

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURET DE LA RECHERCHE



SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des Sciences appliquées
Département de Génie Civil et Hydraulique

Mémoire fin d'études

MASTER 2

Domaine: Sciences techniques

Filière: Hydraulique

Spécialité : Forage d'eau

Présenté Par :

KADRI Abdelmadjid

LEGOUGUI Messaoud

Thème :

Suivi d'un forage d'AEP dans la region de Touggourt

Soutenu publiquement le:14/06/2023

Devant le jury composé de:

Dr. FORTAS Tahar

MCA (UKM Ouargla)

Président

Dr. ELFERGOUGUI Meriam

MAA (UKM Ouargla)

Examinatrice

Dr. NETTARI KAMEL

MCA (UKM Ouargla)

Encadreur

Année Universitaire :2022/2023

Remerciements

Mes sincères remerciements et ma profonde gratitude vont à tous ceux qui ont travaillé ardemment pour nous, qui ont sacrifié ce qui était précieux et précieux pour atteindre ce stade. Je tiens à remercier en premier lieu nos pères et mères, ainsi que tous nos enseignants, et enfin la direction de cette institution d'enseignement, l'Université de Kasdi Merbah, plus particulièrement le Collège des Sciences Appliquées, qui nous a beaucoup apporté, ainsi que son administration représentée par le Doyen et les chefs de départements. Je souhaite exprimer ma reconnaissance spéciale à la Faculté des Sciences Appliquées, Département de Génie Civil et Hydraulique, ainsi qu'à l'ensemble du corps professoral et du personnel. Tout cela a été rendu possible grâce au père vertueux, le Dr Nettari Kamal, qui nous a prodigué généreusement ses vastes connaissances sans rien nous épargner



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 messager, 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 (chère mère)

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 :

Remerciement
Dédicace
introduction

Chapitre I

Situation et cadre général de la zone d'étude

	Introduction	01
I-1	Situation géographique	01
I-2	Les limites administrative	02
I-3	Localisation du forage	03
I-4	Composition territoriale de Touggourt et sa region	03
I-5	Situation économique et diversification des activités	05
I-6	Le secteur agricole	05
I-7	Le secteur industriel	06
I-8	Recomposition du tissu commercial et des services	07
I-9	secteurs économiques	08

Chapitre II

La Géologie régionale

II	Géologie régionale.....	09
II-1	Géologie locale.....	10
II-2	Le Mésozoïque.....	11
II-3	Le Cénozoïque	14
II-4	Le Quaternaire	14
II-5	Tectonique générale de la région	15
II-6	Étude hydraulique des caractéristiques climatique	17
II-6-1	Objectif de l'étude	17
II-6-2	Température	17
II-6-2-1	Interprétation des résultats	18
II-6-2-2	Les précipitations	18
II-6-2-3	Précipitations moyennes	19
II-6-2-4	Interprétation des résultats	20
II-6-3	Synthèse climatique de la région	20
II-6-3-1	Diagramme Pluvio-Thermique	20
II-6-3-2	Identification hydrogéologique	21
	Conclusion	23

Chapitre III

Techniques de forage

	Introduction	24
III-1	méthodes de forage	24
III-1-1	Les puits creusés manuellement	24
III-1-2	Les inconvénients des puits creusés manuellement sont	25
III-2-1	Forage percutant	25
III-2-2	Les avantages du forage utilisant la méthode de la machine à Forage percutant sont les suivants	26
III-2-3	Les inconvénients du forage utilisant la méthode de l'outil de Forage percutant sont	26

III-2-4	Composants d'une perceuse de précision	26
III-3-1	La méthode de forage rotatif	29
III-3-2	Avantages du forage rotatif	30
III-3-3	Inconvénients du forage rotatif	30
III-4-1	Le forage turbinare est décrit	31
III-4-2	Avantages du turbo forage	32
III-4-3	Inconvénients du turbo forage	32
III-5	Les différents types de plates-formes de forage et leur choix	32
III-6	Les équipements de forage	33
III-6-1	Les composants de la tour de forage	35
III-6-2	Fluides de forage (La boue de forage)	57
III-6-2-1	Composants de boue de forage	58
III-6-2-2	Rôles de la boue de forage	58
III-6-2-3	Caractéristiques de la boue de forage	60
III-6-2-4	Circuits de fluides de forage	63
	Conclusion	64

Chapitre IV

Suivi de forage d'operations

	Introduction	65
IV-1	Choix de l'implantation du forage	65
IV-2	Localisation du forage	65
IV-3	Objectif de forage	66
IV-4	Construction du forage	66
IV-4-1	Réglementation du site de forage	66
IV-5	L'appareil du forage	67
IV-6	Deroulement des travaux et completion du puits	67
IV-6-1	Le outil de forage	67
IV-7	STRATIGRAHIE ET LITHOLOGIE	68
IV-8	Le programme de boue	68
IV-8-1	Calcul du volume de boue	69
IV-9	Cimentation	72
IV-9-1	Matériel et outils de cimentation.....	73
IV-10	Calcul de cimentation	78
IV-11	Essai de pompage	81
IV-12	Essais des débits	81
IV-13	Contrôle des forages	82
	Conclusion	84
	CONCLUSION GENERAL	85
	Bibliographie	
	Résumé	

Liste des figures

Chapitre I

Figure 1	Situation géographique de la région Touggourt	01
Figure 2	Limites administratives de la zone d'étude	02
Figure 3	Localisation du forage (Google earth 2023)	03

Chapitre II

Figure 4	Carte géologique du Sahara orientale	10
Figure 5	carte géologique de la région de Touggourt, extrait de la carte géologique de l'Algérie	11
Figure 6	Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt (ANRH)	16
Figure 7	Courbe des variations des températures à Touggourt (2010-2021)	18
Figure 8	Précipitations moyennes-Touggourt (2010-2021)	19
Figure 9	Graphique climatique-Touggourt	21
Figure 10	Carte de l'extension géographique des aquifères de continental intercalaire et complexe terminal	22

Chapitre III

Figure 11	Puits forés manuellement	25
Figure 12	La machine de forage de puits (le marteau-piqueur)	29
Figure 13	Il explique la méthode de forage rotatif	31
Figure 14	L'appareil du forage	34
Figure 15	Description d'un équipement de forage rotar	35
Figure 16	Mât d'appareil de forage	36
Figure 17	câble de forage	37
Figure 18	Treuil de forage	37
Figure 19	Voici un schéma illustrant le système de levage	38
Figure 20	Moufle mobile et le crochet	39
Figure 21	table de rotation	40
Figure 22	Nomenclature de la table de rotation	40
Figure 23	Tige d'entraînement	41
Figure 24	bac à boue	42
Figure 25	Pompe à boue	42
Figure 26	Tamis vibrant	43
Figure 27	Les tiges de forage	44
Figure 28	masse – tiges	45
Figure 29	crépine INOX Johnson utilisée	47
Figure 30	Outil de forage	48
Figure 31	Outil de forage	48
Figure 32	Les stabilisateurs	49
Figure 33	Le dispositif d'amortissement des chocs	50
Figure 34	Montage d'un centreur avec un stop collar	51
Figure 35	Exemple de colonne de tubage	52
Figure 36	La grue à prise centrale avec glissières	53
Figure 37	La pince élévatrice "Pick up Elevator "	54
Figure 38	Les équipements de connexion	55
Figure 39	Le masque de sécurité	56
Figure 40	Réservoirs de stockage de carburant	56
Figure 41	générateurs d'électricité	56

Figure 42	Viscosimètre Fan	60
Figure 43	Balance à boue(Densimètre)	61
Figure 44	Balance à boue (densimètres).	62
Figure 45	Circuit de la boue de forage	63

Chapitre IV

Figure.46	Exemple d'un colonne de tubage cimenté	73
Figure 47	Les anneaux de retenue	74
Figure.48	Bouchonne de cimentation	76
Figure 49	Tête de cimentation	76
Figure.50	Unités de cimentation	77
Figure.51	silos de ciment	77
Figure.52	citerne d'eau	78
Figure 53	Localisaoin du forage d'AEP de renforcement sis à Zaouia El Abidia	66
Figure 54	L'appareil du forage	67
Figure 55	forage d'AEP de renforcement à Hai El Bassatine sis à Zaouia El Abidia...	83

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableaux 1	Le statut social de Touggourt (DPAT Année (2021).	05
------------	---	----

Chapitre II

Tableaux 2	Touggourt-températures moyennes (1991-2020)	17
Tableaux 3	Précipitations moyennes-Touggourt (1997-2020)	19
Tableaux 4	Valeurs moyennes mensuelles des précipitations et des températures (2010-2021)	20

Chapitre III

Tableaux 5	Type de Tiges utilisés	43
Tableaux 6	Caractéristiques des Outils de forage utilisés	47

Chapitre IV

Tableaux 7	Les outils utilisés	67
Tableaux 8	Programme de boue pour les forages CI	69

Introduction Générale

L'ouvrage, qui suscite l'intérêt de notre projet de fin d'études, s'inscrit dans le cadre de l'approvisionnement en eau d'une Zaouia Al Abidia. Notre travail consiste à suivre les différentes étapes de la réalisation de cet ouvrage tout en effectuant un contrôle de vérification conformément aux méthodes de calcul requises, conformément aux programmes de forage conventionnels.

Pour ce faire, nous fournirons quelques aperçus (socio-économiques, géologiques, hydrogéologiques et hydroclimatologiques) sur la région, en établissant un programme de calcul et de vérification. Il est important de noter que le projet se déroule en plusieurs étapes, comprenant les objectifs du forage, le choix des coordonnées du point d'impact, le nombre de phases, le forage, le tubage et la cimentation de chaque phase de manière indépendante.

Comme à l'accoutumée, nous concluons ce travail en tenant compte des remarques pertinentes et en émettant quelques recommandations.

Chapitre I

**Situation et cadre
général de la zone
d'étude**

Introduction

Ce chapitre expose les principales caractéristiques du milieu d'étude, telles que la localisation géographique du terrain, le cadre climatique ainsi que les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques. Ces éléments permettront de situer le système aquifère dans son contexte régional et d'identifier les éléments clés nécessaires à la compréhension des problématiques abordées au cours de l'étude.

I – 1 – Situation géographique :

La région sur laquelle nous sommes penchés pour mener cette étude porte la même appellation que la ville à laquelle elle est rattachée administrativement. Elle est connue sous le nom de Touggourt et a récemment été promue au rang de Wilaya suite à une réorganisation administrative. Elle représente la commune du chef-lieu de la Wilaya et se situe à environ 638 km au sud de la capitale du pays, Alger, sur la côte méditerranéenne.

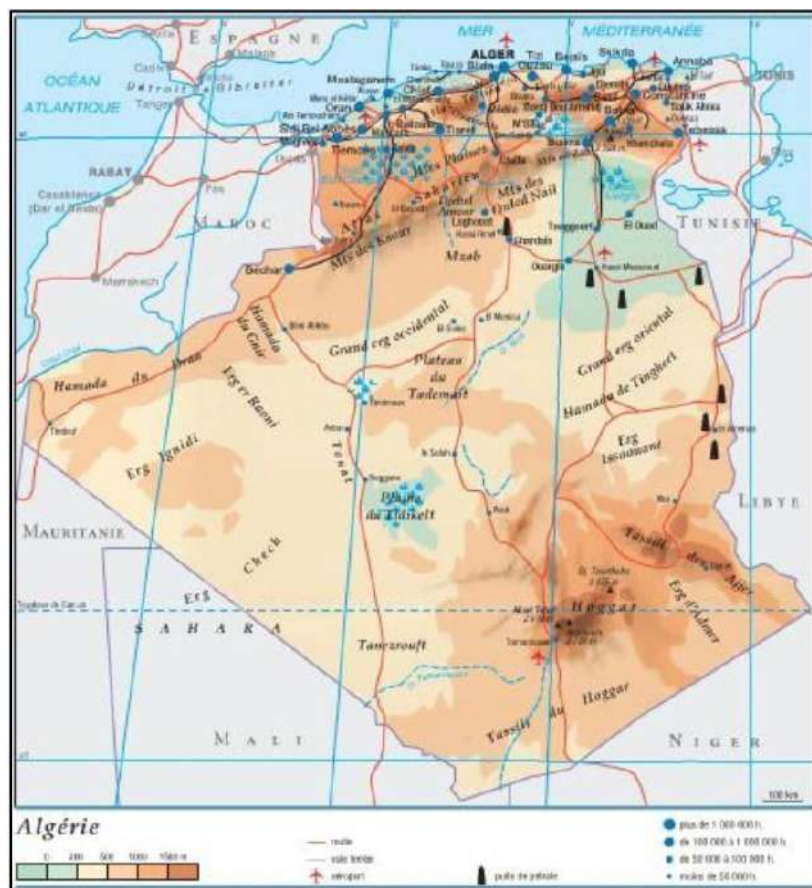


Figure 1: Situation géographique de la région Touggourt[07].

I – 2 – Les limites administrative :

Comme indiqué précédemment, la commune de Touggourt, qui porte le même nom que la jeune Wilaya qu'elle représente, est située dans le Sud-est de l'Algérie. Selon le dernier découpage administratif, la commune de Touggourt est limitée administrativement et géographiquement par les villes suivantes :

Au Nord, la Wilaya d'El Oued, El Meghayer, Ouled Djellel et Biskra ;

Au Sud, la Wilaya de Ouargla n'goussa (Hassi Messaoud, El Bourma) ;

À l'Est, la Wilaya d'El Oued ;

À l'Ouest, les Wilayas de Ghardaïa et Djelfa.

La commune de Touggourt est composée de cinq (05) Daïras et treize communes, dont le chef-lieu qui est situé au centre de la Wilaya. Elle est entourée par les communes suivantes :

Elmgarine, au Nord ;

El Nezla, au Sud ;

Tebesbest et Zouia El Aïdia , à l'Est ;

El Alia et El Hedjira, à l'Ouest.

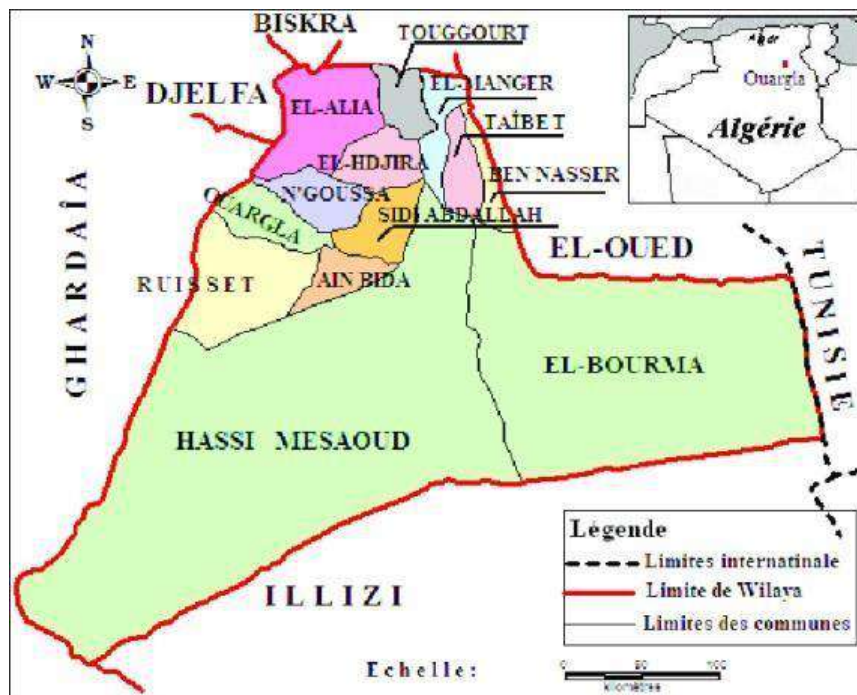


Figure 2 : Limites administratives de la zone d'étude. (Wikipédia).

I – 3 – Localisation du forage :

le forage en question est situé à 1.5 km au sud-ouest de la commune de Zaoui El Abidia et à 3km environ, au Nord-est chef-lieu de la wilaya de touggourt

coordonnées du forage :

les coordonnées géographiques de forage present par GPS sont :

longitude : $06^{\circ}05'00,86''$ latitude: $33^{\circ}08'34,92''$ Z/sol: 65 m

Ces coordonnées ont été prises par GPS et confirmées sur google earth



Figure 3: Localisation du forage (Google earth 2023).

I– 4 – Composition territoriale de Touggourt et sa region :

Connu par le même nom quand elle était l'une des Dairas attachées à la Wilaya de Ouargla, Touggourt bénéficie désormais du statut de Wilaya à part entière et compte par conséquent cinq (05) Dairas et treize (13) Communes.

Le tissu urbain y est connu depuis que les populations se sont agglomérées aux voisinages d'Oued Righ, où l'urbanisation est millénaire et sa relation avec les échanges

commerciaux transsahariens est étroite marquant ce territoire saharien.

Les grands itinéraires étaient jalonnés de Puits, d'Oasis, de relais et de centres urbains.

Certains devinrent des carrefours importants dans le commerce caravanier parmi lesquels, Touggourt, était une place commerciale active. Elle est aujourd'hui la capitale de l'Oued Righ, avec un nombre d'habitant qui ne cesse de progresser.

Sous région essentiellement rurale avant l'indépendance, Touggourt a connu un développement remarquable est engagée dans un processus d'urbanisation générateur de nouvelles configurations qui en font un des faits dominants des mutations sociétales actuelles. Les taux d'urbanisation (25% en 1954, 59% en 1998) conséquence d'un croît démographique, moyen très soutenus, avoisinant les 2,2%, dépassent la moyenne nationale.

En l'espace de 60 ans a multiplié sa population par 5, voire plus. Cette ville qui ne comptait que 26 590 habitants en 1966, voit sa population atteindre 56 200 habitants, en 1977 (avec un taux de croissance naturel de 5.99%, supérieur à 3.21% le taux annuel national), pour atteindre 78 970 habitants en 1987 où le taux de 3.46% se rapproche du taux annuel qui était égale à 3.10%. Le recensement de 1998 va révéler une augmentation spectaculaire de la population qui fait grimper le nombre à 114 183 habitants.

Les données de 2002, affirment 139 858 habitants. Cette montée spectaculaire est la conséquence, d'un côté, de l'exode rural et la sédentarisation des nomades, traduisant le malaise des oasiens et des nomades, les drainant vers des centres urbains. De l'autre côté, la descente des gens du Nord (les cadres, les fonctionnaires, les commerçants ou professions libérales).

Nom de Daïra	Nom de Commune	Population (habitants)	Surface (km²)	Taux de croissance de la population (%)
Touggourt	Touggourt	50 250	172.17	2.1
	Nezla	66 980	120.18	2.5
	Zaouïa El Abidia	26 457	23.72	2.7
	Tebesbest	35 052	26.45	1.6
Taïbet	Taïbet	29 937	4 562	3.6
	M'naggueur	15 772	8 399	1.7
	Benacer	13 953	2 593	2.9
Temacine	Temacine	25 743	231.98	2.4
	Belidat Amor	17 730	126.2	1.6
El Megarine	El Megarine	17 645	186.78	2.3
	Sidi Slimane	12 383	447.13	2.1
El Hedjira	El Hedjira	14 975	2 429	1.8
	El Alia	11 955	6 589	1.7

Tableaux 1: Le statut social de Touggourt (DPAT Année (2021)).

I – 5 – Situation économique et diversification des activités :

L'intégration de la région dans l'économie mondiale entraîne une homogénéisation des activités selon des principes similaires d'organisation. Les structures des activités et des emplois, les taux d'activité et d'occupation sont sensiblement identiques à ceux du Nord du pays, bien qu'il puisse exister certaines nuances. Ainsi, Touggourt devient une ville attractive en raison de ses nouvelles fonctions et opportunités, de ses équipements et services, de l'emploi ou de la perspective d'emploi, tant pour les populations autochtones (locales) que pour celles d'origine étrangère. Sa croissance est d'autant plus forte qu'elle rayonne sur un vaste territoire peu pourvu en agglomérations secondaires.

I – 6 – Le secteur agricole:

L'agriculture et l'élevage sont des activités économiques de grande importance dans la région de Touggourt. La surface agricole totale est estimée à environ 725 194 hectares, dont une partie est dédiée au palmeraie

(166 673 hectares sont une zone irriguée de palmier) située principalement dans la région du Oued Righ. Les palmeraies d'Oued Righ, les plus riches en production de dattes de tout le Sud (50 kg de dattes/palmier), ne sont pas seulement une source de vie, mais aussi un espace qui assure l'équilibre écologique et le microclimat de la vallée. Les oasis occupent un couloir allant de Biskra à Blidet Amor en passant par Touggourt.

Dans les années 70, la révolution agraire et les hydrocarbures ont induit le malaise de l'oasis, mais dans les années 90, le désenclavement et l'ouverture aux débouchés extérieurs, ainsi que la reprise de confiance des agriculteurs dans leur capacité à créer et innover, ont donné lieu à un boom agricole inattendu. En 2000, la population active occupée par secteur d'activités à Touggourt était de 5 % dans l'agriculture (en dessous de la moyenne de l'Algérie urbaine, qui est de 7,5 %), 26 % dans l'industrie et le BTP et 69 % dans le commerce et autres services.

Au sein de la vieille palmeraie d'Oued Righ, qui fournit une part importante de dattes de consommation locale, d'autres pratiques culturelles se développent de plus en plus en intercalaire (culture fourragère et légumière) dont la demande ne cesse de croître car les débouchés sont assurés sur le marché local. L'activité agricole a donc un impact sur l'industrie locale qui emploie une main-d'œuvre saisonnière importante. Le secteur agricole marque profondément la vie quotidienne, tant sur le plan économique que social.

D'autres activités agricoles s'associent à celles mentionnées, comprenant notamment la culture maraîchère et l'agriculture protégée, l'arboriculture (arbres fruitiers, oliviers), l'apiculture et l'élevage (ovin, bovin, caprin et camelin). Cette Wilaya jeune a également bénéficié d'un projet de chambre froide (4 000 m³) pour le conditionnement des dattes, des fruits et des légumes. Le projet est en cours d'exécution dans la commune de Touggourt, sur une superficie de 2 hectares. L'avancement des travaux est estimé à environ 50 %, selon les autorités locales (Direction des Services Agricoles).

I – 7 – Le secteur industriel:

Il est question d'une industrie qui émerge des retombées du pétrole. En effet, étant donné sa proximité avec les gisements d'hydrocarbures, Touggourt se trouve être la ville la plus proche après Hassi Messaoud et Ouargla, et par conséquent, elle se situe au cœur de la zone d'influence directe du bassin d'hydrocarbures dont elle bénéficie indirectement.

En tant que ville primaire (qui vient de recevoir le statut de chef-lieu de wilaya), bien que son activité industrielle soit réduite (moins de 15% contre une moyenne nationale de 17,5%), celle-ci est bel et bien présente à Touggourt avec 1700 emplois, et ses effets inducteurs sur les économies locales sont certains.

Au cours de la dernière décennie, avec plus de 1700 emplois industriels, les activités industrielles ont connu une amélioration (le taux d'industrialisation est de 43,3%), se sont diversifiées et ont été orientées vers les petites et moyennes entreprises (PME), publiques ou privées. Cette situation s'explique par l'implantation de 15 entreprises publiques et 18 entreprises privées dans la zone industrielle située à la périphérie nord-ouest de la ville, un emplacement favorable qui permet une extension facile (limite du périmètre urbain), un accès facile (sur la RN 3) et surtout, qui se trouve à l'écart de la palmeraie.

L'ensemble de ces PME exerce dans l'agro-alimentaire, la transformation métallique, les matériaux de construction, les gaz industriels (centre d'enfûtage) et la pétrochimie. Le secteur privé, quant à lui, est représenté par 33 PME réparties dans toute la ville. Bien qu'il ait connu un progrès notable depuis 1984, il connaît encore de multiples difficultés et reste mal maîtrisé, même s'il est prometteur.

Le secteur pétrolier (Hassi Messaoud) attire la majeure partie de son personnel des villes voisines (Ouargla et Touggourt). Depuis 1963, la plupart des ouvriers des chantiers pétroliers proviennent de l'Oued Righ, précisément de Touggourt et des environs. De nombreuses activités de sous-traitance, des sièges sociaux et des zones d'entrepôt sont installés à Touggourt.

Mis à part le secteur pétrolier, l'investissement des politiques publiques dans l'industrie est très limité. C'est dans la petite et moyenne industrie que l'investissement privé se trouve. Une modeste couche d'industriels est en train d'émerger. Touggourt est une ville qui a une plus grande tradition de PME.

Profitant de sa situation de terminal ferroviaire (la colonisation en avait fait sa grande base saharienne), la ville s'est dotée d'une zone industrielle où une trentaine de petites entreprises se sont installées au début des années 70 (conditionnement des dattes, minoterie, centre enfûteur, matériaux de construction, transformation métallique, matelas, verrerie....

I –8– Recomposition du tissu commercial et des services:

Depuis plusieurs décennies, l'explosion démographique a conduit à l'émergence d'un marché de consommation important, par lequel transitent et se négocient les produits importés. La région a connu d'importants flux commerciaux, attirant des entreprises qui cherchent à profiter des retombées de l'exploitation pétrolière. La propulsion étatique a généré une ville de services, caractérisée par une prédominance évidente des activités tertiaires, qui représentent plus de 2/3 des emplois (69%) et montrent leur nette supériorité.

Par ailleurs, les activités marchandes et de services sont omniprésentes et marquent profondément le paysage urbain. Les rues commerçantes, les marchés quotidiens ou hebdomadaires sont présents dans toute la ville.

Dans cette économie locale, la part de l'informel est considérable, bien qu'elle soit difficilement quantifiable car elle échappe aux statistiques officielles. Néanmoins, sa grandeur est appréciée sur le terrain à travers le petit commerce, les marchés hebdomadaires et régionaux.

I – 9 – secteurs économiques:

De plus, ce qui attire l'attention dans cette région, considérée comme le pays des oasis par excellence, est le contraste remarquable entre la richesse et la diversité des ressources touristiques.

Le secteur du tourisme est très prometteur dans cette région, car Touggourt possède plusieurs complexes touristiques remarquables tels que le Palais Rano, le Palais Al-Zaouia Al-Abidia, Al-Bahour à Masin, ainsi que d'autres attractions. Le secteur du commerce est également essentiel pour la région de Touggourt.

Ces secteurs sont consolidés par la présence d'un aéroport, d'une gare ferroviaire et d'un réseau routier important dans la ville.

Chapitre II

Etude géologique et
hydrogéologique

II - Géologie régionale:

La région de Touggourt se trouve dans le Bas Sahara, situé entre l'accident sud-atlasique et les premiers contreforts des monts des Aurès au nord, la falaise méridionale du Tinhert au sud, les affleurements crétacés du Dahar à l'est et la dorsale du Mzab à l'ouest. Cette zone se caractérise par l'extrême simplicité de sa topographie, avec des bordures de hauteur modeste, à l'exception des monts des Ouled Naïl, des Aurès et des Nemamcha au nord, qui bordent une dépression longitudinale occupée par des chotts. Cette dépression est parcourue par les oueds Mya et Righ et s'étend sur une superficie de 720 000 km².

Le Bas Sahara se présente comme une cuvette synclinale dont les terrains, du Cambrien au Tertiaire, sont dissimulés en grande partie par le grand erg oriental. Cependant, des affleurements sont observés sur les bordures. On peut distinguer de bas en haut trois ensembles : les terrains paléozoïques affleurent au sud, entre les plateaux du Tademaït et Tinghert et le massif du Hoggar ; les terrains du Mésozoïque et Cénozoïque constituent l'essentiel des affleurements des bordures du Bas Sahara ; enfin, des dépôts continentaux de la fin du Tertiaire et du Quaternaire occupent le centre de la cuvette

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.

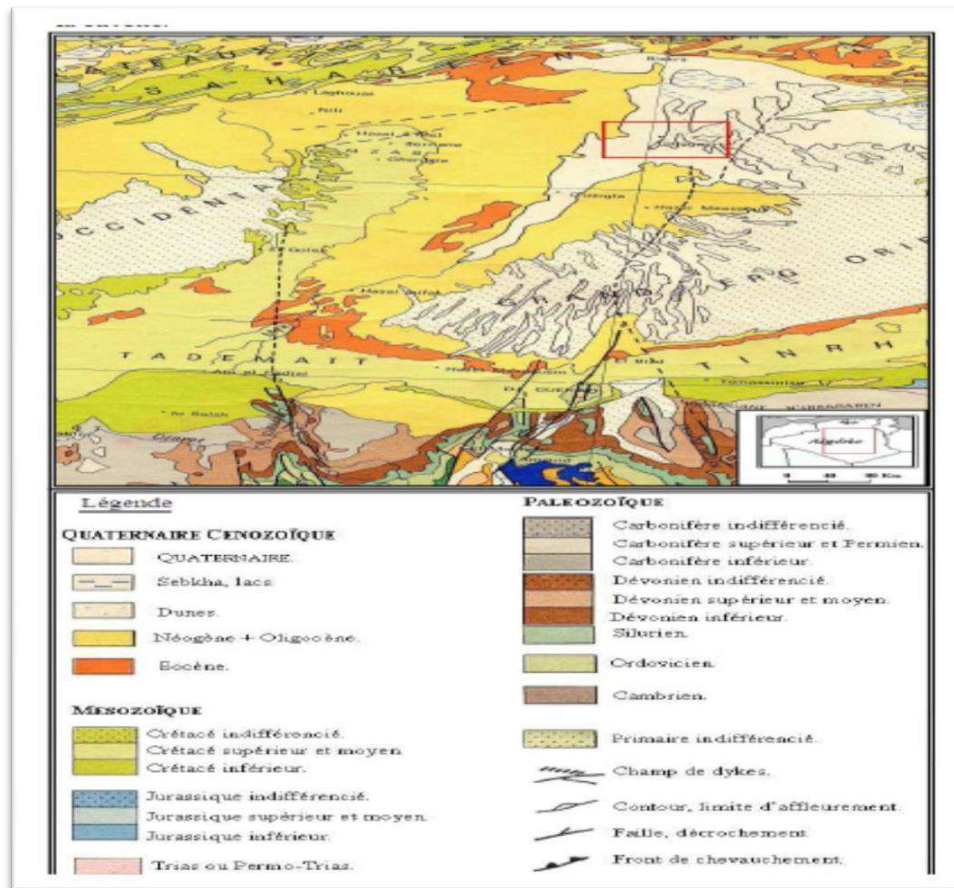


Figure 4 : Carte géologique du Sahara orientale [11].

- 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, Zaouia

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.

II -2- Le Mésozoïque :

a. Le Crétacé : Cette époque géologique est intéressante pour deux raisons : D'une part,

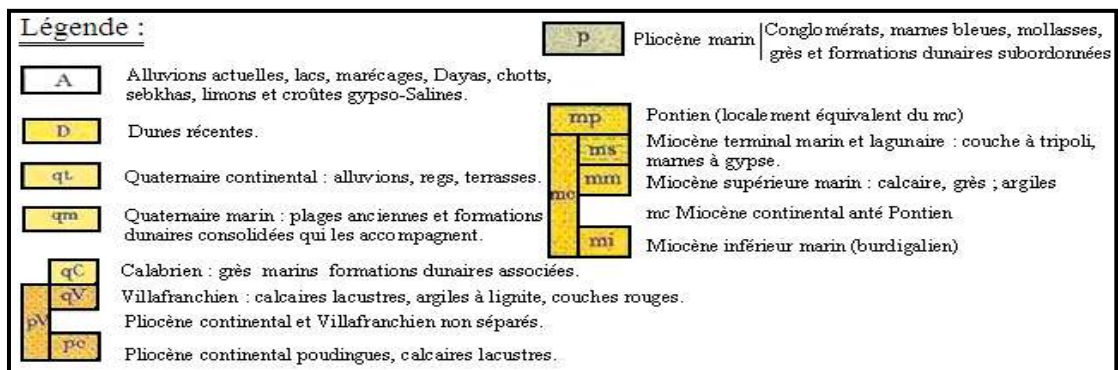
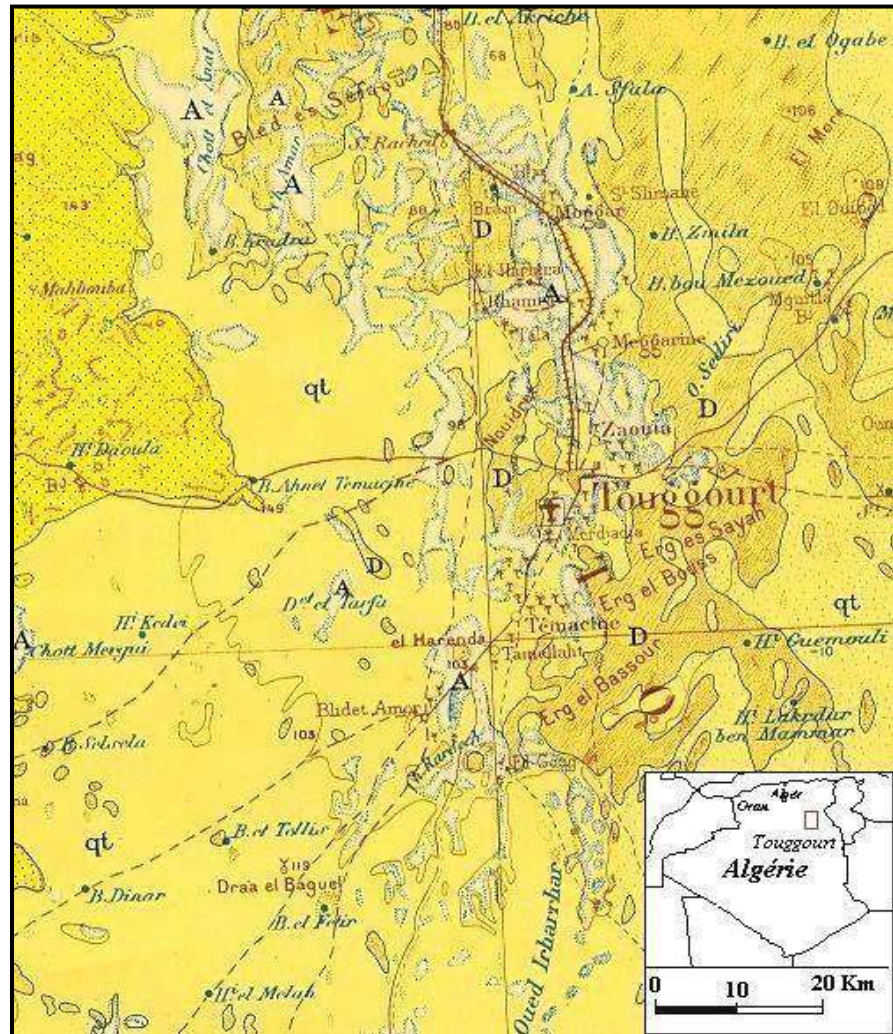


Figure 5 : carte géologique de la région de Touggourt, extrait de la carte géologique de l'Algérie.

[11].

b. Le Néocomien :Il se subdiviseendeuxéries :

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 agiles 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 constitué des séquences de grès et calcaires, sable et argiles avec une épaisseur ne dépassant pas les 120 m.

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.

II- 3-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.

II -4-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.

II-5- Tectonique générale de la region:

Du point de vue tectonique, la chaîne des Maghrébides a subit plusieurs phases orogéniques. Les plus importantes d'entre elles, vont être décrites dans ce qui suit.

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 d'Oued Righ et par le tronçon supérieur de la vallée de l'Oued Mya.

La géométrie actuelle qu'épousent les 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 contrecoups 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'insert 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 (le Sillon Sud aurésien).

Ces fractures régissent l'écoulement des eaux souterraines d'où la naissance des chotts

CHAPITRE II : Etude géologique et hydro géologique

tel que chott Merouane et chott Melhrir.

La flexure Sud Atlasique de direction Est-Ouest sépare deux domaines distincts, c'est ainsi qu'on peut avoir au Nord des points culminants, matérialisés par les Monts des Aurès et au Sud les points les plus affaissés.

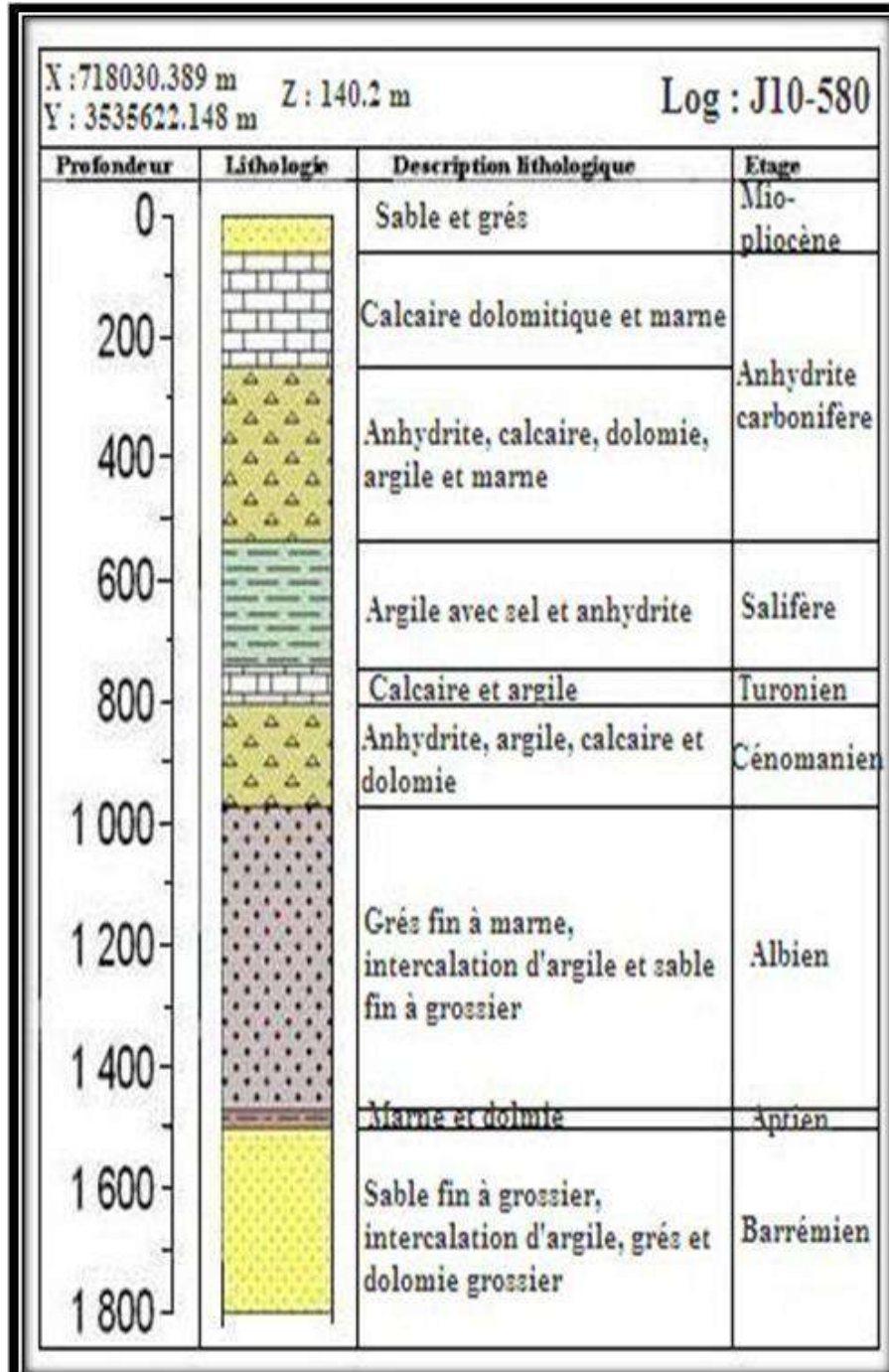


Figure 6 : Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt (ANRH)

II -6- Étude hydraulique des caractéristiques climatique

II -6-1- Objectif de l'étude :

La connaissance des caractéristiques hydro climatologique est nécessaire pour l'étude hydrogéologique, Elle est indispensable pour évaluer l'alimentation du réservoir souterrain par infiltration, et pour l'établissement d'un bilan hydrique.

Les données relatives aux différentes composantes qui régissent le climat (pluies, vents, températures, évaporation, insolation) ont été recueillies auprès des services de Station Météorologique de Touggourt

Dans cette partie prend en considération les deux plus importants éléments : la précipitation et la Température vue leur effet majeur sur l'alimentation de la nappe CT

II -6-2- Température :

Dans la région 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. À Touggourt, la **température moyenne** du mois le plus froid (janvier) est de 11,0 °C, celle du mois le plus chaud (juillet) est de 34,2 °C. Voici les températures moyennes :

Mois	Min (°C)	Max (°C)	Moyenne (°C)
Janvier	5	17	11
Février	6	20	13
Mars	10	24	17
Avril	14	28	21,2
Mai	19	33	26,3
Juin	24	38	31,1
Juillet	27	42	34,2
Août	26	41	33,7
Septembre	22	36	29
Octobre	17	30	23,4
Novembre	10	23	16,3
Décembre	6	18	12
An	15,6	29,2	22,35

Tableau 2 : Touggourt-températures moyennes (1991-2020). [01].

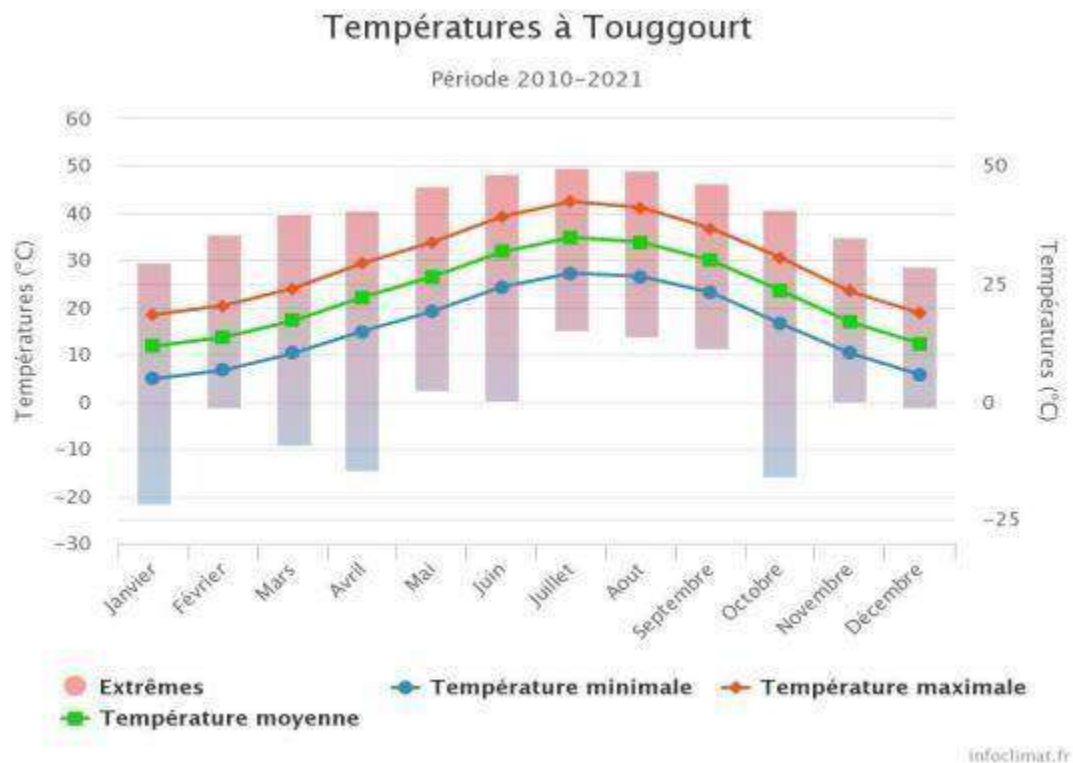


Figure 7 : Courbe des variations des températures à Touggourt (2010-2021). [01]

II -6-2-1- Interprétation des résultats :

D'après le graphe, les valeurs mensuelles de la température moyenne de l'air varient avec une certaine régularité pendant l'année, avec un maximum en 1 juillet (42.5°C) et un minimum en janvier (4.9 °C)

II -6-2-2- Les précipitations :

Les précipitations désignent toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface terrestre, sous forme liquide ou solide. Elles constituent une source primaire d'eau douce. Les précipitations efficaces alimentent à la fois les nappes souterraines par infiltration (I) et les cours d'eau de surface par ruissellement (R).

Toutefois, leur rôle est moins important dans les zones sahariennes en raison de leur faible quantité d'une part, et de la forte température d'autre part.

II -6-2-3 - Précipitations moyennes :

À Touggourt, les **précipitations** totalisent 80 millimètres par an : elles sont donc au niveau désertique. Au mois le moins pluvieux (juin) elles s'élèvent à 1 mm, dans le mois le plus pluvieux (septembre) elles s'élèvent à 14 mm Voici la moyenne des precipitations

Mois	Quantité (mm)	Jours
Janvier	9	2
Février	3	2
Mars	8	2
Avril	7	2
Mai	10	1
Juin	1	1
Juillet	8	0
Août	2	1
Septembre	14	3
Octobre	6	2
Novembre	7	2
Décembre	5	2
An	80	20

Tableaux 3: Précipitations moyennes-Touggourt (1997-2020). [08]

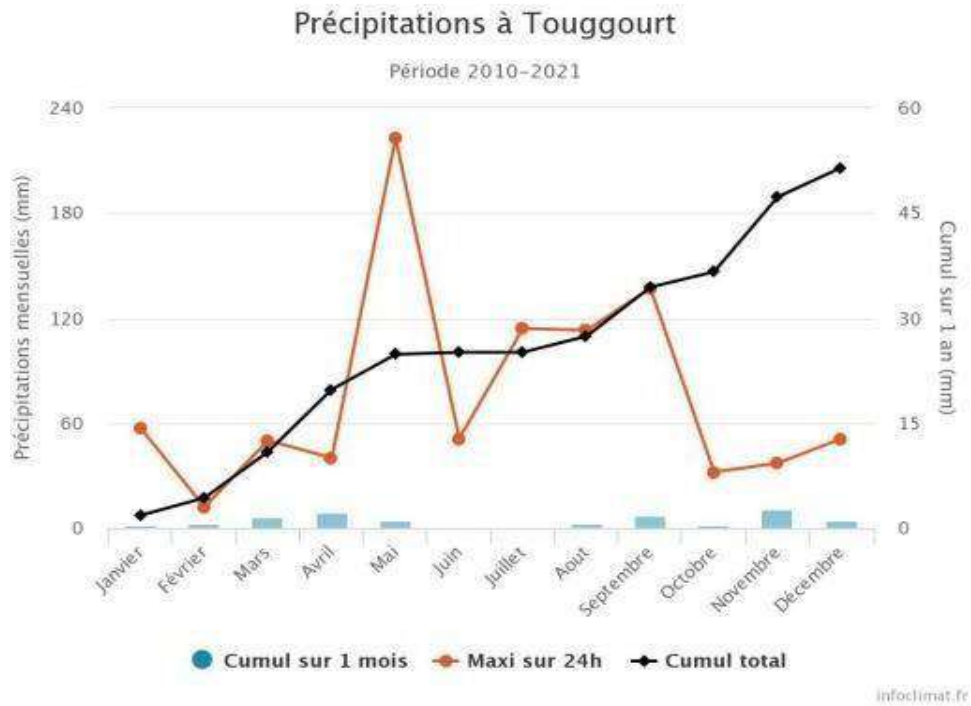


Figure 8 : Précipitations moyennes-Touggourt (2010-2021). [01]

II -6-2-4- Interprétation des résultats :

L'histogramme de répartition des moyennes mensuelles précipitations montre que :

La pluviométrie maximale est de l'ordre de 51.5 mm pendant le mois de Décembre, et le minimum est de l'ordre de 1.8 mm observé pendant le mois de janvier.

Ces résultats restent très faibles pour participer à l'alimentation de la nappe.

II -6-3- Synthèse climatique de la région :

II -6-3-1- Diagramme Pluvio-Thermique :

Les valeurs des précipitations et des températures enregistrées au niveau de la station météorologique de Touggourt sur une période de 10 années, permettent l'établissement du diagramme pluviothermique, (Suivant Gaussen et Bagnoles). Un mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur ou égale au double de la température moyenne (°C) du même mois. Le diagramme pluvio-thermique montre que la période sèche est étendue sur plupart des mois de l'année dans la zone d'étude.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dés
Tmoy (°C)	11.8	13.7	17.2	22.2	26.6	31.8	34.9	33.9	30.0	23.6	16.9	12.4
Pmoy (mm)	1.8	2.5	6.7	8.9	4.9	0.3	0.0	2.3	7.1	2.1	10.7	4.2

Tableaux 4 : Valeurs moyennes mensuelles des précipitations et des températures (2010-2021). [01]

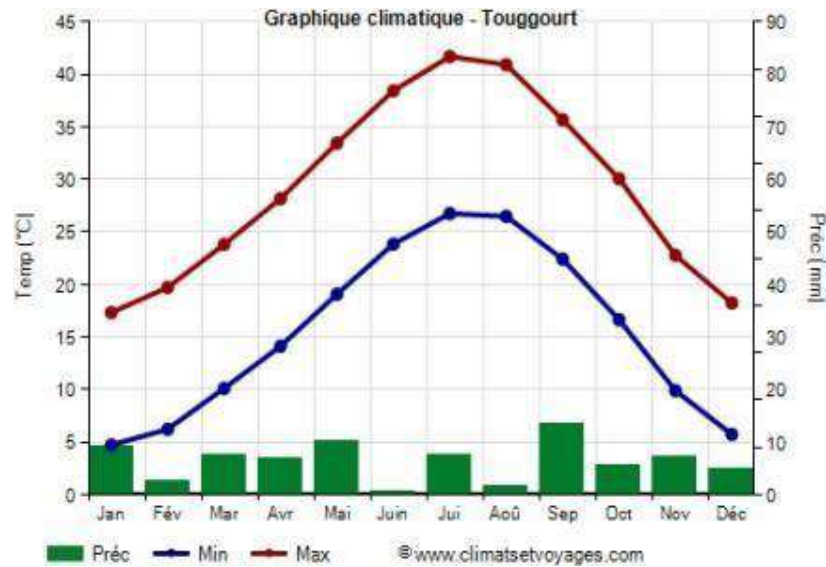


Figure 9 : Graphique climatique-Touggourt. [08]

A partir de cette courbe, on constate que l'année hydrologique de la région d'étude est désertique (période sèche) elle caractérise par une faible précipitation et une température très élevé.

II -6-3- 2- Identification hydrogéologique :

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

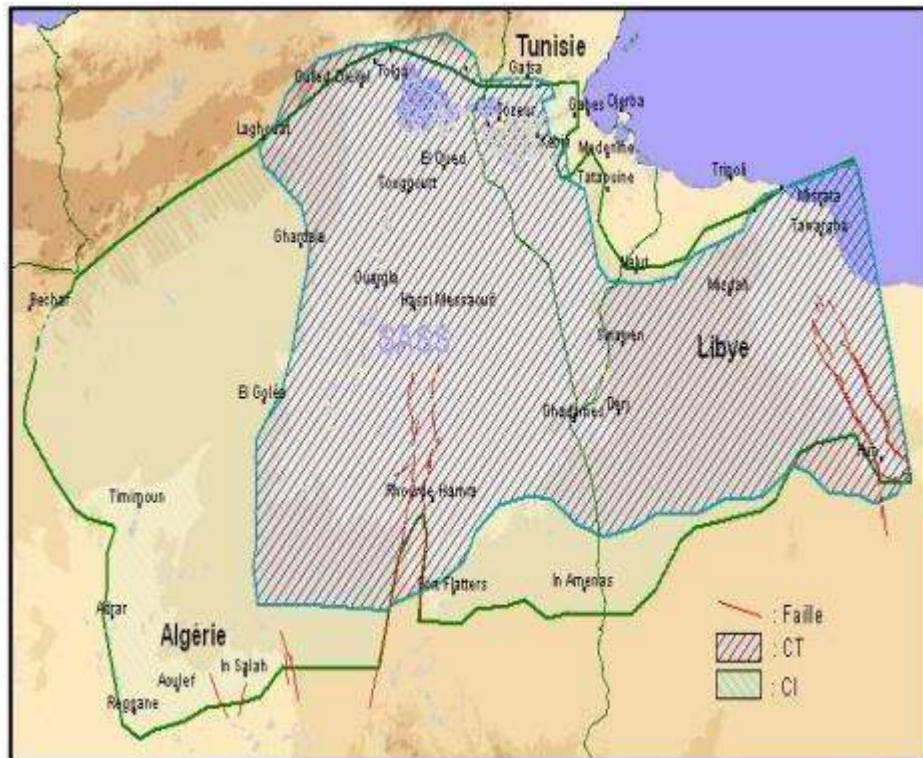


Figure 10 :Carte de l'extension géographique des aquifères de continental intercalaire et complexe terminal. [06]

D'après le schéma explicatif des différents réservoirs hydrogéologiques du Sahara algérien (Figure 10) deux grands systèmes aquifères présentent les ressources en eaux souterraines dans la vallée de la wilaya :

- ↪ Le complexe terminal .
- ↪ Le continental intercalaire.

Sans marginaliser bien sur la nappe phréatique

CONCLUSION

Le climat de la région se caractérise par une grande sécheresse de l'atmosphère, ce qui se traduit par un énorme déficit et une évaporation considérable. De plus, la forte insolation due à la faible nébulosité accentue les phénomènes thermiques. Le climat saharien est marqué par des étés aux températures torrides et des hivers doux, surtout pendant la journée. Au cœur du Sahara, on peut observer des phénomènes inhabituels tels que des pluies torrentielles lors de certaines années exceptionnelles. Les ressources en eau de la zone d'étude sont principalement d'origine souterraine, et se composent des nappes suivantes :

- la nappe phréatique ;
- la nappe du complexe terminal ;

la nappe du continental intercalaire

Chapitre III

Techniques de forage

Introduction :

La réalisation du forage d'un puits p est basée sur un programme prédictif établi à partir des informations obtenues à partir des études géologiques et des investigations géophysiques précédant le forage, ainsi que des informations provenant des puits adjacents. Ce programme de forage comprend la détermination des diamètres et des longueurs des sections à forer, ainsi que la prédiction des profondeurs des formations géologiques .

Le puits est foré en trois sections (cavités) : la première section étant la plus large en diamètre, suivie de la section biconique avec un diamètre plus petit, tandis que la troisième section a le diamètre le plus étroit. Des tubages en acier sont installés à des intervalles spécifiques à l'intérieur de la cavité du puits une fois que chaque section du puits est achevée, dans le but de protéger le puits contre l'effondrement, d'empêcher le mélange des fluides et d'empêcher les hydrocarbures de s'échapper dans la cavité du puits de manière incontrôlée, tout en faisant face aux problèmes découlant des formations géologiques traversées. Ces tubages sont appelés tubages de revêtement, et leur placement est défini avant le début des opérations de forage dans le cadre du programme prédictif, en précisant le nombre de tubages de revêtement qui seront descendus dans le puits, la profondeur à laquelle ils seront descendus, ainsi que le type, le diamètre et l'épaisseur des tubages.

III – 1- méthodes de forage :

Il existe trois types de méthodes de forage, classés ci-dessous de la méthode la plus ancienne à la method la plus récente :

III – 1-1 Les puits creusés manuellement :

Les puits creusés manuellement ont été connus depuis les temps anciens, remontant à plusieurs milliers d'années. Ils ont été découverts dès l'existence de l'humanité sur la surface de la Terre. Les profondeurs des puits creusés manuellement varient de dix mètres à plus de trente mètres, en fonction de la profondeur de la nappe d'eau dans la couche. Quant à leurs diamètres, ils peuvent varier d'un mètre à plusieurs mètres. La pioche et la pelle sont les deux principaux outils utilisés pour creuser ces puits. Afin de garantir la sécurité du puits et d'éviter l'effondrement de ses parois, il est généralement doublé d'une doublure permanente en gravier, en bois, en roche, en béton armé ou en tuyaux spéciaux pour revêtir ces puits. Dans la plupart des cas, la partie inférieure de cette doublure est perforée, permettant ainsi à l'eau de circuler de la nappe phréatique vers l'intérieur du puits.

III – 1-2- Les inconvénients des puits creusés manuellement sont :

1. La facilité avec laquelle elles peuvent être contaminées par les eaux de surface ou les polluants présents dans l'atmosphère.
2. La chute de certains objets (animaux) dans le puits, entraînant leur mort et la contamination de l'eau.
3. La difficulté de fermer ces puits en raison de leur grande taille.



Figure 11 : Puits forés manuellement . (Wikipédia).

III – 2- 1-Forage percutant :

La méthode de forage avec une machine à Forage percutant , également connue sous le nom de Forage percutant, a été introduite par les Chinois il y a de nombreuses années et leur a permis de forer à de grandes profondeurs.

L'essence de cette méthode de forage réside dans le levage et la chute répétés de la masse de la foreuse sur les roches afin de les briser. Cette opération est répétée à plusieurs reprises à grande vitesse, tout en effectuant un mouvement de rotation à chaque fois que la masse de la foreuse est levée. Lorsque les roches sont brisées, les débris restent dans le trou du puits, ce qui réduit le taux de pénétration de la masse de la foreuse dans les roches. Il est donc nécessaire de retirer ces débris. Dans ce cas, nous devons extraire les débris rocheux du puits ou du trou de forage à l'aide d'un aspirateur pour les éliminer. Pour mener à bien cette opération d'aspiration ou de retrait des débris rocheux du puits, il est nécessaire que ces débris soient sous forme d'une boue de mélange afin de faciliter leur

extraction du puits. Par conséquent, si les roches sont sèches et exemptes d'eau, il faut ajouter de l'eau dans l'espace du puits pour former une boue de mélange. La méthode de forage avec une machine à Forage percutant, également connue sous le nom de Forage percutant, est considérée comme l'une des meilleures méthodes et la seule méthode pouvant être utilisée pour le forage de puits, en particulier dans les régions karstiques

III – 2- 2- Les avantages du forage utilisant la méthode de la machine à Forage percutant sont les suivants :

- Son coût est peu élevé et ses équipements sont simples par rapport à la machine de forage rotatif (Rotary).
- Facilité de déplacement d'un endroit à un autre dans des zones accidentées.
- La consommation d'énergie nécessaire pour faire fonctionner la foreuse est très faible par rapport aux autres méthodes.
- La foreuse peut être exploitée par une seule personne, bien qu'il soit nécessaire d'avoir une autre personne pour aider à son fonctionnement.
- Il est possible de se fier aux échantillons collectés par cette méthode et de déterminer leur profondeur avec une bonne précision.

III – 2- 3- Les inconvénients du forage utilisant la méthode de l'outil de Forage percutant sont :

1. Coût élevé par rapport à d'autres méthodes de forage plus avancées.
2. Vitesse de forage plus lente par rapport aux méthodes de forage rotatives.
3. Risque accru d'endommager les formations rocheuses environnantes en raison des impacts répétés.
4. Difficulté à atteindre de grandes profondeurs en raison des limitations de l'outil de percussion.
5. Nécessité d'une maintenance fréquente et de remplacements d'outils en raison de l'usure accrue.

Veillez noter que ces inconvénients peuvent varier en fonction des conditions spécifiques du site et des équipements utilisés.

III – 2- 4- Composants d'une perceuse de précision :

L'unité de transport : est une voiture ou une remorque mobile sur laquelle est placée l'unité de forage, facilitant ainsi son déplacement d'un endroit à un autre.

L'unité de forage se compose des éléments suivants :

1. **Moteur de la foreuse** : Il s'agit d'un moteur diesel qui produit l'énergie nécessaire pour faire fonctionner la foreuse.
2. **La colonne principale (mât)** : Il s'agit d'une colonne en acier qui se déplace à l'aide d'une grande roue métallique entraînée par le moteur de la foreuse à travers des courroies de transmission. La colonne principale est responsable du mouvement du marteau de percussion, du mouvement de levage et du mouvement de suction.
3. **Le mât de la foreuse** : Il est composé de barres métalliques fixées les unes aux autres, d'une longueur d'environ 12 mètres. La longueur du mât peut être augmentée ou diminuée selon les besoins. Au début du mât se trouvent trois poulies :
 - a) Poulie du marteau de forage.
 - b) Poulie de levage, sur laquelle passe le câble de levage.
 - c) Poulie de suction, sur laquelle passe le câble de suction.
4. **Le marteau de forage** : Il est constitué d'un fer en acier d'environ 7,5 mètres de long et d'un poids d'environ 1,5 tonne. Au début du marteau de forage se trouve ce qu'on appelle l'étoile, ainsi que les griffes et les épaules du marteau. À la fin, le marteau est attaché au câble.
 - a) **L'étoile** : Ce sont des barres en acier solide en forme d'étoile, d'où leur nom. Avec cette étoile, il est possible d'ajuster le diamètre du marteau de forage dans la machine de forage pour augmenter ou réduire la longueur des barres de l'étoile. Les barres de l'étoile s'usent constamment pendant le forage, c'est pourquoi de nouvelles barres sont installées chaque fois que nécessaire.
 - b) **Les griffes** : Ce sont des pièces en acier solide installées au début du marteau de forage, à une distance d'environ 25 à 50 cm de l'étoile du marteau. Elles sont disposées de manière opposée aux barres de l'étoile et aident à élargir le trou de forage pendant le processus de forage.

c) **Les épaulés du marteau** : Elles sont installées au début du marteau de forage et sont constituées de morceaux d'acier d'environ un mètre et demi de long, soudés longitudinalement sur le marteau. Elles aident à élargir le trou de forage et à équilibrer le marteau de forage.

5 câble du marteau de forage : Il est composé d'un ensemble de fils métalliques et a un diamètre de câble de marteau de forage de 22 mm, 24 mm ou 26 mm, selon le cas. Il est attaché au marteau de forage et est utilisé pour lever le marteau vers le haut et vers le bas pendant le processus de forage.

6 câble de levage : Il est utilisé pour soulever et abaisser les tubes de revêtement dans le puits pendant le processus de revêtement du puits.

7 Le dispositif d'aspiration : Il s'agit d'un tube de 8 pouces ou de 6 pouces de diamètre, d'une longueur de 3 mètres. À son extrémité, il y a une soupape de non-retour qui permet à l'eau et aux débris rocheux d'entrer à l'intérieur du dispositif d'aspiration. À l'autre extrémité, il est attaché au câble d'aspiration, qui est utilisé pour soulever et abaisser le dispositif d'aspiration dans le puits afin de retirer les débris rocheux et nettoyer le puits.

8 Le dispositif de levage : Il est utilisé pour soulever l'unité de forage et l'unité de transport légèrement au-dessus de la surface du sol afin d'absorber les vibrations causées par le mouvement du marteau de forage vers le haut et vers le bas et son impact avec la surface du sol pendant le processus de forage. Il est également utilisé pour ajuster le marteau de forage de manière à ce qu'il soit vertical au début de la concentration du forage sur le puits, afin de forer verticalement sans déformation du puits.

9 La chaise du foreur : C'est sur elle que se tient le foreur pour tenir le câble du marteau de forage et ressentir le mouvement du marteau de forage pendant le processus de forage.

10 La machine de soudage : Elle est utilisée pour souder les tubes de revêtement les uns aux autres pendant le processus de revêtement et dans plusieurs autres travaux nécessitant la soudure.



Figure 12 : La machine de forage de puits (le marteau-piqueur) [09]

III -3 -1- La méthode de forage rotatif :

Lorsqu'il est devenu nécessaire de rechercher de nouvelles sources d'eau situées à de grandes profondeurs sous la surface de la terre, la méthode de forage rotatif a été développée pour augmenter le taux de pénétration de la tête de forage dans les formations rocheuses et pour atteindre des profondeurs plus importantes des puits afin d'atteindre les aquifères profonds inaccessibles à l'homme. Le forage rotatif se résume à une tête de forage qui tourne, écrasant les roches qu'elle traverse, tandis que les débris rocheux (les déblais) sont éliminés à l'aide d'un fluide boueux continu appelé boue de forage.

La boue de forage est injectée à travers le tube de forage dans le puits, où elle sort à travers des trous dans la tête de forage pour atteindre la surface. Ce fluide est dirigé vers une cuve où

il est laissé en suspens afin que les débris rocheux qu'il transporte se déposent. Cette cuve est appelée cuve de décantation, puis le fluide est transféré vers une autre cuve pour être prêt à être réinjecté dans le puits.

III -3 -2- Avantages du forage rotatif :

Le taux de pénétration de la tête de forage dans les formations rocheuses est considéré comme élevé par rapport à la méthode de forage à l'aide d'une Forage percutant

- 1 Le processus de forage ne nécessite pas la descente des tubes de revêtement pendant le forage pour éviter les éboulements, contrairement au forage avec une machine de percussion.
- 2 La facilité de descente des tubes de revêtement et des filtres.

III -3 -3- Inconvénients du forage rotatif :

1. Le coût est élevé par rapport au forage avec une machine de percussion.
2. Les équipements de forage nécessitent une maintenance précise et coûteuse.
3. La collecte d'échantillons de débris rocheux et la détermination de leur profondeur nécessitent des calculs précis.
4. L'exploitation de la foreuse nécessite une équipe de foreurs.
5. Il existe un risque de fuite de fluide de forage dans les zones où les roches présentent des fissures.



Figure 13 : Il explique la méthode de forage rotatif [09]

III -4 -1- Le forage turbinaire est décrit :

L'idée du forage turbinaire repose sur la génération directe d'un mouvement de rotation au-dessus du trépan et sa transmission à celui-ci par l'intermédiaire d'un axe spécifique. Ainsi, toutes les pertes d'énergie résultant du frottement entre les dispositifs de transmission de mouvement en surface, les tiges de forage et les parois du puits sont éliminées. Les équipements utilisés dans cette méthode de forage ne diffèrent pas de ceux utilisés dans la méthode de forage rotatif, à l'exception de l'ajout d'une turbine directement au-dessus du trépan, sur le fil de forage. Il est donc remarquable que la fonction de chaque composant de l'unité de forage ne diffère pas dans les deux méthodes, à l'exception du fait que l'opération de forage turbinaire n'implique pas la rotation du fil de forage, mais le maintient immobile pour assurer l'alimentation et la circulation de la boue de forage à haute pression vers la turbine, tout en préservant ses composants. Ensuite, la pression de la boue en

mouvement est transformée en un mouvement de rotation par l'intermédiaire des plaques réfléchissantes inclinées autour de l'axe de rotation, qui à leur tour transmettent le mouvement au trépan.

III -4 -2- Avantages du turbo forage

1. Le taux de pénétration élevé dans le forage est dû à la vitesse de rotation du trépan.
2. L'absence de rotation du fil de forage entraîne :
 - a) La possibilité d'utiliser des tubes de forage légers et peu coûteux.
 - b) Une réduction du nombre d'opérations de pêche nécessaires pour récupérer les parties du fil de forage cassées à l'intérieur du puits.
 - c) Un fonctionnement silencieux et une réduction du bruit. d) Une durée de vie des tubes multipliée par dix par rapport au forage rotatif.
 - d) Une économie d'énergie considérable.

III -4 -3- Inconvénients du turbo forage :

- Le coût élevé du turbodrill en termes de valeur et de durabilité.
- Le besoin de pompes à boue de forage à haute pression et débit élevé.
- Le turbodrill ne peut pas fonctionner si la viscosité de la boue de forage est élevée, car il est conçu pour le forage avec de l'eau.
- Le besoin d'éliminer les matières solides de la boue, car elles causent l'usure et les dommages au turbodrill.
- L'utilisation d'une tarière pénétrante n'est pas possible avec le turbodrill en raison de la nécessité d'une différence de pression à travers le turbodrill.

III -5- Les différents types de plates-formes de forage et leur choix :

Il existe plusieurs types de plates-formes de forage utilisées dans les opérations de forage de puits. Le choix de la plate-forme de forage dépend de plusieurs facteurs, dont les plus importants sont :

- Le coût et sa disponibilité.

- La profondeur de l'eau sur le site.
 - La mobilité et la capacité de transport sur le continent.
 - La profondeur de la cible et les pressions possibles et attendues.
 - L'expérience de l'équipe de forage.
- ❖ Il existe plusieurs types de têtes de forage utilisées pour le forage de puits, qui varient en fonction de la nature du sol, de la profondeur du puits et d'autres facteurs. Voici quelques-uns des types courants de têtes de forage :
- **Tête de forage à boue (Mud Rotary)** : Utilisée pour le forage de puits dans des sols argileux, sableux et des roches tendres. La tête de forage fonctionne en injectant de la boue ou d'autres liquides dans le puits pour refroidir la tête et former une couche de boue autour d'elle afin de maintenir sa stabilité et d'éviter l'effondrement des parois.
 - **Tête de forage à air (Air Rotary)** : Utilisée pour le forage de puits dans des roches dures telles que la pierre et les roches volcaniques. Une pression d'air est appliquée sur la tête pour fragmenter et briser les roches, et les déblais sont extraits par un flux d'air haute pression.
 - **Tête de forage à boue et sable (Mud and Sand Rotary)** : Utilisée pour le forage de puits dans des sols multicouches contenant des couches de sable et de roches dures. La tête de forage implique l'injection alternée de boue et de sable pour décomposer les roches et faciliter l'extraction des déblais.
 - **Tête de forage à circulation inversée (Reverse Circulation)** : Utilisée pour le forage de puits profonds dans des roches dures et l'échantillonnage. Elle se caractérise par une tête de forage bidirectionnelle qui pompe le fluide de forage dans une direction opposée, entraînant le flux des déblais et des boues à travers la boucle inversée présente dans la tête.

Ce sont quelques-uns des types courants de têtes de forage, et il existe d'autres types disponibles en fonction des besoins et des conditions de forage spécifiques.

III-6- Les équipements de forage :

Leur fonction consiste à réaliser, dans les meilleures conditions techniques, économiques et de sécurité, un puits reliant un réservoir d'eau à la surface.

L'adaptation aux besoins de puissance requis par le programme de forage est une préoccupation constante pour assurer la réussite de l'opération de forage, en recherchant le rapport qualité/prix le plus élevé possible tout en respectant les exigences en matière de sécurité.

Un équipement surdimensionné entraîne des coûts supplémentaires, tandis qu'un équipement sous-dimensionné augmente les risques et limite les possibilités de traction en cas de blocage de l'outil de forage.



Figure 14 : L'appareil du forage [12].

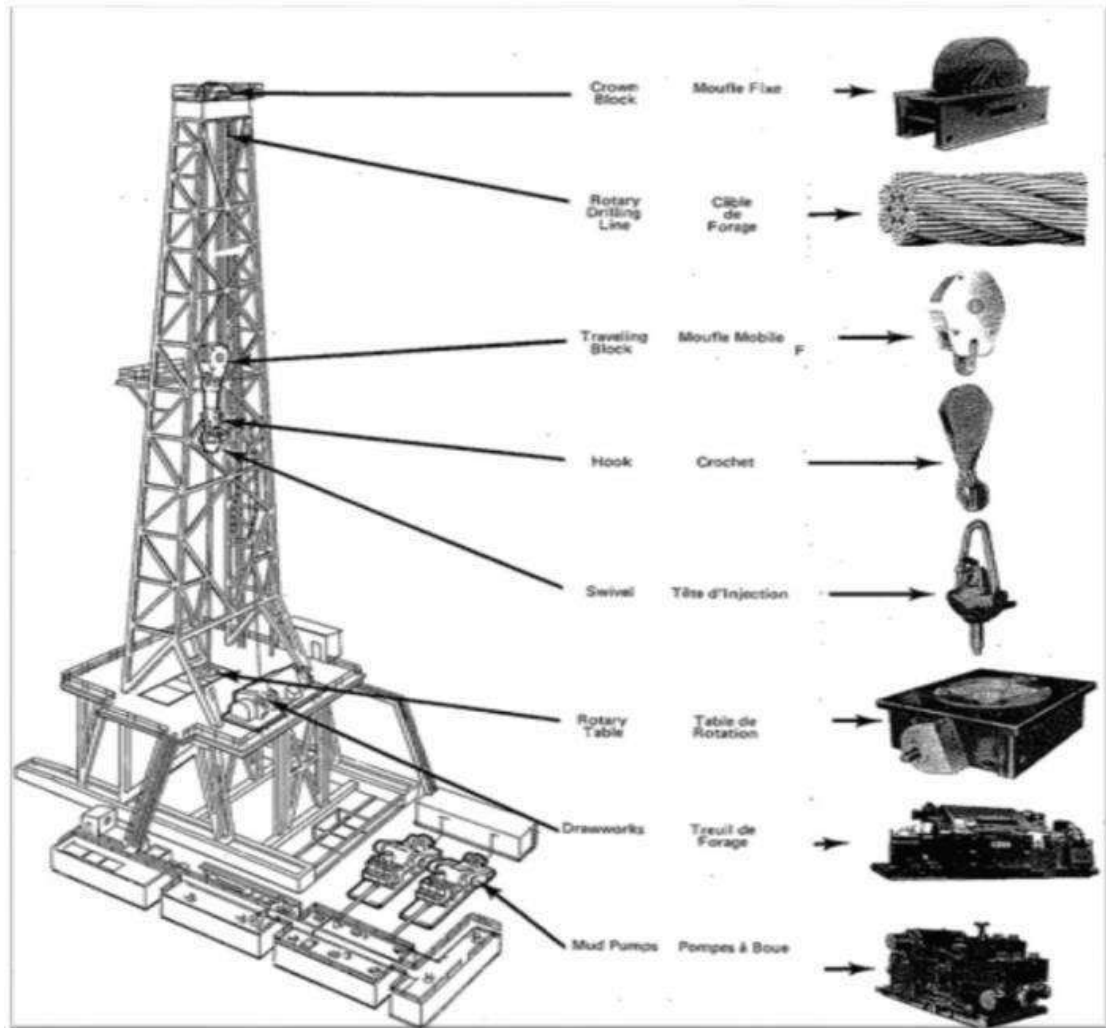


Figure 15 : Description d'un équipement de forage rotar [04].

III -6-1- Les composants de la tour de forage : Chaque tour de forage est composée de quatre parties principales, à savoir :

a - **Le système de levage et de rotation :** Il est composé de:

Mât :

Il s'agit d'une structure métallique en forme de pyramide allongée. Le mât est utilisé sur les équipements terrestres et peut être démontable, repliable ou télescopique.

Lors du forage d'eau à des profondeurs relativement faibles, les équipements de forage utilisent généralement des mâts télescopiques soutenus par un camion ou une remorque. Ces mâts peuvent être haubanés, c'est-à-dire stabilisés par plusieurs câbles d'ancrage. Ils supportent toutes les charges liées au forage :

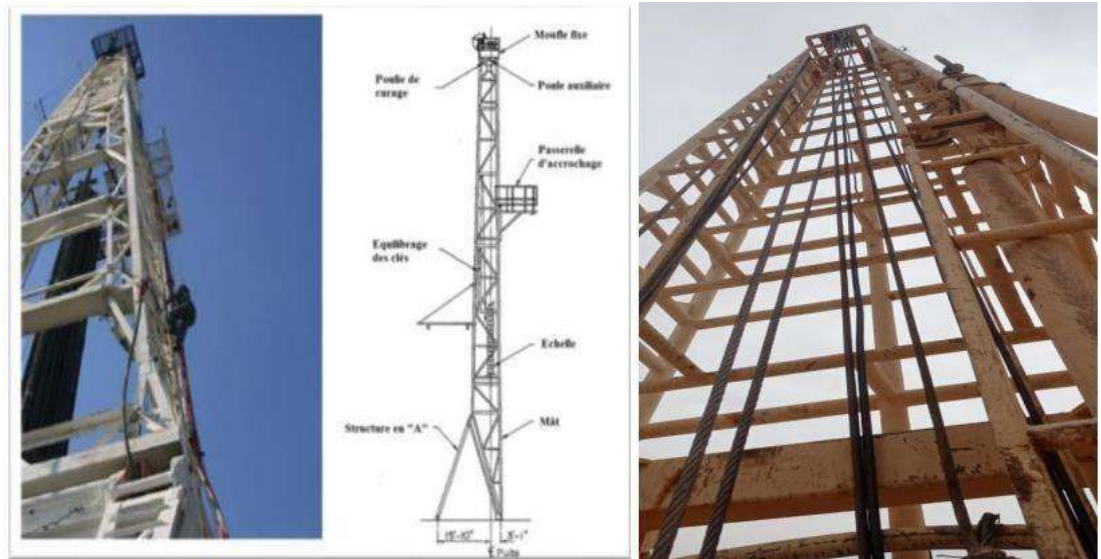


Figure 16 : Mât d'appareil de forage. [05].

❖ **Le câble de forage :**

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



Figure 17 :câble de forage. . (Wikipédia).

❖ Le Treuil :

Il s'agit d'un tambour autour duquel le câble de forage s'enroule. Il est équipé de deux jantes utilisées pour le freinage, et ce freinage s'effectue par contact des jantes avec des bandes métalliques. Le treuil tire et alimente le câble de forage, permettant ainsi de monter ou descendre l'ensemble de l'outil de forage. Il permet également de contrôler la vitesse du moufle mobile et la pression exercée sur l'outil.



Figure 18 : Treuil de forage [12].

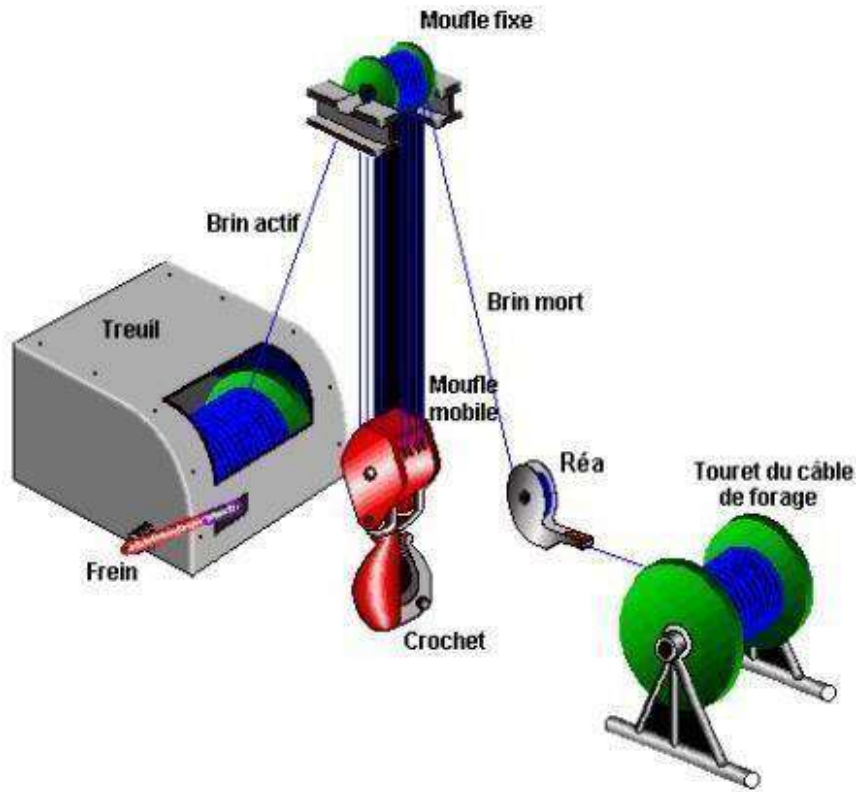


Figure 19 : Voici un schéma illustrant le système de levage.

❖ **Le bloc mobile:**

Elle comprend un ensemble de poulies (sheaves) autour desquelles les câbles de forage tournent, complétant ainsi le travail des poulies fixes pour monter et descendre le câble de forage. Son fonctionnement est lié au crochet (hook) et ces poulies sont enveloppées dans un boîtier en acier (housing steel). Le raccordement rotatif en haut du tube de forage est relié aux poulies mobiles qui se déplacent verticalement sans rotation à l'aide de câbles en acier (block line) passant à travers les poulies mobiles jusqu'aux poulies couronnées (crown block) en haut de la tour de forage, puis vers le tambour de traction. Le mouvement ascendant et descendant des poulies mobiles est utilisé pour tirer le câble de forage vers le haut ou pour ajouter des tiges de forage supplémentaires pendant le forage en cours.



Figure 20 : Moufle mobile et le crochet.

b- Équipements de puissance :

La puissance motrice d'un appareil de forage fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement des différentes fonctions de l'appareil (levage, rotation, pompage, équipements de traitement de la boue, éclairage, etc.).

❖ Équipements de rotation :

La puissance de rotation de l'ensemble de forage est transmise par la table de rotation et le carré d'entraînement. La table de rotation :

La rotation de l'ensemble de forage est assurée par la table de rotation et le carré d'entraînement. Il s'agit d'une machine rotative utilisée pour faire tourner l'ensemble de forage. Elle est fixée au carré d'entraînement, articulée à la tige carrée qui permet la rotation de l'ensemble de forage. Lors des opérations, la table de rotation supporte le poids de l'ensemble de forage tout en étant utilisée pour dévisser rapidement les tiges.



Figure 21 : table de rotation

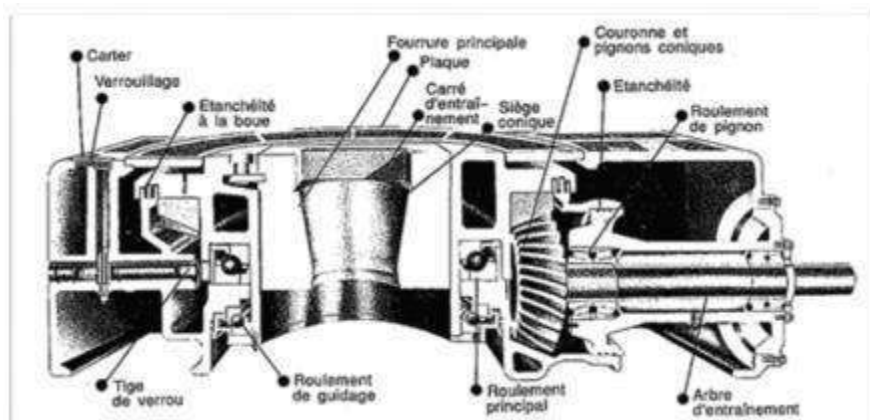


Figure 22 : Nomenclature de la table de rotation.

❖ **La tige d'entraînement (carrée) :**

La tige d'entraînement se caractérise par sa longueur occupée par un profil carré ou hexagonal (longueur utile).

Les tiges d'entraînement normalisées selon les normes de l'API ont une longueur totale de 12,19 mètres.

En général, les tiges d'entraînement sont équipées d'un filetage femelle 6"5/8 à gauche à leur extrémité supérieure, permettant de les raccorder à la tête d'injection. Ce raccordement permet à la fois l'injection de la boue et la rotation de la tige carrée (le filetage est à gauche afin d'éviter le desserrage pendant le forage).

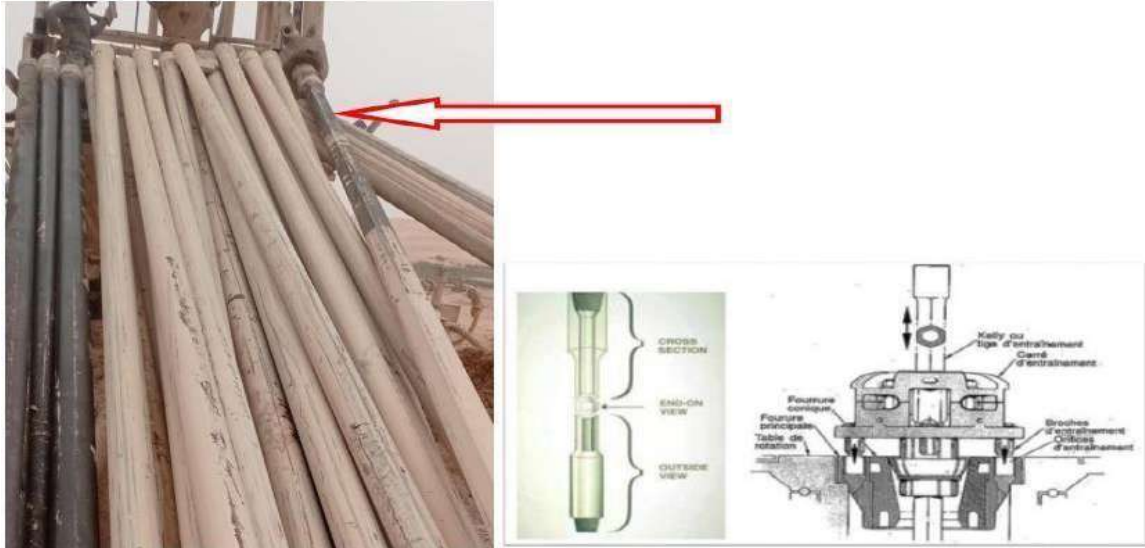


Figure 23 : Tige d'entraînement [05].

❖ Le carré d'entraînement :

Le mouvement de rotation est transmis par la table à la tige d'entraînement par l'intermédiaire d'un carré d'entraînement, le carré est solidaire à la table de rotation durant la rotation de celle-ci par l'intermédiaire d'une fourrure principale

Équipements de circulation :

Le système de circulation composé des équipements par lesquels circule la boue de forage .Il s'agit :

✓ Bacs à Boue :

Ce sont des bassins, souvent en acier (lieu de stockage de la boue)on distingue trois types de bacs selon leurs rôles :

- ❖ les bacs sous vibrateurs
- ❖ les bacs de décantation
- ❖ les bacs à boue



Figure 24 : bac à boue. [12].

❖ **Pompes à boue :**

Les pompes sont responsables de l'aspiration de la boue de forage des bassins de boue à travers la conduite d'aspiration , puis de son injection dans la tour de forage via la conduite de refoulement. À partir de là, la boue est envoyée vers le tube vertical, puis le tuyau rotatif, le pivot, la tige de forage et enfin dans l'espace annulaire du puits.



Figure 25 : Pompe à boue [12].

❖ Flexible d'injection :

C'est le flexible du forage rotary, qui conduit les fluides de la colonne montante à la tête d'injection et la tige carrée.

❖ Les Tamis vibrants d'échantillons (Cutting) :

Il a placé après la conduite de refoulement de la boue pour tamisage les cutines de forer pour descriptif lithologique du puits



Figure 26 : Tamis vibrant. [12].

❖ Tiges de forage :

Le haut du câble de forage forme la partie la plus longue et représente le tronçon principal. Il est fabriqué en acier et ses diamètres extérieurs se situent entre 3,5 et 5 pouces. Les sections sont reliées entre elles par des filetages en spirale. Lorsqu'elles tournent, elles font tourner également la mèche de forage. Chaque section de tuyau de forage est appelée "joint", et lorsque deux ou trois joints de tuyaux de forage sont assemblés, on les appelle un "stand". Plus le stand est long, plus le processus de forage est rapide. Les tuyaux de forage sont classés en fonction de leur diamètre, de leur résistance (qualité), du poids de l'acier et de leur longueur..

N Tiges	Langueur m	Diamètre extérieur	Diamètre intérieur	Epaisseur	Poids nominale
24	9.50 m	110 mm	105mm	5 mm	27.12 kg/m

Tableaux 5 : Type de Tiges utilisés



Figure 27 :Les tiges de forage [05].

Les tuyaux de forage à paroi épaisse, appelés "Heavy Wall Drill Pipes", sont placés entre les tuyaux de stabilisation et les tuyaux de forage. Ils réduisent les contraintes auxquelles sont soumis les tuyaux de forage et contribuent à maintenir ces derniers tendus tout en exerçant une pression sur la mèche de forage.

Les tuyaux de stabilisation, appelés "Drill Collar", sont des tuyaux lourds et à paroi épaisse avec des diamètres compris entre 4,75 et 9,5 pouces. Ils sont toujours placés au-dessus de la mèche de forage pour appliquer la pression appropriée sur la mèche et maintenir les tuyaux de forage en tension. Ils aident également à centrer le câble de forage et à permettre le passage

du fluide de forage et des autres fluides. La quantité de poids dépend du type de formation rocheuse ainsi que du type et de l'âge de la mèche de forage.

Il existe différents types de tuyaux de stabilisation, notamment le type lisse (Slick) et le type spiralé (Spiral). Le type spiralé est préféré car sa surface extérieure présente des canaux en spirale qui réduisent les risques d'adhérence jusqu'à 50% par rapport aux tuyaux lisses à paroi épaisse, car ils ont une surface de contact réduite jusqu'à 50%.

❖ Les masse – tiges:

Les masse-tiges ont pour fonction de : appliquer une pression sur l'outil afin d'éviter que les tiges de forage ne travaillent en compression. Le poids utilisable des masse-tiges ne doit pas dépasser 80% de leur poids total dans la boue. Elles jouent le rôle du plomb du fil à plomb pour permettre le forage d'un trou aussi droit et vertical que possible. Elles remplissent pleinement ces conditions uniquement si elles sont aussi rigides que possible, c'est-à-dire si elles sont dimensionnées de manière généreuse.



Figure 28 : masse – tiges [05].

❖ La crépine :

La crépine, un tubage perforé, facilite la filtration de l'eau provenant de l'aquifère. Elle est positionnée après le tubage plein, en face d'une partie ou de la totalité de la formation aquifère. La crépine joue un rôle essentiel en tant qu'équipement principal dans le forage hydraulique.

- **Choix de la crépine :**

Le choix de la crépine est une étape cruciale dans le processus de forage hydraulique. Plusieurs facteurs doivent être pris en compte pour garantir une performance optimale.

Tout d'abord, il est essentiel de considérer les caractéristiques de l'aquifère, telles que la profondeur, la composition géologique, la perméabilité et la qualité de l'eau. Ces informations permettront de déterminer le type de crépine adapté à la situation.

Ensuite, il faut prendre en considération le débit d'eau requis et la pression du système. La taille des perforations de la crépine doit être choisie en fonction de ces paramètres pour assurer un débit adéquat sans compromettre l'intégrité du tubage.

La résistance de la crépine est également un aspect important à prendre en compte. Elle doit être capable de supporter les contraintes mécaniques, les variations de pression et les éventuelles obstructions tout en conservant une efficacité de filtration optimale.

Enfin, il convient de se référer aux normes et aux réglementations en vigueur dans le domaine du forage hydraulique pour s'assurer que la crépine choisie est conforme aux exigences de qualité et de durabilité.

En résumé, le choix de la crépine doit être basé sur une analyse approfondie des caractéristiques de l'aquifère, des besoins en débit et en pression, de la résistance mécanique et des normes réglementaires. Cela garantira une performance fiable et efficace du système de forage hydraulique.



Figure 29 : crépine INOX Johnson utilisée

❖ **Aléseurs :**

Ils sont intercalés dans le train de sonde, leurs rôle est l'alésage des parois de puits d'une part, d'autre part ils ont un rôle analogue à celui des stabilisateurs

❖ **Outil de forage :**

Les mèches de forage sont nombreuses et variées, et leur sélection dépend de la dureté des formations rocheuses à pénétrer. Les types les plus importants comprennent la mèche de forage à roche, la mèche de forage conique à rouleaux et la mèche de forage en diamant polycristallin compact, fabriquée à partir de diamant synthétique.

Ces mèches ont pour fonction de briser et fragmenter les roches en petites particules, avec l'aide du flux de boue de forage qui est injecté à haute pression à travers les ouvertures présentes sur les côtés de la mèche.

La phase	La longueur de foration	diamètre
1	15 m	24"
2	106 m	17"1/2"
3	21 m	12"1/4"

. **Tableau. 6 :** Caractéristiques des Outils de forage utilisés

Les Outils de forage ou Trépan (Bit)

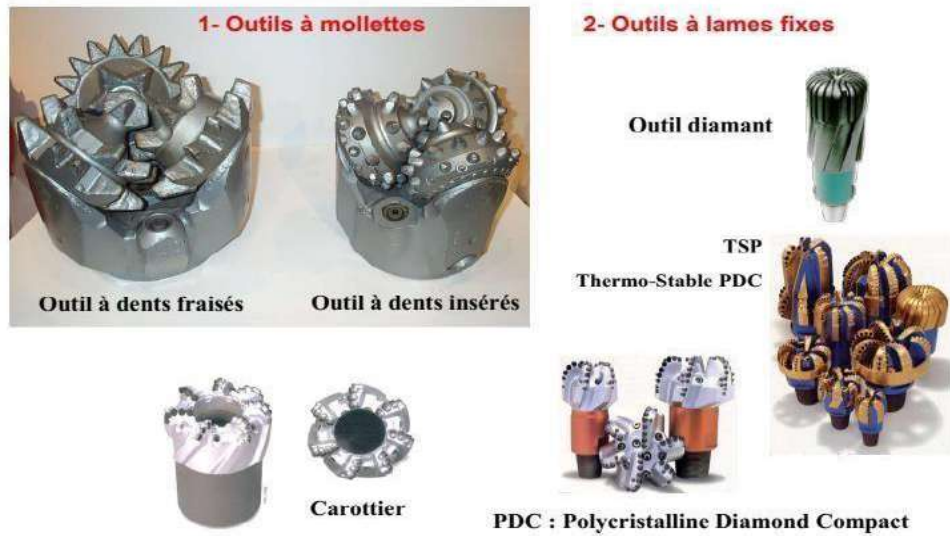


Figure 30 : Outil de forage [02].



Figure 31 : Outil de forage [05].

✓ Les équipements qui sont attachés au câble de forage :

Divers équipements sont attachés au câble de forage selon les besoins, parmi les plus importants :

1- Les stabilisateurs :

Les stabilisateurs, sont ajoutés au câble de forage à des intervalles de profondeur pour réduire le mouvement latéral du câble de forage et stabiliser l'angle de déviation du puits pendant processus de forage.



Figure 32 :Les stabilisateurs [12].

2- L'équipement de réduction des chocs :

L'appareil d'amortissement des chocs, utilisé pour réduire les vibrations causées par le processus de forage des formations solides, est conçu pour résoudre certains problèmes tels que la réduction du couple de la mèche et la régulation de la valeur du poids exercé sur celle-ci. Il est généralement positionné à une distance de 60 à 30 mètres au-dessus de la mèche

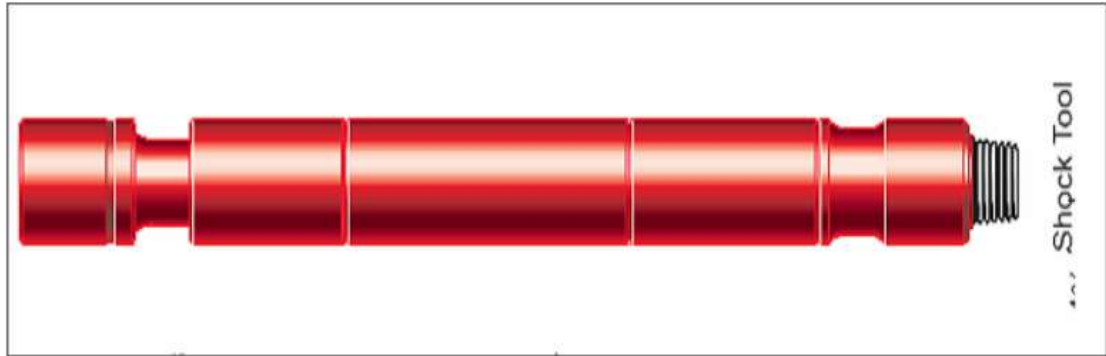


Figure 33 : Le dispositif d'amortissement des chocs. [02].

3- Centreurs :

Le centrage d'une colonne est un paramètre crucial pour obtenir une cimentation de qualité. Il existe des règles de centrage pour les puits verticaux et déviés. Selon qu'ils se trouvent à l'intérieur d'un tubage ou à découvert, les centreurs peuvent être rigides ou souples :

Les centreurs rigides : Ils sont dotés de lames en forme de "U" et sont utilisés dans les espaces annulaires entre les tubages

Les centreurs souples : Ils peuvent être droits ou en spirale et sont utilisés dans les espaces annulaires entre le tubage et le trou du puits



Figure 34 : Montage d'un centreur avec un stop collar [12].

4- Gratteurs (scratcher) :

Les gratteurs servent à la destruction mécanique du cake et favorisent une meilleure adhérence du ciment sur la formation. Leur emploi est particulièrement recommandé au droit des couvertures lorsque l'on veut isoler parfaitement des niveaux réservoirs. Face à des terrains poreux et ayant une perméabilité assez élevée, l'élimination du cake par les gratteur

ne sera pas forcément un critère pour l'obtention d'une bonne cimentation, d'aut phénomènes pouvant perturber la qualité du laitier (filtration, déshydratation ...).

Les gratteurs seront choisis en fonction du mouvement que l'on compte imposer à la -colonne pendant la cimentation.

- rotation : gratteurs rotatifs,

- va-et-vient (reciprocating) : gratteurs alternatifs

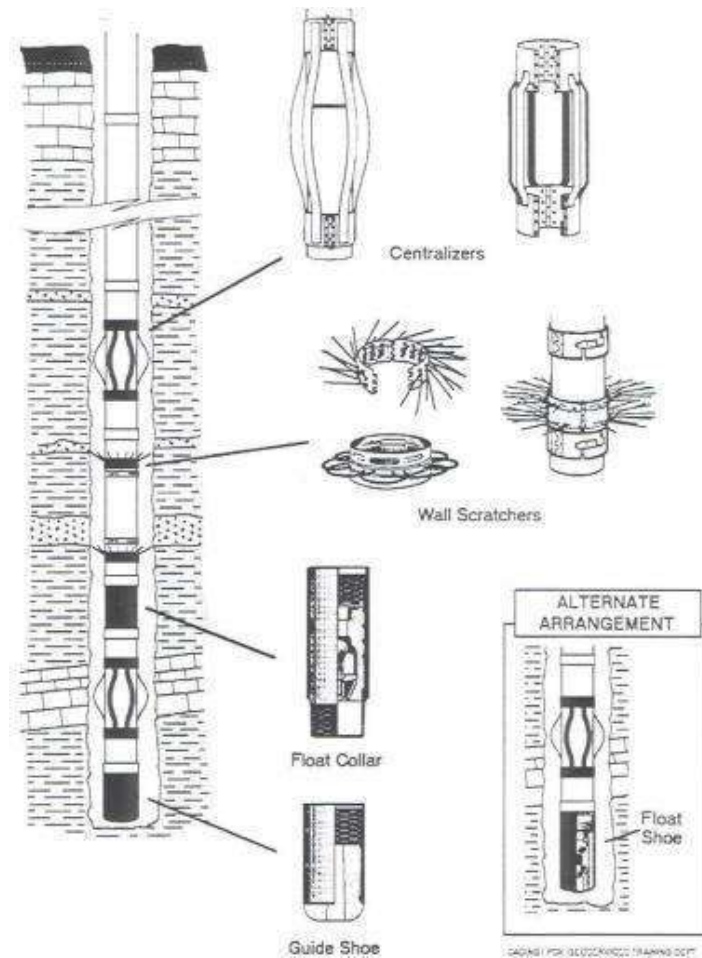


Figure 35 : Exemple de colonne de tubage. [04].

✓ Les outils et équipements de levage et d'attelage :

❖ La grue à prise centrale avec glissières :

Elle est couramment utilisée pour saisir et soulever les tiges de forage lors de leur insertion et leur retrait.

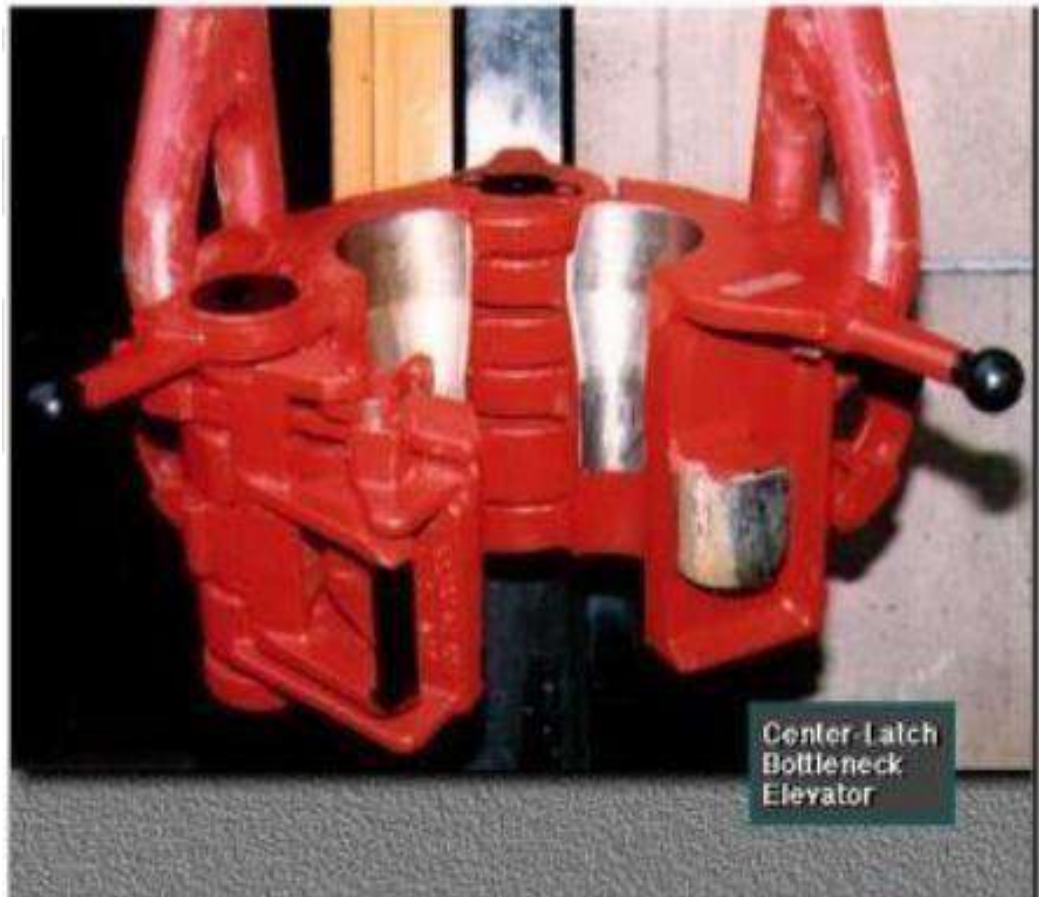


Figure 36 : La grue à prise centrale avec glissières [02].

❖ **La pince élévatrice "Pick up Elevator" :**

La grue de préhension est couramment utilisée pour saisir et soulever les tiges de forage lors des opérations de levage et de descente.



Figure 37 : La pince élévatrice "Pick up Elevator" [05].

□ **Les équipements de connexion :**

Les équipements de connexion jouent un rôle essentiel dans le processus de forage, car ils permettent l'ouverture et le serrage des tuyaux de toutes sortes, en plus des autres équipements présents dans la tour de forage. Ils existent sous différentes formes, et voici les détails de ces équipements.

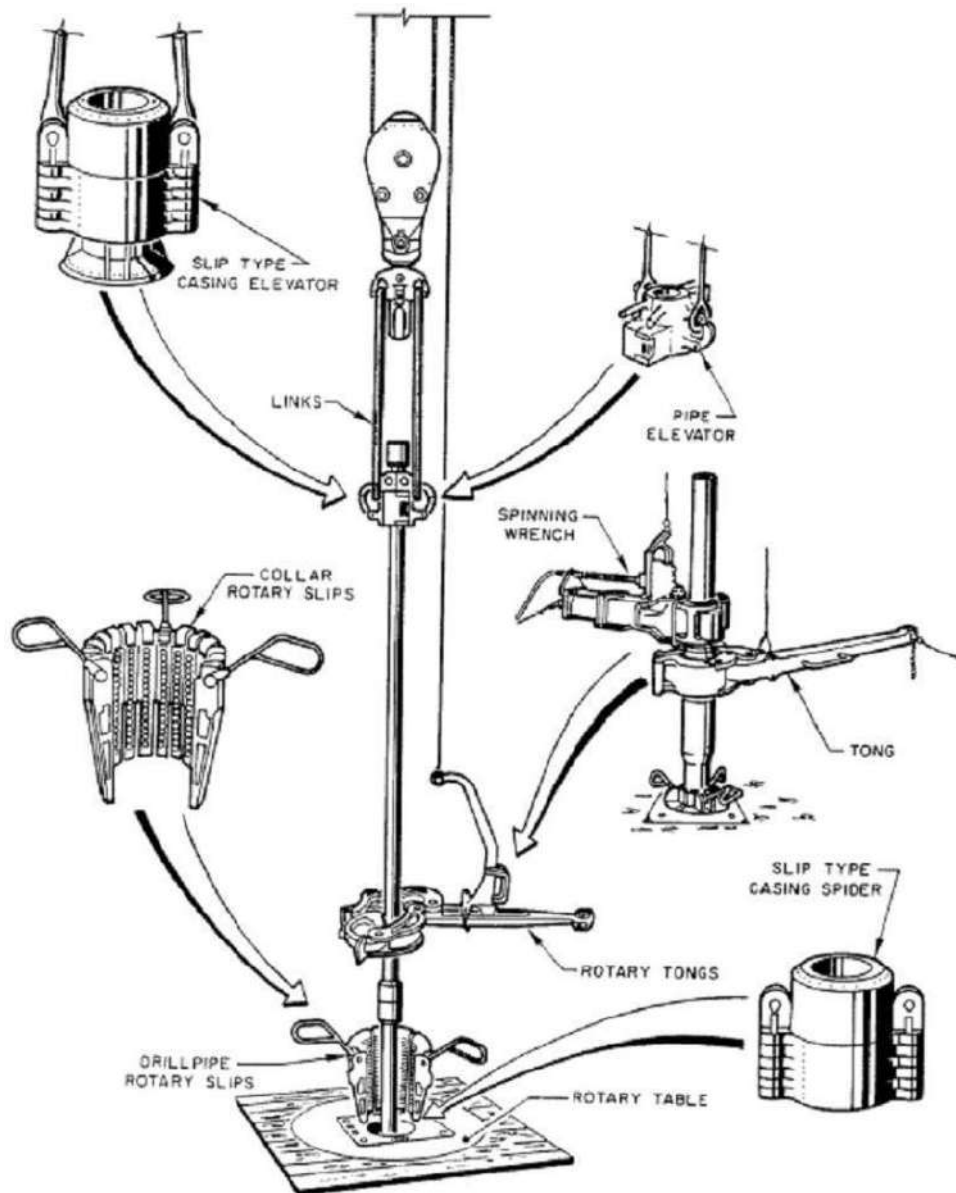


Figure 38 : Les équipements de connexion[04].

□ Le masque de sécurité :

Les colliers de sécurité des tiges de forage, qui se présentent sous la forme d'une bande hélicoïdale, sont fixés autour du tube de la tige de forage, à l'extérieur de la table tournante. Ils sont utilisés à des fins de sécurité en cas de défaillance du collier de la tige. Ils ont des parois épaisses et sont munis de deux poignées pour faciliter leur transport. Il est à noter qu'il est possible d'ajuster la longueur du collier en ajoutant ou en retirant une pièce existante.



Figure 39 : Le masque de sécurité [02].

C- Le système de génération d'énergie :

Il s'agit d'une centrale de production d'énergie électrique continue et alternative (AC & DC), composée de :

1- générateurs électriques :

Les groupes électrogènes fonctionnant au diesel sont responsables de la génération d'électricité et de son approvisionnement à toutes les parties de la tour de forage qui fonctionnent à l'électricité, ainsi que de l'alimentation en électricité du site de travail. Ces générateurs sont alimentés en diesel à partir de réservoirs de stockage de carburant



Figure 40 : Réservoirs de stockage de carburant



Figure 41 : générateurs d'électricité [02].

2-Les panneaux de commande

3-Transformateurs de courant

4- Générateur de courant alternatif

5- Unité de contrôle de forage numérique

6-Centre de contrôle

d- Le système de contrôle des puits :

Le système de contrôle des puits est utilisé pour maintenir les pressions de réservoir en cas d'incapacité de la boue de forage à générer la pression hydrostatique requise sur la paroi de la cavité excavée pour quelque raison que ce soit. Cela évite ce qu'on appelle un "kick de puits", qui est l'écoulement des fluides de la formation vers la cavité du puits excavé, puis vers la surface de manière non contrôlée en raison de la différence de pression entre les fluides piégés dans la formation et la pression atmosphérique, ce qui peut entraîner une éruption de puits.

Le dispositif de prévention des explosions est une série d'éléments d'étanchéité robustes conçus pour fermer l'espace annulaire entre le train de tiges de forage et la cavité du puits ou le tubage, qui représente le chemin emprunté par le fluide de forage pour retourner à la surface. Ainsi, le fluide de forage ou les fluides de formation qui s'écoulent dans la cavité du puits peuvent être contraints de passer à travers une soupape d'étranglement ou une soupape réglable, aidant ainsi l'équipe de forage à contrôler la pression qui atteint la surface afin de suivre les étapes nécessaires pour tuer le puits, c'est-à-dire revenir à un état équilibré et contrôler les pressions.

III -6-2- Fluides de forage (La boue de forage) :

La boue de forage est un terme utilisé pour désigner le fluide spécialisé utilisé dans le processus de forage. C'est un mélange complexe de liquides, de solides et d'additifs chimiques qui remplit plusieurs fonctions essentielles. La boue de forage est pompée dans le puits de forage pour maintenir la pression hydrostatique, refroidir et lubrifier le foret, transporter les déblais de forage à la surface, stabiliser les parois du puits, prévenir les infiltrations d'eau ou de gaz, et faciliter la récupération des échantillons de roche et des données géologiques.

La composition de la boue de forage peut varier en fonction des conditions géologiques et des objectifs spécifiques du forage. Elle est généralement préparée en mélangeant de l'eau avec des matériaux tels que des

argiles, des polymères, des agents viscosifiants, des inhibiteurs de corrosion, des agents de contrôle de pH et d'autres additifs chimiques. La sélection et le contrôle rigoureux de la boue de forage sont essentiels pour assurer l'efficacité et la sécurité du processus de forage.

III -6-2-1- Composants de boue de forage :

Le liquide de forage est composé des éléments suivants :

1. **Eau** : Il s'agit de la base du liquide de forage et constitue la majeure partie de sa composition.
2. **Additifs chimiques** : Ce sont des substances chimiques ajoutées au liquide de forage pour améliorer ses propriétés et ses performances. Ces additifs peuvent inclure des agents viscosifiants, des inhibiteurs de corrosion, des agents de contrôle de pH, des agents de réduction de friction, etc.
3. **Boue ou argile** : Les boues ou argiles sont des particules fines mélangées dans le liquide de forage pour améliorer sa viscosité et sa stabilité. Elles aident également à sceller les parois du puits et à empêcher les fuites de fluide.
4. **Agents de pesée** : Ce sont des matériaux tels que le barite ou l'hématite ajoutés au liquide de forage pour augmenter sa densité. Cela permet de contrôler la pression hydrostatique et de prévenir les éruptions de puits.
5. **Lubrifiants** : Les lubrifiants sont ajoutés au liquide de forage pour réduire la friction entre le foret et la paroi du puits, ce qui facilite le processus de forage.
6. **Agents de stabilisation** : Ce sont des substances utilisées pour stabiliser les formations géologiques pendant le forage. Elles aident à prévenir l'affaissement des parois du puits et à maintenir la stabilité du trou de forage.

Il est important de sélectionner avec soin les composants du liquide de forage en fonction des conditions géologiques et des objectifs spécifiques du forage afin d'assurer une performance optimale et une sécurité accrue lors des opérations de forage.

III -6-2-2- Rôles de la boue de forage :

La boue de forage, également connue sous le nom de fluide de forage, joue plusieurs rôles essentiels lors des opérations de forage dans l'industrie pétrolière et gazière. Voici quelques-uns des rôles importants de la boue de forage :

1. **Lubrification et refroidissement** : La boue de forage est utilisée pour lubrifier les outils de forage et réduire la friction entre les parois du trou de forage et la tige de forage. Cela aide à prévenir l'usure excessive des équipements et à réduire la chaleur générée pendant le processus de forage.
2. **Stabilisation des parois du trou de forage** : La boue de forage exerce une pression hydrostatique sur les parois du trou de forage pour les stabiliser et prévenir les éboulements et l'effondrement. Elle maintient également les parois du trou humides pour éviter les fuites d'eau ou de boue vers les formations géologiques environnantes.
3. **Transport des déblais** : La boue de forage agit comme un moyen de transport pour les déblais de forage. Elle aide à ramener les débris et les particules de roche coupées à la surface du trou de forage, permettant ainsi de maintenir le trou propre et de faciliter le processus de forage.
4. **Contrôle de pression** : La boue de forage est utilisée pour maintenir une pression adéquate dans le trou de forage afin de prévenir les influx de fluides ou de gaz provenant des formations géologiques traversées. Elle peut également être utilisée pour équilibrer la pression de la formation, empêchant ainsi les éruptions dangereuses.
5. **Étanchéité des formations** : La boue de forage forme une mince couche appelée "cake" sur les parois du trou de forage. Ce cake peut aider à sceller les formations poreuses ou fissurées, empêchant ainsi la migration des fluides de forage dans les formations environnantes.
6. **Analyse des formations géologiques** : La boue de forage peut être utilisée pour recueillir des échantillons de roche et de fluide provenant des formations géologiques traversées. Ces échantillons sont ensuite analysés pour évaluer les caractéristiques géologiques, la présence de pétrole ou de gaz, et prendre des décisions concernant la poursuite du forage.

Il convient de noter que les rôles spécifiques de la boue de forage peuvent varier en fonction des conditions de forage, des objectifs de l'opération et des types de formations géologiques rencontrées. Différents types de boues de forage peuvent être utilisés pour répondre à des besoins spécifiques et optimiser les performances de forage

III -6-2-3- Caractéristiques de la boue de forage :

La boue de forage est un fluide complexe qui est formulé en fonction des exigences spécifiques du forage et des caractéristiques des formations géologiques rencontrées. Voici quelques-unes des caractéristiques importantes de la boue de forage :

Viscosité : La viscosité de la boue de forage mesure sa résistance à l'écoulement. Une viscosité appropriée est nécessaire pour maintenir les déblais en suspension, faciliter le transport des déblais et fournir une lubrification adéquate des outils de forage. La viscosité est généralement ajustée en ajoutant des agents épaississants ou des fluides de base spécifiques.

Mesure de la viscosité : Viscosimètre Marsh, Viscosimètre Fan (permet de construire le rhéogramme)

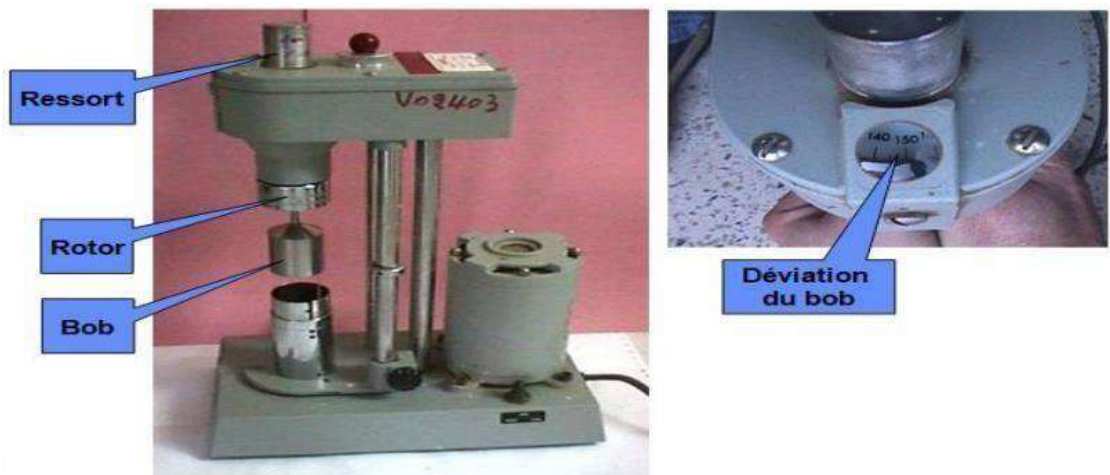


Figure 42 : Viscosimètre Fan. [04].

Densité : La densité de la boue de forage, également appelée poids spécifique, indique la pression hydrostatique exercée sur les parois du trou de forage. Elle est contrôlée en ajustant la concentration de particules solides, tels que les additifs de poids, dans le fluide. Une densité appropriée est nécessaire pour équilibrer la pression des formations géologiques et éviter les éruptions ou l'effondrement des parois du trou.

La densité : l'un des paramètres le plus surveillé pendant le forage.

Mesure de la densité : Balance à boue, densimètres.



Figure 43 :Balance à boue(Densimètre) [02].

Filtre-cake : Le cake de boue de forage est la couche de particules solides qui se forme sur les parois du trou de forage. Il aide à sceller les formations géologiques et à prévenir la perte excessive de fluide de forage dans le sous-sol. L'épaisseur et la perméabilité du cake sont des paramètres importants pour contrôler l'invasion des fluides dans les formations.

PH:

Le pH permet d'apprécier l'acidité ou l'alcalinité de la boue de forage. Si le pH est compris entre 0 et 5, la solution est acide ; entre 6 et 8, elle est neutre ; au-delà de 8, elle basique (alcaline). La mesure du pH est importante car elle révèle la contamination par le ciment ou par l'eau de la couche aquifère si sa valeur est supérieure à 10 ou 11. Par contre, si elle est inférieure à 7, les risques de floculation sont à redouter. La mesure du pH doit être faite sur le filtrat.

Il convient de noter que les caractéristiques spécifiques de la boue de forage peuvent varier en fonction des exigences du forage, des conditions géologiques et des réglementations locales. Les opérateurs de forage et les ingénieurs de boue de forage ajustent les formulations pour optimiser les performances de forage et minimiser les risques environnementaux.

III -6-2-4- Circuits de fluides de forage :

Ce système est composé de réservoirs de boue, de pompes à boue, de tamis vibrants, d'isolateurs de sable, d'isolateurs de gravier et d'isolateurs de gaz.

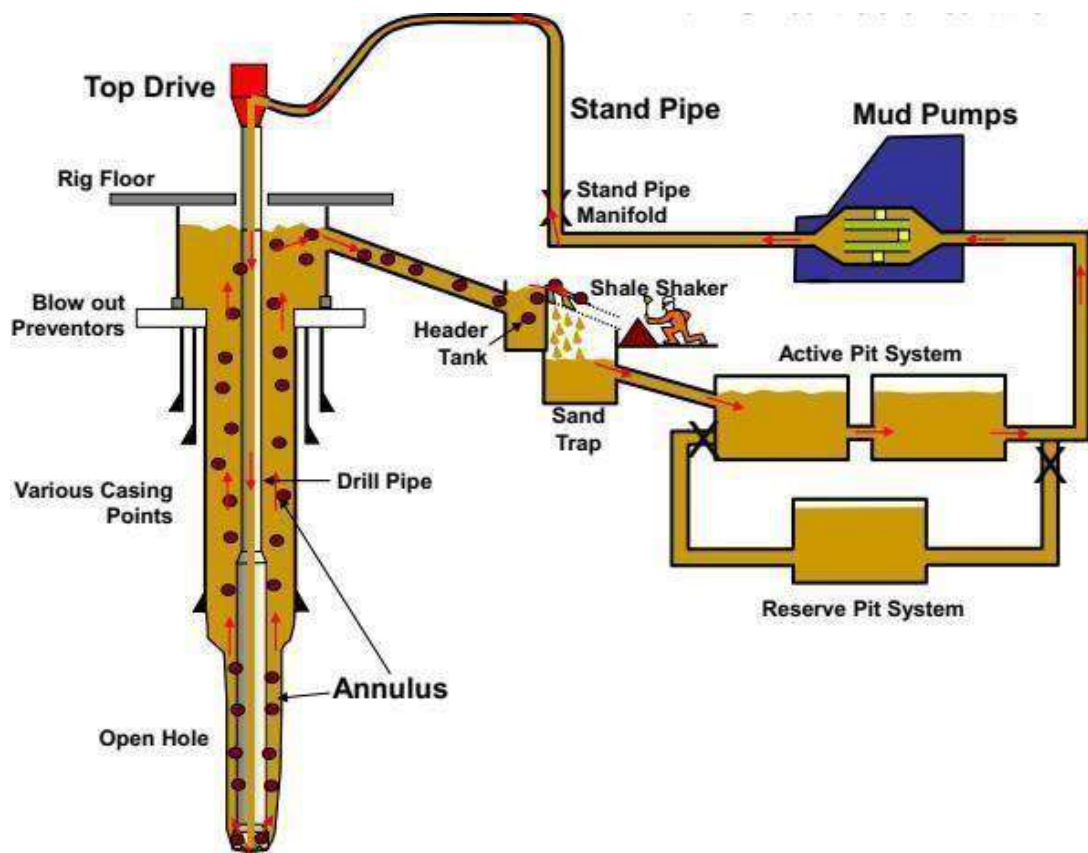


Figure 45 : Circuit de la boue de forage. [09]

Conclusion

La réalisation d'un forage d'eau souterraine est une entreprise délicate qui implique une série d'opérations nécessitant la maîtrise de nombreuses techniques spécialisées, dont dépendent son succès, sa productivité et sa durée de vie. Toute défaillance se traduit inévitablement par des difficultés d'exploitation.

Par conséquent, la réussite d'une telle réalisation est étroitement liée au choix judicieux des différentes méthodes et équipements qui ont été abordés dans ce chapitre. Dans cette optique, nous avons collaboré avec des ingénieurs pour déterminer la méthode de forage et les équipements nécessaires, ainsi que pour choisir la boue de forage appropriée. Nous avons également suivi l'opération de tubage après avoir sélectionné les tubes et les crépines adaptés au forage.

Chapitre IV

Suivi de forage d'operations

Introduction

L'exploitation des eaux souterraines requiert une étude préliminaire approfondie, comprenant des investigations, des explorations et une consultation de documents géologiques, hydrogéologiques, géophysiques, etc. nécessaires à la réussite de l'opération. Pour la réalisation d'un ouvrage de captage d'eau, il est également judicieux d'établir un programme de forage qui prévoit tous les éléments nécessaires à la mise en œuvre du chantier.

Il convient de suivre une méthodologie précise, en respectant les étapes pas à pas et en accordant une attention particulière aux différentes phases de réalisation.

IV -1- Choix de l'implantation du forage

coefficients de perméabilité et de transmissivité) et opter pour celles là où production est bonne et l'eau est de qualité La réalisation d'un ouvrage de captage d'eau doit s'entamer par le choix de la zone où l'on doit l'implanter et surtout par la précision du point d'impact. Cette opération doit se faire par la consultation des divers rapports et cartes relatifs aux études effectuées à travers la région objet d'intérêt. Parmi les travaux et études qu'il faut prendre en considération, les études géophysiques (sondages et prospection électrique), les études géologiques et hydrogéologiques (rapports de suivi, rapports d'études, cartes, coupes et profils...).

Toutefois, l'existence de forages et puits dans la région désignée est d'une extrême importance, surtout quand il s'agit de confirmer l'envergure des zones favorables (ayant de bons appréciable).

Pour le cas de l'ouvrage auquel nous nous sommes intéressés, nous nous sommes référés aux documents fournis par les services de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de Touggourt. Nous citons à titre indicatif ce qui suit :

- ❖ Selon l'aspect géologique
- ❖ Aspect hydrogéologique
- ❖ Du point de vue économique

IV -2- Localisation du forage :

le forage en question est situé à 1.5 km au sud-ouest de la commune de Zaoui El Abidia et à 3km environ, au Nord-est chef-lieu de la wilaya de touggourt

CHAPITER IV : Suivi de forage d'operations

coordonnées du forage :

les coordonnés géographiques de forage present par GPS sont :

longitude : $06^{\circ}05'00,86''$ latitude: $33^{\circ}08'34,92''$ Z/sol: 65 m

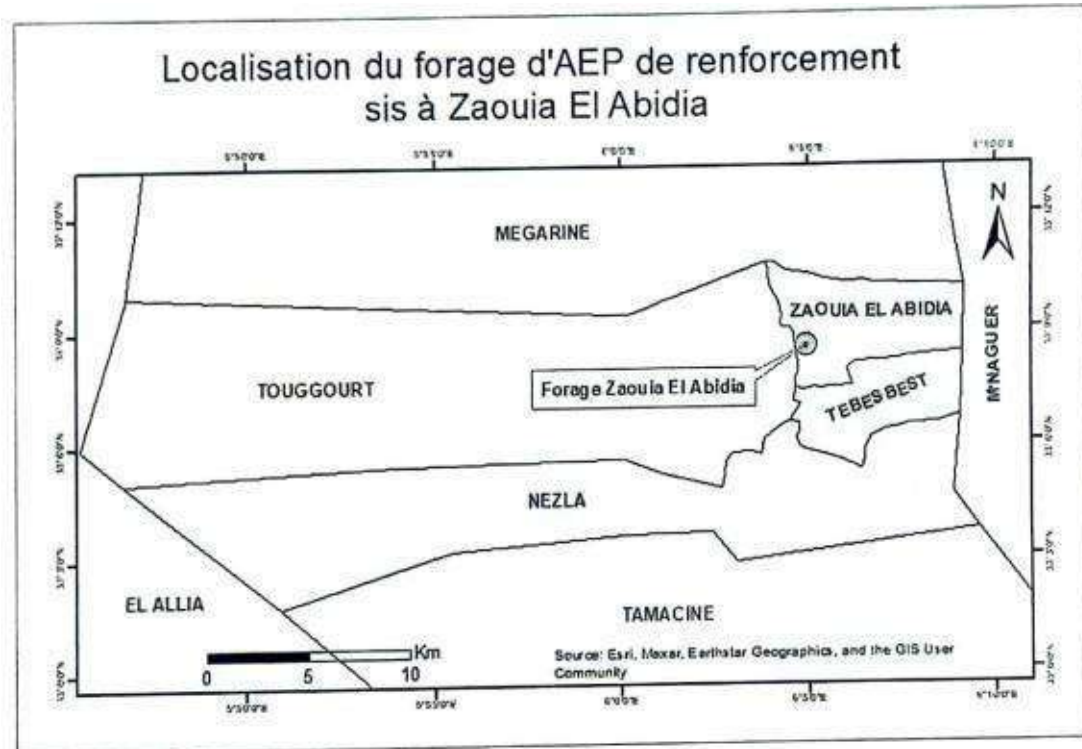


Figure 53 : Localisation du forage d'AEP de renforcement sis à Zaouia El Abidia

IV -3- Objectif de forage

L'objectif de forage dans la region de touggourt ,pour fournir de l'eau potable aux habitants de la municipalité de de Zaoui El Abidia

IV -4- Construction du forage :

IV -4- 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 installe sur une plate-forme de béton.
- ❖ La pompe à boue installe entre le bac à boue et l'appareil de forage.

CHAPITER IV : Suivi de forage d'operations

- ❖ Espace de stockage les produits chimiques (bentonite et ciment...etc.).
- ❖ Bourbier de débile cutting et un réservoir d'eau.
- ❖ Un espace de stockage de matérielle lourd (compresseur, tige de forage).
- ❖ Un bureau de géologue de chantier

IV -5- L'appareil du forage :

Nous avons utilisé une foreuse rotative à boue pour le forage de ce puits, en utilisant de l'argile bentonite eten atteignant une profondeur de 142 mètres



Figure 54 : L'appareil du forage [05].

IV -6- Deroulement des travaux et completion du puits:

IV -6-1- 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 15 m</i>	<i>1m</i>	<i>24''</i>
<i>entre 15 à 142 m</i>	<i>1m</i>	<i>12''^{1/4}</i>

Tableaux 7 : Les outils utilisés

- **Tube guide:**

- Forage de l'avant puits en outil Ø24" de 0 à 15 mètres
- Pose et cimentation de tube guide API Ø185/8" de 0 à 15 mètres

- **Colonne de production:**

- Elargissement en outil Ø17 1/2" de 15 à 121 mètres
- Pose d'une colonne de tubage API Ø13 3/8" de 0 à 121mètres

IV -7- STRATIGRAHIE ET LITHOLOGIE:

Forage de reconnaissance Ø12'1/4

Le profil stratigraphique a été mis en évidence suite à l'analyse macroscopique des cuttings de chaque mètre (de 0 à 142 m), les résultats sont comme suite:

00-28m :Sables très fin au sommet et à la base avec intercalation d'argiles grises

28-48m :Argile

48-73m :Argiles sableuses

73-121m :Intercalations de sables argileux, sables fins et argiles sableuses

121-136m : Sables grossiers blanchâtres avec des petits des bancs calcaireux

136-142 m : Marnes sableux blanchâtre+ou-argileux

IV -8- 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/cm ³	Viscosite dynamique Marsh	Filtrat cm ³
Colonne de technique	1,20	80	15 à 20
Colonne de production	1,35 à 1,40	45 à 60	10
Colonne de cabtage	1,30	45 à 60	4 à 5

Tableaux 8 : Programme de boue pour les forages CI

IV -8-1-Calcul du volume de boue:

Le volume qu'on va calculer nous sera utile et va nous servir durant toute l'opération jusqu'à l'achèvement.

A – Calcul du volume de boue pour le trou foré en 24" (tube guide) :

$$V = s \times h. \text{ Avec :}$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \text{ et } d = \text{dtr } 24'' = 609.6 \text{ mm}$$

$$V_u = 291.7 \text{ l/m.}$$

$$V_t = 291.7 \times 10 \text{ } 2917 \text{ L} = 2.917 \text{ m}^3$$

Tenant compte de l'état du trou (rugosité) :

$$V_t \times k = V_r = 291.7 \times 1,2 = \mathbf{3.5004 \text{ m}^3}.$$

B – Calcul du volume de boue pour le trou foré en 17''1/2 :

V = S x H Avec toujours :

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \text{ et on prend } H = 142 - 121 = 21\text{m}$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$S = \frac{3.14 \cdot 0.44^2}{4} = 0.15 \text{ m}^2$$

$$V = S * H = 0,15 * 21 = 3.15 \text{ m}^3$$

du formulaire du foreur : $V_u = 195,04 \text{ L / m}$

$$V_t = 195,04 \times 21 = 4095.84 \text{ L} = 4.09584 \text{ m}^3$$

$$V_t \times k = V_r = 4.09584 \times 1,2 = 4.915 \text{ m}^3$$

Remarque : Le 1,2 représente un coefficient k, tenant compte de l'état du terrain (cavage). Le volume de boue nécessaire pour le forage du tube guide est généralement négligé dans les calculs, vu que cette étape est réalisée avant même l'installation de l'appareil, et est toujours faible.

C – Calcul du volume de boue total :

$$V_b = V_{\text{puit}} + V_{\text{bassin}} + V_{\text{goulotte}} + V_{\text{reserve}}$$

$$V_{\text{puit}} : \text{est déjà calculé} = 3.5004 + 4.915 = 8.4154 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{bassin}} : 2 \text{ à } 5\text{m}^3. \text{ On prendra } 3 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{goulotte}} : V_r = \frac{8.4154}{2} = 4.2077$$

$$V_{\text{reserve}} : 20 \text{ à } 30\text{m}^3 \text{ On prendra } 25\text{m}^3$$

$$\text{Alors : } V_b = 8.4154 + 3 + 4.2077 + 25 = 40.6231 \text{ m}^3$$

CHAPITER IV : Suivi de forage d'operations

D – Les produits consommés :

D – 1 – La quantité d'argile (bentonite) nécessaire :

$$q_a = \frac{\gamma_a(\gamma_b - \gamma_e)}{\gamma_a - \gamma_e} V_b$$

γ_a : Densité de l'argile **2**

γ_b : Densité de la boue **1,1**

γ_e : Densité de l'eau **1**

V_b : Volume de boue : **40.6231 m³**

$$q_a = \frac{2(1.1-1)}{2-1} 40.6231 = 8.12462 \text{ tones} = 8124.62 \text{ kg.}$$

Ce qui équivaut à **163** sacs d'argile, c à d : $N = \frac{8124.62}{50} = 162.49$ sacs

D – 2 – La quantité d'eau de mixage :

C'est avec la formule suivante qu'on peut la déterminer :

$$q_e = \frac{\gamma_a - \gamma_b}{\gamma_a - \gamma_e} V_b : q_e = \frac{2-1.1}{2-1} * 40.6231 = 36.56 \text{ m}^3$$

IV-9- Cimentation :

La cimentation d'un forage est une étape cruciale dans le processus de construction d'un puits. Elle vise à assurer la stabilité, l'étanchéité et la protection des tubages, ainsi qu'à renforcer les parois du puits.

La première étape de la cimentation consiste à préparer le mélange de ciment, également appelé lait de ciment. Ce mélange est généralement composé de ciment en poudre mélangé avec de l'eau. Le dosage précis dépend des caractéristiques du forage, telles que la profondeur, la pression et les conditions géologiques.

Une fois le mélange de ciment préparé, il est injecté dans l'espace annulaire entre le tubage et les parois du puits. L'objectif est de remplir complètement cet espace pour créer une colonne de ciment solide et étanche. Cela permet de prévenir les fuites d'eau ou de fluides indésirables entre les différentes zones du puits.

La cimentation peut être réalisée en plusieurs étapes, en injectant le ciment par le bas et en le remontant progressivement vers le haut du puits. Des dispositifs spéciaux, tels que les bouchons de ciment, peuvent être utilisés pour guider le flux de ciment et éviter les contaminations ou les mélanges indésirables.

Une fois le ciment injecté, il doit durcir et prendre sa forme définitive. Ce processus, appelé prise de ciment, peut prendre plusieurs heures voire plusieurs jours, en fonction des conditions environnementales et des caractéristiques du ciment utilisé.

La cimentation de forage est une opération délicate qui nécessite une expertise technique et une planification minutieuse. Elle joue un rôle essentiel dans la sécurité et la fiabilité du puits, en assurant sa durabilité et en minimisant les risques de contamination ou de détérioration des formations géologiques environnantes.

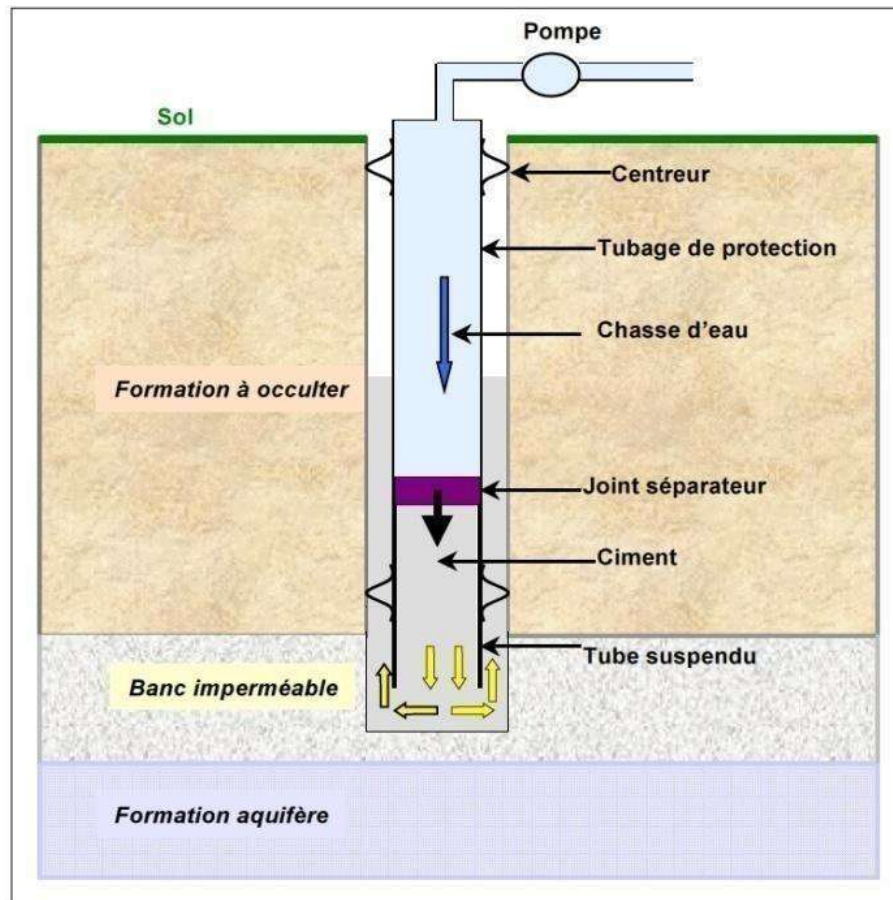


Figure.46 : Exemple d'un colonne de tubage cimenté. [10]

III -9- 1- Matériel et outils de cimentation :

La préparation pour l'opération de cimentation d'une colonne comporte en outre la mise en place de quelques outils et apporter un peu de matériel, pour le bon fonctionnement d'opération de cimentation.

En plus du matériel d'habillage de la Colonne de tubage (Sabot, Centreurs, Gratteurs), il nous faut :

❖ Les anneaux de retenue :

Les anneaux de retenue de cimentation, également connus sous le nom de bagues de cimentation, sont des dispositifs utilisés lors du processus de cimentation d'un forage. Ils sont conçus pour maintenir le ciment dans l'espace annulaire entre le tubage et les parois du puits, assurant ainsi une cimentation efficace et homogène.

Les anneaux de retenue sont généralement des éléments en métal ou en plastique qui sont

CHAPITER IV : Suivi de forage d'operations

placés à intervalles réguliers le long du tubage. Ils servent de guides pour le ciment en cours d'injection, l'empêchant de s'écouler trop rapidement ou de s'échapper à des endroits non désirés.

Ces anneaux ont des ouvertures ou des fentes qui permettent au ciment de passer à travers, tout en retenant une partie du matériau pour le maintenir en place. Cela aide à créer une colonne de ciment solide et uniforme tout au long du puits.

Les anneaux de retenue de cimentation sont particulièrement importants dans les cas où il y a des zones de puits présentant des différences de pression ou de perméabilité. Ils aident à contrôler le flux de ciment et à garantir une distribution homogène autour du tubage, renforçant ainsi l'étanchéité et la stabilité du puits.

En résumé, les anneaux de retenue de cimentation sont des éléments essentiels dans le processus de cimentation d'un forage. Ils assurent un contrôle précis du flux de ciment et contribuent à la réalisation d'une cimentation efficace et fiable, garantissant ainsi la solidité et l'étanchéité du puits.



Figure 47 : Les anneaux de retenue

❖ **Bouchonne de cimentation :**

Ces bouchons sont insérés à l'intérieur de la colonne de tubage lors du processus de cimentation.

Différents types de bouchons peuvent être distingués :

❖ **Bouchon inférieur :**

Ce bouchon assure une séparation entre le laitier et la boue (ou le tampon d'eau) afin de retarder au maximum leur contact et ainsi éviter toute contamination du laitier par la boue pendant son passage à l'intérieur de la colonne de tubage. De plus, lors de sa descente, il racle la paroi intérieure du tubage pour la nettoyer.

Ce bouchon est équipé de lèvres en caoutchouc à l'extérieur, conçues pour racler le tubage. Il comporte également une ouverture centrale cylindrique fermée par une fine membrane. Lorsque le bouchon atteint l'anneau de retenue, la membrane se rompt, permettant ainsi au laitier de continuer son parcours à travers le tubage.

❖ **. Bouchon supérieur :**

Le bouchon supérieur de cimentation est un élément clé du processus de cimentation d'un puits. Il est utilisé pour fermer hermétiquement la partie supérieure du tubage pendant l'injection du ciment.

Le bouchon supérieur est généralement constitué d'un matériau compressible, tel que du caoutchouc ou du plastique, qui peut être facilement inséré dans le tubage. Il est conçu pour s'adapter parfaitement au diamètre intérieur du tubage, créant ainsi une barrière étanche.

Lors de l'injection du ciment, le bouchon supérieur est placé à l'extrémité supérieure du tubage, empêchant le ciment de s'échapper par le haut du puits. Il maintient une pression constante à l'intérieur de la colonne de ciment, favorisant une distribution uniforme du ciment tout au long du puits.

Une fois la cimentation terminée, le bouchon supérieur peut être retiré ou laissé en place en fonction des besoins. Dans certains cas, il peut être utilisé comme point d'accès pour les opérations de nettoyage ou de vérification ultérieures.

En résumé, le bouchon supérieur de cimentation est un dispositif essentiel qui garantit l'étanchéité de la partie supérieure du tubage pendant le processus de cimentation. Il contribue à la réussite de l'opération en maintenant une pression appropriée et en assurant une distribution homogène du ciment à l'intérieur du puits.



Figure.48 : Bouchonne de cimentation

La tête de cimentation :

Elles sont généralement conçues pour accueillir deux bouchons, et différentes capacités de pression sont disponibles en fonction des caractéristiques du tubage. La tête de cimentation doit permettre la circulation de la boue de forage, l'injection du laitier après le largage du bouchon inférieur, ainsi que l'évacuation du bouchon supérieur en utilisant la boue initiale.

Les systèmes de retenue des bouchons sont constitués soit d'une tige de retenue qui est tirée vers l'extérieur pour libérer le bouchon, soit d'une demi-bague qui est manœuvrée depuis l'extérieur. Généralement, il y a un indicateur sur ces têtes qui permet de visualiser le départ du bouchon. La mise en place et le verrouillage des bouchons dans la tête doivent être effectués avec rigueur, car plusieurs cimentations ont échoué en raison de bouchons qui sont partis de manière inopinée ou qui ne sont pas partis du tout.



Figur 49 : Tête de cimentation.

❖ L'Unités de cimentation :

Les unités de cimentation offrent possibilité d'effectuer certaines opérations simultanément telles que :



Figure.50 : Unités de cimentation. [12].

Les silos :

Utilisés pour stoker le ciment sec. Les lignes de silos ne seront pas trop longues et seront vérifiées avant usage et nettoyées après usage.

Il faudra éviter de laisser du ciment trop longtemps dans les silos, travail pour le déchargement est appliqué par l'arrivée d'air située vers le haut.



Figure.51 : silos de ciment



Figure.52 : citerne d'eau

IV -10- Calcul de cimentation :

a-calcule de volume de laitier de ciment :

On va calculer le volume de laitier de ciment de chaque phase de ce forage, après nous déterminons la quantité de ciment et le volume d'eau de gâchage qui ont été consommés pour cimenter de ce puits

□ Colonne 1 ère phase (Tube guide) :

On a :

Trou forage $\text{Ø } 24'' = 0.6096 \text{ m}$; Tubage API $\text{Ø } 18^{5/8} = 0.4731 \text{ m}$; profondeur $\text{H} = 15 \text{ m}$.

Calculer le volume de laitier de ciment pour cimenter cette colonne :

$$\text{VT L} = \text{VL th} + \text{VS}$$

$$\text{VT L} = [0,785 (\text{Dtro}^2 - \text{DexTub}^2) \times \text{K1} \times \text{H}] + \text{VS}$$

VT L = volume totale de laitier de ciment ;

VLt = volume de laitier de ciment théorique ;

K1 = coefficient dépendant de la nature du terrain (présence de cavernes, fissures)

($\text{K1} = 1,05 \text{ à } 2$) ;

H = hauteur à cimenter dans l'espace annulaire ;

CHAPITER IV : Suivi de forage d'operations

V_s = volume de sécurité ou majorité qui est de 15% de volume théorique ;

$$\text{A.N: } V_{TL} = [0,785 (0.6096^2 - 0.4731^2) \times 1.1 \times 15] + 1.893$$

$$V_{TL} = 1.914 + 1.893 = \mathbf{3.807 \text{ m}^3}$$

➤ **Colonne de 2ème phase :**

On a :

Trou forage $\text{Ø}17''\frac{1}{2}'' = 0.4445 \text{ m}$; Tubage API $\text{Ø} 13''\frac{3}{8}'' = 0.3397 \text{ m}$;
profondeur $H = 121\text{m}$; $V_S = 15\%$ de V_{TL}

- Calculer le volume de laitier de ciment pour cimenter cette colonne :

$$\text{A.N: } V_{TL} = [0,785 (0.4445^2 - 0.3397^2) \times 1.1 \times 121] + 1.893$$

$$V_{TL} = 8.586 + 1.893 = \mathbf{10.479 \text{ m}^3}$$

b- Quantité de ciment sec :

➤ **Quantité de ciment sec pour préparer 1 m³ de laitier :**

$$q_c = \frac{\gamma_c \cdot \gamma_e}{\gamma_e + m \cdot \gamma_c} = \text{T/m}^3$$

q_c = quantité de ciment ;

γ_c = densité de ciment = **1.75** ;

γ_e = densité de l'eau de gâchage ;

m = rapport eau/ciment. On prend $m = 46\%$ c à d pour 100kg de ciment il nous faut **46kg** d'eau.

$$q_c = \frac{1.75 \cdot 1}{1 + 0.46 \cdot 1.75} = \mathbf{1 \text{ T/m}^3}$$

• **Poids totale de ciment sec pour cimenter ce puits :**

$$Q_c = q_c \cdot V_t \cdot k_2$$

Q_c : Quantité totale de ciment sec pour cimenter tout le puits.

q_c : Quantité de ciment sec pour préparer 1 m³ de laitier.

V_t : Volume totale de laitier qui consommé par le puits.

K₂ : coefficient tenant compte des pertes de ciment lors de la fabrication. Prendre k₂ = 1,05

$$V_t = V_{TL1Ph1} + V_{TL1Ph2}$$

$$V_t = 3.807 + 10.479 = 14.286 \text{ m}^3$$

A.N: $Q_c = 1 \cdot 14.286 \cdot 1.05 = 15.0003 \text{ T}$

C- Volume d'eau de gâchage : $V_e = \frac{m \cdot Q_c}{\gamma_c} = m^3$

V_e = volume d'eau de gâchage ; **Q_c** = quantité total de ciment ; **γ_c** = densité de ciment;

ω = rapport eau/ciment.

$$V_e = \frac{0.46 \cdot 15.0003}{1.75} = 3.94 \text{ m}^3 = 3940 \text{ liter}$$

d- Volume de fluide de chasse :

$$V_{ch} = 0,785 \times k_3 [(H - h_0) \times \text{dinTub}^2] = V_{intTu}$$

V_{ch} = volume de fluide de chasse ;

K₃ = coefficient dépendant de l'état intérieur du tubage (rugosité, pas de cavernes ni fissures ...) (K₁ = 1) ;

H = hauteur à cimenter dans l'espace annulaire ;

h₀ = hauteur de sécurité qui est de 10 à 20m.

$$V_{intTu} = V_{intTu1} + V_{intTu2}$$

$$V_{intTu} = 1.757 + 9.149 = 10.906 \text{ m}^3$$

Après avoir terminé le processus de cimentation du puits, nous avons attendu 48 heures pour que le ciment

CHAPITER IV : Suivi de forage d'operations

durcisse, puis nous avons effectué le forage et le nettoyage du puits à l'aide d'un outil de diamètre 12¼" pouces, sur une profondeur de 121 à 142 mètres. Ensuite, nous avons installé une colonne de captage composée d'un tube plein en acier inoxydable de réserve et d'un tube d'extension (avec montage à gauche), allant de 113 mètres à 142 mètres.

IV -11- Essai de pompage :

Un essai de pompage a été effectué, pour estimer le d'exploitation. On note que le niveau statique qui s'est stabilisé après le développement est 13m m. La pompe immergée est calée à 60m.

Les résultats de l'essai sont comme suite:

Débit(1/s)	Niveau dynamique(m)	Rabatement(m)	Débit spécifique(V/s/m)
22	55	42	0,52

Le débit d'exploitation est estimé entre 18 à 20 1/s avec un rabattement concordant dans les environs de 40 mètres, ce qui donne un niveau dynamique de 53 mètres

d) Cote de calage de la pompe

Pour savoir la cote de calage de la pompe émergée, on doit ajouter une marge de sécurité de trois(03) mètres au niveau dynamique le plus bas (c-à-d 55m, obtenu avec un débit de 221/s), ce qui donne une cote de calage de 58mètres, pour plus de sécurité il est majoré à 60 mètres.

$$\text{Cote de calage de la pompe} = \text{NDQ} \cdot \exp + 3\text{m}$$

IV -12- Essais des débits :

Les essais de débit sont une étape essentielle qui doit suivre la phase de développement du forage. Ils sont réalisés dans le but de déterminer le débit d'exploitation du puits (CI et CT). Ces essais doivent être effectués selon le déroulement suivant :

Mesure de la pression en tête (Pression statique P_0 avec la vanne fermée).

CHAPITER IV : Suivi de forage d'operations

Réalisation de cinq paliers de débits croissants afin d'obtenir cinq points sur la courbe caractéristique. Les débits peuvent correspondre aux pressions suivantes :

Po/5, 2Po/5, 3Po/5, 4Po/5 et Po (vanne ouverte).

Les mesures de pression et de débit seront prises toutes les 15 minutes, de manière alternative.

On passe au palier suivant lorsque 6 mesures consécutives donnent le même résultat.

Fermeture du forage pendant une durée égale à celle du dernier palier.

L'observation de la remontée s'effectue selon les intervalles suivants (en fonction des mesures de pression)

Toutes les minutes pendant les 5 premières minutes.

Toutes les 2 minutes jusqu'à la fin du premier quart d'heure.

Toutes les 5 minutes jusqu'à la fin du deuxième quart d'heure.

Toutes les 10 minutes jusqu'à la fin de la première heure.

Toutes les 15 minutes jusqu'à la fin de la deuxième heure.

Toutes les 30 minutes jusqu'à la fin de la troisième heure

IV -13- Contrôle des forages :

fin de garantir la préservation des nappes profondes de CI, il est impératif d'effectuer des contrôles périodiques des forages profonds (CT et CT). Ces contrôles sont de la responsabilité de la personne physique ou morale qui exploite le forage. Les objectifs de ces contrôles sont les suivants : suivre l'évolution des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe, surveiller les caractéristiques hydrauliques du forage et de son équipement, contrôler la qualité des eaux et assurer la maintenance des têtes de forage.

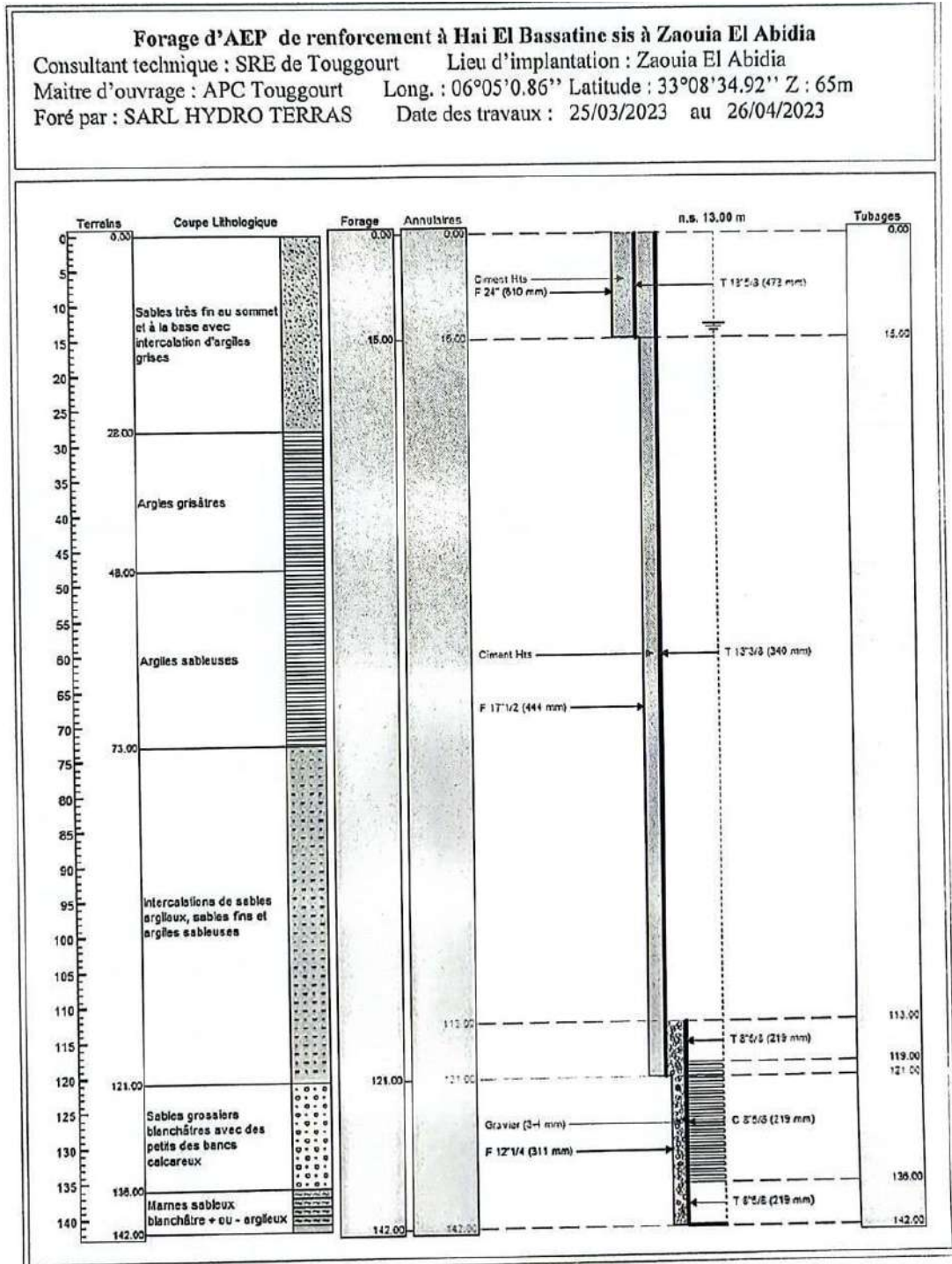
Le contrôle réalisé par l'administration comprend les opérations suivantes :

- Une inspection annuelle de l'équipement en surface doit être effectuée afin de vérifier le bon fonctionnement des vannes et de l'équipement constituant la tête de forage.
- Les opérations d'entretien courant doivent être réalisées lors de l'inspection, telles que la manipulation de la vanne de tête, le nettoyage, le graissage, etc.
- Les fuites d'eau doivent être signalées de manière impérative.
- Une analyse de l'eau du forage doit être réalisée chaque année afin de contrôler sa qualité.

CHAPITER IV : Suivi de forage d'operations

- Des opérations spécifiques de contrôle du forage doivent être effectuées tous les 10 ans.

Coupe technique lithologique et :



SARL HYDRO-TERRAS - Beni Thour, Ouargla

Figure 55 : forage d'AEP de renforcement à Hai El Bassatine sis à Zaouia El Abidia

Conclusion :

La méthode employée pour effectuer ce forage est le ROTARY, une méthode couramment utilisée par les foreurs en raison de son adaptation à la géologie de la région. Cette géologie se compose principalement d'argile et de sable, à la fois de gros et de fin grains, avec la présence de quelques mètres de gypse dans la partie supérieure

CONCLUSION GENERAL :

Compte tenu de la rareté des précipitations et des ressources en eau dans le désert algérien, il est devenu nécessaire d'établir des puits pour exploiter les ressources souterraines de la région. Cette construction s'effectue selon des étapes qui doivent être suivies afin d'obtenir des puits de bonne qualité. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre thèse. Les données techniques de chaque puits, que ce soit pour les formations de surface, les formations de couverture ou les formations de base, fournissent des informations claires sur la structure, la composition et les caractéristiques des différentes couches géologiques.

Selon la formation hydrogéologique actuelle dans la région de Touggourt, la technique de forage rotatif est utilisée pour exploiter les ressources en eaux souterraines, car elle est adaptée à la géologie de la région, en particulier dans la partie supérieure. Le climat de la zone d'étude est de type désertique, caractérisé par une grande différence entre les températures estivales et hivernales, de faibles précipitations et un fort taux d'évaporation.

La région de Zaouia Al Abidia se caractérise par une grave pénurie d'eau potable, ce qui a poussé les autorités à rechercher des ressources pour les exploiter et à mettre en œuvre ce projet.

La réalisation de forages hydrauliques dans la région de Zaouia Al Abidia se fait en plusieurs étapes, en fonction de la profondeur et de la pression des eaux souterraines. Cette réalisation de forage comprend plusieurs étapes, commençant par la définition des objectifs de forage du puits jusqu'à l'exploitation de l'eau. Dans le cadre de notre étude, nous avons suivi le processus de forage d'un puits spécifique dans la région. Nous avons mis en évidence l'importance et les effets de l'étude géologique de la zone dans la détermination de la couche appropriée pour le forage. L'étude aborde également les mesures et les techniques de forage, en mettant l'accent sur le processus de tubage et en le surveillant de près pour obtenir un bon support pour le puits.

L'étude a conclu qu'une bonne réalisation du puits, grâce à l'utilisation adéquate des techniques et des équipements de forage, conduit à un puits productif de qualité."

BIBLIOGRAPHIE

- [01] <https://www.infoclimat.fr/> (Climatologie de la région Touggourt).2010/2021.
- [02] Dr.. Yassine Saleh Karim , Les techniques de forage des puits. *Université de Tikrit Faculté des sciences. Département des sciences de la Terre appliqués*
- [03] HAMMADI Lamine, CHIEB Abd Elkarim Réalisation d'un ouvrage de captage d'eau. Suivi & calcul. Cas du forage hydraulique pour l'AEP de l'établissement pénitencier de 300 résidents. Région de Touggourt. Sud Algérien. Mémoire Master Professionnel Université de Ouargla année 2022
- [04] BENHAMA Abdelaziz , LAIB Bilal, Suivi la réalisation d'un forage Albo Barrémien dans la région de Sidi Mahdi (wilaya de Touggourt) Mémoire Master Université de Ouargla année 2022
- [05] SARL HYDRO-TERAS – Beni Thour , Ouargla
- [06] ANRH (Donés général de Touggourt)2003.
- [07] ANRH (Géologie et morphologie de Touggourt ; Les nappes CI, CT de Ouad Righ)2003.
- [08] <https://www.climatsvoyages.com> (Climatique-Touggourt)
- [09] Muhammad al-Senussi, Ahmad al-Durazi, Ayman Ali Muhammad al-Saghir . Forage d'un puits d'eau à l'aide d'une foreuse à percussion dans la ville de Sabha et étude de la situation hydrique dans la zone de forage. Université Sebha - Faculté des sciences 2016 -2015
- [10] MEROUCHE ADEL , DJENIDI SAMIR, Suivi d'un forage d'eau dans le pôle urbain 27 Février (wilaya d'Ouargla) Mémoire Master Université de Ouargla année 2022
- [11] GHENDIR Iahcen, En Vue De L'obtention Du Diplôme de Master en Géologie ,
Option : Hydrogéologie 2015/2016
- [12] Entreprise de TASSILI .2023.

Résumé :

La région de Zaouia Al Abidia est située dans la wilaya de Tougourt, au sud de l'Algérie. Elle bénéficie d'un climat désertique sec caractérisé par des températures élevées et une faible pluviométrie. La région connaît également un développement considérable dans les activités agricoles.

Pour pallier le manque d'approvisionnement en eau potable pour ses habitants, on recourt à l'exploitation de la nappe phréatique qui est la seule source exploitée dans la région. Ainsi, on réalise un puits profond par le forage rotatif, largement utilisé dans la région, afin de mettre en œuvre cette exploitation.

Dans ce contexte, cette étude vise à suivre techniquement le processus de forage à travers ses différentes phases. Cette démarche s'appuie sur l'étude géologique et hydrogéologique de la région. En suivant la construction de ce puits à Zaouia Al Abidia, nous avons pu identifier et comprendre les caractéristiques et les différentes techniques du processus de forage. L'objectif de ce travail est de renforcer le réseau d'eau potable (AEP) dans la région de Zaouia Al Abidia.

Abstract:

The region of Zaouiat Al Abidia is located in the province of Tougourt, south of Algeria. It enjoys a dry desert climate characterized by high temperatures and scarce rainfall. The region also experiences significant development in agricultural activities.

To address the shortage of drinking water supply for its population, the exploitation of the underground reservoir is resorted to as the sole exploitable source in the area. To achieve this exploitation, a deep well is drilled using the widely used rotary drilling technique in the region.

In this context, this study aims to technically monitor the drilling process through its various stages. This process is based on the geological and hydrogeological study of the area. By monitoring the construction of this well in Zaouia Al Abidia, we have been able to identify and understand the characteristics and different techniques of the drilling process. The objective of this work is to enhance the drinking water network (AEP) in the region of Zaouiat Al Abidia.

ملخص

تقع منطقة الزاوية العبيدية في ولاية توفورت جنوب الجزائر وتستفيد من مناخ صحراوي جاف يتميز بارتفاع درجات الحرارة وقلة هطول الأمطار وتشهد المنطقة أيضا تطورا كبيرا في الأنشطة الزراعية.

ولتعويض النقص في إمدادات مياه الشرب لسكانها، نلجأ إلى استغلال منسوب المياه الجوفية الذي يعتبر المصدر الوحيد المستغل في المنطقة. وبذلك يتم إنشاء بئر عميق عن طريق الحفر الدوار - وهو واسع الاستخدام في المنطقة، من أجل تنفيذ هذا الاستغلال.

وفي هذا السياق تهدف هذه الدراسة إلى متابعة عملية الحفر فنياً عبر مراحلها المختلفة. يعتمد هذا النهج على الدراسة الجيولوجية والهيدروجيولوجية للمنطقة. ومن خلال متابعة إنشاء هذا البئر بالزاوية العبيدية تمكنا من التعرف على وفهم الخصائص والتقنيات المختلفة لعملية الحفر، والهدف من هذا العمل هو تعزيز شبكة مياه الشرب (AEP) بمنطقة الزاوية العبيدية.