

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Institut de Technologie



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محمد أولحاج
- البويرة -
معهد التكنولوجيا

Département de Génie de l'Eau

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme de Licence professionnelle en :

Génie de l'eau

Thème :

**Réalisation d'un forage hydraulique dans la commune
de Djendel wilaya d'Ain Defla**

Réalisé par :

KREMIS Mohammed Elamin

Encadré par :

- Mme. HAMZAOUI Sara Maitre de conférences classe B/ Institut de technologie
- Mr. HACENE Lotfi Ingénieur de forage/ DRE Ain Defla

Corrigé par :

- Mme REZIG Amina Maitre Assistant (IT Bouira)
- Mr. HAMMID Hakim Maitre Assistant (IT Bouira)

Année Universitaire : 2021/2022

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je voudrais remercier Dieu Tout-Puissant de m'avoir hébergé Compte tenu du courage et des moyens de faire cet humble travail qui a mené à mon diplôme.

Je tiens à remercier ma superviseure universitaire, Mme Hamzaoui.S pour son aide inestimable, ses conseils et son temps pour moi.

Je remercie également tous mes professeurs de l'Institut de Technologie pour leur contribution à ma formation durant les trois années d'études.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à la Direction des Ressources en Eau d'Ain Defla pour le soutien qu'ils m'ont apporté.

J'adresse également mes sincères remerciements aux membres du jury qui ont l'honneur d'examiner ce travail.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui de près ou de loin Offrir de l'aide et des encouragements pour terminer ce travail.

KREMIS Mohamed

Elamin.

Dédicace

*Je dédie cet humble travail :
A mes chers parents seulement...*

KREMIS Mohamed

Elamin.

ملخص:

تقع بلدية جندل بولاية عين الدفلى غرب الجزائر ، من أجل التغلب على النقص في مياه الشرب لسكانها ، تلجأ إلى استغلال الخزان الجوفي للمنطقة. على أساس إنشاء الآبار عن طريق الحفر بتقنية الروتاري المستخدمة على نطاق واسع في المنطقة. في هذا السياق ، يهدف تقرير التدريب هذا إلى متابعة دراسة تحقيق الحفر الاستكشافي لجندل من حيث الجيولوجيا والجيولوجيا المائية والجيوفيزياء. كما تضمن التقرير جميع مراحل حفر الجندل بدءاً من مرحلة تجهيز الموقع حتى اختبارات الضخ مع شرح مفصل لكل مرحلة، وقد تم حساب كمية طين الحفر في كل مرحلة من مراحل الحفر والتوسيع. أخيراً، بفضل مراحل التطوير واختبارات الضخ، تمكنا من معرفة كمية تدفق المياه والمستوى الديناميكي والسكن للمياه في حفر الجندل.

الكلمات المفتاحية : بلدية جندل, الخزان الجوفي , اختبارات الضخ.

Résumé :

La commune de Djendel est située dans la wilaya d'Ain Defla, à l'ouest de l'Algérie, afin de pallier la pénurie d'eau potable pour ses habitants, elle recourt à l'exploitation de l'aquifère de la région s'appuyant sur la construction des forages par la technique Rotary largement utilisée dans la région. Dans ce contexte, ce rapport de stage vise à faire un suivi d'une étude de réalisation d'un forage d'exploratoire de Djendel en termes de géologie, d'hydrogéologie et de géophysique. Le rapport comprenait également toutes les étapes de réalisation de forage de Djendel commençant par l'étape de préparation du chantier jusqu' aux essais de pompage avec une explication détaillée de chaque étape, le calcul de la quantité de boue de forage dans chacune des étapes de forassions et d'élargissement a également été étudié. Enfin, grâce aux phases de développement et l'essai de pompage, nous avons pu connaître la quantité d'eau débitée et le niveau dynamique et statique de l'eau dans le forage Djendel.

Mots clés : La commune de Djendel, l'exploitation de l'aquifère, l'essai de pompage.

Abstract:

The municipality of Djendel is located in the state of Ain Defla, west of Algeria. In order to overcome the shortage of drinking water for its residents, it resorts to exploiting the subterranean reservoir of the region. Based on the construction of wells by drilling with the rotary technique widely used in the region. In this context, this training report aims to pursue the study of the investigation of the Djendel exploratory drilling in terms of geology, hydrogeology and geophysics. The report also included all stages of digging the chute, starting from the stage of preparing the site until the pumping tests, with a detailed explanation of each stage. The quantity of drilling mud was calculated at each stage of drilling and expansion. Finally, thanks to the development phases and pumping tests, we were able to find out the amount of water flow and the dynamic and static level of water in the Djendel pits.

Key-words: The municipality of Djendel, the subterranean reservoir, pumping tests

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Partie théorique

Chapitre I : Généralités sur les forages

Introduction.....	3
I. Généralités sur les forages	3
1. Définition d'un forage.....	3
2. L'objectif de réalisation des forages.....	3
II. Exploration et reconnaissance des forages	4
1. But d'exploration et reconnaissance des forages.....	4
2. Cartographie	4
2.1. Cartes hydrogéologiques	4
2.2. Cartes piézométriques	5
2.3. Télédétection	5
2.4. Photos aériennes	5
2.5. Cartes structurales	6
3. Méthodes géophysiques	6
3.1. Prospection par sismique de réfraction.....	7
3.2. Prospection électrique	7
4. Sondages (forages) de reconnaissance	8
III. Techniques de forage.....	8
1. Forage au marteau fond de trou (MFT).....	8
2. Forage rotary	9
3. Forage par battage	10
4. Forage par havage	10
IV. Fluides de forages (boues de forages)	11
1. Définition.....	11
2. Boue de forage.....	12
2.1. Rôle de boue de forage	12
2.2. Caractéristiques de la boue de forage	12
3. Les différents types de boue.....	13
3.1. Boue à la bentonite	13
3.2. Boue à l'huile émulsionnée	13

3.3. Boue polymère	13
4. Moyenne d'injecter la boue de forage	14
5. Circuits de fluides de forage.....	14
5.1. Circulation normale.....	14
5.2. Circulation inverse.....	15
Conclusion.....	15

Chapitre II : Présentation de la direction de ressources en eau (DRE) de la wilaya d'Ain Defla et la zone de forage

Introduction	16
I. Présentation de la direction des ressources en eau (DRE).....	16
1. Direction des ressources en eau.....	16
2. Les services de la direction.....	16
3. Missions de la direction des ressources en eau.....	17
4. Organigramme de la direction	17
II. Présentation de la zone de forage	18
1. Situation géographique.....	18
2. Situation climatique.....	18
2.1. Précipitations	18
2.2. Températures	19
Conclusion.....	21

Partie Pratique

Chapitre III : Exploration et reconnaissance du forage de Djendel

Introduction	22
I. Exploration et reconnaissance du forage de Djendel.....	22
1. Étude Hydrogéologique.....	22
2. Étude géologique.....	24
3. Stratigraphie de la zone de forage	24
4. Hydrogéochimie de la zone de forage	28
5. Cadre géophysique	28
II. Technique de Rotary	30
1. Paramètres du forage de Djendel.....	30
2. Exécution du forage de Djendel	30
3. Les composants d'un appareil de forage de Djendel.....	31
3.1. Les tiges.....	31

3.2.	Les masse-tiges.....	32
3.3.	Les aléseurs	32
3.4.	L’outil de forage.....	33
4.	Équipements d’entraînement de la garniture de forage de Djendel.....	34
4.1.	Le mât de forage.....	34
4.2.	Le treuil	34
4.3.	Le moufle mobile	35
4.4.	La table de rotation.....	35
4.5.	Pompe à boue	36
4.6.	Tête d’injection [Swivell].....	36
4.7.	La tige d’entraînement [Kelly]	37
	Conclusion.....	37

Chapitre IV : Les phases de réalisation du forage de Djendel

	Introduction.....	39
I.	Les phases de réalisation du forage de Djendel.....	39
1.	Phase de pré-creusement	40
1.1.	Préparation du chantier.....	40
1.2.	Construction de la plateforme et installation de la machine.....	40
1.3.	La préparation des fosses à boue	41
1.4.	Préparation de la boue de forage	42
2.	Phase de creusement de l’avant puits (Tube guide)	42
2.1.	Calcul de débit injecté de la boue dans la phase de creusement de l’avant puits	43
2.2.	L’analyse du sol jusqu’ à (10 m)	43
2.3.	La cimentation du tube guide	44
3.	Phase de reconnaissance.....	46
3.1.	Calcul de débit injecté de la boue dans la phase de reconnaissance	47
3.2.	Prélèvement des échantillons	48
3.3.	Enregistrement et interprétation des diagraphies.....	49
4.	Phase d’élargissement	51
4.1.	Calcul de débit injecté de la boue dans la phase de d’élargissement.....	52
5.	Phase de tubage	53
5.1.	Tubage.....	53
5.2.	Crépine	54
5.3.	Sabot de tubage	56
6.	Phase de gravillonnage.....	56

6.1. Lavage de puits.....	56
6.2. Le massif filtrant.....	56
7. Phase de développement.....	57
7.1. Mode opératoire du développement de forage de Djendel.....	57
7.2. Résultat Air lift.....	59
7.3. Traitement à l'héxamétaphosphate.....	59
8. Phase d'essai de pompage	61
8.1. Pompage d'essai par paliers	61
8.2. Essai de pompage de longue durée.....	64
Conclusion.....	67
Conclusion générale	68
Références Bibliographiques.....	70

Liste des tableaux

Tableau 1: Précipitation moyenne mensuelle en (mm) du Haut Cheliff de (1987-2017).....	19
Tableau 2: Températures moyenne mensuelle en (C°) du Haut Cheliff de (1987-2017).....	20
Tableau 3: Log litho-stratigraphique de la plaine alluviale de la zone de forage.....	27
Tableau 4 : Fiche de sondage électrique vertical de forage de Djendel	29
Tableau 5: Les tiges utilisées dans le forage de Djendel.....	31
Tableau 6: Caractéristiques des masse-tiges utilisées dans le forage de Djendel.....	32
Tableau 7 : Caractéristiques d'aléseurs utilisées dans le forage de Djendel	32
Tableau 8: Les outils dans le forage de Djendel utilisés	33
Tableau 9: Résultat du sol jusqu' a (10 m) du forage de Djendel	43
Tableau 10: Echantillon de formation géologie de terrain du forage de Djendel.....	48
Tableau 11 : L'interprétation de la diagraphie du forage de Djendel.....	51
Tableau 12: Résultat Air lift du forage de Djendel	59
Tableau 13: Caractéristique de la pompe utilisée.....	61
Tableau 14: Essai de débit par paliers du forage de Djendel.....	62
Tableau 15 : Données du pompage d'essai de longue durée (la descente) du forage de Djendel.....	64

Liste des figures

Figure 1 : Exemple de carte hydrogéologique.....	4
Figure 2 : Exemple de carte piézométrique	5
Figure 3 : Exemple de carte structurale.....	6
Figure 4 : Schéma prospection par sismique de réfraction.....	7
Figure 5 : Schéma de la prospection électrique.....	7
Figure 6: Schéma simplifié d'une installation de forage au marteau fond de trou (MFT).....	8
Figure 7: Disposition schématique d'un atelier de forage rotary	9
Figure 8 : le principe de la technique rotary.....	10
Figure 9: Schéma simplifié d'une installation de forage au battage	10
Figure 10: Schéma simplifié d'une installation de forage par havage	11
Figure 11: Cycle du fluide sur le site de forage. (Schlumberger, 1997).....	11
Figure 12 : Circuits de fluides de forage	15
Figure 13 : Organigramme de la direction des ressources en eau de la wilaya d'Ain Deffla [10].....	17
Figure 14: Situation géographique de la zone de forage. (Google Earth)	18
Figure 15: Histogramme de la précipitation moyenne mensuelle du Haut Cheliff de (1987-2017)	19
Figure 16: Histogramme de la température moyenne mensuelle en (C°) du Haut Cheliff de (1987-2017)	20
Figure 17: La coupe transversale de la plaine du Haut Cheliff (carte hydrogéologique du Nord d'Algérie 1/200 000) (ANRH de Blida, 2005)	23
Figure 18: Colonne litho stratigraphique synthétique et comportement hydrogéologique des différentes formations géologiques (kirreche, 1993).....	26
Figure 19: Diagrammes de Piper, [14]	28
Figure 20: Carte de position de profils géo électrique et d'iso résistivité AB=800 m du forage de Djendel (DRE d'Ain Deffla 2022).....	29
Figure 21: L'appareil du forage.....	31
Figure 22: Les tiges de forage	31
Figure 23: Les masse-tiges de forage	32
Figure 24 : Travail d'un Outil tricône de forage	34
Figure 25: Mât de forage	34
Figure 26: Le treuil.....	34
Figure 27: Le moufle mobile.....	35
Figure 28 : La table de rotation	35
Figure 29 : pompe à boue	36

Figure 30: Tête d'injection [Swivell]	37
Figure 31: La tige d'entraînement [Kelly].....	37
Figure 32 : Organisation du chantier du forage de Djendel	40
Figure 33: Installation de forage rotary en Djendel.....	41
Figure 34 : Les fosses à boue du forage de Djendel.....	41
Figure 35: La bentonite	42
Figure 36 : Outil de forage 24'' du forage de Djendel	42
Figure 37 : Tube guide 20''	44
Figure 38: Préparation le lait de ciment	46
Figure 39: Outil de forage 12'' du forage de Djendel	47
Figure 40 : Etude des enregistrements de la diagraphie du forage de Djendel (DRE d'Ain Deffla 2022) .	50
Figure 41 : Outil de forage 19'' du forage de Djendel	52
Figure 42: Mise en place du tubage et crépine du forage de Djendel.....	55
Figure 43 : Lavage de puits	56
Figure 44: Le massif filtrant.....	57
Figure 45: Schéma de développent du forage de Djendel	58
Figure 46 : L'héxamétaphosphate	59
Figure 47: Schéma du forage de Djendel	60
Figure 48 : Courbe de rabattement en fonction de débit $S=f(Q)$	62
Figure 49: Droit representative rabattement spécifique en fonction de débit.....	63

Liste des abréviations

- DRE : Direction des Ressources en Eau.
- ANRH : Agence nationale des Ressources Hydrauliques.
- ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures.
- TNRS : Le matériau dont est fait le tubage.
- Q : Débit d'injecter la boue (galon/minute).
- D : Diamètre de l'outil de forage.
- P : Moyenne mensuelle des précipitations en (mm).
- T : Moyenne mensuelle des températures en (°C).
- V_c : Le volume de laitier de ciment (m^3).
- D : Le diamètre de puits (m).
- d : Le diamètre de tubage (m).
- H : La hauteur de tubage (m).
- h : La hauteur du bouchon de ciment (m).
- K_1 : Coefficient de perte de ciment (1.2 – 1.25).
- K : Coefficient de la variation de diamètre (1 – 1.05).
- P_c : La quantité de ciment.
- M_v : Masse volumique de ciment ($1.176 \text{ ton}/m^3$).
- V_e : Le volume d'eau (m^3).
- Δs : Abaissement de niveau par cycle logarithmique de temps.
- Q : Le débit de pompage en (m^3/h).
- t : Le premier temps de pompage en (s).
- T : La transmissivité (m^2/s).
- r : Rayon d'action.
- S : Coefficient d'emmagasinement.

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est un facteur essentiel dans le développement de tout pays. C'est un élément essentiel à la vie humaine et est surnommé "l'or bleu".

L'Algérie s'appuie sur plusieurs sources pour l'exploitation de l'eau. Ces dernières années, la wilaya d'Ain Defla a connu une augmentation rapide au niveau de population et un développement agricole remarquable. Cette situation a entraîné une augmentation des demandes de la Direction des Ressources en Eau pour l'approvisionnement en eau. Parmi les communes qui souffrent d'un déficit du système d'approvisionnement en eau potable figure la commune de Djendel. C'est pourquoi la Direction des Ressources en Eau (DRE), en s'appuyant sur les eaux souterraines, cherche à alimenter cette commune en eau potable.

L'eau souterraine ou ce qu'on appelait autrefois "l'eau propre" est une source de base comme les autres principales sources d'eau pour plusieurs usages. L'eau souterraine peut être obtenue en creusant des puits et des forages. Le forage se fait en plusieurs étapes et sous la supervision de spécialistes dans ce domaine, et comme le domaine de forage est très vaste, il existe plusieurs techniques et méthodes de forassions. La technique rotary est la plus courante et la plus utilisée à cause de ces multiples avantages et son efficacité exceptionnelle.

Dans ce contexte, les travaux qui font l'objet de notre rapport de stage porte sur le suivi de réalisation d'un forage hydraulique dans la commune de Djendel wilaya d'Ain Defla. Pour aboutir à notre objectif, le travail que nous allons présenter sera structuré par une introduction générale et deux grandes parties (théorique et pratique) suivis par une conclusion générale.

La première partie sera consiste à présenter une revue bibliographique sur les généralités des forages. Nous allons présenter les différentes techniques et les fluides de forage. Une présentation de la Direction des Ressources en Eau de la wilaya d'Ain Defla, et la zone de forage seront présentés également au cours de cette partie.

La deuxième partie de notre rapport correspondra à l'étude expérimentale qui permet dans un premier temps, de donner une appréciation sur d'exploration et la reconnaissance du forage de Djendel et cela par une étude détaillée des aspects géologiques, hydrogéologiques et géophysiques de la zone de forage. La technique Rotary utilisée pour le forage de Djendel sera

identifiée en détail. Ainsi, les équipements de forage et des outils auxiliaires utilisés vont être étudiés.

Dans un second temps, les paramètres ayant une influence sur la réalisation de forage et son rendement vont être pris en considération depuis l'étape de préparation du chantier jusqu'à l'étape des essais de pompage. La quantité de boue de forage utilisée dans chaque phase de forage va être aussi calculée.

Partie théorique

Chapitre I

Généralités sur les forages

Introduction

Le forage est un domaine industriel traitant de l'exploration et de la mise à disposition de gisements minéraux par le biais de trous de forage.

Dans ce chapitre, nous donneront un aperçu du forage, en mentionnant les avantages des techniques de forage, et la boue de forage et son rôle efficace dans le processus de forage.

I. Généralités sur les forages

1. Définition d'un forage

Le forage est un ensemble d'opérations qui permet de creuser un trou de diamètre centimétrique à décimétrique, généralement vertical et utilisé à des fins scientifiques ou économiques. Le forage d'eau est un ouvrage réalisé par des professionnels pour la mise en valeur des eaux profondes. Les puits traditionnels ne permettent pas d'assurer une alimentation durable des populations dans un contexte de changement climatique, caractérisé par un déficit pluviométrique et une diminution corrélative de la recharge des nappes superficielles. Le forage qui permet de capter les eaux profondes inaccessibles à partir des moyens traditionnels, apparaît comme une alternative, donc une stratégie d'adaptation au contexte actuel de changement climatique [1].

2. L'objectif de réalisation des forages

La réalisation d'un forage répond avant tout à un besoin, un usage auquel on le destine. Cet usage peut être varié. On peut citer [2]:

- Production d'eau propre à la consommation humaine ;
- Irrigation des cultures agricoles ;
- Fournir de l'eau pour la consommation animale ;
- Fournir et stocker de l'eau en cas de crise ;
- La géothermie, et le thermalisme.

II. Exploration et reconnaissance des forages

1. But d'exploration et reconnaissance des forages

L'étude géologique et hydrogéologique et l'utilisation des cartes géologiques et hydrogéologiques est une étape très importante avant de se lancer dans le processus de fouille car le terrain est inconnu. Les moyens de reconnaissance doivent être mis en œuvre pour compléter l'étude géologique de surface, et donc nous insistons sur le fait que la campagne de reconnaissance doit toujours être menée de manière et avec précision. Le type d'appareil doit être choisi en fonction du terrain de la zone dans laquelle le forage sera effectué et surtout de la nature du problème à résoudre [2].

2. Cartographie

L'utilisation de la cartographie géologique et hydrogéologique permette d'avoir des informations concernant les caractéristiques (nature et qualité) de l'aquifère et des différentes formations où se trouve. Ces informations sont en particulier :

2.1. Cartes hydrogéologiques

Les données obtenues par études géologiques et structurales conduisent à la réalisation des cartes et coupes hydrogéologiques. Ces coupes hydrogéologiques sont élaborées par la superposition sur des coupes géologiques, des données de l'écoulement souterrain (la surface piézométrique, la surface d'alimentation directe ou indirecte, le drainage et les pertes en surface et en profondeur) [2].

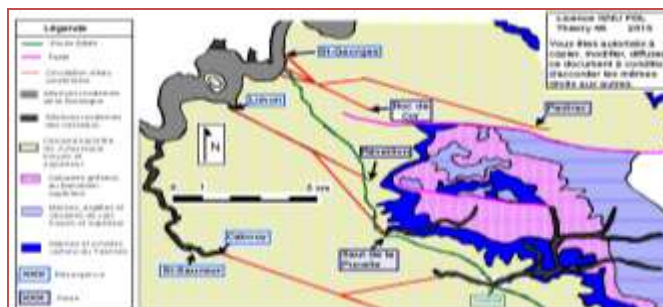


Figure 1 : Exemple de carte hydrogéologique

2.2. Cartes piézométriques

Les cartes piézométriques présentes en un temps donné, la distribution spatiale de la charge hydraulique. Elles sont obtenues par les mesures des niveaux piézométriques.

L'analyse de la surface piézométrique vise le tracé des lignes de courant et l'indication sur elles le sens d'écoulement dont des courbes fermées traduisent des dômes (sommets) caractérisant des zones d'alimentation, ou bien des dépressions des zones de captage [2].

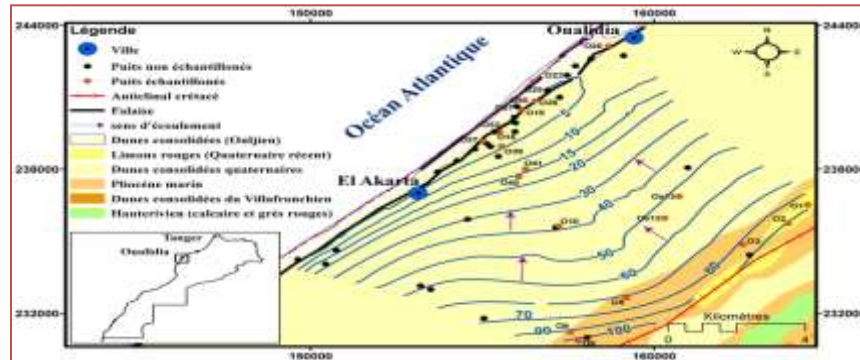


Figure 2 : Exemple de carte piézométrique

2.3. Télédétection

Réalisée par des images satellitaires, elle permet le traitement numérique des images pour mieux systématiser et simplifier le traitement de l'information, et en même temps la reconstitution de documents à des échelles différentes. Elle permet encore l'identification des structures géologiques et des matériaux de surface, l'identification des zones humides (résurgences, affleurements de nappes, zones de recharge), et l'obtention et la mise à jour de l'occupation de sol pour l'évaluation de la vulnérabilité des nappes [2].

2.4. Photos aériennes

La photographie aérienne peut fournir des informations qui ne peuvent pas être directement observées sur le terrain ; certaines failles et anciens lits de rivières. Elle forme aussi un moyen efficace pour l'identification et l'analyse des fractures, qui constituent des lignes naturelles d'une taille infra- kilométrique sur la photo aérienne, les traces linéaires dont la largeur dépasse l'ordre de kilomètre sont appelées linéaments, qui représente fréquemment

des zones de grande perméabilité. Elle indique aussi des informations essentielles pour l'implantation des forages et puits [2].

2.5. Cartes structurales

Les cartes structurales dont leur but est de présenter les formations perméables (réservoir), sont élaborées par la synthèse des données géologiques, des conditions aux limites et des paramètres hydrodynamiques (perméabilité, pente, vitesse, gradient hydraulique). Ce type de cartes permet d'établir la carte isohypse (d'égale altitude), la carte isobathe (d'égale profondeur), et la carte isopaches (d'égale épaisseur de l'aquifère) [2].

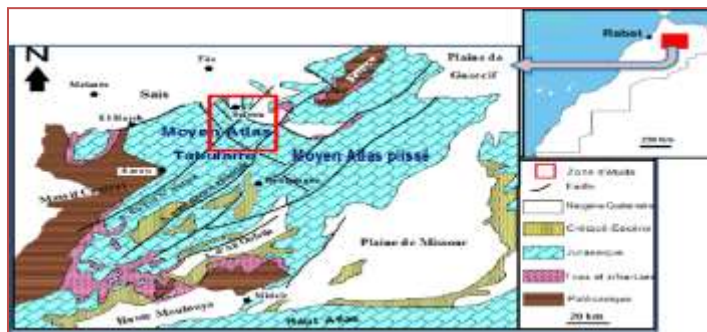


Figure 3 : Exemple de carte structurale

3. Méthodes géophysiques

Les méthodes géophysiques consistent à effectuer depuis la surface du sol, des mesures de paramètres physiques dont l'interprétation permet d'imaginer la nature, la structure et les caractéristiques du sous-sol. [3]

Les informations recherchées par ces méthodes sont :

- L'épaisseur et la nature du recouvrement ;
- La présence et la nature des zones fissurées ;
- L'existence des fractures ;
- La localisation et les caractéristiques de l'aquifère.

3.1. Prospection par sismique de réfraction

Le principe de la sismique de réfraction est qu'un ébranlement à la surface de sol, se propage dans le sol en s'amortissant à la façon d'une onde sonore. La sismique de réfraction consiste à étudier la propagation des ondes élastiques (ondes longitudinales). Leurs temps d'arrivée, mesurés en différents sismographes ou géophones (récepteurs des ondes sonores) disposés le long d'un profil, sont par la suite portées en graphique en fonction des distances de ces géophones. Si au point d'explosion E (point d'ébranlement : point d'impact) [3].

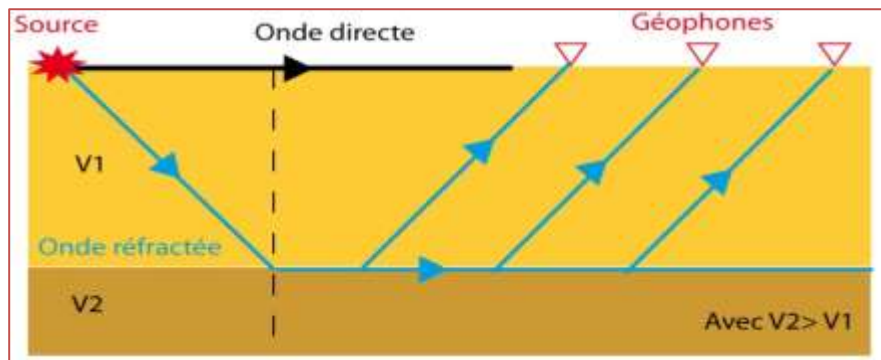


Figure 4 : Schéma prospection par sismique de réfraction

3.2. Prospection électrique

La prospection électrique permet d'étudier les variations latérales et verticales de la résistivité apparente du sous-sol. Pour cela, on envoie dans le sol, grâce à des électrodes A et B, un courant d'intensité I , puis on mesure la différence de potentiel ΔV , produit par l'effet d'Ohm, entre deux électrodes de référence M et N (dispositif quadripôle). En appliquant la loi d'Ohm [3].

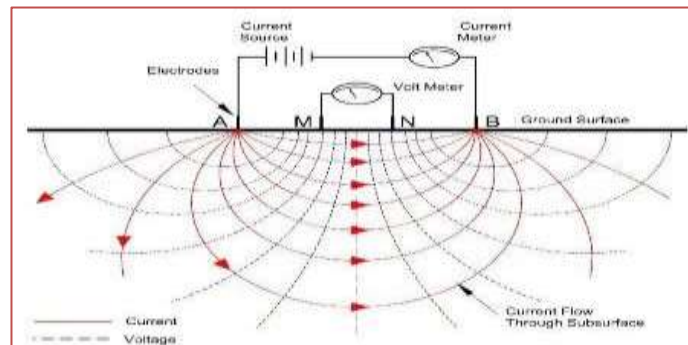


Figure 5 : Schéma de la prospection électrique

4. Sondages (forages) de reconnaissance

Les sondages de reconnaissances sont des puits de petit diamètre de l'ordre de 6 à 8 cm, dont leur réalisation et équipement est similaire à ceux des forages d'exploitation. Les sondages (forages) de reconnaissance permettent de vérifier les hypothèses émises et apportent des informations indispensables (investigation, mesures et essais, prélèvement d'échantillons d'eau et de sol, observations périodiques) comme ils permettent d'effectuer des diagaphies et des essais de pompage [3].

III. Techniques de forage

Il existe de nombreuses méthodes de forage dont la mise en œuvre dépend de paramètres très divers, on cite à titre d'exemple le forage marteau fond du trou (MFT), forage rotary, forage par battage, forage par havage.

1. Forage au marteau fond de trou (MFT)

Cette méthode de forage utilise un marteau rotatif pneumatique, et ce marteau est muni de tranchants qui aident au forage, d'où le nom de "marteau fond de trou" [4].

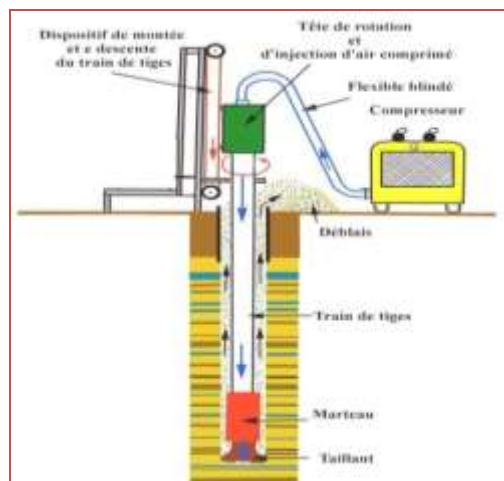


Figure 6: Schéma simplifié d'une installation de forage au marteau fond de trou (MFT)

2. Forage rotary

La méthode de foration rotary utilise un outil (trépan) monté au bout d'une ligne de sonde (tiges vissées les unes aux autres), animé d'un mouvement de rotation de vitesse variable et d'un mouvement de translation verticale sous l'effet d'une partie du poids de la ligne de sonde ou d'une pression hydraulique [04].

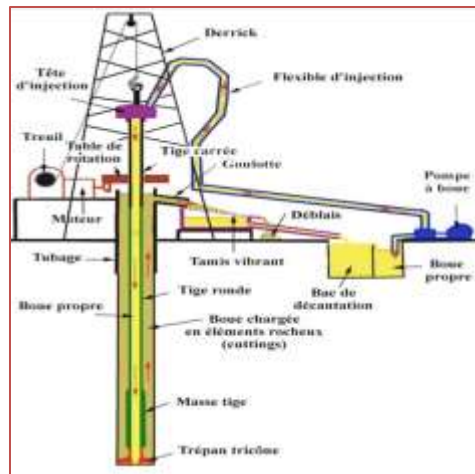


Figure 7: Disposition schématique d'un atelier de forage rotary

➤ Principe de la technique Rotary

Un outil appelé tricône est mis en rotation depuis la surface du sol par l'intermédiaire d'un train de tiges. L'avancement de l'outil s'effectue par abrasion et broyage du terrain sans choc, mais uniquement par translation et rotation.

La circulation d'un fluide permet de remonter les cuttings à la surface. La boue est injectée à l'intérieur des tiges par une tête d'injection à l'aide d'une pompe à boue, et remonte dans l'espace annulaire en mouvement ascensionnel, en circuit fermé sans interruption. La boue tapisse les parois non encore tubées.

Un accroissement du volume de boue est l'indice d'une venue de fluide souterrain dans le forage. Une perte de volume indique une zone fissurée ou dépressionnaire. Le forage en perte de circulation peut être dangereux pour la ligne de sonde et l'ouvrage. Le dépôt de la boue qui recouvre les parois d'une formation aquifère de faible pression peut gêner la détection de cette formation [5].

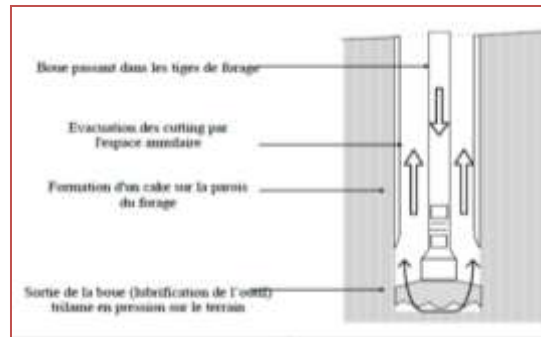


Figure 8 : le principe de la technique rotary

3. Forage par battage

La méthode consiste à soulever un outil lourd (trépan) et à le laisser retomber sur le terrain à traverser. La hauteur et la fréquence de chute varient selon la dureté des formations [4].

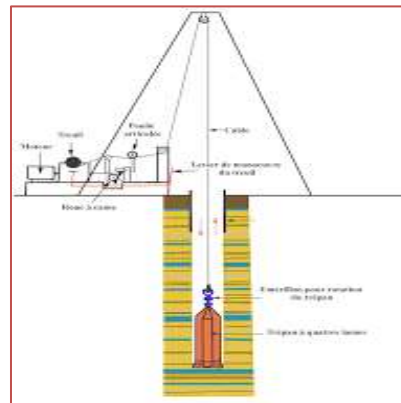


Figure 9: Schéma simplifié d'une installation de forage au battage

4. Forage par havage

Le forage par havage est plus connu sous le nom de procédé Bento : dans ce type de forage par curage ou havage, les tubages pénètrent dans la formation sous l'effet de leur propre poids ou sous l'action de vérins hydrauliques. Une benne preneuse "vide" progressivement l'intérieur du tubage tant que celui-ci se trouve au-dessus du niveau statique. Au-dessous du niveau statique, l'emploi d'une soupape est recommandé [4].

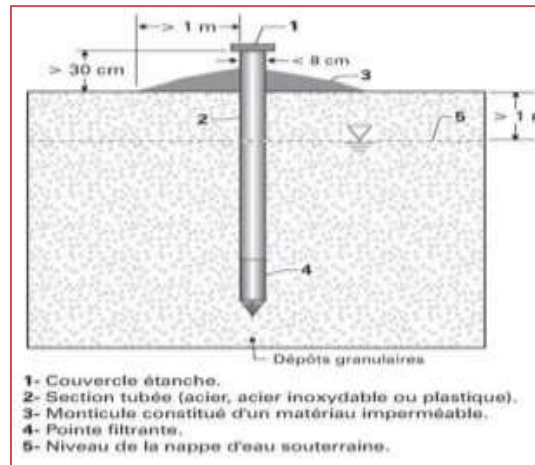


Figure 10: Schéma simplifié d'une installation de forage par havage

IV. Fluides de forages (boues de forages)

1. Définition

Le fluide de forage, est un système composé de différents contenant en suspension d'autres additifs minéraux et organiques (argiles, polymères, tensioactifs, déblais, ciments, le fluide est préparé dans des bacs à boues, il est injecté à l'intérieur des tiges jusqu'à l'outil d'où il remonte dans l'annulaire, chargé des déblais formés au front de taille. A la sortie du puits, il subit différents traitements, tamisage, dilution, ajout de produits, de façon à éliminer les déblais transportés et à réajuster ses caractéristiques physico-chimiques à leurs valeurs initiales. Il est ensuite réutilisé [6].



Figure 11: Cycle du fluide sur le site de forage. (Schlumberger, 1997)

2. Boue de forage

2.1. Rôle de boue de forage

Le rôle de la boue de forage est multiple:

- Remonter en surface les déblais depuis le fond du trou ;
- Refroidir l'outil de forage (tricot) ;
- Faciliter le travail de l'outil sur la roche ;
- Alléger le poids du train de tiges (poussée d'Archimède). [7]

2.2. Caractéristiques de la boue de forage

Les caractéristiques des fluides de forage sont généralement basées sur les paramètres suivants :

2.2.1. Caractéristiques physico- chimiques

- **Densité** : Une boue dense favorise l'ascension des cuttings et permet l'équilibre des pressions hydrostatiques.

2.2.2. Caractéristiques rhéologiques

- **Viscosité** : une viscosité élevée provoque des difficultés pour le pompage de la boue, alors qu'une boue à viscosité moins élevée perd sa propriété pour consolider les parois.
- **Filtrat** : c'est la propriété de laisser filtrer de l'eau au travers des parois.
- **Cake** : c'est la propriété de laisser déposer une couche d'argile sur la paroi. Il joue le rôle inverse de filtrat. Le cake ne se forme pas sur une paroi non perméable.
- **Thixotropie** : c'est la propriété d'une boue de passer d'une consistance rigide à un aspect fluide sous l'effet de brassage (agitation).
- « **Yield value** » : c'est la tension limite de cisaillement au-dessus de laquelle le fluide ne s'écoule pas.
- **Teneur en sable** : provenant du terrain de forage, le sable est dangereux par son action abrasive dans tout le circuit où il circule (spécialement pour les pompes à boue).
- **PH** : le pH permet d'indiquer l'acidité ou l'alcalinité de la boue. [8]

3. Les différents types de boue

Il existe trois types de boue de forage :

3.1. Boue à la bentonite

La bentonite c'est une variété d'argile très fine, la dimension des particules est inférieure à 1 μm et de densité de 2,6. A l'hydratation ; le volume devient 12 à 15 fois et parfois 30 fois plus grand. Un gramme de bentonite dispersé dans l'eau offre 4 à 5 m^2 de surface de contact.

On ajoute parfois à la boue de bentonite des additifs pour :

- La rendre compatible avec le terrain, ou avec la pression de la nappe ;
- Redonner à la boue ses propriétés initiales.

On distingue deux catégories de bentonite : les bentonites calciques naturelles et les bentonites sodiques naturelles qui sont les plus utilisées pour les boues de forage [3].

3.2. Boue à l'huile émulsionnée

Dans les terrains ayant la propriété, en s'hydratant, d'augmenter considérablement de volume, à tel point que l'outil risque de se bloquer au fond du trou, ce qui peut occasionner de grosses pertes de temps pour tenter de le dégager par des instrumentations délicates. Dans ce cas, il est conseillé d'ajouter à la boue du silicate de soude ou de la chaux ou de l'amidon dont ces matières ayant également la propriété de réduire l'hydratation. Autrement, l'emploi de la boue à l'huile qui est également indiqué.

Il s'agit d'émulsion soit d'eau dans l'huile ou d'huile dans l'eau suivant les pourcentages relatifs. On obtient en ajoutant à la boue classique (eau plus bentonite) de 5 à 25 % de gasoil et un émulsifiant organique [3].

3.3. Boue polymère

C'est une substance formée par l'union bout à bout de deux molécules ou plus de la même qualité de chaîne dans un autre composant d'éléments et de proportions analogues, mais à plus haut poids moléculaire et à propriétés physiques différentes. Les polymères peuvent être

utilisés directement en tant que boue ou comme additif aux boues benthoniques, et sont subdivisés en polymères naturels et polymères artificiels (synthétiques) [3].

4. Moyenne d'injecter la boue de forage

La formule suit pour déterminer le débit injecté de la boue de forage :

Avec :

$$Q = 5D^2$$

- **Q** : débit d'injecter la boue (galon/minute) ;
- **D** : diamètre de l'outil de forage (pouce) ;
- **1 galon américaine** = 3,785 litres [9].

5. Circuits de fluides de forage

La circulation de fluides dans le forage s'opère en deux modes:

5.1. Circulation normale

Dans le circuit normal le fluide se refoule dans le train de tiges à partir de la pompe à boue (à partir de compresseur s'il s'agit de l'air comprimé), circulant de haut en bas pour sortir au fond du forage à travers les trous de l'outil de forage (trépan), se mélange avec le cuttings, puis le mélange fluide- cuttings remonte, dans l'espace annulaire (espace entre les parois de forage et les parois de tubings) pour rejoindre la fosse à boue où s'effectue l'échantillonnage, l'analyse, le traitement, l'ajustement et la décantation ; puis de nouveau il sera aspiré par la pompe à boue pour qu'il sera refoulé vers le train de tiges, et ainsi de suite [3].

5.2. Circulation inverse

Dans la circulation inverse, le fluide se refoule dans l'espace annulaire, et le mélange fluide cuttings remonte dans le train de tige en entrant par les trous se trouvant au fond du trépan [3].

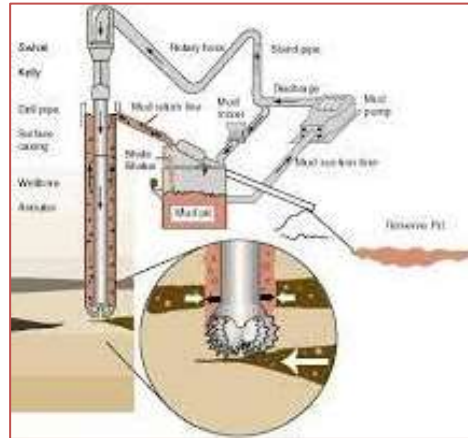


Figure 12 : Circuits de fluides de forage

Conclusion

En conclusion on peut dire que Le forage est la source d'eau sûre, durable et de bonne qualité généralement, car elle provient directement du sous-sol, alors Grâce au forage, il est possible d'avoir facilement et rapidement accès à l'eau potable.

Beaucoup de méthode de forassions existe et chaque méthode présente des conséquences et des avantages. Le choix d'une méthode à autre est contrôlé et vérifié par plusieurs factures (facilité ; cout, nature du terrain) Mais le forage au rotary est la technique la plus utilisable dans le monde à cause de ces multiples avantages et le cout le moins chère.

Des nouvelles technologies relatives aux outils utilisés à la fabrication et l'utilisation des fluides de forage ont beaucoup évolué afin d'apporter des meilleures solutions aux problèmes rencontrés au cours de la réalisation d'un forage pour assurer une amélioration des opérations de ce dernier.

Chapitre II

Présentation de l'entreprise d'accueil et de la zone d'étude

Introduction

La Direction des ressources en eau dispose d'un bureau spécial pour les ressources souterraines, dont la mission la plus importante de ce service est l'étude des sites de forage des puits d'eau sous plusieurs aspects avant de se lancer dans le processus de forage.

Nous avons divisé ce chapitre en deux parties :

Dans une première partie, nous avons commencé par une présentation de la direction des ressources en eau de la wilaya d'Ain Defla également les services et missions y afférents à cette dernière.

Une présentation de la zone de forage (la plaine du haut de Cheliff) sera abordée au cours de la deuxième partie.

I. Présentation de la direction des ressources en eau (DRE)

1. Direction des ressources en eau

La direction des ressources en eau est une organisation étatique qui permet à préserver et protéger l'utilisation rationnelle des ressources en eau, elle applique la réglementation régissant les ressources en eau [10].

2. Les services de la direction

- Le service d'alimentation en eau potable ;
- Le service d'assainissement ;
- Le service hydraulique Agricole ;
- Le service de l'administration des moyens ;
- Service de la mobilisation de la ressource en eau.

3. Missions de la direction des ressources en eau

- Veiller à la sauvegarde, préservation, protection et l'utilisation rationnelle des ressources en eau ;
- Rassembler les informations nécessaires ;
- Assurer la maîtrise d'ouvrage et le suivi de l'exécution des projets ;
- Veiller à l'application de la réglementation régissant les ressources en eau ;
- Instruire en relation avec l'administration centrale toutes demandes en matière d'affectation, d'utilisation et de réutilisation des ressources en eau [10].

4. Organigramme de la direction

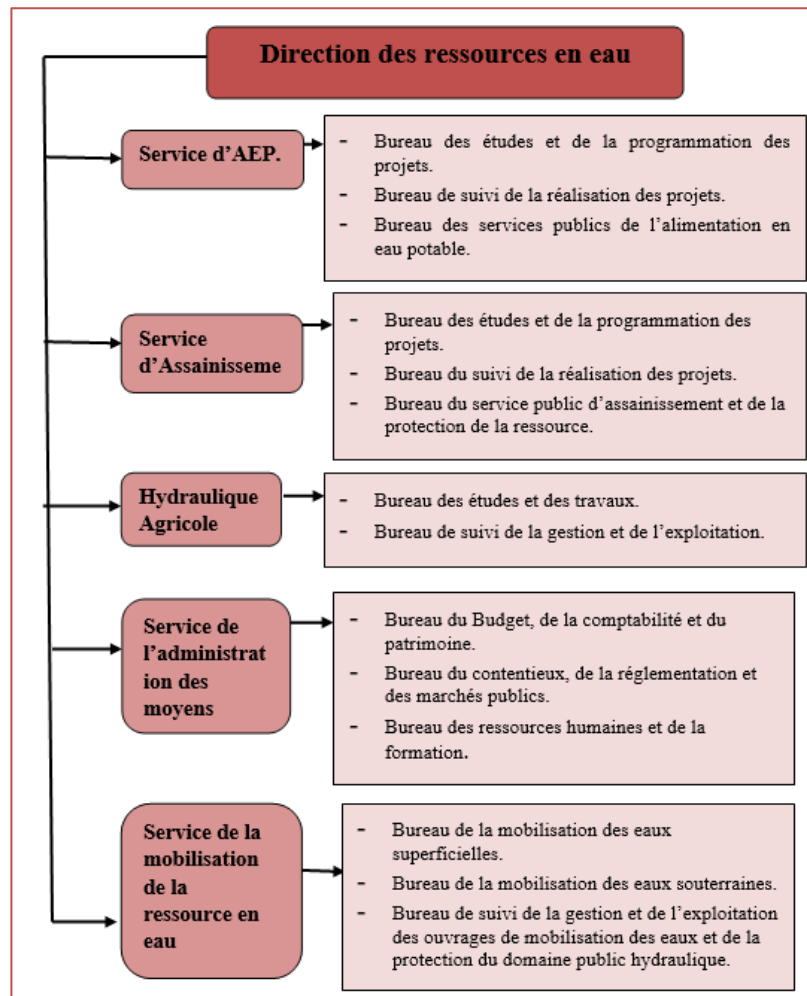


Figure 13 : Organigramme de la direction des ressources en eau de la wilaya d'Ain Deffla [10]

II. Présentation de la zone de forage

1. Situation géographique

La zone de forage est située à 3 km à l'est de la ville de Si Mesbah, municipalité de Djendel, soit entre les coordonnées Lambert : $470.3 \text{ km} < x < 470.4 \text{ Km}$ et $322.1 \text{ m} < Y < 322.2 \text{ km}$, et elle est limitée comme suit :

- Au Nord, l'Oued Cheliff ;
- Au Nord-Ouest, par la commune d'Ain soltan ;
- Au sud Est, par la commune d'Ain lechiakh ;
- Au Est, la commune de Djendel.



Figure 14: Situation géographique de la zone de forage. (Google Earth)

2. Situation climatique

Le climat du Haut Cheliff est de type méditerranéen avec un caractère de continentalité marqué par un été chaud et sec, un hiver froid et assez pluvieux, un printemps écourté (avril, mai), un automne très bref en octobre.

2.1. Précipitations

Les données climatiques disponibles pour notre zone d'étude sont prélevées au niveau de l'institut technique des grandes cultures de Khemis Miliana pour une durée de trente ans depuis 1987 jusqu'à 2017 [11].

Dans la plaine du Haut Chélif, les pluies qui tombent sont caractérisées par un régime irrégulier suivant les mois et les années [11].

Tableau 1: Précipitation moyenne mensuelle en (mm) du Haut Cheliff de (1987-2017)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Moyenne mensuelle	59,51	55,30	51,79	39,60	24,80	10,00	03,10	07,10	20,80	31,90	52,00	54,90	410,8

(Source : l'institut technique des grandes cultures de Khemis Miliana.)

D'après le tableau de la précipitation moyenne mensuelle en (mm) du Haut Chélif, nous formerons l'histogramme de la précipitation moyenne mensuelle suivante :

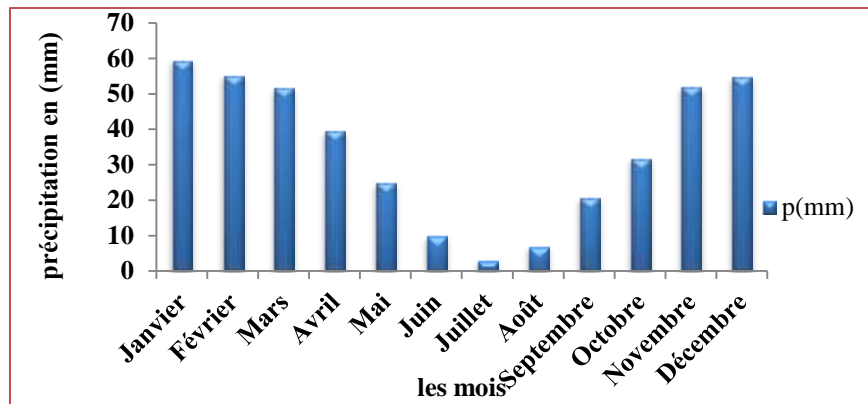


Figure 15: Histogramme de la précipitation moyenne mensuelle du Haut Cheliff de (1987-2017)

D'après l'histogramme de la précipitation, le mois le plus pluvieux est Janvier avec une hauteur pluviométrique atteinte de 59,51mm, tandis que le mois le plus sec a été marqué en Juillet avec seulement 3,10mm.

2.2. Températures

Dans cette partie, nous examinerons les températures mensuelles moyennes pendant trente ans de 1987 à 2017 [12].

Tableau 2: Températures moyenne mensuelle en (C°) du Haut Cheliff de (1987-2017)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Moyenne mensuelle	9,91	11,3	13,67	15,83	19,98	25,68	29,55	29,55	24,48	20,33	25,68	11,30	237,26

(Source : agence nationale des ressources hydrauliques de Khemis Miliana.)

Grâce au tableau mensuel de la température moyenne dans le Haut-Cheliff, nous formerons l'histogramme suivant :

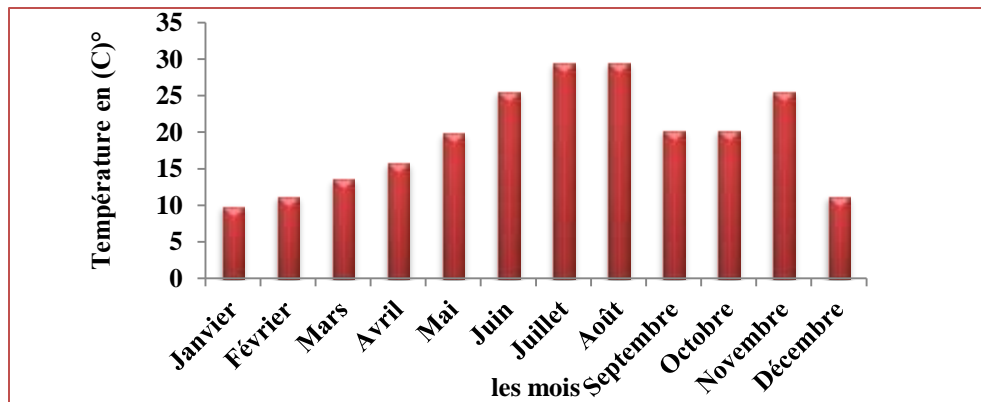


Figure 16: Histogramme de la température moyenne mensuelle en (C°) du Haut Cheliff de (1987-2017)

D'après l'analyse de l'histogramme représentant les températures moyennes mensuelles nous constatons :

- Un pôle froid allant du mois de Décembre au mois d'Mars ou la température 11.30°C dans la station de Djendel ;
- Un pôle chaud allant du mois d'Avril au mois de Novembre ou la température atteint 25.68°C dans la station de Djendel ;
- Pour les températures moyennes mensuelles minimales on constate une température minimale extrême de 9.91°C est enregistré au mois de janvier ;
- Pour les températures moyennes mensuelles maximales on constate que la température maximale extrême de 29.55°C est enregistré au mois de juillet.

Conclusion

La première partie de ce chapitre a permis la définition de la direction des ressources en eau et la connaissance de ses fonctions et ses services.

Au cours de la deuxième partie, nous avons fait une présentation de la zone de forage en termes de conditions géographiques et climatologiques.

Partie pratique

Chapitre III

Exploration et reconnaissance du forage de Djendel

Introduction

L'étude exploratoire est une étape très importante avant de se lancer dans le processus de forage, car le terrain est inconnu. Dans ce chapitre nous présenterons deux parties :

Dans la première partie, nous fournirons une étude détaillée de la zone de forage sous plusieurs aspects (c'est une étape importante avant de se lancer dans le processus de forage).

Dans la deuxième partie, nous découvrirons la technique de Rotary à savoir son principe, et paramètres.

I. Exploration et reconnaissance du forage de Djendel

Des multiples études permettent de réaliser et localiser le forage de Djendel :

- Études hydrogéologique et géologique de la zone de forage ;
- Étude hydrodynamique de la zone de forage ;
- Études géophysiques et prospection de la zone de forage.

1. Étude Hydrogéologique

D'après l'étude de la série stratigraphique et de ses caractéristiques lithologiques et structurales, on distingue une nappe phréatique représentée par les alluvions du Quaternaire, l'aquifère du Miocène et l'aquifère des calcaires de Zaccar ; mais les aquifères qui intéressent la plaine étudiée sont représentés par les alluvions quaternaires et les grès Mio-pliocènes. Cet ensemble renferme une nappe très exploitée dans la plaine, son substratum imperméable est représenté par les marnes et argiles du Miocène [9].

➤ L'aquifère alluvionnaire du Quaternaire

Les formations alluvionnaires du Quaternaire constitue l'aquifère le plus exploité dans toute la plaine du haut Chélif. Les descriptions lithologiques des forages montrent que plus de 20 % des matériaux traversés sont des sables et des graviers ou des grès et une gamme de profondeur de forage qui va de 2 à 150 m [9].

➤ L'aquifère du Miocène

Il se présente sous forme de conglomérats plus ou moins argileux et sableux, les calcaires du Miocène affleurent le long de la limite sud de la vallée, avec la présence d'espaces vides et des fissures internes ouvertes, dus à la dissolution des carbonates sous l'influence de l'infiltration de l'eau de pluie, particulièrement le long des surfaces de contact [9].

➤ Les calcaires du Jurassique

Il s'agit d'un aquifère fracturé et karstifié. Cette formation repose sur un substratum formée schistes, de quartzites et argiles du Paléozoïque et il est entouré à l'affleurement par des couches imperméables. Le contact entre les parties perméables et imperméables sur le flanc sud du massif du Zaccar est jalonné par des sources souvent captées. Sur les piémonts du massif du Zaccar, les cônes de déjection peuvent avoir un intérêt aquifère non certain [09].

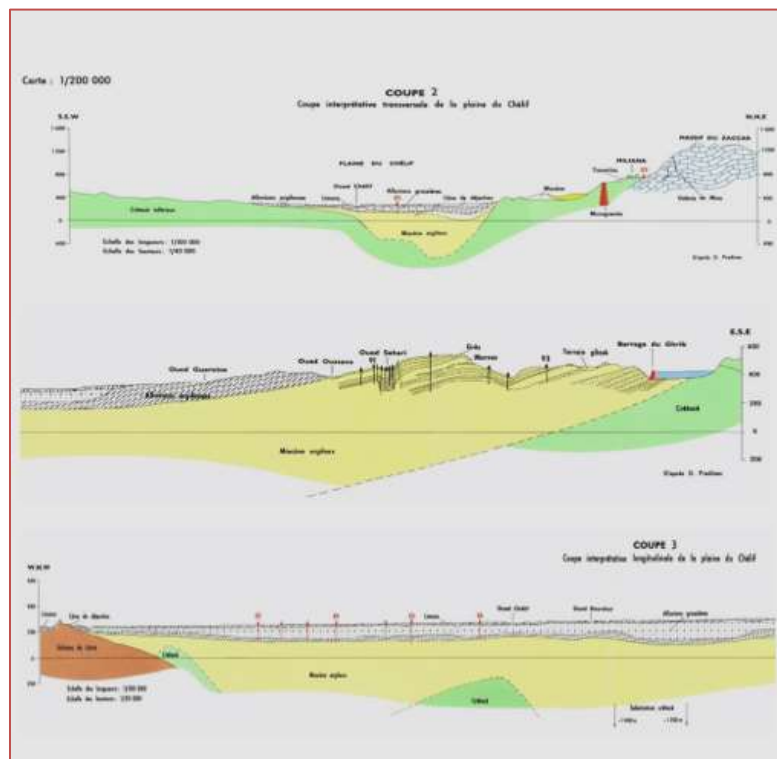


Figure 17: La coupe transversale de la plaine du Haut Cheliff (carte hydrogéologique du Nord d'Algérie 1/200 000) (ANRH de Blida, 2005)

2. Étude géologique

Le secteur de forage (forage de Djendel) est situé de point de vue géologique à la dépression du haut Chélif. Du haut Chélif est une dépression à remplissage alluvionnaire formée de deux compartiments La plaine séparés par un seuil dont l'axe passe à côté d'Oued Souffay dans la partie sud-est Ce seuil dû à une remontée du substratum créacé traduit l'avancement des terrains créacés vers le centre de la plaine. A l'ouest de l'Oued Deurdeur, le comportement Est appartenu au bassin miocène de Médéa dans lequel les formations grés-conglomératiques du Miocène sont bien développées [12].

3. Stratigraphie de la zone de forage

Les terrains à l'inté –miocènes sont représentés successivement par] :

- **Le Primaire** : il affleure à l'ouest du Doui et au nord de Zaccar, il est constitué de schistes, schistes argileux, pouding et quartzites.
- **Le Trias** : généralement formé de dolomies, calcaires domotiques, il affleure de massif de Zaccar et Doui.
- **Le Jurassique** : formé de calcaires massifs, de schistes gréseux, et de marno-calcaires, affleurant essentiellement au Doui et au Zaccar.
- **Le Crétacé** : affleure sur les bordures latérales est présenté par les formations suivantes : Les argiles schisteuses du Néocomien, les faciès flysch de l'Albien et les bancs de calcaires et marnes du Sénonien. [13].

Les terrains post-miocènes affleurent particulièrement dans la zone de forage comme suit:

- **Le Miocène inférieur** : il est constitué à la base par des conglomérats du Burdigalien, et se termine par des marnes cartésiennes.
- **Le Miocène supérieur** : il est généralement constitué de marne bleue et de lentilles sableuses.
- **Le Pliocène** : cette formation affleure largement à l'ouest de la plaine et dans la région de Sidi Lakhdar et des Arib, il est matérialisé par les alluvions anciennes de la plaine du

Haut Cheliff et l'accumulation des grés et des conglomérats, ce sont à galets quartzeux, gréseux et argileux.







- **Le Quaternaire** : il est subdivisé en deux :
 - **Quaternaire ancien** : il est formé de deux niveaux, représentés de bas en haut par de argiles graveleuses brunes généralement mieux cimentées que les terrains supérieurs terrassés dominant plus de 20 mètres.
 - **Quaternaire récent** : il est représenté par des limons bruns et des argiles ayant 10 à 20 mètres d'épaisseur, ils sont rencontrés au pied au massif de Zaccar et au sud-ouest de Doui, un niveau d'argile bleu d'une importante épaisseur a été mis en évidence dans la zone des Arib au Nord-ouest de la vallée [13].

Epaisseur (m)	Log	Lithologie	Age	Comportement Hydrogéologique
100		Limons Alluvions	Quaternaire	Perméable
100		Argiles	Pliocène	Imperméable
100		Grès et conglomérats		Perméable
200		Grès et poudingues	Miocène supérieur (Vindobonien)	Imperméable
?		Argiles		Perméable
?		Calcaires		Imperméable
300		Marnes	Miocène inférieur (Burdigalien)	Imperméable
1000		Grès et poudingues		Perméable
20		Calcaires		Imperméable
?		Grès quartzitiques	Eocène	Perméable
?		Argiles et schistes		Imperméable
?		Marnes et calcaires mameux	Senomien	Imperméable
50		Calcaires et marnes calcaires	Cénomannien	Imperméable
1000		Schistes et bancs de quartzites	Albien	Imperméable
900		Argiles schisteuses		
1000		Calcaires	Jurassique	Perméable
?		Argiles gypseuses	Trias	Imperméable
300		Schistes et quartzites	Permo-Trias	Imperméable

Figure 18: Colonne litho stratigraphique synthétique et comportement hydrogéologique des différentes formations géologiques (Kirrèche, 1993)

La colonne litho stratigraphique synthétique et comportement hydrogéologique des différentes formations géologiques nous ont permis de tracer le tableau suivant :

Tableau 3: Log litho-stratigraphique de la plaine alluviale de la zone de forage

Age		Formation	Lithologie	Epaisseur (m)	Comportement hydrogéologique	
CENOZOIQUE	Quaternaire	Quaternaire récent		6-20	Semi-perméable	
		Quaternaire ancien		50-150	Perméable	
	Pliocène			200		
		Miocène supérieur			Imperméable	
		Miocène inférieur			100-200	Perméable
MESOZOIQUE	Crétacé			200	Imperméable	
	Jurassique			150	Perméable	

4. Hydrogéochimie de la zone de forage

Pour la zone de forage, des prélèvements ont été effectués sur une vingtaine de points en 2016 avec l'aide de l'équipe ANRH de Khemis Miliana, et ces prélèvements ont été analysés au laboratoire ANRH de Blida savoir :

Température, PH, Conductivité électrique (CE), (TDS), oxygène dissous (DO), alcalinité totale (TA), dureté totale (TH), le calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), les chlorures (Cl^-), nitrates (NO_3^-).

Les études hydrogéochimiques ont montré que la composition chimique de l'eau souterraine dans la zone de forage la tendance vers le pôle calcique dans le sous triangle des Cations, alors que les anions montrent une dominance Chlorurée, le diagramme global fait ressortir les faciès : Chlorurée et sulfatée calcique et sodique en plus de Bicarbonaté Calcique [14].

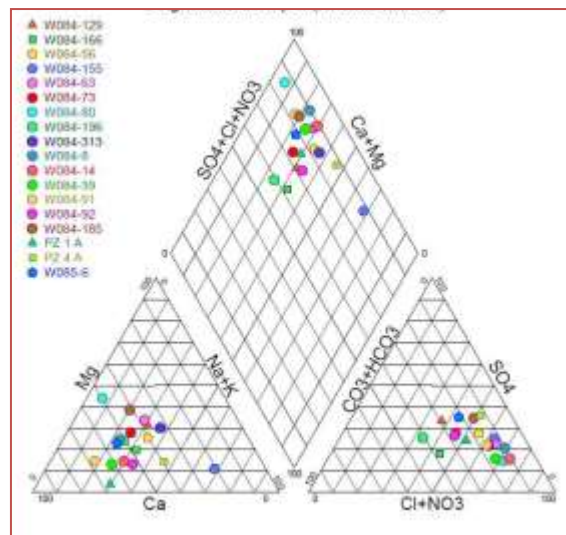


Figure 19: Diagrammes de Piper, [14]

5. Cadre géophysique

Une prospection géophysique par la méthode électrique a été réalisée au niveau de secteur d'étude, il s'agit de déterminer l'extension verticale et latérale des formations aquifères. Un sondage électrique vertical a été réalisé, pour une longueur d'émission de courant $\mathbf{AB} = 800 \text{ m}$ pour atteindre une profondeur d'investigation théorique moyenne de 160 m. Ce sondage de type Schlumberger, nous a permis de voir l'évolution de la résistivité

apparente des terrains traversés en fonction de la profondeur. Le sondage a été exécuté aux coordonnées Lambert suivants **SEV1 : X= 470.358 Km Y=322.176 Km.**

Le sondage montre une formation conductrice d'argiles quaternaires en surface de résistivité de **18 $\Omega.m$** et d'épaisseur **11 m**, suivie d'une formation moyennement résistante des alluvions grossières (galets, graviers, sables avec passages argileux) de résistivité **82 $\Omega.m$** [09].

Tableau 4 : Fiche de sondage électrique vertical de forage de Djendel

AB/2 (m)	Rrésistivité. ($\Omega.m$)	AB/2 (m)	Rrésistivité. ($\Omega.m$)	AB/2 (m)	Rrésistivité. ($\Omega.m$)	AB/2 (m)	Rrésistivité. ($\Omega.m$)
02	15,9	09	17,8	30	35,1	150	71,4
03	16,2	10	19,2	40	42,2	200	75,8
04	16,4	15	23,4	50	47	300	81,3
07	17,3	20	27,8	100	62,7	400	81,9

(Source : Direction des ressources en eau d'Ain Deffa.)

Grâce à la fiche de sondage électrique vertical de forage de Djendel. Nous avons réussi à former la carte de position de profils géo électrique et d'iso résistivité AB=800 m, elle apparaît dans la figure suivante :

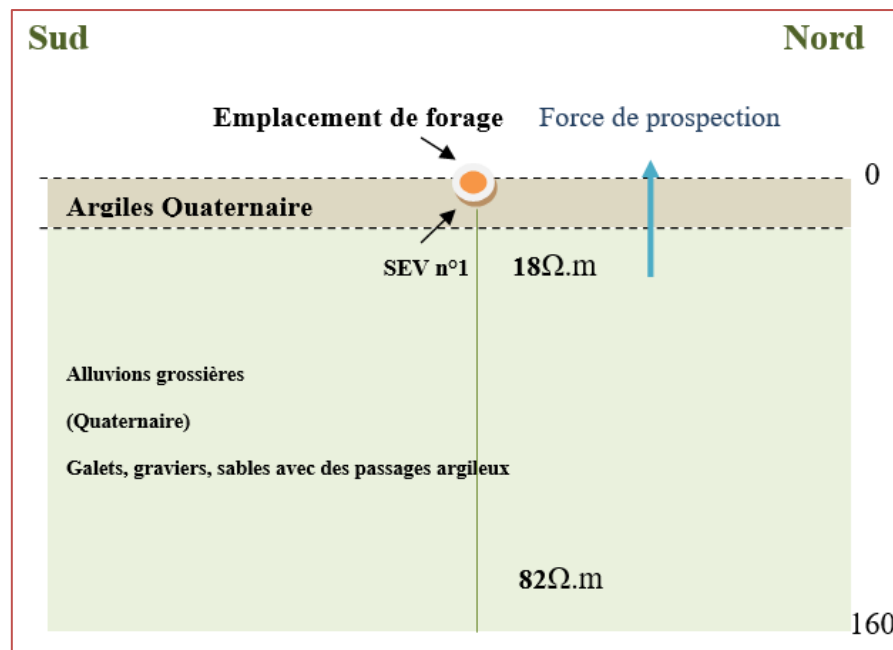


Figure 20: Carte de position de profils géo électrique et d'iso résistivité AB=800 m du forage de Djendel (DRE d'Ain Deffa 2022)

L'analyse de la carte géologique montre que les formations susceptibles d'être aquifères sont représentées essentiellement par les horizons résistants des alluvions grossières à porosité d'interstice. La prospection géophysique réalisée au niveau de secteur d'étude a montré qu'il serait possible de réaliser un forage de **140 m** de profondeur à l'emplacement du **SEV n°1 (X= 470.358 Km Y=322.176 Km)** pour capter les alluvions grossières à porosité d'interstice [09].

II. Technique de Rotary

1. Paramètres du forage de Djendel

Pour avoir le meilleur rendement d'un atelier de forage rotary de forage de Djendel, nous avons été très attentifs aux trois critères suivants :

- Le poids sur l'outil était contrôlé par le dynamomètre qui mesurait la tension du brin (file) mort du câble, il donne le poids de tout ce qui est suspendu au crochet ;
- Le dispositif rotatif était équipé d'un indicateur indiquant la vitesse de rotation de la table de rotation. C'était plus la rigidité de la terre était élevée, plus la vitesse de rotation était faible ;
- La vitesse de remontée des cuttings était d'environ 60 m/min. La puissance de la pompe et du moteur a été sélectionnée pour le volume total de boue dans le forage, et la perte de charge, la viscosité de la boue et les dimensions de la tige ont été prises en compte.

2. Exécution du forage de Djendel

Le forage en Djendel a été réalisé à l'aide de la foreuse en étoile à vitesse moyenne, d'une capacité de crochet de 35 tonnes, pouvant forer à une profondeur de 400 mètres, équipée d'une pompe à boue.



Figure 21: L'appareil du forage

3. Les composants d'un appareil de forage de Djendel

3.1. Les tiges

La tige de forage est l'élément de base de la garniture de forage, ensemble qui permet d'effectuer un forage jusqu'à plusieurs kilomètres de profondeur [15]



Figure 22: Les tiges de forage

Tableau 5: Les tiges utilisées dans le forage de Djendel

Nombre des tiges	Langueur (m)	Diamètre (mm)	Epaisseur (mm)
12	9,60	110	5

3.2. Les masse-tiges

Les masse-tige aide de :

- Met du poids sur l'outil pour éviter que les tiges de forage ne soient comprimées ;
- Joue le rôle d'un fil à plomb pour creuser un trou le plus droit et vertical possible.



Figure 23: Les masse-tiges de forage

Tableau 6: Caractéristiques des masse-tiges utilisées dans le forage de Djendel

Nombre de masse-tiges	Langueur (m)	Diamètre (mm)	Epaisseur (mm)
4	8,50	200	50

(Source : Direction des ressources en eau d'Ain Defla.)

3.3. Les aléseurs

Outil muni de lames ou de rouleaux qu'on utilise généralement pour régulariser et calibrer les parois d'un puits avant le tubage.

Tableau 7 : Caractéristiques d'aléseurs utilisées dans le forage de Djendel

	Nombre d'aléseurs	Langueur (m)	Diamètre (mm)
Aléteur de 17''	2	3	431,8
Aléteur de 19''	1	3	482,6

(Source : Direction des ressources en eau d'Ain Defla.)

3.4. L'outil de forage

Les outils de forage ont évolué au cours du temps pour répondre aux problèmes techniques du forage qui deviennent de plus en plus complexes. Toutes ces évolutions ont eu pour but d'augmenter la vitesse d'avancement et la durée de vie des outils, et donc de réduire le coût du forage.

L'outil de forage utilisé dans le forage de Djendel est Outil tricône.

3.4.1. Outil tricône

Le tricône est un outil de forage composé de trois roulettes coniques monté sur roulement ouvert ou étanche, roulettes à dents d'acier ou bille de carbure de tungstène. Le plus fréquent est le tricône à dents d'acier court, mi-court ou long pour les terrains tendres à mi-dur ou à bille de carbure de tungstène pour les terrains mi-dur à dur type roche [16]

Tableau 8: Les outils dans le forage de Djendel utilisés

Les outils	Langueur (m)	Diamètre (mm)
Un outil de diamètre ($\varnothing = 12''$)	1	304,8
Un outil de diamètre ($\varnothing = 17''$)	1	431,8
Un outil de diamètre ($\varnothing = 19''$)	1	482,6
Un outil de diamètre ($\varnothing = 24''$)	1	609,6

(Source : Direction des ressources en eau d'Ain Defla.)

3.4.2. Mode de travail d'un tricône

Sous l'effet de la compression, la dent pénètre dans la roche et l'éclate. En tournant sur elle-même sous l'effet de la rotation, la molette ripe la roche et arrache le copeau.

L'effet d'éclatement et de ripage sont complémentaires et varient en fonction du terrain, le ripage dans le cas d'un terrain tendre est plus important que dans un terrain dur, tandis que l'éclatement dans un terrain dur est plus grand que dans un terrain tendre.

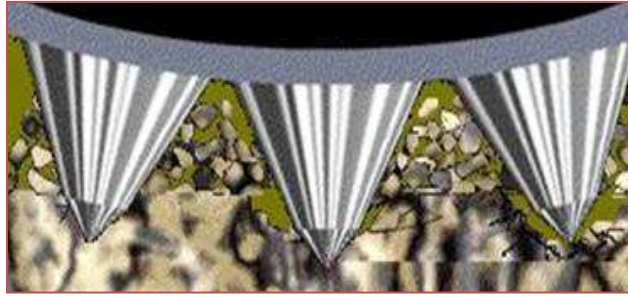


Figure 24 : Travail d'un Outil tricône de forage

4. Équipements d'entraînement de la garniture de forage de Djendel

4.1. Le mât de forage

Le mât a la particularité d'être articulé à sa base ce qui lui permet d'être assemblé ou démonté horizontalement puis relevé en position verticale en utilisant le treuil de forage et un câble de levage spécial. Les installations récentes utilisent aussi des pistons hydrauliques pour relever le mât [15].



Figure 25: Mât de forage

4.2. Le treuil

C'est le cœur de l'appareil de forage, car c'est la capacité du treuil de forage qui caractérise un appareil de forage et indique la classe de profondeur des forages que l'on pourra effectuer [18].



Figure 26: Le treuil

4.3. Le moufle mobile

Formé également d'un certain nombre de poulies par lesquelles passe le câble de forage, il se déplace sur une certaine hauteur entre le plancher de travail et le moufle fixe. Il comporte à sa partie inférieure un crochet qui sert à la suspension de la garniture pendant le forage. Des bras sont accrochés de part et d'autre de ce crochet servent à supporter l'élévateur, utilisé pour la manœuvre de la garniture [18].

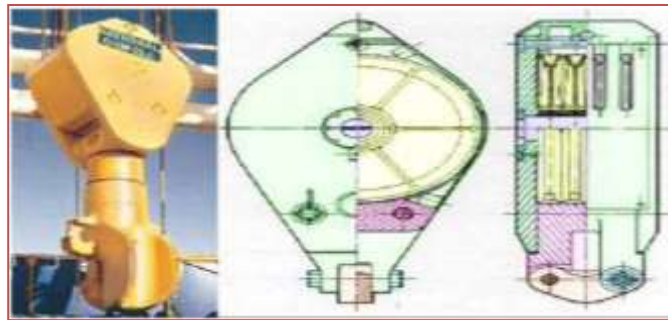


Figure 27: Le moufle mobile

4.4. La table de rotation

La table de rotation est une machine extrêmement robuste et d'une longévité importante. Opérant à l'aide des gaines d'entraînement (« carré » d'entraînement), elle entraîne la tige d'entraînement, et par suite la garniture et l'outil. Elle a également deux autres fonctions :

- Elle sert comme table pour les cales lors de la descente et de la remontée des tiges. En d'autres termes, la table de rotation soutient les cales qui supportent les tiges quand le crochet et les élévateurs sont dégagés.
- La table de rotation sert également à dévisser les joints des tiges lors de la remontée de la garniture [17].



Figure 28 : La table de rotation

4.5. Pompe à boue

La pompe à boue est l'élément essentiel de tout système de circulation. Elle doit assurer un débit compatible avec le rendement optimal du trépan utilisé.

- **Partie mécanique de la pompe** : Une pompe à boue est généralement entraînée par un moteur électrique ou un moteur à combustion interne auquel elle est reliée par une transmission à courroies trapézoïdales montées sur poulie à gorges multiples. Le mouvement de rotation ainsi imprimé à l'arbre d'attaque de la pompe est transmis par un jeu de pignons à dents hélicoïdales à l'arbre principal de la pompe. Celui-ci comporte un ensemble de manivelles et de bielles transformant le mouvement de rotation reçu en un mouvement de translation aux pistons [19].
- **Partie hydraulique de la pompe** : Se compose, en général, de cylindres horizontaux munis de clapets d'aspiration et de clapets de refoulement, d'un système d'aspiration et d'un système de refoulement comprenant, en particulier, une bouteille d'air destinée à amortir les pulsations de la pompe. Chaque cylindre comprend une chemise amovible raccordée au moyen d'une tige de piston aux bielles. Il existe pour toute pompe une gamme de chemises de différents diamètres dont l'échelonnement de ces diamètres est de $\frac{1}{4}$ de pouce en général [19].



Figure 29 : pompe à boue

4.6. Tête d'injection [Swivell]

La tête d'injection appartient autant à l'outillage de circulation de boue qu'à l'outillage de rotation. En effet, elle joue un double rôle :

- Elle sert de palier de roulement à l'ensemble du train de sonde pendant le forage ;

- Elle assure le passage de l'injection de boue venant d'une conduite fixe (flexible d'injection) dans une conduite animée d'un mouvement de rotation (train de sonde) [19].



Figure 30: Tête d'injection [Swivell]

4.7. La tige d'entraînement [Kelly]

Elle assure la liaison entre la garniture de forage et la tête d'injection et communique le mouvement de rotation de la table à la garniture de forage par l'intermédiaire du carré d'entraînement.



Figure 31: La tige d'entraînement [Kelly]

Conclusion

L'étude hydrogéologique est un processus important avant de se lancer dans le processus de forage. Pour cette raison, nous avons mené une étude détaillée de la zone du Haut-Chélif dans laquelle se trouve la zone de forage.

A été utilisé la technique de Rotary dans le forage de Djendel grâce à ces nombreux avantages adaptés à notre zone d'étude, et cette technique c'est la plus utilisée en Algérie.

Chapitre IV

Les phases de réalisation du forage de Djendel

Introduction

Après l'étude détaillée de la zone de forage, qui comprenait plusieurs aspects, et après avoir parlé du technique rotary utilisé pour le forage de Djendel, le processus de réalisation de forage a été lancé, c'est l'étape la plus difficile et la plus importante dans l'étude de la réalisation de forage, car elle passe par plusieurs étapes.

Certaines étapes prennent beaucoup de temps, et d'autres étapes se déroulent avec une grande précision, donc les conditions de forage doivent être respectées, les étapes doivent être suivies et ne pas être confondues avec elles.

Dans ce chapitre, nous aborderons toutes les étapes forage de Djendel depuis l'étape de préparation du chantier jusqu'à l'étape d'essai de pompage, et chaque étape sera expliquée en détail.

I. Les phases de réalisation du forage de Djendel

Le processus de réalisation de forage de Djendel est passé par les étapes suivantes :

- 1) Phase de pré-creusement : préparation du chantier, construction de la plateforme, installation de la machine, préparation des fosses à boue et la boue de forage ;
- 2) Phase de creusement de l'avant puits ;
- 3) Phase de reconnaissance ;
- 4) Phase d'élargissement ;
- 5) Phase de tubage ;
- 6) Phase de gravillonnage ;
- 7) Phase de développement ;
- 8) Phase des essais de pompages.

1. Phase de pré-creusement

1.1. Préparation du chantier

Après être assuré que tous les moyens nécessaires pour réaliser le forage sont disponibles, ils doivent être compatibles avec le programme provisoire présenté par l'hydrogéologue (capacité de la machine).

- La construction du site commence par l'installation de la foreuse sur une plate-forme en béton.
- Mise en place de deux auges creusées côté aspiration de la pompe à boue (l'une servant à la décantation et l'autre à la circulation). Ces deux bassins sont reliés au puits par un canal.

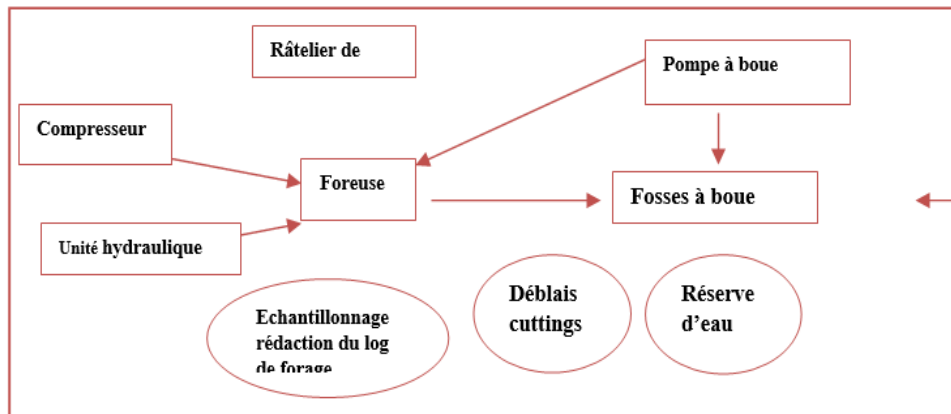


Figure 32 : Organisation du chantier du forage de Djendel

1.2. Construction de la plateforme et installation de la machine

- Cette plateforme est construite selon le modèle d'appareil à installer. Des rigoles sont aussi creusées permettant un retour de boue du puits jusqu'au bassin de circulation ;
- La machine de traction est installée sur la plate-forme au centre de l'arbre sur l'axe de l'arbre ;
- Ensuite, les vérins stabilisateurs (avant et arrière) sont activés pour d'abord ouvrir le tracteur, niveler la remorque dans la machine, puis relever le mât.



Figure 33: Installation de forage rotary en Djendel

1.3.La préparation des fosses à boue

Un trou suffisamment long pour qu'il soit à l'extérieur du poste d'amarrage du futur point d'eau afin d'éviter un nivellement différentiel sous la dalle

- **La première fosse :**(Réservoir de décantation) facilite le processus de sédimentation amorcé dans le chenal. Son volume est de $0,20 \text{ m}^3$ ($0,60 \times 0,60 \times 0,60 \text{ m}$). Le deuxième canal hors de l'axe du premier afin de former une chicane qui ralentit l'écoulement et améliore la stabilité.
- **La seconde fosse :** (Fosse de pompage) est une réserve où la boue est pompée pour l'injection de la colonne de forage. Son volume est d'environ 1 m^3 . Les fosses et les canaux sont régulièrement nettoyés des sédiments déposés lors de l'excavation.
- **Dimensionnement des fosses :** La taille de notre fosse à boue de forage est en fonction de la profondeur de forage de Djendel, alors le volume total des fosses doit être égal à trois fois le volume de forage.



Figure 34 : Les fosses à boue du forage de Djendel

1.4. Préparation de la boue de forage

Dans le forage de Djendel a été mélangé à l'eau de forage de la bentonite ou du polycol, pour augmenter la densité de l'eau et préparer une boue que l'on pourra épaissir ou alléger par la suite.



Figure 35: La bentonite

2. Phase de creusement de l'avant puits (Tube guide)

Le forage a commencé avec un outil de forage de diamètre ($\varnothing = 12''1/4$), jusqu'à une profondeur de (10 m), après ce diamètre a été élargi avec un outil de diamètre ($\varnothing = 24''$), puis a été placé le tube de guidage ($\varnothing = 20''$). Enfin, vient le processus d'installation de ce tube.



Figure 36 : Outil de forage 24'' du forage de Djendel

2.1. Calcul de débit injecté de la boue dans la phase de creusement de l'avant puits

On applique la formule de calcul, le débit injecter de la boue de forage. Utiliser un outil de forage d'un diamètre ($\text{Ø} = 12''^{1/4}$) et un outil de diamètre ($\text{Ø} = 24''$).

$$Q = 5D^2$$

Donc :

$$Q = 5(12''^{1/4})^2 = 720 \text{ (galon/min)}.$$

$$Q = 5(24'')^2 = 2880 \text{ (galon/min)}.$$

Avec : **1 galon américaine** = 3,785 litre.

$$Q = 720(3.785) = 2839.93 \text{ (litre/min)}.$$

$$Q = 2839.93 \text{ (litre/min)}$$

$$Q = 2880(3.785) = 10900.8 \text{ (litre/min)}.$$

$$Q = 10900.08 \text{ (litre/min)}$$

Plus le diamètre de l'outil de forage est grand, plus la quantité de boue de forage est importante.

Pour le forage de Djendel, il n'y a pas eu de trous dans les murs pour les 10 premiers mètres de forage, donc aucune boue de forage supplémentaire n'a été ajoutée.

2.2. L'analyse du sol jusqu' à (10 m)

Les résultats suivants représentent le type de sol recueilli dans les dix premiers mètres dans le forage de Djendel, et il s'agissait d'un sol argileux.

Tableau 9: Résultat du sol jusqu' a (10 m) du forage de Djendel

Profondeur	Type de sol	Diamètre de l'outil	Diamètre de tubage
De 0 m à 10 m	Argile	$\text{Ø} = 24''$	$\text{Ø} = 20''$

2.3. La cimentation du tube guide

Dans le forage de Djendel, a été seulement cimenté le tube de guidage. Renforcement du tube guide avec les parois du puits avec du ciment :



Figure 37 : Tube guide 20''

2.3.1. Calculer le volume de laitier de ciment

Pour calculer le volume de laitier de ciment on a appliqué la formule suivante :

$$V_c = \frac{\pi}{4} \times K_1 [(KD^2 - d^2) H + d^2 h]$$

On a :

- V_c : le volume de laitier de ciment (m³).
- D : le diamètre de puits (m).
- d : le diamètre de tubage (m).
- H : la hauteur de tubage (m).
- h : la hauteur du bouchon de ciment (m).
- K_1 : coefficient de perte de ciment (1.2 – 1.25).
- K : coefficient de la variation de diamètre (1 – 1.05).
- $K_1 = 1.25$

Avec :

- $K = 1.05$
- $D = (\text{Ø} = 24'') = 0.610 \text{ m}$ $d = (\text{Ø} = 20'') = 0.508 \text{ m}$
- $H = 10 \text{ m}$ $h = 1 \text{ m}$

Donc :

$$V_c = \frac{\pi}{4} \times 1.25 [(1.05 \times 0.610^2) - 0.508^2] 10 + 0.508^2 \times 1$$

$$V_c = 1.56 \text{ m}^3$$

La cimentation de tube guide est une étape facile, dans laquelle seuls l'eau et le ciment sont mélangés.

Pour le forage en Djendel, Le volume laitier de ciment était petit, car seulement dix mètres de fosses étaient renforcés.

2.3.2. Calcule la quantité de ciment

On a appliqué la formule suivante :

$$P_c = V_c \times M_v \text{ (ton)}$$

Avec :

- **P_c** : la quantité de ciment.
- **M_v** : masse volumique de ciment (1.176 ton/m³).
- **V_c** : le volume de laitier de ciment.

On a :

- **V_c** = 1.56 m³
- **M_v** = 1.176 ton/m³

Donc :

$$P_c = 1.56 \times 1.176$$

$$P_c = 1.834 \text{ ton}$$

2.3.3. Calcule le volume d'eau

Pour un coulis de ciment de 1,834. Nous n'avons besoin que de 100 kg de ciment et de 40 litres d'eau.

$$V_e = \frac{P_c \times 40}{100}$$

- V_e : le volume d'eau (m^3).
- P_c : la quantité de ciment.

On a :

$$P_c = 1.834 \text{ ton}$$

Donc :

$$V_e = \frac{1.834 \times 40}{100}$$

$$V_e = 0.73 \text{ m}^3$$



Figure 38: Préparation le lait de ciment

3. Phase de reconnaissance

Cette étape est importante. Elle a été mise en place à l'aide d'un outil de petit diamètre ($\emptyset = 12''1/4$) pour réaliser des progrès significatifs à moindre coût. Son but est de s'assurer que la zone en cours de forage (zone de Djendel) est une zone productive car le terrain est généralement inconnu.



Figure 39: Outil de forage 12'' du forage de Djendel

Lors de cette étape, nous devons nous vérifier que :

- Prélèvement des cuttings ;
- Durée et avancement ;
- Les paramètres du forage (poids sur l'outil, la vitesse de rotation et le débit d'injection).

A cette étape de forage (10m à 140m) forage continu avec un outil de forage d'un diamètre de ($\varnothing = 12''1/4$) jusqu'à (140m).

3.1. Calcul de débit injecté de la boue dans la phase de reconnaissance

On a appliqué la formule de calcul.

$$Q = 5D^2$$

Un outil de diamètre ($\varnothing = 12'' 1/4$) a été utilisé.

Donc :

$$Q = 5(12''^{1/4})^2 = 720 \text{ (galon/min)}$$

Avec : **1 galon américaine** = 3,785 litre.

$$Q = 720(3.785) = 2839.93 \text{ (litre/min)}$$

$$Q = 2839.93 \text{ (litre/min)}$$

Le diamètre de l'outil de forage n'a pas été modifié à cette phase, de sorte que le flux de boue de forage reste la même jusqu'à 140 m de profondeur.

L'argile a été ramollie l'eau claire pour obtenir une argile plus légère, ce qui a été fait lorsque des sols argileux traversés ont été atteints.




Pour les couches sableuses de forage, la boue de forage a été épaissie pour faciliter le forage.







3.2. Prélèvement des échantillons

Le forage à la boue permet de fournir à la surface des échantillons broyés au moment des analyses, il faudra tenir compte que ces échantillons contiennent une forte proportion de la boue de circulation. Il est toujours préférable de prendre trop d'échantillons que de regretter d'avoir un manque et de prélever les plus intéressants. C'est pourquoi des échantillons sont prélevés à chaque mètre.

Après le processus d'échantillonnage, tous les échantillons finaux ont été extraits, après quoi ils ont été séchés dans un bon four et placés dans des sacs en plastique avec des étiquettes indiquant le taux d'échantillonnage.

Tableau 10: Echantillon de formation géologie de terrain du forage de Djendel

Profondeur	Type de sol	Lithologie
De 0 m à 10 m	Argile	
De 10 m à 38 m	Gravie	
De 38 m à 55 m	Argile + Gravie	

De 55 m à 73 m	Argile	
De 73 m à 103 m	Sable + Argile	
De 103 m à 113 m	Sable	
De 113 m à 125 m	Argile	
De 125 m à 136 m	Sable	
De 136 m à 140 m	Argile+ Sable	

La description des cuttings nous a permis d'établir la coupe lithologique du forage de Djendel.

3.3. Enregistrement et interprétation des diagraphies

On appelle diagraphie tout enregistrement d'une caractéristique de la formation traversée par un sondage en fonction de la profondeur. A été enregistré les paramètres physiques (impédance, radioactivité, vitesse du son) et les paramètres techniques tels que le diamètre de l'épaisseur sonore des dépôts de roseaux. A été descendu la sonde électrique le long des trous de forage.

L'enregistrements de la diagraphie du forage de Djendel I était le suivant :

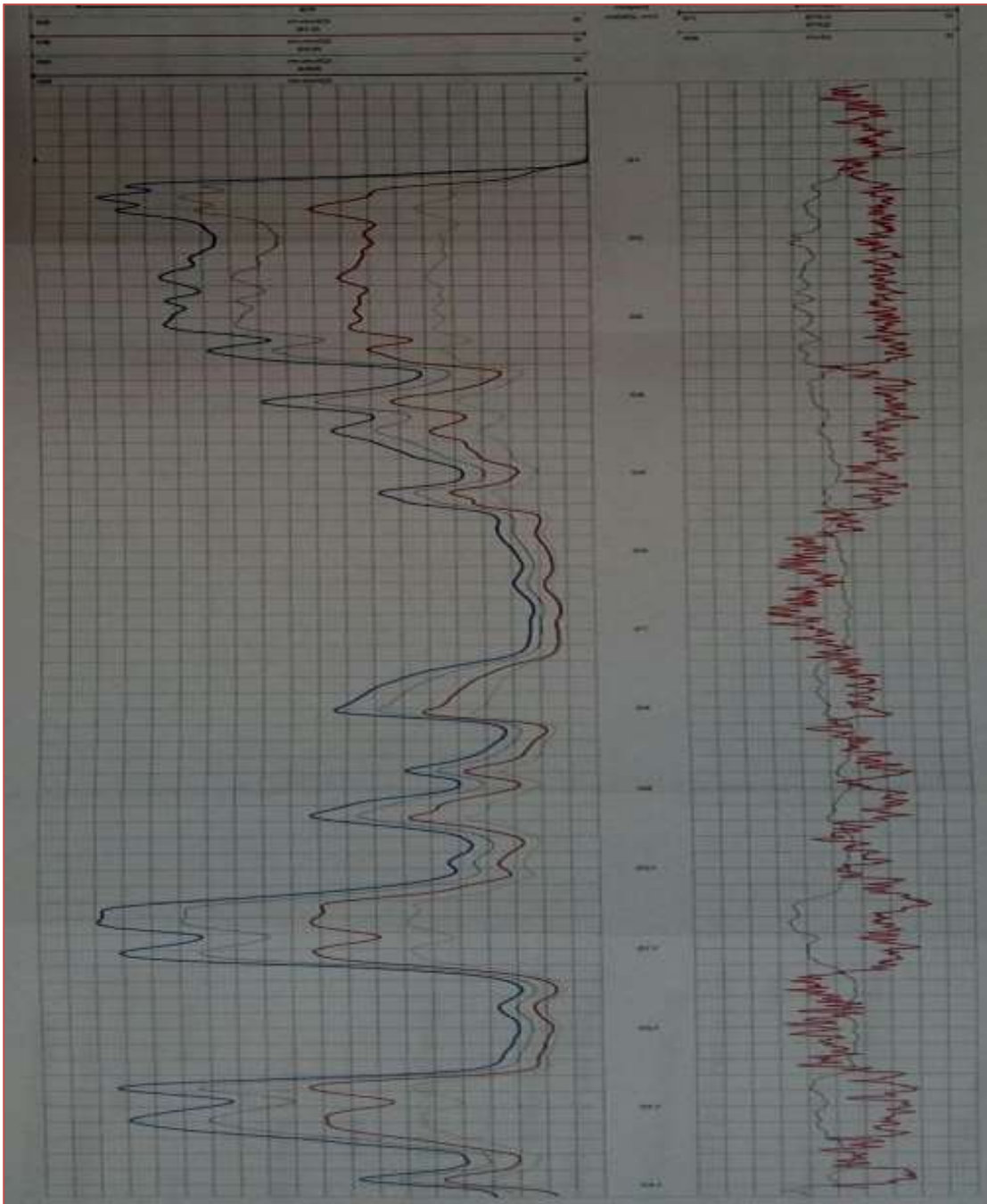


Figure 40 : Etude des enregistrements de la diagraphie du forage de Djendel (DRE d'Ain Deffa 2022)

Après étude des enregistrements de la diagraphie et cuttings du forage de Djendel hydrogéologues de la direction des ressources en eau d'Ain Deffa. Le programme est comme suite :

Tableau 11 : L'interprétation de la diagraphie du forage de Djendel

Longueur en mètre	Nature de tubage
De 0 m à 25 m	Tube plein TNRS diamètre 12''1/2 épaisseur : 6 mm
De 25 m à 45 m	Tube Crépine type TNRS diamètre 12 ''1/2 épaisseur :6 mm
De 45 m à 70 m	Tube plein TNRS diamètre 12''1/2 épaisseur :6 mm
De 70 m à 85 m	Tube Crépine type TNRS diamètre 12 ''1/2 épaisseur :6 mm
De 85 m à 100 m	Tube plein TNRS diamètre 12''1/2 épaisseur :6 mm
De 100 m à 115 m	Tube Crépine type TNRS diamètre 12 ''1/2 épaisseur :6 mm
De 115 m à 125 m	Tube plein TNRS diamètre 12''1/2 épaisseur :6 mm
De 125 m à 135 m	Tube Crépine type TNRS diamètre 12 ''1/2 épaisseur :6 mm
De 135 m à 140 m	Tube plein + Sabot TNRS diamètre 12''1/2 épaisseur :6 mm

- Alésages successifs en 17''1/2 et 19'' pouce de 0 m à 140 m.
- Equipement en TNRS de 0 m à 140 m (diam 12''1/2 épaisseur : 6 mm)
- (Ouverture des crépines : 0,5 mm).
- Mise en place d'un massif Filtrant de 03 à 04 mm, siliceux arrondis et bien lavé.
- Nettoyage et traitement à l'héxamétaphosphate en deux phases de 100 kg chacune.
- Développement à l'air lift jusqu'à l'obtention d'eau clair et mesure de débit final.
- Essai de pompage en trois paliers de quatre heures chacun.
- Essai de pompage définitif de 72 heures.

4. Phase d'élargissement

Cette opération intervient après interprétation du film de la diagraphie et dépouillement des cuttings prélevés.

Pour le forage de Djendel, après la phase de reconnaissance et l'interprétation de la coupe des arbres et le comptage des boutures, a été élargi le forage avec un outil ($\varnothing = 17''1/2$) puis élargi avec un outil ($\varnothing = 19''$) Jusqu'à 140m.



Figure 41 : Outil de forage 19'' du forage de Djendel

4.1. Calcul de débit injecté de la boue dans la phase de d'élargissement

On a appliqué la formule de calcul le débit injecté de la boue de forage.

$$Q = 5D^2$$

Utiliser un outil de forage d'un diamètre ($\varnothing = 17''$) et un outil de diamètre ($\varnothing = 19''$).

$$\text{Donc : } Q = 5(17''^{1/2})^2 = 1445 \text{ (galon/min).}$$

$$Q = 5(19'')^2 = 1805 \text{ (galon/min).}$$

Avec : **1 galon américaine** = 3,785 litre.

$$Q = 1445 (3.785) = 5469.32 \text{ (litre/min).}$$

$$Q = 5469.32 \text{ (litre/min)}$$

$$Q = 1805 (3.785) = 6831.925 \text{ (litre/min).}$$

$$Q = 6831.925 \text{ (litre/min)}$$

Après avoir changé le diamètre de l'outil à ce phase, l'outil avec un diamètre ($\varnothing = 17''$) et un outil de diamètre ($\varnothing = 19''$), ont augmenté la quantité d'écoulement de boue de forage.

Pour obtenir une argile plus légère de l'eau a été utilisé claire, ceci a été fait dans le sol d'argile réticulée. Et l'intensification de la boue de forage pour faciliter le processus de forage des couches sableuses.

5. Phase de tubage

5.1. Tubage.

Le tubage doivent être abaissés immédiatement après l'achèvement du processus de forage afin d'éviter l'effondrement des fosses. Et suivre le schéma du mise en place du tubage qui a été formé après le processus d'interprétation et d'enregistrement, facilite le processus du place de tubage.

5.1.1. Diamètre de tubage

- Le diamètre intérieur du tubage doit être suffisamment dimensionné pour pouvoir permettre la pose d'une pompe et des colonnes montantes ;
- L'espace nécessaire pour cette installation doit être de 1 pouce ;
- Pour le diamètre extérieur, il doit être plus de 2 pouce au moins que celui du trou nu afin de permettre un espace annulaire assez pour la mise en place du massif filtrant.

Pour le forage de Djendel nous proposons :

- Equipement en TNRS de 0 m à 140 m (diam $12''\frac{1}{2}$ épaisseur : 6 mm)

5.1.2. Opérations préliminaires avant la descente du tubage

Ces étapes étaient avant le processus d'abaissement du tube :

- Agrandir le trou avec le tour et équiper les grattoirs pour nettoyer les parois de la pâte qui se dépose lors du forage ;
- Mesurez et numérotez les tubes avant de descendre dans le forage ;

- Munir le tube de dispositifs centraux pour éviter tout contact entre le tube et les parois du trou ;
- Le tube est équipé d'un sabot en bas pour faciliter son acheminement.

5.1.3. Mise en place du tubage

- Le tubage est mis en place le plus rapidement possible, car les risques d'effondrement du forage sont dangereux, et il ne faut pas laisser le forage sans protection ;
- Ensuite, le schéma de tubage (longueur et position des tubes pleins et des tubes crépines) a été créé en fonction de la coupe géologique de la cataracte ;
- Ensuite, le fond du boîtier était constitué d'un tube d'acier d'environ 0,5 m de long fixé à sa base ;
- Le tubage n'a pas été descendu au fond du forage (les sédiments en suspension dans la boue sont coupés lorsque la rotation s'arrête ou parfois s'effondre), de sorte que la longueur du tubage a été réduite de 0,5 m par rapport à la profondeur de forage réelle ;
- Le tubage n'a pas été descendu au fond du forage, de sorte que la longueur du tubage a été réduite de 0,5 m par rapport à la profondeur de forage réelle ;
- Ensuite, le dernier tube a été lancé à environ 0,5 mètre au-dessus du sol. Parce que les longueurs de tube varient avec les filetages.

5.2. Crépine

Schématiquement la crépine est un tube ajouré laissant le passage à l'eau tout en maintenant la formation. En tant qu'interface avec la ressource, elle constitue l'élément principal de l'équipement d'un ouvrage d'exploitation. Sa longueur, son type, sa nature sont directement fonction de l'épaisseur de la formation à capter, du niveau de rabattement maximal, de la nature de l'aquifère. Elle devra répondre aux critères suivants :

- Permettre la production de fluide sans particule fine ;
- Rester inerte vis à vis du fluide à capter (interaction de matériaux mais aussi turbulence) ;

- Résister à la pression d'écrasement exercée par la formation aquifère en cours d'exploitation ;
- Ne pas risquer un vieillissement prématuré ;
- Induire des pertes de charges minimales.

5.2.1. Ouverture des crépines

- Le choix de l'ouverture de crépine est liée aux dimensions des fentes de la crépine de telle sorte qu'elle ne laisse passer des grains fins ;
- L'ouverture de la crépine a été déterminée grâce à l'étude des courbes granulométriques générées d'après les échantillons recueillis pendant le forage de Djendel. Dans notre cas :
 - Tube Crépine type TNRS diamètre 12 ''1/2 épaisseur :6 mm ;
 - (Ouverture des crépines : 0,5 mm) .

5.2.2. Méthode de mise en place du Crépine

- A été abaissée ensuite les crépines jusqu'au bout des carters pleins ;
- Ensuite, a été assemblé les filtres par soudure.



Figure 42: Mise en place du tubage et crépine du forage de Djendel

5.3. Sabot de tubage

- A été utilisé le sabot de tubage pour mettre le tube de chemisage à l'intérieur du trou, soit par perçage ;
- Les sabots de tubage pour forage sont équipés de segments de coupe sur la face avant et sur le diamètre extérieur. Tandis que le diamètre intérieur est lisse. Le diamètre intérieur du sabot de tubage est suffisamment large pour permettre le passage des couronnes et carottiers dans la taille correspondante.

6. Phase de gravillonnage

6.1. Lavage de puits

Utilisé dans cette étape une grande quantité d'eau claire pour dégager la boue dans le forage avant d'ajouter le massif filtra.



Figure 43 : Lavage de puits

6.2. Le massif filtrant

C'est une opération très importante dans la réalisation des forages parce qu'elle permet d'augmenter la perméabilité autour de la crépine aussi que l'augmentation de la productivité de forage (débit de la pompe) et de diminué le rabattement dans le forage.

Les articles techniques de cahier de charge ont exigé un gravier de nature siliceux à graine enrobé et de diamètre de 3 à 4mm (granulométrie de l'albien inférieur plus de 3mm).

Alors Après avoir surveillé et vérifié la qualité et la nature du gravier, et après avoir ajouté de l'eau pour se débarrasser de la boue collée ensuite, le remplissage d'espace entre le tube et les parois du forage jusqu'au fond du forage.

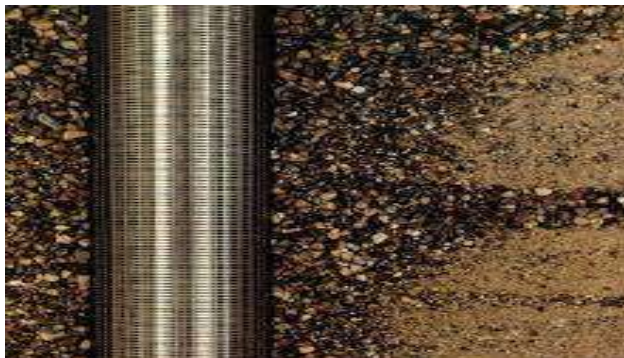


Figure 44: Le massif filtrant

7. Phase de développement

Cette opération permet d'augmenter de façon significative le débit du forage initialement estimé. La nappe est en effet progressivement mise en production, l'aquifère est libéré de ses fines, la perméabilité et le débit instantané augmentent.

7.1. Mode opératoire du développement de forage de Djendel

- A été abaissé la base du tube d'eau à environ 0,60 m du sabot du la crépine ;
- Ensuite, le tube à air a été abaissé de manière à ce que sa base soit environ 0,30 m plus haute que le tube à eau ;
- A été allumé l'air et laissé l'eau pulser par l'air lifte élevé afin qu'il ne contienne plus de sable ;
- L'air est coupé et les pressions apparaissent à leur maximum dans le compresseur ;
- Dans le même temps, le tube à air a été abaissé à environ 0,30 m sous le sabot du tube à eau, soit 0,60 m plus bas que le précédent et à 0,30 m du bas du filtre ;
- La vanne d'air a ensuite été ouverte et jeté de l'eau à travers le tube d'eau et le bouchon ;

- Puis on a remonté le tube d'air jusqu'à sa première position, ce qui a provoqué une violente inversion du flux dans le tube d'eau et une grande turbulence dans la formation autour du filtre, tout comme le flux d'eau qui sort par l'air ;
- Lorsqu'il est devenu clair, a été soulevé la conduite d'eau d'environ 0,80 mm et avons répété le processus précédent de traitement de la formation au nouveau niveau du sabot de conduite d'eau au-dessus de toute la hauteur de la crépine ;
- Ensuite, a été abaisser le tuyau d'eau à sa première position afin de soulever le sable qui s'est déposé au fond du la crépine avec l'air-lift. Après que l'eau soit extraite claire sans sable considéré que le développement était terminé. [10]

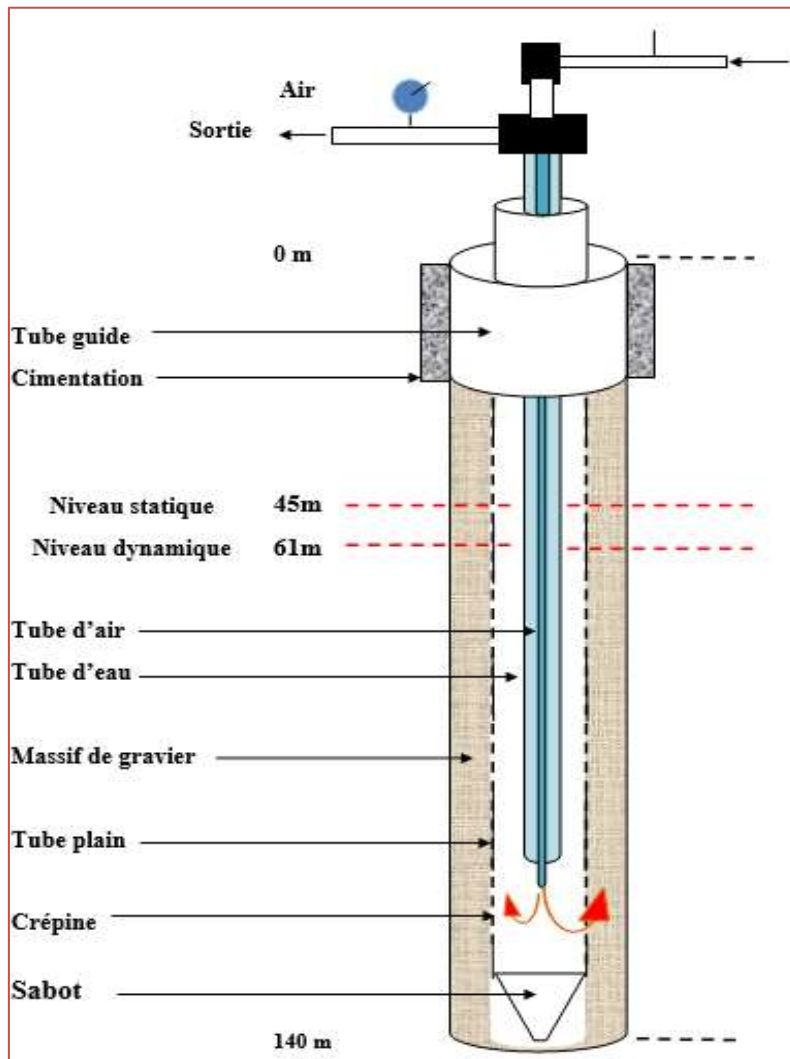


Figure 45: Schéma de développement du forage de Djendel

7.2. Résultat Air lift

Après l'opération injecté Air lift du forage de Djendel, les résultats sont les suivants :

Tableau 12: Résultat Air lift du forage de Djendel

Niveau statique d'eau	45 m
Niveau dynamique d'eau	61 m

7.3. Traitement à l'héxamétaphosphate

Après le processus de développement, a été effectué un traitement à l'héxamétaphosphate pour échanger la masse de bentonite, en injectant une quantité d'héxamétaphosphate et en la pompant avec un air lift.

L'héxamétaphosphate est un polymère de Méta-phosphate, sa formule ($PO^3 NA$) en solution aqueuse à 4% par m^3 La quantité que nous avons utilisée dans notre forage est de 100 kg.

- A été injecté cette solution à travers un tube faisant face à la zone à traiter ;
- A été laissé la solution d'héxamétaphosphate en contact pendant 48 h. Et brassé toutes les 4 heures en circuit fermé à faible débit à l'aide de l'air lift.



Figure 46 : L'héxamétaphosphate

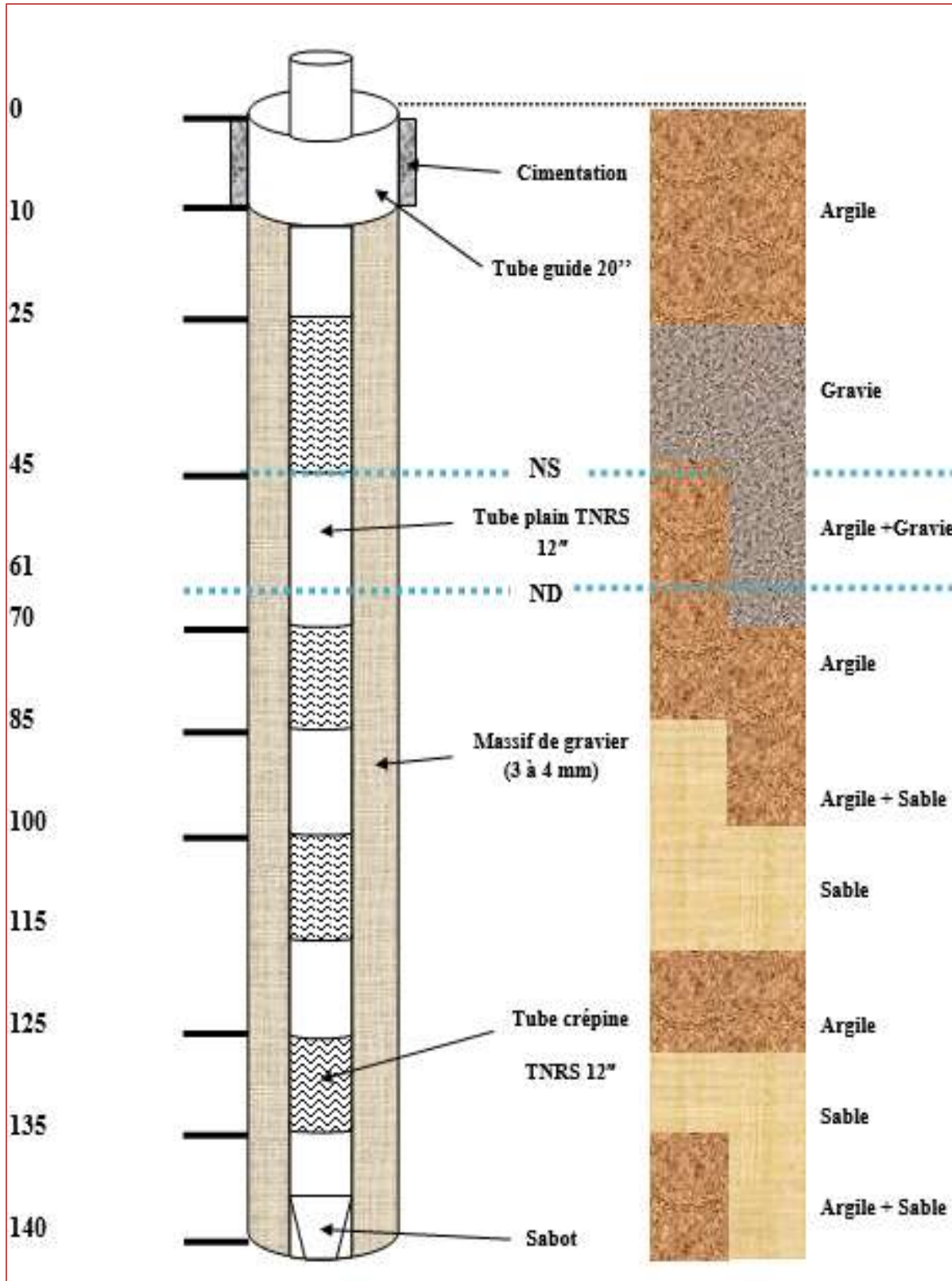


Figure 47: Schéma du forage de Djendel

8. Phase d'essai de pompage

Les pompages d'essai sont à la base de toute étude de nappe, dans la mesure du possible. Ils sont effectués au moyen d'une pompe immergée électrique, facile à mettre en œuvre et régulière quant au régime.

Un pompage d'essai doit répondre à un double objectif :

- La détermination des caractéristiques propres au forage, dit essai par paliers (ou essais de puits) ;
- La détermination des paramètres hydrodynamiques de la nappe : essai de nappe (longue durée). C'est un facteur très important pour la gestion de la ressource.

➤ Caractéristique de la pompe utilisée du forage de Djendel :

Les caractéristiques de notre pompe étaient les suivantes :

Tableau 13: Caractéristique de la pompe utilisée

Débit min	15 l/s
Débit max	65 l/s
Profondeur min	25 m
Profondeur max	95 m

(Source : Direction des ressources en eau d'Ain Defla.)

8.1. Pompage d'essai par paliers

Les essais de pompage par paliers croissants de débit, ont pour but l'évaluation des paramètres hydrauliques des ouvrages (pertes de charge, débit critique et le débit spécifique relatif).

L'essai de pompage du forage de Djendel comprenait 3 niveaux de 2 heures chacun, séparés par des remontées de durée similaire. Les résultats enregistrés lors de ce test sont résumés dans le tableau suivant. (Le niveau statique d'eau mesuré est égal à 45 m).

Tableau 14: Essai de débit par paliers du forage de Djendel

Palier	Débits (m ³ /h)	Niveau dynamique (m)	Rabatement (m)	Débits spécifiques (m ³ /h/m)	Rabatement spécifiques (m/m ³ /h)
01	29	53	08	3.62	0.275
02	47	58	13	3.61	0.276
03	64	65	20	3.20	0.312

➤ **Courbe débit/rabatement (débit critique) :**

La courbe $S = f(Q)$ qui correspond à une droite. Le débit critique de l'ouvrage n'ayant pas été atteint.

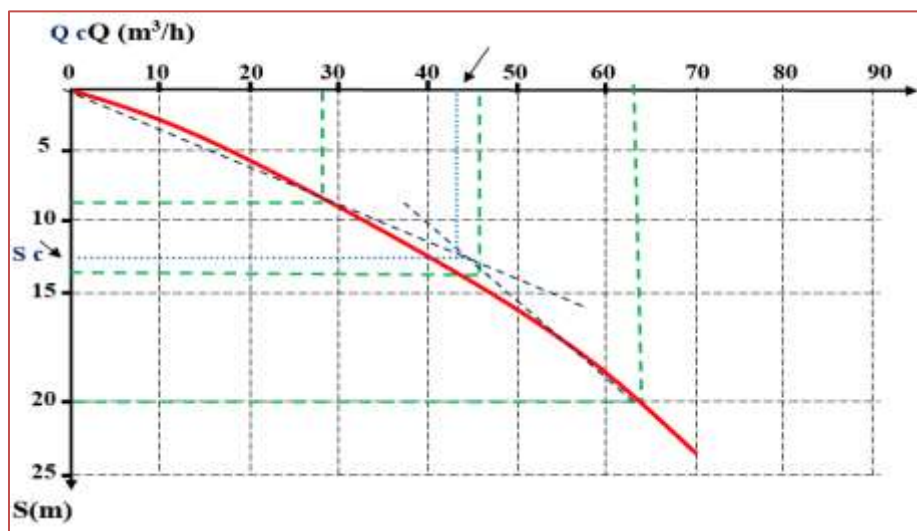


Figure 48 : Courbe de rabattement en fonction de débit $S=f(Q)$

➤ **Droite débit/rabatement spécifique (pertes de charge) :**

Le rabattement spécifique (S/Q) est le rabattement mesuré dans le puits rapporté au débit pompé dans des conditions d'essais de puits définies (paliers de débit). Il est exprimé en m/m³/h. La droite (S/Q) permet de déterminer les coefficients B et C de l'équation :

- $S = BQ + CQ^2$
- $S/Q = B + CQ$

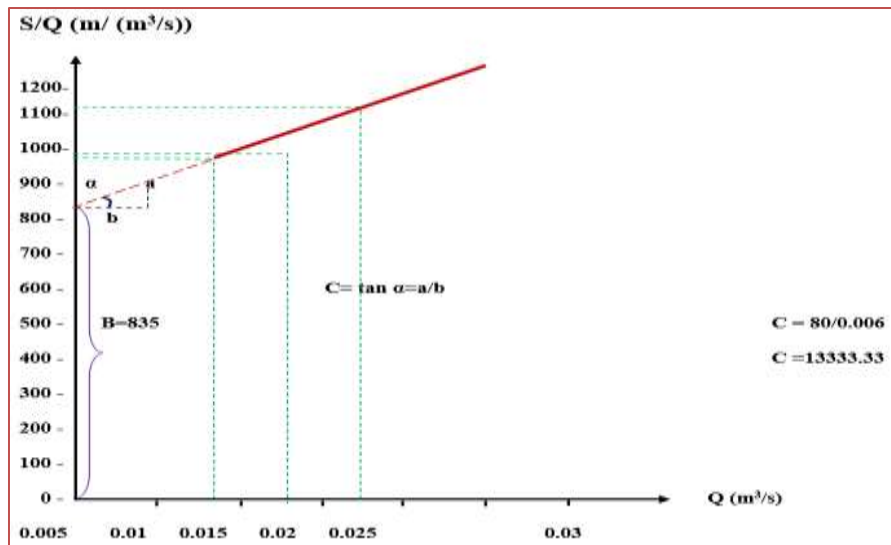


Figure 49: Droit representative rabattement spécifique en fonction de débit

- **Le coefficient (B)** est obtenu par l'intersection de la droite représentative avec l'axe des rabattements spécifiques :

$$B = 835 \text{ m}^3/\text{s} = 4.31 \text{ h/m}^2$$

$$\mathbf{B = 4.31 \text{ h/m}^2}$$

Le coefficient B représente les pertes de charge linéaires.

- **Le coefficient (C)** est égal à la pente de la droite représentative :

$$C = \tan \alpha = \frac{a}{b} = \frac{80}{0.006} = 13333.33 \text{ s}^2/\text{m}^5$$

$$C = 13333.33 \text{ s}^2/\text{m}^5 = 1.02 \cdot 10^{-3} \text{ h/m}^5$$

$$\mathbf{C = 1.02 \cdot 10^{-3} \text{ h/m}^5}$$

Le coefficient C représente les pertes de charge quadratiques. Les pertes de charge quadratiques générées par l'équipement du forage (crépine, massif de gravier) sont faibles.

- L'équation de la droite représentative est la forme :

$$S = 4.31Q + 1.02.10^{-3} Q^2$$

Par cette expression on calcule les rabattements correspondant à chaque palier de débit.

8.2. Essai de pompage de longue durée

- C'est ce deuxième point que nous allons analyser, c'est un facteur très important pour la gestion de la ressource ;
- A été effectué l'essai de pompage long duré, en une seule étape à débit constant (20 l/sec) pendant 72 heures ;
- Le but principal de ce pompage est de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère, la transmissivité (**T**) et le coefficient d'emmagasinement (**S**).

Tableau 15 : Données du pompage d'essai de longue durée (la descente) du forage de Djendel

Temps (mn)	Niveau dynamique (m)	Rabattement (m)	Temps (mn)	Niveau dynamique (m)	Rabattement (m)
0	40.00	0	1740	68.69	28.69
1	41.50	1.5	1800	68.80	28.80
2	41.74	1.74	1860	68.86	28.86
3	42.03	2.03	1920	68.93	28.93
4	42.27	2.27	1980	69.02	29.02
5	42.44	2.44	2040	69.11	29.11
6	42.77	2.77	2100	69.23	29.63
8	43.11	3.11	2160	69.35	29.35
10	45.03	5.03	2220	69.41	29.41

15	48.38	8.38	2280	69.50	29.50
20	51.09	11.09	2340	69.57	29.57
30	55.08	15.08	2400	69.63	29.63
40	59.22	19.22	2460	69.70	29.70
50	61.99	21.99	2520	69.78	29.78
60	63.85	23.85	2580	69.84	29.84
90	65.97	25.97	2640	69.89	29.89
120	66.11	23.11	2700	69.96	29.96
150	66.27	26.27	2760	70.03	30.03
180	66.42	26.42	2820	70.08	30.08
240	66.67	26.67	2880	70.14	30.14
300	66.83	26.83	2940	70.19	30.19
360	66.97	26.97	3000	70.23	30.23
420	67.09	27.09	3060	70.29	30.29
480	67.15	27.15	3120	70.34	30.34
540	67.23	27.23	3180	70.38	30.38
600	67.31	27.31	3240	70.46	30.46
660	67.42	27.42	3300	70.51	30.51
720	67.50	27.50	3360	70.57	30.57
780	67.59	27.59	3420	70.64	30.64
840	67.63	27.63	3480	70.68	30.68
900	67.71	27.71	3540	70.73	30.73
960	67.78	27.78	3600	70.79	30.79
1020	67.86	27.86	3660	70.82	30.82
1080	67.92	27.92	3720	70.88	30.88

1140	67.99	27.99	3780	70.92	30.92
1200	68.07	28.07	3840	70.95	30.95
1260	68.14	28.14	3900	70.99	30.99
1320	68.22	28.22	3960	71.03	31.03
1380	68.30	28.30	4020	71.06	31.06
1440	68.36	28.36	4080	71.09	31.09
1500	68.40	28.40	4140	71.11	31.11
1560	68.42	28.42	4200	71.13	31.13
1620	68.51	28.51	4260	71.15	31.15
1680	68.62	28.62	4320	71.15	31.15

Les paramètres ont été calculés par la méthode graphique d'approximation logarithmique de Jacob dont l'équation est la suivante :

$$\Delta s = 0.183 Q \frac{\log 2,25 Tt}{r^2 S}$$

- Δs : Abaissement de niveau par cycle logarithmique de temps.
- Q : Le débit de pompage en (m³/h).
- t : Le premier temps de pompage en (s).
- T : La transmissivité (m²/s).
- r : Rayon d'action.
- S : Coefficient d'emmagasinement.

Donc :

$$T = 0.183 Q / \Delta s$$

A été considéré le rabattement (s) en ordonnées et le logarithme du temps en abscisse.

- $\Delta s = 10$ m
- $Q = 18$ l/s

$$T = 0,183 \times 18 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} / 10$$

$$T = 0.32 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Conclusion

Pour réaliser un forage avec un bon cahier de charges, les étapes doivent être suivies et respectés, étape par étape. Certaines étapes comme le développement et l'essai de pompage prennent beaucoup de temps et ils sont très sensibles côté réalisation il faut donc être prudent et concentré lors du travail.

Au sein de ce chapitre, nous avons fait un suivi de toutes les étapes de la réalisation de forage de Djendel commençant par la phase de préparation du chantier jusqu'à la phase d'essai de pompage, cette dernière n'était pas faite par la direction des ressources en eau de la wilaya de Ain Defla à cause des problèmes financiers alors le forage était arrêté à cette phase là, c'est pour cela on a fait des calculs détaillés (les essais de pompage) pour les garder comme référence en cas de reprise de cette phase de forage .

Conclusion générale

Conclusion générale

Mon stage au sein de la direction des ressources en eaux de la wilaya d'Ain Defla m'a permis de m'adapter avec le monde professionnel et d'essayer d'appliquer les connaissances acquises lors de mes trois ans études à l'Institut de Technologie université de Bouira.

Les travaux qui font l'objet de ce stage étaient de faire une étude de suivi de réalisation d'un forage hydraulique dans la zone de Djendel, Etat d'Ain Defla.

Ce stage au niveau de la direction des ressources en eaux a pour objectif essentiel d'arriver aux eaux souterraines des nappes de la plain du Hute de Cheliff dans laquelle se trouve le forage étudié pour alimenté la communes de Djendel par l'eau potable afin de limité le problème de déficit du système d'approvisionnement en eau potable rencontré dans cette commune.

Pour aboutir à notre objectif, notre travail a été structuré ainsi : Par une introduction générale et deux grandes parties suivis par une conclusion générale.

La première partie de notre rapport présente une revue bibliographique sur les forages. Nous avons présenté les différentes techniques de réalisation de forage et les fluides de forage. Nous avons fait une présentation de la direction des ressources en eaux DRE de la wilaya d'Ain Defla et de la zone de forage (la géographie et les conditions climatiques).

La deuxième partie de notre étude est consacrée au coté expérimental. Elle est subdivisée en deux chapitres.

Le premier chapitre a permis de donner une appréciation sur d'exploration et la reconnaissance du forage de Djendel par une étude détaillée des aspects géologiques, hydrogéologiques et géophysiques de la zone de forage.

Dans le dernier chapitre, nous avons fait un suivi de toutes les étapes (phases) de la réalisation de forage de Djendel commençant par la phase de préparation du chantier jusqu'à la phase d'essai de pompage.

Enfin, il nous apparut important de signaler que les Travaux de réalisation de forage de Djendel par la direction des ressource en eaux de la wilaya de Ain Defla ont été immobilisés à

la phase des essais de pompages à cause des problèmes financiers alors le forge de Djendel a été arrêté à cette phase. C'est pour cela on a fait des calculs détaillés (les essais de pompage) pour les garder comme référence en cas de reprise de cette phase de forage.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] : **BOUTOBBA ABDRAOUF 2019**. Réalisation d'un forage d'eau : Université Akli Mohand Oulhadj –Bouira –Institut de technologie, 2019.
- [2] : **MEHDI METAICHE Maitre de Conférences-Université de Bouira. Octobre 2013**. Livre forage technique et procédés.
- [3] : **RICHARD LAGABRIELLE 1996**.Diagraphies et géophysique de forage.
- [4] : **Bureau de Recherches Géologique et Minières**. Article scientifique sur les techniques des forages, sur <https://sigessn.brgm.fr>
- [5] : **ROBERT LAUGA 1990**. Pratique du forage d'eau.
- [6] : **KHODJA MOHAMED** Ingénieur en Génie des procédés chimiques à l'Université des sciences et de Technologie Houari Boumediene d'Alger – Algérie. Les fluides de forage : étude des performances et considérations environnementales Master géosciences environnement et risque, université louis pasteur Strasbourg - France 15 février 2008.
- [7] : **GILLES BRESSON**. Les méthodes de forage.
- [8] : **ALBERT MABILLOT 1986**. Forage d'eau : guide pratique.
- [9] : **DRE d'Ain Defla**.
- [10] : **MANANE AMINE 2019**.Etude de dimensionnement d'un réseau de distribution d'eau pour les quartiers 338 et 166 logement a Bouira ville : Université Akli Mohand Oulhadj –Bouira –Institut de technologie, 2019.
- [11] : **Institut technique des grandes cultures** de Khemis Miliana, 2017.
- [12] : **ANRH** de Khemis Miliana, 2017.
- [13] : **IKHLEF SALIHA 2006**. Etude de la pollution de la nappe alluviale du Hutte de Chélif par nitrates : Université Hassiba BEN BOUALI - Chélif.
- [14] : **ANRH** de Blida 2016.
- [15] : « Définition de tige de forage » sur <https://www.planete-energies.com/fr/content/tige-de-forage>

[16] :« Définition d'outil tricône » sur <https://www.geotechno.be/fr/tricone>

[17]: **J. NOUGARO 1979.** Le forage rotary (texte), Edition Technip, 1979.

[18]: **JEAN PAUL NGUYEN 1983.**Technique d'exploitation pétrolière, LE FORAGE, Editions Technip,1983.

[19] : **A. SLIMANI ET C. SOUSSI.** Module M2 et M1, formation JDF, Division forage SONATRACH.