

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saad Dahlab Blida 1

Faculté de technologie Département des Sciences de l'Eau et Environnement



Filière : Hydraulique

Spécialité : Ressources hydrauliques

Thème :

**Suivi de réalisation du forage F1 (prise d'eau
d'ELHARRACH) programme de sécurisation de l'AEP
d'Alger**

Présenté par :

IRATNI Hamza

SAYEH Samir

Devant le jury composé de :

Mr MESSAUD

M.C.A

EXAMINATEUR

Mr BENAZIZA

M.C.A

Président

Mr GUENDOZ

professeur

promoteur

Promotion 2020/2021

REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous remercions le bon dieu m'ayant accordé courage et patience pour à terme ce travail.

*Nous tenons également à exprimer nos plus vifs remerciements et notre gratitude à notre promoteur le professeur Mr **GUENDOUC A.HAMID** Pour ses orientations et ses conseils de long de l'élaboration de ce projet.*

Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements au membre de jury pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à témoigner notre reconnaissance aussi à tous les enseignants du département science de l'eau et l'environnement qui ont participé dans notre formation.

Nous remercions très chaleureusement tous les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents pour leur soutien, leur patience

Leur encouragement durant mon parcours scolaire

A mes frères ainsi à tous ma famille

A tous mes amis (amies)

Et à l'ensemble des étudiants de la promotion mastère

LMD/SEE 2020.2021

الملخص :

الغرض من هذا العمل هو دراسة ومراقبة بئر (ف1) في الحراش لتقوية وسد النقص في مياه الشرب في المدينة والمناطق المحيطة بها.

يعتمد العمل على البيانات الجيولوجية والهيدروجيولوجية الموجودة في سهل متيجة

تم تطوير تحقيق الحفر(ف1) من خلال عدة مراحل من الغرق (الحفر الاستكشافي ، وقطع الأشجار ، وفحص القطع ، والتجوييف ، ومعدات الحفر ، واختبارات الضخ والمعدات) ، وعمقها 250 م ، مع مستوى ثابت من 0 م ، وانخفاض 37.9 م ، ومعدل تدفق التشغيل 30 لتر / ثانية

Résumé

Le but de ce travail est de faire le suivie du forage F1 (prise d'eau El Harrach) pour renforcer et combler le déficit en eau potable du la ville d'Alger et les zones avoisinantes.

Le travail est basé sur des données géologiques, hydrogéologiques existants dans la plaine de la Mitidja

La réalisation de forage F1 a été élaborée en plusieurs étapes de fonçage (forage de reconnaissance, diagraphie, examen des cuttings, alésage, équipements de forage, essais de pompage et équipements), , sa profondeur est de 250 m, avec le niveau statique de 0m, le rabattement de 37.9m, et un débit d'exploitation est de 30 l/s.

Abstract :

The purpose of this work is to study and monitor an F1 borehole in El Harrach to strengthen and fill the drinking water deficit in the city and surrounding areas.

The work is based on existing geological and hydrogeological data in the Mitidja plain

The realization of drilling F1 was developed by several stages of sinking (reconnaissance drilling, logging, examination of cuttings, bore, drilling equipment, pumping tests and equipment), its depth is 250 m, with the static level of 0m, drawdown of 37.9m, and the operating flow rate is 30 l / s.

Liste des figures

Figure 1 : mât de battage	04
Figure 2 : forage par havage.....	05
Figure 3 : forage rotary	06
Figure 4 : principe du forage rotary	07
Figure 5 : Alourdissement d'une boue par la baryte.....	09
Figure 6 : Allègement par l'eau d'une boue de forage	10
Figure 7 : bentonite.....	12
Figure 8 : tube en acier inox	13
Figure 9 : tube en PVC.....	13
Figure 10 : Choix des fentes des crépines dans une formation hétérogène	16
Figure 11 : Différents types de crépines.....	17
Figure 12 : la cimentation	18
Figure 13 : développement par pistelage.....	19
Figure 14 : Présentation la plaine de la Mitidja.....	24
Figure 15 : situation de la zone d'étude.....	25
Figure 16 : Les sous bassins versants de la Mitidja Est	26
Figure 17 : réseau hydro-climatologique.....	27
Figure 18 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (2000.2018)	28
Figure 19 : Histogramme des Variations de la température moyenne mensuelle	
Dar El Beida	29
Figure 20 : Diagramme ombrothermique interannuel 2000/2018.....	30
Figure 21 : Carte géologique de la plaine de Mitidja.	31
Figure 22 : Colonne litho-stratigraphique de la Mitidja	34
Figure 23 : Evolution de Sahel et de la Plaine de Mitidja (Quaternaire et Pliocène)	37
Figure 24 : carte piézométrique de Mitidja Est	40
Figure 25 : la zone d'étude	42
Figure 26 : la foreuse.....	43
Figure 27 : La pompe a boue.....	44

Figure 28 : les tiges et masses tiges.....	44
Figure 29 : les différent outil utilisé	45
Figure 30 : Table de rotation	45
Figure 31 : les bassins de boues.....	46
Figure 32 : préparation de la boue (bentonite)	46
Figure 33 : la boue	47
Figure 34 : tube guide.....	47
Figure 35 : les cutinges (1 ^{er} état)	48
Figure 36 : les cutinges (dernier état)	48
Figure 37 : la lithologie du sol (avec logiciel gesffor)	49
Figure 38 : l'analyse granulométrique	51
Figure 39 : les matériaux de la diagraphie.	52
Figure 40 :l'enregistrement diagraphique.....	54
Figure 41 : programme du forage d'exploitation (logiciel gesfor)	55
Figure 42 : coupe lithologique et le plan de tubage (logiciel gesfor)	56
Figure 43 : descente de tubage.....	57
Figure 44 : le gravier 3-8	57
Figure 45 : le compresseur	58
Figure 46 : le développement	58
Figure 47 : rabattement $s(m) = f(t)$, débit Q (m^3/h).....	60
Figure 48 : rabattement spécifique $=f(Q)$	61
Figure 49 : rabattement $s = f(Q)$	62
Figure 50 : courbe de descende.....	64

Liste des tableaux

Tableaux N°1 : précipitation moyennes mensuelles et annuelles (2000 /2018.....	28
TableauN°2 : Variation de la température de Dar El Beida (2000/2018)	29
Tableau n°3 : programme tubage	55
Tableau n°4 : les résultats de l'essai de pompage court duré	60
Tableau n°5 : résultat de calcul de débit spécifique et rabattement spécifique.. ..	61
Tableau n°6 : les résultats de l'essai de pompage long duré	63

Sommaire

Introduction générale.....	01
Chapitre I : Généralité sur les techniques du forage	02
Introduction	03
I-1 Les différentes techniques de forage.....	03
I-1-1 Forage par battage	03
I-1-2 Forage par havage	04
I-1-3 Forage rotary.....	05
I-2 Les fluides de forage	08
I-2-1 Le fonctionnement du fluide	08
I-2-2 Le choix du fluide	08
I-2-3 Propriétés des fluides de forage.....	08
I-2-3-1 Densité	08
I-2-3-3 Cake et filtrat	10
I-2-3-4 pH	11
I-2-3-5 Teneur en sable	11
I-2-3-6 Thixotropie	11
I-3 Boues bentonitiques	11
I-3-1 Bentonite	11
I-5 Tubages	12
I-6 Crépines	13
I-6-1 Ouverture ou slot des crépines	14
I-6-2 Positionnement des crépines	15
I-7 Cimentation	17
I-8 Développement	18
I-9 Essaie de pompage	20
I-11-1 Transmissivité	20
I-11-2 Facteur d'emmagasinement	20

I-11-3 Rayon d'action d'un pompage	20
I-11-4 Coefficient de perméabilité	20
I-11-5 Le principe	20
Conclusion	21
CHAPITRE II : Situation de La zone d'étude Et contexte géologique et Hydrogéologique	22
Introduction	23
II-1-1.Situation géographique et limites administratives	23
II-1 -1-1. Le Sahel	23
II-1-1-2. La plaine de la Mitidja	23
II-1-1-3. L'Atlas Blidéen	23
II-1-2. Géomorphologie du bassin versant de la Mitidja	24
II-1-3. La zone d'étude	24
II-1-3-1. Paramètres physiques et morphologiques du bassin versant de l'Oued El Harrach...	24
II-1-3-2.Relief	25
II-1-4. Hydro-climatologie	26
II-1-4-1.Précipitations	27
II-1-4-2.Température	28
II-2.Contexte géologique et hydrogéologique	30
II-2-1.Géologique	30
II-2-1-1.Le Quaternaire	32
II-2-1-2. Le Tertiaire	33
II-2-2.Contexte hydrogéologique	37
II-2-2-1.L'aquifère de l'Astien	38
II-2-2-1-1. L'alimentation de l'aquifère	38
II-2-2-1-2. Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère	38
II-2-2-2.L'aquifère des alluvions du quaternaire	39
II-2-2-2-1.Alimentation de l'aquifère	39
II-2-2-2-2. Les exutoires de l'aquifère	39
II-2-2-3.Etude piézométrique	39

Conclusion	42
Chapitre III : Les travaux et opérations de forage	41
Introduction	42
III. 1. La localisation	42
III .2. Déroulement des travaux de foration	42
III. 2.1.2 Les différents équipements utilisés	42
III. 2.1.2.1_ Les équipements humains	42
III. 2.1.2.2 les équipements des travaux	43
III. 2.1.2 Stocks des matériaux	43
III. 2.1.3 Organisation du chantier	43
III .3. Caractéristique géométrique des bassins	45
III .4_ Les opérations de forage	47
III .4.1 Forage de reconnaissance	47
Opération 1 : Tube guide	47
Opération 2 : Réalisation de forage de reconnaissance	48
Opération 3 : Réalisation de diagraphies	51
III .4.1 Etablissement d'un programme d'équipement	55
Opération 4 : Elargissage	55
Opération 5 : plant et descente de tubage	55
Opération 6 : Mise en place du massif filtrant	57
Opération 7 : Développement du forage au compresseur	58
Opération 8 : Cimentation	59
Opération 9 : Essais de pompage	59
Conclusion	66
Conclusion générale	67

Introduction générale

Aujourd'hui, l'Algérie connaît un déficit hydrique dû aux changements climatiques qui ont fortement affecté les cycles naturels des précipitations, ce qui a provoqué une pénurie de pluie, ce qui a entraîné une baisse importante du niveau d'eau des barrages et des nappes d'eau sous terrain à travers le pays, en particulier dans la région du centre et de l'ouest du pays, avec un taux de déficit estimé à 25 % des réserves des barrages.

Pour combler ce déficit en eau potable au niveau des villes associé à des débits variables d'approvisionnement en eau de surface, il a été décidé de lancer un programme correctif et urgent pour combler ou réduire le déficit en eau de surface en renforçant les capacités de production des eaux souterraines.

La production d'eau s'améliorera avec la réception de 173 forages avec une production estimée à 250 000 m³ par jour, qui sera appuyée par un deuxième programme qui permettra la production de 140 000 m³ par jour grâce à la réalisation de 120 nouveaux forages, qui seront progressivement entrer en service.

Le forage est synonyme de source d'eau sûre et viable. Il est plus sécurisé et l'eau puisée ne contient pas de chlore ou d'autres produits chimiques, car elle provient directement du sous-sol.

Tous les opérations du forage seront suivis étape par étape afin de voir la productivité du forage.

Objectif de l'étude est de suivre les travaux de la réalisation de l'eau implantée dans la plaine de la Mitidja Est au site du forage F1 (prise d'eau d'ELHARRACH)

Ce projet est structuré en 3 chapitres :

- Chapitre 1 : Généralités sur les techniques de forage.
- Chapitre 2 : Situation de la zone d'étude et contexte géologique et Hydrogéologique.
- Chapitre 3 : Les travaux et opérations du suivie de la réalisation du forage F1 (prise d'eau d'ELHARRACH)

CHAPITRE I

Généralités sur les techniques de forage

Introduction

Le forage doit être le plus performant possible et permettre de prélever le maximum d'eau, compte tenu de l'environnement hydrogéologique dans lequel il est placé. Plusieurs paramètres fondamentaux interviennent déjà dans le choix du type de foration, dans la nature et le dimensionnement des tubages et, évidemment, de la crépine et du massif filtrant, mais aussi dans le développement de l'ouvrage.

Ce chapitre présente les grandes techniques de réalisation de forage et donne des indications quant au choix de l'équipement de l'ouvrage, à sa capacité de réaliser les travaux dans les meilleures conditions techniques et financières, en tenant compte des difficultés potentielles susceptibles d'être rencontrées lors de l'exécution.

I-1 Les différentes techniques de forage

il existe plusieurs techniques de forage

- forage par battage
- forage par havage
- forage rotary

I-1-1 Forage par battage

Le forage par battage est la plus ancienne méthode employée sur les chantiers de forage, ce procédé était utilisé par les Chinois il y a plus de 4 000 ans. La méthode consiste à soulever un outil lourd (trépan) et à le laisser retomber sur le terrain à traverser. La hauteur et la fréquence de chute varient selon la dureté des formations.

On distingue deux types de battages : le battage au treuil et le battage au câble. Cette dernière méthode est la plus courante. Le trépan est suspendu à un câble qui est alternativement tendu et relâché. Les mouvements sont rapides et le travail de l'outil se fait plus par un effet de martèlement dû à l'énergie cinétique que par un effet de poids comme pour le battage au treuil. Un émerillon permet au trépan de pivoter automatiquement sur lui-même à chaque coup. Le trou est nettoyé au fur et à mesure de l'avancement par descente d'une soupape permettant de remonter les débris (cuttings). Ce procédé permet de réaliser des forages sans utilisation d'eau ou de boue.(2)

➤ **Avantage :**

- c'est un procédé simple et relativement peu coûteux (investissement généralement plus faible que pour les autres procédés de foration) ;
- il n'y a pas de fluide de forage (boues) et pas de risques de pollution de l'environnement ;
- le trépan peut être rechargé, reforgé et affûté sur le chantier ;
- c'est une méthode bien adaptée pour les forages de moyenne profondeur
- les résultats sont très bons dans les terrains fissurés (pas de pertes).

➤ **Inconvénients :**

- vitesse d'avancement assez faible ;
- Méthode peu adaptée dans les terrains plastiques ou bouillants dans lesquels le tubage à l'avancement est nécessaire ;
- il est impératif de remonter l'outil régulièrement afin de nettoyer le trou (perte de temps) ;

il n'est pas simple d'équilibrer des venues d'eau artésiennes jaillissantes.(1)



Figure 1 : mât de battage

I-1-2 Forage 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 hydrauliques. Une benne preneuse « vide » progressivement l'intérieur du tubage tant que celui-ci se trouve au-dessus du niveau statique. Au-dessous du niveau statique, l'emploi d'une soupape est recommandé.(2)

➤ **Avantage :**

- avancement rapide à faible profondeur dans des formations meubles, notamment alluvionnaires (en l'absence d'éléments grossiers) ;
- réalisation d'ouvrages en gros diamètre.

➤ **Inconvénients :**

- méthode inadaptée aux terrains durs ;
- frottement des tubages mis en place à l'avancement ;
- difficulté pour arracher les tubages de soutènement après la mise en place des crépines et du massif filtrant.(1)



Figure 2 : forage par havage

I-1-3 Forage rotary

Le forage rotary est le procédé le plus couramment utilisé, il a notamment fait ses preuves dans le domaine de la recherche pétrolière.

Un outil (trépan) monté au bout d'une ligne de sonde (tiges vissées les unes aux autres) est animé d'un mouvement de rotation de vitesse variable et d'un mouvement de translation verticale sous l'effet d'une partie du poids de la ligne de sonde ou d'une pression hydraulique.

Le mouvement de rotation est imprimé au train de tiges et à l'outil par un moteur situé sur la machine de forage en tête de puits. Les tiges sont creuses et permettent l'injection de boue au fond du forage.

Les outils utilisés en rotation sont des trépan de plusieurs types en fonction de la dureté des terrains rencontrés (outils à lames, outils à pastilles, molettes ou tricône, outils diamantés ou à carbures métalliques).

Au-dessus du trépan, on peut placer une ou plusieurs masses-tiges très lourdes qui accentuent la pression verticale sur l'outil et favorisent la pénétration et la rectitude du trou.

En résumé, l'ensemble du train de tiges ou « ligne de sonde » se compose, de haut en bas, des éléments suivants (cf. figure 3) :

Une tête d'injection.

Une tige carrée.

des tiges courantes, (1)



Figure 3 : forage rotary

Principe du forage Rotary

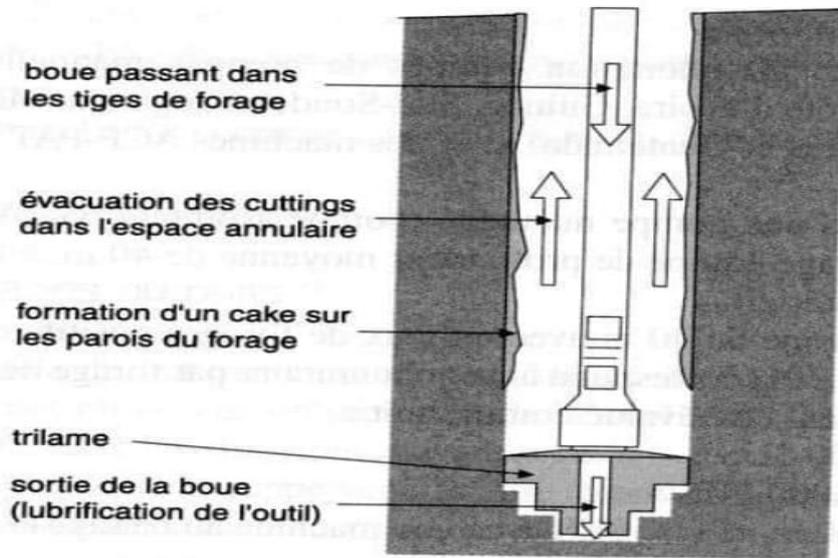


FIGURE 4 : principe du forage rotary

—Avantages du forage rotary :

- la profondeur atteinte peut être considérable (plusieurs milliers de mètres en recherche pétrolière). De plus on peut atteindre 300 ou 400 mètres de profondeur sans tuber si les terrains s'y prêtent ;
- la vitesse d'avancement en terrains tendres est importante et peut atteindre 100 m à 150 m par jour ;
- ce système permet un bon contrôle des paramètres de forage (poids de l'outil, vitesse de rotation, qualité de la boue, débit d'injection de la boue) en fonction des terrains à traverser ;
- le forage au rotary entraîne une consolidation des parois en terrains meubles par dépôt d'un cake.

— Inconvénients :

- nécessité d'un fluide de forage, donc d'un approvisionnement du chantier en eau ;
- colmatage possible des formations aquifères par la boue à la bentonite (ce qui impose de ne pas l'employer dans le forage d'eau) ;
- nécessité de bien suivre la formation, puis l'évacuation du cake ;
- mélange des cuttings ;

risques d'éboulement en cas d'arrêt de la foration sans nettoyage du trou.(1)

I-2 Les fluides de forage

Les fluides de forage ont un rôle capital dans l'exécution d'un ouvrage et il convient d'y apporter une attention particulière. Nous ne donnons ici que quelques indications de base suffisantes pour le suivi de forage « simple » à faible profondeur. Pour le contrôle d'ouvrages profonds dans des formations géologiques complexes. Le choix et le contrôle des fluides de forage sont des éléments fondamentaux dont dépendent la réussite ou l'échec de l'ouvrage. En effet, les caractéristiques de la boue évoluent dans le temps et en fonction des éléments rapportés par les terrains traversés, ces modifications peuvent apporter de graves avaries : coincement du train de tige, perte totale dans le forage, cake trop épais colmatant l'aquifère, etc.

I-2-1 Le fonctionnement du fluide :

- le refroidissement et la lubrification de l'outil de forage (tricône, trépan, etc.) ;
- la remontée des formations géologiques traversées sous une forme broyée (cuttings) ;
- la consolidation des parois nues du trou par dépôt d'une pellicule argileuse (cake) ;
 - une action de contre-pression vis-à-vis de venues d'eau artésiennes jaillissantes (en augmentant la densité) ;
- de donner des renseignements utiles sur d'éventuelles venues d'eau ou pertes de charge grâce au suivi du niveau dans les bacs à boue.

I-2-2 Le choix du fluide :

Le choix du fluide de forage dépendra d'un grand nombre de facteurs (nature des terrains, type d'équipement, possibilité d'approvisionnement en eau et en produits, etc.). En général, les fluides à base d'eau, composés d'argile ou d'additifs polymères, seront utilisés dans les formations non consolidées. Au contraire, l'air sera réservé aux roches compactes ou semi-consolidées (air-lift).

Quel que soit le choix effectué, la réussite dépend principalement des dosages, du choix des additifs et des caractéristiques physico-chimiques des terrains et de l'eau des formations rencontrées. (2)

I-2-3 Propriétés des fluides de forage :

I-2-3-1 Densité :

La densité de l'eau pure (à 4°C) est de 1. Celle d'une boue pourra varier entre 0,8 si on y incorpore de l'air et 2 si on ajoute de la barytine (sulfate de baryte : BaSO_4 , densité 4,3). Une boue bentonitique neuve a une densité de 1,02 à 1,04 mais celle-ci peut varier en cours de foration. La densité est mesurée avec une balance Roberval ou mieux, avec une Baroïd.

La densité de la boue devra être réglée pour permettre en permanence la remontée des débris de forage et l'amélioration de la tenue des parois. De plus, elle peut équilibrer

d'éventuelles venues d'eau (artésianisme). En utilisant la barytine ou l'eau, il est possible d'alourdir ou d'alléger une boue de forage (cf. figures 5-). (2)

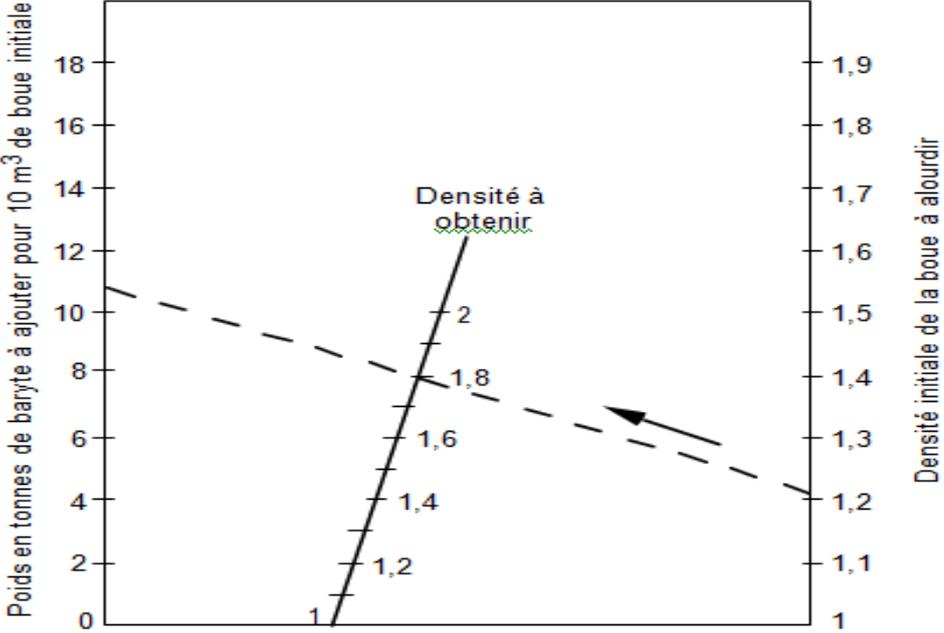


Figure 5 : Alourdissement d'une boue par la baryte (2)

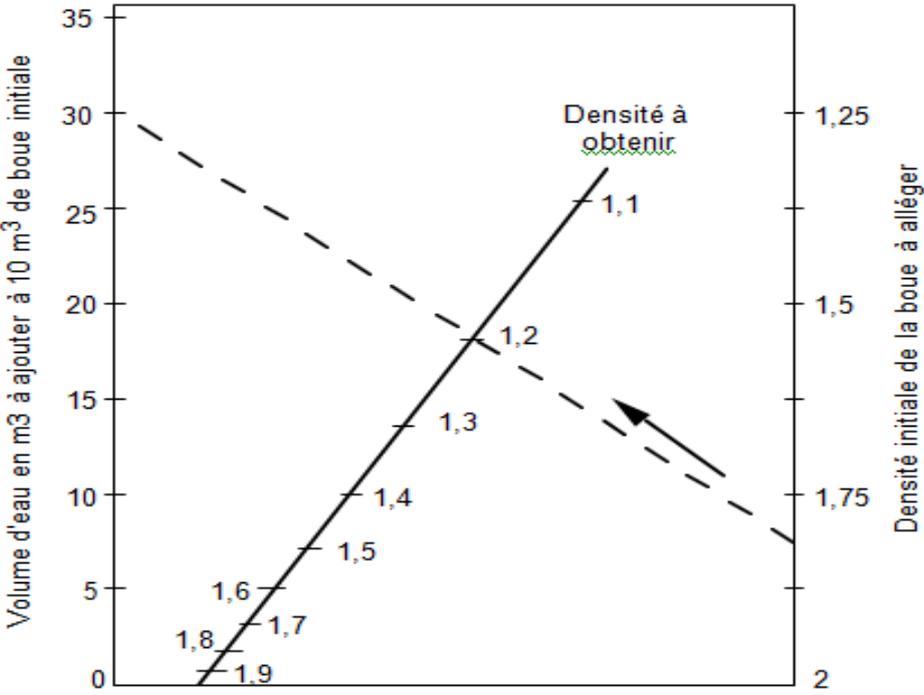


Figure 6 : Allègement par l'eau d'une boue de forage (2)

Une viscosité appropriée permet d'avoir un outil bien dégagé ainsi qu'une bonne remontée et un dépôt rapide des débris de forage. De plus, elle permet de réduire les pertes de charge dans le train de sonde.

On peut mesurer la viscosité d'une boue avec le viscomètre Marsh (sur le chantier) ou le viscomètre Stormer (en laboratoire).(2)

I-2-3-3 Cake et filtrat

Dans une formation perméable, la boue a tendance à laisser passer de l'eau au travers de la paroi (filtrat) et à déposer une couche d'argile (cake) sur cette dernière. Dans tous les cas, la nature du cake et du filtrat sera fonction de la composition initiale de la boue. Or, comme nous l'avons vu, ces propriétés peuvent évoluer lors de la foration. Il est donc important de contrôler régulièrement le cake et le filtrat.

Si le filtrat est trop grand (cake trop fin), les parois ne sont pas tenues et des éboulements risquent de se produire. Si le filtrat est trop faible (cake trop épais), la boue risque de colmater la formation aquifère.

Les mesures sont effectuées avec une presse Baroïd dans laquelle on dispose un échantillon de boue qui sera égoutté. Il faut alors noter le volume de filtrat recueilli en un temps donné ainsi que l'épaisseur et la consistance du cake obtenu.(1)

I-2-3-4 pH

Le pH permet d'apprécier l'acidité ou l'alcalinité de la boue de forage. Si le pH est compris entre 0 et 5, la solution est acide ; entre 6 et 8, elle est neutre ; au-delà de 8, elle est basique (alcaline). La mesure du pH est importante car elle révèle la contamination par le ciment ou par l'eau de la couche aquifère si sa valeur est supérieure à 10 ou 11. Par contre, si elle est inférieure à 7, les risques de floculation sont à redouter. La mesure du pH doit être faite sur le filtrat.(2)

I-2-3-5 Teneur en sable

Il est évident que la présence de sable dans la boue est néfaste à cause de son caractère abrasif (problèmes d'usure des tubes, flexibles, pompes etc.). Il augmente également la densité de la boue et risque, en cas de dépôts importants sur le fond, de bloquer la garniture. On estime généralement que la teneur maximale admissible de sable dans une boue est de 5 %. On peut la mesurer grâce à un élutriomètre.

L'élimination du sable se fait par l'intermédiaire de bacs ou fosses de décantation ou par dessableurs centrifuges.(2)

I-2-3-6 Thixotropie

La thixotropie est la faculté, pour un mélange à base de produits en suspension, de passer de l'état solide (gel) à l'état liquide sous l'action d'une agitation et de revenir à l'état initial lorsque l'agitation cesse. Il faut donc maintenir la circulation dans un forage même si la ligne de sonde ne tourne pas, pour éviter que la boue ne sesolidifie en bloquant l'outil.(1)

I-3 Boues bentonitiques :

Les boues de forage sont généralement des suspensions colloïdales à base d'argile, la plus utilisée étant la bentonite. Un gramme de bentonite dispersé dans l'eau offre une surface de contact de 4 à 5 m².

I-3-1 Bentonite

Les bentonites sont caractérisées par les limites d'Atterberg.

— Limite de liquidité : elle représente la teneur en eau au-dessous de laquelle une pâte argileuse se comporte comme un semi-liquide.

— Limite de plasticité : représente la teneur en eau au-dessous de laquelle une pâte argileuse n'a plus de comportement plastique.

— Indice de plasticité : représente la différence entre les limites de liquidité et de plasticité.



Figure 7 : boue de forage (à base de bentonite)

I-5 Tubages

Le diamètre du tubage sera fonction du débit espéré.

Le choix du type du tubage sera ensuite fonction de la résistance aux diverses sollicitations :

- efforts de traction ;
- efforts d'écrasement ;
- efforts d'éclatement ;
- efforts de flambage.(1)

Il existe deux matériaux principaux de tubage lisse :

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



Figure 8 : tube en acier inox



Figure 9 : tube en PVC

I-6 Crépines

La crépine constitue l'élément principal de l'équipement d'un ouvrage d'exploitation d'eau. Placées à la suite du tubage plein, face à une partie ou à la totalité de la formation aquifère, les crépines doivent :

- permettre la production maximale d'eau claire sans sable ;
- résister à la corrosion d'origine des eaux agressives ;
- résister à la pression d'écrasement exercée par la formation aquifère en cours d'exploitation ;
- avoir une longévité maximale ;
- induire des pertes de charges minimales.

Il existe plusieurs types de crépines industrielles en acier (préfabriquées, sans modification sur le chantier) :

- crépine à trous ronds, utilisée en terrains durs, mais de faible densité de perforation ou de vide ($\approx 10\%$) ;
- crépine à trous oblongs, avec des fentes rectangulaires verticales, de largeur au moins égale à l'épaisseur de la tôle, longueur standard 3 cm, mais de faible densité de perforation (≈ 10 à 20%) ;
- crépine à persiennes, avec des perforations rectangulaires horizontales, formant auvent, de bonne résistance mécanique, mais de faible pourcentage de perforation ;

— crépine à nervures repoussées, type très fréquemment utilisé, réalisé à plat puis roulé et soudé, de bonne résistance mécanique du fait du faible enlèvement de métal, de pourcentage de vide variant de 3 à 27 % selon les dimensions des ouvertures pratiquées ;

— crépine type Johnson, à ouverture horizontale continue sur toute la longueur de la crépine, obtenue par enroulement en hélice d'un « fil enveloppe profilé » soudé sur des génératrices métalliques verticales. Les avantages principaux d'une telle crépine sont :

- la régularité et la précision de l'ouverture,
- les faibles risques de colmatage,
- le coefficient d'ouverture le plus élevé par rapport aux autres crépines (1)

I-6-1 Ouverture ou slot des crépines

La définition du slot d'une crépine se fait essentiellement d'après l'interprétation de la courbe granulométrique de la formation aquifère.

Le coefficient d'ouverture est un élément fondamental car il conditionne le passage de l'eau de l'aquifère vers le forage aussi faut-il généralement proscrire les crépines dont le coefficient est < 10 % (trous ronds, oblongs, à persienne, ...).

Le slot de la crépine sera défini en fonction des caractéristiques du massif de gravier. Le gravier mis en place dans l'espace annulaire entre les parois du trou et la crépine constitue un massif filtrant artificiel. La granulométrie du massif de gravier est choisie en fonction de celle de la formation encaissante ; elle sera en général uniforme.(1)

La mise en place d'un massif de gravier permet d'augmenter le slot de la crépine, de réduire la vitesse de circulation de l'eau à l'entrée de la crépine, et donc d'augmenter le débit de production.

Pour retenir un sable homogène très fin, on peut utiliser une double crépine constituée de deux crépines emboîtées l'une dans l'autre. Ce procédé est cependant déconseillé car il diminue fortement le débit d'exhaure de l'ouvrage. Dans la mesure où l'on connaît l'existence de ce sable fin avant de forer on peut réaliser un forage engros diamètre. De la sorte on peut augmenter la taille du massif filtrant de manière à diminuer le champ de vitesse dans le cylindre extérieur (périmètre du massif) et donc diminuer l'appel du sable vers les crépines. Ce double crépinage a fait ses preuves en Afrique de l'Ouest et a permis de sauver un grand nombre de forages souffrant d'ensablement.(1)

I-6-2 Positionnement des crépines

Les crépines devront être placées face aux plus fortes venues d'eau et, d'une façon générale, sur toute la hauteur de l'aquifère. Leur positionnement se fera donc en fonction de la coupe géologique établie à partir de l'observation des cuttings, de

la vitesse d'avancement et des changements dans la qualité de la boue. Il existe toujours un décalage entre les cuttings observés et la profondeur de l'outil ; ce décalage croît avec la vitesse d'avancement et la profondeur ; il dépend également du débit de la pompe à boue.

L'utilisation de diagraphies gamma ray est souvent nécessaire pour recalibrer la coupe géologique. Les diagraphies gamma ray enregistrent le rayonnement gamma naturel émis par les formations argileuses. Lorsque la foration s'effectue dans des terrains sédimentaires, cette diagraphie permet de positionner les crépines le plus efficacement possible.

La longueur de la zone crépinée sera fonction de l'épaisseur de la zone à capter, du niveau de rabattement, de la nature et de la stratification de la couche aquifère. Les éléments nécessaires servant à positionner les crépines seront déduits des travaux de reconnaissances préliminaires, à savoir :

- diagraphies instantanées, pertes de boue,
- carottage,
- analyse granulométrique des échantillons,
- logs géophysiques (diagraphies).

Il est recommandé de choisir des longueurs de crépines selon les quatre cas suivants qui peuvent se présenter.

— Nappe artésienne en terrain homogène, non stratifié. Dans ce type d'aquifère, on crépinera 80 à 90 % de son épaisseur en s'assurant que le rabattement ne descend pas sous le niveau du toit de cette couche aquifère.

— Nappe artésienne en terrain hétérogène, stratifié. 80 à 90 % des couches les plus perméables doivent être crépinées.

— Nappe libre en terrain homogène. Théoriquement, il est recommandé dans une couche inférieure à 45 mètres de puissance de crépiner au moins le tiers inférieur sans dépasser une hauteur de 50 % au maximum. Dans une couche plus puissante, on peut crépiner 80 % de cet aquifère pour obtenir une capacité spécifique plus importante. En fait, la longueur de crépine à adopter est un compromis entre la crépine la plus longue possible (dont l'avantage est de réduire la vitesse d'entrée de l'eau) et la crépine la plus courte placée à la base de l'aquifère et qui permet un rabattement plus important. Il est recommandé de ne pas rabattre la nappe au-dessous de la crépine.(1)

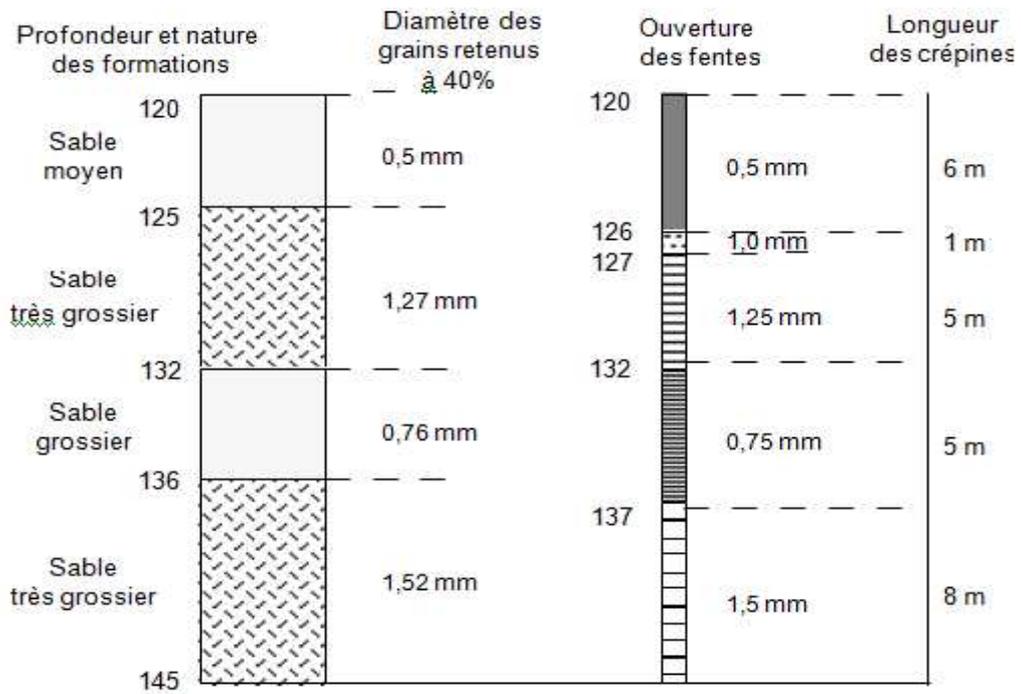
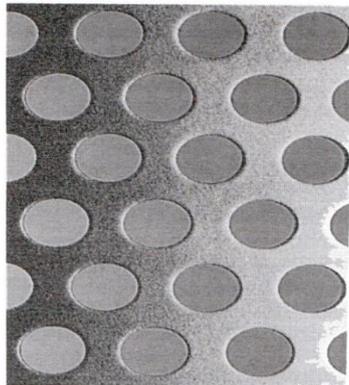
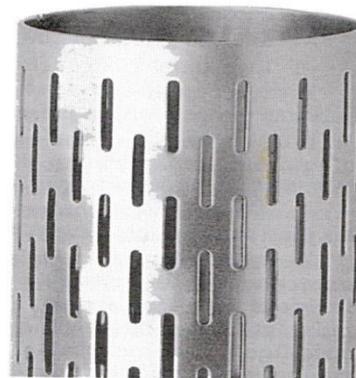


Figure 10 : Choix des fentes des crépines dans une formation hétérogène.



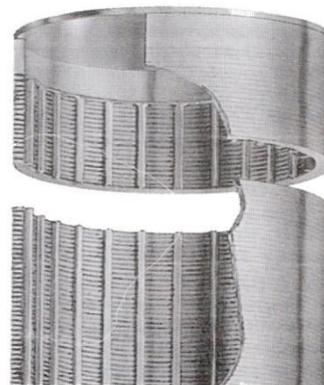
1. Trous ronds



2. Trous oblongs



3. A nervures repoussées



4. Type Johnson

Figure 11 : Différents types de crépines[1]

I-7 Cimentation

Cette méthode consiste à remplir, par un mélange à base de ciment, tout ou partie de la hauteur de l'espace annulaire entre un tubage et les parois du trou. La cimentation est utilisée notamment dans les cas suivants :

- pour colmater une cavité ou des grosses fissures qui engendrent de fortes pertes de boue lors de la foration,
- pour rendre étanche l'espace annulaire et empêcher la pollution par les eaux de surface, des nappes souterraines mises en exploitation,
- pour fixer les colonnes de tubage au terrain et les protéger ainsi contre les attaques corrosives de certaines eaux.

La figure 3-10 indique comment déterminer le volume d'eau et le poids de ciment à utiliser pour obtenir une densité donnée et le volume de coulis correspondant. Notons qu'il existe sur le marché bon nombre de ciments à prise rapide qui peuvent être utilisés de manière à limiter l'immobilisation de l'atelier de forage.

Le choix de la qualité du ciment et l'adjonction d'additifs éventuels doivent être décidés en fonction :

- de la nature du terrain et des eaux rencontrées,
- de la température du terrain (pour les forages très profonds),
- de la vitesse de prise du lait de ciment,
- du volume de ciment à mettre en œuvre,
- de la résistance du lait de ciment aux contaminants éventuellement présents dans le forage,
- de la résistance finale du ciment à l'écrasement après prise à 7 et 28 jours.(1)

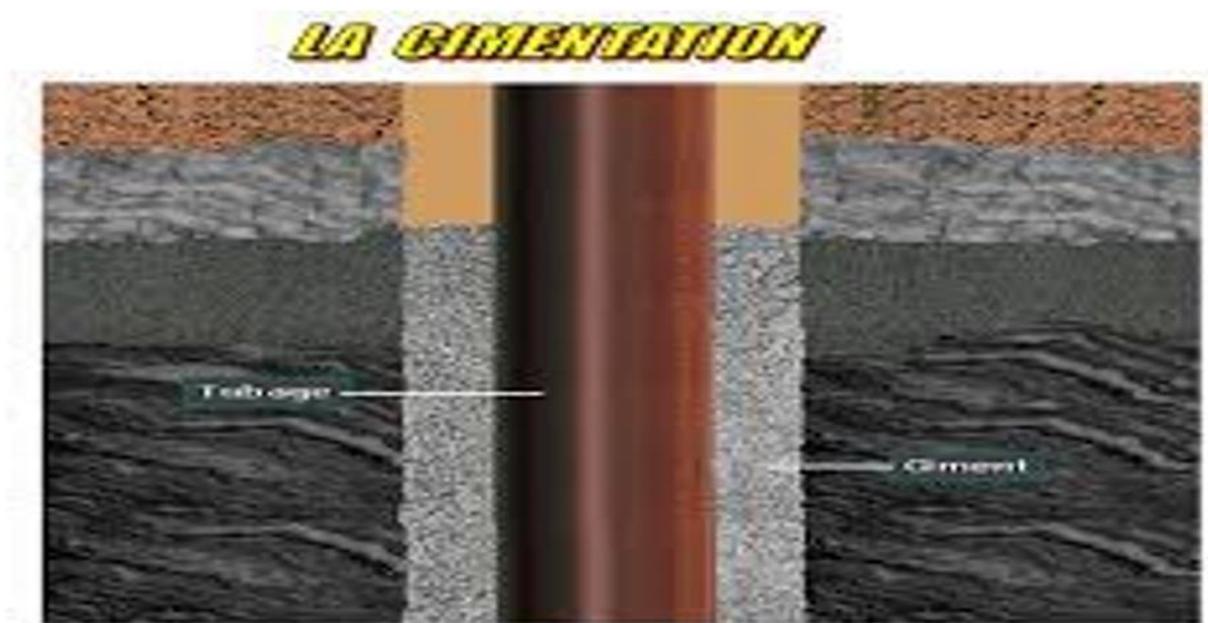


Figure 12 : opération de cimentation d'un forage

I-8 Développement

Comme nous l'avons vu, le développement d'un forage consiste, entre autres, à améliorer la perméabilité de la formation aquifère située autour de la crépine et à stabiliser cette formation. Il faut savoir que la mise en production immédiate d'un ouvrage sans développement aurait des conséquences fâcheuses :

— elle ne permettrait pas d'obtenir le débit optimal pouvant être fourni par l'aquifère ;

— elle entraînerait très certainement d'importantes venues de sable (risques de dommages à la crépine et à la pompe, de colmatage, de tassement du massif de gravier).

Le développement est donc destiné à parfaire le nettoyage du trou, de la crépine et du massif de gravier et à améliorer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère autour de la crépine, dans le but d'augmenter le débit exploitable et de produire une eau propre. La perméabilité du terrain près de la crépine est ainsi améliorée, notamment par élimination dans cette zone du maximum d'éléments fins et par restructuration et stabilisation du massif de gravier.

Les méthodes de développement s'appliquent essentiellement à des formations peu ou pas consolidées, également à des roches de type schistes ou granites anciens, mais très rarement à des calcaires fissurés ou karstiques.(1)

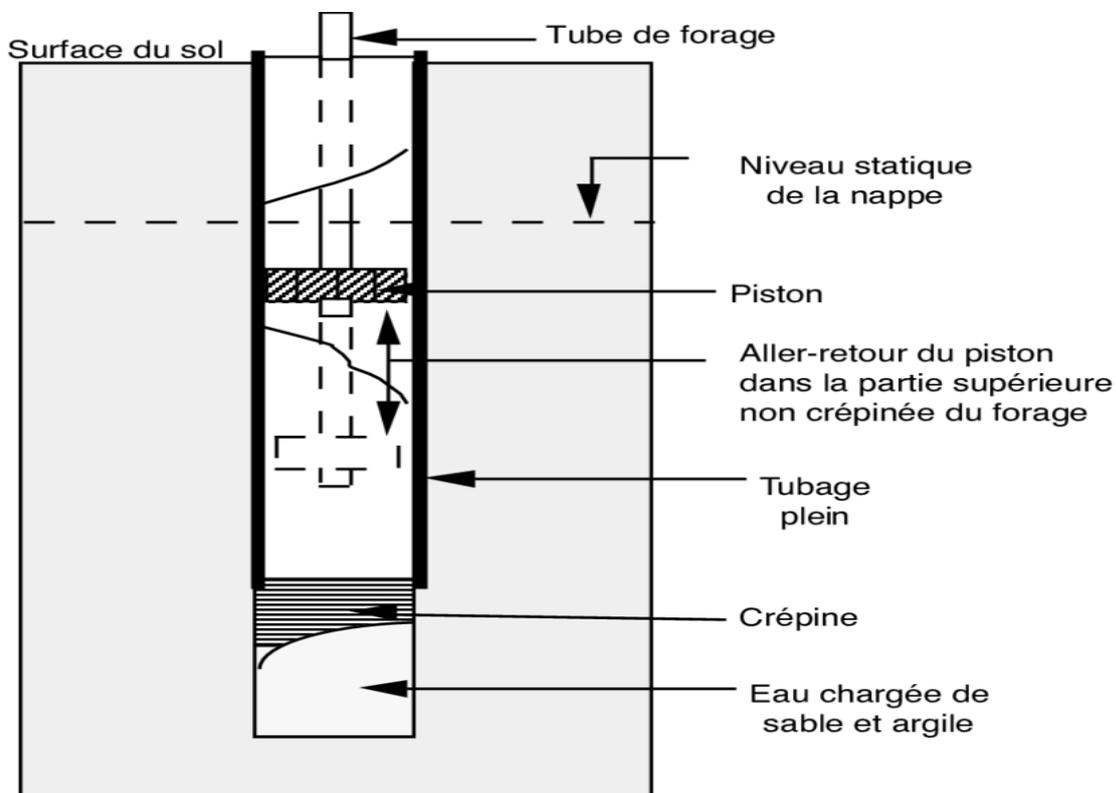


Figure 13 : développement par pistonage.

I-9 Essai de pompage :

L'objectif de cette essai consiste à déterminer les différentes caractéristiques hydrodynamique de la nappe aquifère : T, K, S.

Le réglage optimal d'exploitation d'un forage pour éviter la surexploitation de la nappe, a travers : la détermination du débit spécifique, débit critique.[3][6]

I-11-1 Transmissivité :

La Transmissivité T est le produit de la perméabilité k par l'épaisseur H de la couche aquifère :
 $T = k.H.$ [3] [6]

I-11-2 Facteur d'emmagasinement :

Ce coefficient S est adimensionnel. Il fournit la variation du volume d'eau contenu dans un prisme vertical de section horizontale d'aire unité pour une variation unitaire de la charge hydraulique.[3] [6]

I-11-3 Rayon d'action d'un pompage :

le rayon d'action R(t) à un instant donné est la distance, comptée à partir de l'axe du puits, au-delà de laquelle le rabattement de la surface piézométrique de la nappe est nul. En régime permanent, R(t) est constant, il est alors désigné par R_a . [3] [6]

I-11-4 Coefficient de perméabilité :

Lorsque le coefficient de perméabilité k peut être déduit de l'essai de pompage, c'est un coefficient global ou «en grand», représentatif du comportement hydraulique moyen du volume de terrain intéressé par l'essai.

k est le coefficient de perméabilité horizontale. [3] [6]

I-11-5 Le principe :

L'essai consiste :

— à rabattre, par pompage dans un puits filtrant, la surface piézométrique d'une nappe ;
à mesurer en fonction du temps, pendant et après le pompage, le débit pompé ainsi que le niveau d'eau dans le puits et dans les piézomètres. [3] [6]

Conclusion

La réalisation d'un captage d'eau souterraine est une entreprise délicate qui met en œuvre une suite d'opérations exigeant la maîtrise de nombreuses techniques spécialisées dont dépendent son succès, sa productivité et sa durée de vie. Toute défaillance se traduit inmanquablement par des difficultés d'exploitation.

Il n'est pas rare malheureusement de s'apercevoir, généralement trop tard, que le fluide de forage n'est pas parfaitement adapté aux conditions physico-chimiques ou hydrogéologiques des terrains (cake difficile à éliminer ou problèmes d'éboulement de forage), que la qualité de l'eau d'exhaure n'est pas excellente (équipement inadéquat, massif filtrant et développement insuffisant ou inadapté) ou enfin que le débit n'est pas celui que l'on avait espéré (mauvaise identification de ou des aquifères, mode de captage inadéquat, colmatage ou obstruction des venues d'eau, etc.).

Par conséquent, la réussite d'une telle entreprise est intimement liée au choix judicieux des différentes méthodes qui ont été abordées dans ce chapitre. Dans ce cadre, comme nous le verrons par la suite, le rôle de l'ingénieur chargé du contrôle et du suivi des travaux est primordial. Il doit, en association avec l'entreprise :

- définir les modalités de la foration (diamètre et type de foration),
- choisir le fluide de foration adéquat et l'adapter au fur et à mesure de son évolution au contact des terrains rencontrés,
- résoudre les problèmes spécifiques à l'équipement, à la mise en place du massif filtrant et à la cimentation,
- déterminer le type de développement idéal en fonction des caractéristiques hydrogéologiques, et en définir le principe et la durée.

CHAPITRE II

*Situation de La zone d'étude
Et contexte géologique et
Hydrogéologique*

II-1-2. Géomorphologie du bassin versant de la Mitidja :

La géomorphologie de la Mitidja est variée, on observe les zones basses et plates de la plaine et les reliefs escarpés de l'Atlas, avec une pente douce modelée par des écoulements à lits encaissés. La zone d'étude est à vocation agricole avec une diversité bien distinguée, on y trouve des vignes, des agrumes, les cultures annuelles et saisonnières. Concernant le réseau hydrographique il est surtout caractérisé par des oueds qui prennent naissance dans l'Atlas, avec un sens général d'écoulement (Sud -Nord).[9]

II-1-3. la zone d'étude :

II-1-3-1. Paramètres physiques et morphologiques du bassin versant de l'Oued El Harrach :

Le bassin versant de la région étudiée est située dans la partie nord de l'Algérie. C'est le bassin versant de l'oued el Harrach qui appartient au grand bassin versant côtier et couvre une superficie de 1250 km², se partage en trois parties appartenant l'une à l'Atlas Blidéen (600 Km) l'autre à la plaine de la Mitidja (550 km²) et la troisième au versant du sahel (100 Km²).[7]

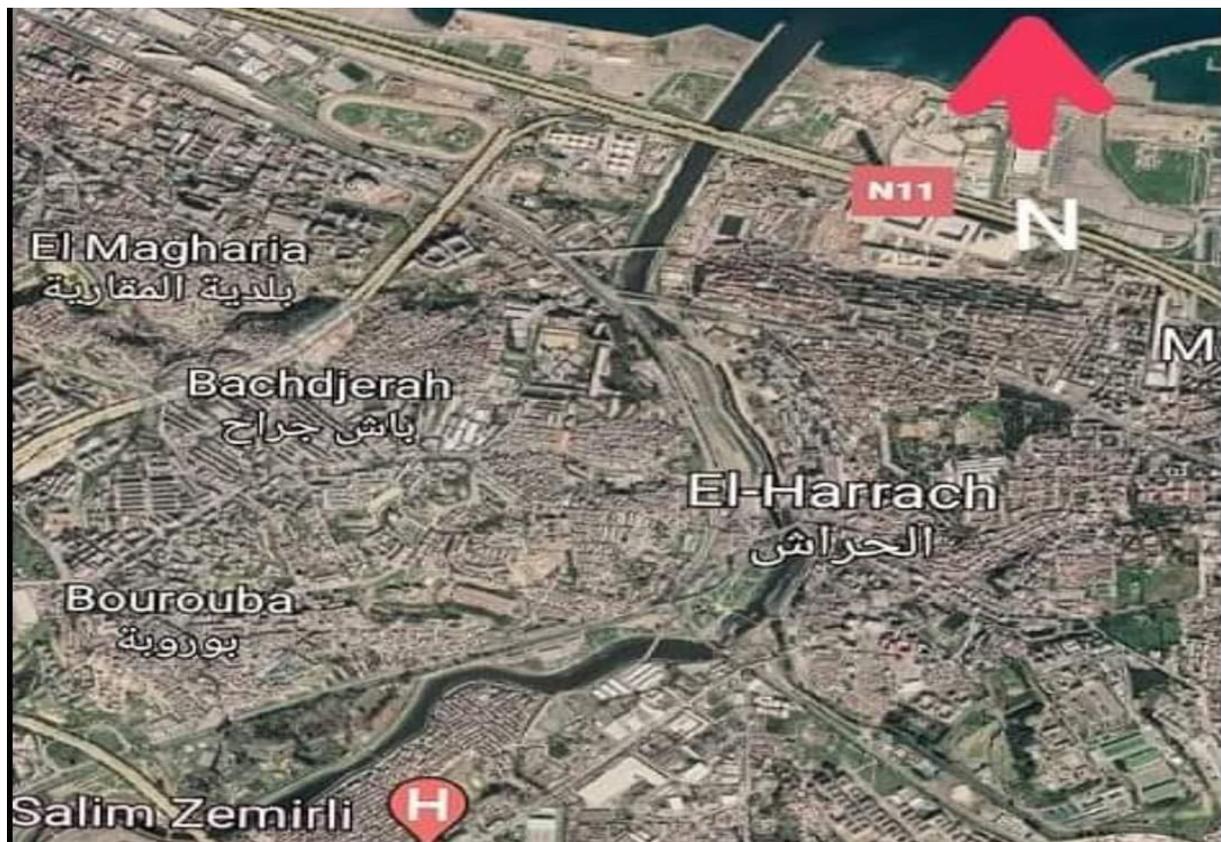


Figure 15 : situation de la zone d'étude

II-1-3-2. Relief :

Le bassin versant s'étend très au Sud et il est divisé topographiquement en trois régions distinctes : En amont, le bassin versant est composé principalement par un massif montagneux, dans sa par Nord-Ouest, il est constitué par les pentes des collines du Sahel, et du pied de l'Atlas tellien jusqu'à mer par la plaine de la Mitidja.

❖ Les points les plus hauts du bassin versant sont :
Ket Tachina située à une altitude de 1478 m et Chéron située à une altitude de 1526 m localisée au Sud-Ouest du bassin versant.[7]

- ❖ Le point le plus bas se trouve à l'embouchure de l'Oued El Harrach sur la mer Méditerranée. Ses principaux affluents sont :
 - L'Oued Djamaa, issu de l'Atlas Blidéen (B. V de 225 Km)
 - L'Oued Baba Ali avec l'Oued Terror, issu de la Mitidja (B. V de 166 Km).
 - L'Oued SMAR, issu de la Mitidja, cours d'eau récepteur des zones industrielles de l'Oued SMAR et El-Harrach Sud (B.V de 117 Km).
 - L'Oued El Kerma, issu du Sahel (B. V de 74 Km).
 - L'Oued Ouachita issu du Sahel, cours d'eau récepteur des communes et quartiers urbains fortement peuplés (Kouba, Barkhane.) à un Kilomètre de l'embouchure de l'Oued El- Harrach (B.V de 22 Km).
 - L'Oued Adda cours d'eau récepteur des quartiers urbains d'El-Harrach et des Eucalyptus.[7]

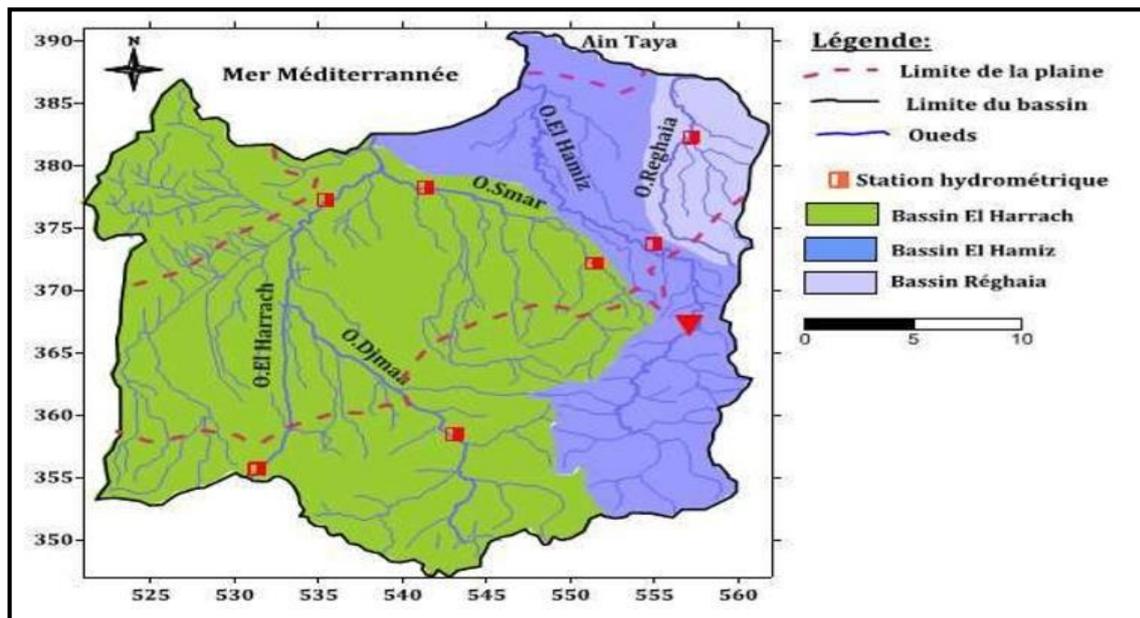


Figure 16 : Les sous bassins versants de la Mitidja Est [8]

II-1-4. Hydro-climatologie :

La plaine de la Mitidja est soumise à un climat régional subhumide littoral caractérisant l'ensemble des plaines côtières. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral, le climat devient de plus en plus continental et l'on enregistre une augmentation sensible des températures.

Pour l'étude des paramètres hydro- climatologiques de la plaine de la Mitidja, on se base sur les enregistrements des différents postes d'observation qui composent le réseau hydro- climatologique de cette plaine (voir carte ci-dessous). [8][6]



Figure 17 : réseau hydro-climatologique. [20]

II-1-4-1. Précipitations :

❖ Précipitations moyennes annuelles :

Les précipitations sont très irrégulières d'une année à l'autre. Leur répartition au cours de l'année n'est pas homogène, elles dépendent de plusieurs facteurs qui sont la latitude et la continentalité. La pluviométrie moyenne annuelle pour la période (2000.2018) est de 752.44 mm ; 656.46mm et 602.35mm respectivement pour les stations Hami, Regalia et Dar el Beida. D'après le tableau 2 et figure 6 ; le mois le plus pluvieux est Novembre pour les stations de Dar El Beida et Regalia, et le mois de décembre pour la station de Hami. Les plus faibles précipitations sont enregistrées au mois de Juillet et Août au niveau des trois stations. [8]

	sept	oct.	nov.	déc	janv	fév.	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annue lle
Amibe	26	58	111	117	110	103	82	75	53	12	1	5	752
Regalia	27	49	119	100	97	85	65	53	49	6	1	6	656
Dar El Beida	25	51	105	94	79	67	57	46	39	28	1	10	602

Tableaux N°1 : précipitation moyennes mensuelles et annuelles (2000 /2018). [8]

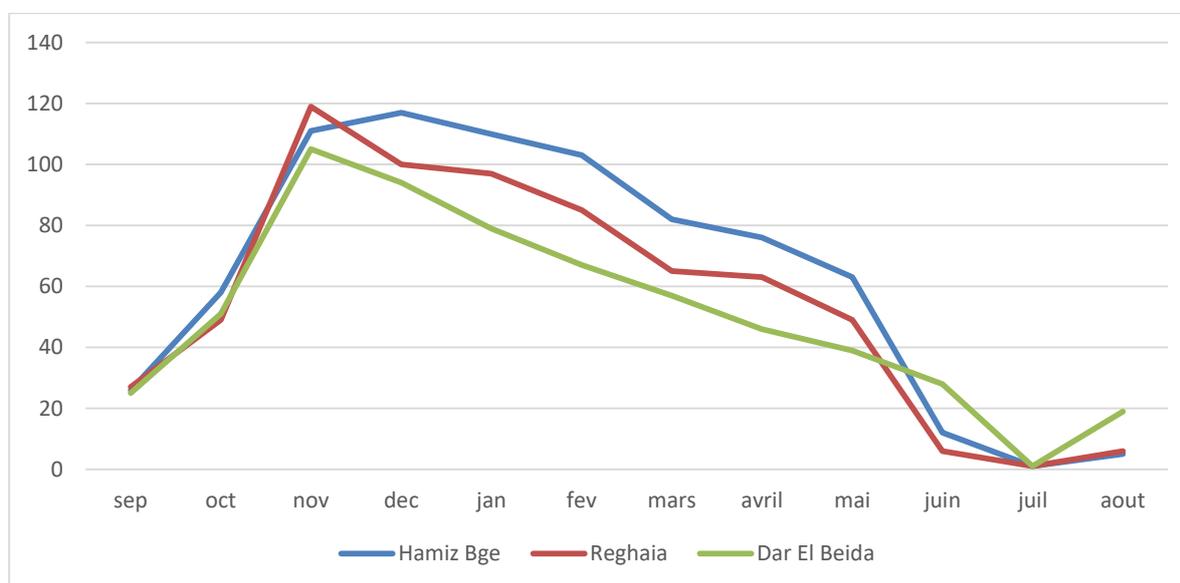


Figure 18 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (2000.2018)[8][21]

II-1-4-2.Température :

Ce paramètre est un facteur très important dans l'évaluation du déficit d'écoulement, qui entre dans l'estimation du bilan hydrologique. Dans le cas de ce paramètre, les seules données obtenues dans le cadre de mon mémoire sont celles relevées au niveau de la station de Dar El-Beida. Les températures ont été enregistrées entre 2000 et 2018.[8]

	sept	oct	nov	déc.	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juil.	aout
T°C Min	18	15	10	7	6	6	8	10	13	16	20	20
T°C Max	30	27	21	18	17	17	20	22	25	29	32	33
T°C Moya	24	21	16	13	11	12	14	16	19	23	26	27

TableauN°2 : Variation de la température de Dar El Beida (2000/2018)[8]

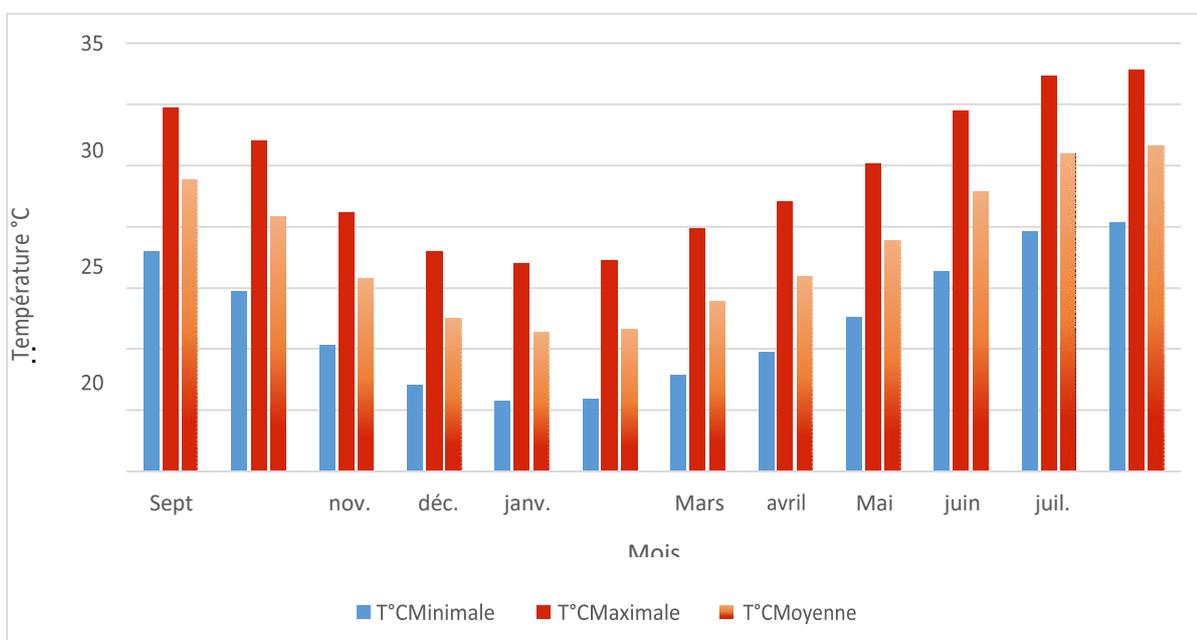


Figure 19 : Histogramme des Variations de la température moyenne mensuelle Dar El Beida [8][21]

La température moyenne annuelle pour cette période est de 18.3°C avec une température moyenne la plus basse enregistrée au mois de janvier est de 11.3°C, la température moyenne la plus élevée est de 26.5°C enregistrée en aout. La synthèse climatique réalisée à partir du diagramme ombrothermique, nous montrons que la période sèche se situe entre juin et septembre. Le reste de l'année est une période plus ou moins humide.[8]

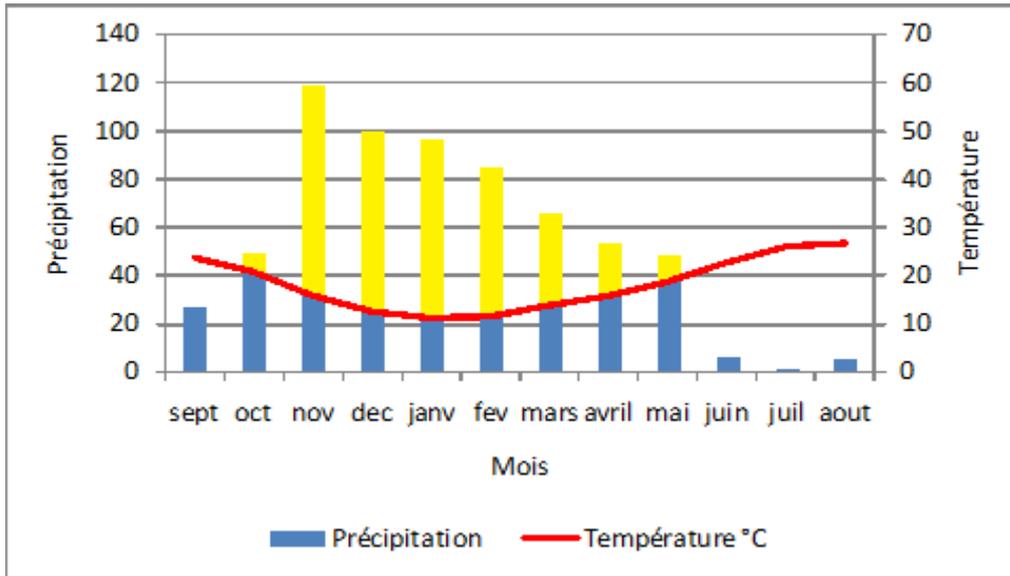


Figure 20 : Diagramme ombrothermique interannuel 2000/2018.[8][22]

II-2.Contexte géologique et hydrogéologique :

II-2-1. contexte Géologique :

La structure de la plaine de la Mitidja est celle d'un synclinal remblayé par des alluvions. Les dépôts du Miocène, du Pliocène et du Quaternaire ont réagi comme une couverture flexible durant l'affaissement du bassin entre les unités ascendantes de l'Atlas et du Sahel.[18]

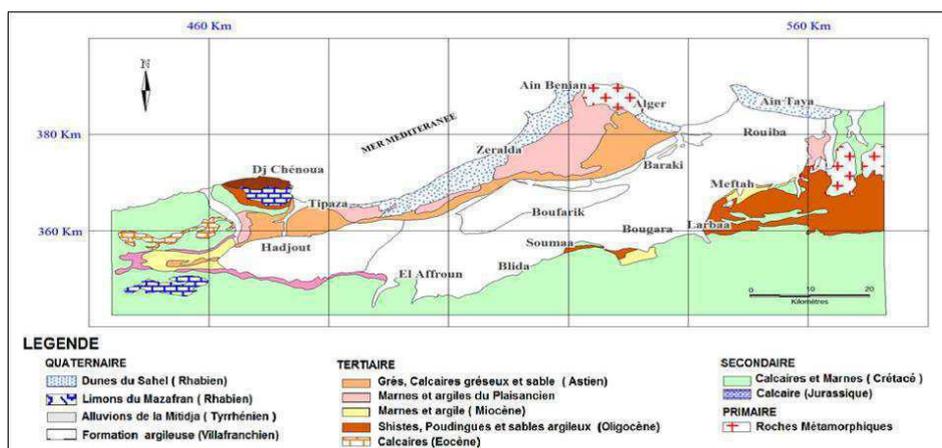


Figure 21 : Carte géologique de la plaine de la Mitidja. [11]

Le remplissage de la plaine de la Mitidja depuis le Miocène se caractérise par une grande hétérogénéité verticale et latérale des dépôts sédimentaire sous l'action conjuguée de facteurs tectonique (jeu des failles et phénomène de subsidence) et climatique

Le bassin de la Mitidja s'est défini en tant qu'unité structurale à la fin du Miocène après que ce soient produit les principaux mouvements de la période de l'orogénèse alpine. Les phénomènes d'affaissement et de sédimentation se poursuivent pendant le Pléistocène en modifiant la forme et la distribution des dépôts.

Ces mouvements structuraux ainsi que d'importantes variations du niveau de la mer expliquent la succession des formations stratigraphiques rencontrées au droit de la plaine : au Miocène, l'affaissement du bassin s'accompagne de l'apparition de roches volcaniques en périphérie, notamment sur la bordure sud. Le Pliocène correspond à une longue période de sédimentation avec une alternance de phases de dépôts et de phases d'érosion en relation avec les fluctuations du niveau de la mer. Il se caractérise notamment par :

- Dépôt de couches épaisses de marnes bleues au Plaisancien (en mer profonde). Il constitue le substratum;
- Dépôt de marnes sableuses et de calcaires gréseux à l'Astien (en mer peu profonde) ;
- Dépôt de marnes et cailloutis au Villefranchien ;
- Dépôt de sédiments argilo. gréseux, glauconieux et coquillers au Calabrien .[18]

La succession lithologique rencontrée dans la plaine de la Mitidja se présente comme suit :[14]

II-2-1-1.Le Quaternaire :

❖ Les dépôts récents :

Ces dépôts recouvrent une partie relativement peu importante du remplissage de la plaine de la Mitidja. Ils comprennent les formations suivantes : [13]

- Dépôts de sables dunaires.
- Dépôts de lits des oueds actuels.
- Dépôts de piémont de l'atlas.

❖ Les formations du Mazagan :

Cette formation comprend :

La formation dunaire constituée de sables dunaires, graviers et grés plus au moins consolidé, a une épaisseur qui varie de 20 à 40 m. [12]

La formation de Mazagran représente les Alluvions récentes de la Mitidja. Les dépôts sont limoneux et argilo-limoneux et contiennent quelque fois des graviers, à une épaisseur d'environ 10m. [13]

❖ **Formation de la Mitidja(LeTyrrhénien) :**

La formation de la Mitidja est composée principalement d'alluvions grossières (graviers, galets, limons et argiles. La puissance des alluvions varie entre 100 et 200 m au centre et devenant de plus en plus faible en allant vers les bordures et la baie d'Alger. [13]

❖ **Formation d'El Harrach(Villafranchien) :**

La formation d'El-Harrach est représentée par une séquence relativement uniforme d'argiles plastiques jaunes ou grises, par endroits légèrement caillouteuse et contenant des lentilles de graviers de 2 à 6 m d'épaisseur.

A l'Est de la Mitidja, l'érosion a fait disparaître la plupart des matériaux, d'où l'absence d'argile autour de Rouïba. A l'exception des affleurements d'El Harrach, cette formation est masquée par des dépôts alluviaux plus récents.

Quelquefois la formation d'El-Harrach, en raison de la présence des graviers a été confondue avec la formation alluviale sus-jacente qui est essentiellement caillouteuses. Donc il est très difficile d'obtenir des informations sur les variations à l'intérieur même des dépôts de cette formation. L'épaisseur moyenne de la formation au centre du bassin est estimée à 100 m est diminué progressivement en allant vers le sud.[13]

II-2-1-2. Le Tertiaire :

❖ **Astien :**

Il est constitué d'une grande variété de lithologies associées à une sédimentation marine mois profonde. Les plus couramment rencontrées sont les sables, les calcaires sableux, les grés calcaires molassiques et les argiles sableuses jaunes .On remarque toutefois la prédominance des faciès sableux avec des grés calcaires bien cimentés.

Les zones ou cette formation affleurent sont le Sahel d'Alger et la périphérie de Meftah. Cette série présente une épaisseur moyenne entre 100 et 130 m, est se

trouve à des profondeurs allant de 250 à 300 m. On la rencontre particulièrement à l'est de Rouïba à de faibles profondeurs.[10][21]

❖ **Plais ancien :**

Le Plaisancien représente le substratum immédiat de l'aquifère. Il est composé de marnes grises et bleues, d'origine marine et très fossilifère. L'épaisseur très variable, est en moyenne de 200m. Le toit du Plaisancien varie selon les secteurs considérés de la région en raison de la disparition de certaines formations au bénéfice d'autres ensembles lithologiques sous-jacents. De ce fait, la base des marnes plaisanciers est située à une cote de 100 m à Regalia, à 200m à Rouïba. Cette base s'enfonce à l'Ouest en raison de la présence des dépôts argileux d'El Harrach qui viennent s'intercaler entre la formation de l'Astien et celle de la Mitidja. La cote du toit de Plaisancien augmente en s'éloignant vers l'Ouest, ou elle est de l'ordre de -500m entre Baraki et El Harrach et atteint un maximum de -543m à Oued El Alleu.[10]

Le Miocène :

Il est représenté par des affleurements très localisés de marnes (Miocène supérieur), dégradés, de poudingue et de sables argileux (Miocène inférieur) aux environs de Meftah, près de KhemisElKhechna, au Sud-Ouest de Bougera et au Nord à Bordj El Bahri.[10]

❖ **L'Oligocène :**

Composé de schistes rouges, de poudingues, sables, argiles, et nummulites (Glangeaud, 1932), l'Oligocène est largement réparti dans l'Atlas bien au sud de Meftah et Thémis El Kenan.

❖ **Le Secondaire :**

➤ **Le Crétacé supérieur :**

Les marnes à nodules calcaire jaunes à incérâmes du sénonien et les marnes schistoïdes forment principalement cet étage.

➤ **Le Crétacé moyen :**

Le Crétacé moyen est constitué par des calcaires marneux à passées régulières de calcaires compacts du Cénomaniens.[10]

➤ **Le Crétacé Inférieur :**

Le Crétacé inférieur est constitué par de calcaires et des marnes argileuses.

❖ **Le Primaire :**

➤ **Les roches sédimentaires :**

Elles sont composées de grès micacés rouges, de poudingues galets de quartz blanc dans une matrice argileuses parfois marneuses. L’affleurement est très réduit est localisé dans l’atlas au Sud de Meftah et Thémis El Kenan. [10]

➤ **Les roches métamorphiques :**

Ce sont des roches du socle cristallin affleurant localement sur des surfaces réduites au Nord et à l’Est du bassin de la Mitidja (Glangeaud 1932, bannie and Atkins 1983). Elles sont constituées de schistes, micaschistes et gneiss. [10]

➤ **Les roches éruptives :**

Apparues après une série d’effondrements et de distension, elles sont composées de dacites et d’andésites. On les rencontre très localement dans la région de chemise el chechia (Glangeaud and Aymé, 1935) et au Nord Est dans le Sahel.[10]

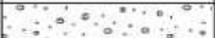
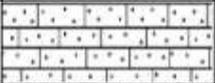
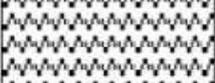
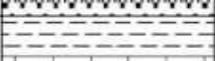
Système	Etage	Lithologie	Description	Epaisseur	Mètre	
QUATERNAIRE	Holocène	Actuel/Récents	Alluvions des oueds		< 15	
	Pléistocène	Flandrien	Limons et argiles limoneuses		30	
			Sables consolidés		30	
		Soltanien / Tensifrien	Alternance de graviers et d’argiles		100 -200	
		Calabrien / Villafranchien	Argiles, et cailloutis		30	
TERTIAIRE	Pliocène	Astien	Grès, sables, calcaires, Argiles sableuses		130	
		Plaisancien	Marnes et Argiles bleues		> 200	
	Miocène	Vindobonien	Argiles et marnes à lentilles de calcaires		50	
		Burdigalien	Argiles et marnes à lentilles de grès		?	

Figure 22 : Colonne litho-stratigraphique de la Mitidja [17]

❖ **Evolution Paléogéographique et Tectonique :**

L’histoire géologique de la Mitidja remonte à l’Eocène, tandis que son individualisation en unités structurales s’esquisse dès la fin de l’Astien, voir (Figure N°22)

A partir de l’Astien, les phénomènes de remblaiement, d’érosion et de plissement commencent à

s'accentuer.

Ces phénomènes se poursuivent jusqu'à la fin du Pléistocène, en modifiant la distribution spatiotemporelle des sédiments précédemment déposés.

Plusieurs événements géologiques à effet surajouté ont cependant contribué à l'évolution paléogéographique et structurale de la Mitidja, à savoir. [18]

➤ **L'Eocène :**

Jusqu'à la fin de l'Oligocène, les formations d'écaillés et plis complexes. La phase pélagonienne de la fin du Lutétien à la régression marine pour sa part provoque le soulèvement de l'atlas qui connaît des lors une évolution continentale.[18]

➤ **Le cycle Miocène :**

Au Burdigalien la mer occupe toute la Mitidja. A cette époque ; les processus de sédimentation et de plissement s'accroissent, et le bassin commence à s'effondrer. Cette phase de plissement se poursuit au Cartésien, par des déformations cassantes affectant les zones de flexures.

A la fin de Miocène moyen (Vindolobnien) la mer se retire de la totalité de la Mitidja. Cette régression générale est accompagnée par une phase tectonique en distension favorisant l'émission de roches éruptives. [18]

➤ **Le Pliocène :**

Le cycle débute par une transgression marine traduisant une sédimentation marneuse et se termine par une régression avec émergence.

La Plaisancien correspond à une période de calme avec une sédimentation en mer profonde. A cette époque, la mer s'avance vers le Sud sans atteindre le pied de l'Atlas qui est en surrection continue. [18]

Cette transgression traduit une sédimentation marneuse discordante sur la formation du paléocène.

L'épisode marin s'achève par une phase de sédimentation détritique (grès calcaire sable glauconieux), de faible profondeur qui manille k début de l'Astien.[18]

A la fin de l'Astien, un plissement surélève l'Atlas Blidéen. Le synclinal Mitadiné s'enfoncé tout en provoquant l'apparition du bombement anticlinal du sahel.

L'Atlas est soumis à une érosion dont les produits viennent de déposer dans le bassin subsidient.

C'est le début du remblaiement Villafranchien.

Pendant le Villafranchien, le bassin subsidient se remplit par des marnes et des cailloutis et s'approfondit. A ces mouvements d'enfoncement s'ajoutent les compressions latérales, qui accentuent les reliefs et la subsidence. [18]

La sédimentation Villafranchienne se termine par une baisse continue du niveau de la mer jusqu'à la cote 60 m. A ce moment, les phénomènes d'érosion s'amorcent et la subsidence s'accroît.

A la fin Pléistocène, les dépôts du Villafranchien sont en grande partie érodés, mettant à nu l'Astien dans la Mitidja Orientale.

Dès lors les oueds creusent profondément leurs lits et les cônes de déjection s'avancent vers la plaine.[18]

Enfin la transgression flandrienne donne à la Mitidja son aspect actuel avec un fond désymétrique, des cônes de déjections, des oueds faiblement encaissés ou des zones basses occupées par des alluvions limoneuses. [18][19]

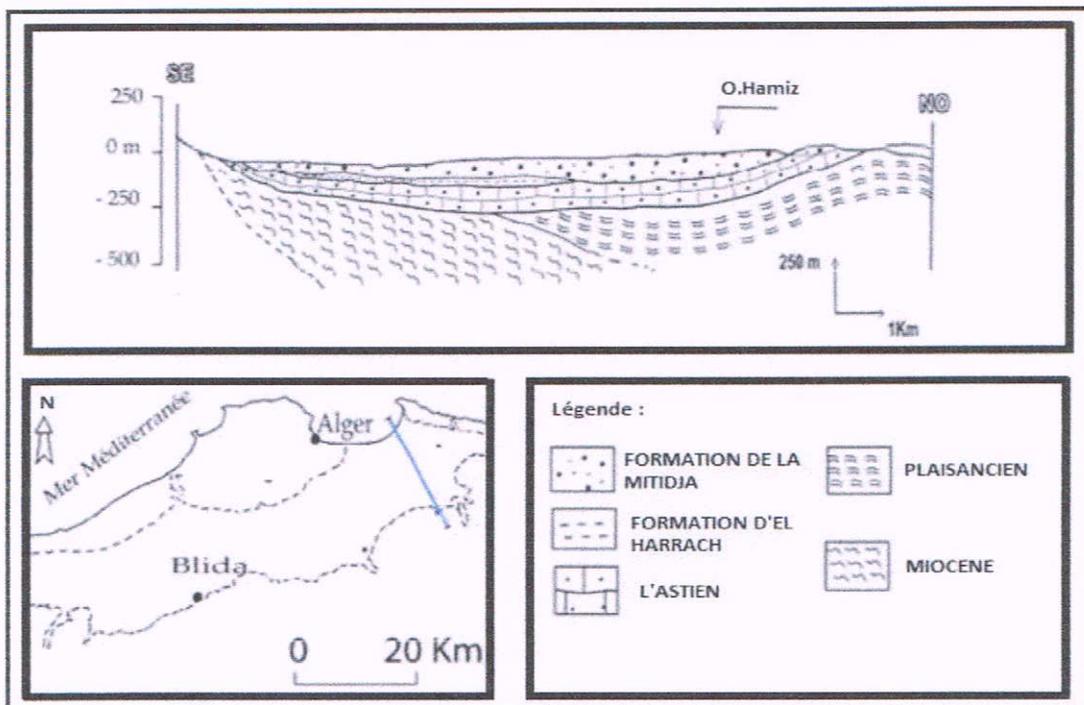


Figure.23 : Coupe géologique de la Mitidja Est[8]

II-2-2.Contexte hydrogéologique :

La litho stratigraphie de la Mitidja permet de distinguer quatre (04) ensembles lithologiques du bas vers le haut:

-Une série marneuse (Miocènes .Plaisancien) formant le substratum de l'Astien considéré comme imperméable.

-Un ensemble calcaire.sablo.gréseux correspondant à l'Astien.

-Un ensemble argileux contenant par endroit du sable et du gravier correspondant à la formation d'El Harrach.

-Un ensemble gravel.sableux dit « Alluvions de la Mitidja ».

La coupe géologique ci dessous montre deux aquifères: celui de l'Astien et celui de la Mitidja séparés par la formation d'El Harrach, sauf dans la partie nord de la coupe où ils sont en contact direct. Dans la plaine de la Mitidja Est on distingue deux réservoirs aquifères :

.Les alluvions du quaternaire (formation de la Mitidja) ;

.Les formations plus anciennes de l'Astien.

II-2-2-1.L'aquifère de l'Astien:

Cet aquifère est constitué par des grès appelés grès Astien et qui reposent sur les marnes bleues du Plaisancien. Ils affleurent largement dans le Sahel notamment sur les collines comprises entre Brouta, Barkhane, El Biart en passant par Birman reis. Les grès plongent ensuite vers le sud- est sous les alluvions du Quaternaire.

L'aquifère Astien est très peu sollicité, sauf dans les zones où les alluvions du Quaternaire sont absentes, ou représentées uniquement par d'importantes couches argileuses.[15]

La profondeur des forages captant l'Astien est comprise en 200 et 300 m, et les débits sont peu importants (entre 15 l/s à 20 l/s en moyenne).

Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 100 m, mais à l'est notamment vers Regalia et Fergana, il n'est que de 40 mètres. D'ailleurs, dans ces régions la nappe alluviale est inexistante et l'Astien qui a tendance à se redresser constitue la seule nappe en exploitation.[15]

La nappe de l'Astien se loge dans des formations de grés fins consolidés, elle est généralement captive mais non artésienne. Elle devient libre au niveau de zones d'affleurement situées dans le Sahel.

Au cours des dernières décennies très peu de forages ont été réalisés dans la partie où la nappe Est captive (forage profond). [15]

II-2-2-1-1. L'alimentation de l'aquifère :

L'alimentation de Cette dernière se fait principalement par l'infiltration des pluies dans la région du Sahel et les contreforts des montagnes de l'Atlas, d'où elles émergent. Il s'alimente également à partir d'aquifères alluviaux par drainage grâce à la formation d'EL HARRACH (présence de chemins de sable et de gravier). [19]

II-2-2-1-2. Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère :

L'aquifère est sous charge sous les argiles jaunes semi-perméables de' El Harrach, sauf pour la partie Est où il est en contact direct avec l'aquifère de la Mitidja.

Les propriétés hydrodynamiques de l'astien ne sont pas mal connues ; Cela est dû au manque de données.

Selon les études précédentes, les estimations de la transmissivité variaient de $1 \cdot 10^{-3}$ à $2.2 \cdot 10^{-3}$ m/s. [19]

II-2-2-2.L'aquifère des alluvions du quaternaire :

L'aquifère des alluvions Quaternaire de la Mitidja occupe la totalité de la plaine. Il se loge dans les formations du quaternaire (gravier, sable, galets et des argiles). Il repose principalement sur les marnes d'El-Harrach.

L'aquifère a pour limite supérieur la surface du sol et inférieure la formation d'El-Harrach. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 100 à 130m

Dans la partie orientale de la plaine, Hami et Rouïba l'aquifère se trouve en contact direct avec l'Astien. L'absence du substratum dans cette partie de la plaine est due à l'activité érosive qui a eu lieu au cours du pléistocène.

Dans la partie occidentale : bas-Mazagran et Lac Alloua, l'aquifère se continue au-dessous de la formation argilo limoneuse. Cette formation de très faible perméabilité, rend l'aquifère captif dans cette partie de la plaine. [15]

II-2-2-2-1.Alimentation de l'aquifère :

L'aquifère alluvial est alimenté essentiellement par :

- L'infiltration des précipitations.
- L'infiltration à travers des cours d'eau.
- Les écoulements souterrains de l'Astien vers la nappe alluviale à travers la formation d'EL HARRACH le long du sahel.[19]

II-2-2-2. Les exutoires de l'aquifère :

Ces derniers sont plus importants comparativement à l'aquifère astien ils sont assurés par :

- Le drainage des oueds dans leur cours aval.
- Les fuites souterraines vers la mer (partie Est de la plaine).

La quasi - totalité des prélèvements en eau souterraine provient de l'aquifère de la Mitidja ou plus de 4000 puits et forages assurent l'alimentation en eau potable, industrielle et l'irrigation de toute la région. [19]

II-2-2-3. Piézométrie :

L'observation de la carte piézométrique permet d'analyser le comportement hydrodynamique de la nappe alluviale de la Mitidja et montre un écoulement des eaux de la nappe à partir des massifs de l'Atlas Blidéen au Sud vers la mer méditerranéenne au Nord. La pente générale de la nappe est de l'ordre de 0,1% dans la plaine et augmente en allant vers la bordure sud (piémont de l'Atlas Blidéen), les gradients hydrauliques sont généralement d'orientation Sud-Nord. Les courbes iso pièzes, parallèles à l'Atlas en amont, s'incurvent vers l'aval pour mettre en évidence la convergence des écoulements vers les champs de captage (exutoire artificiel) [12].

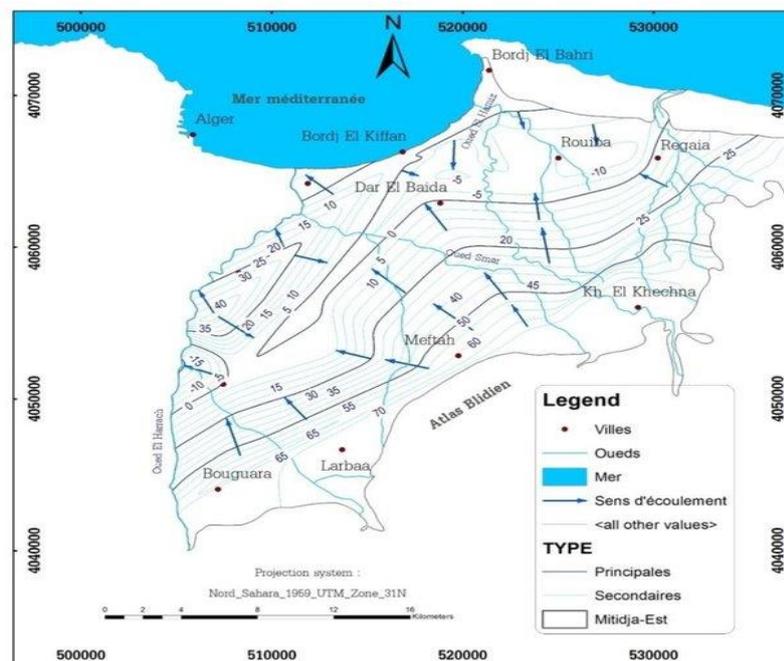


Figure 24 : carte piézométrique de Mitidja Est [20]

Conclusion :

Un aperçu de l'état de la zone d'étude et du contexte géologique et hydrogéologique existant

Dans le cadre de ce chapitre, nous concluons ce qui suit :

- Caractéristique géomorphologique ;
- Climatologique ;
- Le contexte Géologique :
 - _ Le Quaternaire.
 - _ Le Tertiaire.
- Le contexte Hydrogéologique :
 - _ L'aquifère de l'Astien.
 - _ L'aquifère des alluvions du quaternaire.

Chapitre III

*Les travaux et opérations du
forage F1 (prise d'eau
d'ELHARRACHE)*

Introduction :

Vu la situation pluviométrique des dernières années (pluie faible et irrégulière) et le stress hydrique que vit l'ensemble du pays, il a été décidé de lancer un programme de soutien pour l'AEP d'Alger en prospectant la nappe profonde de la Mitidja (nappe de l'Astien).

La réalisation du forage F1 de la station d'El-Harrach entre dans ce cadre nous décrivons dans les paragraphes suivants, toutes les opérations de forage F1 (prise d'eau d'ELHARRACH) que nous avons suivies sur le terrain.

III. 1. la localisation :

Notre forage se trouve dans la commune d'El-Harrach (l'est de la Mitidja) dans une longitude de $3^{\circ}6'46.6''E$ et de latitude de $36^{\circ}42'26.7''N$; leur altitude est de 35m au-dessus du niveau de la mer.

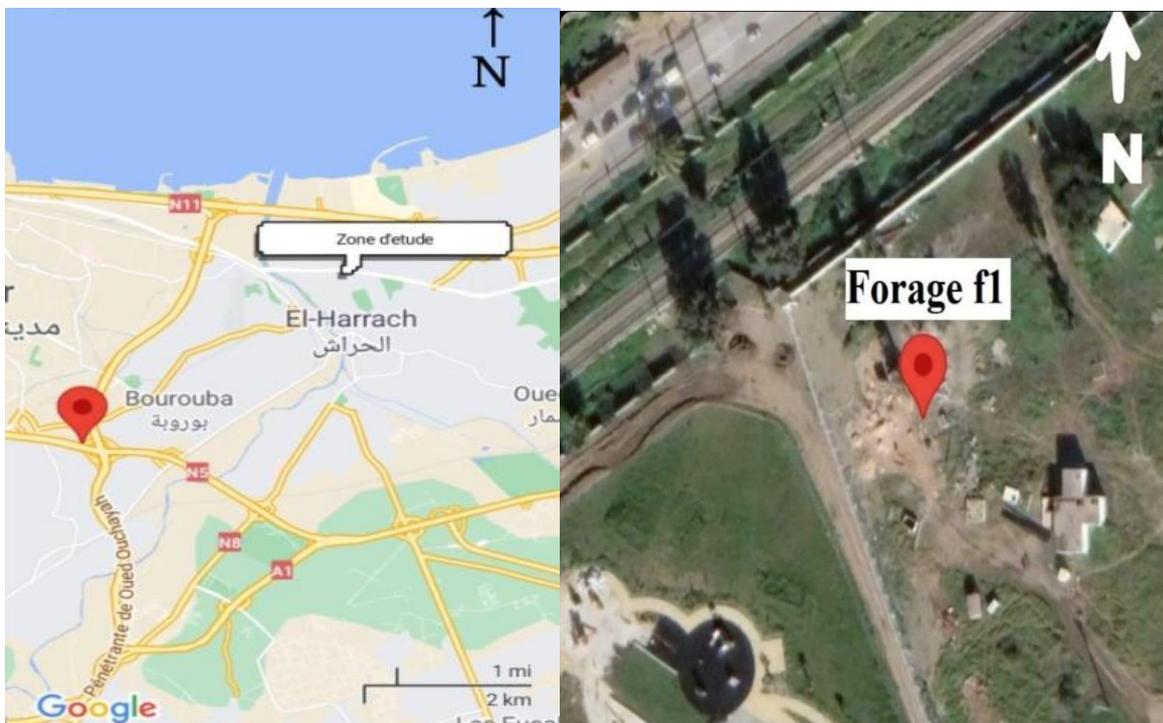


Figure 25 : situation de la zone d'étude

III .2. Déroulement des travaux de foration :

L'entreprise a démarré les travaux le 1/11/2020, l'a amené et l'installation sur chantier de tous les équipements et matériels nécessaires à la réalisation des travaux, y compris les groupes électrogènes de chantier, ainsi que le repli et la remise en état initial après les travaux.

III .2.1_Logistique du chantier :

III. 2.1.1 Les moyens humains :

Les différents intervenants sur le chantier sont : Chef de chantier, Chef de poste, Sondeur, Accrocheur, Ouvrier de plancher, Mécanicien, Chauffeur, Cuisinier Les moyens matériels :

III. 2.1.2 Les différents équipements utilisés :

III. 2.1.2.1. Les équipements humains :

Les chaliers, sanitaires, salle de soin, cuisine,...etc.

III. 2.1.2 2.Les équipements des travaux :

La foreuse, la pompe a boue, les accessoires (tiges, masses tiges outils, clés à chaines, porte outil, raccord etc.), groupe électrogène et chargeur de batterie, compresseur avec l'équipement de test (tube d'eau et tube d'air, flexible et vanne).

III. 2.1.2 Stocks des matériaux :

Les différents matériaux utilisés dans les différentes opérations de réalisation des travaux Bentonite, Ciment, Gravier, Eau.

III. 2.1.3 Organisation du chantier :

Les précautions à prendre doivent conduire à prévoir :

- Un périmètre de sécurité autour du chantier.
- Un terrain aplani pour faciliter les travaux.
- Un accès facile pour les véhicules (le transport des machines et des matériaux).
- L'installation des équipements humains.
- L'emplacement et le creusage des fosses à boues.
- L'installation des machines et des mâtereaux (foreuse, compresseur, les unités de pompage, les tiges et louti sur un plan horizontal.)



Figure 26 : la foreuse

La foreuse est une machine mobile sur véhicule motorisé utilisée pour des forages leur rôle est de faire un trou dans le sol pour récupérer l'eau potable de la nappe phréatique ; elle a une perceuse, et un outil qui sert à percer.



Figure 27 : La pompe a boue

Le rôle de la pompe à boue est de circule la boue dans le puits.et l'empêcher de s'installer pendant le forage, un autre rôle important est de déblayer le puits.



Figure 28 : les tiges et masses tiges



Figure 29 : les différents outils utilisés

L'outil est monté au bout d'une ligne de sonde (tiges et masses-tiges creuses), est animé d'un mouvement de rotation de vitesse variable et d'un mouvement de translation verticale accompagné d'une pression verticale



Figure 30 : Table de rotation

En cours de forage, la table de rotation transmet le mouvement de rotation à la garniture de forage, par l'intermédiaire de fourrures et de la tige d'entraînement et en cours de manœuvre, supporte le poids de la garniture de forage.

III .3. Caractéristique géométrique des bassins :

Creusement de 02 bassins pour la boue de forage (l'une est utilisée pour la sédimentation, l'autre pour la circulation). Ces deux bassins sont reliés à la trappe d'alimentation par une conduite.

- Calcule le volume du bassin :

On a la longueur du bassin $l= 3\text{m}$, leur largeur $L= 2\text{m}$, et sa hauteur $H=1\text{m}$

Donc : le volume du bassin est de $V=L \times l \times H = 1 \times 2 \times 3$

$$V = 6 \text{ m}^3$$



Figure 31 : les bassins de boues

- **Le premier bassin** : bassin de décantation est prévu pour recevoir la boue évacuée par la machine lors de la foration pour permettre la décantation de la boue Son volume est de 6m^3 .

- **Le second bassin** : est un bassin de pompage est prévu pour recevoir la boue décantée pour être pomper dans la machine (injectée dans le train de tige). Son volume est de 6 m^3 .



Figure 32 : préparation de la boue (bentonite)



Figure 33 : la boue

III .4. les opérations de forage :

III .4.1 FORAGE DE RECONNAISSANCE :

Opération 1 : Mise en place d'un tube guide :

Le début de la réalisation du forage commencera par le creusement en diamètre 26'' pour une profondeur de 10 m et on installe un tube guide de 24 '' en TNRS avec cimentation parois /tube guide, une hauteur de 0.80m au-dessus du niveau naturel du terrain.

Le forage est exécuté après 24 heures de cimentation, avec des aguets accélérateurs de prise.



Figure 34 : tube guide

Opération 2 : Réalisation du forage de reconnaissance :

La réalisation du forage de reconnaissance a été faite avec le diamètre de 12'' jusqu'à une profondeur de 250 m.

Durant cette opération de reconnaissance des échantillons de sol (cutings) ont été prélevés tous les 1 m.



Figure 35 : examen des cutings



Figure 36 : les cutings

La lithologie :

L'examen de ces cuttings ont permis d'établir la nature lithologique du sous-sol de forage (figure 37)

LITHOLOGIE

De	à	Libellé
0.00	30.00	Gravier
30.00	42.00	Argile
42.00	50.00	Gravier
50.00	60.00	Argile
60.00	80.00	Alluvion
80.00	86.00	Argile
86.00	96.00	Alluvion
96.00	114.00	Gravier
114.00	120.00	Argile
120.00	144.00	Gravier
144.00	150.00	Sable
150.00	162.00	Argile
162.00	180.00	Sable
180.00	186.00	Argile
186.00	204.00	Calcaire
204.00	211.00	Argile
211.00	223.00	Calcaire
223.00	241.00	Gravier argileux
241.00	250.00	Argile

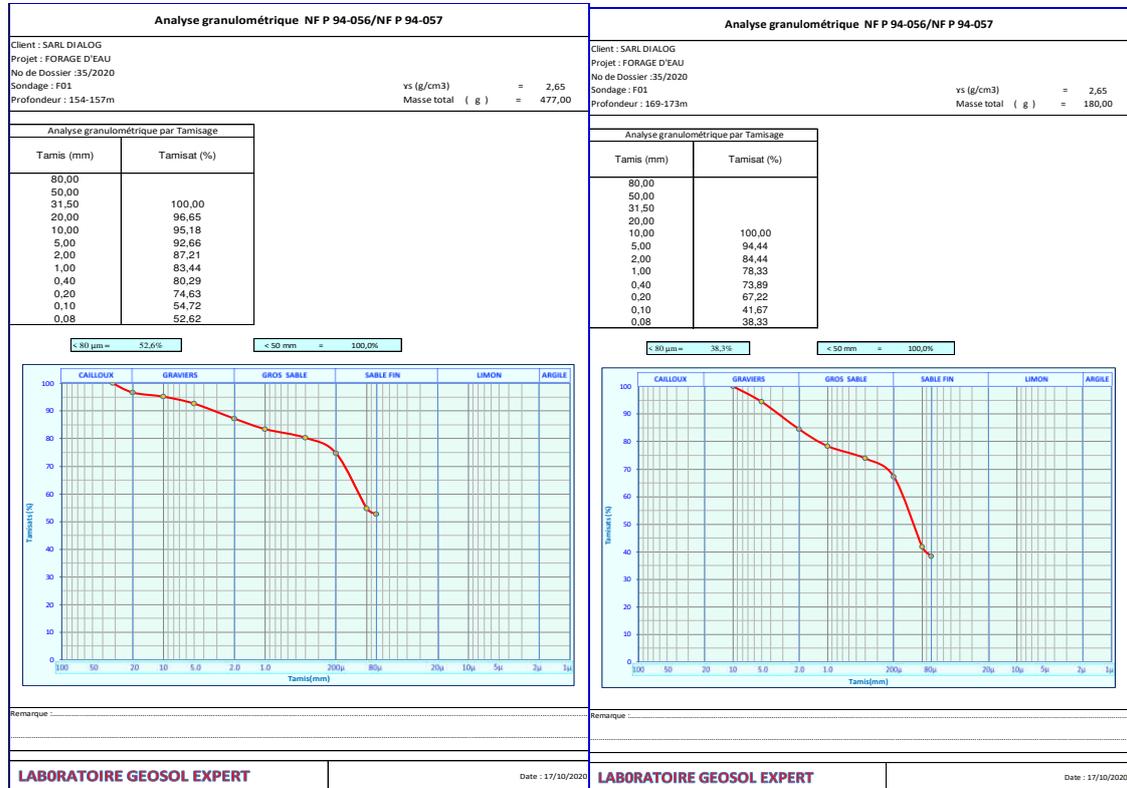
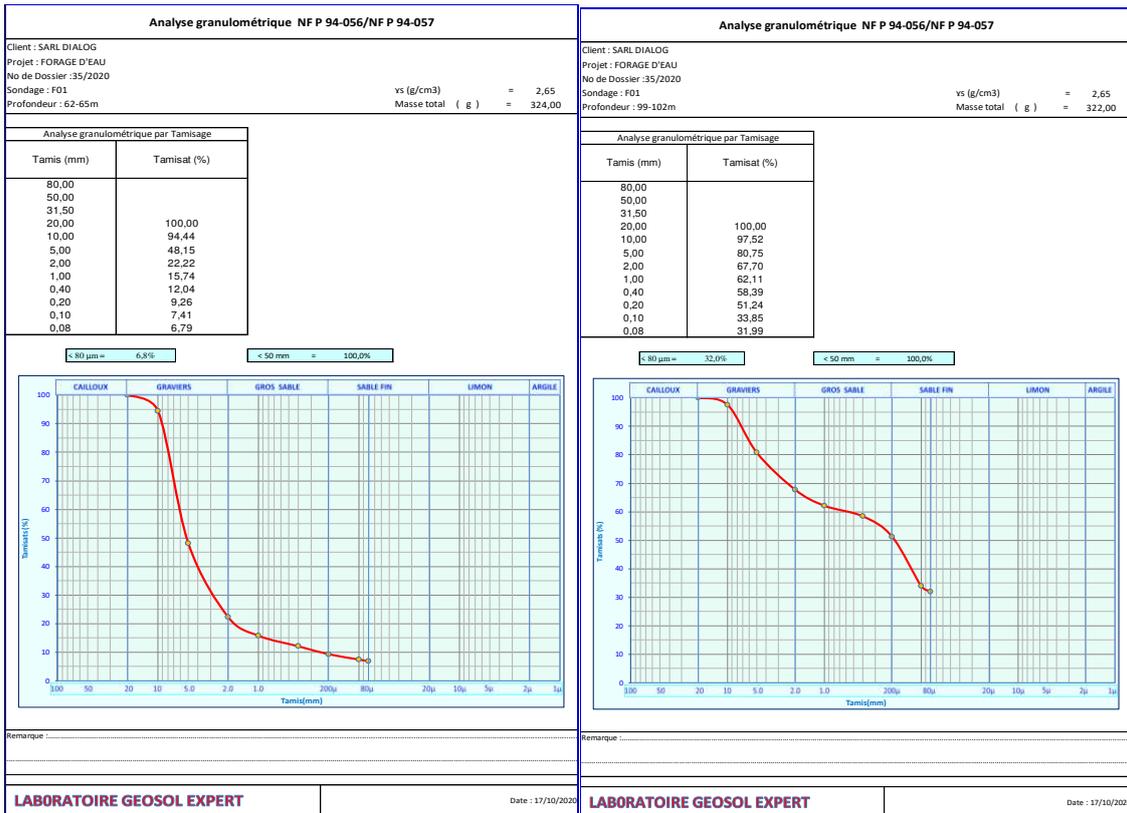
Figure 37 : la lithologie du sol (avec logiciel gesffor)

Réalisation de l'analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique a été effectuée au labo (ANRH) sur les échantillons prélevés afin de déterminer les dimensions des ouvertures des crépines.

L'examen des courbes granulométrique (figure 38), permet de déterminer le diamètre de l'ouverture des crépines, il s'agit d'un fin sableux (donc matériaux fin) d'où l'ouverture proposé est Slot 10 (0.5 mm)

Résultat de l'analyse granulométrique :



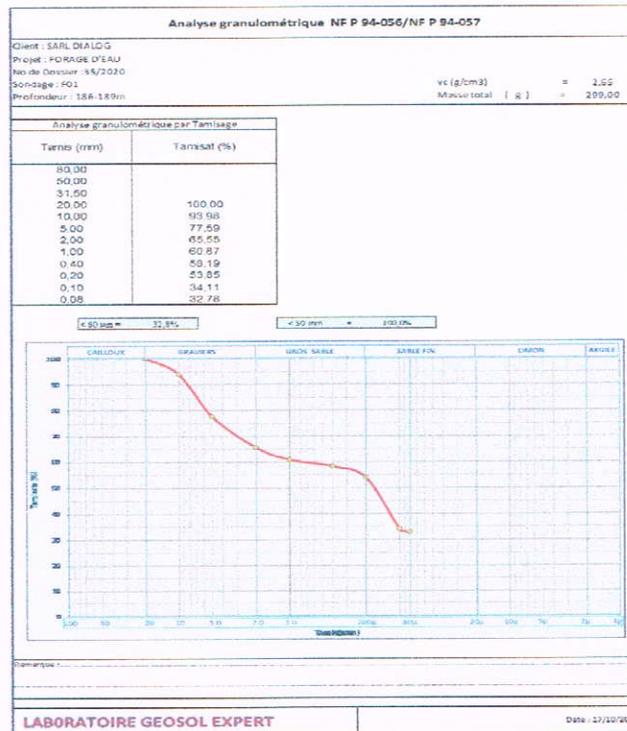


Figure 38 : courbe de l'analyse granulométrique de la formation de l'Astien

$$Cu = d_{60} / d_{10}$$

Opération 3 : Enregistrement diagraphique :

Le principe de l'enregistrement consiste à faire descendre une sonde dans le trou du forage de reconnaissance et mener la résistivité, la PS, la conductivité.

L'exécution de diagraphies de résistivité normale (de 2 intervalles des électrodes minimum) et Gamma Ray exécutées dans le forage de reconnaissance jusqu'à 250 m de profondeur. L'intervalle maximal de prise et d'enregistrement du signal sera de 5 cm.

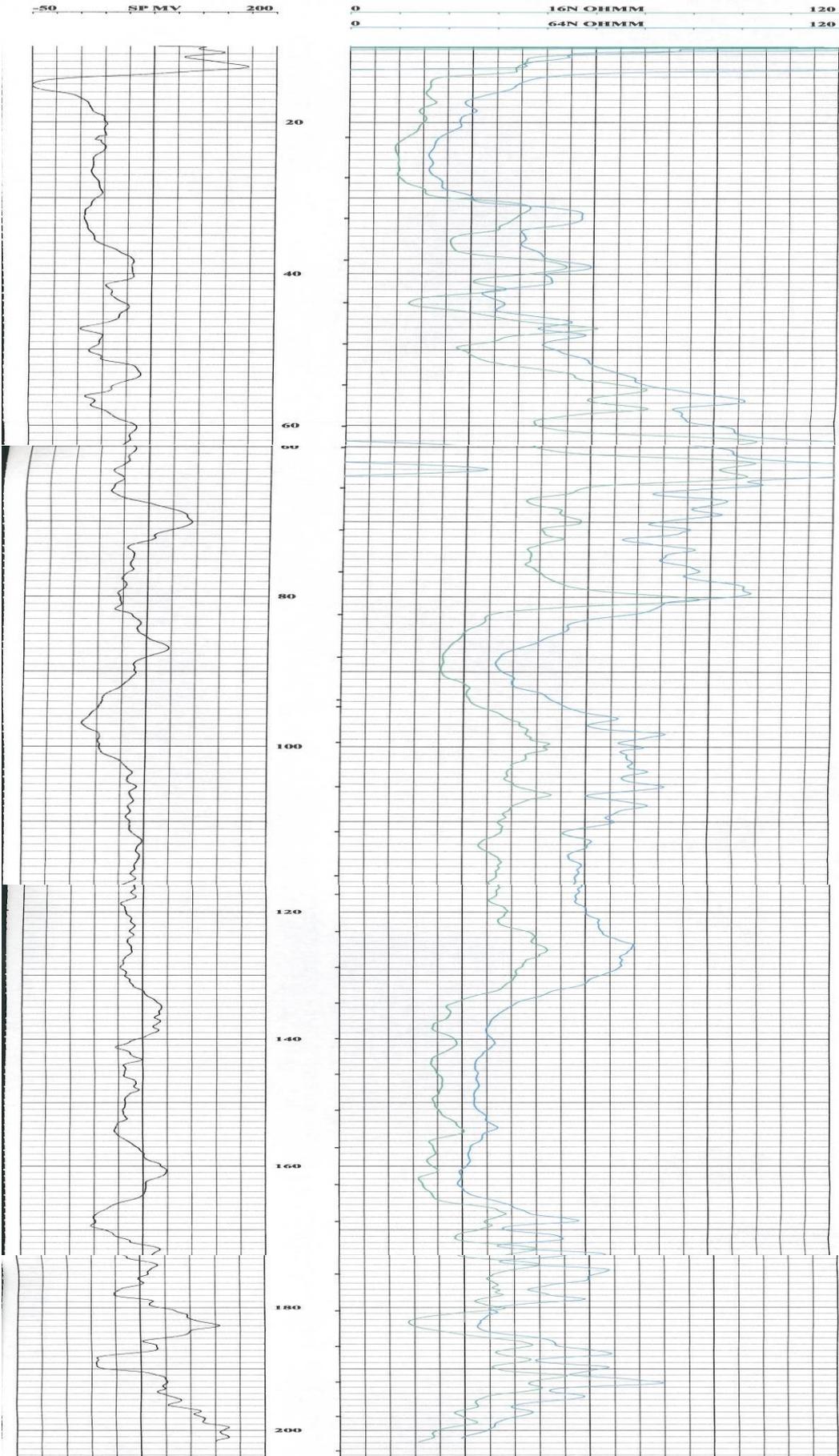
L'enregistrement diagraphique a été réalisée par une entreprise privée (figure 39) .

L'interprétation de l'enregistrement diagraphique (figure 40) montre les niveaux résistant aquifères suivant.



Figure 39 : matériel de diagraphie.

Le résultat de la diagraphie :



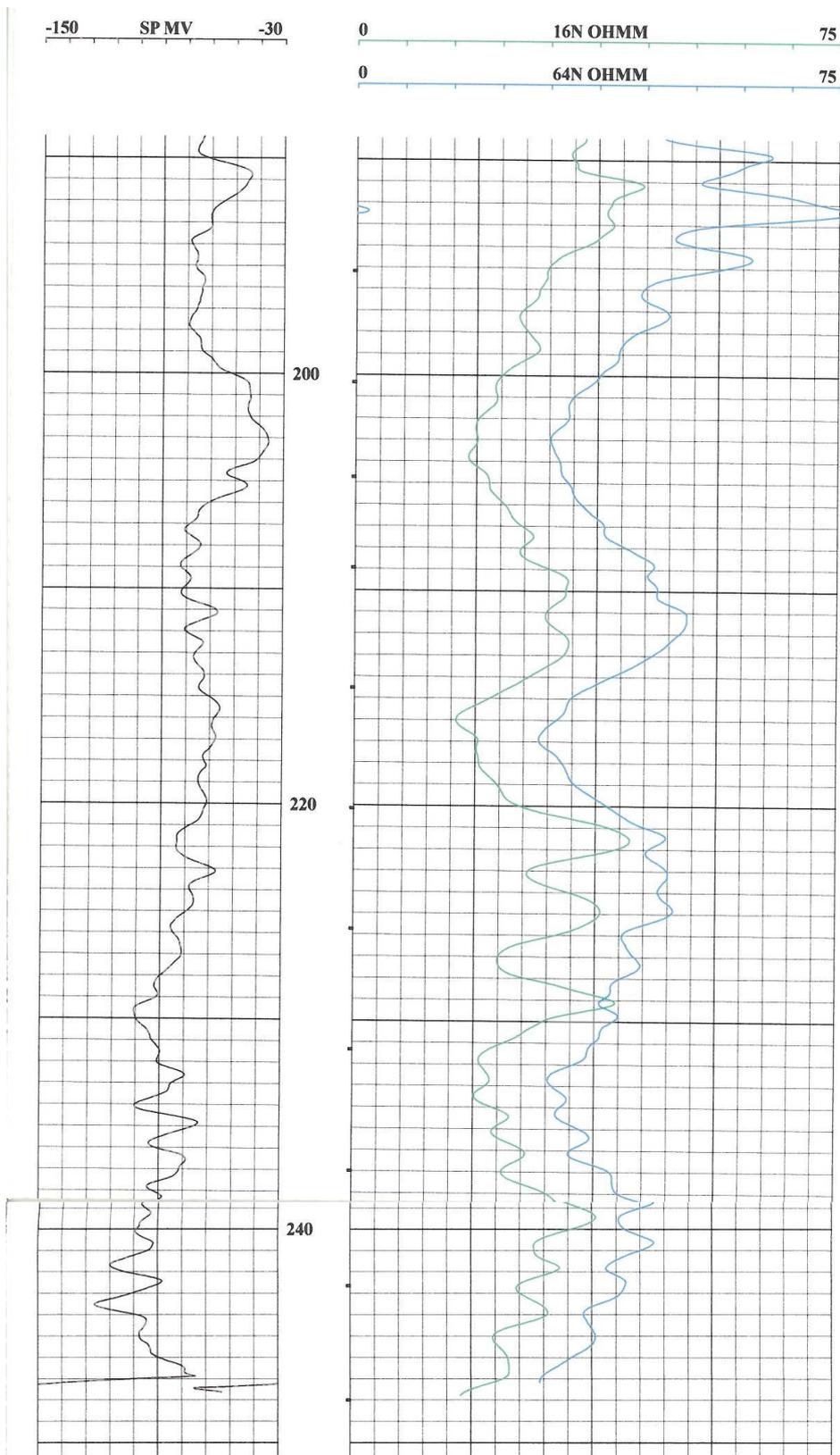


Figure 40 : l'enregistrement diagraphique

L'interprétation de l'enregistrement diagraphique (figure 40) montre les niveaux résistant aquifères suivant :

Du 60 m à 90 m	186 m à 192
96 m à 114 m	211 m à 117 m
120 m à 132 m	223 m à 241 m
144 m à 150 m	
162 m à 180 m	

III .4.2. Etablissement d'un programme d'équipement :

Opération 4 : Elargissage :

Après l'opération d'établissement de programme d'équipement on procède à l'opération d'élargissage avec les diamètres suivants (figure 41) :

FORAGE

De	à	Ø"	Ømm	Mode de forage	Fluide de forage
0.00	250.00	12"	305.00	Rotary	Boue
0.00	10.00	26"	660.00	Rotary	Boue
0.00	250.00	17.5"	432.00	Rotary	Boue
0.00	250.00	19"	483.00	Rotary	Boue
0.00	250.00	22"	559.00	Rotary	Boue

* Reconnaissance

Figure 41 : programme du forage d'exploitation (logiciel gesfor)

Opération 5 : plant et descente de tubage

Est établi à partir de l'examinassions de l'enregistrement diagraphique et de l'analyse du cutting et en crépine 1/3 de la formation aquifère et en Install la pompe en face d'un tube plein :

Distance (m)	Tube	Diamètre (pouce)
+0.1 à 96	Plein	16''
96 à 114	Crépine	16''
114 à 120	Plein	16''
120 à 132	Crépine	16''
132 à 144	Plein	16''
144 à 150	Crépine	16''
150 à 162	Plein	16''
162 à 180	Crépine	16''

180 à 186	Plein	16''
186 à 192	Crépine	16''
192 à 204	Plein	16''
205 à 211	Plein	8'' ^{5/8}
211 à 217	Crépine	8'' ^{5/8}
217 à 223	Plein	8'' ^{5/8}
223 à 241	Crépine	8'' ^{5/8}
241 à 250	Décantation	8'' ^{5/8}

Tableau n°3 : programme tubage

Remarque 1 : entre 204 m et 205 m on met un cône de réduction de 16''/8''^{5/8}.

Remarque 2 : la matière utilisée pour le tubage : INOX.

Remarque 3 : L'ouverture des crépines : Slot 10

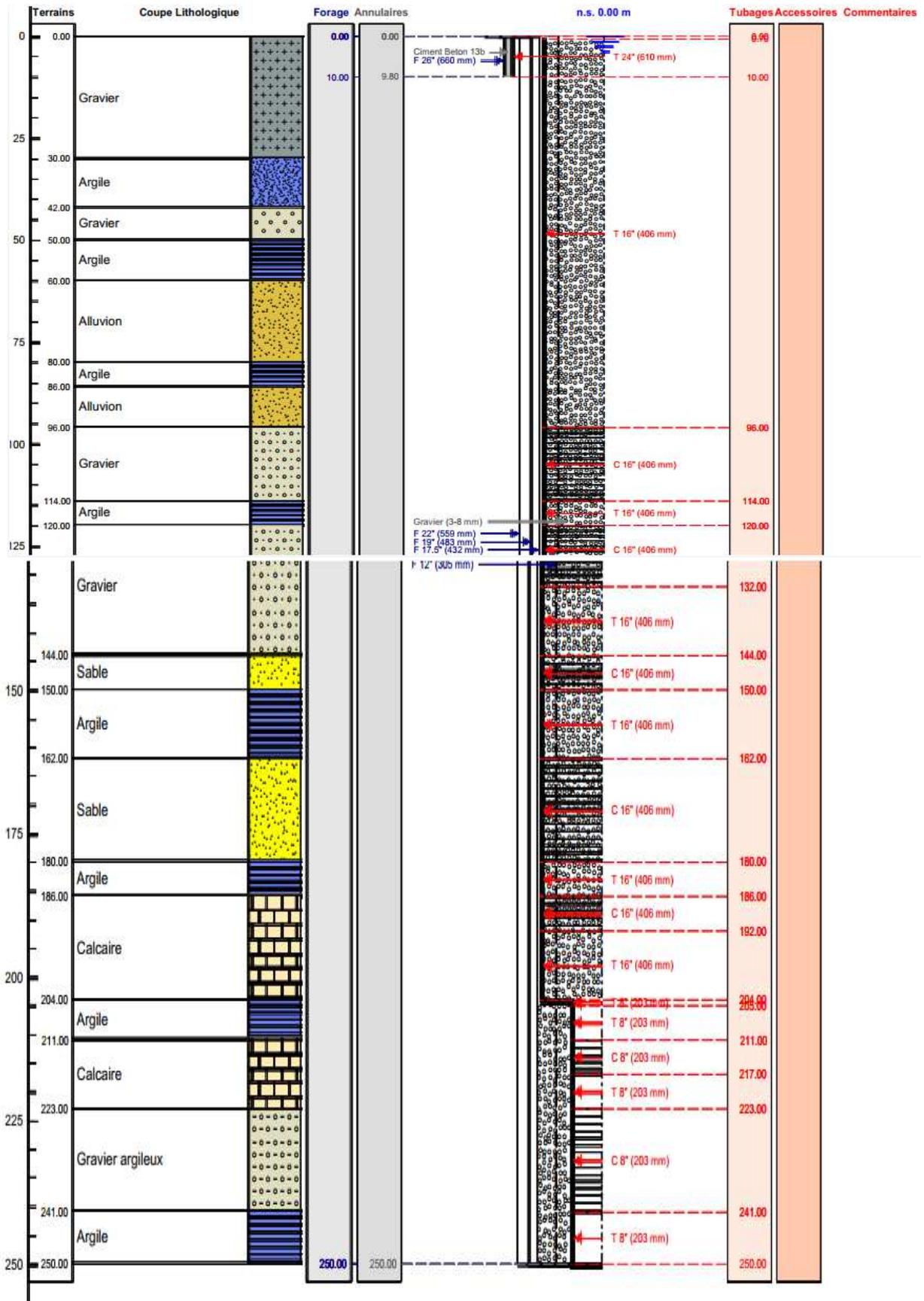


Figure 42 : coupe lithologique et le plan de tubage (logiciel gesfor)



Figure 43: descente de tubage

Opération 6 : Mise en place du massif filtrant :

La mise en place de gravier siliceux rond (gravier 3-8), sélectionné et tamisé. Il sera placé dans l'espace annulaire entre le tubage et les parois du trou, jusqu'à 5 m de profondeur. Cette mise en place se fera juste après la mise en place du tubage. De longs délais entre les deux opérations favorisent l'effondrement et colmatage du trou. Elle sera lente et progressive, évitant des risques d'écrasement des crépines et tubages, et sera finalisée par circulation de l'eau claire.



Figure 44 : le gravier 3-8

Opération 7 : Développement du forage au compresseur :

Dans le cas de notre forage, nous avons utilisées la méthode de développement pneumatique à l'air lift. Cette méthode est la plus efficace si elle est bien adoptée et bien conduite. Elle présente l'avantage de n'entraîner aucune détérioration du matériel employé. Elle permet de combiner l'action de flux et de reflux provoquée par de grands volumes d'air introduit dans l'ouvrage avec celle de mise en production par air lift.

Le développement de forage a été réalisé pendant une durée de 150 h, au moyen d'un compresseur d'air de 25 bars et exécuté suivant les trois phases de sorte à nettoyer les positions des quatre niveaux crépines principaux:

➤ 1^{er} palier :

Tube d'eau : 101 m

Tube d'air : 99m

➤ 2^{eme} palier :

Tube d'eau : 126m

Tube d'air : 124 m

➤ 3^{eme} palier :

Tube d'eau : 147 m

Tube d'air : 146 m

➤ 4^{eme} palier :

Tube d'eau : 171 m

Tube d'air : 169 m

➤ 5^{eme} palier :

Tube d'eau : 189 m

Tube d'eau : 188m

➤ 6^{eme} palier :

Tube d'eau : 214 m

Tube d'air :213 m

➤ 7^{eme} palier

Tube d'eau : 232 m

Tube d'air : 231m

Remarque : chaque palier est exécuté pendant une durée de 20 h.

IL15.2 Développement chimique

le traitement des forages par les techniques chimiques est basé sur l'injection des produits chimiques qui aident au nettoyage et ce à l'aide d'une pompe d'injection cette étape suit le développement mécanique.

Traitement à l'héxamétaphosphates

C'est un poly-phosphate qui sert à défloculer les argiles (casser la boue). Ce produit ne déflocule bien qu'en milieu basique $\text{PH}=9$ et pour un milieu acide $\text{PH} < 5$ provoque une floculation des argiles, L'héxamétaphosphates est neutre, il ne provoque pas de danger sur la santé au contraire il faut le protéger contre l'humidité pour garder ses qualités

Méthode de traitement

Etape 1: Dans un récipient on met pour chaque 25 Kg de héxamétaphosphate 150l d'eau à raison d'une concentration de 4% par m^3 , après on l'injecte dans un tube face à la zone à traiter.

Etape 2: faire un pompage à l'air lift

Etape 3: On laisse l'hexamétaphosphate au contact pour une durée de 24 heures avec une mise en mouvement toute les 3 à 4h en circuit 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.

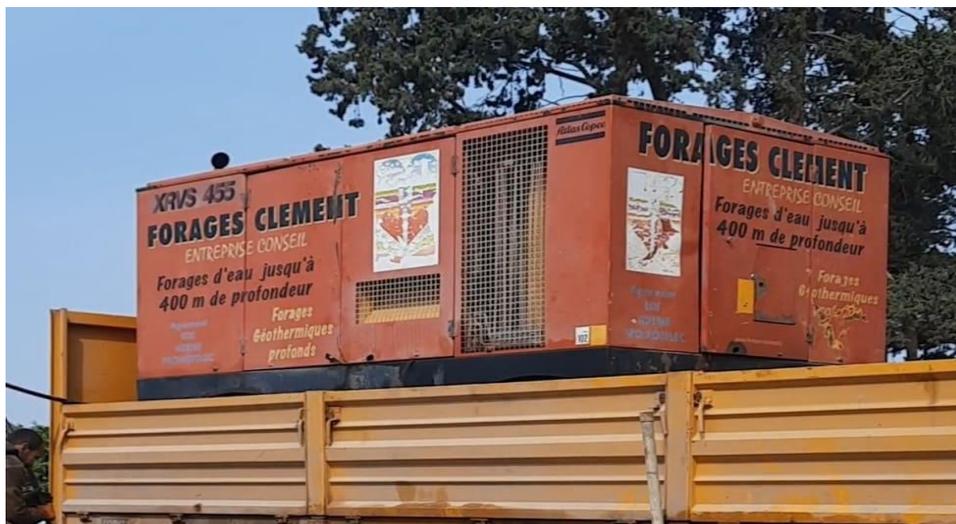


Figure 45: le compresseur



Figure 46 : développement a l'air lift

Opération 8 : Cimentation :

L'exécution de la cimentation de l'espace annulaire situé entre 0 et 40 m de profondeur après la stabilisation du massif filtrant, afin d'empêcher l'entrée directe des eaux de surface ou de nappes perchées au forage. La préparation de mélange de cimentation se fera dans la proportion suivante : 40 kg de ciment / 1 kg de bentonite / 60 litres d'eau. La cimentation se fera de façon progressive tout en limitant les risques d'écrasement des tubages.

Opération 9 : Essais de pompage :

Il a été réalisé au niveau du forage F1 de la prise d'eau des essais de pompages :

Un essai a plusieurs paliers (3 palier).

Un essai de longue durée.

➤ Essais de pompage cour durée :

Les essais de pompage sont effectués en 3 paliers :

1^{er} palier a un d 72 m³/h en 1h (8h à 9h) et arrêt en 1h (9h à 10h).

2^{ème} palier en augmentant le débit à 90 m³/h en 1 heure (10 h à 11 h) et en arrêtant en 1 heure (11 h à 12 h).

3^{ème} palier augmente également le débit à 138 m³/h en 1 heure également (12h à 13h) et s'arrête en 1h (13h à 14h).

Le rabattement s = le niveau dynamique - le niveau statique

Le niveau statique = 0 m, donc : le rabattement = le niveau dynamique

Les résultats de l'essai sont présentés dans le tableau ci-dessous :

heures	minutes	secondes	debit (L/s)	N dyn	debit (m3/h)	s (m)
8	0	0	0	20.1	0	0
8	5	0	20	20.45	72	20.45
8	10	0	20	21.1	72	21.1
8	30	0	20	21.7	72	21.7
9	0	0	20	22.6	72	22.6
9	5	0	0	0	0	0
9	10	0	0	0	0	0
9	30	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
10	5	0	25	28.1	108	28.1
10	10	0	25	28.6	108	28.6
10	30	0	25	28.75	108	28.75
11	0	0	25	28.8	108	28.8
11	5	0	0		0	0
11	10	0	0		0	0
11	30	0	0		0	0
12	0	0	0		0	0
12	5	0	30	33.7	138	33.7
12	10	0	30	34.52	138	34.52
12	30	0	30	35.8	138	35.8
13	0	0	30	36.88	138	36.88
13	5	0	0		0	0
13	10	0	0		0	0
13	30	0	0		0	0
14	0	0	0		0	0

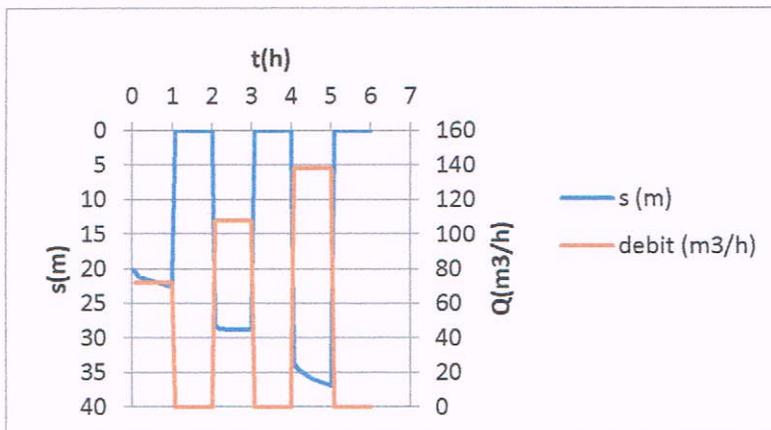


Figure 47 :rabattement $s(m)=fQ(t)$,débit Q

Remarque : On arrête le pompage chaque une heure pour que la terre se repose.

$$\text{Le rabattement } s \text{ (m)} = f(t) \quad , \quad Q \text{ (m}^3\text{/h)}=f(t)$$

On remarque qu'au fil du temps qu'on augmente le débit, le rabattement va descendre.

❖ **Le calcul du rabattement spécifique et le débit spécifique :**

Rabattement spécifique = le rabattement / le débit

Débit spécifique = le débit / le rabattement

Le calcul est présenté dans le tableau ci-dessous :

niveau statique	Paliers	debit (m3/h)	rabattement	rabattement spécifique	debit spécifique
0	N°1	72	22.6	0.313888889	3.185840708
	N°2	108	28.8	0.266666667	3.75
	N°3	138	36.88	0.267246377	3.74186551

Tableau n°5 : résultat de calcul de débit spécifique et rabattement spécifique

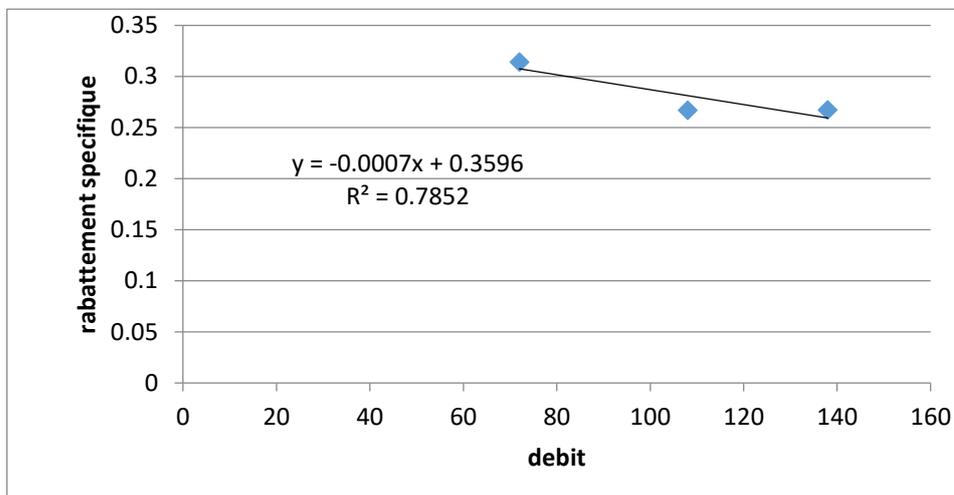


Figure 48 : rabattement spécifique = f(Q)

❖ **Le calcul du débit critique :**

On calcule le débit critique et le débit max graphiquement, on représente la courbe caractéristique (rabattement $s = f(Q)$).

Pour tracer la courbe caractéristique de forage F1 d'El-Harrach, nous allons utiliser le logiciel gesfor.

Le graphe est présenté ci-dessous :

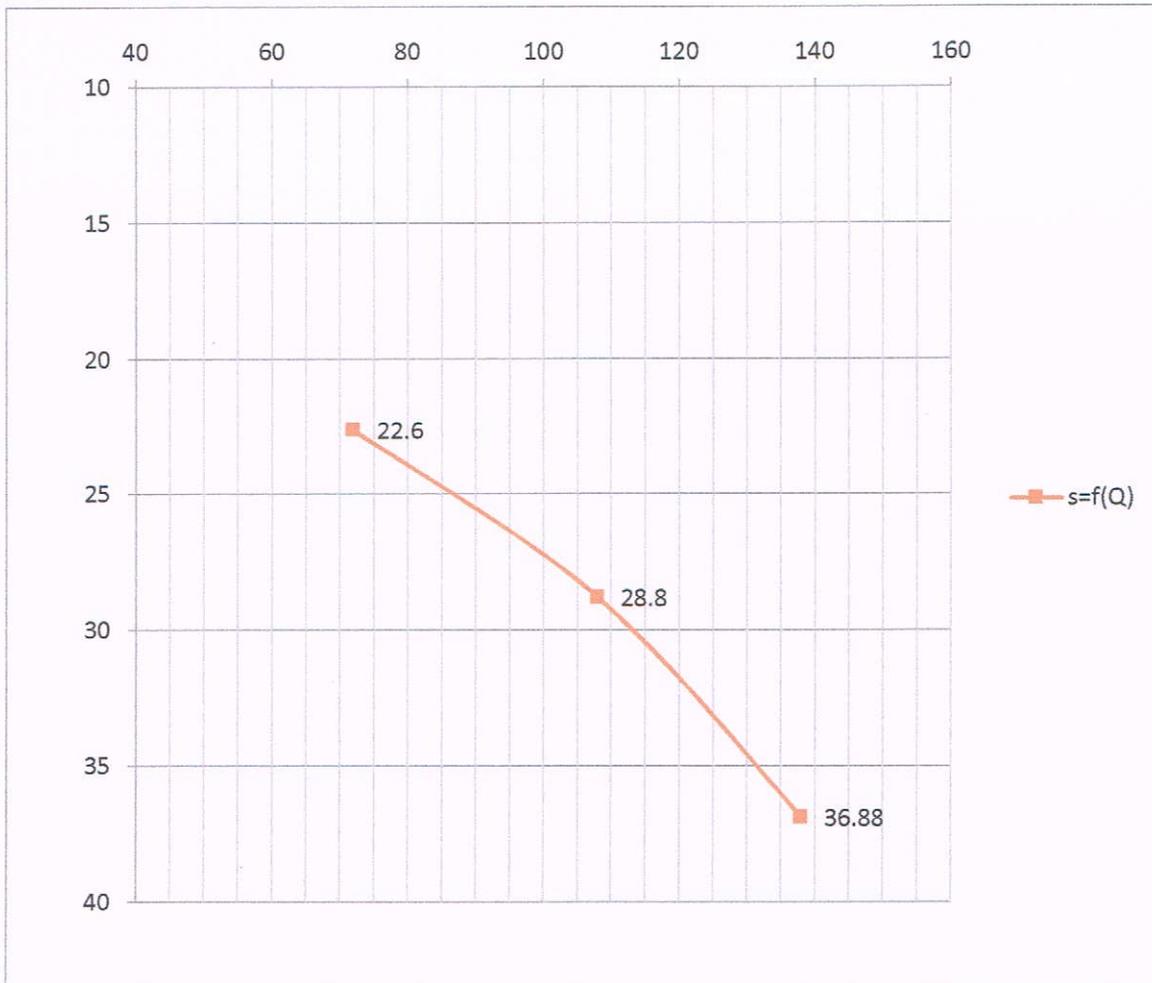


Figure 49 : rabattement $s = f(Q)$

Débit critique = $108 \text{ m}^3/\text{h} = 30 \text{ l/s}$

Remarque : les essais ne doivent pas être dépassés le débit critique.

➤ **Essais de pompage long duré :**

Les résultats de l'essai sont présentés dans le tableau ci-dessous :

secondes	nombre d'heurs	heures	minutes	débit (L/s)	Niveau dynamique (m)	Rabattement s (m)
0	0	8	0	0	0	0
1800	0.5	8	30	30	36.02	36.02
3600	1	9	0	30	36.3	36.3
5400	1.5	9	30	30	36.5	36.5
7200	2	10	0	30	36.75	36.75
12600	3.5	11	30	30	36.85	36.85
14400	4	12	0	30	37.05	37.05
19800	5.5	13	30	30	37.15	37.15
21600	6	14	0	30	37.3	37.3
27000	7.5	15	30	30	37.4	37.4
28800	8	16	0	30	37.45	37.45
34200	9.5	17	30	30	37.5	37.5
36000	10	18	0	30	37.6	37.6
39600	11	19	0	30	37.64	37.64
43200	12	20	0	30	37.69	37.69
46800	13	21	0	30	37.75	37.75
54000	15	23	0	30	37.8	37.8
57600	16	24	0	30	37.84	37.84
61200	17	25	0	30	37.86	37.86
64800	18	26	0	30	37.89	37.89
68400	19	27	0	30	37.9	37.9
72000	20	28	0	30	37.9	37.9
75600	21	29	0	30	37.9	37.9
79200	22	30	0	30	37.9	37.9
82800	23	31	0	30	37.9	37.9
86400	24	32	0	30	37.9	37.9
90000	25	33	0	30	37.9	37.9
93600	26	34	0	30	37.9	37.9
97200	27	35	0	30	37.9	37.9
100800	28	36	0	30	37.9	37.9
111600	31	0	0	30	37.9	37.9

Tableau n°6 : les résultats de l'essai de pompage long duré

On remarque que le temps d'essai est de 29h et le débit est constant ($Q = 30L/S = 108 \text{ m}^3/h$) pendant tout le temps, et le niveau dynamique augmente jusqu'au l'heur =27h (2h du matin) il se fixe.

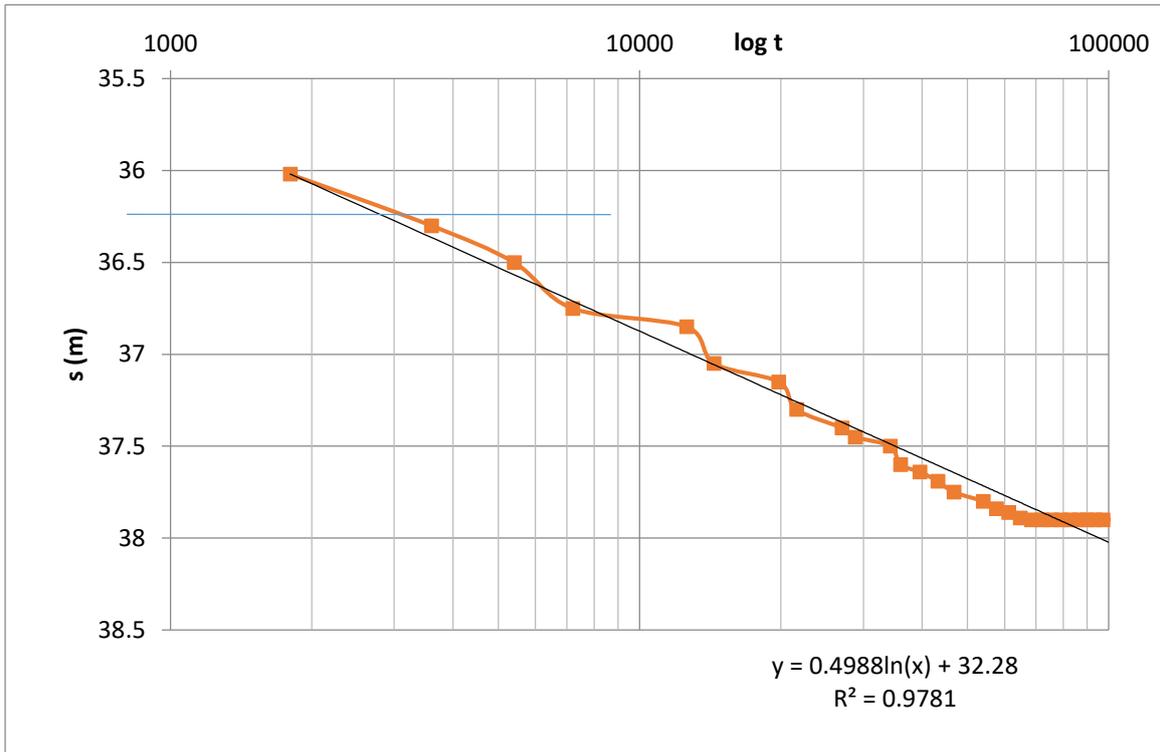


Figure 50 : courbe de descente.

On remarque que le rabattement diminue avec le temps, jusqu'il se fixe au $s = 37.9$ m.

- **Calculer la Transmissivité, coefficient d'emmagasinement, le rayon d'action et la perméabilité :**

On a la loi de Jakob : $\Delta = 0.183 \times \frac{Q}{T} \times \log x \frac{2.25 \cdot T \cdot t}{S \cdot r^2}$

Avec : Q : le débit

T : la Transmissivité

t : temps

s : Coefficient d'emmagasinement

- **La Transmissivité T :**

$$T = \frac{0.183 Q}{s_2 - s_1}$$

Avec : Q = le debit = 0.03 m³/s

$s_2 - s_1$ (le rabattement graphiquement) = 37.9 - 36.25

- **application numérique :**

$$T = \frac{0.183 \cdot 0.03}{37.9 - 36.25}$$

$$T = 0.003327 \text{ m}^2/\text{s}$$

- la perméabilité :

$$k = \frac{T}{e}$$

Avec :

$$T \text{ (la Transmissivité)} = 0.003327 \text{ m}^2/\text{s}$$

e (l'épaisseur de la nappe captive) = 150 m

- application numérique :

$$K = \frac{0.003327}{150}$$

$$K = 2.218 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

- Coefficient d'emmagasinement S :

$$S = \frac{2.25 * T * t_0}{r^2}$$

Avec : T (Transmissivité) = 0.003327 m²/s

t_0 (temps graphiquement (log(t)) = 950 s

r (distance du piézomètre de contrôle avec le puits de pompage) = 100m

- Application numérique :

$$S = \frac{2.25 * 0.003327 * 950}{100^2}$$

$$S = 7.1 \times 10^{-4}$$

- Le rayon d'action R_a :

$$R = \sqrt{\frac{2.25 T t}{s}}$$

Avec : T (Transmissivité) = 0.003327 m²/s

t (temps graphiquement (log(t)) = 950s

s (coefficient d'emmagasinement) = 7.1 x 10⁻⁴

- Application numérique :

$$R = \sqrt{\frac{2.25 * 0.003327 * 950}{7.1 * 10^{-4}}}$$

$$R = 100.08 \text{ m}$$

Remarque : pour réaliser un deuxième forage, il faut respecter la distance de deux fois le rayon d'action.

Dans ce ça, il devrait être pas moins de 60 mètre.

Conclusion :

Tous les opérations de réalisation du forage F1 ont été suivies, depuis l'installation du chantier jusqu'à l'essai de pompage

Conclusion générale :

Notre travail s'appuie sur plusieurs études liées aux ressources en eau, dont l'étude sur le site de Mitidja, qui est considéré comme un emplacement stratégique en raison de ses avantages naturels que nous devons préserver, et parmi ces avantages se trouve sa richesse en eau, les projets réalisés pour exploiter ce dernier est le forage qui a plusieurs techniques.

Avant de creuser, il faut bien étudier le site et que la zone soit exempte d'habitants et d'usines avec des dimensions spécifiques pour éviter les eaux polluées, et au début du creusement, les différentes étapes doivent être prises en compte de manière systématique et parfaite, notre site d'étude se trouve justement comporté à ce problème (relation oued-nappe) qui a été résolue dans cette étude

L'ensemble des opérations de réalisation du forage F1 que nous avons suivies ont été exécutées dans les termes à savoir :

- 1- Mise en place d'un tube guide et cimentation (10 premiers mètres)
- 2- Forage de reconnaissance de 12 pouces
- 3- L'Enregistrement diagraphique et l'examen des cuttings ont permis d'établir la coupe lithologique du forage et établir un programme d'équipement
- 4- L'opération d'alésage a été effectuée avec des diamètres 17'', 19'' et 22''
- 5- La descente du tubage en INOX a été réalisée en bonne et de forme.
- 6- Le massif filtrant du gravier a été mis en place dans les normes
- 7- Développement du forage à l'air lift pendant 150 h jusqu'à l'obtention d'une eau claire.
- 8- Essai de pompage pendant 72h, détermination des paramètres hydrodynamiques (T, S et Rayon d'action)

Donc le forage réalisé a donné un bon débit qui répond aux objectifs de départ et contribue à renforcer l'AEP de la ville d'Alger.

Bibliographie :

[1] **livre** : michel detay,1993 : le forage d'eau.

[2] **livre** : albert mabillot ,1971 :les forages d'eau.

[3] : **ZIRIOUH.O, MOULLA.N**, 2017 :« Réalisation de puits TIMAROUALINE 02 », Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur spécialisé en hydraulique, institut algérien du pétrole.

[4]: **A. Salimani** , 2003 : "Forage pour non foreurs", division forage, département formation Sonatrach.

[5] : **MODULE DE L'HYDROGEOLOGIE** : Z.MEZIZENE, in mémoire, **BESSAILET. A, BOUDI .M**, 2018.

[6] **Essai de pompage** : (Norme française homologuée par décision du Directeur Général D'AFNOR le 5 mars 2000 pour prendre effet le 5 avril 2000).

[7] : **tahir.k et flita.s**, 2018 : (mémoire suivi de la réalisation de forage d'eaux potable pour la ville de l'araba et interprétation des essais de pompage).

[8] : **ouardi.A**, 2019 : (mémoire approche hydrodynamique et hydro chimique de la relation oued/nappe cas d'oed hamiz (champ captant cadre cintra de nappe (agire)).

[9] : **wahid.B** ,2010 :(mémoire Impacts de l'urbanisation, l'agriculture et l'industrie sur la qualité des eaux de la Mitidja orientale usthb).

[10]: **MOHAMED. A, Bachir K**, 2016 : Le suivi hydrogéologique des travaux de forages d'eau pour l'alimentation en eau potable de la nouvelle ville de Blida (dans la plaine de la Mitidja, Bounine), mémoire mastère Université des sciences et de technologie houari Boumediene (UNSH°).

[11] : Agence de Gestion Intégré des ressources en eau ; Rapport diagnostique de l'état actuelle du champ captant Hami ; Janvier 2019 .in mémoire **BESSAILET. A, BOUDI. M**, 2018, Suivi hydrogéologique des travaux de réalisation d'un forage d'eau F26 pour l'AEP de la ville de L'Araba (Plaine de Mitidja).

[12] : **M. GHODBANE**, 2020 : analyses statistiques multivariees de la qualite des eaux souterraines de la plaine de mitidja.

[13] : **ZINET.H, BECHERAI. N, 2019** :étude de l'intrusion marine par les profils de conductivité (cas de la baie d'Alger).

[14] : **CHERIET A, CHERANI N, 2018** :La recharge artificielle de l'aquifère alluvial dans la région de tablaient (MITIDJA Orientale). Mémoire de master, Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (U.S.T.H.B).

[15] : **Cours hydrogéologique** : mémoire D.E.U.A université de Blida.

[16] : **Mohamed B, 2007** :« synthèse hydrogéologique pour l'implantation d'un forage, mémoire D.E.U.A ».

[17] : **DRE, 2003**, « rapports interne présentatifs de sur la plaine de la Mitidja et ses nappes souterraines» in mémoire, **BESSAILET. A, BOUDI. M, 2018** : (Suivi hydrogéologique des travaux de réalisation d'un forage d'eau F26 pour l'AEP de la ville de L'Araba (Plaine de Mitidja)).

[18] : **MOHAMED, A ,2016** : « Le suivi de la réalisation de cinq forages pour l'alimentation en eau potable de la nouvelle de Blida (Bouinane) »

[19] : (Ait OUALI AEK, 2007).in mémoire, **cheikh.M, 2010**,Etude de transfert des fertilisants agricole (nitrates) à travers la zone non saturée dans la zone de sahel.

[20]: Spatio-temporal analysis of nitrates and piezometric levels in groundwater using geostatistical approach: case study of the Eastern Mitidja Plain, North of Algeria.

[21]:**cheikh.M,2010**: Etude de transfert des fertilisants agricole (nitrates) à travers la zone non saturée dans la zone de sahel.

[22] :**Oudjer.r,2019** :apport des méthodes hydrodynamique et hydro chimique à l'étude des eaux de champ de captage d'EL-HAMIZ (baie d'alger)

