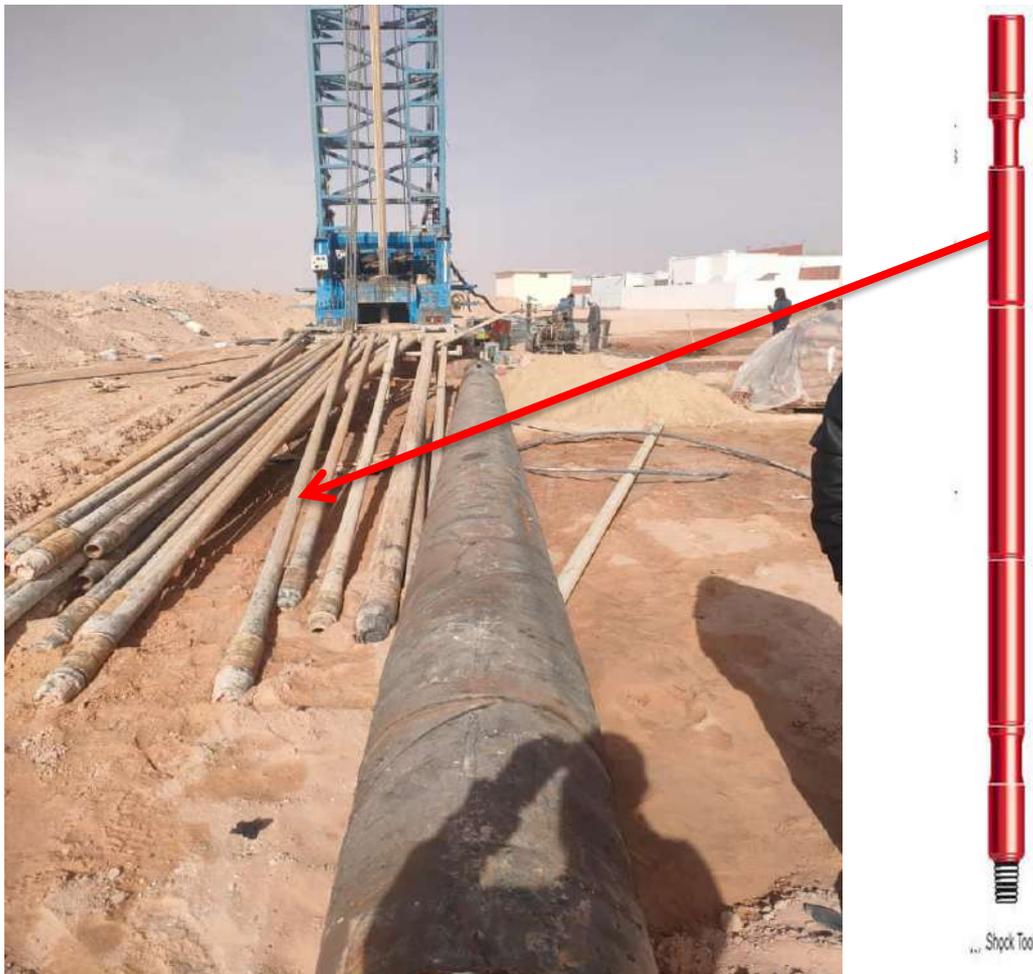


Figure 26 : Les tiges de forage

III.3.4 Le outil de forage :

L'outil de forage est entraîné dans son mouvement de rotation au fond du trou par un axe de tiges creuses maintenues ensemble.

<i>Les Phases</i>	<i>Longueur (m)</i>	<i>Diamètre</i>
<i>entre 0 à 10 m</i>	<i>1m</i>	<i>26''</i>
<i>entre 10 à 200 m</i>	<i>1m</i>	<i>12''^{1/4}</i>

TAB 07 : Les outils utilisés



Figure 27 : Les outils utilisés

III.3.5. Système de circulation :

Les principaux objectifs de ce système sont nombreux :

- Refroidissement et lubrification du foret (bit).
- Bien contrôler la pression.
- Retirez les débris et les morceaux.
- Gâteau de boue peinture des parois du puits

➤ Bassins :

Ils se composent de deux bassins dans lesquels le fluide de forage est évacué et ce dernier est aspiré par une pompe de boue



Figure 28 : Bassins

➤ Pompe à boue :

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

➤ Tête d'injection :

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

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

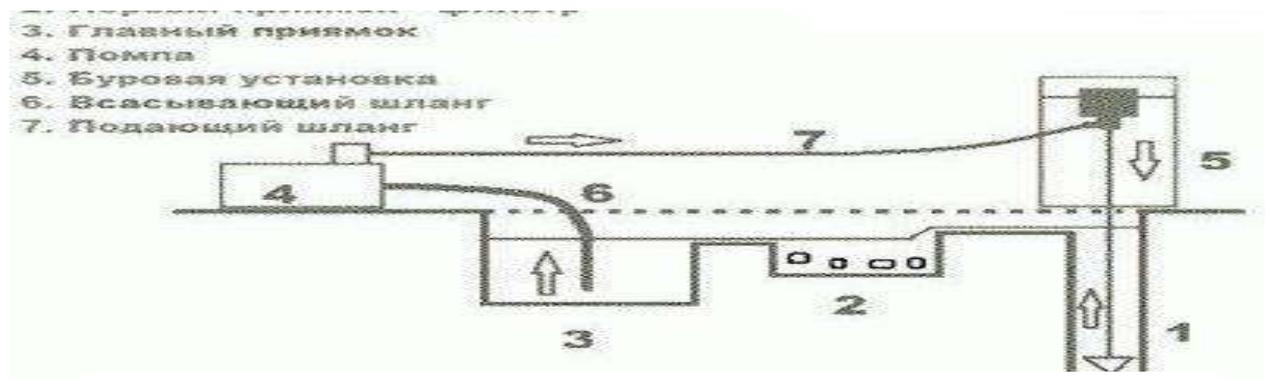


Figure 29 : Le lisier passe de la pompe à la tête d'injection

III.3.6. Système de levage :

L'équipement du système de levage est utilisé pour soulever et abaisser tout équipement pouvant entrer ou sortir du puits. C'est l'un des principaux composants de la foreuse.

L'élément le plus visible du système de levage est le derrick, la haute structure en forme de tour qui s'étend verticalement à partir du puits.

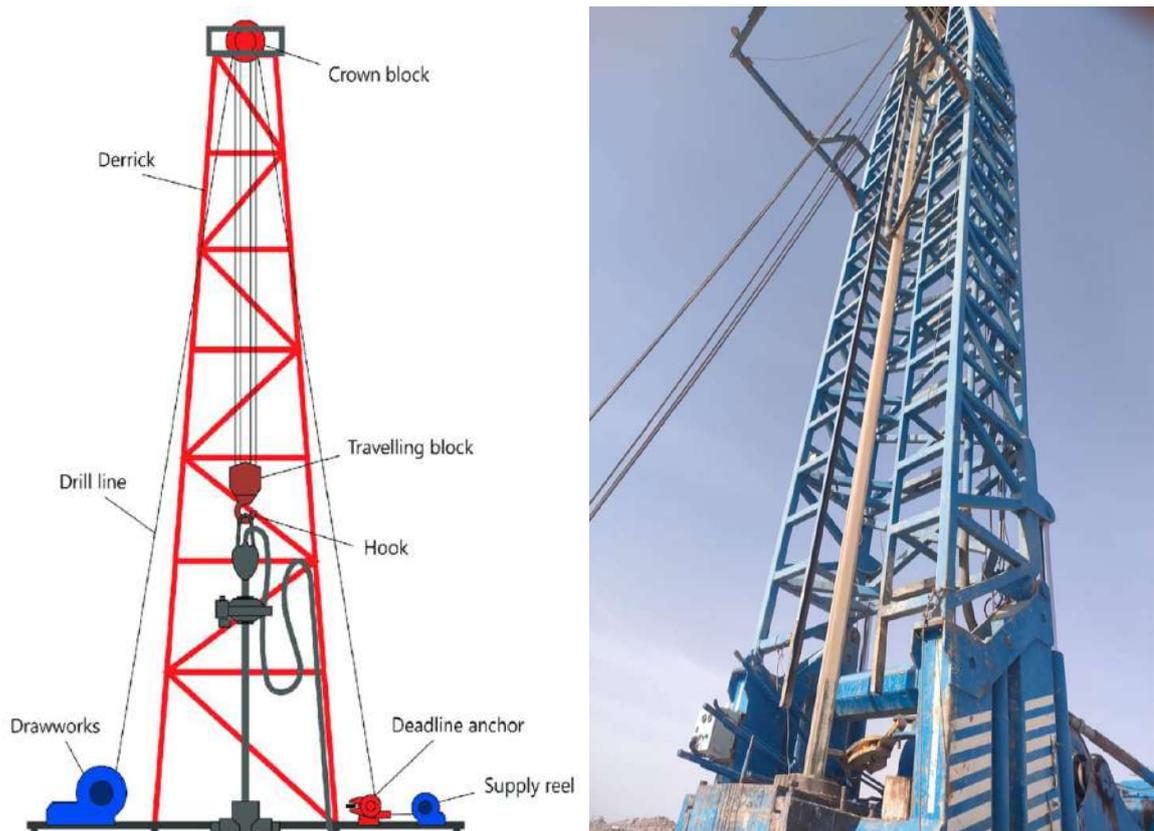


Figure 30 : système de levage

Le système de levage se compose d'une roue d'entraînement, d'un derrick, d'un jeu de poulies fixes (Crown Black), d'un jeu de moufles mobiles, d'un crochet et d'un câble métallique.

Le système de levage assiste le système de rotation de la plate-forme de forage en fournissant l'équipement et les zones de travail nécessaires pour soulever, abaisser et suspendre les poids du processus de forage.

- ♦ **Treuil de forage** : La roue de levage est l'un des composants importants de la tour de forage, qui représente le cœur de la tour de forage (Rig), qui aide à faire entrer et sortir

l'équipement du puits de forage. Il crée également la force nécessaire pour connecter et desserrer les joints de tuyaux. C'est l'un des équipements importants de la plate-forme de forage et il est responsable du processus de levage et d'abaissement du système de levage et de la colonne de forage.

- ♦ **Le câble :** La ligne de forage dans un tambour de treuil est constituée de fil d'acier enroulé en spirale autour d'un noyau en plastique, en fibre végétale ou en acier la première extrémité du câble de forage (Fast line) est enroulée autour du tambour de la grue, après quoi elle passe alternativement sur des poulies fixes et mobiles, tandis que l'autre extrémité (Dead line) est fixée à un élément de la sous-structure Le câble de forage passe de la roue de la flèche au sommet du mât de la tour de forage. De là, il est déplacé entre une poulie fixe et une poulie mobile pour donner une suspension de huit, dix ou douze brins. Ensuite, il est fixé au sol de la plate-forme de forage par une ancre d'échéance.
- ♦ **Le mouflage :** Le câble de forage est stocké périodiquement sur la bobine, une partie du câble de forage est coupée lors des travaux de tirage et un câble supplémentaire est tiré de la bobine pour remplacer la partie coupée.
- ♦ **Le moufle fixe :** Le crochet est en forme de J. Le crochet est fixé au bas de la bobine mobile et permet de ramasser des charges lourdes avec la bobine mobile. Il est utilisé pour connecter la poulie mobile à la tête pivotante et au reste des pièces de filetage de forage.

Le crochet est verrouillé ou libre de tourner Comme pour tout type de grue, nous avons besoin d'un crochet pour maintenir le train de tiges pendant que nous forons vers l'avant et de la possibilité de retirer le tube du trou et de remettre le train en place.

IV. STRATIGRAHIE ET LITHOLOGIE :

Forage de reconnaissance Ø12''1/4

Le profil stratigraphique a été mis en évidence suite à l'analyse des cuttings de chaque mètre (de 0 à 192 m) et les résultats sont comme suite ;

Sables peu argileux à ciment calcaires peu siliceux avec fragments de calcaires

00 – 05 m Sables peu argileux à ciment calcaires peu siliceux avec fragments de calcaires

05 – 11 m Grés fins à ciments argileux + ou - calcaireux

11 – 12 m Silex translucides avec calcaires parfois gréseux + ou – durs

- 12 – 19 m Calcaires blanchâtres avec fragments de silicates
- 19 – 28 m Calcaires gréseux moyennement durs
- 28 – 40 m Calcaires sableux
- 40 – 74 m Sables grossiers et graviers siliceux, translucides avec présence de quartz et silex et traces de calcaires
- 74 – 93 m Calcaires peu sableux avec silex et quartz
- 93 – 106m Calcaires coquillers avec silex et silicates
- 106–120 m Calcaires blanchâtres compactes
- 120– 130 m Calcaires coquillers très poreux avec silex et quartz
- 130 –136 m Calcaires coquillers peu poreux avec silex et quartz
- 136 – 139 m Argiles marneux blanchâtres et crayeux
- 139 – 184m Calcaires coquillers très poreux blanchâtres et gris-clairs à la base avec présence de quartz, silex et des silicates
- 184 – 200m Calcaires gris-clairs avec silex, quartz et silicates
- 200 – 205m Argiles plastiques blanchâtres + ou – marneux

V. ESSAIS DE POMPAGES :

Un essai à blanc a été effectué, pour estimer et programmer les débits des paliers. On note que le niveau statique mesuré après la fin de développement est 9,70m (repère tubage), La pompe immergée est calée à 49 m ; les résultats de L'essai à blanc effectué pendant quatre (04) heures sont comme suite:

Débit (l/s)	Niveau dynamique(m)	Rabatement (m)	Débit spécifique (l/s/m)
25	37,00	27,30	0,90

a) Essais par palier et palier définitif :

Les résultats des essais par paliers non enchainés et de palier définitif sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Paliers	Durée	Q (l/s)	N.D/sol(m)	s(m)/sol
1 ier	4 h	6	9.73	0.03
2 ième	4 h	10	11.16	1.46
3 ième	4 h	15	29.20	19.50
4 ième	4 h	25	37.00	27.30
Définitif	48 h	25	37.70	28.00

Pour un débit de 15 et 25 l/s, le débit spécifique est 0,77 à 0,91 l/s/m.

Les résultats des essais par palier sont interpréter par le logiciel OUAIP 2.3 de BRGM.

b) La courbe caractéristique et la droite des pertes de charges B et C :

La courbe caractéristique et la droite des pertes de charges linéaires (B) et Quadratiques (C) mentionnés ci-dessous, sont obtenues suite à l'interprétation du logiciel OUAIP 2.3 de BRGM.

L'interprétation faite par le logiciel OUAIP, nous à donner ce qui suite

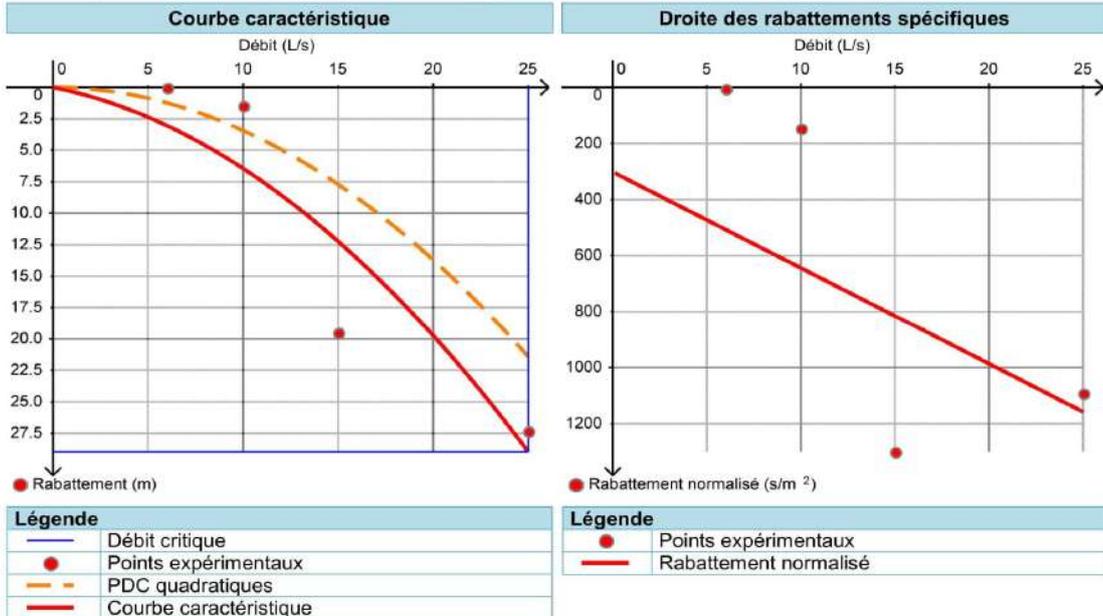
-Débit critique 25 l/s qui correspond à un rabattement de 27.3m

-Débit d'exploitation 23 l/s qui correspond à un rabattement de 25,06m.

Forage d'AEP Nouveau Pôle 27 février à Ouargla



Site	Cité AADL/LPP	Aquifère capté	Sénonien Carbonaté
Projet	Forage d'AEP Nouveau Pôle 27 février	Epaisseur de l'aquifère	74 m
Client	DRE de la Wilaya d'Ouargla	Type d'ouvrage	Puits
Société	SARL HYDRO-TERRAS NETTARI KAMEL	Type de pompage	Paliers de débits non enchainés



Commentaire
 Quatre essais par paliers non enchainés, le N.D à atteint un régime permanent lors des 4 essais. Selon la courbe le débit critique est de 25 l/s, le débit d'exploitation étant projeté à 90% de celui critique, ce qui donne 22,5 l/s ou 23 l/s, avec un rabattement de 25,06m soit un niveau dynamique 34,76m.

Pompage par palier	Débit (L/s)	Rabattement mesuré (m)	Temps de pompage (min)	Temps de remontée (min)	Rabattement linéaire calculé (m)	Rabattement quadratique calculé (m)	Rabattement normalisé mesuré (s/m ²)	Rabattement normalisé calculé (s/m ²)	Écart (sim-obs) (m)
Palier 1	6	0.03	240	60	1.8	1.2	5	507	3.01
Palier 2	10	1.46	240	60	3	3.4	146	644	4.98
Palier 3	15	19.5	240	60	4.5	7.7	1 300	815	-7.27
Palier 4	25	27.3	240	60	7.5	21	1 090	1 160	1.65

Résultats de l'ajustement

Coef. de pertes de charge linéaires (B)	0.0838 h/m ²	302 s/m²
Coef. de pertes de charge quadratiques (C)	0.00264 h ² /m ⁵	3.43×10⁴ s²/m⁵
Exposant (n)	2.00	
Coefficient d'ajustement de Nash-Sutcliffe (E)	0.836 (-∞..1)	

Débit critique 25 L/s

Conclusion :

La méthode utilisée pour réaliser ce forage c'est ROTARY, cette méthode est largement utilisée par les foreurs, car il adapte à la géologie de la région, dont il composé d'argile et de sable (gros et fin) avec présence de quelques mètres de gypse dans la partie supérieur.

CONCLUSION GENERAL :

Le besoin d'eau amène les gens à réfléchir à la recherche de technologies pour amener cette ressource et bien plus encore dans des zones éloignées des eaux de surface. Parmi les technologies importantes figure l'exploitation des eaux souterraines par le forage de puits. Un processus de forage en plusieurs étapes qui commence par la définition des objectifs de forage d'un puits à l'exploitation de l'eau. Dans le cadre de notre étude, nous avons suivi le forage d'un puits d'alimentation en eau potable dans la région de Ouargla, plus précisément la région de 27 Février. Nous avons montré l'importance et les effets de l'étude géologique de la zone dans la détermination de la strate appropriée pour le forage. L'étude reprend également les étapes et les techniques de forage, qui commencent par la mise en place du tube guide et se terminent par le nettoyage et la mise au point. Ensuite, nous passons au processus de pompage expérimental pour déterminer le débit et la pompe appropriés pour ce débit. Les résultats obtenus dans cette étude donnent le point le plus important, qui est la caractérisation de la cité une sévé atmosphère .

Bibliographies

- [1]ADE : Algerienne Des Eaux les analyses d'eau de la région de OUARGLA.
- [2]ANRH : Agence nationale des ressources hydriques (OUARGLA) Rapport de fin sondage.
- [3]Bouselsal Boualem ‘‘ FORAGE D’EAU Procédés et mesures ‘‘ univ-Ouargla .
- [4]Moulay Omar Younes et Seddiki Youcef. ‘‘Suivi d'un forage d'eau dans la région de Bouhraoua (Wilaya de Ghardaïa) ‘‘ Mémoire de Master Univ. d’Ouargla année 2017.
- [5]BOUCHELIG AMOR ET MEKHALFIA REDOUANE ‘‘ETUDE SUR LA MAINTENANCE DES SYSTEMES MECANIQUE D'UNE MACHINE DE FORAGE ‘‘ Mémoire de Master Univ. de M’sila année 2017.
- [6] CHERIFI MAHFOUDH ‘‘ Etude et Maintenance de treuil de forage OIL WELL 840E ‘‘ Mémoire de Master univ de Chlef année 2012
- [7] NOGADI ALI ‘‘La maintenance des équipements de forage (cas TP127

ANNEXE

**Réalisation, Equipement et Electrification d'un forage d'AEP à chott
commune Ouargla**

DECOMPTE GENERALE DGD DES TRAVAUX REALISES

N°	Désignation	U	QUANT ITE Dans le marche	Qtt totale	Prix unitaire	Montant du Marche	Montant
I- REALISATION FORAGES							
01.01	Amenée et installation du matériel	U	01	01	180 000,00	180 000,00	180 000,00
01.02	Réalisation de la plateforme, bassins et rigoles.	U	01	01	150 000,00	150 000,00	150 000,00
01.03	-Réalisation avant puits tube guide forage en 24" tube en 20" cimenté	ML	10	10	36 000,00	360 000,00	360 000,00
01.04	Forage de reconnaissance en 12" ¼	ML	190	202	8 000,00	1 520 000,00	1 616 000,00
01.05	Reforge en 17"1/2	ML	110	110	17 000,00	1 870 000,00	1 870 000,00
01.06	Fourniture et pose tubage 13" 3/8 AP.I48 ib/ft 60 E=8,38H40 fileté sans soudure	ML	120	120	25 000,00	3 000 000,00	3 000 000,00
01.07	- Cimentation HTS du tubage 13" 3/8 AP.I	M ³	9	9	12 000,00	108 000,00	108 000,00
01.08	Fourniture et pose colonne de captage Ø8"5/8 INOX type Johnson slot 20 e=4min fileté sans soudure - Crépine - Tube plein	ML	60	46,40	4 000,00	240 000,00	185 600,00
		ML	24	11,60	2 000,00	48 000,00	23 200,00
01.09	- Gravillonnage gravier siliceux roulé diamètre 5 à 7 mm	M ³	06	2,50	10 000,00	60 000,00	60 000,00
01.10	-Mise à disposition du chantier -Avec force motrice - Sans force motrice	H	72	72	3 000,00	216 000,00	216 000,00
		H	20	20	10 000,00	200 000,00	200 000,00
01.11	Mise à disposition de l'unité de POMPAGE	H U					

	- Développement du forage - Essai de débit		48 01	48 01	7 000,00 300 000,00	336 000,00 300 000,00	336 000,00 300 000,00
01.12	Repli fin de chantier	U	01	01	90 000,00	90 000,00	90 000,00
01.13	Fermeture de forage	U	01	01	90 000,00	90 000,00	90 000,00
S/TOTAL 1.....						8 749 800,00	8 768 000,00
II- REALISATION DE L'ABRIS DE FORAGE							
02.01	Réalisation d'un abri de Forage dimension (3.4.3m) y compris toute suggestion	Ens	Ens	Ens	650 000,00	650 000,00	650 000,00
S/TOTAL 2.....						650 000,00	650 000,00
III- EQUIPEMENT HYDRAULIQUE DE FORAGE							
01	Fourniture et Pose groupe électropompe immergé Q=25L/sec HMT 80M	U	01	01	350 000,00	350 000,00	350 000,00
02	Fourniture et Pose tube acier HP Ø 100 bridé longueur 3-4 mètre avec toute accessoires (joints et boulons été.....) badigeonné en peinture métallisé bleu	ML	70	70	2 000,00	140 000,00	140 000,00
03	Fourniture et Pose câble électrique immergé.	ML	80	80	2 000,00	160 000,00	160 000,00
04	Fourniture et Pose armoire de commande compatible avec le GEP	U	01	01	150 000,00	150 000,00	150 000,00
05	Fourniture et Pose Té Ø150 acier.	U	01	01	40 000,00	40 000,00	40 000,00
06	Fourniture et Pose vanne Ø150.	U	01	01	50 000,00	50 000,00	50 000,00
07	Fourniture et Pose vanne Ø100.	U	01	01	50 000,00	50 000,00	50 000,00
08	Fourniture et Pose Javelisateur Q8 à 15L/H HMT-10 bars.	U	01	01	90 000,00	90 000,00	90 000,00
09	Fourniture et Pose compteur Ø150.	U	01	01	70 000,00	70 000,00	70 000,00
10	Fourniture et Pose clapet Ø150.	U	01	01	30 000,00	30 000,00	30 000,00
11	Fourniture et Pose tube acier y compris soudage ou bridé	ML	05	05	7 000,00	35 000,00	35 000,00

	Ø150mm						
12	Fourniture et Pose un joint de démontage Ø150mm	U	01	01	2 000,00	2 000,00	2 000,00
13	Fourniture et Pose d'un stabilisateur d'écoulement Ø150mm	U	01	01	2 000,00	2 000,00	2 000,00
14	Fourniture et Pose d'un manomètre avec un robinet d'arrêt	U	01	01	15 000,00	15 000,00	15 000,00
15	Fourniture et Pose d'une ventouse Ø40 mm	U	01	01	2 000,00	2 000,00	2 000,00
16	Fourniture et Pose des sondes de niveau haut et bas	U	02	02	10 000,00	20 000,00	20 000,00
17	Fourniture et Pose de tube acier Ø100mm y compris soudage	ML	02	02	4 000,00	8 000,00	8 000,00
18	Raccordement de forage au réseau de distribution y compris les pièces spéciales et toutes sujétions	U	01	01	40 000,00	40 000,00	40 000,00
S/TOTAL3.....						1 254 000,00	1 254 000,00
IV - REALISATION DE L'ABRIS DE TRANSFORMATEUR							
01	Réalisation d'un abri de transformateur y compris toute suggestion suivant plan Sonelgaz	Ens	Ens	Ens	900 000,00	900 000,00	900 000,00
S/TOTAL 4.....						900 000,00	900 000,00
V- EQUIPEMENT ELECTRIQUE DE TRANSFORMATEUR							
01	F/ Pose Cellule Arrivée SF6	U	01	01	200 000,00	200 000,00	200 000,00
02	F/ Pose Cellule départ SF6	U	01	01	200 000,00	200 000,00	200 000,00
03	F/ Pose Cellule PT Transfo SF6	U	01	01	200 000,00	200 000,00	200 000,00
04	F/ Pose Cellule Transfo	U	01	01	200 000,00	200 000,00	200 000,00
05	F/ Pose Transformateur 30 / B2 160 KVA	U	01	01	650 000,00	650 000,00	650 000,00
06	F/ Pose Liaisons MT (1X35 mm ² CU)	Ens	01	01	40 000,00	40 000,00	40 000,00
07	F/ Pose Liaisons MT (1X240 mm ² CU)	Ens	01	01	40 000,00	40 000,00	40 000,00
08	F/ Pose Tableau Disjoncteur 250 A	UN	01	01	200 000,00	200 000,00	200 000,00

09	F/ Pose Circuit de mise à la terre Poste	Ens	01	01	100 000,00	100 000,00	100 000,00
10	F/ Pose Eclairage du poste	Ens	01	01	20 000,00	20 000,00	20 000,00
11	F/ Pose Batteries de condensateurs	Ens	01	01	50 000,00	50 000,00	50 000,00
12	F/ Pose Lot Matériel de sécurité	Ens	01	01	150 000,00	150 000,00	150 000,00
13	F/ Pose jeux détecteurs de Défaut et serrureries	Ens	Ens	Ens	50 000,00	50 000,00	50 000,00
S/ TOTAL 5.....						2 100 000,00	2 100 000,00
Montant total hors taxe						13 672 000,00	13 653 800,00
Montant TVA 19 %						2 597 680,00	2 594 222,00
Montant total en TTC						16 269 680,00	16 248 022,00

Arrêté le présent DGD des travaux à la somme : **Seize millions deux cent quarante-huit mille vingt-deux dinars algériens en TTC ////**

Résultats d'analyse chimiques

Un échantillon d'eau prélevé juste avant la fin des essais de pompages à fait objet d'une analyse physico-chimique complète au laboratoire de l'ANRH Ouargla, le bulletin d'analyses est mentionné ci-dessous :



الوكالة الوطنية للموارد المائية AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES

مرسوم تنفيذي رقم 184-19 مؤرخ في 23 شعبان 1440 لموافق 29 أبريل 2019
RC n° 16/00-1047916 B 20 Compte BDL RIB n° : 005001050000002106 72
NIF : 002016104791666 NAF : 16273709011 n° Compte TCA 197-311

Direction Régionale Sud – Est Ouargla

الفرع الجهوي للجنوب الشرقي

RÉSULTATS D'ANALYSES

Demandeur : Sarl HYDRO TERRAS.

N° Du laboratoire : 70 -2022.

Désignation : forage AEP au niveau du nouveau pôle urbain 27 février Ouargla.

Date de prélèvement : 07/06/2022 (prélèvement fait par le demandeur).

Date de réception : 08/06/22.

B.C. N° : 03/22 du 06/06/2022.

Eléments	Teneurs	Unité
Calcium Ca ⁺⁺	121	(mg/l)
Magnésium Mg ⁺⁺	166	(mg/l)
Sodium Na ⁺	285	(mg/l)
Potassium K ⁺	17	(mg/l)
Chlorures Cl ⁻	468	(mg/l)
Sulfates SO ₄ ⁻	860	(mg/l)
Nitrates NO ₃ ⁻	00	(mg/l)
Bicarbonates HCO ₃ ⁻	46	(mg/l)
Carbonates CO ₃ ⁻	00	(mg/l)
Résidu Sec à 105°C	2214	(mg/l)
Conductivité électrique à 25°C	3,07	(mS/cm)
Potentiel d'hydrogène pH	8,10	/
Dureté totale TH	98,5	°F
Turbidité EB	00	NTU
Turbidité ED	00	NTU

Ouargla, le : 16/06/2022

Le Chef de service Laboratoire :

Resume :

Dans la région de Ouargla (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.

Le forage dans la nappe de complexe terminal et la nappe de continental intercalaire passe par plusieurs étapes, les principaux 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 fins 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, Ouargla.

Summary:

In the Ouargla region (SE Algeria), the scarcity of rainfall and the increase in demand for water, multiplied the number of boreholes in the three aquifers increases each year.

The study of the boreholes carried out in the region shows that the hydraulic drilling operations carried out in the region of Ouargla, but the drilling in the superficial aquifer is not regulated, because of the recommendations taken by the state to favor the exploitation of the free aquifer to lower the piezometric level.

Drilling in the terminal complex aquifer and the continental intercalary aquifer goes through several stages, the main ones are; laying of guide pipe, drilling and laying of full pipe with cementing up to the roof of the captured aquifer, drilling of reservoir and laying of strainer and additional gravel (for CT drilling), development of wells for the elimination of fine particles and finally the execution of pumping tests to determine the operating flow.

Keywords: rotary drilling, CT, CI, crépine, well development, Ouargla.

المخلص :

في منطقة ورقلة (جنوب شرق الجزائر) ، أدت ندرة هطول الأمطار وزيادة الطلب على المياه إلى مضاعفة عدد الآبار في طبقات المياه الجوفية الثلاثة كل عام .

يمر الحفر في طبقة المياه الجوفية المعقدة الطرفية وطبقة المياه الجوفية القارية بعدة مراحل ، أهمها: وضع أنبوب التوجيه ، والحفر ووضع أنبوب كامل مع الإسمنت حتى سطح طبقة المياه الجوفية التي تم التقاطها ، وحفر الخزان ووضع المصفاة والحصى الإضافي (للحفر المقطعي المحوسب) ، وتطوير الآبار لإزالة الجسيمات الدقيقة وأخيراً تنفيذ اختبارات الضخ لتحديد تدفق التشغيل.

الكلمات الرئيسية:

CT ، CI ، الحفر الدوراني ، المصفاة ، تطوير الآبار ، ورقلة.