

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri _ Tizi-Ouzou

Faculté de Génie de la Construction

Département de Génie Civil



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de master Académique

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ouvrages Hydrauliques

Thème

Suivi des travaux de réalisation d'un forage
-cas du forage Alma Ndinar, commune de Mechtras-

Présenté par :

SALMI Idir

AZZOUG Ahmed

Devant le jury :

| | | | |
|--------------------------|-----------------|---------------|-------|
| Mr AMOUR Abdallah | MCB | Président | UMMTO |
| Mr ZAMOUM Said | MAB | Examineur | UMMTO |
| Mr KHATTAOUI Mohammed | Professeur | Promoteur | UMMTO |
| Mme TOUDEFT Roza/EP GADI | Chef de service | Co-promotrice | DRE |

Année universitaire : 2021/2022



Remerciement

Nous remercions le Dieu le tout puissant, de nous avoir donné la santé et le courage et la patience pour mener ce travail à terme.

Nous tenons à remercier infiniment nos chers parents qui nous ont aidé avec leurs conseils et leurs prières.

On tient tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude et un grand respect à notre promoteur Mr KHATTAOUI Mohammed et notre Co-promotrice Mme TOUDEFT Roza pour la clarté de leurs enseignements, leurs soutiens, et leurs patiences.

Nos sincères remerciement s'adressent à messieurs les membre du jury ZAMOUM Said et AMOUR Abdallah pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Nos profonds remerciements pour tous les enseignants du département Génie Civil et d'Hydraulique.

Nous remerciement vont également à Mme BOUKERB Sofia et tous les personnels de l'entreprise FOREMHYD et de la Direction des Ressources en Eau de Tizi-Ouzou.

Nous tenons à exprimer notre gratitude et nous remerciements pour toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



DÉDICACE

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers

A la mémoire de ma mère

Ce travail est dédié à ma défunte mère, décédée le 22 avril 2018, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études, son affection inépuisable et ses précieux conseils. Elle n'a jamais cessé de prier pour moi. Qu'elle repose en paix et que le Dieu le tout puissant l'accueille dans son vaste paradis.

A mon père et sa femme

Pour leurs soutiens, leurs patiences, leurs encouragements, et leurs conseils, pour tout ce qu'ils ont fait pour que je puisse arriver à ce stade, que Dieu vous procure une longue vie.

A mes frères [Yanis, Mohamed-said et Naim] et ma petite sœur Kaissa.

A mon binôme **AZZOUG Ahmed et sa famille.**

Et à l'ensemble des étudiants de la promotion master Ouvrages Hydrauliques 2021/2022 et tous les étudiants de la faculté de Génie de la Construction.

SALMI Idir



DÉDICACE

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers

A mes chers parents

Mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consentie pour mon instruction et mon bien être et Pour leurs soutiens durant toutes mes années d'études, leurs réconforts moraux, eux qui ont consenti tant d'effort pour me voir atteindre ce but.

Pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affectations sans limite.

A la mère de mon binôme

Ce travail est dédié à elle, qu'elle repose en paix et que le dieu l'accueille dans son vaste paradis

A mes frères et sœurs

A ma grand-mère

A ma femme

A mon binôme SALMI Idir et sa famille

Et à l'ensemble des étudiants de la promotion master Ouvrages Hydrauliques 2021/2022 et tous les étudiant de la faculté de Génie de la Construction.

AZZOUG Ahmed

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les nappes et les forages

Figure 1 : Les différents types de nappes.

Figure 2 : Les trois types de forage

Figure 3 : L'exemple d'un forage en profondeur verticale à Champotran

Figure 4 : Principe d'isolement des aurifères par tubage cimenté

Figure 5 : Différents-types-de-crepines-dapres-1-a-4-donnees-TUBAFOR-5-A-MABILLOT-1971.

Figure 6 : Tube crépine en PVC

Figure 7 : Crépinage-en-terrain-homogène-dans-une-nappe-artésienne.

Figure 8 : Crépinage dans un terrain homogène en nappe libre

Figure 9 : Emplacement de massif filtrant dans le forage.

Figure 10 : La cimentation

Figure 11 : Cartographie de profondeur du niveau statique de la nappe phréatique de la vallée d'oued souf.

Chapitre II : les méthodes et les fluides de forage

Figure 12 : Schéma simplifié d'une installation de forage marteau fond de trou (MFT)

Figure 13 : Disposition schématique d'un atelier de forage rotary (d'après A. MABILLOT).

Figure 14 : Mât de battage PVE 50PR

Figure 15 : Forage avec carottage

Figure 16 : Forage par havage

Figure 17 : La bentonite

Figure 18 : L'attapulgite

Figure 19 : La poudre d'amidon

Figure 20 : Le sac de Carboxyméthylcelluloses (CMC)

Figure 21 : La poudre des celluloses polyanioniques (PAC)

Figure 22 : La poudre du tanin

Figure 23 : La poudre de la barytine

Figure 24 : Diagramme de Piper pour les eaux du Miopliocène - région de Biskra

Chapitre III : Matériels utilisés et les travaux à suivre pour réaliser le forage

Figure 25 : Préparation du chantier de forage

Figure 26 : Installation du chantier de forage

Figure 27 : Le bassin des boues

Figure 28 : Prélèvement des échantillons

Figure29 : La diagraphie de forage

Figure30 : Emplacement de massif filtrant dans le forage

Figure31 : Le sac de produit de sodium hexa métaphosphate

Partie pratique : suivie de forage Alma Ndinar

Figure 32 : Situation géo-administrative de la commune de Mechtras

Figure 33 : Carte des altitudes de Mechtras

Figure 34 : Les limites administratives de Mechtras

Figure 35 : Localisation de forage Alma Ndinar

Figure 36 : Température moyennes mensuelles de l'air (en °C) (maximales, minimales et moyennes) à Tizi-Ouzou pour la période : 1990-2014 (source : O.N.M de Tizi-Ouzou).

Figure 37 : Courbe des données pluviométriques de la station Ait Djemaa

Figure 38 : Précipitation moyenne annuel de 1989 à 2011

Figure 39 : La carte lithologique de la commune de Mechtras

Figure 40 : Le chantier de forage Alma Ndinar

Figure 41 : Entreprise responsable de réalisation de forage Alma Ndinar

Figure 42 : Le mat de forage

Figure 43 : Le moufle fixe

Figure 44 : Le moufle mobile

Figure 45 : La tête d'injection

Figure 46 : Le câble de forage

Figure 47 : La table de rotation

Figure 48 : Les tige de forage

Figure 49 : La masse tige de forage

Figure 50 : Le treuil

Figure 51 : Les outils (tricône) de 12 et 17 et 19 pouces.

Figure 52 : L'alésure (tricône 19 pouces)

Figure 53 : La pompe à boue

Figure 54 : Le tube guide de forage

Figure 55 : Les cutting

Figure 56 : Le produit bentonite

Figure 57 : Les bassins à boue

Figure 58 : La diagraphie de forage Alma Ndinar

Figure 59 : La coupe technique de Forage Alma Ndinar faite par SALMI et AZZOUG

Figure 60 : Les tubes en PVC

Figure 61 : Le massif filtrant de 3mm de diamètre

Figure 62 : Remise en état avant fin de chantier

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur les nappes et les forages

Tableau 1: Correspondance débit, diamètre de la pompe, diamètre du forage.

Tableau 2: Choix des ouvertures des crépines en fonction de la granulométrie de l'aquifère

Tableau 3: Choix des crépines et des massifs filtrants pour diverses conditions

Tableau 4: La résistivité de quelques types de sol.

Chapitre II : les méthodes et les fluides de forage

Tableau 5 : Principaux additifs utilisés dans les fluides de forages.

Tableau 6 : Les principales caractéristiques des huiles couramment utilisées.

Partie pratique : suivie de forage Alma Ndinar

Tableau 7 : Températures mensuelles de l'air (maximales, minimales et moyennes) en °C à Tizi-Ouzou, période 1990-2014 (source O.N.M).

Tableau 8 : données pluviométriques de la station Ait Djemaa

Tableau 9 : le nombre et les longueurs des tiges

Tableau 10 : L'outil utilisé en chaque phase

Sommaire

| | |
|---|----|
| Introduction générale | 1 |
| Chapitre I : Généralités sur les nappes et les forages | |
| I. Introduction | 2 |
| II. Les eaux souterraines, les nappes et les aquifères | 2 |
| III. Les différents types de nappes | 3 |
| A. Les avantages et inconvénients de l'utilisation des eaux souterraines .. | 3 |
| IV. Définition d'un forage..... | 4 |
| V. L'objectifs de réalisation des forages | 4 |
| VI. Les différents types de forage | 4 |
| VII. Le fonctionnement de forage | 5 |
| VIII. Considérations relatives à l'emplacement des puits et forages..... | 6 |
| IX. Le choix de site | 6 |
| X. Equipement de forage | 7 |
| A. Le tube plein | 7 |
| a) type des matériaux du tubage plein | 9 |
| b) Les caractéristiques des tubages | 9 |
| B. La crépine..... | 10 |
| a. Le choix de la crépine | 10 |
| b. Longueur et position des crépines | 15 |
| C. Massif filtrant | 16 |
| Choix et dimensionnement du massif filtrant | 16 |
| D. Cimentation | 17 |
| XI. Les domaines d'intervention du forage | 18 |
| XII. Cartographie..... | 18 |
| A. Cartes hydrogéologiques..... | 19 |
| B. Cartes structurales..... | 19 |
| C. Cartes piézométriques | 19 |
| D. Photos aériennes | 20 |
| E. Télédétection | 20 |
| XIII. Méthodes géophysiques | 21 |
| Prospection par sismique de réfraction | 21 |
| Prospection électronique..... | 21 |

| | |
|--------------------------------|----|
| A. Profil de résistivité | 22 |
| B. Sondage électrique | 23 |
| XIV. Conclusion | 23 |

Chapitre II : les méthodes et les fluides de forage

| | |
|--|----|
| I. Introduction..... | 24 |
| II. Les méthodes de forage | 24 |
| A. Forage au marteau fond de trou (MFT) | 24 |
| Avantages..... | 24 |
| Inconvénients | 25 |
| B. Forages rotary | 25 |
| Avantage | 26 |
| Inconvénients | 26 |
| C. La méthode de battage | 26 |
| Avantages | 27 |
| Inconvénients | 27 |
| D. Forages carotte..... | 27 |
| Avantage | 28 |
| Inconvénients | 28 |
| E. Forages par havage..... | 28 |
| Avantage | 29 |
| Inconvénients | 29 |
| III. Définition de fluide de forage | 29 |
| IV. La boue de forage..... | 29 |
| A. Rôle de la boue de forage | 29 |
| B. Propriétés physico-chimiques de la boue de forage | 30 |
| V. Les produits à boue | 30 |
| VI. Types des fluides de forage | 31 |
| A. Boues à base d'eau | 31 |
| B. Boue à base d'huile | 31 |
| VII. Composition des boues | 32 |
| A. Colloïdales argileux (produits viscosifiants) | 32 |
| a. Les bentonites | 32 |
| b. Les attapulgites | 33 |
| B. Colloïdes organiques (produits réducteurs de filtrat) | 33 |

| | |
|--|----|
| a. L'amidon..... | 33 |
| b. Les carboxyméthylcelluloses (CMC) et les celluloses polyanioniques (PAC) | 33 |
| C. Les produits fluidifiants | 34 |
| a. Les tanins | 34 |
| b. Les lignosulfonates (FCL) et les lignines (LC) | 35 |
| D. Les additifs minéraux | 35 |
| E. Les alourdisant | 36 |
| a. La barytine ou sulfate de baryum (BaSO ₄) | 36 |
| b. La galène ou sulfure de plomb (PbS) | 36 |
| c. Les oxydes de fer | 36 |
| F. Les colmatant..... | 37 |
| G. Les produits organiques spéciaux | 37 |
| VIII. Qualité des données | 37 |
| IX. Le faciès chimique | 38 |
| X. Conclusion | 39 |

Chapitre III : Matériels utilisés et les travaux à suivre pour réaliser le forage

| | |
|--|----|
| I. Introduction | 40 |
| II. Matériels utilisés..... | 40 |
| A. Les moyens humains..... | 40 |
| B. Les moyens matériels | 40 |
| C. Stocks des matériaux | 40 |
| III. Les travaux à suivre | 40 |
| A. Préparation du chantier..... | 40 |
| B. Installation de chantier | 41 |
| C. Choix de la technique de forage | 41 |
| D. Préparation des bassins à boue | 41 |
| E. CREUSEMENT..... | 42 |
| 1. Mise en place du tube guide | 42 |
| 2. Forage de reconnaissance | 42 |
| 3. Prélèvement des échantillons..... | 43 |
| 4. La diagraphie | 43 |
| a. Types de diagraphie | 43 |
| b. Le but de la diagraphie | 44 |

| | | |
|-----|---|----|
| c. | Les paramètres mesurés | 45 |
| | 5. Alésage et réalésage..... | 45 |
| | 6. La mise en place des équipements de forage..... | 46 |
| | a. Mise en place et le plan du tubage | 46 |
| | b. Crépines | 46 |
| | c. Massif filtrant..... | 47 |
| | d. Cimentation | 48 |
| | 7. Développement..... | 48 |
| | a. Le développement par lavage aux jets à grande vitesse..... | 48 |
| | b. Le développement par pompage et sur pompage..... | 48 |
| | c. Le développement par pistonnage..... | 49 |
| | d. Développement à l'air lift | 49 |
| | 8. Traitement à l'hexa métaphosphate..... | 50 |
| | 9. Les essais des débits..... | 51 |
| | 10. Les analyses physico-chimiques et bactériologiques..... | 51 |
| IV. | Conclusion | 51 |

Partie pratique : suivie de forage Alma Ndinar

| | | |
|------|---|----|
| I. | Introduction..... | 52 |
| II. | Cadre générale de la zone d'étude | 52 |
| | A. Situation géographique de Mechtras..... | 52 |
| | B. Les limitées administrativement..... | 53 |
| | C. Localisation de forage..... | 53 |
| | D. Les coordonnées de forage (GPS)..... | 54 |
| | E. Etude hydraulique des caractéristiques climatiques | 54 |
| | 1. Climatologie..... | 55 |
| | 2. Température | 55 |
| | 3. Précipitation | 56 |
| | F. La géologie de Mechtras | 60 |
| | G. La lithologie de Mechtras | 60 |
| III. | Installation du chantier de forage..... | 61 |
| IV. | La technique de forage utilisée | 62 |
| | A. Exécution du forage | 63 |
| V. | Les composants d'un appareil de forage..... | 63 |
| | A. Le mat de forage | 63 |

| | | |
|-------|--|----|
| B. | Mouflage | 64 |
| C. | La tête d'injection [swivell] | 66 |
| D. | Le câble | 66 |
| E. | La tige carrée..... | 67 |
| F. | Table de rotation | 67 |
| G. | La tige d'entraînement (Kelly)..... | 67 |
| H. | Les tiges | 68 |
| I. | Les masse-tiges | 68 |
| J. | Treuil..... | 69 |
| K. | L'outil de forage | 69 |
| L. | Les aléseurs | 70 |
| M. | La pompe à boue (MOTO-POMPE)..... | 71 |
| VI. | Les phases de réalisation de forage..... | 71 |
| A. | Phase A (Tube de guide)..... | 71 |
| B. | Phase B..... | 72 |
| VII. | Description géologique | 72 |
| VIII. | Phase de l'injection de fluide de forage | 73 |
| A. | Boue à la bentonite..... | 73 |
| B. | Les bassins à boue..... | 74 |
| IX. | Equipement de forage | 75 |
| A. | Interprétation de la diagraphie | 75 |
| B. | Mise de tubage et de crépine..... | 77 |
| C. | Massif filtrant..... | 77 |
| D. | Cimentation..... | 78 |
| E. | Remise en état de chantier | 79 |
| X. | Conclusion | 79 |
| | Conclusion générale..... | 81 |
| | Références bibliographiques..... | 82 |

Résumé

Ce mémoire est basé sur deux parties, la première partie mentionne les généralités sur les nappes et les forages ainsi les méthodes utilisées pour les réaliser et les différents fluides utilisés, il se termine par les matériaux utilisés et les travaux à suivre pour réaliser un forage.

La deuxième partie nous avons suivi les étapes de réalisation du forage de Alma Ndinar, situé dans la commune Mechtras avec une technique de forage rotary, cette méthode passe par plusieurs étapes (installation de chantier, foration et mise en place de tube guide, forage de reconnaissance, la diagraphie l'alésage ...) et puisque le forage est artésien jaillissant, l'étape de développement est faite automatiquement, et aussi les travaux ne sont pas terminés, donc on a raté l'essai de pompage.

Ce forage est destiné pour le renforcement du réseau d'eau potable de chef-lieu Tizi N'tlatha et Ait Bouadou par la station d'Iouahlalen.

Summary

This thesis is based on two parts, the first part mentions the generalities on groundwater as well as the methods used to carry them out and the different fluids used, it ends with the materials used and the work to be followed to carry out a drilling.

The second part we followed the steps of realization of the drilling of Alma Ndinar, the municipality Mechtras with a rotary drilling technique, this method goes through several stages (site organization, drilling and placement of guide tube, reconnaissance drilling, logging, bore ...) and since the drilling is artesian gushing, the development stage is done automatically, and also the work is not finished, so we missed the pumping test.

This borehole is intended for the reinforcement of the drinking water network of the capital Tizi N'tlatha and Ait Bouadou by the Iouahlalen station.

ملخص

تتركز هذه المذكرة على جزأين، يذكر الجزء الأول العموميات الخاصة بالمياه الجوفية والحفر وكذلك الطرق المستخدمة في تنفيذها والسوائل المختلفة المستخدمة، وينتهي بالمواد المستخدمة والعمل الواجب اتباعه لتنفيذ الحفر.

الجزء الثاني اتبعنا خطوات الحفر في الما ندينار، بلدية مشتراس مع تقنية الحفر الدوارة، تمر هذه الطريقة بعدة مراحل (تنظيم الموقع، الحفر و وضع أنبوب التوجيه، الحفر الاستطلاعي، التوسيع ...)، و بما ان الحفر هو تدفق ارتوازي، فان مرحلة التطوير تتم تلقائيا، و كذلك لم ينته العمل، لذلك فاتنا اختبار الضخ.

الغرض من هذا البئر هو تعزيز شبكة مياه الشرب في تيزي ننتلا و ايت بووادو بواسطة محطة او احلالن.

Introduction Générale

L'eau est un don de la nature et un droit, reflétant la réalité incontestable que « sans eau, il n'y a pas de vie ». 70% de la surface terrestre est occupée par l'eau, l'eau douce ne représente que 2.2% dont 22% provient des eaux souterraines, l'exploitation et la gestion rationnelle de ces eaux s'appuient sur des connaissances théoriques et pratiques. Les données théoriques indispensables à la compréhension des phénomènes qui régissent la présence d'eau dans le sous-sol, sont exposées. Les essais de pompage font l'objet d'importants développements axés sur les méthodes d'interprétation et d'identification des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère.

L'Algérie connaît des pénuries d'eau en raison du changement climatique, en particulier dans la région de Tizi-Ouzou. Pour pallier cette pénurie d'eau potable, il a été décidé de lancer un plan d'urgence correctif pour combler ou réduire la pénurie d'eau de surface en renforçant la capacité de production d'eau souterraine, cela par la réalisation des forages qui permettront une production élevée qui sont progressivement entrés en service et le synonyme de source d'eau sûre et viable et ses eaux ne nécessitent pas un traitement intensif, car ils proviennent directement du sous-sol et toutes les opérations de réalisation du forage seront suivies étape par étape à fin d'avoir sa productivité.

L'objet de notre étude est de citer les étapes de réalisation d'un forage avec un cas pratique (forage rotary Alma Ndinar) et ce travail est structuré en deux parties :

- Partie théorique : Cette partie consiste à donner un aperçu sur les forages et les nappes et citer les différentes méthodes et fluides utilisés et les travaux à suivre pour réaliser un forage
- Partie pratique : Suivi des travaux des étapes de réalisation d'un forage à mode rotary.



**Chapitre I : Généralité sur les
nappes et les forages**

Chapitre I : Généralités sur les nappes et les forages

I. Introduction

Les eaux souterraines sont généralement de meilleure qualité bactériologique que les eaux de surface, de ce fait elles sont privilégiées comme source d'alimentation. Mais, avant de débiter les travaux d'exploration, il est préconisé de délimiter une zone de recherche qualitativement assurée sur le long terme pour que la solution du forage soit économiquement viable.

Le forage est destiné généralement à exploiter plusieurs ressources naturelles du sous-sol, constitué par les différents fluides piégés dans les roches poreuses de la série lithologique d'un bassin sédimentaire. Il est réalisé pour mettre en valeur des eaux profondes. Si son emplacement est bon, on peut exploiter de grandes quantités d'eau.

Dans le domaine d'hydraulique, les ouvrages permettant de capter les eaux souterraines, ou points d'eau, sont généralement des forages, des puits ou des sources. Toutes les données sur les forages et les ouvrages souterrains du territoire, sont conservées dans une base de données organisée et gérée par la BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières)

II. Les eaux souterraines, les nappes et les aquifères

Les eaux souterraines regroupent l'ensemble des réserves d'eau qui se trouvent dans le sous-sol. L'eau est stockée dans des zones appelées aquifères, composées de roches poreuses et/ou fissurées. L'eau peut s'accumuler dans ces espaces vides pour former des nappes, qui occupent tout ou une partie de l'aquifère. La profondeur des nappes est variable ; les plus profondes peuvent se trouver à plusieurs centaines de mètres sous la surface. Les nappes phréatiques sont celles qui se trouvent près de la surface. Leur faible profondeur les rend facilement accessibles pour les activités humaines.

L'eau des nappes provient du phénomène d'infiltration. À la suite des pluies (précipitations), une partie de l'eau pénètre dans les pores et les fissures du sol entraînée par gravité. Elle traverse le sol puis s'infiltré dans le sous-sol, jusqu'à ce qu'elle soit interrompue par un substratum compact, imperméable. L'eau s'accumule alors dans tous les espaces vides de l'aquifère, et forme une nappe [1].

III. Les différents types de nappes

Nappe libre : c'est une nappe d'eau souterraine dont le niveau supérieur peut varier sans être bloqué par une couche imperméable supérieure.

Nappe captive : c'est une nappe d'eau souterraine surmontée par une formation peu perméable, généralement sous pression.

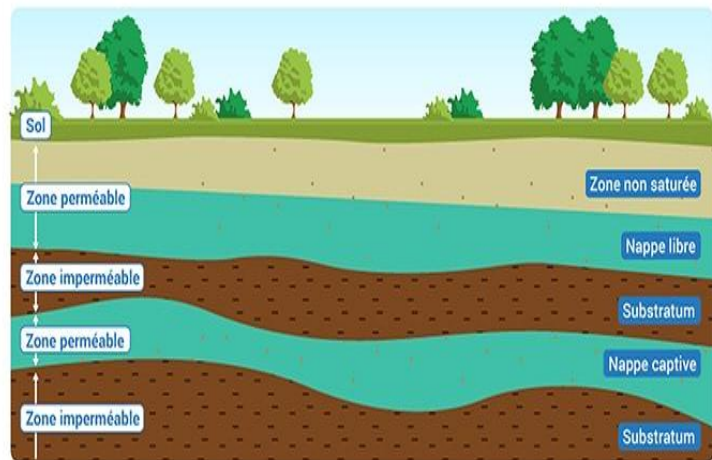


Figure 1 : les différents types de nappes.

A. Les avantages et inconvénients de l'utilisation des eaux souterraines

Les eaux souterraines peuvent présenter des avantages significatifs par rapport aux utilisations plus traditionnelles des eaux de surface [2].

Les avantages de l'utilisation des eaux souterraines sont les suivants :

- L'eau est moins exposée à la contamination.
- La qualité de l'eau est stable.
- La température de l'eau est stable.
- Les changements de qualité de l'eau sont lents à se produire.
- Les pertes par évapotranspiration sont insignifiantes.
- Nécessite généralement moins de traitement.

Cependant, les sources d'eau souterraine souffrent des inconvénients suivants :

- Difficile à nettoyer une fois contaminer.
- Aucun avertissement précoce de contamination. Des panaches de contaminants invisibles peuvent migrer dans un champ de puits sans avertissement, à moins que des puits sentinelles ne soient construits.
- Conflits avec l'utilisation des terres avec des utilisateurs industriels, commerciaux, agricoles, d'irrigation et d'écosystèmes urbains concurrents dans la même région.
- Les rendements durables sont difficiles à estimer.
- Les niveaux d'eau ne sont pas évidents.

- La recharge à des limites.
- Les approvisionnements sont souvent limités dans les bassins.
- Le contrôle de la recharge de l'aquifère ne peut être réalisée par l'utilisateur.
- L'intrusion d'eau salée peut se produire dans les zones côtières.

De plus les aquifères ne sont pas disponibles partout, tout comme les sources superficielles peuvent ne pas l'être.

IV. Définition d'un forage

Un puits à eau ou un forage est un ouvrage de captage vertical permettant l'exploitation de l'eau d'une nappe, contenue dans les interstices ou dans les fissures d'une roche du sous-sol qu'on nomme aquifère. L'eau peut être remontée au niveau du sol soit de façon très simple grâce à un récipient (seau par exemple) soit plus facilement grâce à une pompe, manuelle ou motorisée.

V. L'objectifs de réalisation des forages

La réalisation d'un ouvrage répond avant tout à un besoin, un usage auquel on le destine.

Cet usage peut être varié. On peut citer :

- L'irrigation des cultures.
- La production d'eau pour la consommation humaine et animale (captage publiques, puits domestiques, etc.).
- La surveillance des nappes (piézomètres et qualitomètres).
- La géothermie.
- La dépollution ou lutte contre l'intrusion d'eau salée.
- Les prélèvements industriels (eaux de process, refroidissement, etc.).
- Le thermalisme.
- Les prélèvement ou stockage d'hydrocarbures

VI. Les différents types de forage

Si les résultats obtenus lors de la campagne d'acquisition géophysique sont concluants, un forage est réalisé afin de confirmer la présence de pétrole dans le gisement et valider la mise en production d'un puits.

- ✚ Le forage vertical : permet de forer le puits à l'aplomb vertical de la zone du gisement ou le pétrole est susceptible d'être présent dans le sous-sol

✚ Le forage dévié : permet de forer plusieurs cibles depuis un même site de forage. Cela limite le nombre de sites en surface et permet d'utiliser les installations déjà existantes.

✚ Le forage horizontal : permet l'atteinte de plusieurs cibles dans le sous-sol depuis un même site et de maximiser la surface d'échange avec le réservoir, réduisant ainsi le nombre de forages nécessaires.

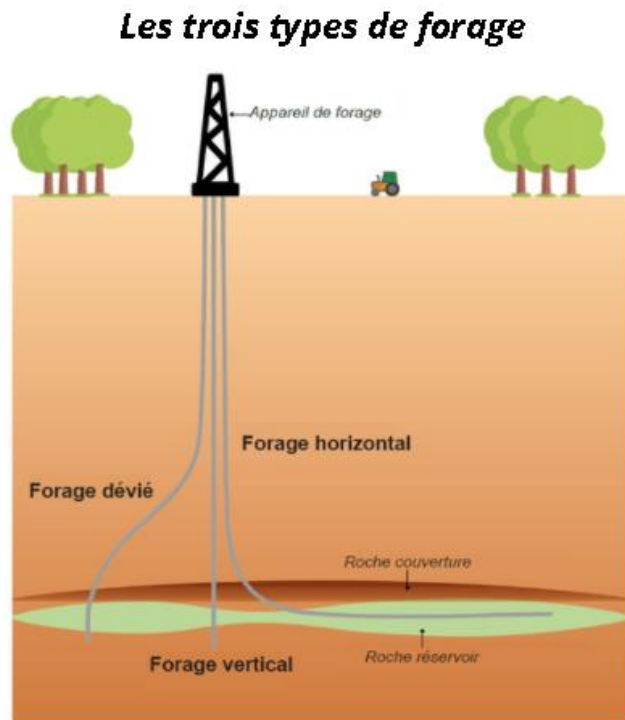


Figure 2 : les trois types de forage

VII. Le fonctionnement de forage

Il nécessite un site de surface (ou plateforme) permettant d'installer l'appareil de forage, ses outils et ses équipements. Ceux-ci permettant de creuser profondément dans le sous-sol, de traverser plusieurs couches géologiques comme des sables, des calcaires ou des argiles, cela fonctionne en quelques sortes comme une perceuse géante !

Un des éléments indispensables pendant le forage est la boue. Ce mélange d'eau et d'argile permet de refroidir l'outil de forage, de l'aider à creuser et de faire remonter les déblais de roche en surface. A la manière d'un circuit fermé, la boue déjà utilisée est tamisée en surface et recyclée constamment.

Il existe 3 sections de forage, chaque fois plus profondes. A chacune de ces étapes, on descend un tube en acier qui permet d'assurer l'étanchéité horizontale du puits et consolider le trou foré vis-à-vis des terrains traversés. On cimente ensuite l'espace entre le tube et la roche afin d'assurer l'étanchéité verticale du puits. Cette opération est essentielle pour préserver la qualité des eaux souterraines et garantir la solidité et la longévité de l'ouvrage.

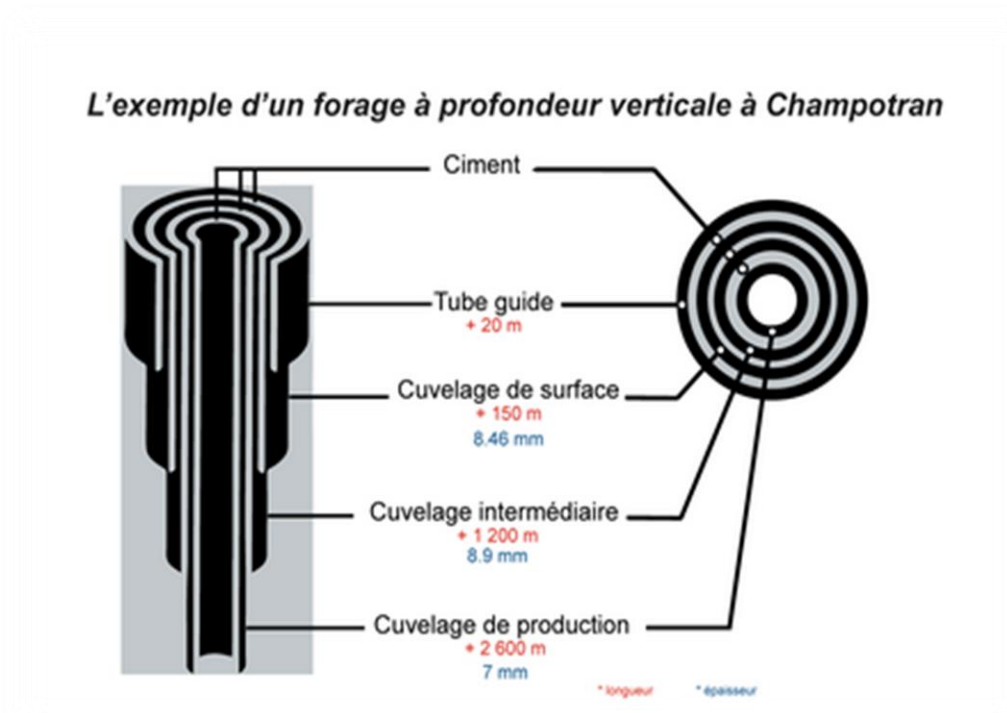


Figure 3 : l'exemple d'un forage en profondeur verticale à Champotran

VIII. Considérations relatives à l'emplacement des puits et forages

Les considérations relatives à l'emplacement des puits de production comprennent les quatre questions suivantes :

- La disponibilité du site.
- L'approvisionnement en eau.
- La qualité de l'eau.
- Les limites de protection des têtes de puits.

De nombreux petits systèmes d'approvisionnement en eau les ont fait du coût comme les principales considérations dans le choix des sites, pour les puits publics d'approvisionnement en eau, mais la qualité de l'eau peut avoir un impact à plus long terme. Par conséquent, il faut équilibrer et considérer à la fois la quantité d'eau et la qualité. Le système d'approvisionnement en eau doit équilibrer des facteurs tels que la profondeur du puits, la géologie de la région, les caractéristiques des formations rocheuses et les minéraux dissous dans l'aquifère [3].

IX. Le choix de site

Le choix de site doit prendre en compte les restrictions et les interdictions applicable à la zone concernée :

❖ Schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), plan de prévention des risques naturelles (zone d'expansion des crues), périmètres de protection de captage AEP ou de source d'eau minérale, périmètre de protection de stockage souterrain de gaz, d'hydrocarbure ou de produits chimiques.

❖ Inventaires départementaux des anciens sites industriels des activités de services, à l'exception des ouvrages de surveillances ou de pollution. Aussi, on doit tenir compte des contraintes de proximité par rapport à des sources de pollution ; ainsi la distance d'un forage doit être supérieur à :

✚ 200 mètres des décharges et stockage des déchets.

✚ 35 mètres des ouvrages d'assainissements.

✚ 35 mètres des stockages d'hydrocarbures.

✚ 35 mètres des bâtiments d'élevages annexes.

✚ 50 mètres des parcelles potentiellement concerné par les l'épandages des déjections animales.

✚ 35 mètres si la pente de terrain est inférieure à 7% ou 100 mètres si la pente de terrain est supérieure à 7% des parcelles concernés par l'épandages de boue issue des stations de traitement des eaux usées [3].

X. Equipement de forage [4]

A. Le tube plein

C'est un tube aveugle (non perforé), il peut être de l'acier ou en PVC, on distingue plusieurs types de mise en place pendant l'exécution d'un forage :

1) **Tube guide ou cuvelage** : Il est presque nécessaire dans tous les cas et peut être défini comme le tube qui isole tout le puits des terrains encaissants et qui durant les opérations contient le fluide du forage.

2) **Tubage intermédiaire** : il est facultatif et peut être défini comme « le tubage installé dans un puits, après l'installation et à l'intérieur du tubage de surface, et dans lequel les opérations de forage ultérieures peuvent être effectuées à l'intérieur du puits ».

3) **Tubage de production** : on l'appelle aussi tube plein. C'est celui qui isole l'encaissant du système d'exploitation (pompe et tiges). Ce tubage est cimenté dans l'encaissant (terrains imperméables), du moins dans la partie basse du forage si un tubage intermédiaire est utilisé.



Figure 04 : principe d'isolement des aquifères par tubage cimenté

✚ **Le choix de tubes pleins** : ils doivent être conçus pour résister mécaniquement aux précessions qui leur seront appliquées une fois mis en place dans le forage (efforts de traction, efforts d'écrasement, efforts d'éclatement et efforts de flambage). Son diamètre est plutôt fonction du débit d'exploitation (diamètre de la pompe) (**TAB suiv**). Sa longueur est en fonction de la nature lithologique des formations traversées. La nature des tubages sera en fonction de la qualité des eaux captées.

N.B. D'autres paramètres peuvent intervenir dans le choix des équipements, telle que : le délai d'approvisionnement ou le coût.

Tableau 5: Correspondance débit, diamètre de la pompe, diamètre du forage.

| Débit en m ³ /h | Diamètre de la pompe en | | Diamètre du forage en | |
|----------------------------|-------------------------|-------------|-----------------------|---------------|
| | Pouces | Millimètres | Pouces | Millimètres |
| <20 | 4 | 101.6 | 5 à 6 | 127 à 152.4 |
| 20 à 40 | 5 | 127 | 6 à 8 | 152.4 à 203.2 |
| 30 à 90 | 6 | 152.4 | 8 à 10 | 203.2 à 254 |
| 80 à 150 | 8 | 203.2 | 10 à 12 | 254 à 304.8 |
| 140 à 200 | 10 | 254 | 12 à 14 | 304.8 à 355.6 |
| 190 à 300 | 12 | 304.8 | 14 à 16 | 355.6 à 406.4 |
| 280 à 400 | 14 | 355.6 | 16 à 20 | 406.4 à 508 |
| 360 à 700 | 16 | 406.4 | 20 à 24 | 508 à 609.6 |

a) type des matériaux du tubage plein

Il existe deux matériaux principaux de tubage plein :

- PVC (plastique)
- Acier, avec notamment :
 - Acier noir
 - Acier noir galvanisé
 - Acier revêtu d'un film plastique
 - Acier au chrome aluminium
 - Acier inoxydable

b) Les caractéristiques des tubages

Les caractéristiques des tubages les plus courants sont les suivantes :

- ✚ Longueur des éléments : 3 à 6m.
- ✚ Epaisseur : 2 à 11mm (acier), 4 à 16mm (PVC).
- ✚ Diamètre : 100 à 2500 mm (acier), 60 à 315 mm (PVC).
- ✚ Raccordement : manchon soudé, embouts filetés (acier), filetage (PVC).

B. La crépine

La crépine est un tubage perforé permettant la pénétration de l'eau de l'aquifère. Placée en face d'une partie ou à la totalité de la formation aquifère, elle constitue l'équipement principale du forage hydraulique. Cet équipement doit :

- Assuré la production maximale d'eau claire sans sable.
- Résister à la corrosion due à des eaux agressives.
- Résister à la pression d'écrasement exercée par la formation aquifère en cours d'exploitation.
- Assuré une longévité pour l'ouvrage.
- Réduire les pertes de charge.

Les caractéristiques géométriques de la crépine (taille, densité et forme des ouvertures) dépendent de la nature et des caractéristiques hydrauliques de l'aquifère définies lors du suivi du forage (analyse granulométrique, diagraphie, ...).

Tableau 6: Choix des ouvertures des crépines en fonction de la granulométrie de l'aquifère

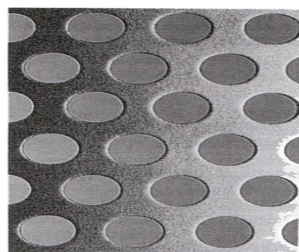
| Taille des grains de l'aquifère | Taille des grains du gravier filtre | Taille des orifices de la crépine |
|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 0.1 à 0.6mm | 0.7 à 1.2mm | 0.50mm |
| 0.2 à 0.8mm | 0.1 à 0.5mm | 0.75mm |
| 0.3 à 1.2mm | 1.5 à 2.0mm | 1.00mm |
| 0.4 à 2.0mm | 1.7 à 2.5mm | 1.50mm |
| 0.5 à 3.0 mm | 3.0 à 4.0mm | 2.00mm |

a. Le choix de la crépine

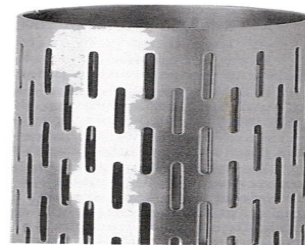
Le choix des crépines déterminé suivant :

- ❖ La profondeur de l'aquifère : pour les aquifères profond on doit procurer l'utilisation des crépines en acier, par contre pour des aquifères de faible profondeurs en procure l'utilisation des crépines en PVC.
- ❖ L'épaisseur de type de terrain (roche consolidée ou roche friable : exemple si l'aquifère à une épaisseur moins de 100m et de formation dure (avoir une perméabilité de fissure) en préfère de ne pas installer des crépines, par contre si l'aquifère à une épaisseur plus de 100m et de formation friable on doit doter notre forage par une crépine longue.

- ❖ La granulométrie des sables du niveau aquifère capté : le diamètre des ouvertures sera déterminé en fonction de la taille des grains de sable.
- ❖ La qualité de l'eau de l'aquifère : ce genre de situation impose d'utiliser des crépines qui résiste à la corrosion et à l'incrustation.
- **Les crépines en acier** : il existe des crépines de types :
 - a) **Crépines à trous ronds** : Elles sont utilisées pour les terrains durs et leurs densités de perforation est de 10%
 - b) **Crépines à trous oblongs** : caractérisée par des ouvertures rectangulaires verticales et une densité de perforation qui varie de 10% à 20%. Ce type de crépine à une longueur standard de 3m.
 - c) **Crépines à prussiennes** : caractérisée par de faible pourcentage de perforation rectangulaires horizontales, formant souvent de bonne résistance mécanique.
 - d) **Crépines à nervures repoussées** : Réalisé à plat puis roulé et soudé cela lui confère de bonne résistance mécanique. Le pourcentage de vide variant de 3 à 27%.
 - e) **Crépines à fentes continues (type Johnson)** : Obtenues par enroulement en hélice soudé sur des génératrices métalliques verticales. L'ouverture de cette crépine est horizontale continue sur toute sa longueur. Elle est utilisée pour capter un aquifère sableux fin, et moyennement profond à profond.



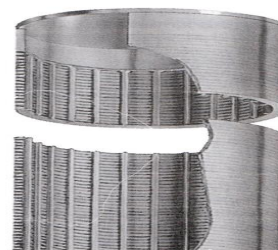
1. Trous ronds



2. Trous oblongs



3. A nervures repoussées



4. Type Johnson

Figure 5 : Différents-types-de-crepines-dapres-1-a-4-donnees-TUBAFOR-5-A-MABILLOT-1971.

Pour s'assurer plus de performance pour ce genre de crépine, la société Johnson a mis au point un kit complet d'équipement de captage, nommé « MINIPAK ». Il s'agit de doubles crépines à fil enroulé, emboîtées l'une dans l'autre, et remplies de massif filtrant (le filtre est composé de billes libres de céramiques, sphériques et lisses).

f) Les crépines de forage en PVC : dispose d'ouverture perpendiculaire à l'axe du tube. Cette disposition offre un écoulement optimum à travers ces orifices. Plusieurs largeurs d'ouvertures sont disponibles sur le marché (0.5-0.6, 0.75-0.8, et 1mm).

On trouve sur le marché deux catégories des tubes et crépines en PVC :

- 1- Tubes et crépines à paroi normale : destiné pour puits de faibles et moyennes profondeurs.
- 2- Tubes et crépines à paroi épaisse (ou renforcée) : destiné pour les forages profonds.

Ce type de crépine et tube sont faciles de les transporter vue leurs faibles poids. Elles résistent parfaitement aux attaques chimiques des eaux souterraines et aux acides qui sont généralement utilisés durant le développement des forages ou pour leurs entretiens. Pour cela, ces caractéristiques assurent une longévité à cet équipement. L'utilisation des crépines et des tubes en PVC dans les forages profonds (plus de 500m) est déconseillée vu leurs faibles résistances mécaniques, et au condition extrêmes de pression et températures qui caractérisent ces profondeurs.



Figure 6 : Tube crépine en PVC

Tableau 7: choix des crépines et des massifs filtrants pour diverses conditions

| Caractéristiques de l'aquifère physiques/chimiques | Cristallin (fissures ou joints étroits) | Consolidé (petits interstices/porosité) | Non consolidé | Stable mais avec des fissures/cavités |
|--|--|--|---|---|
| Peu épais (<100m) | Ni crépine, ni massif filtrant normalement requis (trou ouvert). Il faudra peut-être installer une crépine et stabiliser la formation si celle-ci est fracturée. | Ni crépine, ni massif filtrant normalement requis (trou ouvert). Il faudra peut-être installer une crépine et stabiliser la formation si celle-ci est fracturée. | Crépine avec coefficient d'ouverture élevé et massif filtrant requis. Un massif filtrant naturel peut se former si l'aquifère est homogène. | Crépine avec coefficient d'ouverture élevé. Massif filtrant requis si les cavités renferment des sédiments meubles. |
| Épais (>100m) | Longue crépine avec coefficient d'ouverture faible (10%). Pas de massif filtrant (mais stabiliser éventuellement la formation si celle-ci est fracturée). | Longue crépine avec coefficient d'ouverture faible (10%). Pas de massif filtrant (mais stabiliser éventuellement la formation si celle-ci est fracturée). | Longue crépine (ou plusieurs crépines et massif filtrant requis. Un massif filtrant naturel peut se former si l'aquifère est homogène) | Longue crépine (ou plusieurs crépines) et massif filtrant requis si les cavités renferment des sédiments meubles |

| | | | | |
|--|--|---|---|--|
| Profond (> 200m) | Ni crépine, ni massif filtrant requis (mais stabiliser éventuellement la formations si celle-ci est fracturée). | Ni crépine, ni massif filtrant requis (mais stabiliser éventuellement la formation si celle-ci est fracturée). | Tubes/crépines solides (acier) et massif filtrant requis. En profondeur, un massif filtrant naturel à moins de probabilités de se former. | Tubes/crépines solides (acier) et massif filtrant requis si les cavités renferment des sédiments meubles. |
| Eau corrosive (p.ex. Forte salinité, ph bas, température élevée) | Comme ci-dessus. Mais utiliser des tubes/crépines en plastique ou en acier inoxydable. | Comme ci-dessus, mais utiliser des tubes/crépines en plastique ou en acier inoxydable. | Comme ci-dessus, mais utiliser des tubes/crépine(s) en plastique ou en acier inoxydable. | Comme ci-dessus, mais utiliser des tubes/crépines en plastique ou en acier inoxydable. |
| Eau incrustante (p.ex. Riche en fer/carbonate) | Comme ci-dessus, mais utiliser une ou des crépine(s) à coefficient d'ouverture élevé afin de réduire la vitesse d'entrée | Comme ci-dessus, mais utiliser une ou des crépine(s) à coefficient d'ouverture élevé afin de réduire la vitesse d'entrée. | Comme ci-dessus, mais utiliser une ou des crépine(s) à coefficient d'ouverture élevé afin de réduire la vitesse d'entée. | Comme ci-dessus, mais utiliser une ou des crépine(s) à coefficient d'ouverture élevé afin de réduire la vitesse d'entée. |

b. Longueur et position des crépines

Le choix de la longueur d'une crépine dépend de :

- Le niveau de la nappe.
- Le rabattement de la nappe pendant son exploitation.
- L'épaisseur de la nappe à exploiter.
- La nature et la structure des couches aquifères formant la nappe.

La crépine doit être placée dans une position où les caractéristiques hydrauliques sont les meilleurs. Pour choisir cette position, on doit se baser sur :

- Les diagraphies instantanées, pertes de boue...
- Le carottage.
- L'analyse granulométrique des échantillons.
- Les essais de perméabilité.

Suivant la nature de la nappe, le choix de la longueur de crépine est un compromis entre la crépine la plus longue possible (où la vitesse d'entrée de l'eau à travers la crépine est minimale : perte de charge minimale) et la plus courte crépine placée à la base de l'aquifère (permettant un rabattement plus important : débit important pour longueur réduite : économie). Par ailleurs il est recommandé de ne pas rabattre la nappe au-dessous du sommet de la crépine.

Nappe artésienne en terrain homogène (non stratifié) : on crépinera 70% à 80% de l'épaisseur aquifère, en commençant toujours de la base de formation. Si la couche aquifère est très épaisse, il est recommandé (par raison d'économie et résistance mécanique), de fractionner la crépine en traçons d'égale longueur, séparés par des morceaux de tube plein de même diamètre.

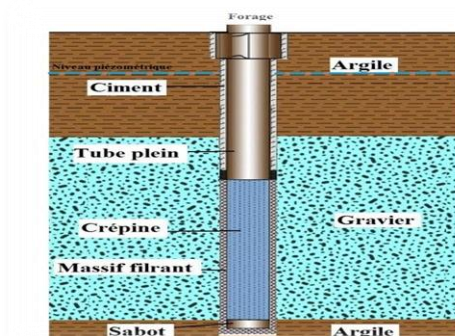


Figure 7 : Crépinage-en-terrain-homogène-dans-une-nappe-artésienne.

Nappe artésienne en terrain hétérogène (stratifié) : on crépinera à 70% à 80% la couche la plus perméable.

On détermine la couche la plus perméable par l'un des méthodes suivantes : examen visuel des déblais ou par diagraphie (gamma ray, polarisation spontanée, etc...)

Nappe libre en terrain homogène : pour une nappe ayant une épaisseur inférieure à 45m, on crépinera seulement le tiers inférieur ou la moitié de son épaisseur, par contre si l'épaisseur est plus grande, on peut crépiner jusqu'à 80% de son épaisseur pour obtenir une capacité spécifique plus importante.

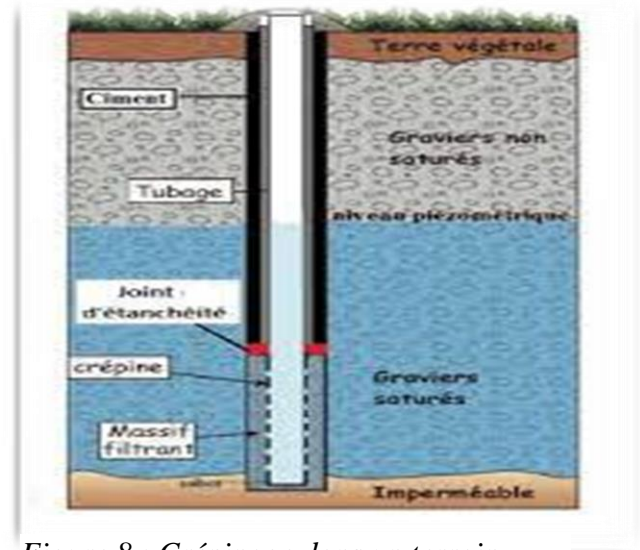


Figure 8 : Crépinage dans un terrain homogène en nappe libre

Cas de crépinage en terrain homogène dans une nappe libre.

Nappe libre en terrain hétérogène (couche multiples) : on crépinera la couche la plus perméables (70% à 80%). Si cette couche est mince on doit crépiner les autres couches les moins perméables, mais avec des ouvertures différentes.

C. Massif filtrant

Il s'agit de mettre en place, entre la crépine et l'aquifère un massif de gravier dont la granulométrie doit être élevée (limitation de perte de charge) tout en assurant une filtration efficace.

Choix et dimensionnement du massif filtrant

Le massif sera constitué d'un matériau propre sans élément fin, de forme arrondie pour limiter les pertes de charge. Enfin, il sera caractérisé par une courbe granulométrique précise définie à partir de la courbe granulométrique propre de l'aquifère.

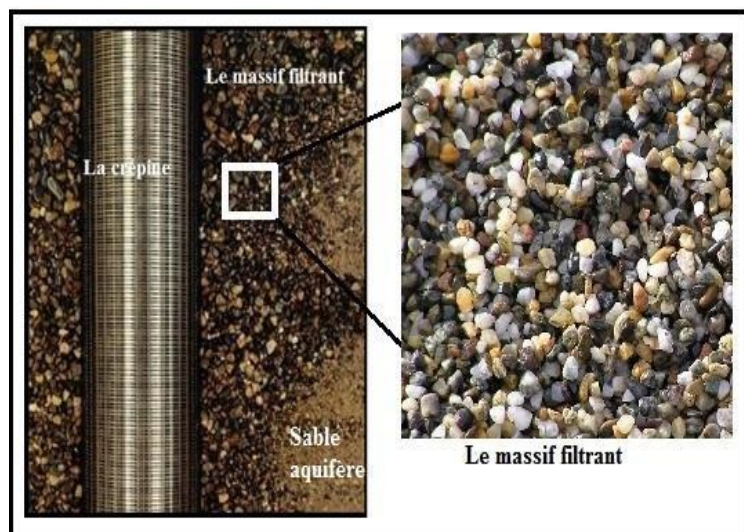


Figure 9 : Emplacement de massif filtrant dans le forage.

Il ne sera pas nécessaire de mettre en place de massif filtrant artificiel :

- Lorsque la granulométrie de l'aquifère est grossière, on peut réaliser un développement naturel ou auto développement.
- Lorsque l'encaissant est consolidé.

Par contre, lorsque dans les aquifères, consolidés ou semis consolidés, présentent des risques d'éboulements, la mise en place d'un massif de blocage n'a pas un effet de filtre mais de soutènement.

D. Cimentation

Le rôle de la cimentation est de protéger le forage contre les pollutions extérieures. Elle peut être réalisée avec de l'argile ou avec un mélange bentonite-ciment. Dans ce cas, un bouchant d'argile doit être placé entre le massif filtrant du gravier et le ciment pour éviter que le laitier de ciment ne colmate pas le massif.

L'opération consiste à remplir avec un mélange d'eau et de ciment (laitier de ciment) l'espace annulaire au-dessus du massif filtrant jusqu'à la surface du sol. La cimentation doit être réalisée avant les essais de pompage. Le dosage de laitier de ciment est d'environ 50 l d'eau pour 100 kg de ciment.

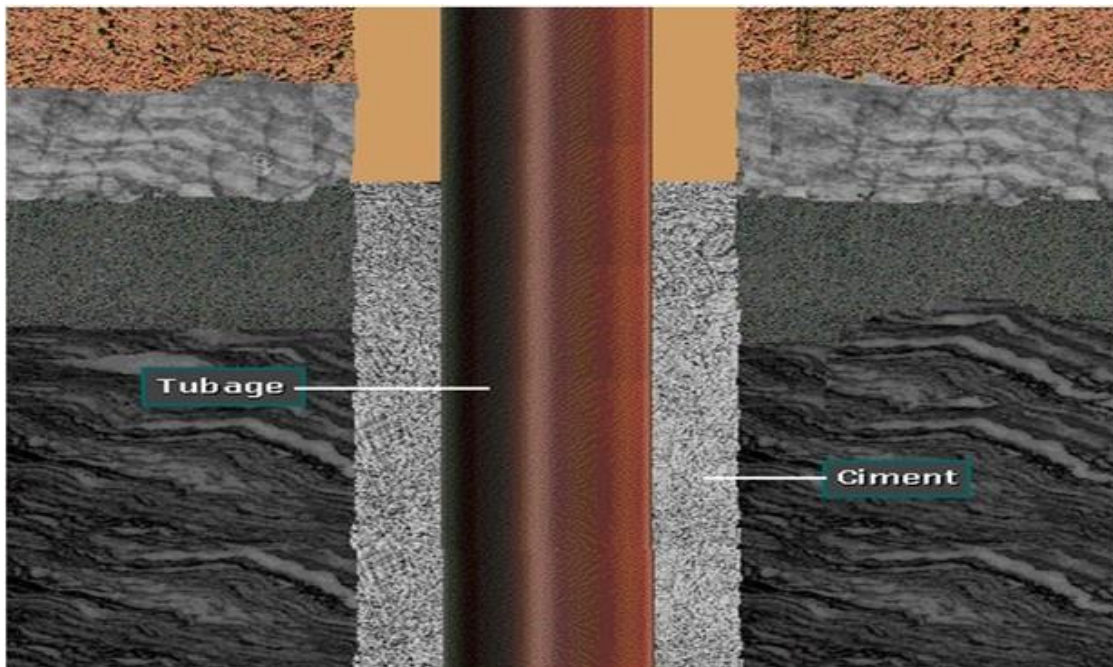


Figure 10 : La cimentation

XI. Les domaines d'intervention du forage

Les principaux domaines d'intervention du forage peuvent être groupés sous les rubriques suivantes :

- Recherche et exploitation de matières utiles : minerais, charbon, eau, pétrole, matériaux de carrières.
- Reconnaissance des soles dans le cadre d'études géologiques, géotechniques, hydrogéologiques, pédologiques.
- Préparation de sols en vue de la réalisation d'ouvrages de génie civil : pieux forés, injections.

Le présent travail s'intéresse plus particulièrement à la deuxième intervention, en y incluant la reconnaissance de carrières qui s'y relie par la fourniture de matériaux pour la construction et l'empierrement. Bien qu'étant une technique très ancienne, le forage s'est beaucoup développé avec les recherches minières, et il a mis à profit de nombreuses innovations techniques déterminantes comme l'utilisation de matériaux très durs et d'aciers spéciaux, l'air comprimé, la transmission hydraulique.

Le sondage de génie civil utilise des matériels qui sont en quelque sorte des modèles réduits des machines pétrolières. Les matériels existants sont très nombreux et variés, et l'on trouve sur le marché des machines et outillages plus ou moins spécialisés, aptes à répondre aux différents types de problèmes posés.

XII. Cartographie

L'utilisation de la cartographie géologique et hydrogéologique permet d'avoir des informations concernant les caractéristiques (nature et qualité) de l'aquifère et des différentes formations où elle se trouve. Ces informations sont en particulier (5) :

- L'endroit et l'étendue de l'aquifère
- Le type de la nappe (libre, captive, semi captive)
- La structure de l'aquifère (fissures, failles...etc.)
- La structure des limites : toit et substratum.

- La liaison et les relations avec les écoulements de surface (cours d'eau, plan d'eau...etc.).

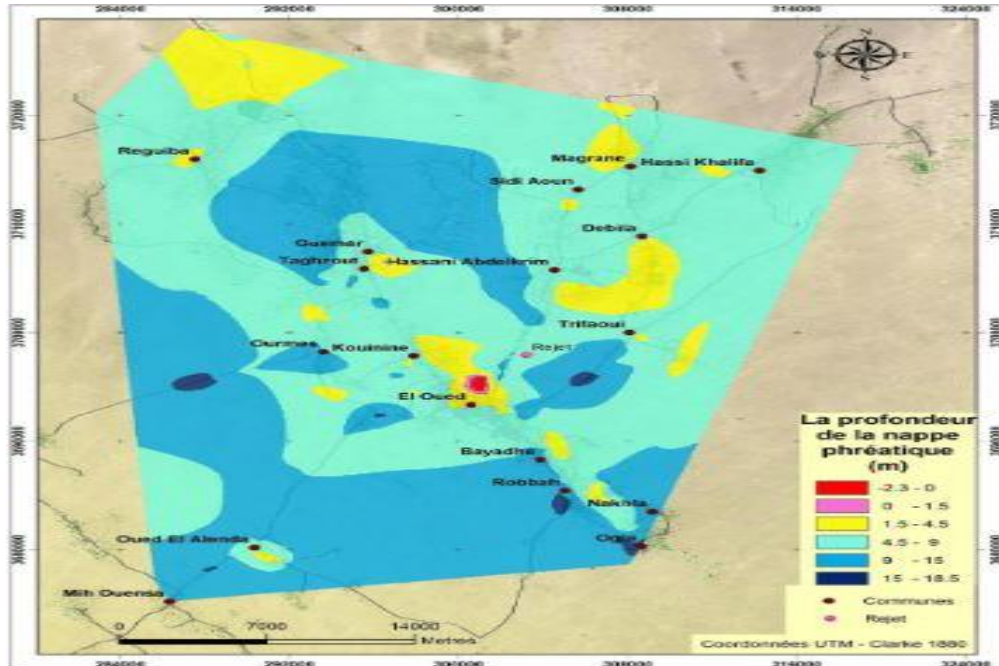


Figure11 : Cartographie de profondeur du niveau statique de la nappe phréatique de la vallée d'oued souf.

A. 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).

B. 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 carte 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).

C. Cartes piézométriques

Les cartes piézométriques présentent 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 du sens d'écoulement ; dont les courbes fermées traduisent des dômes (sommets) caractérisant des zones d'alimentation ou bien des dépressions des zones de captage. Pour une section constante d'écoulement, le gradient hydraulique est proportionnel au débit d'écoulement dans la nappe, et inversement proportionnel à la perméabilité de la nappe. Pour une largeur constante de l'aquifère, la variation du gradient hydraulique (piézométrique) est le résultat de la variation de la perméabilité, de l'épaisseur de la nappe ou bien du débit (infiltration par exemple). Des ruptures de la piézométrie peuvent être le résultat de présence d'accidents tectoniques. Des accidents sont souvent associés à des alignements de sources artésiennes.

L'analyse des fluctuations temporelles de la piézométrie des nappes libres donne des informations sur la recharge par infiltration, sur la réserve disponible et sur les niveaux et débits d'étiage des cours d'eau.

D'autres cartes sont encore utiles : la carte topographique, la carte hydrologique, la carte pédologique et la carte d'occupation de sol

D. 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.

E. 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 des 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.

XIII. 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 [5].

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 profondeur du substratum
- La localisation et les caractéristiques de l'aquifère

Prospection par sismique de réfraction

Le principe de la sismique de réfraction est qu'un ébranlement à la surface du sol, se propage dans celui-ci 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 au point d'explosion E (point d'ébranlement : point d'impact).

On obtient généralement une ligne brisée ou dromochronique d'où se déduisent les vitesses de propagation des ondes dans les couches et les épaisseurs respectives de ces dernières.

On réalise classiquement un tir direct et un tir inverse (on permet l'emplacement des géophones et du point d'impact).

La forme des dromochroniques obtenues, permet de préjuger l'allure du substratum (pente, décrochements) et de la présence d'accidents (failles, cavités...etc.). En plus de l'évaluation des profondeurs, la sismique de réfraction donne aussi des indications sur les caractéristiques mécaniques du sol, grâce à l'évaluation des vitesses de propagation de l'onde.

Prospection électronique

La prospection électrique permet d'étudier les variations latérales et verticales de la résistivité apparente du 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 du potentiel Δv , produit par l'effet d'Ohm, entre deux électrodes de référence M et N (dispositif quadripôle).

En appliquant la loi d'Ohm, on calcul la résistivité apparente par :

$$\rho_a = k \times \Delta v / I$$

ρ_a : la résistivité apparente (Ωm)

K : coefficient (selon dispositif)

Δv : le gradient de potentiel (V)

I : intensité du courant (A)

Tableau 8: La résistivité de quelques types de sol.

| Type de sol | Résistivité | Résistivité du sol saturé |
|----------------------|--------------|---------------------------|
| Argile | 3 à 5 | 5 à 10 |
| Sable | 40 à 150 | 50 à 400 |
| Gravier | 200 à 250 | 150 à 500 |
| Schiste cristallin | - | 100 à 10000 |
| Gneiss sain | 1000 à 10000 | - |
| Gneiss altéré sec | 300 à 600 | - |
| Gneiss altéré en eau | 120 à 200 | - |
| Granites | 1000 à 10000 | 100 à 500000 |
| Calcaire | - | 100 à 10000 |

Pour bien explorer un sous-sol, on réalise deux types d'opérations

A- Profil de résistivité

On effectue pour la reconnaissance latérale d'un terrain où la profondeur d'investigation sera constante. On déplace le long d'un profil, le même dispositif AMNB (écart invariant) : la profondeur d'investigation reste la même, et on explore une tranche du sous-sol d'épaisseur sensiblement constante. On peut donc déceler des hétérogénéités induisant des variations de résistivité (changement de nature ou de faciès de roches, failles, fractures, grottes...etc.).

B- Sondage électrique

On effectue en même station, une série de mesures, en augmentant à chaque fois la longueur de la ligne AB qui régit la profondeur d'investigation. Les valeurs de (ρ_a) ainsi obtenues correspondent à des tranches de sol à chaque fois plus épaisses.

XIV. Conclusion

On conclut dans ce chapitre que les forages ou les puits ont une grande importance pour assurer la présence des eaux souterraines qui sont de bonne qualité, pour faire face au déficit d'eau surtout dans les régions rurales.

Concernant les moyens de reconnaissance à mettre en œuvre pour compléter l'étude géologique de surface, nous insisterons sur le fait qu'une campagne de reconnaissance doit toujours être menée avec méthode et précision. Le choix d'un type d'appareil doit se faire en fonction du terrain attendu et surtout de la nature du problème à résoudre. Il est rare qu'une seule méthode donne des résultats escomptés et l'on doit souvent combiner plusieurs observations et/ou plusieurs mesures

Dans le cas des projets importants, il est nécessaire de conduire la campagne étape par étape allant de la résolution des problèmes généraux à celles des points particuliers. On réservera toujours les essais ponctuels et coûteux pour la deuxième ou la troisième phase, après que la reconnaissance globale du site et la mise en évidence des principales difficultés soient effectués.



**Chapitre II : Les méthodes
et les fluides de forage**

Chapitre II : les méthodes et les fluides de forage

I. Introduction

La réalisation d'un forage constitue la méthode la plus directe d'approche des caractéristiques du milieu souterrain en un point donné.

Les fluides de forage ont un rôle capital dans l'exécution d'un ouvrage et il convient d'y apporter une attention particulière. Le choix et le contrôle des fluides de forage sont des éléments fondamentaux dont dépendent la réussite ou l'échec de l'ouvrage.

Dans ce chapitre, on cite les méthodes de forage les plus utilisées, avec leurs avantages et inconvénients relatifs, ainsi que les différents fluides et produits de boue de forage.

II. Les méthodes de forage

A. Forage au marteau fond de trou (MFT)

Cette méthode de forage utilise la percussion assortie d'une poussée sur l'outil qui se trouve lui-même en rotation.

L'énergie utilisée pour actionner cet outillage est l'air comprimé à haute pression (10-25bares). C'est un procédé très intéressant en recherche hydrologique et principalement en terrains durs [7].

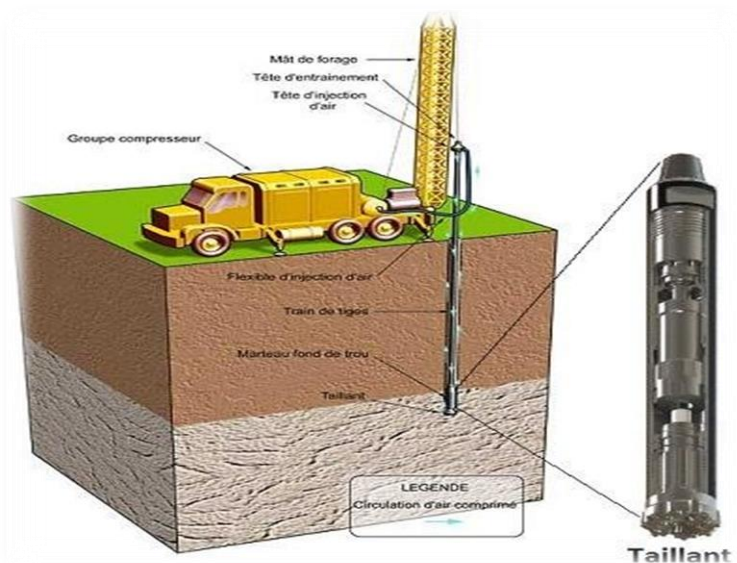


Figure 12 : Schéma simplifié d'une installation de forage marteau fond de trou (MFT)

Avantages

- Avancement rapide et une profondeur d'investigation pouvant dépasser les 300 M.
- Bonne observation des cuttings (coupe géologique) et des zones productrices (suivi foration).
- Fluide de forage (air) bien adapté au forage d'eau en générale de par l'absence de produit de foration (pas d'interférence entre la ressource et des boues ou de l'eau).

Inconvénients

- Le fluide (air) peut perturber en foration les observations relatives à la qualité du fluide d'un niveau producteur par oxydation d'éléments ou en occultant des venues de gaz.
- Procédé peu adapté dans les terrains non consolidés ou plastiques
- Risque de formation de bouchons de cuttings, nécessitant de fréquents nettoyages du trou par soufflage.
- Nécessité d'utilisation de compresseurs très puissants voire de supprimeurs en cas de foration sous des hauteurs d'eau importantes.
- Mauvaise identification de chaque niveau producteur en cours de foration.

B. Forages rotary

La technique rotary, est utilisée spécialement dans les terrains sédimentaires non consolidés et avec des machines légères, tandis que les machines puissantes de rotary peuvent travailler dans des terrains durs.

Un outil appelé trilame (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 (deux effets) du terrain sans choc, mais uniquement par translation et rotation (deux mouvements). Le mouvement de translation est fourni principalement par le poids des tiges au-dessus de l'outil.

La circulation d'un fluide (liquide visqueux : la boue) 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 et les maintiens momentanément en attendant la pose de tubage [7].

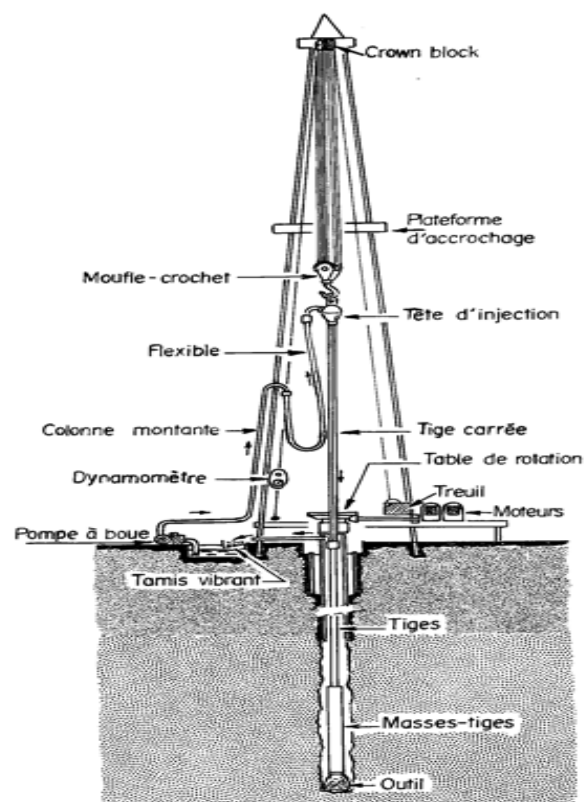


Figure 13 : Disposition schématique d'un atelier de forage rotary (d'après A. MABILLOT).

Avantage

- La profondeur du forage peut être très importante, quel que soit la nature du terrain (peu stables ou plastiques), à condition d'utiliser un fluide de forage adapté.
- Le forage au rotary entraîne une consolidation des parois en terrains meubles par dépôt d'un cake.
- Consommation économique de l'énergie.
- Bon contrôle des paramètres de forage (rotation, qualité de boue, débit d'injection de la boue) en fonction des terrains à traverser.

Inconvénients

- Nécessité d'un fluide de forage qui ne permet pas l'observation directe de la qualité des eaux des formations traversées
- Colmatage possible des formations aquifères par utilisation de certaines boues (bentonite).
- Demande un grand volume d'eau.
- Non utilisé dans des sites non accessibles et terrains accidentés.

C. La méthode de battage

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

On distingue deux types de battages : le battage au treuil et le battage au câble. Cette dernière méthode est la plus courante. Le trépan est suspendu à un câble qui est alternativement tendu et relâchés.

Les mouvements sont rapides et le travail de l'outil se fait plus par un effet de martèlement, dû à l'énergie cinétique que par un effet de poids comme pour le battage au treuil.



Figure 14 : Mât de battage PVE 50PR

Un émerillon permet au trépan de pivoter automatiquement sur lui-même à chaque coup. Le trou est nettoyé au fur et à mesure de l'avancement par descente d'une soupape permettant de remonter les débris (cuttings). Ce procédé permet de réaliser des forages sans utilisation d'eau ou de boue [7].

Avantages

- C'est un procédé simple et relativement peu coûteux (investissement généralement plus faible que pour les autres procédés de foration).
- C'est une méthode bien adaptée pour les forages de moyenne profondeur.
- Les résultats sont très bons dans les terrains fissurés (pas de pertes).
- Nécessite moins d'eau (40 à 50 l/h) et de n'importe quelle qualité.
- Il n'y a pas de fluide de forage (boue) et pas de risques de pollution de la nappe.

Inconvénients

- Vitesse d'avancement assez faible induisant un coût de suivi de travaux en proportion.
- Difficultés pour équilibrer des venues d'eau artésiennes jaillissantes.
- Absence d'information sur les niveaux producteurs (qualité – production) sinon par mise en place de dispositif de pompage en parallèle à la foration.
- C'est une méthode peu adaptée dans les terrains plastiques ou bouillants dans lesquels le tubage à l'avancement est nécessaire [5].

D. Forages carotte

Cette méthode consiste en la réalisation d'un ouvrage à l'aide d'un outil spéciale, le carottier destiné à récupérer la formation en place sans destruction [7].



Figure15 : forage avec carottage

Avantage

- Observations géologiques de qualité optimale.
- Couplé à un dispositif d'orientation de la carotte, l'échantillon recueilli en zones fracturées permet une analyse des directions de fracturation.

Inconvénients

- Coût élevé.
- Diamètre réduit.
- Pourcentage de récupération des formations fonction de la nature des terrains (faible en structure non consolidée).

E. Forages par havage

Le forage par havage est plus connu sous le nom de procédé Benoto : 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 hydraulique. Une benne preneuse "vide" pénètre progressivement à 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. Le tube permet de briser l'obstacle. Il est également possible d'utiliser des vibreurs hydrauliques pour faciliter la descente ou l'arrachage des tubages [7].



Figure16 : forage par havage

Avantage

- Avancement rapide à faible profondeur dans des formations meubles, notamment alluvionnaires (en l'absence de déliement grossier)
- Réalisation d'ouvrages en gros diamètre (peu répandus pour l'eau)

Inconvénients

- Méthode inadaptée aux terrains durs.
- Frottement du tubages mis en place à l'avancement ; profondeur réduite.
- Difficulté pour arracher les tubages de soutènement après la mise en place des crépines et du massif filtrant.

III. Définition de fluide de forage

Le fluide de forage est un système composé de différents liquides (eau, huile) ou gazeux (air ou gaz naturel) contenant en suspension d'autres additifs minéraux et organiques (argiles, polymères, tensioactifs, déblais, ciments, ...). Le fluide de forage était déjà présenté en 1933 lors du premier congrès mondial du pétrole.

IV. La boue de forage

Les boues de forage sont des suspensions d'argiles dans l'eau, auxquelles on peut ajouter des substances en poudre et des produits chimiques liquides (c'est un mélange colloïdal et non une solution). On laisse la suspension s'hydrater plusieurs jours, puis on la dilue à la demande [6].

A. Rôle de la boue de forage

Les boues de forage doivent avoir les propriétés leur permettant d'optimiser les fonctions suivantes [5]:

- Nettoyage de puits
- Maintien des déblais (cuttings) en suspension
- Sédimentation des déblais fins en surface
- Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde
- Prévention du cavage et des resserrements des parois du puits
- Dépôt d'un cake imperméable
- Prévention des venues des fluides
- Augmentation de la vitesse d'avancement

- i- Entraînement de l'outil
- j- Diminution du poids apparent du matériel de sondage
- k- Apport de renseignements sur le sondage

Malgré les rôles très importants de la boue de forage, il est utile de signaler quelques risques liés à son utilisation sur les gisements, les employeurs, l'appareillage et l'environnement.

Parmi ces risques on note :

- a- Contamination des formations productrices.
- b- Corrosion et usure du matériel.
- c- Toxicité et sécurité.
- d- Pollution de l'environnement.

B. Propriétés physico-chimiques de la boue de forage

- a- Densité
- b- Viscosité
- c- Filtrat
- d- Cake
- e- Teneur en sable
- f- PH
- g- Le calcium Ca^{++}
- h- Le chlorure Cl^-

V. Les produits à boue

Historiquement, les fluides de forage ont évolué d'un simple mélange d'eau et d'argile appelée « BOUE » vers des systèmes de plus en plus complexes composés d'eau ou huile avec une multitude d'additifs répondant aux caractéristiques requises et aux problèmes rencontrés. Il est possible de classer grossièrement ces composants en 20 catégories [6].

Tableau 5 : Principaux additifs utilisés dans les fluides de forages.

| | | | |
|----|--------------------------|----|---------------------------------------|
| 1 | Contrôleurs d'alcalinité | 11 | Lubrifiants |
| 2 | Bactéricides | 12 | Décoinçant (ou dégrippants) |
| 3 | Anti-calcium | 13 | Inhibiteurs de gonflement des argiles |
| 4 | Inhibiteurs de corrosion | 14 | Produits facilitant la séparation |
| 5 | Anti-mousses | 15 | Stabilisants haute température |
| 6 | Agents moussants | 16 | Défloculants |
| 7 | Emulsifiants | 17 | Viscosifiants |
| 8 | Réducteurs de filtrat | 18 | Alourdissant |
| 9 | Floculants | 19 | Saumure |
| 10 | Colmatant | 20 | Huile minérale ou organique |

VI. Types des fluides de forage

Plusieurs classifications des types de boue peuvent être adoptées. Il est cependant habituel de présenter les boues en fonction de la phase continue. Nous allons donc rencontrer : fluide ou boue à base d'eau (Water Based Mud), fluide ou boue à base d'huile (Oil Based Mud [6]).

A. Boues à base d'eau

Les boues à base d'eau sont des boues dont la phase continue est l'eau éventuellement chargée en Na Cl. Elles sont généralement utilisées pour forer les sections supérieures d'un puit. Pendant le forage, les matériaux des formations traversés s'incorporent dans la boue et peuvent ainsi changer sa composition et ses propriétés.

Elle se présente essentiellement comme suit :

« Les boues douces dont la teneur en Na Cl ne dépasse pas quelques g/l. Ces boues douces (bentoniques) sont principalement constituées par une suspension colloïdale d'argiles, plus précisément de la bentonite sodique dans l'eau. La concentration en bentonite varie généralement de 30 à 70 g/l selon le rendement de la bentonite et les caractéristiques de la boue désirées. Cependant, occasionnellement, des traitements supplémentaires pourront être faits avec des phosphates.

« Les boues salées dont la teneur en Na Cl peut être comprise entre quelques dizaines de g/l et la saturation. Ces boues sont utilisées pour la traversée des zones salifères pour éviter le cavage et elles sont constituées d'eau, de sel (généralement Na Cl), de colloïdes minéraux (attapulgite ou sépiolite), de colloïdes organiques (amidon), d'un fluidifiant minéral ou organique (chaux, soude).

B. Boue à base d'huile

Nous classons dans cette catégorie les fluides de forage ou de complétion constitués d'une phase continue d'huile et d'une phase dispersée aqueuse, représentant quelques pour cent en volume seulement. Cela par opposition aux boues à émulsion inverse qui elles, peuvent avoir une phase aqueuse dispersée dépassant 50% en volume.

L'huile de base constitue la phase liquide continue dans laquelle les autres constituants sont émulsionnés ou mis en suspension. Selon les contraintes de sécurité et environnementales, on utilise des huiles de différentes compositions allant de l'huile diesel à l'huile minérale désaromatisée

Tableau 6 : Les principales caractéristiques des huiles couramment utilisées.

| | Densité à 15°C | Point éclair | Point d'aniline | % d'aromatique |
|---------------------|----------------|--------------|-----------------|----------------|
| Diesel | 0,840 | 65°C | 68°C | 25 |
| EXXON Escaid 110 | 0,790 | 79°C | 76°C | <0,5 |
| TOTAL HDF 2000 | 0,808 | 105°C | 89°C | 0,4 |
| CONOCO LVT 200 | 0,806 | 93°C | 74°C | <1,0 |
| TOTAL EDC 99 | 0,811 | 101°C | 80°C | -0- |

✚ Stabilisateur d'émulsion

Ces produits sont utilisés pour stabiliser l'émulsion eau-huile : ils rentrent dans la composition de la plupart des boues à l'huile. Leur mode de fonctionnement a été décrit au paragraphe précédent. Ils diffèrent selon le type de boue mis en œuvre et le pourcentage d'eau.

✚ Réducteur de filtrat

Principalement des asphaltes ou, lorsque les dérivés asphaltiques sont interdits, de la gilsonite, agissant comme support de cake.

VII. Composition des boues

En plus de l'eau et du gasoil utilisé comme phase continue ou émulsionnée, un très grand nombre de produits entrent dans la fabrication et le traitement des fluides de forage dont certains ont un rôle spécifique et d'autres ont des actions multiples.

Ces produits sont classés par familles [6]:

A. Colloïdales argileux (produits viscosifiants)

- a. **Les bentonites** : Les bentonites sont des argiles sodiques du type montmorillonite qui présentent la propriété de gonfler dans l'eau douce en absorbant une grande quantité d'eau. Les bentonites sont employées pour augmenter la viscosité et les gels des boues douces, et diminuer le filtrat. En milieu salé



Figure 17 : La bentonite

(>35 g/l de NaCl), les bentonites sont inefficaces et ne servent alors que de support colloïdal.

b. Les attapulgites

Les attapulgites sont des argiles du type sépiolite qui présentent la propriété de se disperser et de rester en suspension en milieu salé. Cette propriété est employée pour augmenter la viscosité et les gels des boues salées (>35 g/l de Na Cl). Cependant, ces argiles ne présentent aucune capacité à réduire le filtrat.



Figure 18 : L'attapulgite

B. Colloïdes organiques (produits réducteurs de filtrat)

a. L'amidon

Les amidons pour boues de forage sont extraits de pommes de terre, de la gomme de guar, du riz, du maïs et de blé. Ils sont traités spécialement pour gonfler rapidement même dans l'eau froide et non alcaline. L'amidon est ajouté dans les boues douces ou salées pour réduire le filtrat, leur emploi exige cependant que l'une des trois conditions ; $\text{PH} > 12$, présence antifermant et une salinité supérieure à 250 g/l. Un bon amidon doit réduire le filtrat sans trop augmenter la viscosité de la boue et il doit résister à une température de 150°C.

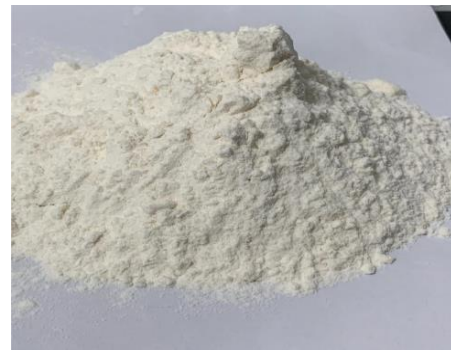


Figure 19 : La poudre d'amidon

b. Les carboxyméthylcelluloses (CMC) et les celluloses polyanioniques (PAC)

La carboxyméthylcellulose (CMC) a été employée depuis 1947 dans divers fluides de forage à base d'eau comme réducteur de filtrat ou comme viscosifiant. Elles sont classées en trois catégories ; basse viscosité, moyenne viscosité, et haute viscosité. Le rendement d'une C.M.C diminue lorsque la salinité augmente et on lui préfère l'amidon pour contrôler le filtrat des boues salées saturées. Cependant, les C.M.C possèdent encore

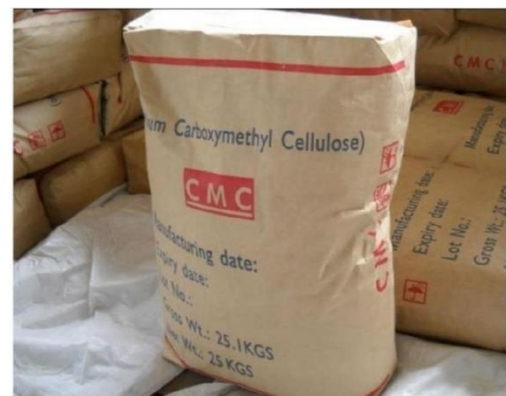


Figure 20 : Le sac de Carboxyméthylcelluloses (CMC)

un bon rendement en milieu salé saturé sous réserve de maintenir la concentration en calcium au-dessous de 500 mg/l. dans ce cas-là, la boue possédera des viscosités plus basses qu'avec l'amidon. Les C.M.C et l'amidon se dégradent lorsque la température atteint 150°C, certaines peuvent résister jusqu'à 180°C.

Les celluloses polyanioniques (PAC) sont employées principalement comme réducteurs de filtrat pour les boues à base d'eau douce et d'eau de mer, mais agissent également en tant que viscosifiants dans ces systèmes. Les deux catégories de PAC disponibles diffèrent par leur viscosité mais donnent le même degré de réduction de filtrat. Le PAC résiste à des températures d'environ 150 °C et n'est pas soumise à la dégradation bactérienne.



Figure 21 : La poudre des celluloses polyanioniques (PAC)

C. Les produits fluidifiants

a. Les tanins

Les plus utilisés sont les tanins de Québracho (extraits de l'écorce d'un arbre poussant en argentine) et les tanins de chataigniers. Le PH d'un tanin non traité, en solution aqueuse, est de 4 environ. L'effet fluidifiant est fonction du pH de la boue, ce qui nécessite d'employer ce produit couplé avec de la soude (dose d'emploi : 2 à 8 g/l). Les tanins deviennent très vite inefficaces lorsque la concentration en calcium atteint 300 mg/l, ou lorsque la concentration en Na Cl atteint 20 g/l ou lorsque la température atteint 150°C.



Figure 22 : La poudre du tanin

b. Les lignosulfonates (FCL) et les lignines (LC)

Les lignosulfonates sont extraits de la pâte à papier de conifères par traitement de la pulpe à l'aide d'un acide sulfurique d'un métal lourd. Actuellement, les plus utilisés sont les lignosulfonates de ferrocchrome (Fe,Cr) qui fonctionnent pratiquement dans toutes les boues à base d'eau. Ces produits possèdent la particularité de se comporter comme un fluidifiant entre 2 à 8 g/l et comme inhibiteur de gonflement des argiles lorsque la dose est entre 12 à 30 g/l. une boue traitée à l'aide des lignosulfonates de ferrocchrome résiste à des hautes concentrations en calcium et en Na Cl et à des températures pouvant atteindre 190°C. il est cependant nécessaire de travailler avec des valeurs de PH supérieures à 9.

Les lignines sont extraites de bois, c'est à partir des lignines que l'on obtient un lignosulfonate par traitement à l'acide sulfurique. Ils s'emploient pour accroître les propriétés de (FCL) lorsque la température est élevée (sup à 200°C).

D. Les additifs minéraux

- a. **La soude caustique (NaOH)** : est employée pour augmenter le PH (contrôleur d'alcalinité) et accroître le rendement des produits organiques et d'argile
- b. **Le carbonate de soude (Na₂CO₃)** : le carbonate de soude est employé pour accroître le rendement des argiles et précipiter le calcium
- c. **Le bicarbonate de soude (NaHCO₃)** : le bicarbonate de soude est employé lors de reforage de ciment pour précipiter la chaux libérée par le ciment.
- d. **Le gypse (CaSO₄)** : le gypse ou plâtre de paris est employé pour confectionner les boues au gypse qui empêchent le gonflement des argiles forées, ce qui permet de travailler avec des viscosités plus faibles.
- e. **La chaux éteinte Ca(OH)₂** : la chaux éteinte est employée pour confectionner les « boues à la chaux » et débicarbonater les boues contaminées par le gaz carbonique (CO₂)
- f. **Le sel de l'halite (Na Cl)** : le chlorure de sodium est employé pour confectionner des boues salées saturées, lorsque l'on doit forer dans des zones salifères.
- g. **Le sel de sylvite (KCl)** : le chlorure de potassium est utilisé souvent dans la formulation des boues de forage comme un inhibiteur de gonflement d'argile.

E. Les alourdissant

- a. **La barytine ou sulfate de baryum (BaSO_4)** : c'est l'alourdissant ($d=4,2$) le plus couramment utilisé. Elle ne doit pas contenir d'abrasif et sa granulométrie doit être telle qu'elle ne sédimente pas ni n'augmente pas trop la viscosité de la boue. A l'aide de la baryte on peut alourdir une boue jusqu'à une densité de 2,50.



Figure 23 : La poudre de la barytine

- b. **La galène ou sulfure de plomb (PbS)** : cet alourdissant ($d=7$) est employé pour obtenir des densités de boue supérieure à 2.5, on alourdit d'abord la boue à l'aide de baryte qui sert comme alourdissant primaire (jusqu'au 2,5), puis on poursuit l'alourdissement à l'aide de galène jusqu'à la densité désirée. On utilise cette procédure pour réduire l'usure de la garniture et l'outil par la galène.
- c. **Les oxydes de fer** : comme l'hématite et la magnétite, ils sont peu utilisés à cause de leur forte abrasivité.

✚ L'opération d'alourdissement

Si la tenue du puits l'exige, on peut être amené à augmenter la densité de la boue en circulation. La quantité de baryte à utiliser est déterminée comme suit :

$$X = D_a \left(\frac{D_f - D_i}{D_a - D_f} \right)$$

X= tonnes d'alourdissant à ajouter par m^3 de boue à alourdir

D_f = densité finale souhaitée

D_i = densité initiale de la boue à alourdir

D_a = densité de l'alourdissant

Avant d'alourdir une boue, il est nécessaire de connaître le tonnage d'alourdissant nécessaire par m^3 de boue à alourdir, en utilisant la formule ci-dessus, ainsi que le volume résultant de l'alourdissement du volume à alourdir. Il est évident que l'addition d'un alourdissant dans la boue crée une augmentation sensible du volume qu'il ne faut pas négliger, car des surprises désagréables telles que le débordement des bassins sont à redouter. On pourra déterminer cette augmentation à l'aide de la formule :

$$\text{Augmentation de volume en m}^3 = \frac{\text{tonne d'alourdissant}}{\text{densité de l'alourdissant}}$$

- **Remarque :**

- a- Lorsque les ajouts de baryte se font par sacs il y a toujours lieu de majorer la quantité théorique d'au moins 10%, correspondant aux pertes de produits en cours d'alourdissement, ou à la mauvaise qualité du contenu de certains sacs.
- b- L'addition de baryte provoque toujours une hausse de viscosité du fait de l'augmentation même de la teneur en solides ; il est recommandé de fluidifier la boue si nécessaire avant d'entreprendre l'alourdissement.

F. Les colmatant

Les produits colmatant naturels ou synthétiques sont des produits utilisés pour stopper la perte de boue partielle ou totale. Les colmatant sont en nombres considérables : colmatant granulaires, colmatant fibreux, colmatant lamellaires, colmatant gonflants, colmatant à « prise »

G. Les produits organiques spéciaux

Parmi les additifs organiques spéciaux on peut trouver des antiferments, anti-mousse, agent de décoincement, antifrictions, extrême-pression anticorrosion, anti-bourrant et accélérateurs de vitesse d'avancement

VIII. Qualité des données

Avant de traiter et d'interpréter les analyses des eaux prélevées aux niveau des différentes stations (eaux souterraines et eaux de surfaces), il faut analyser la fiabilité des résultats de ces analyses. La méthode utilisée est la Balance Ionique (BI). Il faut rappeler qu'en théorie, une eau naturelle est électriquement neutre. De ce fait, la somme (en équivalents chimiques) des cations devrait être égale à celle des anions (en équivalents chimiques).

En réalité, cette égalité est rarement obtenue. De façon générale, la différence est attribuée aux incertitudes, à la présence de certains ions non dosés ou à d'éventuelles erreurs d'analyse. Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise. Elle est exprimée sous forme d'un écart relatif par la formule :

$$BI = \left(\sum \text{cations} + \sum \text{anions} \sum \text{cations} - \sum \text{anions} \right) \times 100$$

Le calcul de la balance ionique permet généralement de vérifier la fiabilité des résultats des analyses chimiques. Cependant, les incertitudes sur les résultats, variables selon les techniques d'analyse, peuvent expliquer les erreurs parfois élevées sur les balances ioniques, à cause de la présence éventuelle d'anions organiques non prisent en compte dans les calculs.

D'une manière générale, des analyses chimiques sont considérées :

Excellentes lorsque $BI < 5\%$

Acceptable lorsque $5\% \leq BI \leq 10\%$

Douteuse lorsque $BI \geq 10\%$

✚ Conversion l'unité de l'élément majeur

Changer l'unité de l'élément majeur à partir de (mg/l) à (meq/l).

$$Y = \frac{X}{\frac{ME}{e}} (Meq/l)$$

[X] : concentration d'éléments majeurs, ME : masse molaire atomique, e : symbole atomique

IX. Le faciès chimique

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessite l'utilisation des représentations graphiques. De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles on peut citer :

- 1- Le diagramme de Piper
- 2- Le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaliff
- 3- Le diagramme de stif
- 4- Le diagramme à coordonnées rayonnantes ...

❖ Le diagramme de piper

C'est une représentation graphique de la chimie d'un ou plusieurs échantillons d'eau. Les anions et les cations sont représentés dans deux diagrammes ternaires distincts. Les sommets du diagramme ternaire des anions sont le sulfate, le chlorure et les carbonate + l'hydrogénocarbonate.

Les sommets du diagramme ternaire des actions sont le magnésium, le calcium et sodium plus potassium. Les deux diagrammes ternaires sont projetés dans un losange déterminant le faciès chimique d'une eau.

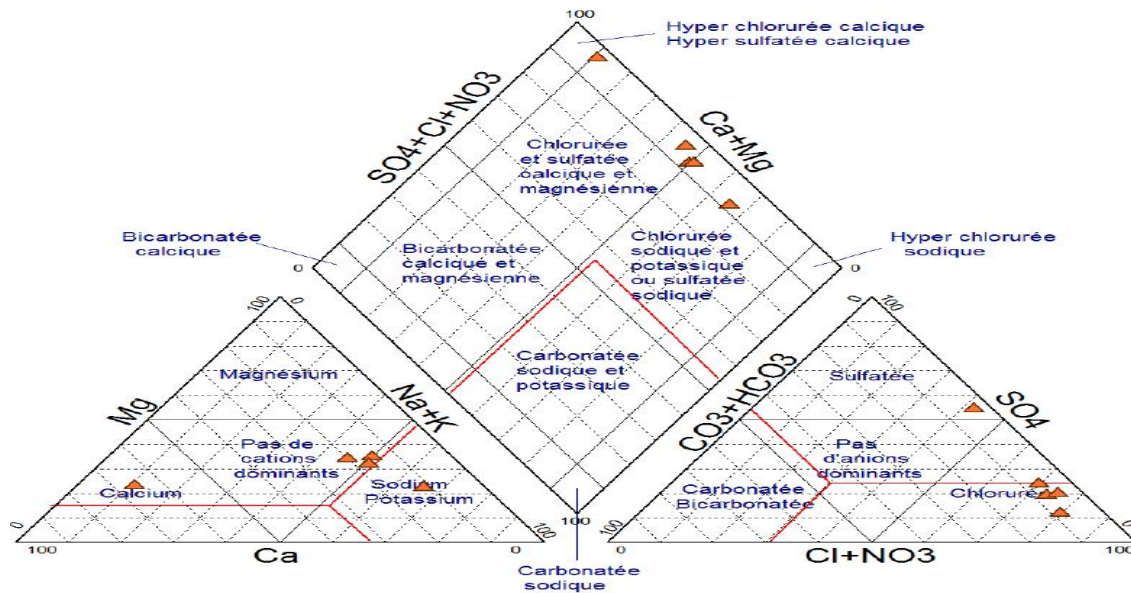


Figure 24 : Diagramme de Piper pour les eaux du Miopliocène - région de Biskra


Les unités de mesures utilisées sont les % de meq/l.

Ce type de représentation est particulièrement adapté pour étudier l'évolution, dans le temps, du faciès des eaux

X. Conclusion

On conclut dans ce chapitre qu'il y a beaucoup de méthodes pour réaliser un forage, chaque méthode à ses avantages et ses inconvénients. La sélection de la méthode à contrôle par plusieurs facteurs, prend en considération l'aspect technique et économique. La méthode la plus largement utilisée à travers le monde est le forage rotary.

L'approche de la qualité chimique des eaux de la région montre que les eaux souterraines sont de bonne qualité par rapport à l'eau de surfaces. Et que pendant la foration d'un forage on rajoute différents produits afin de faciliter la réalisation de ce dernier. Aussi, dans chaque opération et pour chaque problème rencontré, il existe une solution consistant à rajouter un produit à l'intérieur de forage.



Chapitre III : Matériels
utilisées et les travaux à suivre
pour réaliser le forage

Chapitre III : Matériels utilisés et les travaux à suivre pour réaliser le forage

I. Introduction

Les eaux souterraines sont très précieuses et ont grande importance. Se trouve à des profondeurs moyennes de 300 m, il est toujours nécessaire de forer pour les explorer et les exploiter, pour cela il faut bien connaître les matériaux et les travaux à suivre pour réaliser un forage.

II. Matériels utilisés

A. Les moyens humains

Chef de chantier, chef de poste, sondeur, accrocheur, ouvrier de plancher, mécanicien, chauffeur.

B. Les moyens matériels

Les moyens matériels mis à la disposition du chantier comprennent

- La foreuse
- Les accessoires (tiges, masses tiges outils, clés à chaînes, clés huit cent, porte outil, raccord etc.....)
- L'équipement de test (tube d'eau et tube d'air, flexible et vanne)
- Citerne bache à eau

C. Stocks des matériaux

Bentonite, ciment, gravier, eau

III. Les travaux à suivre

A. Préparation du chantier

Le chef du chantier doit veiller à la disponibilité de tous les moyens indispensables à l'exécution du forage qui doivent être compatibles avec le programme prévisionnel donné par hydrogéologue.



Figure25 : préparation du chantier de forage

Terrassement et aménagement de plateforme ensuite, le foreur installe la machine selon les caractéristiques déterminées : emplacement du forage, degré d'inclinaison.

B. Installation de chantier

L'organisation de chantier de forage hydraulique soit faite d'une manière qui permet au foreur d'intervenir rapidement en cas de problème. Les précautions à prendre doivent conduire à déterminer :

- Un périmètre de sécurité autour du chantier.
- Un accès pour les véhicules.
- Un approvisionnement en eau (citernes, la bâche).
- Un accès facile pour le remplissage des fosses.
- Un endroit sec pour la rédaction.
- L'emplacement de l'appareil de forage et pompe à boue [8].



Figure 26 : Installation du chantier de forage

C. Choix de la technique de forage

Le choix d'une technique de forage se fait sur : la nature de terrain, son teneur en eau, l'avancement de l'outil de forage, la quantité d'eau à utiliser, l'endroit du forage

L'expérience seule permet d'évaluer correctement la remontée de cuttings et l'avancement de l'outil de forage en fonction de la technique utilisée.

Au-delà de certaine profondeur, le rotary à l'air comprimé est à éviter car il est difficile à maîtriser (mauvaise remontée du cuttings). Dans les terrains sédimentaires peu consolidés, le rotary à la boue est la plus adéquat [5].

D. Préparation des bassins à boue

Bassins à boue constituent une réserve de fluide de forage et permettent son recyclage par décantation. Elles se forment d'un bassin de décantation d'un bassin de pompage et de canaux.



Figure 27 : Le bassin des boues

- ❖ Le premier canal doit être assez long pour que la fosse soit en dehors du trottoir du futur point d'eau pour éviter le tassement différentiel sous la dalle (de largeur supérieure à 2m) et d'une section de 0,2*0,2 m.
- ❖ L'axe du second canal doit être décalé de celui du premier pour favoriser la décantation.

Les fosses et les canaux sont régulièrement curés et nettoyés des sédiments déposés en cours de forage.

E. CREUSEMENT

1. Mise en place du tube guide

Est dans presque tous les cas nécessaires et peut être défini comme le tube qui isole tout le puits des terrains encaissants et qui durant les opérations contient le fluide de forage.

➤ Cimentation

Cimenter une colonne de tubage consiste à mettre en place un laitier de ciment dans toute ou partie de l'espace annulaire entre le tubage et le trou fore.

2. Forage de reconnaissance

Les forages de reconnaissance sont des puits de petit diamètre de l'ordre de (8" ou 12") ; dont leur réalisation et équipement est similaires à ceux des forages d'exploitation.

Les 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 diagraphies et des essais de pompage.

3. Prélèvement des échantillons

La circulation de la boue permet de fournir des échantillons broyés à la surface. Au moment de la description, il faudra tenir compte que ces échantillons contiennent une forte proportion de la boue de circulation ; il est toujours préférable de prendre plusieurs d'échantillons.

Les cuttings prisent mètre par mètre, nettoyé et séchés, puis ils sont mis dans des petites sachées étiquetées selon leur profondeur de prélèvement, puis acheminés vers l'ingénieur hydrogéologue de l'administration



Figure28 : Prélèvement des échantillons

4. La diagraphie

La diagraphie est une méthode géophysique qui consiste à mesurer, à l'aide de différentes sondes, les caractéristiques des roches traversées lors d'un forage. D'une manière générale, on appelle diagraphie tout enregistrement d'une caractéristique d'une formation géologique traversée par un sondage en fonction de la profondeur [9].

a. Types de diagraphie

On distingue deux types de diagraphie :

Diagraphie instantanée ou temps réel

C'est tous les paramètres géophysiques acquis au cours de la réalisation du sondage.

On y distingue deux catégories :

- Mudlogging
- Mesure/Logging au cours de forage (MWD/LWD)

Diagraphie différée (carottage électrique)

C'est l'enregistrement de paramètres géophysiques après la réalisation d'une partie, ou du sondage entier, en utilisant des sondes diagraphiques qui communique avec la surface par le biais de lignes électrifiées.

Les outils de diaggraphie électriques permettent de mesurer des paramètres très nombreux.

Les paramètres les plus utilisés sont :

- La potentiel spontanée (PS)
- La résistivité électriques (Resistivity)
- Le diamètre du trou (Caliper)
- La densité/porosité (Neutron log)
- Les radiations naturelles (Gamma Ray) [9]

b. Le but de la diaggraphie

La transcription graphique des paramètres physiques mesurés par les outils de diaggraphies différées permet l'étude tant qualitative que quantitative des terrains traversés, contribuant ainsi à :

- L'identification des roches potentiellement réservoirs et de leur couverture, ainsi qu'à l'analyse des conditions de dépôt de ces sédiments.
- La détermination de la nature et de la quantité des fluides que ces roches contiennent.

Contrairement à l'étude des déblais ou cuttings (de trop petite dimension) remontés par le fluide de forage, et des carottes en quantité généralement limitée en raison de leur coût, les diaggraphies sont une véritable étude continue et in situ des formations [9].

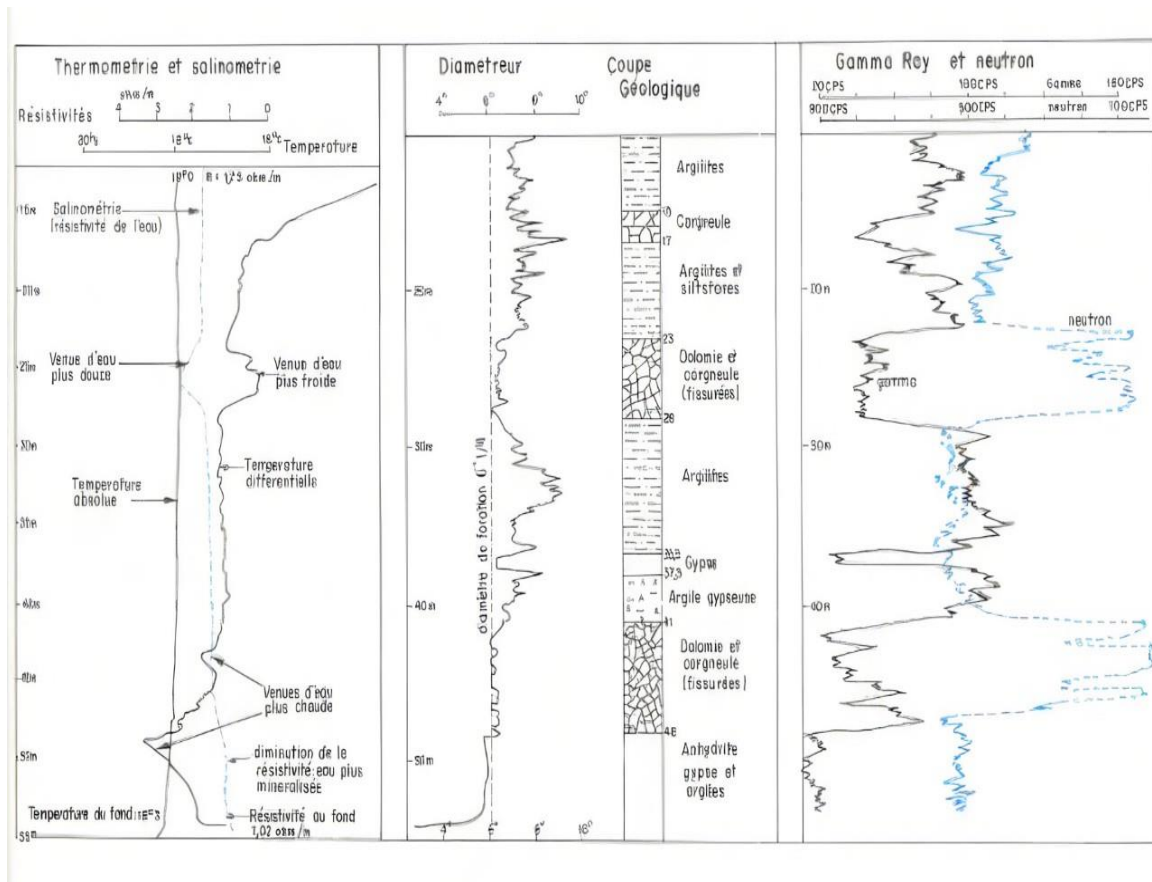


Figure 29 : La diagraphie de forage

c. Les paramètres mesurés

Les phénomènes étudiés par les diagraphies différées sont de deux types :

- Phénomènes naturels (température, radioactivité naturelle, etc..). Mesurés à l'aide d'un détecteur ou d'un récepteur sans émission préalable d'un signal.
- Phénomènes provoqués (radioactivité provoquée, diagraphies électriques, temps de parcours d'une onde, etc.), engendrés par un émetteur ou une source, et mesurés par un ou plusieurs récepteurs [9].

5. Alésage et réalésage

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

L'alésage est le réalésage du puits de reconnaissance en gros diamètre, cet élargissement du trou s'effectuera à l'aide :

- ✓ Des outils spéciaux appelés outil pilote ou alésoirs accouplés à un outil guide.
- ✓ Des outils de gros diamètres.

6. La mise en place des équipements de forage

Le choix correct de l'équipement de forage (tubage, crépine et gravier ...) est considéré comme l'un des facteurs les plus importants pour la réussite forage, et pour assurer une meilleure exploitation de forage.

a. Mise en place et le plan du tubage

Le rôle du tubage est le soutènement de talus cylindrique du trou de forage contre la poussée de terre, l'éboulement et pour éviter les risques d'effondrement dans le trou de forage, on recommande de placer le tubage le plus rapidement possible.

Le plan de tubage respectera les points suivants :

- ❖ Le tubage ne descend pas toujours jusqu'au fond du forage (dépôts des cuttings en suspension dans la boue lors de l'arrêt de la circulation ou parfois effondrement), il faut donc en tenir compte réduisant la longueur du tubage par rapport à la profondeur réelle forée.
- ❖ Le dernier tube doit dépasser d'environ 0,5 m au-dessus de la surface du sol.
- ❖ Le tubage doit descendre librement sous son propre poids dans le trou. Si le forage n'est pas vertical il est fréquent que le frottement le long du tube bloque la mise en place du tube. Ceci peut être résolu en appuyant légèrement sur le tubage pour qu'il descende [4].

Le sabot

Le sabot est vissé sur la terminaison du tubage de production ou des crépines. Il est censé créer une zone morte du point de vue de la circulation en cas de pompage ou d'injection. Il permet la sédimentation de particules, et la mise à l'écart de la circulation des objets qui tomberaient malencontreusement dans la colonne.

Centreurs

Les centreurs sont destinés à empêcher tout contact de tubage avec la paroi du trou et avoir un espace annulaire uniforme.

b. Crépines

Les crépines sont les tubages possédant des espaces laissant passer l'eau .il existe une grande variété de matériaux et de modèles de crépines et elle doit être placée dans une bonne

position et pour choisir cette position on doit se baser sur (les diagraphies instantanées et l'analyse granulométriques des échantillons).

Les crépines doivent :

- Maintenir le puits ouvert.
- Stabiliser la formation.
- Retenir le sable.
- Réduire les pertes de charge [4].

c. Massif filtrant

Le rôle du gravier additionnel est d'augmenter les débits d'exploitation, de diminuer les vitesses découlement, et d'éviter le risque d'érosion en évitant l'entrée des sables fins.

Dans la pratique, le gravier additionnel est défini par la granulométrie de la formation et par l'ouverture de crépine, il doit être uniforme, propre, calibre et siliceux de préférence. Et descend dans l'espace annulaire le long du tubage. Une remontée de boue par le tube de forage indique une descente correcte du gravier. Lorsque le niveau du gravier atteint le haut des crépines, la boue ne remonte pas par le tube mais par l'espace annulaire : le massif de gravier doit alors dépasser le haut des crépines sur quelques mètres [4].

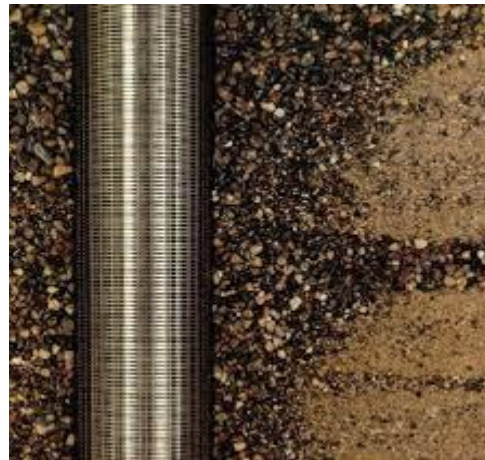


Figure30 : Emplacement de massif filtrant dans le forage

Le volume nécessaire du gravier peut être défini théoriquement (volume du trou moins volume de tubage) ou bien de manière empirique selon Édouard :

$$V=h.0,8.(D^2-d^2)$$

V : volume de gravier M³

h : hauteur du massif de gravier en m

D : diamètre du trou en pouces

d : diamètre des tubes en pouces

d. Cimentation

Le rôle de cimentation est de protéger le forage contre les pollutions extérieures.

L'opération consiste à remplir avec un mélange d'eau et de ciment (laitier de ciment) l'espace annulaire au – dessus du massif filtrant jusqu'à la surface de sol [4].

7. Développement

Le développement d'un forage consiste à améliorer la productivité de la formation aquifère située autour de la crépine et à stabiliser cette formation. Cette opération s'effectue le plus souvent lorsque la colonne de captage est en place avant la mise en production du forage .et il est fait pour [7]:

- ❖ Augmenter la porosité et la perméabilité de la formation au voisinage du forage donc (augmente le débit de l'ouvrage).
- ❖ Corriger toute perturbation ou colmatage qui auraient pu être provoqués dans la formation durant le forage.
- ❖ Stabiliser la formation sableuse autour de la crépine de telle sorte que le forage débite une eau limpide (exemple de matières solide en suspension).

Et il existe plusieurs méthodes de développement, les plus utilisées sont :

a. Le développement par lavage aux jets à grande vitesse

Cette méthode est considérée comme la méthode la plus efficace. Elle comporte les avantages suivants :

- ❖ Chaque point de la crépine peut être traité séparément.
- ❖ L'énergie est concentrée sur une petite surface avec maximum d'efficacité.
- ❖ Elle est relativement facile à appliquer et ne doit pas engendrer de risque en cas d'utilisation trop poussée.
- ❖ Un simple outil à jet avec une pompe à haute pression et la tuyauterie rigide ou flexible constituent l'essentiel de l'équipement.
- ❖ La puissance des jets à haute vitesse agite et classe les éléments de la formation meuble tout autour de crépine.

b. Le développement par pompage et sur pompage

Consiste à placer une pompe dans le forage, aussitôt après la mise à l'eau claire, et à pomper à un débit croissant, jusqu'à obtention d'un débit maximal sans venues de sable. Cette

méthode est surtout employée par des foreurs à qui est demandé un certain minimum et pour cette raison, se contentent de tirer un débit supérieur à celui demandé.

En fait, un ouvrage ne donne jamais le maximum qu'il pourrait donner réellement que s'il est bien développé.

c. Le développement par pistonnage

Il est parfois préférable aux autres procédés, d'abord par son efficacité très grande sur forage et aussi son très faible prix de revient. Il est en effet, très facile à fabriquer un piston de développement :

- Un Tool-joint de tige de forage usagé.
- Un clapet et un siège de clapet, usagé, de pompe à boue.
- Des rondelles de caoutchouc découpées dans des pneus usagés ou des bandes transporteuses.
- Un crochet en fer rond qui peut être tiré d'une vieille tige de pompe.

Le pistonnage consiste à descendre à des profondeurs (fonction de la puissance du moteur et du treuil) le piston dont les garnitures de caoutchouc ont 0,1 à 0,2 mm de moins que le diamètre intérieur du tubage et de le remonter le plus rapidement possible. Au cours de cette remontée rapide, le piston évacue la quantité d'eau au-dessus des garnitures et provoque ainsi une dépression brutale dans le forage et il provoque un mouvement de va et vient d'eau (injection vers la nappe et appel vers le trou de forage), permet d'extraire les éléments nuisibles et d'obtenir la classification des éléments du massif filtrant autour de la crépine. De même, il permet de décoincer un massif de gravie bloqué au cours de son injection.

d. Développement à l'air lift

Cette méthode est la plus efficace si elle est bien adaptée et bien conduite. Elle présente l'avantage de n'entraîner aucune détérioration du matériel employé, et de travailler à l'intérieur des crépines. Elle permet de combiner l'action de flux et de reflux provoquée par un grand volume d'air introduit dans l'ouvrage, la source d'énergie d'un air lift est l'air comprimé. Cet air vient généralement d'un compresseur d'air.

Le procédé nécessite quelques précautions, car il peut entraîner un ébranlement du tubage et une détérioration de cimentation et éboulements dans la zone de production. Les opérations à réaliser sont :

- ✓ Manœuvre le robinet 3 voies pour envoyer l'air dans la crépine, le robinet de la décharge étant ouvert
- ✓ Laisser couler, comme la méthode à forage ouvert, jusqu'à ce que l'eau éjectée sorte claire.
- ✓ Laisser l'eau remonter à son niveau statique dans le forage, ce qu'on peut vérifier en écoutant l'air sortir par le robinet de décharge.
- ✓ Fermer le robinet de décharge et manœuvre le robinet 3 voies pour envoyer l'air, par le tube supportant le robinet de décharge, à l'intérieur du forage, sous le couvercle du casing. L'eau sera refoulée, hors du tube d'eau, au niveau du sol, ainsi que à travers la crépine, dans la formation adjacente en brisant les ponts de sable ou de gravier.
- ✓ Lorsque le niveau de l'eau dans le forage aura été rabattu jusqu'à sabot du tube d'eau, l'air sortira par tube à la surface. A ce moment ouvrir le robinet de décharge et laisser l'eau remonter à son niveau statique, le robinet d'air étant fermé.
- ✓ Manœuvre le robinet 3 voies et provoquer à niveau, par air-lift le pompage du forage.
- ✓ Répéter ces opérations jusqu'à ce que le forage ne produise plus de sable.
- ✓ Il est alors rarement nécessaire de nettoyer le forage, car la grande vitesse de l'eau provoque généralement l'expulsion des sables fins [10].

8. Traitement à l'hexa métaphosphate

L'hexa métaphosphate de soude : est le plus couramment utilisé. Livré en sacs de 25 kg (on le trouve aussi sous le nom Giltex en France ou de Calgon aux USA), c'est un poly phosphate qui a montré sa capacité à dé flocculer les argiles (c'est-à-dire désolidariser les particules d'argile, casser la boue) et sa faculté d'entraînement des oxydes métalliques.

Cette solution sera injectée au moyen d'un tube face à la zone à traiter, on peut utiliser le JETTING, en particulier lorsque l'on se trouve en présence d'incrustation dans la crépine.

La solution de l'hexa métaphosphate est laissée au contact entre 12 et 24 heures avec une mise au mouvement toute les 3 ou 4 heures en circuit



Figure31 : Le sac de produit de sodium hexa métaphosphate

fermé à faible débit au moyen d'une pompe ou air lift, on fait le développement jusqu'à ce que l'eau extraite soit claire.

9. Les essais des débits

Un essai de pompage consiste à pomper de l'eau selon certaines règles et à examiner l'influence du pompage sur les niveaux d'eau de l'aquifère, dans la pratique un pompage d'eau se déroule successivement en deux parties [3]:

- Essai de puits : série de paliers de débits différents et croissants d'une durée d'une heure.
- Essai de nappe : pompage de longue durée, à débit constant pendant une durée d'un jour à une semaine.

Il a pour but de :

- ✚ Mesurer le débit du forage.
- ✚ Déterminer le rendement du forage.
- ✚ Quantifier les caractéristiques de l'aquifère notamment la transmissivité la perméabilité et la capacité de stockage.

10. Les analyses physico-chimiques et bactériologiques

L'eau potable c'est l'eau qui respecte les paramètres de norme algérienne :

1. Les paramètres chimiques : la dureté (calcium, magnésium), PH (acidité), conductivité, fer, métaux lourds, les nutriments (azote, phosphate).
2. Les paramètres biologiques : les pathogènes (bactéries, virus, parasites).
3. Les paramètres physiques : la turbidité, couleur, odeur,

La plupart des analyses de qualité de l'eau doivent être réalisées en laboratoire.

IV. Conclusion

On conclut que la réalisation d'un forage est une opération délicate, la bonne réalisation en adaptant la technique de forage adéquate et les matériaux nécessaires et en respectant les étapes de réalisation, c'est la clé d'un forage bien conçu et constitue la première étape vers une exploitation et gestion meilleur de cet ouvrage.



Partie pratique : Suivi de forage
Alma Ndinar

Partie pratique : suivi de forage Alma Ndinar

I. Introduction

L'impact du changement climatique sur le cycle de l'eau se manifeste par des inondations et des épisodes de sécheresse de plus en plus long, l'année 2021 en est l'incarnation vu que la sécheresse qui a succédé aux inondations en novembre 2019 a créé une situation de crise consacrée par une baisse jamais égalée de niveau de la réserve du barrage Taksebt et de Koudiet Ousserdune, le scénario imposé devait trouver des ressources mobilisables pour parer aux déficits prévisibles.

Les autorités ont opté pour la réalisation d'un programme important de afin de sécuriser l'alimentation en eau potable et la préservation des sources et l'ensemble de la ressource dans toutes les zones où ces potentialités existent, parmi ces forages figure le forage Alma Ndinar implanté par l'agence nationale des ressources hydriques et les services de la direction des ressources en eau situé dans la commune de Mechtras qui alimentera les communes d'Ait Bouadou et Tizi N'tlatha par son raccordement au réservoir Iouahlalene de STP de la chaîne Koudiet Ousserdune.

II. Cadre générale de la zone d'étude

A. Situation géographique de Mechtras

Mechtras (en kabyle : Amecras) est une commune de la wilaya de tizi Ouzou, région de kabyle en Algérie. Située à 32 kilomètres au sud de tizi Ouzou.



Les altitudes varient au Nord, au Nord-Ouest et l'Est de 300 à 400 m, est le nord au Nord-Est et au Nord-Ouest de 300 m, et au nord-Est au Sud-Est l'altitude est supérieure à 400 m [11].

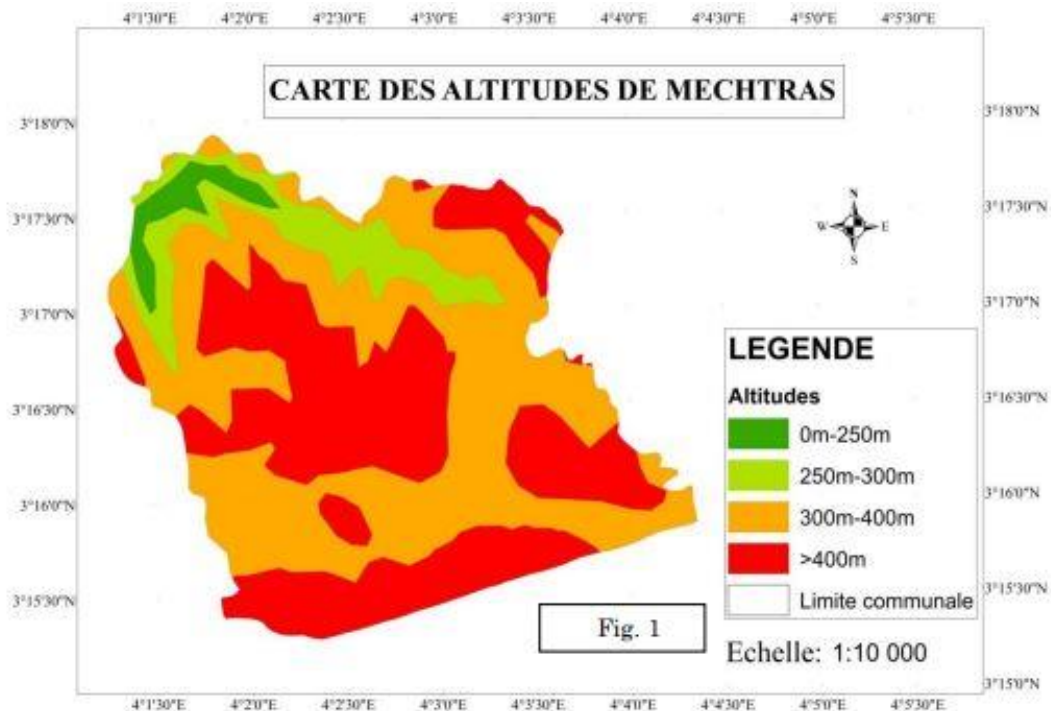


Figure33 : carte des altitudes de Mechtras

Les coordonnées (GPS) : X :36.54°N ; Y :4.00°E

B. Les limitées administrativement

Elle est délimitée :

- Au nord : par la commune de Souk El Thenine.
- A l'est : par la commune de Tizi N'Tlatha.
- Au sud : par la commune d'Assi Youcef.
- Au ouest : par la commune de Boghni.



Figure 34 : les limites administratives de Mechtras

C. Localisation de forage

Le forage d'eau qui fait l'objet de ce suivi est situés au sud de la commune de Mechtras à Alma Ndinar.

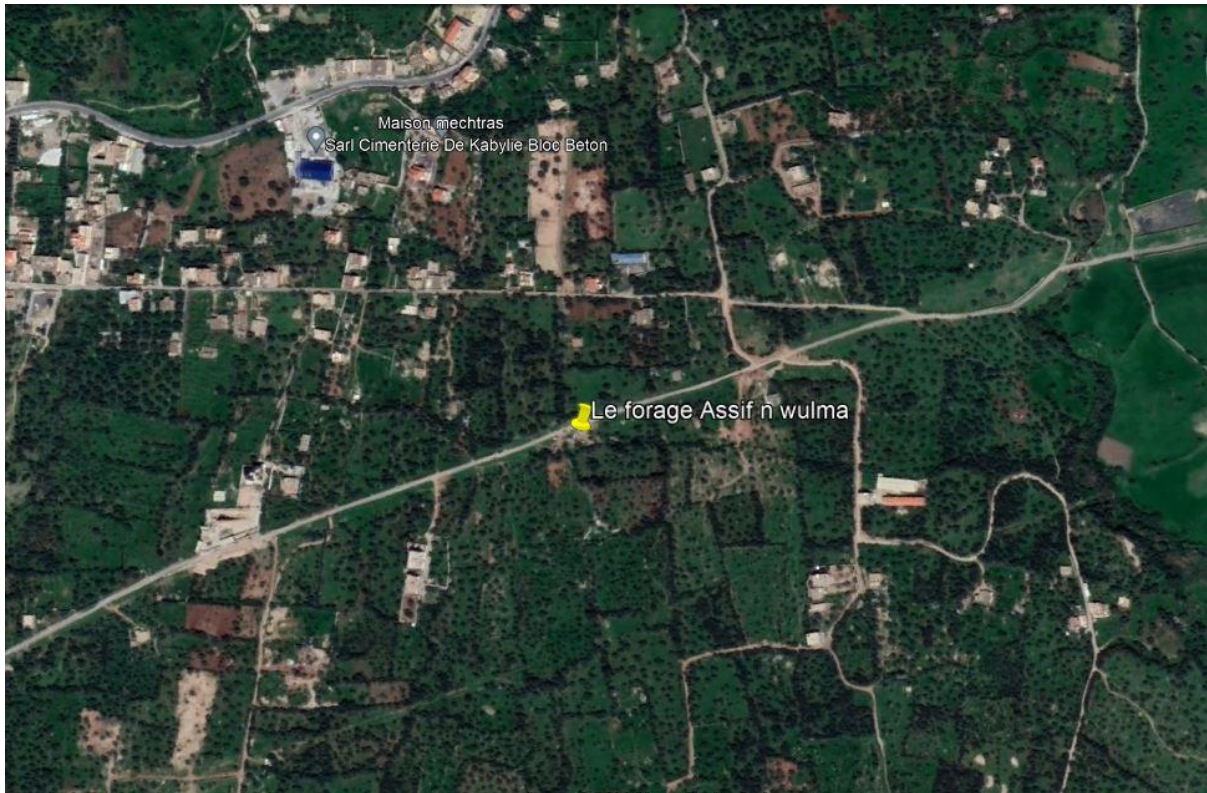


Figure35 : localisation de forage Alma Ndinar

D. Les coordonnées de forage (GPS)

Latitude : 36°32'23.32 N

Longitude : 4°1'36.96 E

Altitude : 407 m

E. Etude hydraulique des caractéristiques climatiques

Objectif de l'étude

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

A cause de manque des données, on a utilisé les anciennes données de la station pluviométrique de Ait djemaa et concernant les températures, on les a recueillies de mémoire ([12] *ITCHIR.I & LACHEBI.L. 2015. Etude hydrogéologique de l'Oued Mechtras : faunistique et évaluation biologique de la qualité de l'eau*).

On a pris en considération les deux plus importants éléments : la précipitation et la température vue leur effet majeur sur l'alimentation de la nappe.

1. Climatologie

Le climat de la Kabylie est une variante de type méditerranéen, il se caractérise par deux saisons principales :

- ❖ Un été chaud et sec avec une sécheresse totale bien marquée se prolongeant de juin à septembre.
- ❖ Un hiver froid et pluvieux avec des précipitations à grandes irrégularités interannuelles.

2. Température

La température est un facteur écologique important, car elle influe grandement sur les autres paramètres météorologiques tels que l'évaporation et le taux d'humidité de l'atmosphère, elle contrôle aussi les précipitations.

Tableau 7 : Températures mensuelles de l'air (maximales, minimales et moyennes) en °C à Tizi-Ouzou, période 1990-2014 (source O.N.M).

| Mois | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | Juil | Aout | Sep | Oct | Nov | Déc |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T° moyennes des maxima | 15,36 | 16,46 | 19,51 | 21,69 | 26,13 | 31,52 | 35,49 | 35,65 | 31,44 | 26,92 | 19,78 | 16,09 |
| T° moyennes des minima | 06,30 | 06,56 | 08,53 | 10,38 | 13,95 | 18,01 | 21,09 | 21,78 | 18,84 | 15,38 | 11,03 | 07,44 |
| T° moyennes mensuelles | 10,22 | 10,76 | 13,42 | 15,53 | 19,45 | 24,46 | 27,71 | 27,92 | 24,39 | 20,51 | 14,72 | 11,34 |

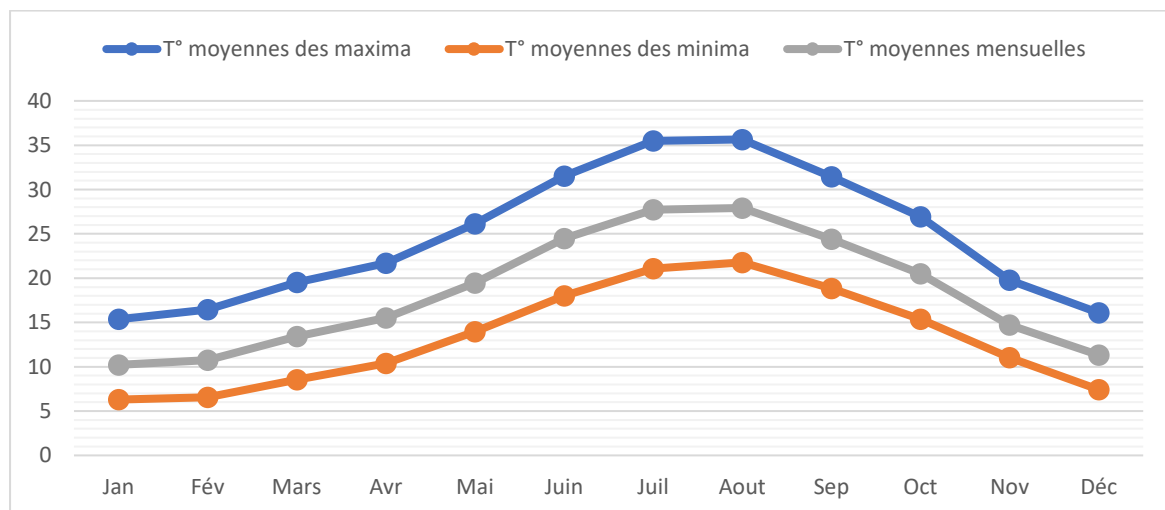


Figure 36 : Température moyennes mensuelles de l'air (en °C) (maximales, minimales et moyennes) à Tizi-Ouzou pour la période : 1990-2014 (source : O.N.M de Tizi-Ouzou).

Selon la figure et le tableau ci-dessus, le mois de juillet et août sont les mois les plus chauds, et le mois de janvier et février sont les mois les plus froids.

3. Précipitation

D'après CHAUMONT & PAQIN (1971) et (LOUNACI, 1987), la répartition de la pluie en Algérie dépend des conditions du milieu : l'altitude, la latitude, la longitude et l'exposition. En effet, la pluviosité augmente avec l'altitude. Elle est plus élevée sur les versants Nord du Djurdjura exposés aux vents humides. Elle augmente d'Ouest en Est, et diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral vers le sud.

Le massif montagneux du Djurdjura, par sa position et son altitude, joue un rôle de barrière naturelle aux vents marins humides provenant du Nord-Ouest qui assurent une forte pluviosité. Il représente un réservoir hydrologique important qui alimente l'Oued Boghni et ses affluents.

En effet, la Kabylie du Djurdjura est parmi les régions les plus arrosées présente un total pluviométrique annuel variant entre 1400 et 2000 mm en versant Nord (alt > 1000m) et entre 800 et 900mm/an sur la zone littorale et les piémonts.

Tableau 8 : données pluviométriques de la station Ait Djemaa

| Pluie en (mm) | | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Annuel |
|---------------|--------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1989 | PJ max | 22,2 | 0 | 19,1 | 19,1 | 64 | 70,7 | 21,1 | 16,6 | 19,1 | 19,8 | 21,4 | 24,1 | 70,7 |
| | Totaux | 106 | 0 | 79,2 | 96,8 | 200,8 | 81,6 | 37,7 | 16,6 | 36,5 | 31,4 | 89,6 | 46,5 | 823,1 |
| 1990 | PJ max | 27,9 | 57,1 | 36,7 | 17 | 26,9 | 2,7 | 0,8 | 5,5 | 0,9 | 20,2 | 14,2 | 51,6 | 57,1 |
| | Totaux | 107 | 194,6 | 139,7 | 48,7 | 60 | 3,2 | 0,8 | 7,8 | 2,1 | 49,8 | 82,3 | 256 | 951,7 |
| 1991 | PJ max | 66,2 | 20,3 | 24,2 | 47,3 | 36,2 | 18 | 4,4 | 0 | 3,9 | 29,1 | 14,7 | 10,6 | 66,2 |
| | Totaux | 130 | 35,8 | 113,7 | 172,5 | 118,3 | 32,5 | 5,5 | 0 | 15,2 | 102,7 | 34,8 | 20,5 | 781,6 |
| 1992 | PJ max | 16,8 | 23,1 | 18,6 | 30,1 | 43,1 | 2,8 | 1,2 | 12,5 | 3,6 | 48,8 | 47,9 | 44,4 | 48,8 |
| | Totaux | 47,4 | 81,1 | 34,9 | 134,9 | 84,8 | 5,5 | 1,7 | 15 | 10,6 | 106,1 | 146,4 | 206,5 | 874,9 |
| 1993 | PJ max | 27,6 | 24,4 | 1,7 | 16,9 | 3,7 | 1,8 | 0 | 0,8 | 42 | 22,4 | 29,7 | 25,9 | 42 |
| | Totaux | 104 | 82,8 | 2,2 | 77,8 | 6,8 | 1,8 | 0 | 0,8 | 89,6 | 53,3 | 99,6 | 89,5 | 608,6 |
| 1994 | PJ max | 48,2 | 24,8 | 35,8 | 28,5 | 0,8 | 13,5 | 1,2 | 8,3 | 40,2 | 16,5 | 25 | 23,6 | 48,2 |
| | Totaux | 263 | 51,4 | 150,2 | 55,2 | 1,3 | 27,4 | 1,2 | 16,1 | 156,9 | 90,9 | 49,5 | 84,6 | 948,1 |
| 1995 | PJ max | 41,8 | 81,1 | 27,2 | 50,4 | 15,4 | 7,7 | 7 | 3 | 12,4 | 20,4 | 15,2 | 28,7 | 81,1 |
| | Totaux | 172 | 263,7 | 75,7 | 184,5 | 80,8 | 25,5 | 9,7 | 7 | 39,6 | 60,4 | 40,9 | 66,1 | 1025,9 |
| 1996 | PJ max | 17,1 | 12,2 | 7,5 | 29,3 | 14 | 8,5 | 4,7 | 46 | 18,5 | 12,8 | 39,3 | 19,3 | 46 |
| | Totaux | 66,7 | 15,7 | 20,5 | 138,2 | 28,4 | 10,5 | 5,3 | 59,7 | 35,3 | 36 | 70,1 | 80 | 566,4 |
| 1997 | PJ max | 16,5 | 55 | 22,3 | 71,7 | 55,1 | 2,5 | 0 | 12,5 | 43 | 35,7 | 71 | 40,4 | 71,7 |
| | Totaux | 53,5 | 102,7 | 61,3 | 158,4 | 287,7 | 2,8 | 0 | 14,1 | 78,7 | 117 | 176,5 | 154,6 | 1207,3 |
| 1998 | PJ max | 31,4 | 18,3 | 28,8 | 17,4 | 32 | 1,3 | 0,7 | 3 | 28,6 | 59,2 | 27,7 | 24,8 | 59,2 |
| | Totaux | 123 | 70,9 | 105,2 | 32,8 | 60,2 | 2,1 | 0,7 | 4,2 | 72,1 | 106,1 | 120,3 | 87,4 | 785,2 |

Suivi de forage Alma Ndinar

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1999 | PJ max | 4 | 6,7 | 11,8 | 14 | 33,5 | 0,3 | 0 | 30 | 23,2 | 12,3 | 24,6 | 72,8 | 72,8 |
| | Totaux | 16,6 | 12,9 | 19,1 | 49,9 | 67,8 | 0,3 | 0 | 35,9 | 72,7 | 25,6 | 114,6 | 271,4 | 686,8 |
| 2000 | PJ max | 55,8 | 18,5 | 1 | 52,5 | 11,8 | 3,8 | 0 | 3,5 | 5,9 | 27,5 | 14,9 | 24,8 | 55,8 |
| | Totaux | 253 | 72,7 | 1,9 | 90,7 | 45,7 | 3,8 | 0 | 6,7 | 9,1 | 89,3 | 59 | 76,5 | 708 |
| 2001 | PJ max | 28,1 | 18,8 | 32 | 16,1 | 33,5 | 1,3 | 10 | 11,1 | 10,2 | 8,1 | 17,7 | 11,3 | 33,5 |
| | Totaux | 86,1 | 53,2 | 59,3 | 51 | 69,3 | 1,5 | 29,8 | 26,9 | 34,2 | 10,9 | 56,9 | 46,8 | 525,9 |
| 2002 | PJ max | 53,7 | 20,7 | 17,3 | 48 | 14,8 | 5,3 | 2,5 | 14,5 | 8,7 | 18,5 | 71,2 | 85,7 | 85,7 |
| | Totaux | 304 | 105,6 | 56,8 | 213,4 | 51,1 | 6,1 | 3,3 | 15,5 | 22,9 | 45,1 | 271,5 | 227,5 | 1322,8 |
| 2003 | PJ max | 20,2 | 11,5 | 9,5 | 35,5 | 87,8 | 7,9 | 0,8 | 5,6 | 21,5 | 34,5 | 23,9 | 41,1 | 87,8 |
| | Totaux | 110 | 44,1 | 41,1 | 140,6 | 215,6 | 13,1 | 1,1 | 13,9 | 35 | 90,5 | 95,1 | 172,1 | 972,4 |
| 2004 | PJ max | 19,5 | 23,3 | 17,1 | 22 | 1,6 | 5,8 | 3 | 3,2 | 21 | 35 | 64 | 54,8 | 64 |
| | Totaux | 106 | 110,1 | 50,9 | 57,3 | 1,6 | 10,2 | 3 | 3,2 | 45 | 53,5 | 115,7 | 219 | 775,5 |
| 2005 | PJ max | 29 | 40,5 | 19,5 | 15,5 | 104 | 1,5 | 3,2 | 6,5 | 15,8 | 26,5 | 30,5 | 34,1 | 104 |
| | Totaux | 159 | 170,4 | 46,3 | 40,9 | 183,8 | 5 | 5,7 | 10,2 | 39,3 | 53,5 | 112,3 | 129,2 | 955,1 |
| 2006 | PJ max | 10,3 | 14,1 | 109 | 84,5 | 17,8 | 3 | 1,7 | 11 | 29 | 6,3 | 19,2 | 39,2 | 109 |
| | Totaux | 20 | 65,1 | 286 | 258,2 | 41,2 | 4,8 | 1,9 | 24,2 | 63,4 | 13,9 | 20 | 149,2 | 947,9 |
| 2007 | PJ max | 6 | 15 | 25,3 | 36,2 | 23,5 | 11,6 | 1 | 0,5 | 16,1 | 48,5 | 54 | 18 | 54 |
| | Totaux | 12,9 | 36,3 | 84,4 | 48 | 117,6 | 16,8 | 2,4 | 0,8 | 43,1 | 193 | 123,7 | 62,5 | 741,5 |
| 2008 | PJ max | 36,8 | 12 | 20 | 24,8 | 21,8 | 2,5 | 0 | 7,5 | 27,2 | 12,2 | 44,5 | 19 | 44,5 |
| | Totaux | 207 | 40,6 | 94,2 | 174,5 | 48,5 | 4,2 | 0 | 14,5 | 86,3 | 71,4 | 136 | 99,7 | 976,5 |
| 2009 | PJ max | 44 | 22,5 | 31,7 | 21,4 | 47,5 | 21,7 | 0,5 | 11 | 25,5 | 8,5 | 28,4 | 20,7 | 47,5 |
| | Totaux | 115 | 98,2 | 111,5 | 57,1 | 114,4 | 48,8 | 0,5 | 16,4 | 118,7 | 22,5 | 97,7 | 112,3 | 913,3 |
| 2010 | PJ max | 18,8 | 37,7 | 34,5 | 41 | 67 | 11 | 1 | 0 | 4 | 31,9 | 51,1 | 23,5 | 67 |
| | Totaux | 93 | 179,1 | 73,5 | 118,7 | 192,1 | 39,1 | 1,5 | 0 | 12 | 152,5 | 151,2 | 61,6 | 1074,3 |
| 2011 | PJ max | 28,5 | 33 | 22,5 | 44 | 24,5 | 0 | 0,5 | 20,6 | 3,3 | 16,6 | 44,5 | 24,4 | 44,5 |
| | Totaux | 91,5 | 196,4 | 89,8 | 192,1 | 50,5 | 0 | 0,8 | 20,9 | 5,5 | 71,8 | 132,9 | 102 | 954,2 |

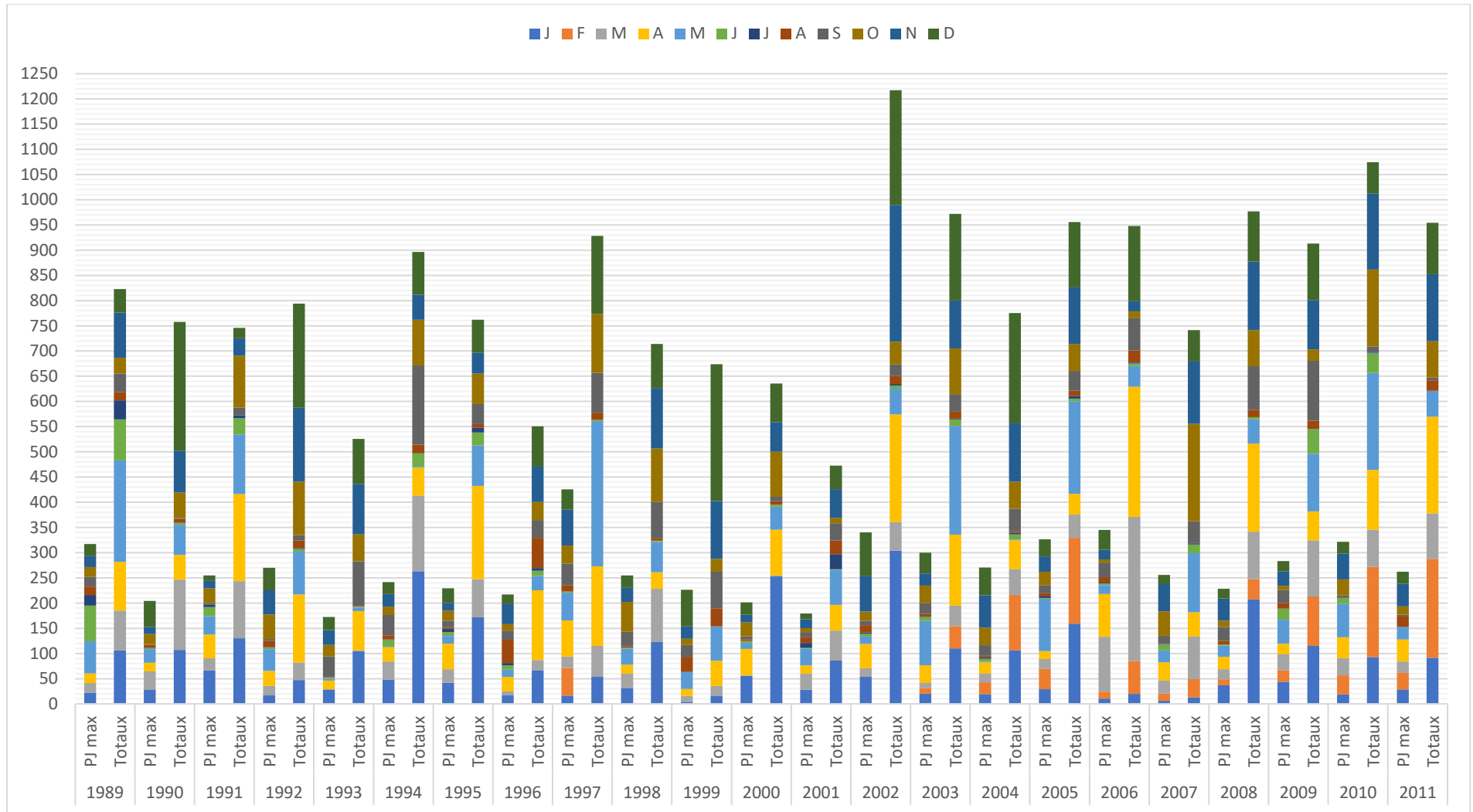


Figure37 : Courbe des données pluviométriques de la station Ait Djema.

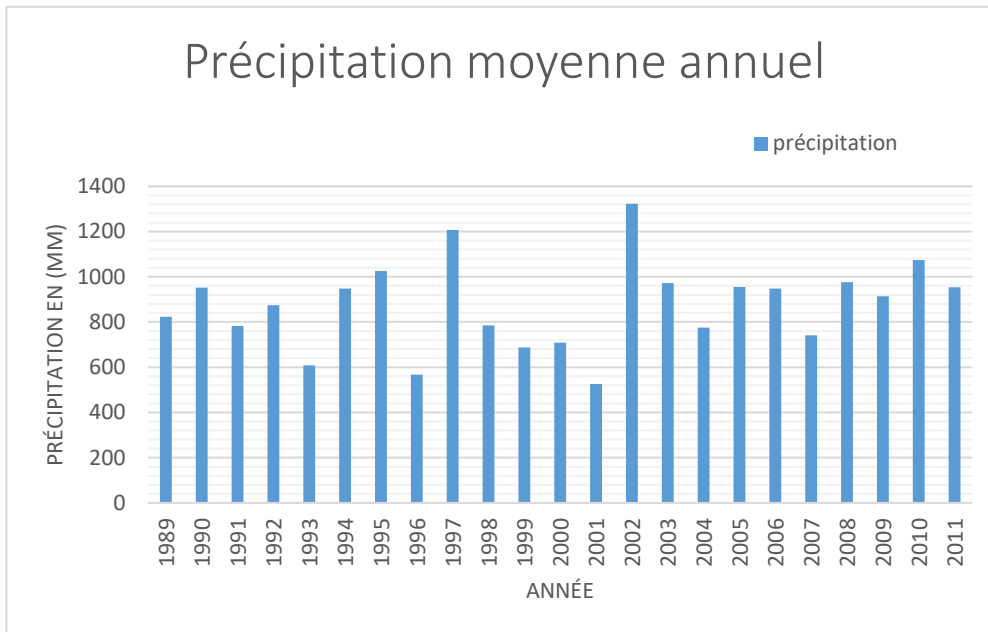


Figure38 : précipitation moyenne annuel de 1989 à 2011

Selon ce tableau et la figure ci-dessus, l'année la plus pluvieuse de 1989 jusqu'à 2011 est l'année 2002 avec (1322.8 mm), 2001 est une année sèche avec (525.9 mm)

F. La géologie de Mechtras

La commune de Mechtras fait partie de massif de grande Kabylie qui elle-même s'insère dans les zones internes des Maghrebides, elle comprend les terrains métamorphiques d'âge protérozoïques ainsi leur couverture [11].

G. La lithologie de Mechtras

La lithologie de notre aire d'étude est à partir de la carte géologique de Draa El Mizan (feuille 44 échelle 1/50.000), où on distingue les terrains sédimentaires et les terrains azoïques qui sont représentés comme suit :

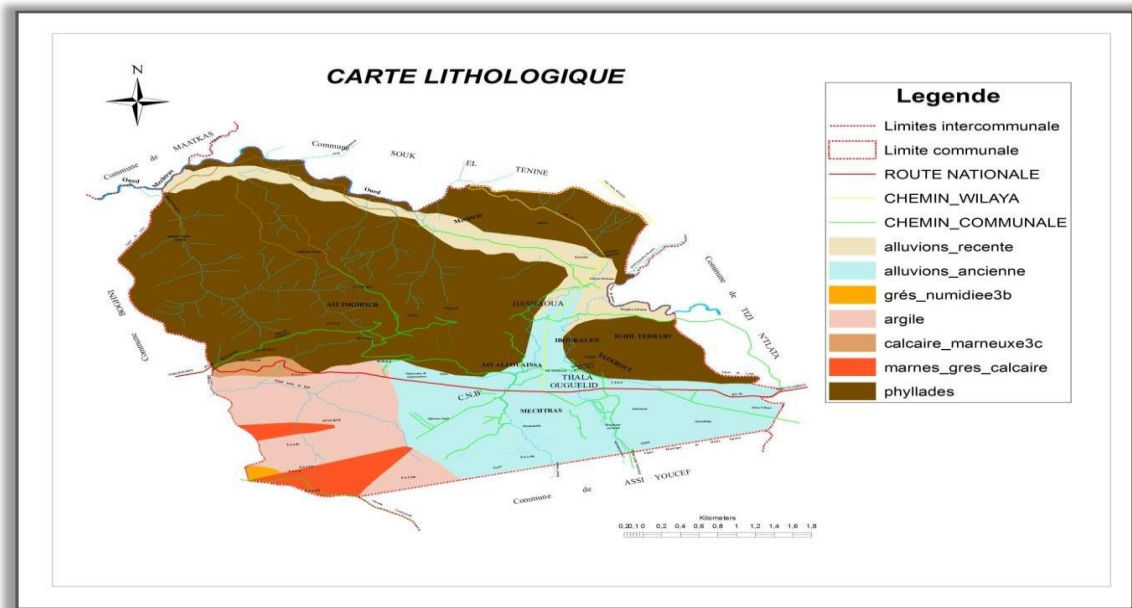


Figure39 :la carte lithologique de la commune de Mechtras

La zone où se situe notre forage fait clairement partie des alluvions anciens.[11].

III. Installation du chantier de forage

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

- ✓ Sécurité le périmètre.
- ✓ L'appareil de forage est installé sur une plate-forme de béton.
- ✓ Le bac à boue est placé entre la pompe à boue et l'appareil de forage.
- ✓ Espace de stockage les produits chimique (bentonite et ciment...etc.).
- ✓ Un approvisionnement en eau (bâche à eau)
- ✓ Un espace de stockage de matérielle lourd (compresseur, tige de forage).
- ✓ Un accès au chantier pour les véhicules.



Figure 40 : le chantier de forage Alma Ndinar

IV. La technique de forage utilisée

La technique de forage utilisée dans notre cas est le rotary à la boue benthonique, cette technique est relativement récente, ses premières utilisations remontent au 1920, cette technique est utilisée spécialement dans les terrains sédimentaires non consolidés pour les machines légères, mais les machines puissantes de rotary peuvent travailler dans les terrains durs.

L'outil de forage (tricône ou trilame) est mis en rotation depuis la surface du sol par l'intermédiaire d'un train de tiges.

L'outil s'avance grâce à deux effets, abrasion et broyage du terrain (sans choc), mais uniquement par translation et rotation (deux mouvements).

Le mouvement de translation est fourni principalement par le poids des tiges au-dessus de l'outil.

A. Exécution du forage

Le forage de Alma Ndinar sera exécuté par l'entreprise FOREMHYD [entreprise de réalisation de forage hydraulique et travaux électromécanique. Route de Dar El Beida, Bp 144, Alger.], avec un appareil de forage rotary type Speed Star 25 (SS-25) et une boue benthonique.



Figure 41 : entreprise responsable de réalisation de forage Alma Ndinar

V. Les composants d'un appareil de forage

A. Le mat de forage

Le mat est une structure en forme de A très pointu. Il 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 relevage spéciale. Dans notre cas la hauteur de mat est de 15 mètres.



Figure 42 : le mat de forage

B. Mouflage

C'est l'enroulement du câble de forage entre les poulies des moufles fixe et mobile en plusieurs brins (jusqu'à 14 brins). Le mouflage permet de démultiplier le poids de la garniture de forage et diminuer la vitesse de son déplacement.

En négligeant les frottements, la charge au crochet est divisée par le nombre de brin.

1. Moufle fixe

Moufle fixe ou Appeler (crown block), formé d'un certain nombre de poulies et placé au sommet du mât, il possède une poulie de plus que le moufle mobile



Figure 43 : le moufle fixe

2. Moufle mobile

Moufle mobile ou (traveling block), formé également d'un certains nombres de poulies par lesquelles passe le câble de forage, il se déplace sur une certaine hauteur entre le planché du travail et le moule fixe.



Figure 44 : le moufle mobile

Il comporte à sa partie inférieure un crochet (hook) 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.

C. La tête d'injection [swivell]

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

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



Figure 45 : la tête d'injection

D. Le câble

Cable de forage est constitué d'âme métallique sur laquelle on enroule six torons de fils d'acier. Le câblage des fils de torons est en général de sens inverse du câblage du toron sur l'âme, ceci donne une caractéristique raide (dure) et anti giratoire du câble de forage. Le diamètre du câble de forage est très variable mais ne dépasse pas 1,5 pouce (3,8cm) en général.



Figure 46 : le câble de forage

E. La tige carrée

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

F. Table de rotation

Pour faire tourner l'outil, on visse au sommet des tiges, de forme cylindrique, une autre de section carrée ou hexagonale, appelée tige d'entraînement (kelly), et on l'introduit dans un moyeu appelé table de rotation [rotary table]. Sur cette table est placé un carré est entraîné par la table de rotation.

Il permet de transmettre le mouvement de rotation de la table à la tige d'entraînement, ainsi que sa translation sans risquer de se frotter sur les côtés et s'user. Cette table sert aussi calage de la garniture de forage lors de sa manœuvre dans le puits.



Figure47 : La table de rotation

G. La tige d'entraînement (Kelly)

C'est la liaison en rotation entre la table de rotation et la garniture de forage. C'est aussi un tubulaire qui supporte la charge totale de garniture.

H. Les tiges

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

Tableau 9 : le nombre et les longueurs des tiges

| Nombre des tiges | Longueur en mètres |
|------------------|--------------------|
| 7 | 6 |



Figure 48 : Les tige de forage

I. Les masse-tiges

Les masse tiges permettent de :

- ✚ Mettre du poids sur l'outil pour éviter de faire travailler les tiges de forage en compression. Le poids utilisable des masse-tiges ne devra pas excéder 80% de leur poids total dans la boue.
- ✚ Jouer le rôle du plomb du fil à plomb pour forer un trou aussi droit et vertical que possible

Elles sont soumises à de multiples contraintes :

- ✓ Le diamètre du forage.
- ✓ Produire des pertes de charge minimale (les plus réduites possible).
- ✓ Facilité de manutention de transport.
- ✓ Résistance au flambage.



Figure 49 : La masse tige de forage

- ✓ Rigidité.

J. Treuil

Le treuil de forage est l'organe principal de la sonde ; par sa capacité il caractérise le rig (sonde de forage) en indiquant la profondeur de forage que peut atteindre l'appareil de forage.

Le treuil regroupe un ensemble d'éléments mécaniques et assure plusieurs fonctions :

- ❖ Les manœuvres de remontée et de descente (levage) du train de sonde à des vitesses rapides et en toute sécurité, ce qui constitue sa principale utilisation.
- ❖ L'entraînement de la table de rotation, quand celle-ci n'est pas entraînée par un moteur indépendant.
- ❖ Les visages et dévisages du train de sonde ainsi que les opérations de curage.

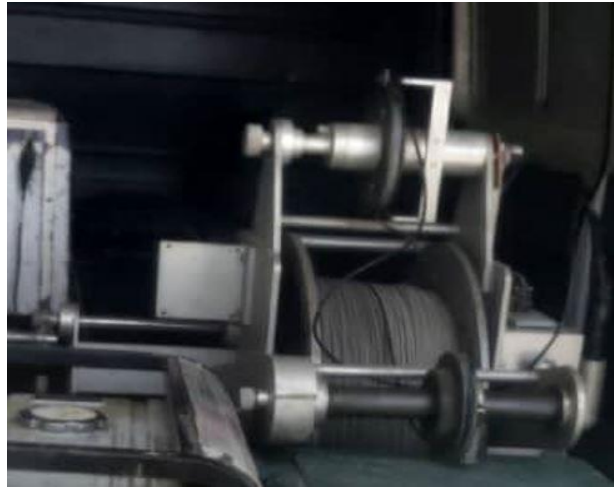


Figure 50 : le treuil

K. L'outil de forage

L'outil est vissé à l'extrémité du train de tiges, constitué par un ensemble de trois molettes dentées pouvant transmettre une forte pression pour assurer la désagrégation de la roche.



Figure 51 : les outils (tricône) de 12 et 17 et 19 pouces

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 durs est plus grand que dans un terrain tendre.

L. Les aléseurs

Ce sont des outils descendus immédiatement au-dessus de l'outil pour maintenir ou élargir le diamètre du trou.



Figure 52 : L'alésure (tricône 19 pouces)

Tableau10 : L'outil d'alésage utilisé en chaque phase

| Les phases | Longueur de l'outil | Diamètre en pouce | Diamètre en mm |
|--------------------|---------------------|-------------------|----------------|
| Entre 0 à 5 mètres | 1 m | 24 pouces | 609.6 mm |
| 5 à 40 mètres | 1 m | 19 pouce | 0482.6 mm |

M. La pompe à boue (MOTO-POMPE)

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



Figure 53 : la pompe à boue

VI. Les phases de réalisation de forage

I. Phase A (Tube de guide)

Le trou a été foré par un outil de 12 pouces puis 17 ensuite 19 pouces, et enfin 24 pouces jusqu'à 5 mètres de profondeur, puis ils ont descendu un tube en acier de diamètre de 500 millimètres sur une profondeur de 5 mètres, le tube a été fixé au sol par la mise en place de ciment, suivie d'une attente d'une 24 heures pour sa prise.



Figure 54 : le tube guide de forage

J. Phase B

- ✚ Forage de reconnaissance en 12 pouce de 5 à 40 mètres (à partir de 26m de Fonçage, une remonté d'eau naturelle a été constaté ce qui implique que notre forage est artésien jaillissant, dans ce cas il faut augmenter la densité de boue en utilisant un autre produit appelé « baryte »).
- ✚ Élargissement avec un outil de 17 pouces jusqu'à 40 mètres.
- ✚ La diagraphie.
- ✚ Alésage en 19 pouces jusqu'à 40 mètres.
- ✚ Descente de tuage PVC 315 jusqu'à 40 mètres.
- ✚ Gravillonnage (gravier siliceux lavé et calibré de 3 à 8 mm de diamètre).

VII. Description géologique

Les cuttings (échantillon) prise mètre par mètre, nettoyé et séchés, puis ils sont mis dans des petits sachets étiquetés selon leur profondeur de prélèvement, puis acheminés vers l'ingénieur hydrogéologue pour étude et analyse.

L'analyse microscopique et macroscopique par l'hydrogéologue de l'administration permis de déterminer la nature des couches géologique traversées, leur composition lithologique, leur caractère hydraulique, l'étage géologique, et par la suite de fixer le toit de l'aquifère adapté.



Figure 55 : les cutting

Les résultats de l'analyse des échantillons de notre cas sont comme suite :

00 – 01 mètre : terre végétale

01 - 22 mètres : galets, graviers, sable

22-23 mètres : alluvions argileuses

23 - 25 mètres : sable

25 – 27 mètres : sables argileux

27- 36 mètres : sable fin

36 – 40 mètres : marne

VIII. Phase de l'injection de fluide de forage

A. Boue à la bentonite

La boue est confectionnée par le malaxage de l'argile et de l'eau, jusqu'à atteindre une densité de $d=1.20$. Dans notre cas l'argile utilisée est la bentonite. Et puisque le forage est artésien, la bentonite n'est pas utile, ce qui est nécessaire d'utiliser l'un des produits alourdissant appelé « baryte » pour continuer les travaux de foration.



Figure 56 : le produit bentonite

B. Les bassins à boue

Le bassin à boue constitué une réserve de fluide de forage et permette son recyclage par décantation.

On a deux bassins à boue le premier est utilisé pour verser de la boue et la deuxième pour pomper la boue à l'intérieur du forage



Figure 57 : les bassins à boue

Les dimensionnements des bassins à boue se fait en fonction de la profondeur du forage à réaliser. Dans notre cas :

- ❖ Largeur (m) : 1.5m
- ❖ Longueur (m) : 1.5m
- ❖ Profondeur(m) : 1.5m

Volume du bassin est : $3,375\text{m}^3$

IX. Equipement de forage

Une fois les travaux de foration sont terminés, le forage doit être équipé (tubage cimentation, gravier...), mais avant cela, une diagraphie est nécessaire pour savoir où placer les crépines et les tubes pleins.

A. Interprétation de la diagraphie

Dans notre cas, les diagraphies de notre forage qui ont été faites le 15/06/2022 sont :

- ✚ Polarisation spontanée.
- ✚ Les résistivités électriques : 16N et 64N.
- ✚ Diameter (Caliper).
- ✚ NGAM CPS.

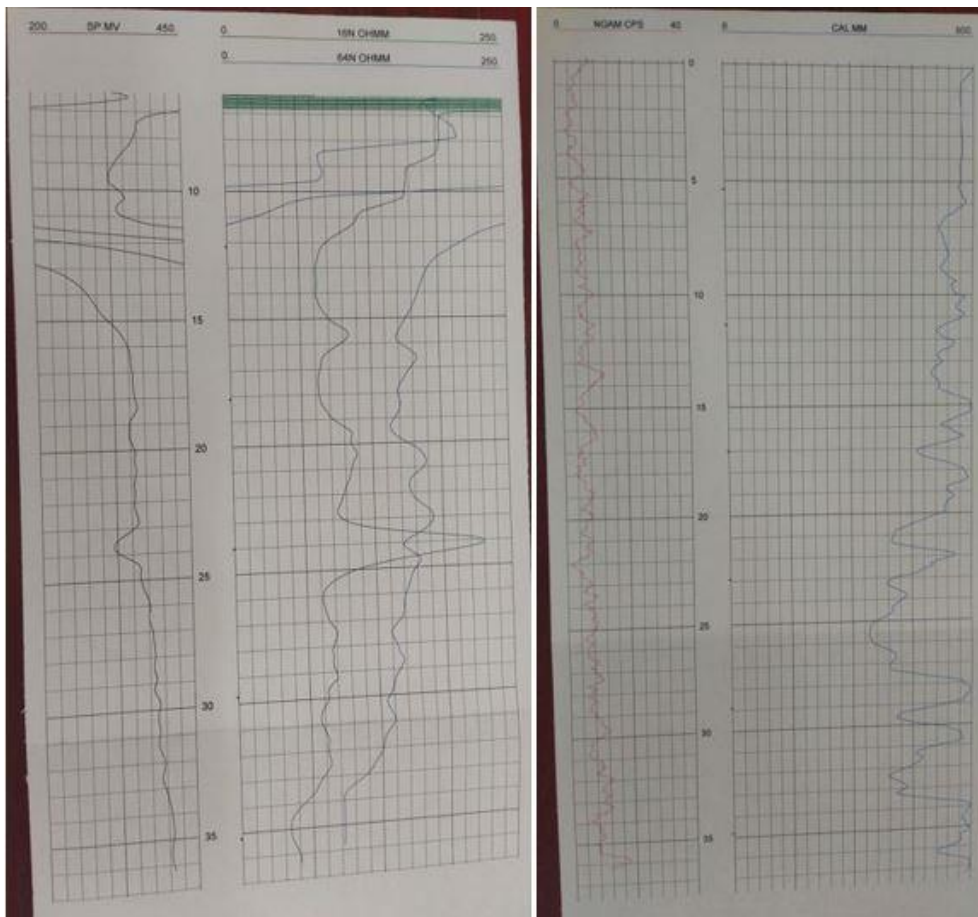


Figure 58 : La diagraphie de forage Alma Ndinar

L'interprétation de ces enregistrements, a permis de distinguer des niveaux perméables et des niveaux imperméables. Cette distinction a été possible suite à l'examen de l'allure des courbes de gamma-ray et de PS qui ont permis de situer les niveaux argileux. L'enregistrement des résistivités permet d'apprécier la qualité lithologique des niveaux aquifères.

Les résultats de ces diagraphies nous ont donné la coupe technique suivante :

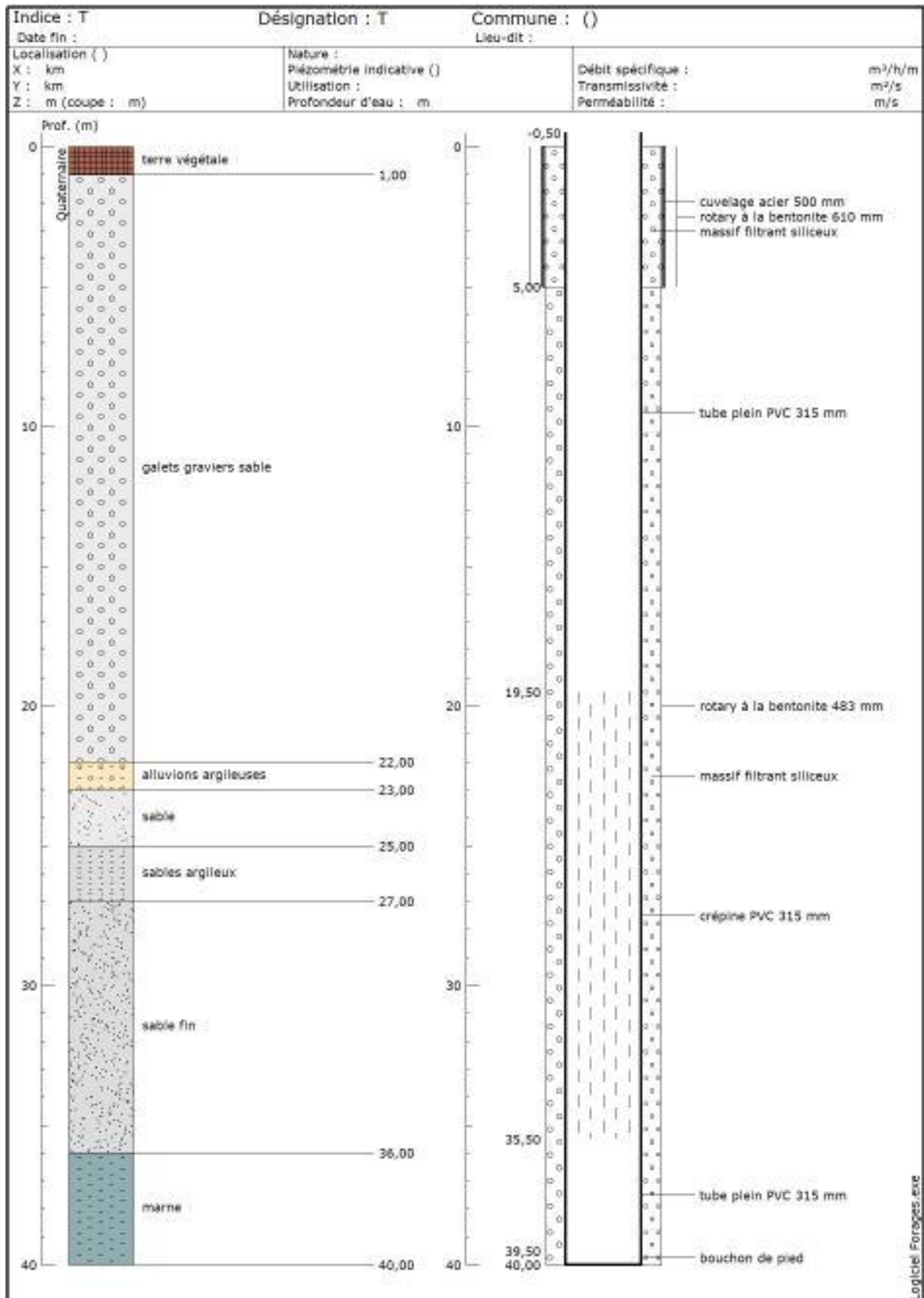


Figure 59 : la coupe technique de Forage Alma Ndinar faite par SALMI et AZZOUG

B. Mise de tubage et de crépine

Dans notre cas le tube utilisé est le chlorure de polyvinyle (P.V.C) de diamètre 315 mm et d'une longueur de 4 mètres qui sont raccordés par filetage.

Donc notre forage nécessité 6 tubes pleines et 4 tubes crépinés.



Figure 60 : les tubes en PVC

C. Massif filtrant

C'est une opération très importante dans la réalisation du forage 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 diminuer le dépôt dans le forage

Le massif filtrant est vers  doucement dans l'espace annulaire du tuyau pour éviter les pontages (des ponts de graviers qui se coincent au mauvais endroit). Ce dernier est rempli jusqu'à la surface du sol.



Figure 61 : Le massif filtrant de 3mm de diamètre

Le volume de gravier est calculé comme suite :

Volume de gravier nécessaire = (volume de trou) – (volume de tubage)

$$V_g = \left(\frac{\pi \times D^2}{4} \right) \times P_f - \left(\frac{\pi \times d^2}{4} \right) \times P_f$$

Où

V_g : Volume de gravier nécessaire

D : diamètre de trou en mètre

d : diamètre de tube en mètre

P_f : la profondeur de forage

Dans notre cas :

$$\begin{aligned} \text{Volume de gravier nécessaire} &= \left(\frac{\pi \times 0,4826^2}{4} \right) \times 40 - \left(\frac{\pi \times 0,315^2}{4} \right) \times 40 \\ &= 4,197\text{m}^3 \approx 4,2\text{m}^3 \end{aligned}$$

Donc notre forage nécessite 4,2m³ de massif filtrant, l'entreprise FORERMHYD a choisi le diamètre 3mm pour le gravier et c'est le petit diamètre puisque les norme de gravier, doit être entre 3 et 8 mm, et ça c'est à cause que le sol est le sable fin, donc le gravier va empêcher le sable fin d'entré à l'intérieure des crépines

D. Cimentation

La cimentation de notre forage n'est pas comme les autres, puisque est un forage artésien jaillissant, la cimentation est faite comme suite :

- ❖ Remplissage de forage avec le gravier propre de diamètre 3mm jusqu'à atteindre la surface du sol
- ❖ Rajouter un joint d'étanchéité (argile) pour éviter l'invasion de l'aquifère et du gravier par le ciment
- ❖ Margelle en ciment de hauteur de 30 cm minimum

Remarque

- Le forage artésien jaillissant nécessite pas le développement parce qu'il est fait naturellement (par jaillissement de l'eau à la surface)
- Essai de pompage n'est pas encore fait pour manque d'énergie électricité.

E. Remise en état de chantier

Comme tous les chantiers, nécessite la remise en état après la fin des travaux. FOREMHYD a remis en état son chantier en vidant et fermant les bassins à boue et nettoie tous les déchets (les sacs de bentonite et la baryte) malgré les travaux ne sont pas encore terminés.



Figure 62 : Remise en état avant fin de chantier

Conclusion

Au terme de ce travail, il nous a été permis la consolidation, expérience et mise en œuvre des acquis théoriques et concrétisation des savoirs obtenus en milieu universitaire, échange avec les cadres et manutentionnaires en charge de répondre et satisfaire des besoins concrets des usagers de l'eau, par la maîtrise des techniques d'exécution des travaux de mise en œuvre des équipements, choisis suivant des normes strictes de performance et d'économie, pour un meilleur ratio possible entre la qualité et le coût.

Également, quelques notions sur le choix du meilleur partenaire en adéquation avec les critères ci-haut. Contact avec le monde professionnel et sensation concrète des situations

vécues sur le chantier, le contact humain avec différentes catégories professionnelles, chacune complémentaire de l'autre et donc solidarité et entraide professionnelles et soutien psychologique.

Ainsi, notre expérience est plus prolifique, avec la découverte des différentes étapes de réalisation des travaux de forage et cette heureuse coïncidence de tomber sur un forage artésien, ce qui a évité au concepteur de recourir au développement à l'air lift.

Conclusion générale

La nécessité de l'eau pousse l'homme à réfléchir pour trouver les techniques adéquates permettant de mobiliser cette ressource. Parmi ces techniques, on trouve l'exploitation des eaux souterraines, ces eaux sont généralement de bonne qualité, ce qui fait qu'elles ne nécessitent pas d'un traitement poussé.

Les études géophysique et géologique et climatique sont nécessaires pour trouver la ressource en eau dans le sous-sol et choisir la méthode idoine liée à la nature de terrain. Il existe plusieurs méthodes pour réaliser un forage d'eau et chacune d'elle possède ses avantages et ses inconvénients. Chacune des dites méthodes comportent plusieurs étapes à suivre.

Le forage qui fait objet de ce suivi est situé à Mechtras, il est destiné pour renforcer la commune Tizi N'tlatha et Ait Bouadou en eau potable. Ce forage réalisé par la méthode rotary a une profondeur de 40 mètres et tubé avec PVC 315. Lors de foration de ce forage, une remonté d'eau est constaté ce qui implique que le forage est artésien jaillissant, la boue benthonique n'est pas utile ce qui est nécessaire d'utiliser un alourdissant appeler « baryte » de densité supérieure à celle de la bentonite pour continuer le creusement.

Après la descente du tubage et mise en place de massif filtrant, l'eau jaillit encore à la surface, il est aussi clair donc il ne nécessite pas le traitement à l'hexamétaphosphates, et l'opération de développement est faite naturellement. En Raison de manque d'énergie électrique, Nous avons raté l'étape d'essai de débit, donc les paramètres hydrodynamique (T, S et le Rayon d'action...) sont pas déterminés, Nous avons manqué également l'étape d'analyse d'eau de ce forage, donc nous ne connaissons pas ses propriétés et sa qualité, mais compte tenu des autres forages existants dans la région, l'eau est potable et nécessite aucun traitement.

Références bibliographies

- [1] VINCENT.W, JACLYNA.B, AL. Juillet 2009. Exploitation des eaux souterraines. Concepts de base pour l'élargissement des programmes d'hydraulique du CRS. Catholic Relief Services.
- [2] FREDERICK.B, ALBERT.M, JOHN.L. Siting, Drilling, and Construction of Water Supply Wells. First Edition. Américain water works association. 2007.
- [3] Guide d'application, édition (11 septembre 2003). L'arrêté interministériel, relatif à la rubrique 1.1.0 de la nomenclature eau.
- [4] Detay.M. (1993). LE FORAGE D'EAU Réalisation, entretien, réhabilitation. Masson, Paris.
- [5] METAICHE.M. (Octobre 2013). FORAGE techniques et procédés, Université de Bouira.
- [6] Nguyen, J-P. (1993). LE FORAGE : technique d'exploitation pétrolière, éditions TECHNIP, école nationale supérieure du pétrole et des moteurs.
- [7] CHAFFAI.H. (2019/2020). Support de cours option Hydrogéologie : FORAGE D'EAU. Université Badji Mokhtar-Annaba.
- [8] WALID NOUR Al Islam.B, BELAID.M-I. (2022). Suivi d'un forage Albo-Barrémien dans la région El Mostaqbal (wilaya de touggourt). Mémoire. Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [9] AHMADI.R. Support de cours : DIAGRAPHIE et évaluation des réservoirs. Ecole national d'ingénieurs de Sfax
- [10] MABILLOT, A. (1971). Les Forages d'eau : Guide pratique. Edition : johnson fols sys, Naintre
- [11] PDOU Mechtras. 2014
- [12] *ITCHIR.I & LACHEBIL. (2015). Etude hydrogéologique de l'Oued Mechtras : faunistique et évaluation biologique de la qualité de l'eau.*

Annexes

- La diagraphie de Alma Ndinar

