

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université KASDI Merbah Ouargla



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

Département de : Génie Civil et Hydraulique

C :

R :

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

Master, Filière: Hydraulique

Spécialité : Forage d'eau

Thème

**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.**

Présenté par :

- ❖ **HAMMADI Lamine**
- ❖ **CHIHEB Abd Elkarim**

Soumis au jury composé de :

M. MAHI Rachid	MAA	Univ Ouargla	Président
M^{elle} MANSOURI Zina	MAA	Univ Ouargla	Examineur
M. DJEBARI Hacene	MAA	Univ Ouargla	Encadreur
M. BENGUEGA. M. S	Ingénieur	ANRH Touggourt	Co-Encadreur

Année Universitaire : 2021/ 2022



Remerciements

Tout d'abord,

Nous devrions remercier notre Dieu, ALLAH le tout puissant,
qui nous a donné force et courage pour finir ce travail.

Par la même occasion, nous voudrions aussi remercier
M. DJEBARI Hacene, qui n'a épargné aucune occasion pour nous fournir,
des informations, des conseils et des encouragements.

Nous tenons également à remercier les membres du jury :

M^{lle} MANSOURI Zina & M. MAHI Rachid,

pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger au Jury.

Nos sincères remerciements à M. BENGUEGA Mohammed Salah,
qui a sacrifié tout son temps pour nous aidé et nous accompagner lors des sorties,
et dans son bureau, ainsi qu'au personnel de l'ANRH de Touggourt et surtout

M. SAYEH MEBAREK Youcef.

Nous devons saisir cette opportunité pour remercier
tous les enseignants du département de Génie Civil et Hydraulique.

Nos plus vifs remerciements à tous ceux qui,
de près ou de loin, ont contribué à
la finalisation de ce mémoire.

Merci à toutes et tous.





Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

Avant tout, à ma chère mère, aussi à mon père.

À tous mes frères et sœurs

(Fatima, Mohammed, Messaouda, Mlika, Noura, Meftah, Zakia)

et à toute la famille "HAMMADI".

À tous mes amis surtout,

**"Ayoub, Abd Elkarim, Nouredine, Slimane, Adel, Fateh...",
pour leur patience avec moi aussi bien pour leur collaboration
et leur aide, pendant toute la période universitaire.**

**À toute la promotion 2021/2022 d'hydraulique
notamment la promotion de Forage d'eau.**

À tous mes adorables que j'ai connu pendant toute ma vie ...

LAMINE HAMMADI...





Dédicace

**Je dédie ce modeste travail :
Avant tout, à ma chère mère, ainsi qu'à mon père.**

**À tous mes frères et Sœurs
(Abd Elatif, Ahmed, Fatima, Karima, Abir, Hadil),
et à toute la famille "Chiheb".**

**À tous mes amis surtout ceux qui me sont chers
"Boubakeur, Lamine, Islam, Ahmed, Lakhder, Adel...",
pour leur patience avec moi aussi bien pour leur collaboration
et leur aide pendant toute la période universitaire.**

**À toute la promotion 2021/2022 d'hydraulique,
notamment la promotion de Forage d'eau.**

A tous mes adorables que j'ai connu pendant toute ma vie ...

ABD ELKARIM CHIHEB...



TABLE DES MATIÈRES

Titre	Page
Préambule	1
Première Partie.....	3
Aperçus Généraux.....	3
Chapitre Premier	4
Cadre général de la région d'étude	4
Introduction.....	5
I – Cadre général de la zone d'étude.....	5
I – 1 – Situation géographique	5
I – 2 – Les limites administratives	5
I – 3 – Localisation du forage	7
Conclusion	8
Chapitre deuxième	9
Aperçu socio – économique.....	9
Introduction.....	10
I – Composition territoriale de Touggourt et sa région	10
II – Situation économique et diversification des activités	12
II – 1 – Le secteur agricole	12
II – 2 – Le secteur industriel	14
II – 3 – Recomposition du tissu commercial et des services	15
II – 4 – Autres secteurs économiques	15
Conclusion	16
Chapitre Troisième	17
Aperçu Géologique	17
Introduction.....	18
I – La géologie régionale	18
II – La stratigraphie.....	20
II – 1 – Le Secondaire.....	20
A – Le Barrémien	20
B – L'Aptien	20
C – L'Albien	20
D – Le Vraconien.....	20
E – Le Cénomaniens.....	20

F – Le Turonien	20
G – Le Sénonien	20
II – 2 – Le Tertiaire.....	22
A – L'Éocène.....	22
B – Le Miopliocène.....	22
II – 3 – Le Quaternaire.....	22
II – 4 – Tectonique générale de la région	23
Conclusion	24
Chapitre Quatrième.....	25
Aperçu Hydroclimatique.....	25
Introduction.....	26
I – Les températures et leurs variations	26
II – Les précipitations valeurs variations	27
II – 1 – Les précipitations moyennes mensuelles	28
II – 2 – Les précipitations moyennes interannuelles.....	29
III – Les vents	30
IV – La pression.....	31
V – L'Humidité de l'air	32
VI – Synthèse climatique de la région	33
VI – 1 – Diagramme pluviothermique ou ombrothermique	33
Conclusion	35
Chapitre Cinquième	36
Aperçus Hydrogéologique	36
Introduction.....	37
I – Cadre hydrogéologique régional	37
I – 1 – Le Continental Intercalaire (CI).....	37
I – 2 – Limites morphologiques du Continental Intercalaire	38
I – 3 – Alimentation du complexe Continental Intercalaire (CI)	40
I – 4 – Alimentation du complexe Continental Intercalaire (CI)	40
I – 5 – Le toit du complexe Continental Intercalaire (CI)	41
I – 6 – Épaisseur système aquifère du complexe Continental Intercalaire (CI)	41
II – Le complexe Terminal (CT).....	42
III – La nappe phréatique.....	44
IV – Les nappes du Complexe Terminal	45
Conclusion	46

Dixième Partie.....	47
Chapitre Sixième.....	48
Introduction.....	49
I – Choix de l’implantation du forage.....	49
I – 1 – Selon l’aspect géologique.....	49
I – 2 – Aspect hydrogéologique.....	50
I – 3 – Du point de vue économique.....	50
I – 4 – Conclusion.....	50
II – Choix du diamètre final.....	50
III – Choix des phases.....	52
III – 1 – Choix de la construction du trou.....	52
a – Diamètre de la colonne de production.....	52
b – Le type d’ouvrage et sa destination.....	52
c – La caractéristique de la coupe géologique.....	52
IV – Harmonisation des diamètres.....	55
V – Programme de fluide de forage.....	56
V – 1 – Principales fonctions du fluide de forage.....	56
VI – Propriétés physique du fluide de forage.....	57
VI – 1 – La densité.....	57
VI – 2 – La viscosité.....	58
VI – 3 – Le Filtrat.....	58
VI – 4 – Le cake.....	59
VI – 5 – Calcul du volume de boue.....	59
A – Calcul du volume de boue pour le trou foré en 22" (tube guide).....	59
B – Calcul du volume de boue pour le trou foré en 17 ¹ / ₂ :.....	59
C – Calcul du volume de boue total.....	60
D – Les produits consommés.....	60
D – 1 – La quantité d’argile (bentonite) nécessaire.....	60
D – 2 – La quantité d’eau de mixage.....	60
VII – Choix des outils.....	61
VIII – Choix de la garniture.....	61
1 – Les Masses – tiges.....	62
1 – a – Choix des diamètres des Masses – tiges.....	62
1 – b – Calcul des longueurs des Masses – tiges.....	62
2 – Les Tiges de forage.....	63

2 – a – La longueur des tiges de forage	63
2 – b – Calcul de vérification.....	63
2 – b – 1- La contrainte à la traction	63
2 – b – 2- La contrainte à la torsion	64
3 – Conclusion	65
IX – Choix de la tige d’entraînement.....	65
1 – Vérifions avec les calculs précédemment effectués	65
X – Choix des paramètres de forage.....	66
XI – Calcul des pertes de charge et choix de la pompe à boue.....	67
1 – Dans les équipements de surface	68
2 – Dans les tiges de forage (DP)	68
3 – Dans les masses – tiges (DC).....	68
4 – Dans le trépan	68
5 – Pertes de charges annulaire / DC	68
6 – Pertes de charges annulaire / DC	69
XI – Choix du tubage et calcul de cimentation.....	69
1 – Calcul du volume nécessaire de laitier de ciment.....	70
2– Quantité de ciment utile	70
a – Pour 1m ³ de laitier.....	70
b – Densité du laitier sec total.....	70
c – Quantité de ciment sec total	70
d – Volume d’eau de gâchage.....	70
e – Volume du fluide de chasse	70
f – Pression de refoulement a la fin de la chasse	71
XII – Habillage de la colonne	71
XII – 1 – Les sabots	71
XII – 2 – Les Anneaux de retenue	71
XII – 3 – Les Centreurs et Racleurs.....	71
XIII – Choix de l’appareil de forage.....	72
1 – Calcul du poids des DC	72
2 – Calcul du poids des DP.....	72
3 – Poids de la tige d’entraînement (la Kelly)	72
4 – Poids du train de sonde	72
5 – Poids de la colonne de tubage.....	72
6 – La Capacité au Crochet.....	73

XIV – La sécurité sur le chantier de forage	73
XIV – 1 – Le matériel de sécurité pour le sondeur	73
XIV – 2 – Les équipements, de sécurité, électriques	73
XIV – 3 – La propreté	74
XV – L’organisation sur le chantier de forage	75
1 – La rapidité	75
2 – L’économie	75
3 – La qualité	75
4 – Le planning d’avancement des travaux	75
5 – Le programme général	75
6 – Les Installation	76
7 – Étude du plan d’aménagement	76
7 – Installation en parc de stockage	76
8 – Inventaire	76
9 – Les équipes de forage	76
a – Le chef de chantier	77
b – Le chef de post	77
c – Les ouvriers de plancher	77
XVI – Complétion du puits	77
XVII – Granulométrie	77
XVIII – Mode opératoire	78
XIX – La Crépine	78
XI – Le massif du gravier additionnel (massif filtrant ou MGA)	79
XX – Calcul du volume du MGA	79
XXI – Programme de développement	80
1 – Équipements utiles	80
2 – Principe de pompage	81
Conclusion	82
Conclusion Générale & Recommandations	83
BIBLIOGRAPHIE	86
ANNEX	87
Résumé	92

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre	Page
01	Le statut social de Touggourt (DPAT Année 2019).....	11
02	Variations des moyennes mensuelles des valeurs de température. Station météorologique de Sidi Mehdi (O.N.M – 2010-2020)	26
03	Valeurs des précipitations moyennes mensuelles Station de Touggourt. (2010-2020)	28
04	Précipitation moyennes interannuelle. Station de Touggourt (2010 –2020)	29
05	Vitesses moyennes des vents. Station de Touggourt (2010 – 2020)	30
06	Moyennes mensuelles des pressions. Station de Touggourt (2010 – 2020)	31
07	Humidité moyenne mensuelle. Station de Touggourt (2010 – 2020)	32
08	☒ Valeurs de P (mm) et (2T °C). Station de Touggourt (2010 – 2020)	34
09	Données récapitulatives du système aquifère (CI).....	42
10	Synthèse hydrogéologique régionale des différents aquifères (sans échelle).	44

N°	LISTE DES FIGURES	Page
01	Situation géographique de la zone d'étude. (Wikipédia)	05
02	Limites administratives de la zone d'étude. (Wikipédia).....	06
03	Localisation du forage. (Google Earth).....	07
04	Les branches d'activités économiques. Ville de Touggourt.....	13
05	Carte géologique du Sahara orientale.....	19
06	Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt (sans échelle).	21
07	Coupe géologique à travers la région de Touggourt. In HOUARI, 2012. .	22
08	Courbe des variations moyennes mensuelles des températures (2010-2020).	27
09	Variation des précipitations moyennes mensuelle. Station de Touggourt (2010 – 2020).	28
10	Variations des précipitations interannuelles. Station de Touggourt (2010 – 2020).	29
11	Variation des vitesses moyennes des vents. Station de Touggourt (2010 – 2020).	31
12	Variations des moyennes mensuelles des pressions Station de Touggourt (2010 – 2020).	32
13	Variations de l'humidité relative de l'air. Station de Touggourt (2010 – 2020).	33
14	Diagramme pluviothermique représentatif de la station de Touggourt (2010 – 2020).	34
15	Cartes des ressources en eau souterraine (Complexe Terminal & Terminal Intercontinental.	37
16	Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du complexe Continental Intercalaire. ANRH Touggourt.	39
17	Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal à travers la région de Touggourt.	43
18	Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara septentrionale (UNESCO 1972).	45
19	Architecture du forage de l'établissement pénitencier.....	54

Préambule

L'histoire rapporte que les grandes civilisations ont toujours été associées à un grand fleuve, tel que le *Nil* pour l'*Egypte* ou le *Tigre* et l'*Euphrate* pour la Mésopotamie. Il apparaît clair que l'eau, cet élément très précieux pour toute forme de vie, a tout le temps, conditionné le passé, le présent voire le future et le devenir des populations.

Dans le passé, lors des époques lointaines, l'eau était relativement abondante néanmoins, la vigilance quant à sa pureté était un constant souci en outre, la vie était dure et plusieurs conditions étaient difficiles à surmonter. À l'époque contemporaine, la mise à disposition d'une eau abondante et pure, dans les pays industrialisés, a autant changé la vie des citoyens et leurs règles d'hygiène. Ajouter à cela, la forte croissance démographique, le développement économique, social et industriel, ce qui a accentué la demande en eau.

Les ressources en eau, notamment celles de surface, sont devenues rares et ne sont plus en mesure de répondre aux divers besoins et demandes, en hausse continue, ce qui a rendu le recours aux eaux profondes une alternative sans équivoque.

Pour obtenir cette eau, il est impératif de passer par des prospections géophysiques et des études de reconnaissance géologiques et hydrogéologiques, entre autres. Pour réussir à extraire cette ressource, on doit faire appel à une chaîne chronologique d'opérations bien ordonnées comme le processus de forage, qui est l'action de réaliser un trou pour relier le réservoir au jour, autrement dit, joindre l'installation de surface au complexe productif, dans les meilleures conditions techniques et de sécurité, tout en réduisant le coût.

Plusieurs techniques de captage peuvent être adoptées pour apporter cette eau des grandes profondeurs à la surface. Parmi les plus utilisées et les plus répandues, la technique de forage au Rotary, soit dans le domaine pétrolier ou hydraulique grâce aux avantages multiples qu'elle offre.

La région de Touggourt, qui est une circonscription administrative de l'Algérie sud – orientale, ne fait pas l'exception. Vu la nature du climat qui y règne, connu par une sécheresse intense et une faible précipitation, conjugués à d'autres facteurs, ont contraint les divers utilisateurs à s'orienter vers la recherche et l'exploitation des eaux de la nappe phréatique, du Complexe Terminal, et du Continental Intercalaire et ce, pour s'approvisionner en eau, soit d'AEP, d'irrigation ou pour l'industrie, afin de satisfaire l'augmentation de la demande.

Introduction Générale

L'ouvrage, objet d'intérêt de notre projet de fin d'étude, rentre dans le cadre de l'approvisionnement en eau d'un établissement pénitencier de trois cent pensionnaires.

Notre travail se résume en un suivi des différentes étapes de travaux de réalisation de cet ouvrage tout en effectuant un contrôle de vérification selon les méthodes de calcul requises, conformément aux programmes de forage conventionnels.

Pour ce faire, quelques aperçus (socio – économique, géologique, hydrogéologique et hydroclimatologique ...) sur la région, seront donnés, avec l'établissement de programme de calcul et de vérification, sachant pertinemment que le projet se réalise sur plusieurs étapes (objectifs du forage, choix des coordonnées du point d'impact, le nombre de phases, forage – tubage – cimentation de chaque phase indépendamment des autres, descente des crépines, mise en place du gravier additionnel, développement de l'ouvrage, calage de la pompe ...).

Et comme à l'accoutumée, on donnera une conclusion à ce travail et on essaiera de retenir les remarques pertinentes et d'émettre quelques recommandations.

*« Eau, tu n'as ni goût, ni couleur, ni arôme,
on ne peut te définir, on te goûte sans te connaître.
Tu n'es pas nécessaire à la vie, tu es la vie »*

Antoine de Saint EXUPERY

Première Partie

Aperçus Généraux

Chapitre Premier

Cadre général de la région d'étude

Introduction

Dans une fin de mieux comprendre le cadre général de notre point d'eau, nous devons tout d'abord donner quelques indices clefs notamment sur sa situation, sa destination ...etc.

I – Cadre général de la zone d'étude

I – 1 – Situation géographique

La région à laquelle nous nous sommes intéressés, pour mener cette étude, porte la même dénomination que la ville où elle est attachée administrativement. Connue depuis, sous l'appellation de Touggourt, est désormais promue au rang de Wilaya suite au récent découpage administratif. Elle représente la commune du chef lieu de Wilaya et est distante d'environ 638km de la capitale du pays, Alger, au Sud de la mer méditerranéenne.

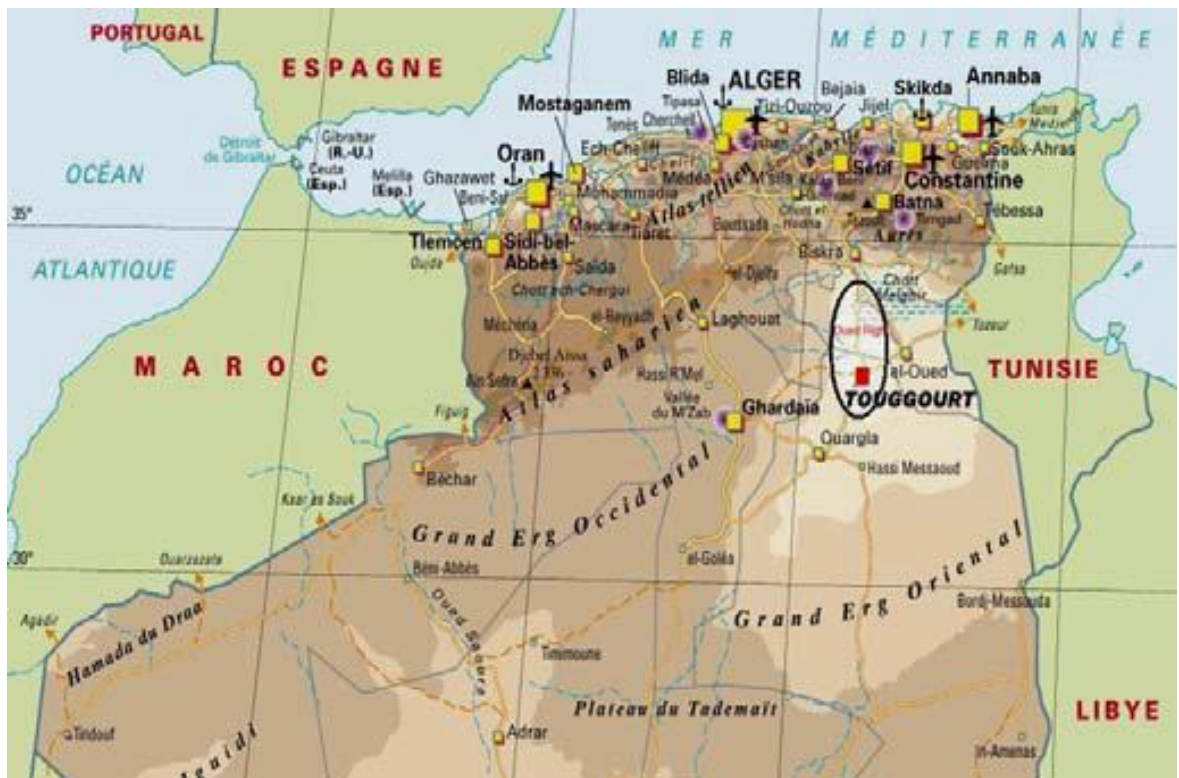


Figure N° 1 : Situation géographique de la zone d'étude. (Wikipédia).

I – 2 – Les limites administratives

Comme signalé plus haut, la commune de Touggourt, qui porte le même nom que la jeune Wilaya qu'elle représente, est située au Sud – est de l'Algérie. Elle possède, selon le dernier découpage administratif, comme le montre la figure suivante (Fig. N° 2), les limites administratives et villes limitrophes suivantes :

- ✓ Au Nord, la Wilaya d'El Oued, El Meghayer, Ouled Djellel et Biskra ;
- ✓ Au Sud, la Wilaya de Ouargla (Hassi Messaoud, El Bourma) ;
- ✓ À l'Est, La Wilaya d'El Oued ;
- ✓ À l'Ouest, Les Wilayates de Ghardaïa et Djelfa.

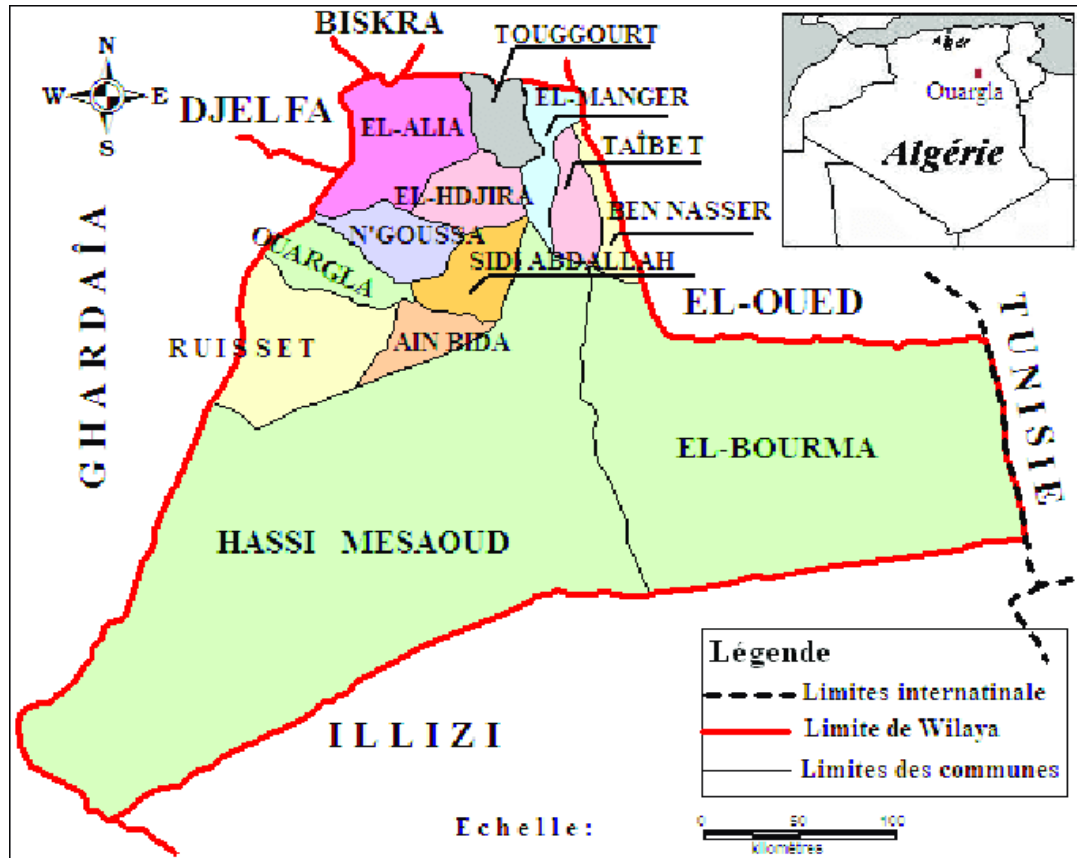


Figure N° 2 : Limites administratives de la zone d'étude. (Wikipédia).

Elle comprend cinq (05) Daïras et treize communes, dont celle du chef lieu qui est située au centre de la Wilaya. La commune de Touggourt est bordée, à son tour, par les communes suivantes :

- Elmgarine, au Nord ;
- El Nezla, au Sud ;
- Tebesbest et Zouiat Sidi El Abed, à l'Est ;
- El Alia et El Hedjira, à l'Ouest.

I – 3 – Localisation du forage

Le point d'eau, objet de ce projet, destiné à l'approvisionnement en eau potable de l'établissement correctionnel de trois cent pensionnaires sis à Touggourt, a été choisi de manière à permettre une certaine autonomie de l'établissement en matière d'AEP.

Il est localisé, comme s'est illustré dans la figure suivante (Fig. N° 3), à proximité du Centre de Formation du Corps de la Gendarmerie Nationale Mohamed SHAFO, Touggourt, conformément aux coordonnées suivantes :

X : 06°03 49.54E.

Y : 33°09' 56.3N.

Z : 63m.



Figure N° 3 : Localisation du forage. (Google Earth).

Conclusion

Selon ce qui a été avancé, et pour des raisons techniques et surtout économiques ; proximité du bénéficiaire, notamment que la géologie le permet ainsi que l'accessibilité du terrain, la décision était prise pour implanter l'ouvrage selon les coordonnées suscitées :

X : 06°03 49.54E.

Y : 33°09' 56.3N.

Z : 63m.

Ces coordonnées ont été prises par GPS et confirmées sur carte (1/50 000).

Chapitre Deuxième

Aperçus Socio - économique

Introduction

Vu sa situation au bas – Sahara de l’Algérie Nord – orientale, Touggourt se distingue par une urbanisation et des activités économiques et industrielles typiques des régions sahariennes. En outre, ce qui lui offre une certaine particularité, c’est qu’elle est longée, du Nord comme du Sud, par l’Oued Righ en plus des dunes et des lacs salés, tandis que du côté Ouest, c’est plutôt les petites collines qui font leurs apparitions. Elle se comporte comme un trait d’union entre les villes limitrophes ; Biskra, El Oued, Ouargla, Djelfa et cette position lui confère une situation stratégique et une importance économique et sociale particulière et prometteuse.

I – Composition territoriale de Touggourt et sa région

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

Tableaux N°1: Le statut social de Touggourt (DPAT Année 2 019).

Nom de Daïra	Nom de Commue	Population (habitants)	Surface (km ²)	Taux de croissance de la population (%)
Touggourt	Touggourt	50 228	172.17	2.1
	Nezla	66 974	120.18	2.5
	Zaouïa sidi El Abed	26 447	23.72	2.7
	Tebesbest	35 032	26.45	1.6
Taïbet	Taïbet	29 937	4 562	3.6
	M'naggueur	15 768	8 399	1.7
	Benacer	13 949	2 593	2.9
Temacine	Temacine	25 743	231.98	2.4
	Belidat Amor	17 718	126.2	1.6
El Megarine	El Megarine	17 640	186.78	2.3
	Sidi Slimane	12 360	447.13	2.1
El Hedjira	El Hedjira	14 946	2 429	1.8
	El Alia	12 000	6 589	1.7

II – Situation économique et diversification des activités

L'intégration de la région à l'économie globale a pour effet une vulgarisation des activités selon les mêmes principes organisateurs. Structures des activités et des emplois, taux d'activité et d'occupation sont sensiblement identiques à ceux du Nord du pays, même si on peut observer certaines nuances. Touggourt devient, alors, une ville d'attrait du fait de ses nouvelles fonctions et opportunités, de ses équipements et services, de l'emploi ou de l'espérance d'emploi, autant pour les populations autochtones (locales) que celles du allochtones. Sa croissance demeure plus forte, car elle rayonne sur un vaste territoire faiblement doté en agglomérations secondaires.

II – 1 – Le secteur agricole

L'agriculture et l'élevage figurent parmi les activités économiques les plus importantes qui caractérisent la région de Touggourt.

La surface agricole totale est estimée de l'ordre de 725 194 hectares. Une partie est réservée au palmerais (166 673 hectares sont une zone irriguée de palmier) située surtout dans la région du Oued Righ.

L'ensemble des palmeraies d'Oued Righ, le plus riche en production dattières de tout le Sud (50 kg de dattes/palmier), ne constitue pas seulement une source de vie mais aussi un espace qui assure l'équilibre écologique et le microclimat de la vallée. Aussi, les oasis occupent-elles un couloir allant de Biskra à Blidet Amor en passant par Touggourt.

Si dans les années 70, la révolution agraire et les hydrocarbures ont induit le malaise de l'oasis, à Oued Righ, dans les années 90 en revanche, le désenclavement et l'ouverture aux débouchés extérieurs, la reprise de confiance des agriculteurs dans leur capacité à créer et innover, sont à l'origine d'un boom agricole inattendu.

La population occupée par secteur d'activités (selon les statistiques de l'année 2000) à Touggourt présente 5 % dans l'agriculture (en de ça de la moyenne de l'Algérie urbaine qui est de 7,5%), 26 % en industrie et le bâtiment (BTP), 69 % dans le commerce et autres services.

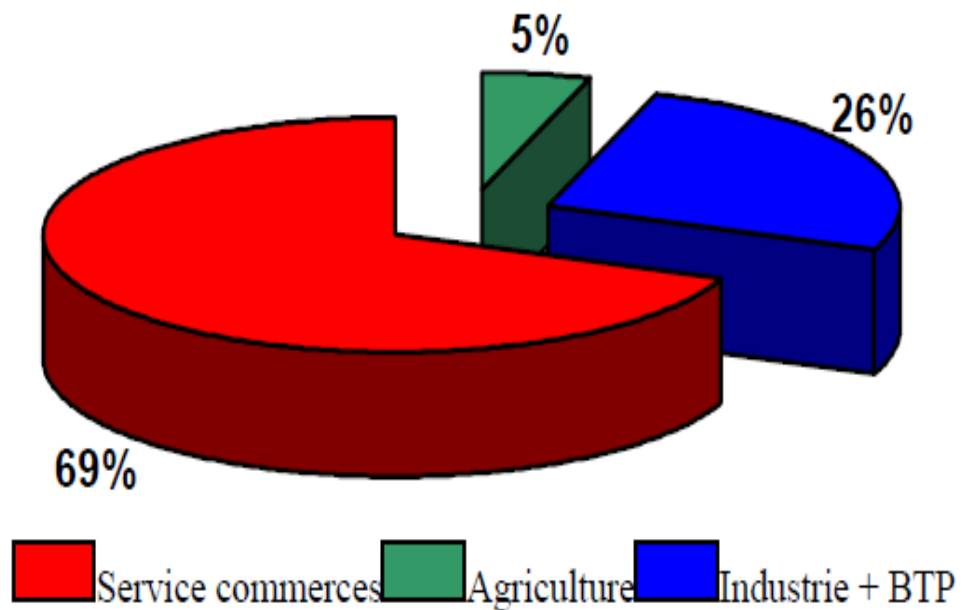


Fig N° 4 : Les branches d'activités économiques. Ville de Touggourt

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 s'accroître car les débouchés sont assurés sur le marché local.

À cet effet, l'activité agricole a son impact sur l'industrie locale qui occupe une large main-d'œuvre saisonnière. Le secteur agricole marque, par conséquent, profondément la vie quotidienne, tant sur le plan économique que social.

D'autres activités agricoles s'associent à celles suscitées, comprenant également d'autres domaines stratégiques, tels que la culture maraîchère et l'agriculture protégée, l'arboriculture (arbres fruitiers, olivier), 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, fruits & légumes. Le projet est en cours d'exécution dans la commune de Touggourt, sur une superficie de 2 hectares. L'avancement de ses travaux est estimé à environ 50%, selon les estimations des autorités locales (Direction des Services Agricoles).

II – 2 – Le secteur industriel

On parle d'une industrie qui naît des retombés du pétrole. En fait et du fait que c'est ville limitrophe des gisements d'Hydrocarbures, Touggourt, s'avère être la plus proche après Hassi Messaoud et Ouargla, et de ce fait, elle se trouve au centre de l'aire d'influence directe du bassin d'hydrocarbures dont elle en bénéficie des retombées indirectement.

En tant que ville primaire (bénéficiant récemment du statut d'un chef-lieu de wilaya), malgré l'existence d'une activité industrielle réduite (moins de 15% pour 17,5 % moyenne nationale), celle-ci est réelle à Touggourt avec 1700 emplois, et ses effets inducteurs sur les économies locales sont certains.

Durant la dernière décennie, avec plus de 1700 emplois industriels, les activités industrielles s'améliorent (le taux d'industrialisation est de 43.3%), se diversifient et s'orientent vers la Petite et Moyenne Entreprise (P.M.I), publiques ou privées. Cette situation s'explique par l'implantation de (15 entreprises publiques et 18 privées en zone industrielle, localisée à la périphérie Nord-ouest de la ville, emplacement favorable car il permet, une extension aisée (limite du périmètre urbain), un accès facile (sur la RN 3) et surtout, il se trouve à l'écart de la palmeraie.

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

Le secteur pétrolier (Hassi Messaoud) draine le gros de son effectif 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, des zones d'entrepôt sont installées à Touggourt.

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

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

Aujourd'hui, les PME privées (400 au total) de taille artisanale, employant moins de 10 employés à temps complet dont 6 entreprises emploient plus de 50 salariés, notamment dans le secteur des matériaux de construction, de la ferronnerie et de la menuiserie.

II – 3 – Recomposition du tissu commercial et des services

Depuis quelques décennies, la poussée démographique entraîne l'émergence d'un marché de consommation important à travers lequel transitent et se négocient les produits importés. D'importants courants commerciaux auprès de cette région, qui est destinée à accueillir les entreprises captivées par les retombées de l'exploitation pétrolière. La propulsion étatique a généré une ville de services. Cette dimension est largement représentée par la nette prédominance des activités tertiaires qui, avec plus de 2/3 de l'emploi des branches d'activités (69%), montre sa nette supériorité.

Par ailleurs, les activités marchandes et de services sont omniprésentes et marquent profondément le paysage urbain. Rues marchandes, marchés quotidiens ou hebdomadaires, le commerce et les services sont présents dans la ville à tous les niveaux. Dans cette économie locale, la part de l'informel est considérable. Néanmoins, il est difficilement quantifiable car il échappe à la statistique des directions de commerce. Toutefois, sa grandeur est appréciée sur le terrain à travers le petit commerce, les marchés hebdomadaires et régionaux.

II – 4 – Autres secteurs économiques

En outre, ce qui attire l'attention à la région, pays d'oasis par excellence, est le contraste entre la richesse et la diversité des ressources touristiques.

Le secteur du tourisme est prometteur, car Touggourt renferme plusieurs complexes touristiques tels que : le Palais Rano, le Palais Al-Zawiya Al-Abediya, Al-Bahour à Masin et autres..., ainsi que le secteur du commerce, dont dépend la région de Touggourt.

Ce qui consolide ces secteurs c'est que la ville possède son propre aéroport, un terminale en voie ferrée et un réseau de trafic routier important.

Conclusion

Touggourt regroupe de nombreux projets d'investissements industriels, au nombre de projets pouvant aller jusqu'à 579. Ces projets, s'étendent sur une superficie totale de l'ordre de 719 hectares. Ils seront mis en œuvre à travers les différentes communes de la Wilaya, et seront exécutés par l'ensemble des entreprises qui exercent à l'échelle de la région. C'est l'occasion pour la création de plus de 1 300 emplois directs et indirects (selon les données des services concernés de la Wilaya).

Ces investissements concernent de nombreux domaines économiques tels que l'industrie des matériaux de construction (notamment les briqueteries), l'industrie de l'agro-alimentaire, l'industrie manufacturière, les services et autres.

Chapitre Troisième

Aperçus Géologique

Introduction

Dans toute tentative de reconnaissance, notamment en matière de recherche de ressources minières, pétrolières, hydrauliques ...etc, doit passer par une étude géologique, avec tout ce qu'elle comprend comme moyens de prospection et investigation, y compris celle géophysique. C'est grâce à la géologie qu'on peut connaître la structure des formations constitutives ainsi que leur nature lithologique. Elle nous permet, en outre, de faire une description stratigraphique des divers terrains et distinguer par conséquent ceux qui peuvent renfermer des ressources en eau souterraine et de se comporter comme aquifères.

Dans le présent travail, et dans l'objectif d'identifier les caractéristiques géologiques du système aquifère, à l'échelle de notre zone, nous aborderons en premier lieu les aspects géologiques à l'échelle régionale puis à l'échelle locale.

I – La géologie régionale

La vallée d'Oued Righ est une large fosse de direction Nord- Sud. Elle prend son origine au Sud (la palmeraie d'El-Goug, avec une altitude moyenne de l'ordre de $Z = 90\text{m}$) et débouche sur le chott Merouane ($Z = a - 25\text{m}$).

Du côté de Touggourt, l'altitude moyenne est de l'ordre de 65m. La pente, en générale, est estimée d'environ 1%. La dénivellation entre le haut et le bas du relief est peu marquée, reposant sur les formations du Miopliocène et Éocène qui s'enfoncent progressivement vers le Nord où on trouve sur les parties hautes de la vallée un niveau quaternaire ancien à encroûtement gypso-calcaire recouvert, par endroit, de formations dunaires. Le fond de la vallée est, quant à lui, constitué de dépôts sablo-argileux.

La région d'Oued Righ, appelée Bas-Sahara, se présente comme une vaste fosse synclinale dissymétrique.

Elle est limitée, au Sud, par la falaise du Tinhert à l'ouest les affleurements crétacés du M'zab et à l'Est par ceux du Dahar. Au Nord la fosse est limitée par l'accident sud-atlasique.

Compte tenu de l'allure respective de ses versants, la cuvette du Bas-Sahara, présente donc un ombilic très décalé vers le Nord et qui se trouve entre les Aurès et le chott Melhrir.

Il est à signaler que le fond de la fosse n'est pas absolument régulier mais est affecté de plissements d'importance secondaire. Nous mentionnerons plus particulièrement :

- La ride anticlinale de Stil, orientée Est-Ouest, d'âge post-pliocène.
- L'ondulation de Dzioua, orientée à peu près Nord-Sud et qui, bordant à l'Est les versants du Mزاب, détermine la séparation des bassins de Touggourt et d'Ouargla.

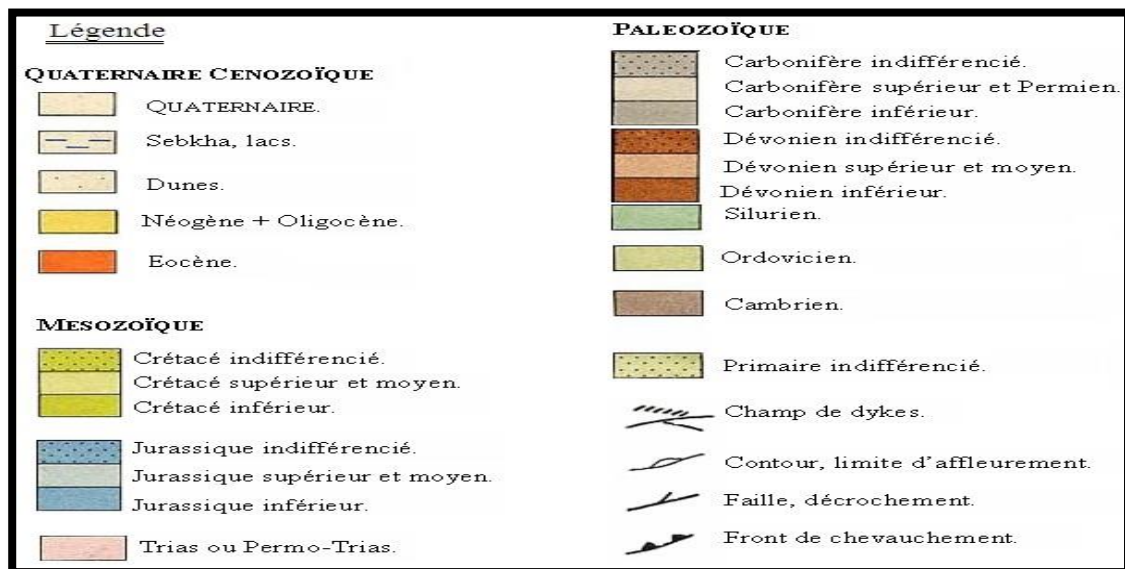
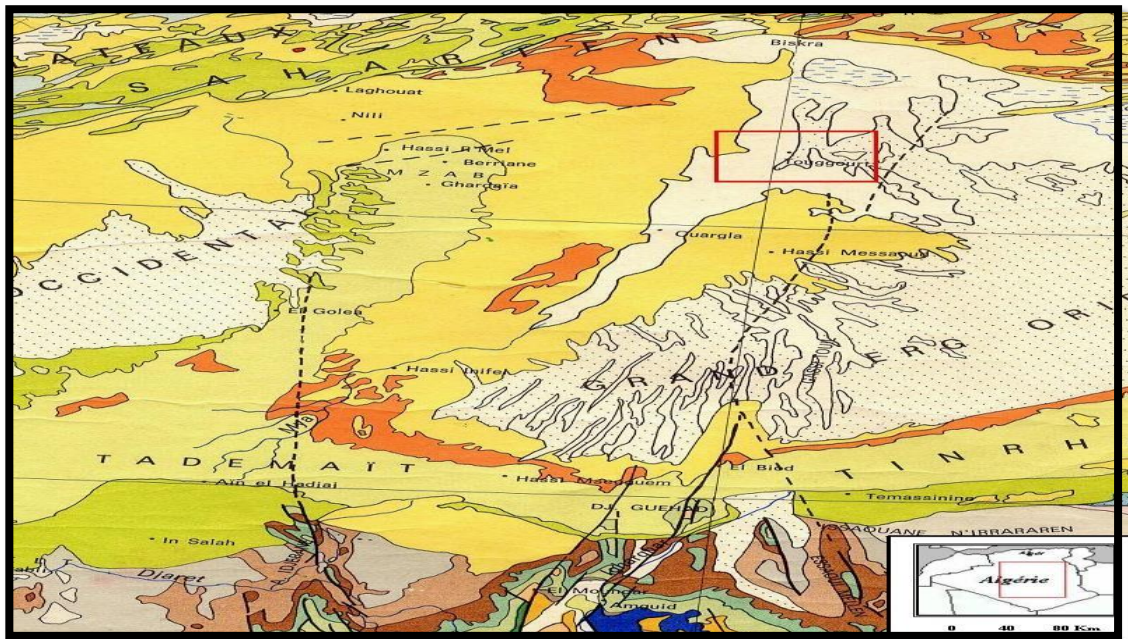


Figure N° 5 : Carte géologique du Sahara orientale.

II – La stratigraphie

Selon les logs stratigraphiques des sondages réalisés dans la région, on peut distinguer, de bas en haut (Fig. N°6) :

II – 1 – Le Secondaire

A – Le Barrémien

Cet étage est caractérisé par des séquences de grés et argiles, dolomie, sable avec une épaisseur pouvant aller jusqu'à 200m en moyenne.

B – L'Aptien

Cet étage se compose de la dolomie et de la marne comme formation majeure, l'épaisseur des sédiments est de l'ordre de 50 m.

C – L'Albien

Il est constitué des séquences de grés et calcaires, sable et argiles avec une épaisseur ne dépassant pas les 120 m.

D – Le Vraconien

D'après la plus part des sondages, où il apparait, cet étage est constitué d'une alternance de dolomie et argile et argile sableuse et parfois des passages de grés, l'épaisseur peut atteindre les 140 m.

E – Le Cénomanién

La limite inférieure de cet étage est caractérisée par les évaporites, tandis que celle supérieure est constituée de calcaires et passés d'argile. L'épaisseur est de l'ordre de 200 m en moyenne.

F – Le Turonien

Il constitue la limite inférieure du Complexe Terminal. Il est représenté par un dépôt marin calcaireux- marneux, l'épaisseur du Turonien est de 80 m environ.

G – Le Sénonien

Il est réparti en deux unités différentes :

- ✓ Le Sénonien lagunaire : constitué des anhydrites, calcaires, et le plus important de sel (150 m) ;

- ✓ Le Sénonien carbonaté : constitué de dolomies, marnes, calcaires fissurés, l'épaisseur est importante pouvant frôler les (350 m).

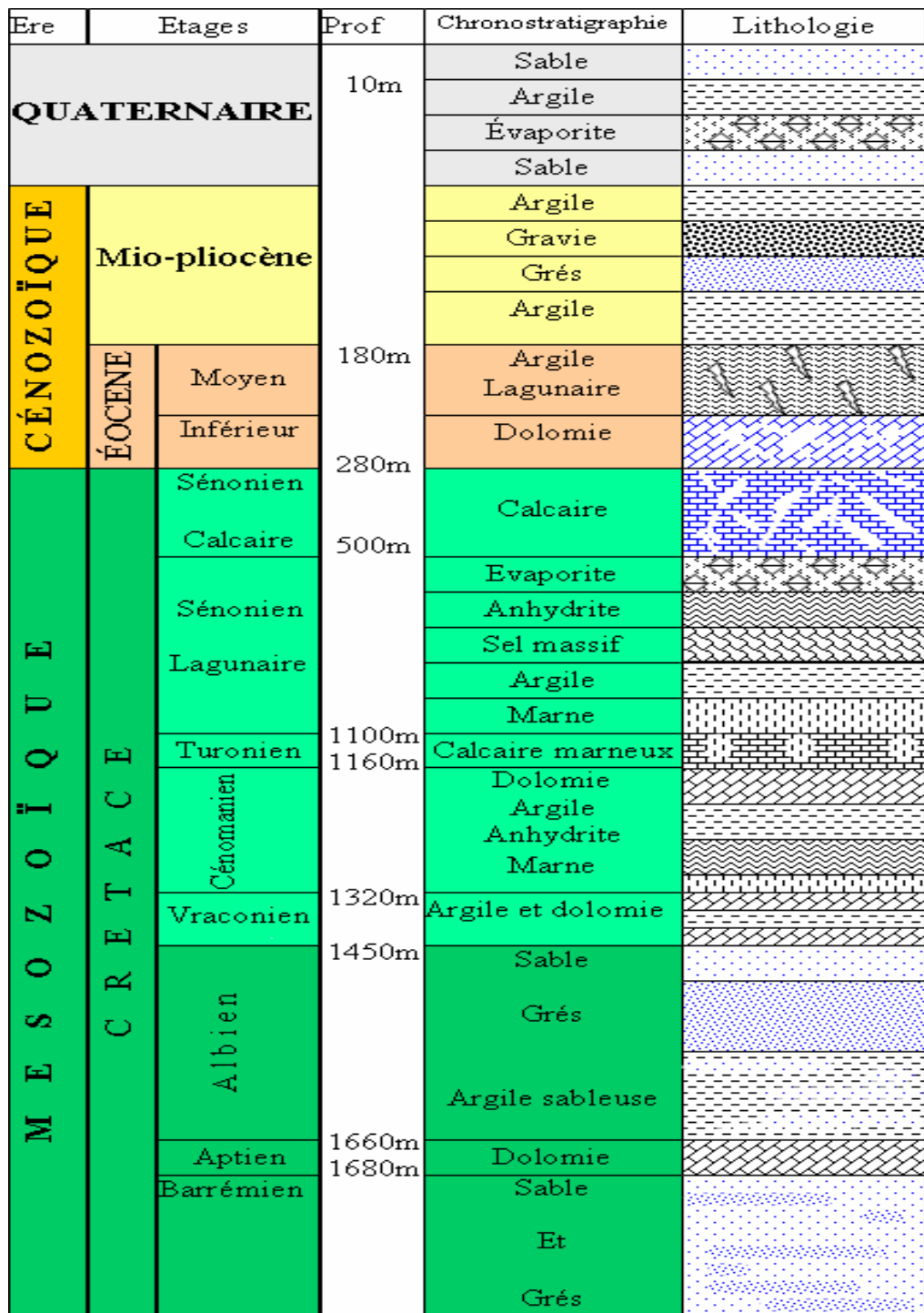


Figure N° 6 : Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt (sans échelle)

II – 2 – Le Tertiaire

A – L'Éocène

C'est la continuité du Sénonien carbonaté. Il est constitué de calcaire fissuré et des argiles et d'alternances de gravier, gypse et sables. L'épaisseur de cet étage varié entre 70 et 140 m.

B – Le Miopliocène

Cette formation, d'origine continentale, débute à la base par un banc de sable grossier, passant à des graviers et des sables et grés. Ses formations sont séparées par des passages d'argile.

II – 3 – Le Quaternaire

Le Quaternaire est essentiellement sableux à la base des couches d'argiles et d'évaporites semi-perméables le séparent du pliocène supérieur.

Au Sahara, ces formations (quaternaires) referment une nappe phréatique alimentée principalement par l'infiltration des eaux des oueds et surtout par percolation des eaux en excès lors des périodes d'irrigation.

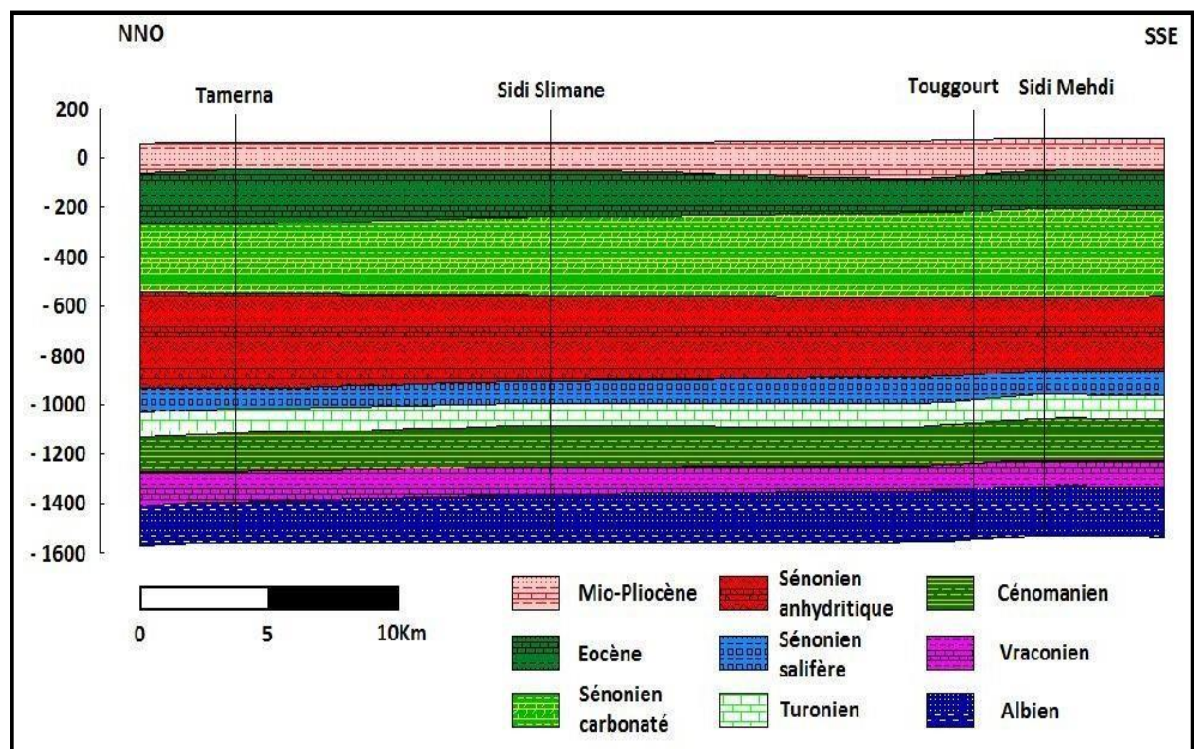


Figure N° 7 : Coupe géologique à travers la région de Touggourt. In HOUARI, 2012.

II – 4 – Tectonique générale de la région

Du point de vue tectonique, la chaîne des Maghrébides a subi 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'insère avec les précédentes dans la phase Alpine, d'où l'apparition des fractures de direction Est-Ouest, forment la surrection du massif des Aurès et l'affaissement de la partie Sud (le Sillon Sud aurésien).

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

Conclusion

Depuis plusieurs décennies, suites aux nombreuses études effectuées sur la région, on a montré qu'elle a connu divers mouvements tectoniques qui étaient à l'origine de la forme actuelle qu'épouse sa structure.

Les formations du Complexe Terminal et du Terminal Intercontinental peuvent se comporter comme aquifères et renferment d'ailleurs des quantités d'eaux impressionnantes, mais leur qualité reste en deçà des attentes et nécessitent un contrôle lors de divers usages.

Chapitre Quatrième

Aperçus Hydroclimatique

Introduction

Les caractéristiques hydroclimatiques (précipitations, températures, vents, évapotranspirations ...etc.) d'une quelconque région soumise à l'étude sont déterminantes, notamment pour la caractérisation du type de climat et ses aléas. Leur connaissance s'avère alors indispensable pour plusieurs disciplines dont l'Hydrogéologie et ce, pour connaître le régime d'écoulement des eaux, l'alimentation du système aquifère (par infiltration efficace), la perte en eau sous forme d'évaporation et aboutir à l'établissement du bilan d'eau pouvant servir à l'établissement de politiques de gestion et de protection des ressources en eau.

Les données relatives aux différentes composantes qui régissent le climat (précipitations, températures, vents, évaporation, insolation ...) ont été recueillies auprès des services de la station météorologique de Sidi Mehdi (O.N.M).

Seules les précipitations et les températures seront traitées dans ce chapitre, vue leur effet majeur et pertinent sur la reconstitution de la réserve et l'alimentation du système aquifère (la nappe du Complexe Terminal – CT, et celle du Continental Intercalaire – CI).

I – Les températures et leurs variations

À l'échelle de la zone d'étude, le facteur température a son impact propre et son influence sur les autres paramètres météorologiques (tels que l'évaporation et le taux d'humidité de l'atmosphère ...etc.) est nettement perceptible. Elle est donc considérée comme un paramètre déterminant dans le calcul du bilan hydrologique. Les variations de ce paramètre vont être présentées, selon les valeurs du tableau suivant (Tab. N° 2), sur la courbe des variations des moyennes mensuelles des températures.

Tableau N° 2 : Variations des moyennes mensuelles des valeurs de température.

Station météorologique de Sidi Mehdi (O.N.M – 2010-2020).

Mois	Température (°C)	Mois	Température (°C)
Septembre	29.85	Mars	17.66
Octobre	23.49	Avril	22.81
Novembre	17.23	Mai	27.88
Décembre	11.99	Juin	31.75
Janvier	11.74	Juillet	35.18
Février	13.96	Aout	34.67

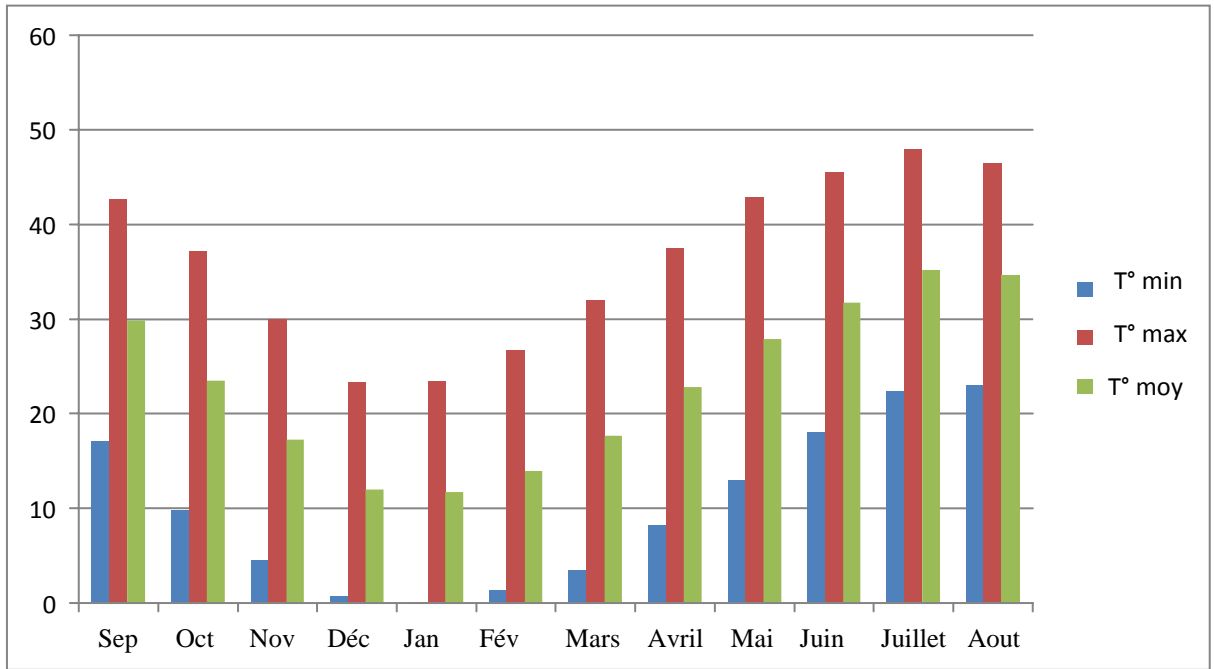


Figure N° 8 : Courbe des variations moyennes mensuelles des températures (2010-2020).

Les valeurs de températures, à l'échelle de notre région, se caractérisent par une grande variabilité et ce, à cause du climat qui règne (climat désertique). Les valeurs maximales sont enregistrées en saison estivale, pouvant atteindre les 48°C. Tandis que celles minimales sont repérées en saison hivernale, avec des valeurs proches de 0°C.

La valeur moyenne annuelle, déterminée pour cette période (2010 – 2020) sont de l'ordre de 23,18°C.

À partir de la représentation graphique (Fig. N° 8), nous remarquons que Juillet e Aout sont les mois les plus chauds et secs. En revanche, Décembre, Janvier et Février sont considérés les mois les plus froids où les températures frôlent des valeurs inférieures à 2°C.

II – Les précipitations valeurs variations

On désigne par précipitation toute forme d'eau (solide, liquide ou vapeur) qui retombe sur la surface de la terre suite au mouvement des nuages qui se forment et qui seront transportées par la circulation atmosphérique en se déplaçant sous l'effet de la pesanteur.

Elles jouent un rôle primordial dans la constitution et la reconstitution des réserves d'eau souterraine, malgré que seule une fraction des eaux pluviales (qui a échappé aux effets de ruissellement, d'évapotranspiration) et arrivant sur le sol permet de recharger les nappes d'eau souterraines.

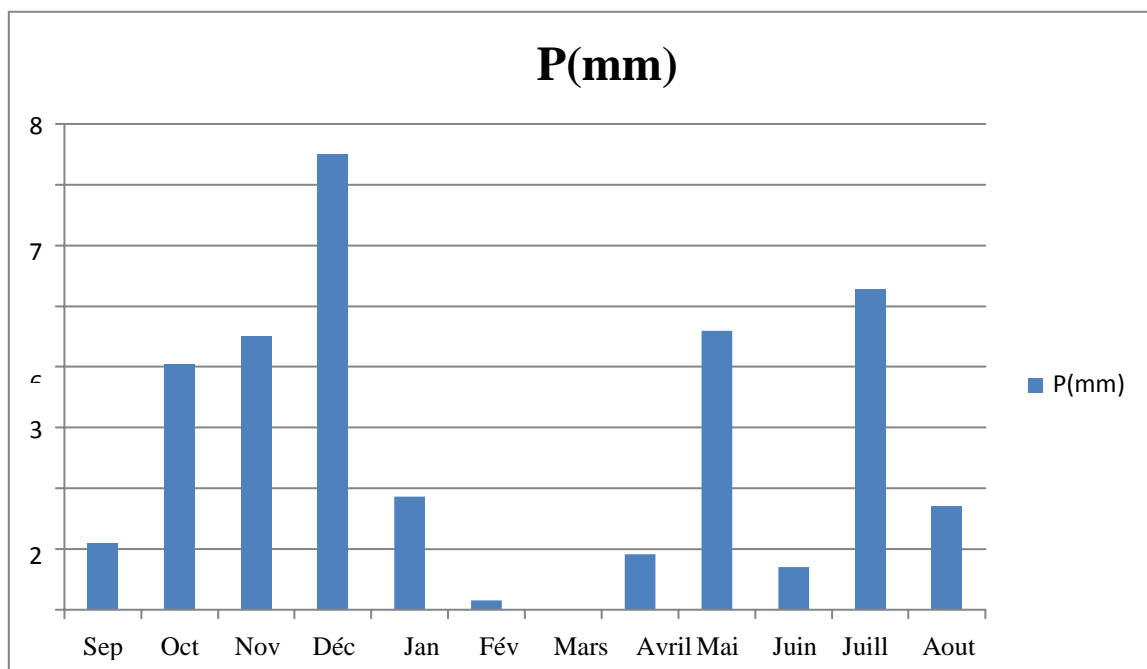
II – 1 – Les précipitations moyennes mensuelles

Les valeurs des précipitations (moyennes mensuelles) ont été récoltées au niveau des services de la station de Touggourt, sur une période allant de 2010 à 2020. Elles sont récapitulées dans le tableau suivant (Tab. N° 3).

**Tableau N°3 : Valeurs des précipitations moyennes mensuelles.
Station de Touggourt. (2010 – 2020).**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Moy
P (mm)	1,1	4,05	4,51	7,5	1,87	0,16	0,0	0,92	4,6	0,7	5,28	1,7	2,69

Les variations de ces valeurs sont représentées sur la graphique suivant (Fig. N° 9).



**Figure N° 9 : Variation des précipitations moyennes mensuelle. Station de Touggourt
(2010 – 2020).**

Cette figure (Fig. N° 9) montre l'évolution des précipitations moyennes mensuelles, sur une période de 11ans ; allant de 2010 à 2020.

Ainsi, on remarque que la répartition des précipitations est marquée par une certaine irrégularité. La lame d'eau maximale est observée au mois de Décembre.

Elle est de l'ordre de 7.5 mm par contre aux mois de Juin, mars et Février, elle est presque nulle, de même que pour les autres mois où elle est relativement faible.

II – 2 – Les précipitations moyennes interannuelles

Les valeurs de ce paramètre, précipitations moyennes interannuelles (sur la même période d'observation 2010 – 2020) enregistrées à la station de Touggourt, sont récapitulées dans le tableau suivant (Tab. N° 4).

Tableau N° 4 : Précipitation moyennes interannuelle. Station de Touggourt (2010 – 2020).

Année	P (mm)	Année	P (mm)
2010/2011	20,65	2015/2016	33,85
2011/2012	16,65	2016/2017	54,40
2012/2013	25,30	2017/2018	54,40
2013/2014	26,75	2018/2019	25,65
2014/2015	30,95	2019/2020	29,30

Les variations des valeurs des précipitations moyennes interannuelles sont illustrées par la représentation graphique (en histogramme).

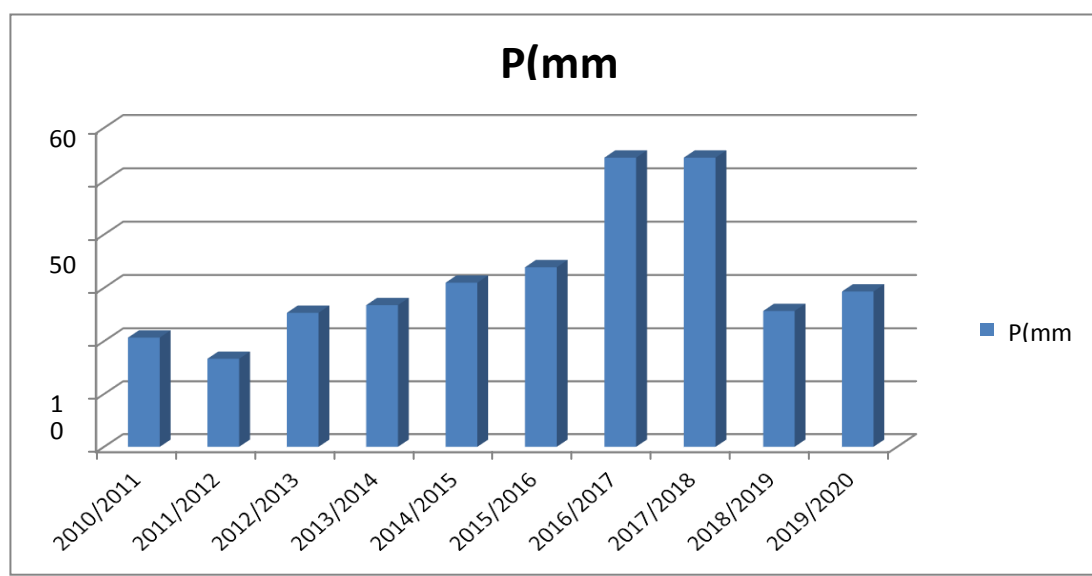


Figure N° 10 : Variations des précipitations interannuelles. Station de Touggourt (2010 – 2020).

L'observation de cette représentation en histogramme, permet de remarquer qu'une variabilité des précipitations annuelles est apparente au cours de la période d'observation (2010-2020).

On note une valeur maximale annuelle de 54.40 mm, enregistrée au cours des années (2016 – 2017) et (2017 – 2018). Cette valeur représente l'année la plus pluvieuse. Une valeur annuelle minimale de 16.65 mm, enregistrée lors de l'année (2011 – 2012), représentant l'année la plus sèche.

On doit noter que 50% des valeurs sont supérieures à la moyenne et 50% des valeurs sont inférieures à cette dernière.

III – Les vents

Considéré parmi les éléments le plus caractéristique du climat, le vent est caractérisé par sa direction, sa vitesse et sa fréquence. Les valeurs des moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrées à la station de Touggourt (2010 – 2020) sont récapitulées dans le tableau suivant (Tab. N° 5).

Tableau N° 5 : Vitesses moyennes des vents. Station de Touggourt (2010 – 2020).

Mois	V (km/h)	V (m/s)	Mois	V (km/h)	V (m/s)
Septembre	61,2	17,00	Mars	66,1	18,36
Octobre	60,21	16,72	Avril	62,5	17,36
Novembre	73,63	20,45	Mai	65,78	18,27
Décembre	73,96	20,54	Juin	57,92	16,08
Janvier	75,27	20,90	Juillet	53,67	14,90
Février	54,00	15,00	Aout	52,36	14,54

Ces valeurs sont illustrées par la représentation graphique suivante (Fig. N° 11).

On remarque d'après le tableau, ainsi que d'après le graphique, que la valeur minimale de vitesse du vent est enregistrée au mois d'Aout, elle est de 14.54m/s (52.36Km/h). La valeur maximale de cette vitesse est enregistrée au mois de Janvier. Elle atteint les 20.90m/s (75.27Km/h) Ces vents soufflent dans des directions différentes.

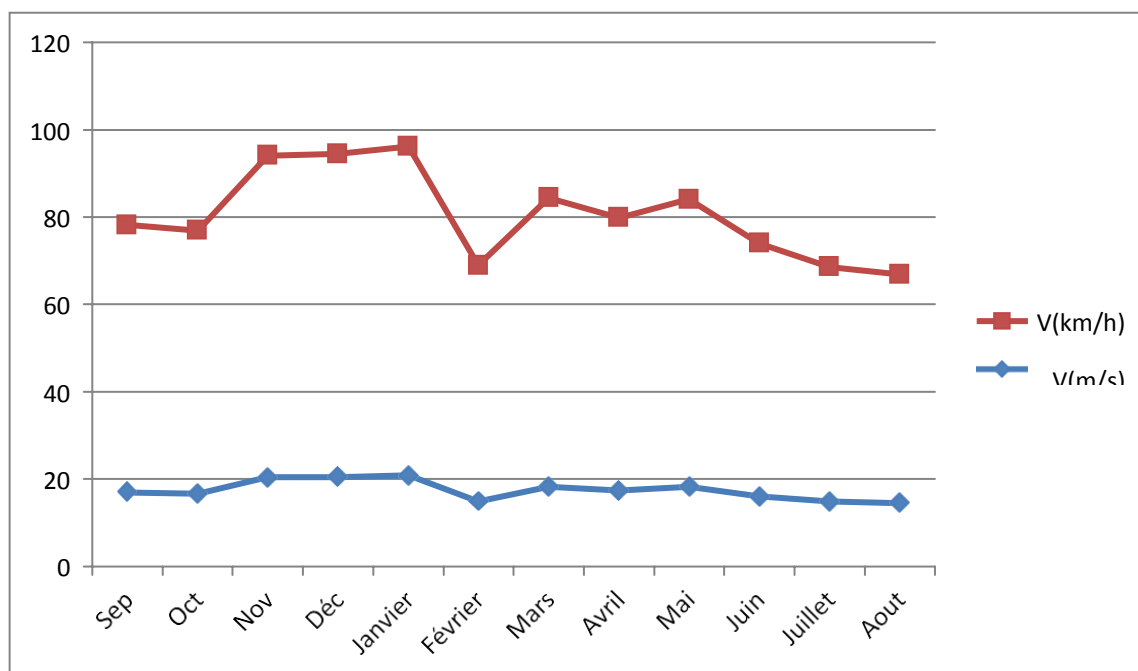


Figure N° 11 : Variation des vitesses moyennes des vents. Station de Touggourt (2010 – 2020).

IV – La pression

C’est l’un des facteurs qui ont une influence sur le mouvement des eaux de surface ainsi que celles des eaux souterraines.

Dans le tableau suivant, sont reportées les valeurs moyennes mensuelles du paramètre pression, qui règne sur la région de Touggourt, et prises lors de la même période d’observation (2010 – 2020), dans la station représentative de cette région.

Tableau N° 6 : Moyennes mensuelles des pressions. Station de Touggourt (2010 – 2020).

Mois	Pression (Kpa)	Mois	Pression (Kpa)
Septembre	101.013	Mars	100.296
Octobre	100.775	Avril	91.11
Novembre	100.593	Mai	100.404
Décembre	100.247	Juin	100.562
Janvier	100.269	Juillet	100.643
Février	91.087	Aout	101.183

Le report de ces valeurs et leur représentation graphique font révéler une légère régularité des celles-ci. La valeur minimale est soulevée au mois de Février (91.087KPa) tandis que celle maximale est enregistrée au mois d’Aout (101.183KPa). (Fig. N° 12).

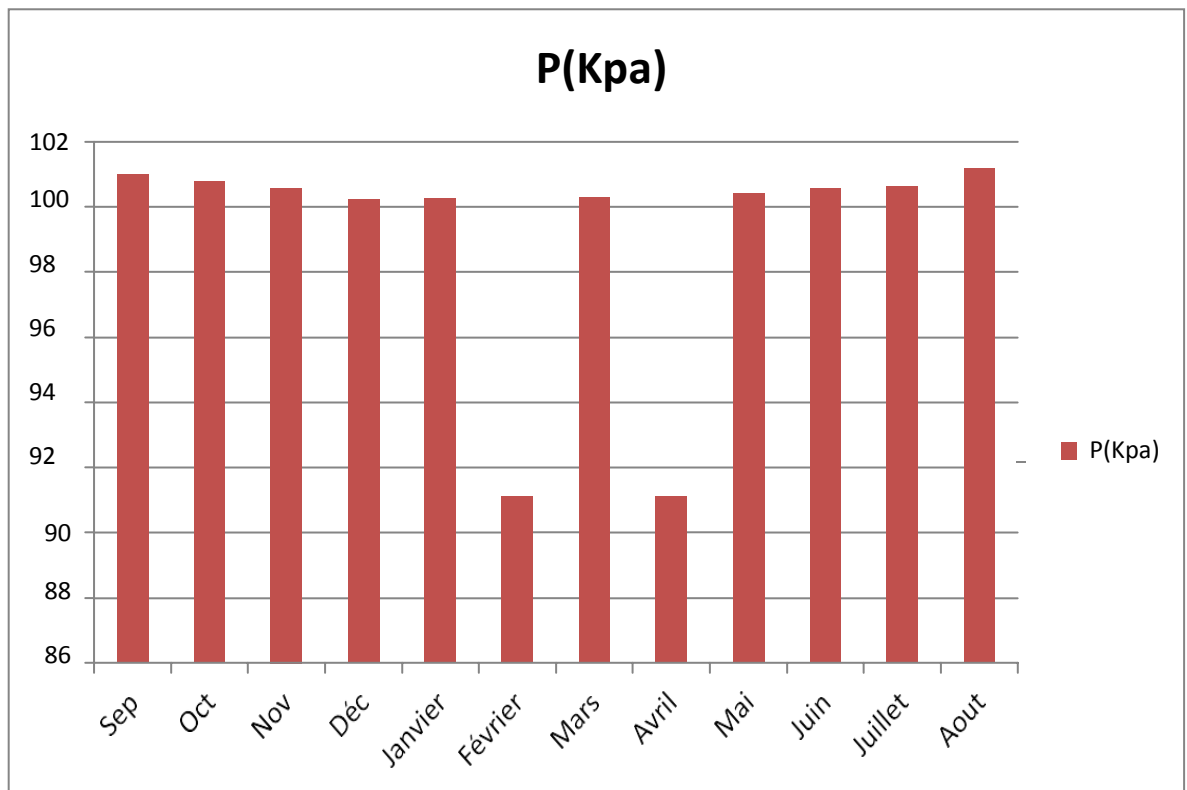


Figure N° 12 : Variations des moyennes mensuelles des pressions. Station de Touggourt. (2010 – 2020).

V – L’Humidité de l’air

Ce paramètre correspond à la tension de vapeur réelle observée, rapportée à la tension de vapeur saturante, à la même température.

Tableau N° 7 : Humidité moyenne mensuelle. Station de Touggourt (2010 – 2020).

Mois	Humidité (%)	Mois	Humidité (%)
Septembre	44.15	Mars	49.28
Octobre	48.65	Avril	42.34
Novembre	58.30	Mai	39.13
Décembre	62.10	Juin	36.47
Janvier	64.25	Juillet	30.99
Février	53.70	Aout	35.04

Les valeurs de ce paramètre, observées et enregistrées à la station qui contrôle la région, durant une période d'observation de 11 ans (allant de 2010 jusqu'à 2020), sont mentionnées sur le tableau précédent (Tab. N° 7).

D'après les valeurs, reportées sur le tableau N° 7 et leur représentation en histogramme, on remarque que les valeurs du paramètre humidité augmentent à partir du mois de Novembre jusqu'au mois de Janvier, au cours duquel est enregistrée une valeur moyenne maximale de 64.25%. Cependant, ces valeurs diminuent en été pour atteindre une valeur minimale au mois de Juillet qui avoisine les 30.99%.

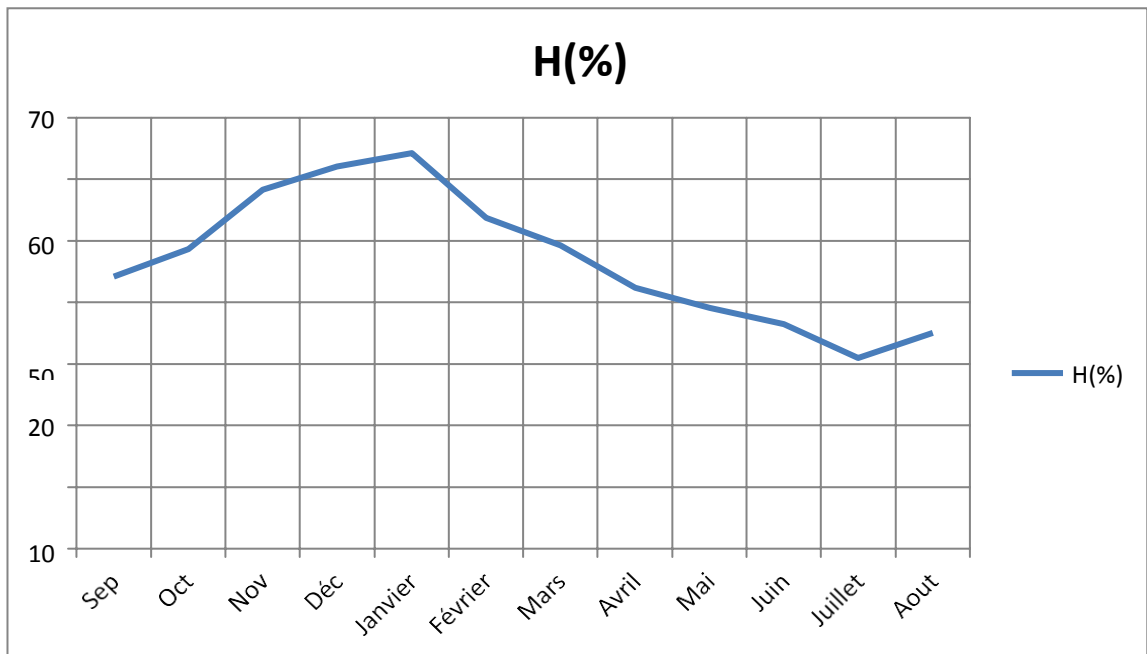


Figure N° 13 : Variations de l'humidité relative de l'air. Station de Touggour (2010-2020)

On remarque d'après ce graphique, que le taux de l'humidité oscille entre deux valeurs extrêmes (un maximum de 64.25% et un minimum de 30.99%). Il est à noter que la valeur moyenne est de l'ordre de 47.03%.

VI – Synthèse climatique de la région

VI – 1 – Diagramme pluviothermique ou ombrothermique

Les valeurs des précipitations et des températures enregistrées au niveau de la station de Touggourt sur une période de 11 années, permettent l'établissement du diagramme pluviothermique (Fig. N° 14). Suivant Gaussen et Bagnouls, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur ou égale au double de la température moyenne (°C) du mois considéré (même mois).

Tableau N° 8 : Valeurs de P (mm) et (2T °C). Station de Touggourt (2010 – 2020).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
2T(°C)	59.7	46.98	34.46	23.98	23.48	27.92	35.32	45.62	55.76	63.5	70.36	69.34
P(mm)	1.1	4.05	4.51	7.5	1.87	0.16	0	0.92	4.6	0.7	5.28	1.7

La confrontation des valeurs de P (mm) et (2T °C) nous donne ce qui est communément appelé le diagramme pluvio ou ombrothermique.

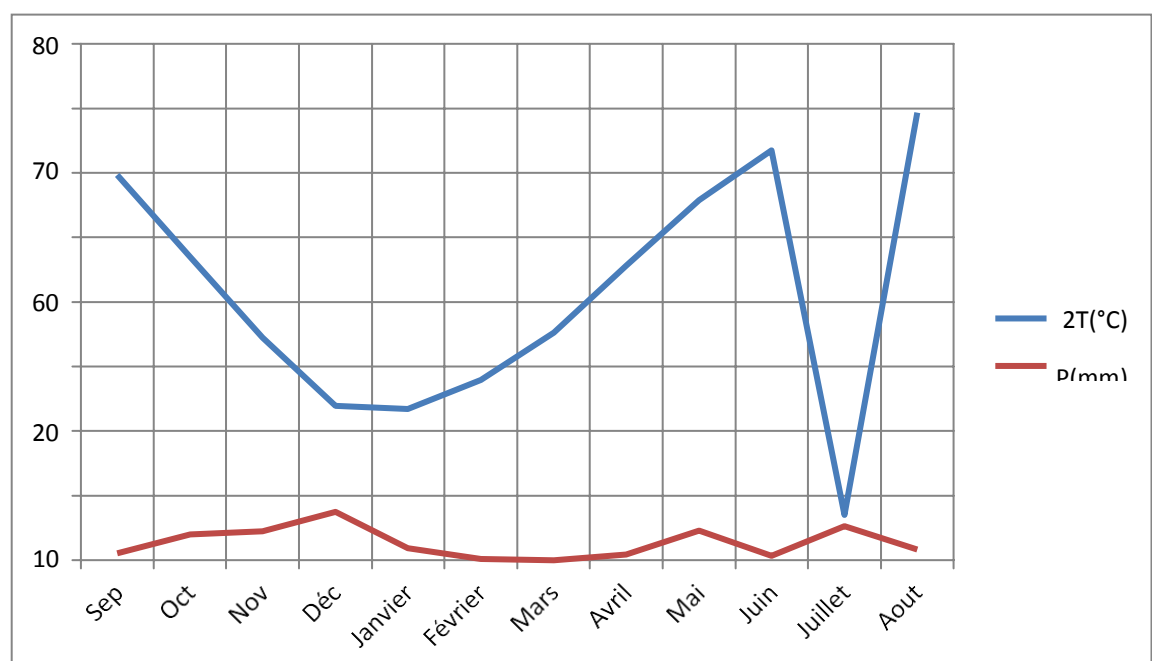


Figure N° 14 : Diagramme pluviothermique représentatif de la station de Touggourt (2010 – 2020).

Le diagramme pluviothermique représentatif de la région d'étude, montre que la période sèche est étendue sur les douze mois de l'année, puisque les deux graphiques (celui de P et de 2T) ne se croisent pas, ce qui explique la nature du climat qui y règne.

La courbe représentant les précipitations passe au-dessous de celle qui symbolise les températures. Cette allure permet de constater que la période sèche s'étale, bel et bien, tout au long de l'année. Cette situation est surtout marquée par une intense sécheresse notamment du mois de Janvier à Avril et même au mois d'Aout et Septembre, période où les précipitations atteignent leur maximum.

Conclusion

Depuis plusieurs décennies, suites aux nombreuses études effectuées sur la région, on a montré qu'elle a connu divers mouvements tectoniques qui étaient à l'origine de la forme actuelle qu'épouse sa structure. Les formations du Complexe Terminal et du Terminal Intercontinental peuvent se comporter comme aquifères et renferment d'ailleurs des quantités d'eaux impressionnantes, mais leur qualité reste en deçà des attentes et nécessitent un contrôle lors de divers usages.

Tout ce que nous pouvons retenir c'est que notre région est le fief d'un climat désertique ou hyperaride, marqué par :

- ✓ Des précipitations faibles et irrégulières, ne contribuant d'aucune manière à la recharge directe des nappes d'eau souterraines, à l'exception de quelques orages violents qui génèrent des ruissellements.
- ✓ Des températures élevées, dépassant les 40°C, avec une moyenne annuelle de 33°C.
- ✓ Une humidité relative de l'air ayant une moyenne annuelle d'environ 47%.

Chapitre Cinqième

Aperçus Hydrogéologique

Introduction

La zone objet de cette étude fait partie du Bas Sahara. Cet environnement socio-économique se situe dans un contexte climatique de type désertique hyperaride. Les précipitations sont très faibles et irrégulières et ne participent par conséquent à la recharge des nappes que par un pourcentage infime.

Ce territoire est à vocation surtout agricole et donc les activités culturelles sont surtout basées sur la ressource en souterraine. Ces dernières sont essentiellement composées de :

- Ressources renouvelables provenant des inféro-flux des versants sud des Aurès, donc le régional de Biskra ;
- Ressources non renouvelables représentées par les deux grands systèmes aquifères ; le Continental Intercalaire et le complexe Terminal.

Ces deux entités (CT et CI) et vu leur richesse en eau souterraine font du Sahara Algérien l'un des pays les plus dotés en ressources hydriques.

I – Cadre hydrogéologique régional

I – 1 – Le Continental Intercalaire (CI)

C'est un système transfrontalier dont la nappe d'eau est partagée entre trois pays maghrébins qui sont l'Algérie, la Tunisie et la Libye. La partie Algérienne du Continental Intercalaire couvre 600 000 Km² (fig. 15).

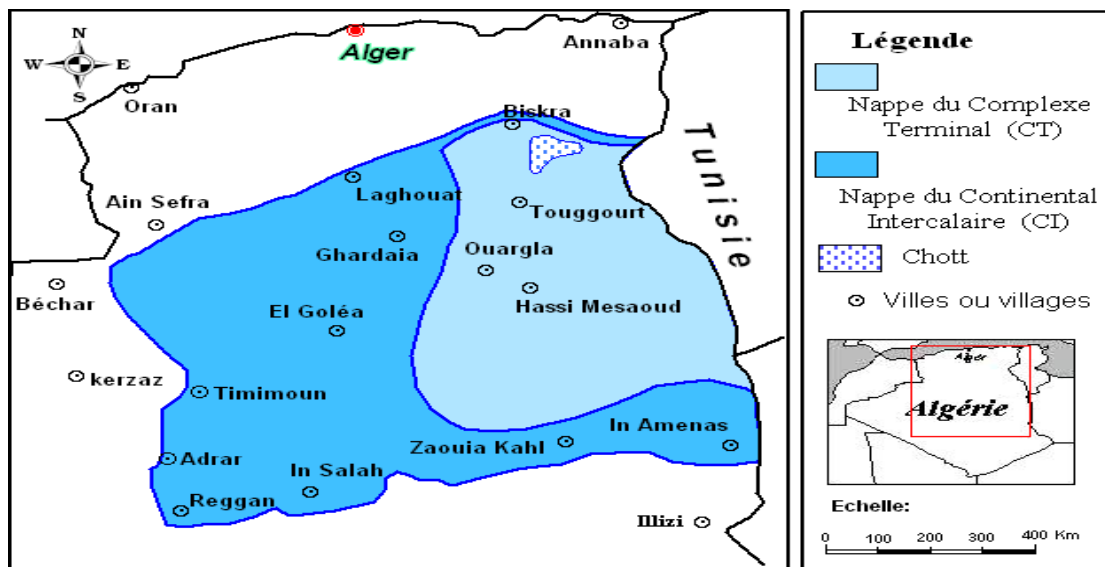


Figure N° 15 : Cartes des ressources en eau souterraine (Complexe Terminal & Terminal Intercontinental).

Elle stocke un volume d'eau considérable qu'on estime à 50 000 milliards m³ environ.

Situé à plus de 1400 m de profondeur, dans la zone de Touggourt, ce système est plus connu sous la dénomination d' « Albien », nom de l'étage géologique qui renferme la couche aquifère supérieure du Continental Intercalaire, qui est la plus exploitée. Le terme de Continental Intercalaire, par contre, désigne l'ensemble des couches détritiques qui se sont déposées au Mésozoïque inférieur au Sahara, entre deux cycles marins.

I – 2 – Limites morphologiques du Continental Intercalaire

Le complexe dont on parle qui est le Continental Intercalaire a comme limites :

- Au Nord, par l'Atlas saharien ;
- À l'Ouest, par l'axe Béchar – Reggane ;
- Au Sud, par l'axe Reggane – Ain Amenas ;
- À l'Est, il se prolonge au-delà des frontières Algéro – Libyenne et Algéro – Tunisienne.

Il est partagé par la dorsale du M'zab en deux bassins :

- Le bassin occidental oriental ;
- Le bassin oriental qui englobe le bas Sahara, dont une partie la zone d'étude.

La transgression, très générale au Sahara, qui s'est manifestée au Cénomaniennne a donné au Continental Intercalaire une limite supérieure beaucoup plus uniforme que sa limite inférieure. Ainsi, sur la plus grande partie du Sahara Algérien, les grès du Continental Intercalaire sont recouverts par une série argilo-gypseuse lagunaire d'âge probablement Cénomaniennne inférieur, tandis qu'une transgression du cénomaniennne supérieur est très générale.

À la périphérie du Sahara, le Continental Intercalaire se termine évidemment en biseau sur les anciens reliefs hercyniens, mais il atteint très vite une grande puissance (épaisseur) dans les anciennes cuvettes d'accumulation.

Au sens large, le Continental Intercalaire (CI) occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien. La définition donnée par les services de l'UNESCO, dans une étude consacrée aux ressources en eaux du Sahara Septentrional, la limite aux formations clastiques (argilo gréseuses) véritablement continentales et susceptibles de constituer un ensemble aquifère homogène sur le plan lithologique.

Le Continental Intercalaire (CI) ainsi défini peut occuper une position variable dans l'échelle stratigraphique.

Si le toit est défini comme la base du Cénomanién argileux (sauf dans le Nord-ouest), il n'en est pas de même pour le mur qui est situé, suivant les régions, entre la discordance hercynienne et le Barrémien.

Le Continental Intercalaire (CI) n'est pas constitué uniquement d'horizons perméables. La composante argileuse peut représenter en proportion une place importante. Il a alors été effectué une distinction du réservoir utile.

Ainsi, dans la lithologie du Continental Intercalaire, on distingue :

- Les grés, quand les couches renferment moins de 10% d'argiles ;
- Des grés argileux, s'il y a de 10 à 50% d'argiles ;
- Des argiles, quand il y a plus de 50% d'argiles.

De haut en bas, le Continental Intercalaire (CI) débute presque toujours au toit de l'Albien (fig. 16), son mur, par contre, coïncide avec la discordance hercynienne sous les plateaux de Tademaït et du Tinhert.

La porosité moyenne, au sein de ce système, se situe entre 22 et 29%.

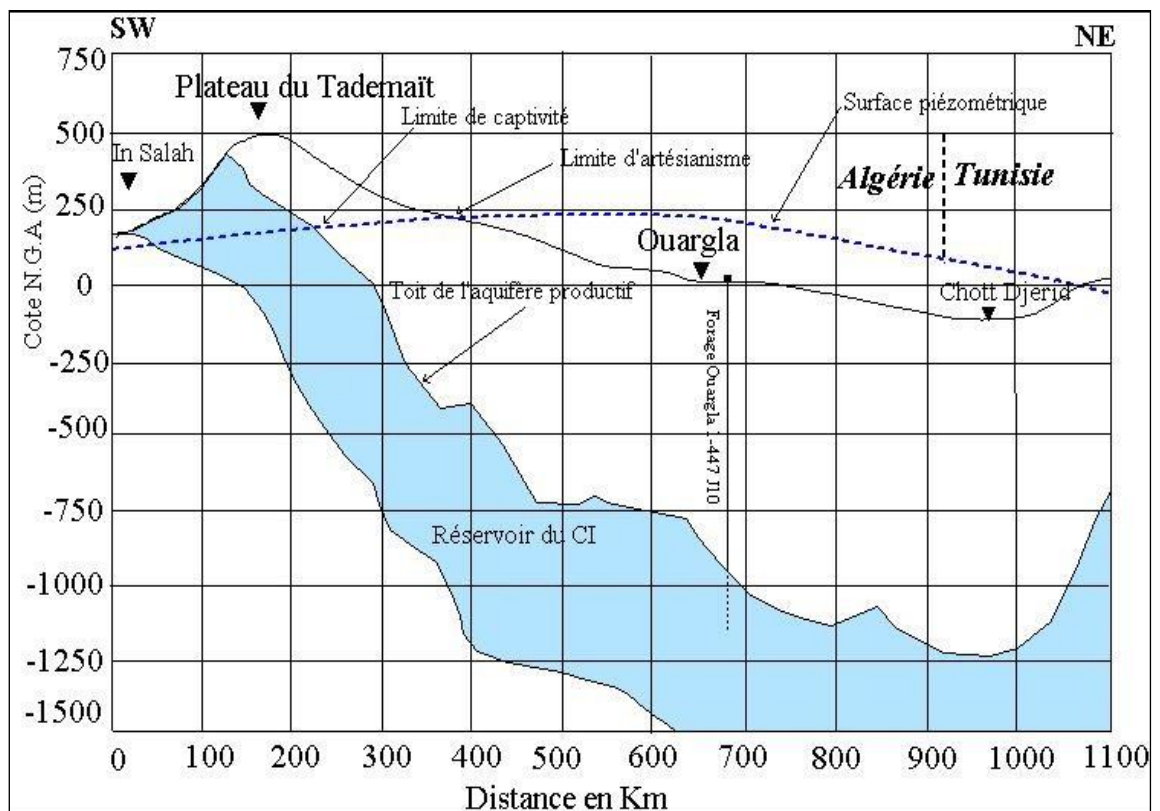


Figure N° 16 : Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du complexe Continental Intercalaire. Source : ANRH Touggourt.

Le toit de la nappe d'eau de ce système aquifère varie selon les régions :

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

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

I – 3 – Alimentation du complexe Continental Intercalaire (CI)

La recharge de la nappe d'eau du Continental Intercalaire (CI) remonte aux périodes pluviales du Quaternaire. À l'ère actuelle, la recharge que reçoit la nappe est estimée trop faible, surtout à partir du piémont de l'Atlas Saharien. La quantité d'eau qui tombe annuellement sur les affleurements du Crétacé inférieur continental est estimée en 2,5 milliards m^3 /an.

Néanmoins, il est difficile d'appliquer un coefficient d'infiltration à ces formations. Les conditions climatiques (hauteur de précipitations faibles et évaporation intense), étant très différentes de celles des régions où ces coefficients ont pu être expérimentés.

Le volume d'eau emmagasiné au sein du complexe Continental Intercalaire (CI), est évalué à $3.5.10^9$ milliards m^3 , ce qui se signifie qu'il faudrait un débit continu de $1000m^3/s$ pendant 1000 ans pour le remplir.

I – 4 – Alimentation du complexe Continental Intercalaire (CI)

Néanmoins, il est difficile d'appliquer un coefficient d'infiltration à ces formations. Les conditions climatiques (hauteur de précipitations faibles et évaporation intense), étant très différentes de celles des régions où ces coefficients ont pu être expérimentés.

Ils sont constitués par :

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

I – 5 – Le toit du complexe Continental Intercalaire (CI)

Le toit du Continental Intercalaire(CI) débute presque toujours au toit de l'Albien ; plus de 2000m par apport au sol. Le mur, par contre, coïncide avec la discordance hercynienne sous les plateaux de Tadmait et de Tinhert.

Le toit de cette nappe varie selon les régions (formant une nappe libre à l'Ouest, tandis qu'à l'Est, il plonge doucement jusqu'à d'importantes profondeurs).

I – 6 – Épaisseur système aquifère du complexe Continental Intercalaire (CI)

L'épaisseur utile de ce système aquifère est souvent déterminée à partir des diagraphies. La signification du terme épaisseur utile correspond à la sommation des horizons perméables gréseux et des couches calcaires dolomitiques de l'Aptien immergées au sein de cette série gréseux-sableuse.

Les épaisseurs les plus importantes sont localisées de l'Est d'El Goléa, où elles varient de 750 et 1000m. La vallée de l'Oued Righ et les Zibans sont un peu moins bien lotis avec des valeurs inférieures à 350 m.

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

L'écoulement des eaux du Continental Intercalaire (CI) se fait selon deux sens :

- Dans la partie orientale, il suit une direction Ouest – Est (Tunisie) ;
- Dans la partie occidentale, il se dirige du Nord vers le Sud.

Le Continentale Intercalaire proprement dit est au fait une nappe d'eau douce comprise et emmagasinée dans les grès Albo-Barrémiens.

Tableau N° 9 : Données récapitulatives du système aquifère (CI).

Étendue	600 000 km^2
Épaisseur total (m)	50 à 100
Profondeur (m)	60 à 2400
Profondeur au toit (m)	20 à 2000
Épaisseur de la couche utile productrice (m)	150 à 200
Débit (l/s)	50 à 400
Niveau statique par apport au sol (m)	Artésien (25 bars)
Rabattement par apport au N.S (m)(toute la région)	Artésien
Transmissivité ($10^{-3} m^2 / s$)	10 à 30
Coefficient d'emmagasinement (10^{-4})	6 à 1200
Alimentation moyenne ($h.m^3/an$)	270
Réserve théorique calculée (m^3)	$50000 \cdot 10^9$
Température (°c)	25 à 70
Salinité des eaux	0,5 à 6g/l

II – Le complexe Terminal (CT)

Le système aquifère du Complexe Terminal est moins étendu que son prédécesseur ; le Continental Intercalaire (CI). Toutefois, il couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional. Son étendue est estimée à environ 350 000 km^2 . Sa profondeur oscille entre 100 et plus de 500m, tandis que son épaisseur, est en moyenne de l'ordre de 220 m.

Sont désignées sous l'appellation de Complexe Terminal (CT), les formations les plus récentes, déposées au Bas Sahara. Ce complexe (CT) se compose de deux ensembles aquifères principaux. Deux entités d'âge et de lithologie différents, séparés par des formations semi-perméables ou imperméables.

On distingue :

- Au sommet, le Continental Terminal, composé de sables Mio-Pliocène, couvrant, en discordance, pratiquement la totalité de l'Erg oriental depuis la dorsale du M'zab à l'Ouest jusqu'au Dahar tunisien à l'Est. L'épaisseur de l'aquifère des sables du Mio-Pliocène est de 50 à 100 m en moyenne. Elle est minimale dans la région de Hassi-Messaoud (30 m) et augmente vers le Sud (400 m), et vers le Nord aussi où elle peut atteindre 600 m.

- Les formations carbonatées du Sénonien supérieur, s'étendent sur l'ensemble du bassin oriental. L'Éocène inférieur ne couvre que la zone située au Nord d'une ligne Djemaa – Tozeur.
- Les calcaires et les dolomies du Turonien sont reliés hydrauliquement aux formations carbonatées précédentes par l'aquifère des sables du Mio-Pliocène.

L'épaisseur moyenne du réservoir carbonaté est de 100 à 200 m, augmentant vers le Nord où elle atteint 500 m sous le Chott Melhrir et 600 m dans la fosse atlasique.

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

La nappe est en charge au Nord, dans sa partie sud par contre, elle est libre. Sa porosité dépend de la lithologie. Elle est estimée à 30% dans les sables du Mio-Pliocène et à 20% dans les calcaires du Sénonien et de l'Éocène supérieur.

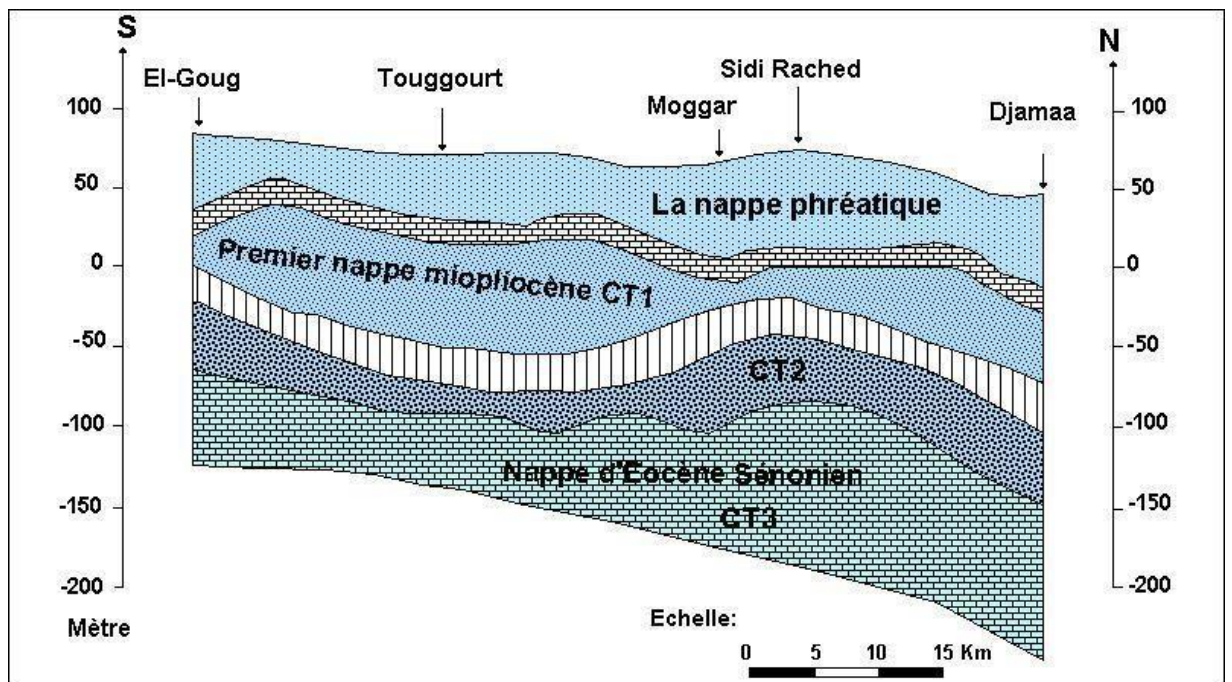


Figure N° 17 : Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal à travers la région de Touggourt.

L'écoulement prend une direction préférentielle du Sud vers le Nord. Il converge des zones d'alimentation vers les chotts (celui de Merouane et Melghrir), ainsi que vers l'exutoire souterrain du golfe de Gabes.

L'alimentation se fait sur les affleurements perméables, par infiltration des eaux de ruissellement apportées par les Oueds qui descendent les reliefs de bordure. Un apport non négligeable se fait par l'impluvium propre du Grand Erg oriental.

III – La nappe phréatique

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

Dans cette région, le phénomène de remontée du niveau hydrostatique de la nappe phréatique fait son apparition. Il est généré par le développement de l'irrigation (prélèvements excessifs dans les nappes profondes CT, CI) et l'insuffisance du drainage.

Cette nappe est principalement alimentée par les eaux d'irrigation et de distribution urbaine, les eaux des forages dont les tubages sont détériorés, par les faibles précipitations et par les percolations des nappes du Complexe Terminal.

Tableau N°10 : Synthèse hydrogéologique régionale des différents aquifères (sans échelle).

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

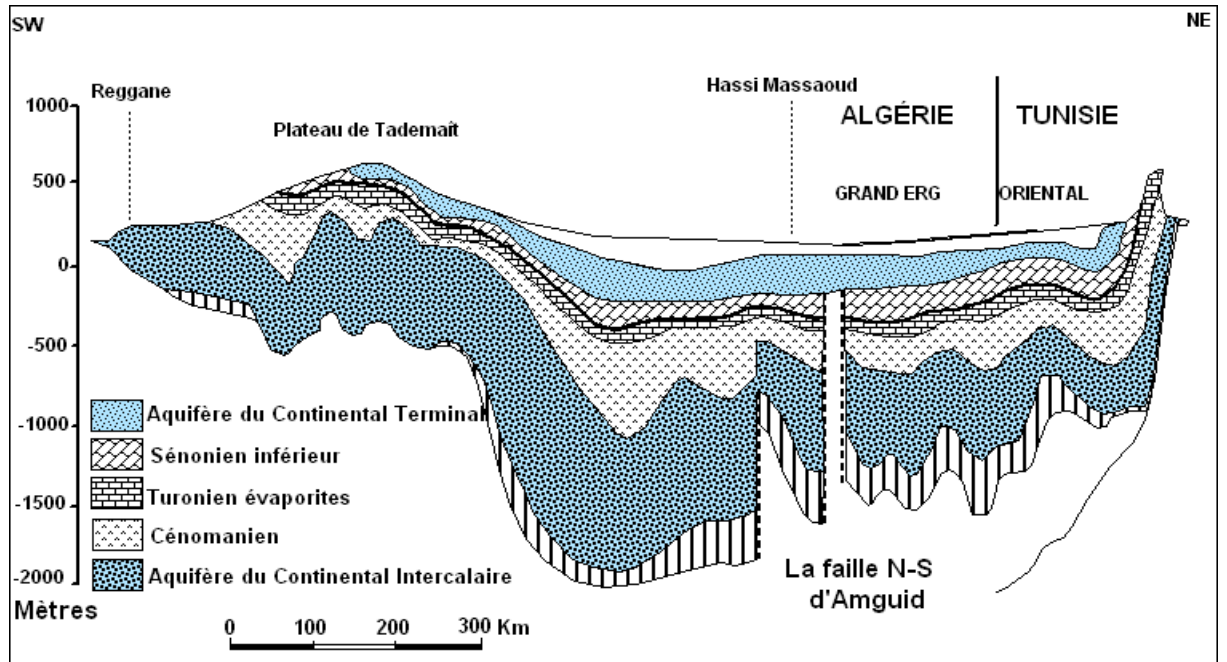


Figure N° 18 : Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara septentrionale (UNESCO 1972).

IV – Les nappes du Complexe Terminal

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

Les dépôts continentaux (Continental Terminal) sont représentés par des sables de taille variable, intercalés de lentilles argileuses parfois évaporitiques, d'âge Mio-pliocène. En revanche, les formations marines sont essentiellement carbonatées, déposées au cours de la transgression marine du Sénono – Éocène.

Le Continental Terminal se distingue par deux formations aquifères très exploitées dans la région de Touggourt. Ce sont :

- La première nappe des sables : hormis la nappe phréatique, cette nappe est la moins profonde 50 à 100 m. Elle est constituée de sable fin à moyen, sable argileux et grés, d'âge Mio-pliocène. Le faciès sableux varie largement, latéralement. Un niveau d'argiles constitue son substratum et son toit est formé par des argiles et des évaporites.
- La seconde est une nappe captive qui était jadis très exploitée, avec un débit faible à moyen, de l'ordre de 20 à 40 l/s, (le débit global d'exploitation est proche de 6 m³/s). Cependant, à cause de la salinité élevée de l'eau, les forages qui la captent sont actuellement moins utilisés.

Conclusion

Dans notre zone d'étude, et plus globalement le bassin de l'Oued Righ, il existe deux systèmes aquifères :

- ✓ Le premier profond et étendu, connu sous l'appellation du Continentale Intercalaire (CI), constitué en grande partie de sables et de grès d'âge Albien.
- ✓ Le second est multicouche, peu profond, moins étendu que le premier, communément connu sous le du Complexe Terminal (CT). Il est composé de deux ensembles différents :
 - L'un marin constitué par les calcaires d'âge Sénonien – Éocène (CT3) ;
 - L'autre continentale, constitué par des sables, graviers et des grés d'âge Miocène – Pliocène caractérisant la première et la seconde nappe du Complexe Terminal (CT1) et (CT2).

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

Les cartes piézométriques sont des documents de base de l'analyse et de la schématisation du comportement hydrodynamique de l'aquifère, et la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique.

L'analyse de la carte piézométrique de la nappe phréatique montre un sens d'écoulement global du Sud vers le Nord caractérisé par un gradient hydraulique voisin de 0.1%, un autre sens tend du Nord vers le Sud vers l'exutoire naturel.

Deuxième Partie

Suivi & Calcul

Chapitre Sixième

Programme de Forage (Suivi & Calcul)

PROGRAMME DE FORAGE (CALCUL & SUIVI)

Introduction

L'exploitation des eaux souterraine se fait après investigation, exploration et consultation de documents géologiques, hydrogéologiques, géophysiques ... nécessaires à la réussite de l'opération. Pour réaliser un ouvrage de captage d'eau, outre ces moyens, il est judicieux de passer par l'établissement de programme de forage pour prévoir tout ce qui peut être utile et tout ce qui contribue à la mise en œuvre du chantier.

Une certaine méthodologie est à suivre en respectant les étapes pas à pas et en accordant une attention particulière aux diverses phases de réalisation.

I – Choix de l'implantation du forage

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 coefficients de perméabilité et de transmissivité) et opter pour celles là où production est bonne et l'eau est de qualité 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 :

I – 1 – Selon l'aspect géologique

Il a été signalé, dans les notes géologiques, que les deux complexes, en l'occurrence le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal, peuvent se comporter comme systèmes aquifères, grâce aux propriétés hydrogéologiques et hydrodynamiques de leurs formations constitutives. Ils sont considérés comme les meilleurs réservoirs de stockage d'eau souterraine, malgré qu'elles soient marquées par un taux élevé de salinité.

Selon les documents qui nous ont été fournis par les services de l'ANRH, le choix du point d'implantation de l'ouvrage, objet de cette étude, a été décidé à la demande des services locaux.

Il n'y a pas d'encombrement à proprement parler ni de relief accidenté, et par conséquent le lieu est accessible permettant une circulation fluide et aisée non seulement pour les personnes mais aussi pour les véhicules notamment ceux lourds (appareil de forage).

I – 2 – Aspect hydrogéologique

Après consultation de divers rapports et documents, qui nous ont été à portée de main (analyse des données d'anciens ouvrages, cartographie et des différents profils, cartes et coupes, historiques des données météorologiques et piézométriques), et suite aux discussions avec les responsable des serves de l'ANRH, il paraît que les deux systèmes aquifères présents dans la région ont une grande étendue, et une épaisseur importantes. L'implantation de l'ouvrage doit se faire, selon les coordonnées pré désignées, sans aucune crainte.

I – 3 – Du point de vue économique

L'implantation d'un ouvrage de captage d'eau doit répondre à plusieurs exigences, notamment celles économiques. On parle, entre autres, de la proximité du réseau d'utilisation, des réservoirs de stockage. Ces mesures sont dictées pour minimiser au maximum le prix de revient du m³ d'eau exploité ainsi que le coût des travaux pour le mettre au service du citoyen.

Cet ouvrage est un plus pour la région surtout que l'établissement bénéficiaire va être autonome en matière d'AEP et avec un coût réduit du m³ d'eau.

I – 4 – Conclusion

Cet ouvrage, qui devrait servir à l'alimentation en eau potable de l'établissement pénitencier de 300 personnes, peut être réalisé sans aucun souci, puisque, non seulement il va être à proximité de l'établissement mais aussi que l'envergure du système aquifère et la qualité de ses eaux le permettent.

Selon ce que nous avons relevé par le GPS et qu'on a confirmé sur la carte topographique de la région, l'ouvrage en question aura comme coordonnées :

X = 06°03 49.54E ;

Y = 33°09' 56.3N ;

Z = 63m.

Il est alors localisé du côté Nord – Ouest de Commune de Touggourt (RN N°03).

II – Choix du diamètre final

Le diamètre final de l'ouvrage de captage d'eau doit être choisi par les services hydrogéologies auxquels on accorde cette tâche, du fait que c'est une étude technique néanmoins, certains paramètres tels que le débit potentiel de l'eau, la lithologie et la structure

géologique du système aquifère, son épaisseur ainsi que l'encombrement de la chambre de pompage (la pompe immergée) sont d'entre les facteurs qui conditionnent largement ce choix et nous imposent les critères de sélection de cet élément qui revêt une importance capitale.

Remarque : ce que nous entendons par :

- ✓ Lithologie et structure géologique de l'aquifère à solliciter : la nature de sa granulométrie et les dimensions de ses particules ;
- ✓ Épaisseur : c'est sa puissance (est- il libre ou captif, donc l'intérêt de son débit ;
- ✓ Encombrement : espace réservé à la chambre de pompage (crépine – pompe émergée).

Alors, dans l'objectif d'assurer une exploitation rationnelle et une grande longévité de l'ouvrage, l'expérience a montré que le diamètre final pourra être déduit comme suit :

$$\varnothing_{cr} = \frac{\alpha \cdot Q}{L_{cr}} = (mm). \quad \text{Avec:}$$

\varnothing_{cr} : diamètre final de la crépine ou de la colonne de captage (en mm) ;

α : coefficient de perméabilité dépendant du terrain ;

Q : débit d'exploitation (en m³/h) ;

L_{cr} : longueur à crépiner (en m).

Pour le choix du diamètre final :

$$\varnothing_{cr} = \frac{\alpha \cdot Q}{L_{cr}} = (mm).$$

Nous avons affaire à une nappe libre ayant une épaisseur importante. Pour des raisons technico – économiques on a préféré crépiner les 65% de sa puissance.

Donc la longueur à crépiner (L_{cr}) sera :

$$L_{cr} = (160 \times 18) / 100 = 28,8m. \text{ On a pris } 28 \text{ m.}$$

Le débit varie de 15 à 20 l/s. on prendra Q = 16 l/s.

Comme il s'agit de graviers et de grès grossiers à fins on prend $\alpha = 45$.

Alors :

Le diamètre de la crépine sera de :

$$\varnothing_{cr} = \frac{\alpha \cdot Q}{L_{cr}} \leftrightarrow \frac{45 \cdot 16 \cdot 3600}{28 \cdot 1000} = 92,57 \text{ mm.}$$

$$\varnothing_{cr} = 103,68mm = 4.08'' \text{ c'est un diamètre trop petit.}$$

Alors nous sommes dans l'obligation de prendre un diamètre supérieur à celui qu'on trouvé et ce, pour avoir moins d'encombrement dans la chambre de pompage et avoir la possibilité de mettre la pompe en place avec facilité.

Pour cette raison, il va falloir faire intervenir d'autres facteurs, tels que le débit (Q) et la vitesse d'écoulement de l'eau (V) et ce, pour ne pas créer de pertes de charges supplémentaires et éviter les obstacles au passage des particules d'eau. $Q = v \times s$.

En outre, et pour satisfaire la demande du client, qui a exigé la mise en place d'une pompe un peu puissante et une crépine Johnson plus grosse en diamètre.

Selon le fabricant, le diamètre de la crépine le plus proche sera de : $\varnothing_{cr} = 8''$.

C'est une crépine Johnson avec un diamètre nominal de ($\varnothing_{nom} = \varnothing_{int} = 8''$) et un diamètre extérieur ($\varnothing_{ext} = 8''^{5/8}$).

$\varnothing_{int} = 8'' = 203.2 \text{ mm}$, $\varnothing_{ext} = 8''^{5/8} = 218,94 \text{ mm}$, avec un poids linéaire de 12 kg/m.

III – Choix des phases

III – 1 – Choix de la construction du trou

La construction du trou et sa complétion doivent satisfaire plusieurs facteurs :

a – Diamètre de la colonne de production

Ce paramètre (diamètre de la colonne de production) dépend de ce qui suit :

- ✓ Les dimensions de la chambre de pompage et le débit potentiel d'exploitation ;
- ✓ La structure géologique du système aquifère et l'épaisseur de la nappe.

b – Le type d'ouvrage et sa destination

On doit vérifier s'il s'agit d'un forage d'exploitation, d'exploration....

Pour notre cas, il est question d'un forage d'exploitation pour l'AEP.

c – La caractéristique de la coupe géologique

Qu'il s'agisse d'un profil ou d'une coupe, ça doit renseigner sur la répartition, en profondeur, des différents dépôts et formations, et peut nous donner des indices sur de possibles incidents de forage tels que les éboulements, les venues, les pertes de circulation (totales ou partielles), les fluages....etc, pouvant survenir lors des phases d'exécution et de forage.

Pour notre cas, après quelques mètres de terre arable, nous avons rencontré les couches composées des formations suivantes (cf. figure N° 19) :

- Des argiles sableuse, sur 23 m de profondeur ;

- De 23 jusqu'à 47m, nous avons affaire à une formation argileuse, là il faut faire très attention aux caractéristiques du fluide de forage pour ne pas causer de gonflement ou de fluage des argiles (donc un coincement) ;
- À la profondeur de 47 à 80m, on rencontre des sables siliceux avec des graviers. Ici aussi, on doit surtout contrôler la densité de la boue (qui doit être inférieure à celle de la couche) pour ne pas provoquer de fracturation et donc une perte ;
- À partir de la cote de 80m, ce sont des argiles rouges qui se manifestent jusqu'à 110m de profondeur. La même chose ici, la qualité de la boue de forage doit être adaptée à la nature de ces argiles pour éviter les conséquences de leurs problèmes ;
- De 110 à 118m, il y a apparition des calcaires gypseux. Prudence est demandée avec la densité de la boue pour éviter les fracturations et donc soit une perte totale ou partielle pourront avoir lieu ;
- À la profondeur de 118m, on commence à forer la formation aquifère qui est essentiellement composée de sables grossiers jaunâtres, jusqu'à la cote de 140m ;
- De 140 à 142m, nous avons affaire à une couche d'argile blanchâtre 2m ;
- De 142 à 156m, on est tombé sur une couche de gypse finement sableuse ;
- Au-delà, on a assisté à une perte totale. Donc on a continué à forer jusqu'à 160m, puis on a rebouché le trou jusqu'à la cote de 142m.

Remarque : on a procédé au rebouchage du trou, avec une quantité d'argile, pour faire face au phénomène de perte et par la même occasion, préparer une assise solide pour le tube de décantation et l'ensemble du forage.

Et par conséquent la construction du trou était de la manière suivante (fig. N° 19) :

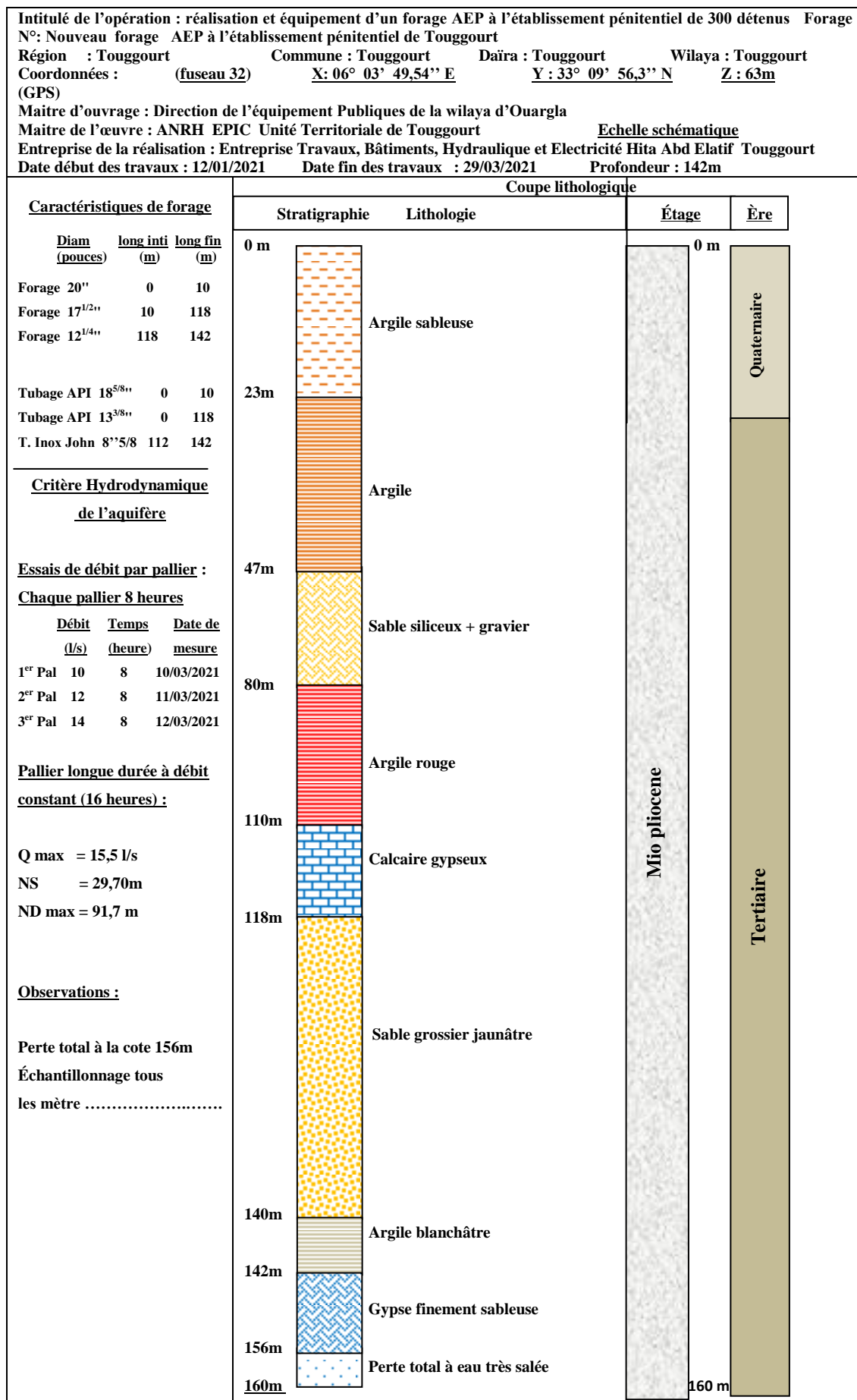


Figure N° 19 : Architecture du forage de l'établissement pénitentier.

- ✓ De 0 à 10 m, la pose d'un tube guide, foré en 22" et tubé en 18^{5/8}" et cimenté ;
- ✓ De 10 à 118 m, une phase forée par un outil d'un diamètre 17^{1/2}", tubée en 13^{3/8}" ;
- ✓ De 118 jusqu'à 160 m, forage au 12^{1/4}" et mise en place d'une crépine Johnson 8^{5/8}" ;
intercalée entre deux tubes pleins, l'un à son sommet et l'autre à sa base. Ce dernier servira de tube de décantation pour les particules très fines pour préserver la crépine.

Remarque : On entend par phase un ensemble de formation qu'on peut traverser (forer) avec le même type de fluide de forage (ayant les caractéristiques).

IV – Harmonisation des diamètres

La détermination du diamètre de l'outil nécessaire pour amorcer l'opération de forage et sa poursuite jusqu'à obtention de la profondeur désirée (il est de même pour les dimensions des tubages), est appelée dans le jargon du forage l'harmonisation des diamètres.

Cette détermination se fait de bas en haut, pour surtout des raisons technico-économique. Après avoir établi le nombre de tubage nécessaire, on aborde l'établissement de leurs diamètres, les outils assurant l'avancement des colonnes jusqu'à la profondeur requise.

Le diamètre du trépan, qui doit forer la colonne de captage, est donné par l'expression suivante :

$$\varnothing_{RB} = \varnothing_{Ex Cr} + 2\delta. \quad \text{Avec :}$$

\varnothing_{RB} : diamètre du rock bit (ou outil de forage) ;

δ : jeu entre le diamètre extérieur de la crépine et les parois du puits (Jeu axial) ;

$\varnothing_{Ex Cr}$: diamètre extérieur de la crépine.

$$\varnothing_{RB} : 8^{5/8} + 2(2") = 12^{5/8} \equiv 320,67 \text{ mm.}$$

Pour la colonne de captage :

$$\varnothing_{in csg} = \varnothing_{RB}^n + 2\Delta. \quad \text{Où } \Delta \geq 5/32".$$

\varnothing_{RB}^n : diamètre normalisé du rock bit ;

Δ : jeu entre le trépan et le diamètre intérieur du casing suivant.

$$\varnothing_{in csg} = 12^{1/4} + 2(\Delta) = ?$$

$$\varnothing_{in csg} = 311,15 + 6,7 = 317,86 \text{ mm} \approx 317.89 \text{ mm.}$$

Alors $\varnothing_{ex csg} = 13^{3/8} = 339,725 \text{ mm.}$

Et donc une épaisseur de : $\varnothing_{ex csg} - \varnothing_{in csg} = 13^{3/8} - 12^{1/4} = 1^{1/8} = 21,835 \text{ mm.}$

Pour le tube guide :

$$\varnothing_{TG} = \varnothing_{\text{ex csg}} + 2\delta.$$

$$\varnothing_{TG} = 13^{3/8"} + 2(3") = 19^{3/8"}. \text{ Il doit être, à son tour, normalisé.}$$

Alors le diamètre du tube guide : $\varnothing_{TG}^n = 22"$.

Remarque: à la base de la crépine nous avons installé un tube plein d'une longueur de 6 à 7m. il doit être ancrer dans les argiles de rebouchage pour assurer une étanchéité et donner au forage une assise solide. Ce tronçon de tube doit avoir une forme conique à sa base, pour faciliter sa descente dans le trou. Il doit aussi jouer le rôle d'un tube sa décantation.

V – Programme de fluide de forage

Il existe plusieurs méthodes pour réaliser un forage, mais celle qui à vraiment un renom, c'est la technique de forage au rotary. Cette dernière rend indispensable l'usage d'un fluide, dit de forage ou boue de forage, pour le bon déroulement de l'opération.

Ce terme (boue ou fluide de forage) couvre donc aussi bien, les gaz que les liquides et les suspensions d'un liquide dans un liquide (boue émulsionnée par exemple), ou suspension de solides dans les liquides (boue à la bentonite).

Considérant comme véhicule transport, le fluide de forage a une importance capitale, pour réussir l'achèvement de l'ouvrage, et duquel dépendent aussi, la vitesse d'avancement, le coût du forage, la sécurité, ainsi que le rendement global de l'opération.

Que ce soit au cours du forage ou à l'arrêt (manuvres, pannes...), ce fluide doit accomplir des fonctions hydrostatiques, physiques, hydrodynamiques ...etc.

V – 1 – Principales fonctions du fluide de forage

Tout fluide de forage peut avoir des fonctions principales et secondaires, nous citerons entre autres :

- ✓ Le nettoyage du trou des cuttings avec une vitesse de remontée (la vitesse ascensionnelle) comprise entre vingt cinq (25) et soixante (60) mètres à la minute. ;
- ✓ Vu que le trépan est en contact permanent avec la roche, et la garniture avec les formations traversées, ce qui engendre une grande quantité de chaleur que seul le fluide de forage est en mesure de la faire évacuer hors de trou (refroidissement), tout en assurant une lubrification, et de la garniture et de l'outil aussi ;
- ✓ Prévenir le phénomène de cavage et le rétrécissement du trou ;
- ✓ Contrebalancer les venues de fluides contenus dans les formations (eau, gaz ou pétrole) ;

- ✓ Allégement de la garniture et du casing, sous l'effet de la poussée d'Archimède, ce qui permet de gagner de 13 à 30% du poids, donc de la puissance nécessaire (au treuil).

On doit signaler que ce fluide doit avoir aussi certaines caractéristiques physiques.

VI – Propriétés physique du fluide de forage

VI – 1 – La densité

C'est le rapport de la masse volumique d'un corps donné (A) sur la masse volumique d'un corps de référence (B), autrement dit, c'est le rapport de la masse d'un corps à son volume.

La densité de la boue qu'on va utiliser sera tirer de :

$$p_h = \frac{\gamma_b * h}{10} \quad \text{avec } p_c < p_h < p_f \text{ en kgf/cm}^2.$$

δ_b : Densité du fluide de forage ;

h : Profondeur du forage, y compris les quelques mètres du substratum (en mètre) ;

p_f : Pression de fracturation (sinon il y aura perte) ;

p_c : Pression du couche, avec $p_c = \frac{\gamma_g * h}{10}$;

$$h = H - N_s.$$

Alors : $p_h > p_c$ donc $\frac{\gamma_b * h}{10} > \frac{\gamma_g * h}{10}$ avec $\gamma_g = 1$

$$D'où \quad \gamma_b = \frac{h}{H} = \frac{160 - 29.7}{160} = 0.814.$$

C'est une valeur trop petite, qui ne représente même pas la densité d'une mousse.

Remarque : La densité de la boue ($\gamma_b = 0.814$) est faible. Ce type de fluide de forage ne peut être utilisé qu'en cas de forage combiné (turbo – forage), alors que ce n'est pas notre cas. En outre, une boue avec de telles caractéristiques peut nous causer des problèmes surtout lors du pompage (bruit de cognement au niveau du corps de la pompe) et aussi les produits moussants sont un peu rares et chers, surtout sur le marché national.

Il est donc préférable d'utiliser ce qui est disponible et moins couteux, c à d, une boue bentonitique.

Il est toujours conseiller de tenir compte d'un coefficient de sécurité (a), qui doit être pris :

$$0.05 < a < 0.1. \quad \text{Alors : } \gamma_b = 0,814 + 0,05 = 0,864.$$

Et même avec ce coefficient, on n'a même pas atteint la valeur de démarrage qui est de l'ordre $\gamma_b = 1,2$.

γ_b Sera : $0,864 + 0,1 = 0,964$, qui ne peut être admise.

On optera pour une boue de démarrage qui aura une densité de 1,1.

La pression hydrostatique : $p_h = \frac{\gamma_b * H}{10}$ $p_h = \frac{1,1 * 160}{10} = 17,6 \text{ kgf/cm}^2 = 19,58 \text{ bar}$.

La pression de couche : $p_c = \frac{\gamma_s * h}{10} = \frac{1 * 130,3}{10} = 13,03 \text{ kgf/cm}^2 = 13,29 \text{ bar}$.

VI – 2 – La viscosité

La viscosité est une résistance à l'écoulement relatif des particules, c à d, due aux frottements des particules en suspension. Elle apparait aussi comme une caractéristique du pouvoir portant de la boue.

Comme nous avons affaire à des formations peu ou pas consolidées (sables, grès, graviers) et un volume important de cuttings à véhiculer hors du trou, on optera pour une viscosité allant de 60 à 80s, pour que notre fluide fasse un bon nettoyage du trou et ne pas risquer de pertes. Avec une telle viscosité le volume du filtrat sera réduit et l'épaisseur du cake sera suffisante et par conséquent réduction de l'aire de la zone envahie.

VI – 3 – Le Filtrat

Ce terme signifie la phase liquide d'une boue qui pénètre une formation (bien évidemment poreuse), en quittant le fluide de forage. On parle donc de zone envahie et de zone vierge.

Le coefficient de filtration caractérise le pouvoir de la boue de laisser filtrer, à travers les parois (perméables) du puits, le liquide sous l'action de la différence de pression.

Dans notre cas, la pression de filtration ou de pénétration est :

$$p_h - p_c = \frac{\gamma_b * h}{10} - \frac{\gamma_s * h}{10} = \frac{1,1 * 160}{10} - \frac{1 * 130,3}{10} = 4,57 \text{ kgf/cm}^2 = 4,66 \text{ bar}$$

Nous devons signaler qu'un pourcentage de cette pression sera épuisé au cours de la traversée des premières formations. Le pourcentage restant, à notre avis, n'aura pas d'effet remarquable, puisqu'on ne raisonne qu'à deux paramètres (filtrat, cake) qui vont en paire, ce qui veut dire, augmenter la viscosité signifie une réduction du filtrat qui à son tour, influe sur le cake.

VI – 4 – Le cake

C'est la partie solide que dépose une boue ou un fluide de forage, sur les parois d'un puits, après fuite de sa phase liquide. Il est nécessaire que ce dépôt soit imperméable pour réduire la filtration ultérieure. Il doit alors être mince et résistant pour qu'il ne gêne pas lors des manœuvres (1 à 2mm).

Remarque : Les deux paramètres, filtrat (cm³/30mm) et cake (mm) peuvent être mesurés par un filtre – presse.

VI – 5 – 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 22" (tube guide)

$V = s \times h$. Avec :

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{et } d = d_{tr} = 22" = 558,8\text{mm.}$$

Du formulaire du foreur page 195. D15 : $V_u = 245,2 \text{ L/m}$.

$$v_u = 245,2 \text{ l / m.}$$

$$v_t = 245,2 \times 10 = 2452 \text{ L} = 2,452\text{m}^3.$$

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

$$v_t \times k = v_r = 245,2 \times 1,2 = 2,9424\text{m}^3.$$

B – Calcul du volume de boue pour le trou foré en 17"^{1/2}

$V = S \times H$. Avec toujours :

$$S = \frac{\pi d^2}{4}, \quad \text{et on prend } H = 160 - (10+108) = 42\text{m.}$$

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

$$S = \frac{3,14 (0,44)^2}{4} = 0,15\text{m}^2.$$

$$V = S * H = 0,15 * 42 = 6,3\text{m}^3.$$

De même, du formulaire du foreur : v_u : 195,04 L / m.

$$v_t = 195,04 \times 42 = 8191,68\text{L} = 8,191 \text{ m}^3.$$

$$v_t \times k = v_r = 8,191 \times 1,2 = 9,829\text{m}^3.$$

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_{puit} : est déjà calculé = $9,829 + 2,94 = 12,769 \text{ m}^3$;

v_{goulotte} : 2 à 5 m^3 . On prendra 3 m^3 .

v_{reserve} : $v_r = \frac{v_p}{2} = 6,38 \text{ m}^3$.

v_{bassin} : 20 à 30 m^3 . On prendra 25 m^3 .

$$\text{Alors : } v_b = 12,769 + 25 + 6,38 + 3 = 47,149 \text{ m}^3.$$

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 : $47,149 \text{ m}^3$;

$$q_a = \frac{2,5(1,1-1)}{2,5-1} * 47,149 = 7,858 \text{ tonnes} = 7858 \text{ kg}.$$

Ce qui équivaut à 158 sacs d'argile, c à d : $N = \frac{q_a}{50} = 157,16 \text{ sacs}$

D – 2 – La quantité d'eau de mixage

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

$$q_e = \frac{\gamma_a - \gamma_b}{\gamma_a - \gamma_e} * v_b \leftrightarrow q_e = \frac{2,5-1,1}{2,5-1} * 47,149 = 47,149 \text{ m}^3.$$

VII – Choix des outils

L'importance d'un code commun entre constructeurs, pour s'entendre dans l'usage d'organes d'importance tels que les rock bits est grande, surtout que le problème de commercialisation se pose et s'impose. L'enregistrement de manière conventionnelle et rapide, de l'état d'outils déjà utilisés (si le Tools – pusher pourra le redescendre ou non), son examen (pour voir ses performances en face de différentes formations), soit pour s'assurer ou apporter encore des corrections et des améliorations sur ces outils.

Ceci a encouragé une commission de spécialistes, de l'International Association of Drilling Contractors (IADC), de faire réunir les constructeurs en leur proposant une standardisation de la désignation des outils au moyen de trois chiffres (pour bien entendu un gain multi dimensionnel).

Alors, vu que les formations auxquelles nous avons affaire sont meubles (grès et gravier), ce qui permet une grande forabilité, du moment que leur résistance à la compression est faible.

Nous opterons donc pour :

- ✓ Un outil 22", à dents bien sur :

I A D C : **1.1.4**, Hughes : **X3A**, Reed : **S11**, Security : **S33S**, Smith : **SDS**, SMF : **ES2**.

- ✓ Un outil 12"^{1/4}, à dents aussi :

I A D C : **1.2.4**, Hughes : **X3**, Reed : **S12**, Security : **S33**, Smith : **SDT**, SMF : **ES3**.

Alors les deux outils sont de la première série, quatrième configuration mais le premier du type un (1) et le second du type deux (2).

VIII – Choix de la garniture

L'ensemble des masses – tiges, tiges de forage ainsi que la tige d'entraînement, qu'on peut faire descendre à l'intérieur du trou (pendant le forage) constitue ce qu'on appelle la garniture de forage. À ces dernières peuvent s'ajouter d'autres accessoires, dont l'usage est nécessaire en général, tels que les alésoirs, les stabilisateurs, les réductions, les raccords et racleurs.

Cette garniture aura pour rôles :

- ✓ Assurer la circulation du fluide de forage ;
- ✓ Transmettre le mouvement de rotation de la table de rotation (TR) à l'outil ;
- ✓ Appliquer un poids sur l'outil, par (DC) seulement ;
- ✓ Assurer la liaison entre le fond de l'ouvrage et la surface ;
- ✓ Permettre le repérage de la profondeur.

Alors nous avons de bas en haut :

- ✓ L'outil (rock bit) ;
- ✓ Les Masse- tiges (drill – collars) ;
- ✓ Les Tiges de forage (drill – pipes) ;
- ✓ La Tige d'entraînement (Kelly).

Il faut opter au bon choix de la garniture, en tenant compte des conditions géologiques et des paramètres préalablement déterminés, pour éviter et minimiser les incidents de forage, qui ont pour conséquences, les pertes de temps et augmentation du coût du forage (coincements, ruptures ou abandon du trou parfois).

Il est aussi conseillé de prendre en considération (en effectuant ce choix) les caractéristiques mécaniques de cette garniture.

1 – Les Masses – tiges

Outres les fonctions déjà citées, elles doivent assurer le guidage de l'outil, pour éviter la déviation, et amortissent la contrainte de compression aux tiges, pour éviter leur flambage. Alors pour accomplir tout cela, les masses tiges (Drill – Collars) doivent être lourdes, larges et rigides.

1 – a – Choix des diamètres des Masses – tiges

Pour le choix de leurs diamètres :

$$S_c/S_2 = \frac{\phi_{2tr}^2 - \phi_{2ex\ dc}^2}{\phi_{2in\ dc}^2} = 3 \text{ à } 5.$$

Nous avons choisi des masses – tiges avec un $\phi_{ex} = 10''$ et un $\phi_{in} = 3''$.

$$S_c/S_2 = \frac{(0.311)^2 - (0.254)^2}{(0.0762)^2} = 5.5.$$

Nous pensons que c'est acceptable.

Alors : $\phi_{ex\ dc} : 10''$ et $\phi_{in\ dc} = 3''$.

Masse – tiges : NC 70 – 100. Type : $7^{5/8}''$ h90 ($7^{5/8}''$ reg) .

$Q_{DC} : 361.6$ kg/m.

1 – b – Calcul des longueurs des Masses – tiges

Pour le calcul de la longueur des DC :

$$L_{DC} = \frac{P_{ax} * S}{q_{dc} * ff} \quad \text{Avec :}$$

S = Coefficient de sécurité tenant compte de la compression ;

P_{ax} : Charge axiale : prise égale à 18 tonnes ;

q_{DC} : Poids spécifique des DC.

Le facteur de flottabilité $FF = 1 - \left(\frac{\gamma_b}{\gamma_a}\right) = 1 - (1.1 / 7.85) = 0,8598726$.

$$L_{DC} = \frac{18 \cdot 10^3 \cdot 1.25}{361.6 \cdot 0.859} = 64,385 \text{ m.}$$

2 – Les Tiges de forage

D'après les recommandations proposées (instruction méthodique) nous pouvons faire un choix comme suit :

Ø trepan	17 ^{1/2} "
Ø tiges	6 ^{5/8} ", 5 ^{1/2} ", 5"

Nous avons alors pris un diamètre commun, puisque nous avons utilisé le diamètre 17^{1/2}". Il nous est aussi conseillé de suivre la recommandation suivante :

$$\text{Ø}_{DP} = (0,47 \text{ à } 0,68) \text{Ø}_{RB}.$$

$$\text{Ø}_{Nominal} = 5" \equiv 127 \text{ mm.}$$

Masse nominale : 19,50 lb/ft .

Masse avec tool – joint = 31,24Kg/m.

Nuance : E. Tiges à refoulement intérieur et extérieur (IEU).

Section : 34,03 cm².

Module polaire $W_0 = 187\,075 \text{ mm}^2$.

2 – a – La longueur des tiges de forage

La longueur de DP = ?

$$L_{DP} = H - (L_{DC} + L_{TE}).$$

$$L_{DP} = 108 - (64,385 + 12.19) = 31,42 \text{ m.}$$

2 – b – Calcul de vérification

2 – b – 1- La contrainte à la traction

$$\delta_t = \frac{L_{DC} \cdot Q_{DC} + L_{DP} \cdot Q_{DP}}{S} * 0.859 = \frac{(64.385 \cdot 361.6) + (31.42 \cdot 31.24)}{34.03} * 0.859 = 618,87 \text{ kgf/cm}^3.$$

2 – b – 2- La contrainte à la torsion

$$\tau = 71620 * \frac{1.36(P_{dest} * P_{rot})}{W_0 * N}$$

W_0 = Module polaire : 187 075mm² ;

N : vitesse de rotation : 140tr/min (d'après le constructeur) ;

P_{dest} : Puissance de destruction de la roche ;

P_{rot} : Puissance de rotation.

La puissance de destruction est égale au poids axial rapporté au diamètre du trépan.

$$P_{dest} = P_{ax} / D_{RB}$$

$$P_{dest} = P_{ax} / D \text{ c à d } P_{axal} \text{ sur } \emptyset_{trcp}$$

$$P_{dest} = \frac{18}{12.25} = 1.46 \text{ t/pouce.}$$

En se référant au tableau donnant la puissance consommée, en kw par pouce, pour des vitesses de rotation, nous avons :

1.10 à 1.35 t/pouce ---> 5.8 kw/pouce pour N : 140tr/min.

Alors : pour 12.25" c à d 12"^{1/4} on aura.

$$P_{rot} = 12.25 * 5.8 = 71.05 \text{ kw.}$$

$$\text{Et } P_{rot} = \left(\frac{125}{30} + 10\right) * \left(\frac{140}{100}\right) * \left(\frac{18}{12.25}\right) = \left(\frac{125}{30} + 10\right) * \left(\frac{140}{100}\right) * \left(\frac{18}{12.25}\right) = 29.14 \text{ cv.}$$

1kw ---> 0,736cv.

X kw ---> 29,14cv.

$$X = 39,59 \text{kw } P_{rot} = 39,59 \text{kw.}$$

$$\tau = 71620 * \frac{1.36(71.05 * 39.59)}{187.075 * 140} = 444.511 \text{ kgf/cm}^2$$

Donc : $\delta_{max} = \sqrt{4\tau^2 + \delta t^2}$.

$$\delta_{max} = \sqrt{4(444.511)^2 + (627.55)^2} = 1088.19 \text{ kgf/cm}^2.$$

Conversion des unités :

1bar ---> 1,02kgf/ cm².

X bar ---> 1088.19 kgf/ cm².

$$X = 1066.86 \text{bar.}$$

$\delta_{max} = 10.668 \text{ h bar.}$

$$\text{Alors : } m = \frac{\delta \epsilon}{\delta_{max}} = \frac{51.7}{10.668} = 4.846.$$

3 – Conclusion

Du moment que $\delta_g \approx 5x \delta_{max}$, nous pouvons dire que la garniture choisie pourra bien résister aux différents efforts, avec une grande sécurité. Donc le grade est vérifié.

IX – Choix de la tige d'entraînement

C'est un élément très important de garniture de forage, puisqu'elle transmet le mouvement de la table de rotation au rock bit surtout, par l'intermédiaire du carré ou hexagone d'entraînement en fonction de sa forme qui peut être carrée, cylindrique (circulaire) ou hexagonale.

Sa longueur est supérieure à n'importe quelle tige de forage. Le filetage de la partie supérieure est gauche, tandis que celui de l'extrémité inférieure est droite. Elle est robuste, surtout celle hexagonale, avec une bonne réparation de contrainte. C'est un organe très cher à cause de sa fabrication difficile, c'est pourquoi on doit toujours utiliser un raccord d'usure dit Kelly – saversub, pour protéger son filetage. Elle est fabriquée à partir d'acier SAE.

Sa longueur varie de 12, 16, 19 à 46m, selon la hauteur du mat. Son choix s'effectue selon la résistance aux contraintes dans le forage.

1 – Vérifions avec les calculs précédemment effectués

$$\delta_{tr} = 646,74 \text{kgf/cm}^2 \text{ Et } S : 34.04 \text{cm}^2.$$

$$\text{Alors la traction sera : } \delta' = \delta_{tr} * S = 646.74 * 34.03 = 22008,76 \text{kgf.}$$

$$1 \text{kgf} \rightarrow 0.981 \text{ d}\grave{\text{a}} \text{N.}$$

$$\delta' \rightarrow x \text{ d}\grave{\text{a}} \text{N.}$$

$$X = 22008,76 * 0.981 = 21,6 * 10^3 \text{ d}\grave{\text{a}} \text{N.}$$

La torsion: $\tau = 395,109 \text{kgf/cm}^2$: c'est la contrainte.

$$\text{Alors la torsion : } \tau' = \tau * \frac{w}{100 * 1.02} = \tau' = \frac{395.109 * 187.073}{100 * 1.02} = 724.257 \text{ kgf} * \text{m.}$$

On doit la convertir en m d\grave{a}N.

$$724.257 * 0.981 = 710.888 \text{ m.d}\grave{\text{a}} \text{N.}$$

D'après le formulaire du foreur (ff), B47.78 :

La tige d'entraînement choisie est une Tige d'Entrainement à section carrée :

- ✓ Dimension nominale côté / plat de 12,19m ;
- ✓ Une longueur totale de 12,19m ;

- ✓ Une longueur utile de 11.28m ;
- ✓ Connexion supérieur filetage femelle à gauche : standard, c.à.d. 6^{5/8}" regular ;
- ✓ Le diamètre extérieur standard : 7^{3/4}" ;
- ✓ Connexions inférieur filetage mâle à droite : standard. NC26 : 2^{3/8}" , Diamètre extérieur D : standard : 3^{3/8} " ;
- ✓ Partie utile : dimensions : sur plat sur coins G : 2^{1/2}" .

X – Choix des paramètres de forage

Le régime de forage est l'ensemble des facteurs avec lesquels on peut travailler. Pour que le régime préalablement estimé soit atteint, on doit faire différentes combinaisons de ces paramètres, pour aboutir aux meilleures performances souhaitées de l'outil.

Ces paramètres sont :

- ✓ Charge axiale (ou poids sur l'outil) ;
- ✓ Vitesse de rotation (de la table) ;
- ✓ Le débit de circulation (qualité du fluide de forage : densité, viscosité, filtrat, cake, ph).

Ces derniers peuvent être changés, sans que le forage ne s'arrête, jusqu'à attendre les meilleures performances de l'outil, qui ne sont autres que le métrage foré (en mètre), le temps de rotation (en heures) et la vitesse d'avancement (en mètre par heure).

- **Outils choisis** : 17^{1/2}" .

D'après les constructeurs :

Outil 17^{1/2}" : 1.1.4 ;

Vitesse de rotation : 80 à 175 tr/min ;

Poids axial : 18 à 24 x 10³ daN ;

17^{1/2}" : débit : 3000 à 4000 L/min ;

Vitesse de remontée : 21 à 28 m/min.

D'après le formulaire du foreur .89 E₁₀.

$Q_1 = v_1 * S_1$. Avec $s_1 = s_{tr} - s_{DP}$, $D_1 = 17^{1/2}$ " . $d_1 = 8^{3/5}$ " .

$$S_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - d_1^2).$$

$S_1 = 0,1147 \text{ m}^2$.

$V_1 = 21 \text{ m/min} = 0.35 \text{ m/s}$

$$Q_1 = 0.35 * 0.1147 = 0.0401547 \text{ m}^3/\text{s} = 40.1547 \text{ L/s.}$$

$$Q_1 = 2409.28 \text{ L/min.}$$

Avec des valeurs de débit pareilles, et vu la nature du terrain en question ainsi que la profondeur réduite, nous pouvons causer une érosion des parois, voire même qu'on risque une perte, donc nous devons réduire ces ou ce débit. Comme la section est constante, c à d imposée, alors le seul facteur sur le quel on peut jouer, n'est autre que la vitesse ascensionnelle.

On a opté pour une valeur : de 16m/min = 0.26m/s.

Alors le débit utile sera dans ce cas :

$$Q_u = v' \times s = 0,21 \times 0,1147 = 0,002408 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Pennons $Q = 1\ 000 \text{ L/min}$.

Comme les constructeurs nous ne donner pas l'optimum, alors on doit procéder comme suit :

Appliquer un certain poids sur l'outil et bloquer le frein après, tout en maintenant la vitesse de rotation, le débit et la qualité de boue.

Comme l'outil est entrain de détruire la roche donc il avance, ce qui fait que la charge axiale diminue, on doit alors observer le temps nécessaire pour une diminution de poids de deux à trois tonnes, recommencer les essais jusqu'à obtention des meilleurs performances avec le poids choisi et la vitesse.

La charge axiale : 18 tonnes ;

Le débit : 1000 L/min ;

La vitesse de remontée : 0.26 m/s.

Une boue bentonitique : $\gamma_b = 1.1$;

La viscosité : 40 à 60s ;

La vitesse de rotation : 140 à 60 tr/min.

XI – Calcul des pertes de charge et choix de la pompe à boue

Tout fluide animé d'une vitesse et circulant, soit dans une conduite ou librement, perd de son énergie (diminution de vitesse). Ce phénomène a pour causes les frottements de ses particules constitutives ainsi qu'avec les parois du milieu de circulation. Donc les frottements internes sont dus à la viscosité du fluide alors que celles externes ont pour cause la rugosité des parois.

Cette diminution d'énergie est dite perte de charge. Ces dernières peuvent avoir lieu dans les équipements de surface (flexible d'injection, tige d'entraînement, colonne montante, tête d'injection), dans les tiges, les masses – tiges, dans le trépan (évents), ainsi que dans l'espace annulaire – tiges ou espace annulaire – masses – tiges.

Pour le calcul, on procède de la manière suivante :

1 – Dans les équipements de surface

D'après le formulaire du foreur (édition 89) page 325, on est dans le premier cas :

- Colonne montante : 3".4 ;
- Flexible d'injection : 2".45 ;
- Tige d'entraînement : 2",4 ;
- Tête d'injection : 2".4.

Pour une viscosité de 40cps, on a $B = 2.14$, qui est un coefficient correspondant à une boue en circulation (notre cas).

Alors $N_1 = 221\text{kpa}$. Avec $Q : 1\ 000\ \text{L/min}$.

2 – Dans les tiges de forage (DP)

$$\varnothing_{\text{exDp}} = 5". \quad \varnothing_{\text{inDp}} = 4,276". \quad \varnothing_{\text{in T-J}} = 3^{3/4}."$$

$$N_2 = 28\ \text{kpa}/100\text{m}.$$

Alors :

$$28\ \text{kpa} \longrightarrow 100\text{m}.$$

$$X\ \text{kpa} \longrightarrow 31.42\text{m}.$$

$$X = 8.79\ \text{kpa}.$$

3 – Dans les masses – tiges (DC)

$$\varnothing_{\text{exDc}} = 10". \quad \varnothing_{\text{in Dc}} = 3".$$

Du formulaire du foreur (ff), (édition 89). G45. Page 337.

$$N_3 : 143\text{kpa}/100\text{m} \quad 143\text{kpa} \longrightarrow 100\text{m}.$$

$$X\ \text{kpa} \longrightarrow 64.385\text{m} \quad x = 92.07\text{kpa}.$$

4 – Dans le trépan

Configuration des dusses : 12 – 13 – 13, du formulaire du foreur (FF), G48, page 340 :

$$N_3 = 2740\text{kpa}. \text{ DITES } P_d.$$

5 – Pertes de charges annulaire / DC

$$\varnothing_{tr} : 12^{1/4}" \quad \varnothing_{ex DC} : 10".$$

Soit du formulaire du foreur (FF édition 89), page 353.

$$N_4 = 12\text{Kpa} / 100\text{m} :$$

100m \rightarrow 12Kpa.

64.385 \rightarrow X Kpa.

Donc X sera = à 7.7262Kpa.

6 – Pertes de charges annulaire / DC

$\varnothing_{tr} : 12^{1/4}$ " $\varnothing_{ex DP} : 5$ ".

Soit du (FF.78), à partir des abaques, ça ne figure pas aussi, ils sont alors négligeables.

$$B_1 = B_2 = B_3 = B_4 = B_5 = 2.14.$$

$$P_{total} : (221 + 8,79 + 92,07 + 7,7262 + 0) 2,14 + 2740 = 3445,31kpa.$$

1kpa \rightarrow 10^{-2} bars.

3445,31kpa \rightarrow X bar.

Alors : X = 34,45bar.

Du formulaire du foreur (ff, édition 78), H41, page 311 :

La puissance hydraulique est de :

$$P_h = 50kw \equiv 36,8 \text{ cv.}$$

La puissance à l'entrée de la pompe est de :

$$P_a = 58,82kw \equiv 43.3 \text{ cv.}$$

XI – Choix du tubage et calcul de cimentation

La construction du trou, pour notre cas, n'a pas nécessité la descente d'une colonne de tube, du fait de la nature du système aquifère (à nappe libre). Par contre, et pour des raisons techniques et de sécurité, la première tranche, appelée dans le jargon du forage le tube guide, doit être bien ancrée, tubée et cimentée et ce, pour assurer une meilleure étanchéité et une longévité de l'ouvrage. Ainsi que pour assurer une meilleure verticalité du trou aussi.

Cette colonne devra obligatoirement être cimentée, pour être ancrée et éviter qu'elle ne se dévisse, et ni ne s'écrase ou corrode.

Nous avons préféré faire descendre à l'intérieur de notre forage, non pas pour résoudre aux problèmes inverses rencontrés, mais pour surtout la longévité de notre ouvrage et bien sûr, même en cas de reprise, ça nous facilite la tâche (dégagement de la colonne vétuste). Comme pour assurer une étanchéité dans l'espace annulaire.

Du fait de sa petite profondeur ou hauteur nous avons choisies le même type de tube.

$$\varnothing_{Ex csg} : 18^{5/8} = 473,075mm \quad E_p = 21,835mm \quad \varnothing_{in csg} : 317,89mm.$$

Masse nominale : 61,00 lb/ft.

Masse linéique : 88,55kg/m.

Nuance d'acier : c75k₁

1 – Calcul du volume nécessaire de laitier de ciment

$$V_L = \pi/4 \left[(k_1 \varnothing_{tr}^2 - \varnothing_{ex} csg^2) * H + \varnothing_{in} csg^2 * h_0 \right]$$

\varnothing_{tr} : Diamètre de trou où on cimente ;

$\varnothing_{ex} csg$: Diamètre extérieur du tubage ;

$\varnothing_{in} csg$: Diamètre intérieur du tubage ;

K : coefficient tenant compte l'état du terrain (présence de cavernes, fissures...).

$$V_L = 3.492 \text{ cm}^3.$$

2– Quantité de ciment utile

a – Pour 1m³ de laitier

$$q_c = \gamma_c * \gamma_e * w = T/m^3.$$

γ_c : densité du ciment : 1,8.

γ_e : densité de l'eau c'est l'unité.

w : rapport eau ciment : 0.46.

$$q_c = \frac{1,8 * 1}{1 + 0,46 * 1,8} = 0,984 \text{ T/m}^3$$

b – Densité du laitier sec total

$$\gamma_L = q_c(1+W) = 1.43$$

c – Quantité de ciment sec total

$$Q_c = q_c * V_L * K_2$$

k_2 : Coefficient prenant en considération les pertes de ciment lors de la fabrication : 1,05.

$$Q_c = 0,984 * 3,492 * 1,05 = 3,60 \text{ tonnes.}$$

d – Volume d'eau de gâchage

$$V_e = Q_c * w / \gamma_e = 1,656 \text{ m}^3.$$

e – Volume du fluide de chasse

$$V_{ch} = \pi/4 * k_3 \left[(H - h_0) * \varnothing_{in} csg^2 \right] \quad k = 1 \text{ pas de rugosité.}$$

$$V_{ch} = 0,785 \left[(52 - 10) * 0,3179^2 \right] = 3,331 \text{ m}^3.$$

f – Pression de refoulement a la fin de la chasse

$$P_{\max} = P_1 + P_2.$$

$$P_1: 0.1 * \gamma_1 * H - [(H - h_0) * r_b + h_0 * r_i] * 0,1.$$

$$P_1 = 0,02H + 10.$$

$$P_2 = 11 \text{kgf/cm}^3.$$

$$\text{Donc } P_{\max} = P_1 + P_2.$$

$$P_{\max} = 11 + 3,336 = 14,336 \text{ kgf/cm}^2.$$

XII – Habillage de la colonne

Pour des raisons techniques et des mesures de sécurité nous devons équiper ou habiller notre colonne de tubage par différent dispositif de la manière suivante :

XII – 1 – Les sabots

Le sabot est vissé à l'extrémité inférieure de la colonne, dans le but de guider cette dernière et éviter qu'elle ne s'accroche. Il doit être muni d'orifices latéraux pour permettre le passage de la boue et du ciment. Il est recommandé qu'il soit fait de matière reforable.

XII – 2 – Les Anneaux de retenue

De même, il est fabriqué d'une matière reforable. Il est utilisé pendant la cimentation, placé à dix (10) ou vingt (20) mètres au dessus du sabot pour retenir les bouchons de cimentation, tout en prévoyant le vissage des trois premiers tubes au bakerlok.

XII – 3 – Les Centreurs et Racleurs

Le long de notre colonne, nous devons placer des organes pour :

- ✓ Les centreurs qui assurent un bon positionnement de la colonne et éviter le contact avec les parois ;
- ✓ Deux stop – collar pour chacun ;
- ✓ Les racleurs pour gratter le cake, qui est très mince dans notre cas, pour favoriser l'adhérence du ciment et l'armer.

Remarque : En principe, cet habillage ne se fait qu'après consultation des résultats de diagraphie pour choisir l'emplacement des différent organes sur cites.

XIII – Choix de l'appareil de forage

Dans le but de réaliser un forage, nous devons faire un bon choix de l'appareil qui doit exécuter ces travaux. Ce dernier se résume en un ensemble d'organes ayant chacun une tâche donnée, mais qui se complètent entre eux. Cette sélection doit se faire selon un programme préalablement établi, en tenant compte de la capacité au crochet, de la puissance au treuil ainsi que de la profondeur qu'on peut atteindre avec des DP de diamètre donné.

Donc, après calcul préalable du poids de la garniture et de celui du tubage (s'il existe), on optera à un choix en fonction de la plus grande charge.

Pour notre cas, et selon les calculs, nous opterons pour l'appareil (ADF) donné par ces opérations de calcul.

1 – Calcul du poids des DC

$$P_{DC} = q_{DC} * L. \quad P_{DC} = 361.6 * 64,385 = 23281,616 \text{ kg.}$$

$$P_{DC} = 23,28 \text{ Tonnes.}$$

Avec :

q_{DC} = poids unitaire des DC ;

L_{DC} : longueur total des DC.

2 – Calcul du poids des DP

$$P_{DP} = q_{DP} * L_{DP} \quad \dots \quad P_{DP} = 31,24 * 31.42 = 981.56 \text{ kg.}$$

$$P_{DP} = 0,981 \text{ Tonnes.}$$

q_{DP} : poids unitaire des DP : 31,24 kg/m.

L_{DP} : longueur des DP : 31.42 m.

3 – Poids de la tige d'entraînement (la Kelly)

$$P_{TE} : 404 \text{ kg} = 0.4040 \text{ Tonnes.}$$

4 – Poids du train de sonde

$$P_{TS} = P_{DC} + P_{DP} + P_{TE}.$$

$$P_{TS} = 23,28 + 0,981 + 0,404 = 24.665 \text{ Tonnes.}$$

5 – Poids de la colonne de tubage

$$P_{CSG} = q_{CSG} * L_{CSG}.$$

$$P_{CSG} = 88,55 * 31.42 = 2782,24 \text{ kg} = 2,78 \text{ Tonnes.}$$

Pour calculer la capacité au crochet nous devons le prendre en fonction du poids de la garniture, puisque l'écart paraît évident.

6 – La Capacité au Crochet

$$P_{aGR} = P_r * FF = 29 * 0.859 = 24.911 \text{ Tonnes.}$$

$$C_{CR} = P_{aGR} + P_{MM}.$$

On prend le poids du moufle mobile et accessoires 7 Tonnes.

$$C_{CR} = 24.911 + 7 = 31,911 \text{ Tonnes.}$$

On doit aussi tenir compte d'un coefficient (K) de sécurité (à cause des frottements), et on le prendra $K = 1,25$.

Alors :

$$C_{CR} = 31,911 * 1,25 = 39,88 \text{ Tonnes.}$$

Après tous ces calculs, l'appareil de forage (l'ADF) que nous proposons pour finaliser et atteindre l'objectif, est un appareil intermédiaire, entre le léger et l'ultra léger (profondeur 750 m avec DP : $3^{1/2}$).

Capacité au crochet : 40 Tonnes.

Puissance au treuil : 171 HP.

XIV – La sécurité sur le chantier de forage

La sécurité est de premier ordre chaque jour, c'est quelque chose dont nous sommes conscient, Quoique nous faisons pendant toute notre vie, c'est donc la vigilance, la conscience, et la connaissance du matériel et sa bonne utilisation. Donc c'est le devoir de tout un chacun de connaître d'apprendre par cœur, de suivre et d'appliquer sur terrain les règles et les pratiques de sécurité dans le forage.

XIV – 1 – Le matériel de sécurité pour le sondeur

L'ensemble des équipements de protection et de sécurité qui sont nécessaires sur un appareil. de forage est par la compagnie tel que les casques de sécurité, les gants, les lunettes de sécurité, les Chaussures et les ceintures.

XIV – 2 – Les équipements, de sécurité, électriques

Il faut toujours prévoir les coupures de courants ce qui peut nuire à la bonne marche des travaux, Ce qui nous oblige de réserver ou d'avoir des groupes électrogènes, pour l'éclairage nocturne ainsi Que d'autre exigences.

C'est aussi une nécessité que le personnel doit se familiariser avec les organes électriques. Les câbles électriques doivent avoir des agrafes de suspension, les câbles défectueux doivent être changés, la mise alaterne du mat est aussi nécessaire.

XIV – 3 – La propreté

Le nombre du matériel à nettoyer est incommensurable, le matériel de la sonde et du chantier quand il est bien maintenu et propre, non seulement diminue le risque d'accidents mais aussi possède un aspect et permet de détecter la moindre anomalie qui sera à l'origine d'un accident.

Nous donnons, en résumé, les mesures à prendre pour l'usage de différents organes :

- Le bon ancrage du brin mort au réa.
- Câbles électriques suspendus et bien protégés.
- Le rack tige ou rack de stockage sont en bon état.
- Câbles de manœuvres disponibles et bien enroulés et stockés.
- L'état des clés et câbles de vissages.
- L'état des peignes et la présence de goupilles.
- Serres câbles, colliers de sécurité, élingues et chaînes pour flexible d'injection, colonne montante.
- Marches d'escaliers bien nettoyées, larges ainsi que les échelles et passerelles, boulonnées.
- Présence de rambardes, mains courantes aux escaliers et au pourtour du planché.
- Protection des moteurs et courroies et mettre des grilles ou tollés et carters.
- Protection de l'entraînement de la table de rotation.
- Le mât doit être orienté de façon que le chef de poste n'ait pas le soleil aux yeux, et voir la direction des vents dominants, à cause des échappements de gaz moteurs et la poussière.
- Le mât doit être vertical, boulonné, et haubané, hissé ou rabattu le jour et en bonnes conditions atmosphériques.
- L'aire du chantier doit être nivelée, sans obstacles, ayant des rigoles pour évacuer les eaux (notamment celles usées).
- Vérifier le bon fonctionnement des appareils de mesure sur le tableau de commande, et avoir un registre de sécurité.

XV – L'organisation sur le chantier de forage

L'organisation d'un chantier est l'ensemble des dispositions envisagées lors de l'exécution, dans les meilleures conditions possibles, d'un travail. Cette organisation consiste donc à définir et à coordonner les moyens nécessaires à la réalisation de l'ouvrage tout en restant fidèle aux directives générales imposées par l'hydrogéologie.

Nous pouvons résumer ces directives en :

1 – La rapidité

C'est l'objectif recherché, exigée soit par le maître d'œuvre ou par le rendement financier de l'opération, il faut y joindre la qualité lorsque le projet a été suffisamment étudié dans ce but précis.

2 – L'économie

C'est le résultat d'une organisation rationnelle, elle est garantie par une étude approfondie du sujet, et la distribution rapide des plans détaillés aux responsables du chantier, la synchronisation des actions des diverses équipes de forage, de développement, de traitement chimique et d'essai de débit, appelées à collaborer, diminue les temps morts et favorise la rapidité, le bon choix des installations, la propreté et l'ordre influent sur le côté économique.

3 – La qualité

Avoir une main d'œuvre avertie et qualifiée ainsi que des cadres compétants c'est assurer un déroulement rationnel des travaux et minimiser le risque de détériorer le matériel et avoir un travail fini et de qualité. Donc pour chaque chantier, le problème de l'organisation repose sur plusieurs données qui ne sont nécessairement pas déduites des résultats de cas semblables.

4 – Le planning d'avancement des travaux

Etabli par le maître d'œuvre afin de coordonner dans le temps les actions des diverses entreprises participant à la réalisation du forage.

5 – Le programme général

Pour être valable, l'élaboration du programme doit tenir compte des exigences du maître d'œuvre et des conditions techniques qui découlent des marchés signés avec les diverses Entreprises Adjudicatrices. Il faut aussi prévoir des périodes d'arrêt à cause des intempéries ou des imprévus.

6 – Les Installation

Quelque soit l'importance du chantier, il est nécessaire d'en prévoir l'installation et l'organisation y compris les installations et constructions auxiliaires comme :

- Les voies et chemins d'accès.
- Les clôtures et signalisations.
- Ateliers et baraques ainsi que les parcs de stockage.
- Bassins pour fabriquer la boue et le laitier de ciment.
- Les raccordements aux serviles publiques (eau, eau usagée téléphone, électricité).
- Un parc d'engin « dumper, pelles mécaniques, grue..... ».

7 – Étude du plan d'aménagement

Cette étude est confiée au personnel technique en se basant sur un croquis ou un plan de situation, en prévoyant des voies de circulation larges et praticables.

Un baraquement non attenant à l'ADF, suffisant au personnel, y compris les vestiaires, les magasins, les WC, les bureaux de chantier.

7 – Installation en parc de stockage

Le stockage de la bentonite et l'hexamétaphosphate se présente en une seule forme, en sacs, tandis que le ciment est stocké soit en vrac ou en sac.

8 – Inventaire

La liste préalablement établi par le chef de chantier, en fonction des besoins, est remise au siège de l'entreprise et qui peut comprendre un coffre a matériel (pelles, pioches, masses, fils, sceaux, tuyaux, boites pharmacies, casqués, extincteurs, roulements, chaines.....et tous ce qui peut être nécessaire.

Écrire l'IADC sur les outils, et avoir les calibres pour mesurer les pertes de diamètres, classer les tiges de forages.

Les pièces d'usure dans la partie hydraulique des installations et des organes annexes tels que l'amortisseur de pulsation, soupapes de sécurité... etc.

9 – Les équipes de forage

Nous avons trois équipes assurant le travail par intermittence H24 et une quatrième équipe en récupération.

a – Le chef de chantier

Doit assurer et veiller au bon déroulement du travail, ayant un comportement exemplaire, puisque c'est lui le premier responsable.

b – Le chef de post

En nombre de trois, il est responsable devant l'équipe, manipule le treuil, et exécute les ordres du chef de chantier.

c – Les ouvriers de plancher

En nombre de deux ou trois, participent à tous les travaux d'entretien, de nettoyage ou de manœuvre.

Il peut en faire membre un mécanicien et un électricien pour travaux nécessitant un spécialiste. Le personnel doit assurer une rotation selon un planning étudié sur des bases scientifiques tenant compte des efforts physiques et des contraintes dues à l'isolement et l'éloignement.

XVI – Complétion du puits

Dans le but de mettre un aquifère en exploitation, nous avons à effectuer certaines opérations une fois le toit de ce dernier est atteint ; telles que :

- Le forage de la nappe avec le trapan approprié ;
- Le choix de l'horizon aquifère à exploiter « 1/3 ou 80 % » ;
- La sélection de l'équipement en vue de l'exploitation.

B ut : Ce procédé a pour fin d'améliorer la productivité de la nappe, avec une exploitation optimale et rationnelle, pendant la plus grande durée possible, pour aussi amortir le coût de l'ouvrage, sans bien sûr nuire à laquière.

XVII – Granulométrie

Durant le forage, les déblais (dits aussi cuttings) qui sont remontés au jour par le fluide de forage, sont prélevés, codés et numérotés puis envoyés au labo, en fonction desquels, après étude, l'équipement de captage sera choisi.

Une fois au labo, on aura besoin d'un échantillon sec de 500 gr, une série de tamis montés, en un ordre croissant, en fonction du diamètre des mailles, de haut en bas. À la base de cette série de tamis, il y a une cuvette pour récupérer le tamisât ayant traversé la colonne des tamis, un four pour le séchage et la déshydratation de l'échantillon prélevé, et un agitateur mécanique pour favoriser l'opération de tamisage.

XVII – Mode opératoire

L'échantillon prélevé est séché pour le débarrasser de son eau d'imbibition, puis mis dans le tamis supérieur de la colonne précédemment montée, l'ensemble doit être placé sur l'agitateur mécanique, qui sera ensuite mis en marche jusqu'à la fin du tanisage.

Le pesage de chaque refus correspondant à un diamètre de maille donnée, s'effectue après le montage de la colonne, puis le poids cumulé de refus, pour chaque tamis, qu'il aurait pu retenir s'il était placé seul. Le pourcentage de chaque résultat est alors établi par rapport au poids total de L'échantillon. Les résultats ainsi obtenus seront portés sur un graphique où sur l'axe des abscisses figurent les dimensions des mailles, alors qu'en ordonnées, les pourcentages cumulés retenus.

En joignant l'ensemble des points obtenus, dans le repère, nous donne une courbe dite granulométrique.

Maintenant tous découle de l'examen de cette courbe, en ce qui concerne les dimensions et la finesse de la granulométrie, l'allure de la courbe, par rapport auxquelles s'effectue le choix de l'équipement « slot de crépine » et enfin le calibrage du massif filtrant.

NB : puisqu'on ne dispose pas d'échantillon réel, nous allons faire une analogie aux courbes caractéristiques, des différents sols, existant pour faire notre choix en ce qui concerne la complétion de notre forage.

XIX – La Crépine

C'est l'élément sur lequel tous les calculs et les prévisions sont basent. Elle est d'une importance capitale de l'équipement de forage.

Elle fait bien entendu partie de la colonne de production, et doit être adaptée à la nature du terrain pour permettre l'extraction de l'eau exempt de particules nuisibles.

Elle est placée au niveau de la nappe. Servant de filtre empêchant le passage des particules solides dont le diamètre est supérieur à celui des ouvertures.

Nous avons préféré utiliser pour ce but une crépine Johnson de diamètre nominal huit pouces (8"). De diamètre extérieur huit pouces cinq huitième $8\frac{5}{8}$ ", de poids linéique de 12 kilogrammes par mètre (kg/m).

C'est vraie que ces crépines sont trop chères mais, elles ont fait preuve, d'être d'un renom international, vu leur qualité de résistance aux différentes contraintes physiques et chimiques de haut niveau.

Après analyse de la courbe « théorique », les ouvertures de cet élément seront :

L'abscisse du point « E » « qui correspond à 90% sur la droite et non pas la courbe.

Pour notre cas cette valeur est « 25.1"/1000 » slot 25, tout en souhaitant que la vitesse d'entrée de l'eau sera moins de 30 m/s assurant un écoulement non turbulent.

NB se référer au chapitre choix des phases pour plus d'informations et de détails.

XI – Le massif du gravier additionnel (massif filtrant ou MGA)

Le massif filtrant doit être non seulement calculé mais aussi bien choisi pour ne pas épuiser trop d'énergie surtout durant l'exploitation. Pour répondre aux exigences des différents traitements en cours de développement ou ultérieurs du forage, cet élément doit bénéficier d'une attention durant le choix est surtout lors de sa mise en place.

Un gravier roulé, siliceux, évidemment lavé et criblé est le plus imposé et préféré, autrement les performances diminuent hors de ce choix.

La teneur en matériaux calcaire ne dépassant pas les 5 %, celui concassé non plus, de même pour les particules d'anhydride ou de gypse, tout cela peut nuire à la longévité et à la capacité du forage, vu l'inconvenance de ce matériaux avec les différents traitements chimiques qui peuvent être utilisés dans ce dernier.

Une épaisseur tendant vers les huit pouces pour assurer et la filtration et le support. Pour notre cas il peut s'agir d'un support et d'un filtre (nappe de sable grossier).

Ce massif est mis en place de deux méthodes différencies soit par circulation ou par gravitation. Le choix est donc en fonction de la disponibilité des moyens sur les lieux.

XX – Calcul du volume du MGA

Nous avons : Le \emptyset du trou : 12^{1/4"}

Le \emptyset extérieur de la crépine : 8^{5/8"}

Nous aurons pour sections à remplir :

$$S = S_{tr} - S_{Cr} = \frac{\pi * D^2 * t}{4} - \frac{\pi * \emptyset_{Cr}}{4}$$

$$S = \frac{\pi}{4} [(\emptyset^2_{tr} - \emptyset^2_{excr})] = \frac{\pi}{4} [(0.311^2) - (0.218^2)]$$

$$S = 0.0386 \text{ m}^2$$

Pour calculer le volume.

$$V_{MGA} = S * H \text{ avec } H :$$

H : longueur de la crépine avec une hauteur de se curète.

$\alpha = 15\%$ du volume.

$$V = S * L_{Cr} \quad V = 0.0386 * 18 = 0.694 \text{ m}^3.$$

α .sera alors :

$$\alpha = 15\% \text{ de } V : \frac{0.694 * 15}{100} = 0.104 \text{ m}^3$$

le volume total : $V_{T.MGA} = 0.694 + 0.104 = 0.798 \text{ m}^3$

$$d_1 \quad E [0 \text{ à } 0.625 \text{ mm}] \quad V_1=0.385 \text{ m}^3 \quad 10\%.$$

$$d_2 \quad E [0.625 \text{ à } 1.57 \text{ mm}] \quad V_2=1.928 \text{ m}^3 \quad 50\%.$$

$$d_3 \quad E [1.57 \text{ à } 2.33 \text{ mm}] \quad V_3=1.542 \text{ m}^3 \quad 40\%.$$

XXI – Programme de développement

BUT :

Le développement d'un forage est effectué pour deux raisons fondamentales :

a : Stabiliser la formation et le forage en faisant mouvoir les particules susceptibles d'être déplacées, et disloquant les ponts de sable en créant un réarrangement des grains, et en assurant le tassement du gravier.

b : Améliorer la perméabilité de l'aquifère au voisinage du forage, d'où sa productivité. Pour cela plusieurs types de développement existent :

- ✓ Par surpompage ;
- ✓ Par pitonnage ;
- ✓ Nettoyage à jet d'eau ;
- ✓ Par traitement chimique ;
- ✓ Par air lift.

Nous proposons cette dernière qui est la méthode à l'air lift (qui est la plus répandue et la plus utilisée en Algérie).

1 – Équipements utiles

Un compresseur.

Une tuyauterie : tube d'eau et tube d'air.

Un robinet à boisseau et une presse étoupe.

La condition pour avoir le pompage :

$$\gamma_e (L_{air} - ND) > \gamma_{em} * L_{air}$$

Pour assurer le début de pompage, la pression minimale du compresseur soit :

$$\gamma_e (L_{air} - ND) < \frac{Pr_{nominale}}{10}$$

2 – Principe de pompage

- ✓ Faire descendre le tube d'eau à 0.60m du sabot de la crépine.
- ✓ Faire descendre le tube d'air à l'intérieur du tube d'eau à 0.30 m de la base de ce dernier.
- ✓ Actionner le compresseur, et laisser de l'eau s'écouler jusqu'à ce quelle sorte sans sable.
- ✓ Fermer le robinet, ce que fait monter la pression au niveau du compresseur, tout en faisant descendre le sabot du tube d'air à 0.30 m au dessous de celui du tube d'eau.
- ✓ Ouvrir brusquement le robinet d'air, pendant un temps très court, ce que fait projeter violemment l'air au dehors par le tube d'eau et le casing.
- ✓ Faire remonter le tube d'air à sa position initiale, on a donc créer un flux et un reflux, l'eau monte alors trouble par le tube d'eau.
- ✓ Une fois l'eau claire, remonter le dispositif de 0.60 m à 1m et refaire les opérations précédentes, pour un nouveau traitement de la formation, au niveau du tube ou du sabot du tube d'eau et ainsi de suite, sur toute la longueur de la crépine.
- ✓ Il est nécessaire de faire redescendre à nouveau le tube d'eau à sa position de 0.60 m du fond, afin de faire sortir, par air lift, le sable qui s'est de posé tout au fond de la crépine.

L'opération sera considérée comme faite une fois l'eau sorte claire.

Conclusion

Le forage est réalisé en deux phases, la première forée au 17^{1/2"} la seconde au 12^{1/4"}.

Le puits est équipé d'une crépine 8" selon la demande du client.

Les travaux se sont déroulés sans incidents notables et l'ouvrage a commencé à produire de l'eau après un développement complet et des essais de pompage.

Conclusion Générale & Recommandations

Dans le souci de mettre en place une procédure permettant de choisir un appareil de forage répondant aux exigences des besoins exprimés pour le forage d'ouvrages hydrauliques (et pétroliers) d'une part, et l'adaptation de l'appareil aux différentes gammes de profondeurs d'autres part, nous avons proposé un programme de calcul pour la réalisation d'un ouvrage et ce, selon la disponibilité du matériel.

Au terme de ce travail, les points qui nous paraissent intéressants sont retenus dans les notes suivantes :

- ✓ La région, sujet de cette étude, fait partie du grand sud pays (de l'Algérie sud – orientale), plus précisément, à la wilaya de Touggourt.
- ✓ Elle est connue pour son caractère industriel, puisque considérée comme zone pétrolière où plusieurs compagnies dans le domaine y sont installées, depuis des décennies.
- ✓ C'est, au fait, une région à vocation agricole aussi, malgré qu'elle désertique connue par la rareté du couvert végétal (terre nue), suite à la conjugaison de plusieurs facteurs, dont le climat. En effet le climat qui y règne est du type aride à hyper – aride, avec des précipitations presque nulles et ce, durant tout le long de l'année. On enregistre une moyenne de 2.92 mm/an. Les températures sont, au contraire, élevées et peuvent atteindre une moyenne de 23.18°C.

Le concours de ces deux facteurs, en combinaison avec tant d'autres, confère à la région son caractère de zone stressée ou en détresse, à cause du bilan déficitaire en eau.

- ✓ La demande en eau est en continuelle augmentation, suite à l'augmentation du nombre d'habitants et au développement des activités socio – économiques. Pour satisfaire toutes ces sollicitations on est contraint de trouver une alternative. Le recours, à court et à moyen termes, aux eaux souterraines constitue, à première approximation, une solution, mais elle reste précaire.
- ✓ L'exploitation de ces ressources implique l'emploi de techniques dites de forage. Ces dernières s'exécutent conformément à un programme, qui doit être mis en place avec soin. C'est cette question qui a constitué le thème de travail.

Pour ce faire, nous avons suivi la démarche suivante :

Phase I : Construction de l'avant puits

- L'ouvrage est réalisé sur une profondeur de 160 m. Les travaux ont été faits sur deux phases. Mais avant cela, et pour l'ancrage de l'ouvrage, nous avons commencé par un tube guide, lui attribuant un diamètre de 22", tubé avec un casing de 20", sur dix (10) m de profondeur.
- ✓ Installation du chantier, confection de la plate – forme, bassins et rigoles.
- ✓ Forage en Ø : 22" de (0 - 10) m.
- ✓ Mise en place de tube guide Ø 18^{5/8} de (0 - 10) m.
- ✓ Cimentation de l'espace annulaire en (HTS) par un volume soit 0,30 M³ densité 1,8.
- ✓ Attente prise du ciment 48 heures.

Phase II : La colonne de production

- ✓ Forage de reconnaissance, de 10 jusqu'à 160m, avec un outil de Ø 12^{1/4}".
- ✓ Élargissement et alésage au Ø 17^{1/2}" de (10 - 118) m.
- ✓ Mise en place du Tube Plein casing API Ø : 13^{3/8}" de 0 à 118) m.
- ✓ Cimentation de la colonne de production en (HTS) par un volume de ciment, soit 8.8 m³ de densité 1,75.
- ✓ Suivi d'un temps d'attente pour la prise du ciment (de 48 heures).

Phase III : Colonne de captage

- ✓ Reforage et alésage en Ø 12^{1/4}" de 118 jusqu'à 142 m de profondeur.
- ✓ Mise en place de la colonne de captage Ø : 8^{5/8}", de bas en haut :
 - Sabot de décantation Tube Plein Inox (Johnson) de (142 - 136) m (06 m).
 - Crépine Inox (Johnson) Ø 8^{5/8}" slot 20, de 118 à 136 m, c à d (18 m).
 - Tube réserve plein Inox (Johnson) Ø 8^{5/8}", de 136 à 142 m ; (06 m).
- ✓ Gravillonnage de l'espace annulaire par ajout de gravier siliceux lavé, criblé et bien calibré de (02-06) mm de Ø. Le volume de gravier à injecté soit 1.15 m³.

Phase IV : Développement du Forage

- ✓ Nettoyage avec circulation de l'eau claire.
- ✓ Développement avec compresseur.

Phase V : Les essais de débits par pompage

- ✓ Essai à blanc de 12 h, ont révélé un niveau statique (NS) de 29,70 m et un niveau dynamique (ND_{max}) de 91,70m, avec un débit max (Q_{max}) de 15,5 l/s
- ✓ Les essais par pompage.
- ✓ Les remontées.

L'étude a conclu que le débit atteint le niveau estimé grâce à la bonne utilisation des techniques de forage et des équipements.

Comme recommandation, le forage aurait pu être continué jusqu'à une profondeur plus importante, mais à cause d'une perte totale, à la côte 156m, on a écourté les travaux de forage et on rebouché le trou jusqu'à la côte 142m.

Si le débit demandé était plus important, on pouvait procéder au colmatage des fractures, par divers types de colmatants (lamellaires, fibreux, granulaires ...etc.), et continuer le forage. Si cette opération s'avère infructueuse, on doit mettre en place un bouchon de ciment et poursuivre à forer.

BIBLIOGRAPHIE

- [01] **ALGERIE PRESSE SERVICE:** Touggourt : Les investissements industriels et agricoles sont parmi les secteurs les plus porteurs. (07/03/2021).
- [02] **ALIAT hocin:** Etude hydrogéologique et hydrochimique de la région de Taïbet (SE Algérie).Mémoire de Master Univ. d'Ouargla année 2016.
- [03] **ANRH :** Agence nationale des ressources hydriques (Touggourt) Rapport de fin sondage.
- [04] **Boukaoud El Hachemi :** Forages d'eau procédés et mesures, UE0661, Destiné aux Etudiants de 3^{ème} année licence géologie-appliquée. Option Hydrogéologie.
- [05] **GUETTICHE SALIHA & BENABDASADOK DJAHIDA:** Contribution à l'étude de la possibilité de réutilisation des eaux de la nappe phéatique pour l'irrigation dans la région de l'Oued Righ. Mémoire d'Ingénieur. Université de Mentouri-Constantine.2006.
- [06] **GHENDIR lahcen:** Suivis et étude des forages hydrauliques de la région d'Oued Righ. Mémoire de Master Université de Ouargla année 2016.
- [07] **HELAL FAYÇAL & OURIHANE DALILA:** Etude hydrogéologique du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal de la région de Touggourt. Aspect hydro-chimique et problèmes techniques posés. Mémoire d'Ingénieur. *Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene U.S.T.H.B* ANNEE 2004.
- [08] **Limane Samir & Ben Hammouda Idriss:** Suivi d'un forage d'eau dans la région de Benaceur (wilaya de Ouargla) .Mémoire de Master Univ. d'Ouargla Année 2018.
- [09] **Lounissa mohamed & Arbaoui khaled:** Établissement d'un programme de forage et proposition de solutions aux problèmes survenus. Mémoire Master Professionnel Université de Ouargla année 2017.
- [10] **Moulay Omar Younes & Seddiki Youcef:** Suivi d'un forage d'eau dans la région de Bouhraoua (Wilaya de Ghardaïa). Mémoire Master Professionnel Université de Ouargla année 2017.
- [11] **(O.N.M) TOUGGOURT:** La Source les données climatologique de la région de Touggourt de l'année 2010 jusqu'au 2020.
- [12] **Tabet Salim & Souag Abderrahmane & Katfi Samir:** Contrôle et suivi de la trajectoire du forage horizontal en short radius.Application sur le puits md-56. Mémoire de Master Université. de Ouargla année 2016.
- [13] www.ogimet.com: Site internet concernant les données climatologique de la région de Touggourt de l'année 2010 jusqu'au 202

VOLUME DE L'ESPACE ANNULAIRE (TROU-CASING) :

		Diamètre nominal du casing (pouces)															
		0 (1)	4 1/2	5	5 1/2	6 5/8	7	7 5/8	8 5/8	9 5/8	10 3/4	11 3/4	13 3/8	16	18 5/8	20	30
Diamètre du trou foré (pouces)	-0 (2)	l.m	10,30	12,69	15,36	22,34	24,88	29,58	37,87	47,10	58,74	70,16	90,80	130,0	176,2	203,0	455,8
5 7/8	17,49	7,19	4,80														
6	18,24	7,94	5,55	x													
6 1/8	19,01	8,71	6,32	3,65													
6 1/4	19,79	9,49	7,10	4,43													
6 5/8	22,24	11,94	9,55	6,88													
6 3/4	23,09	12,79	10,40	7,73													
7 3/8	27,56	17,26	14,87	12,20	x	x											
7 7/8	31,42	21,12	18,73	16,06	9,08	6,54											
8 3/8	35,54	25,24	22,85	20,18	13,20	10,66											
8 1/2	36,61	26,31	23,92	21,25	14,29	11,73	x										
8 5/8	37,69	27,39	25,00	22,33	15,35	12,81	8,11										
8 3/4	38,79	28,49	26,10	23,43	16,45	13,91	9,21										
9	41,04	30,74	28,35	25,68	18,70	16,16	11,46										
9 5/8	46,94	36,64	34,25	31,58	24,60	22,06	17,36	x									
9 7/8	49,41	39,11	36,72	34,05	27,07	24,53	19,83	11,54									
10 5/8	57,20	46,90	44,51	41,84	34,86	32,32	27,62	19,33									
12	72,97	62,67	60,28	57,61	50,63	48,09	43,39	35,10	25,87	14,23							
12 1/4	76,04	65,74	63,35	60,68	53,70	51,16	46,46	38,17	28,94	17,30							
14 3/4	110,24	99,94	97,55	94,88	87,90	85,36	80,66	72,37	63,14	51,50	40,08	x					
15	114,01	103,71	101,32	98,65	91,67	89,13	84,43	76,14	66,91	55,27	43,85	23,21	x				
17 1/2	155,2	144,9	142,5	139,8	132,9	130,3	125,6	117,3	108,1	96,46	85,04	64,40	25,2				
20	202,7	192	190,0	187,3	180,4	177,8	173,1	164,8	155,6	144,0	132,5	111,9	72,7	x		x	
24	291,9	281	279,2	276,6	269,6	267,0	262,3	254,0	244,8	233,2	221,7	211,1	161,9	115,7	88,9	x	
26	342,4	332,1	329,7	327,0	320,1	317,5	312,8	304,5	295,3	283,7	272,2	251,6	212,4	166,2	139,4	x	
36	656,4	646,1	643,7	641,0	634,1	631,5	626,8	618,5	609,3	597,7	586,2	565,6	526,4	480,2	453,4	200,6	

- (1) La colonne du zéro donne en litres par mètre le volume du trou foré (théorique).
 (2) La ligne du zéro donne en litres par mètre le déplacement total des casing compte tenu des manchons.
 x Le diamètre extérieur du manchon du casing considéré est supérieur au diamètre nominal du trou foré.

Tab N° 2: Volume De L'Espace Annulaire TROU-CASING (Litres Par Mètre) ANRH Touggourt.

VOLUMES AU MÈTRE EN FONCTION DES DIAMÈTRES :

VOLUMES AU MÈTRE EN FONCTION DES DIAMÈTRES											
Diam. (m)	Vol. (l/m)	Diam. (m)	Vol. (l/m)	Diam. (m)	Vol. (l/m)	Diam. (m)	Vol. (l/m)	Diam. (m)	Vol. (l/m)	Diam. (m)	Vol. (l/m)
1	0.507	5	12.67	9	41.04	13	85.63	17	146.4	21	223.5
1 1 8	0.641	5 1 8	13.31	9 1 8	42.19	13 1 8	87.29	17 1 8	148.6	21 1 8	226.1
1 1 4	0.792	5 1 4	13.97	9 1 4	43.36	13 1 4	88.96	17 1 4	150.8	21 1 4	228.8
1 3 8	0.958	5 3 8	14.64	9 3 8	44.53	13 3 8	90.65	17 3 8	153.0	21 3 8	231.5
1 1 2	1.140	5 1 2	15.33	9 1 2	45.73	13 1 2	92.35	17 1 2	155.2	21 1 2	234.2
1 5 8	1.338	5 5 8	16.03	9 5 8	46.94	13 5 8	94.07	17 5 8	157.4	21 5 8	237.0
1 3 4	1.552	5 3 4	16.75	9 3 4	48.17	13 3 4	95.80	17 3 4	159.6	21 3 4	239.7
1 7 8	1.781	5 7 8	17.49	9 7 8	49.41	13 7 8	97.55	17 7 8	161.8	21 7 8	242.5
2	2.027	6	18.24	10	50.67	14	99.31	18	164.2	22	245.2
2 1 8	2.288	6 1 8	19.01	10 1 8	51.95	14 1 8	101.10	18 1 8	166.5	22 1 8	248.0
2 1 4	2.565	6 1 4	19.79	10 1 4	53.24	14 1 4	102.89	18 1 4	168.8	22 1 4	250.9
2 3 8	2.858	6 3 8	20.59	10 3 8	54.54	14 3 8	104.71	18 3 8	171.1	22 3 8	253.7
2 1 2	3.167	6 1 2	21.41	10 1 2	55.86	14 1 2	106.54	18 1 2	173.4	22 1 2	256.5
2 5 8	3.492	6 5 8	22.24	10 5 8	57.20	14 5 8	108.38	18 5 8	175.8	22 5 8	259.4
2 3 4	3.832	6 3 4	23.09	10 3 4	58.56	14 3 4	110.24	18 3 4	178.1	22 3 4	262.3
2 7 8	4.188	6 7 8	23.95	10 7 8	59.93	14 7 8	112.12	18 7 8	180.5	22 7 8	265.1
3	4.560	7	24.83	11	61.31	15	114.01	19	182.9	23	268.0
3 1 8	4.948	7 1 8	25.72	11 1 8	62.71	15 1 8	115.92	19 1 8	185.3	23 1 8	271.0
3 1 4	5.352	7 1 4	26.63	11 1 4	64.13	15 1 4	117.84	19 1 4	187.8	23 1 4	273.9
3 3 8	5.772	7 3 8	27.56	11 3 8	65.56	15 3 8	119.78	19 3 8	190.2	23 3 8	276.9
3 1 2	6.207	7 1 2	28.50	11 1 2	67.01	15 1 2	121.74	19 1 2	192.7	23 1 2	279.6
3 5 8	6.658	7 5 8	29.46	11 5 8	68.48	15 5 8	123.71	19 5 8	195.2	23 5 8	282.8
3 3 4	7.126	7 3 4	30.43	11 3 4	69.96	15 3 4	125.70	19 3 4	197.6	23 3 4	285.8
3 7 8	7.609	7 7 8	31.42	11 7 8	71.45	15 7 8	127.70	19 7 8	200.2	23 7 8	288.8
4	8.107	8	32.43	12	72.97	16	129.72	20	202.7	24	291.9
4 1 8	8.622	8 1 8	33.45	12 1 8	74.49	16 1 8	131.75	20 1 8	205.2	24 1 8	294.9
4 1 4	9.152	8 1 4	34.49	12 1 4	76.04	16 1 4	133.80	20 1 4	207.8	24 1 4	298.0
4 3 8	9.699	8 3 8	35.54	12 3 8	77.60	16 3 8	135.87	20 3 8	210.4	24 3 8	301.1
4 1 2	10.261	8 1 2	36.61	12 1 2	79.17	16 1 2	137.95	20 1 2	212.9	24 1 2	304.2
4 5 8	10.839	8 5 8	37.69	12 5 8	80.76	16 5 8	140.05	20 5 8	215.5	24 5 8	307.3
4 3 4	11.433	8 3 4	38.79	12 3 4	82.37	16 3 4	142.16	20 3 4	218.2	24 3 4	310.4
4 7 8	12.042	8 7 8	39.91	12 7 8	83.99	16 7 8	144.29	20 7 8	220.8	24 7 8	313.5

Tab N°3: Volumes au mètre en fonction des diamètres (ANRH Touggourt).

VOLUME DE L'ESPACE ANNULAIRE CASING-CASING (suite et fin) (l/m) :

		Diamètre nominal du tube intérieur (pouces)																
		0 (1)	4 1/2	5	5 1/2	6 5/8	7	7 5/8	8 5/8	9 5/8	10 3/4	11 3/4	13 3/8	16	18 5/8	20	30	
	0 (2)	lm	10,30	12,69	15,36	22,34	24,88	29,58	37,87	47,10	58,74	70,16	90,80	130,0	176,2	203,0	455,8	
9 5/8	58,40	36,14	25,84	23,45	20,76	13,80	11,26	x	x									
	61,10	35,53	25,23	22,84	20,17	13,19	10,65	x	x									
	71,80	33,46	23,16	20,77	18,10	11,12	8,58	x										
10 3/4	32,75	52,60	42,30	39,91	37,24	30,26	27,72	23,02	14,73	x								
	40,50	51,15	40,85	38,46	35,79	28,81	26,27	21,57	13,28	x								
	45,50	50,15	39,85	37,46	34,79	27,81	25,27	20,57	12,28	x								
	51,00	49,13	38,83	36,44	33,77	26,79	24,25	19,55	11,26	x								
	55,50	48,27	37,97	35,58	32,91	25,93	23,39	18,69	x									
	60,70	47,26	36,96	34,57	31,90	24,92	22,38	17,68	x									
	65,70	46,30	36,00	33,61	30,94	23,96	21,42	16,72	x									
11 3/4	42,00	62,24	51,94	49,55	46,88	39,90	37,36	32,66	24,37	15,14	y							
	47,00	61,31	51,01	48,62	45,95	38,97	36,43	31,73	23,44	14,21	x							
	54,00	59,96	49,66	47,27	44,60	37,62	35,08	30,38	22,09	12,86	x							
	60,00	58,79	48,49	46,10	43,43	36,45	33,91	29,21	20,92	x								
13 3/8	48,00	81,89	71,59	69,20	66,53	59,55	57,01	52,31	44,02	34,79	23,15	x						
	54,50	80,63	70,33	67,94	65,27	58,29	55,75	51,05	42,76	33,53	21,89	x						
	61,00	79,37	69,07	66,68	64,01	57,03	54,49	49,79	41,50	32,27	20,63	x						
	68,00	78,08	67,78	65,39	62,72	55,74	53,20	48,50	40,21	30,98	19,34	x						
	72,00	77,24	66,94	64,55	61,88	54,90	52,36	47,66	39,37	30,14	18,50	x						
16	65,00	117,87	107,57	105,18	102,51	95,53	92,99	88,29	80,00	70,77	59,13	47,71	27,07	x				
	75,00	115,87	105,57	103,18	100,51	93,53	90,99	86,29	78,00	68,77	57,13	45,71	25,07	x				
	84,00	114,19	103,89	101,50	98,83	91,85	89,31	84,61	76,32	67,09	55,45	44,03	23,39	x				
18 5/8	87,50	159,74	149,44	147,05	144,38	137,40	134,86	130,16	121,87	112,64	101,00	89,58	68,94	29,74	x			
20	94,00	185,28	174,98	172,59	169,92	162,94	160,40	155,70	147,41	138,18	126,54	115,12	94,48	55,28	x			
	106,50	182,92	172,62	170,23	167,56	160,58	158,04	153,34	145,05	135,82	124,18	112,76	92,12	52,92	x			
	133,00	177,76	167,46	165,07	162,40	155,42	152,88	148,18	139,89	130,66	119,02	107,60	86,96	47,76	x			
30	267,0	407,8	397,5	395,11	392,44	385,5	392,9	378,2	369,9	360,7	349,1	337,6	317,0	277,8	231,6	204,8	x	
	310,0	397,0	386,7	384,31	381,64	374,7	372,1	367,4	359,1	349,9	338,3	326,8	306,2	267,0	220,8	194,0	x	

Tab N°4 : Volume de l'espace annulaire CASING-CASING (suite et fin) (l/m).

VOLUMES DANS LE PUIITS :

<u>Volumes dans le puits</u>																							
x																							
	Masse	Nom.	Volume	Volume	Volume	26	18 5/8	17 1/2	16	13 3/8	13 3/8	13 3/8	12 1/4	9 5/8	9 5/8	8 3/8	8 1/2	7	7	6	4 1/2		
	lbs/ft	Kg/m	Ext	Int	Acier	342.5	159.74	155.2	129.72	77.24	72#	68#	54,5#	53,5#	47#			32#	29#			13,5#	
18 5/8 - K55	87,5#	- 130,21	176.2	159.74	16.46	166.33																	
13 3/8 - K55	72#	- 107,15	90.80	77.24	13.56																		
13 3/8 - K55	68#	- 101,20	90.8	78.08	12.72		68.94	64.4	38.92														
13 3/8 - K55	54,5#	- 81,10	90.80	80.63	10.17		68.94	64.4	38.92														
9 5/8 - P110	53,5#	- 79,62	47.1	38.91	10.19					30.14	30.98	33.53	28.94										
9 5/8 - P110	47#	- 69,94	47.10	38.19	8.91					30.14	30.98	33.53	28.94										
7" - P110	32#	- 47,62	24.88	18.82	6.06									12.03	13.31	10.66	11.73						
7" - P110	29#	- 43,16	24.88	19.38	5.50									12.03	13.31	10.66	11.73						
4 1/2 - P110	13,5#	- 20,09	10.3	7.79	2.51													8.52	9.09	7.94			
9 1/2 x 3	DC	- 322,9	45.73	4.56	41.17	296.8	114.01	109.47	83.99	31.51	32.35	34.9	30.31										
8 x 2 13/16	DC	- 222,7	32.43	4.37	28.06	310.1	127.31	122.77	97.29	44.81	45.65	48.2	43.61										
6 1/2 x 2 13/16	DC	- 136,4	21.41	4.37	17.04		138.33	133.79	108.31	55.83	56.87	59.22	54.63	15.5	16.78	14.13	15.2						
4 3/4 x 2 1/4	DC	- 69,7	11.43	2.57	8.86									34.91	38.19			7.39	7.95	6.81			
5"HW	50#	- 73,5	13.97	4.61	9.36	329.7	145.77	141.23	115.75	63.27	64.11	66.66	62.07	22.94	24.22	21.57	22.64						
3 1/2"HW	25#	- 37,7	7.00	2.19	4.81					70.24				27.91	31.19			11.80	12.38	11.24			
5"DP (E)	19,5#	- 31,06	13.11	9.15	3.96	329.7	146.63	142.09	116.61	64.13	64.97	67.52	62.93	23.8	25.08	22.43	23.5						
5"DP (X)	19,5#	- 31,83	13.16	9.1	4.06		146.58	142.04	116.65	64.08	64.92	67.47	62.88	23.75	25.03	22.38	23.45						
5"DP (G)	19,5#	- 32,55	13.20	9.05	4.15		146.54	142	116.52	64.04	64.88	67.43	62.84	23.71	24.99	22.34	23.41						
3 1/2DP (E)	13,5#	- 20,76	6.50	3.86	2.64		153.24	148.7	123.22	70.74	71.58	74.13	69.54	30.41	31.69			12.32	12.88	11.7			
3 1/2DP (G)	13,5#	- 21,89	6.61	3.82	2.79		153.13	148.59	123.11	70.63	71.47	74.02	69.43	30.3	31.58			12.21	12.77	11.6			
3 1/2DP (E)	15,5#	- 24,65	6.57	3.42	3.14		159.74	155.2	129.72	77.24	78.08	80.63	76.04	28.31	31.59	28.94	30	12.2	12.78	11.64			
3 1/2DP (G)	15,5#	- 25,37	6.60	3.37	3.23		159.74	155.20	129.72	77.24	78.08	80.63	76.04	28.65	31.93	29.28	30.34	12.54	13.12	11.98			
3 1/2 TBG	9,2#		6.26	4.54	1.72		153.48	148.94	123.46	70.98	71.82	74.37	69.78	30.65	31.93	29.28	30.35	12.56	13.12	12			
2 7/8 TBG	7,7#		4.21	2.73	1.48		155.53	150.99	125.51	73.03	73.87	76.42	71.83	32.7	33.98	31.33	32.4	14.61	15.17	14	3.58		
2 3/8 TBG	4,6#		2.88	2.02	0.86		156.86	152.32	126.84	74.36	75.2	77.75	73.16	34.03	35.31	32.66	33.73	15.94	16.5	15.4	4.91		

Tab N° 5 : Volumes dans le puits (ANRH Touggourt).

Résumé :

Ce travail s'intéresse à la réalisation d'un ouvrage de captage d'eau pour l'alimentation en eau potable d'une institution pénitencière, sise à Touggourt. Il se localise entre les latitudes $32^{\circ} 54'$ et $34^{\circ} 9' N$ et les longitudes $5^{\circ} 30'$ et $6^{\circ} 20' E$, sur une altitude avoisinant les 70 m. Cette circonscription est connue par son climat désertique (hyperaride) caractérisé par un été chaud et sec et un hiver frais et par conséquent, les températures sont élevées (période estivale) pouvant atteindre une moyenne annuelle de $23^{\circ}C$, et des précipitations faibles et irrégulières (n'ayant pratiquement aucun rôle dans la recharge des nappes) d'une moyenne annuelle d'environ 63mm/an. Notre suivi s'est surtout axé sur le forage des diverses phases (tube guide, colonnes de surface, d'exploitation ...etc), pose et cimentation de colonnes de casing, mise en place du massif de gravier additionnel (MGA), développement de l'ouvrage et descente de la pompe. Le calcul s'est porté sur le choix du diamètre final (de la crépine) et l'harmonisation des différents diamètres d'outils, de la garniture et celle de tubage. L'opération s'est achevée sans aucun problème notable, assurant un débit de 15,5l/s.

ملخص:

خلال فترة تربصنا في نهاية الدراسة ، حضرنا أشغال حفر بئر مياه لإمداد مياه الشرب لمؤسسة عقابية ، تقع بتقرت بين خطي عرض $32^{\circ} 54'$ و $34^{\circ} 9'$ شمالاً وخطي طول 5 درجات 30' و $6^{\circ} 20'$ شرقاً على ارتفاع حوالي 70 مترًا. تشتهر هذه الدائرة بمناخها الصحراوي (شديد الجفاف) الذي يتميز بصيف حار وجاف وشتاء بارد وبالتالي تكون درجات الحرارة مرتفعة (فترة الصيف) التي يمكن أن تصل إلى معدل سنوي 23 درجة مئوية ، وانخفاض هطول الأمطار وعدم انتظامها. ليس لها دور عملياً في تغذية المياه الجوفية) بمتوسط سنوي يبلغ حوالي 63 ملم / سنة. ركزت متابعتنا بشكل أساسي على حفر المراحل المختلفة (أنبوب التوجيه ، أعمدة السطح ، الاستغلال ، إلخ) ، ووضع وتدعيم أعمدة الغلاف ، وتركيب كتلة الحصى الإضافية (MGA) ، وتطوير الهيكل وخفض مضخة. ركز الحساب على اختيار القطر النهائي (للمصفاة) ومواءمة الأقطار المختلفة للأدوات والتعبئة والغلاف. اكتملت العملية دون أي مشاكل ملحوظة ، مما يضمن معدل تدفق يبلغ 15.5 لتر / ثانية.

Summary :

This work, is about the construction of a water catchment structure for the drinking water supply of a penal institution, located in Touggourt, which is located between latitudes $32^{\circ} 54'$ and $34^{\circ} 9' N$ and longitudes $5^{\circ} 30'$ and $6^{\circ} 20' E$ at an altitude of around 70 m. This constituency is known for its desert climate (hyperarid) characterized by a hot and dry summer and a cool winter and therefore the temperatures are high (summer period) which can reach an annual average of $23^{\circ}C$, and low and irregular rainfall. (having practically no role in groundwater recharge) with an annual average of about 63mm/year. Our follow-up mainly focused on the drilling of the various phases (guide tube, surface columns, exploitation, etc.), laying and cementing of casing columns, installation of the additional gravel block (MGA), development of the structure and lowering the pump. The calculation focused on the choice of the final diameter (of the strainer) and the harmonization of the different diameters of the tools, the packing and that of the casing. The operation was completed without any notable problems, ensuring a flow rate of 15.5l/s.