

UNIVERSITE SAAD DAHLAB – BLIDA 1

Faculté Technologie

Département des Sciences de l'eau et Environnement



MEMOIRE DE MASTER

Filière : **Hydraulique**

Spécialité : **Ressources Hydrauliques**

Thème :

**Suivi technique de la réalisation du forage d'eau (F2) pour l'AEP
de la localité MAASSOUMA (daïra de BOUINAN.W.de BLIDA)**

Présenté par :

BOUZEGZEG Yassine

KADRI AHMED Ouahid

Devant le jury composé de :

Mr.BENAZIZA	M.C.B, U. de Blida	Président
Mr.FELLALI	M.C.A, U. de Blida	Examineur
Mr.BOUAZIZ	Ingénieur d'état de DRE	Co-promoteur
Mr.GUENDOZ	professeur, U. de Blida	Promoteur

Promotion 2021 /2022

Remerciements

Nos remerciements vont en premier à Dieu tout puissant pour la volonté, la patience et surtout la santé qu'il nous a données pour terminer notre mémoire.

*Au terme de ce travail, nous tenons à remercier vivement notre Promoteur **Mr. Guendouz Abd Elhamid** et notre Co-promoteur **Mr. BOUAZIZ**, pour nous avoir défini et orienté le sujet, pour leur collaboration, leur suivi, leur serviabilité et leurs précieux conseils durant toute cette période.*

*Nos vifs remerciements s'adressent aux enseignants du **département de science de l'eau et l'environnement** et aux travailleurs de **la direction des ressources en eau** de leur aide aimable et de s'avoir nous conseiller et orienter tout le long de la période du stage.*

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

Avant tout à ma chère mère, aussi à mon père

A tous mes frères et Sœurs,

Et à toute la famille KADRI

A tous mes amis surtout à mon cher ami MAZWER

Pour leur patience avec moi aussi bien pour leur

collaboration et

Leur aide pendant toute la période universitaire.

Et à toute la promo 2021/2022

De science de l'eau et l'environnement notamment la promo

de ressources hydrauliques

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le
symbole de la tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon
bonheur et ma réussite, à ma mère ...*

*A mon père, école de mon enfance, qui a été mon ombre
durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au
long de ma vie à m'encourager.*

Que dieu les gardes et les protèges

*A mon cher frère, mes sœurs et à ma femme qui n'ont pas
cessé de m'encourager et soutenir tout au long de mes
études*

A tous ma famille et mes amis sans exception

YASSINE BOUZEGZEG

الملخص:

الغرض من هذا العمل هو المتابعة التقنية للحفرة F2 من اجل محاربة نقص في مياه الشرب لمدينة بوينان المبرمجة من طرف مديرية الموارد المائية لولاية البليدة .

يعتمد هذا العمل على البيانات الجيولوجية والهيدروجيولوجية الموجودة في سهل متيجة. تم تطوير في عدة مراحل (الحفر الاستكشافي، فحص F2 bis البئر القطع، توسيع الثقوب، معدات الحفر، اختبارات الضخ) على عمق 201 متر، مستوى ثابت 85 مترًا، انخفاض 18 مترًا، وتدفق التشغيل 15 لتر / ثانية

نتيجة لذلك هذا البئر وصل الى اهدافه المثبتة .

الكلمات المفتاحية : البئر. جيولوجي. هيدروجيولوجي.

Résumé :

L'objet de ce travail est le suivi technique de la réalisation du forage F2 pour renforcer et combler le déficit en eau potable de la ville de BOUINAN programme par le DRE de BLIDA. Ce travail s'appuie sur les données géologiques et hydrogéologiques existantes dans la plaine de la Mitidja. Le forage F2 a été développé en plusieurs étapes (Forage de reconnaissance, examen des cuttings, diagraphie, alésage, équipements de forage, essais de pompage) à une profondeur de 201 m, un niveau statique de 85 m, un rabattement de 18 m, et un débit de fonctionnement de 15 l/s
De ce fait le forage réalisé a atteint les objectifs fixés au départ

Mots clés : Forage. Géologique. Hydrogéologiques.

Abstract:

The purpose of this work is to follow up on the F2 drilling to reinforce and fill the drinking water deficit of the city of BOUINAN programed by DRE. This work is based on existing geological and hydrogeological data in the Mitidja plain. The F2 borehole was developed in several stages of subsidence (reconnaissance drilling, examination of cuttings, logging, reaming, drilling equipment, and pumping tests) at a depth of 201 m, a static level of 85 m, a drawdown of 18 m, and an operating flow of 15 l/s

Keywords: geological. Hydrogeological. Drilling.

SOMMAIRE

- Remerciements
- Dédicaces
- Résumé
- Sommaire
- Liste de Figure
- Liste de Tableau
- Liste des abréviations
- Introduction générale

I. SITUATION DE LA ZONE D'ETUDE : 2

I.1 . LE CADRE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE : 2

I.1.1 . SITUATION GEOGRAPHIQUE ET PRESENTATION DE LA PLAINE DE LA MITIDJA : 2

I.1.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA VILLE DE BOUINAN ET LA LOCALITE DE MAASSOUMA : 3

I.2 APERÇU CLIMATIQUE..... 3

I.2.1 OBJECTIF DE L'ETUDE 3

I.2.2 CADRE CLIMATIQUE..... 4

I.2.3 LES SOURCES CLIMATIQUES 4

I.2.4 TEMPERATURE : 4

I.2.5 LES PRECIPITATIONS : 5

I.2.5.1 Précipitations moyennes mensuelles : 6

I.2.5.2 Les précipitations interannuelles : 6

I.2.6 . SYNTHESE CLIMATIQUE DE LA REGION 7

I.2.6.1 Diagramme Ombro-thermique 7

I.2.6.2 Diagramme d'Emberger (Climagramme d'Emberger) 8

II. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE : 10

II.1.1 APERÇU GEOLOGIQUE..... 10

II.2 APERÇU HYDROGEOLOGIQUE : 11

II.2.1 L'AQUIFERE DES ALLUVIONS DU QUATERNAIRE : 11

II.2.1.1 L'aquifère de l'Astien : 11

II.3 APERÇU DEMOGRAPHIQUE : 12

II.3.1 LES RESSOURCES EN EAU : 12

II.3.2 LES BESOINS : 12

II.3.3 LA DEMANDE EN EAU : 12

II.3.4 LE DEBIT CONSOMME PAR NOTRE REGION : 13

III. GENERALITES SUR LES TECHNIQUES DU FORAGE: 14

III.1 METHODES DE RECONNAISSANCES GEOPHYSIQUES : 14

III.1.1 METHODES ELECTRIQUES 14

III.1.1.1 A partir de sources naturelles avec la mesure de la polarisation spontanée 14

III.1.1.2 A partir de sources artificielles avec la mesure de la polarisation induite ou la mesure de la résistivité 15

III.1.1.2.1	Le sondage électrique vertical Schlumberger :	15
III.1.1.2.2	Objectif du sondage vertical :	15
III.2	LES DIFFERENTES TECHNIQUES DE FORAGE :	16
III.2.1	TECHNIQUE DE BATTAGE (A PERCUSSION) :	17
III.2.2	LA TECHNIQUE ROTARY :	19
III.2.2.1	Les avantages du forage au rotary :	21
III.2.2.2	Les inconvénients du forage à rotary :	21
III.3	EXECUTION DU FORAGE :	22
III.3.1	LES COMPOSANTS D'UN APPAREIL DE FORAGE :	22
III.3.1.1	Le mat de forage :	23
III.3.1.2	Les tiges (Drill-pipes) :	24
III.3.1.3	Les masse-tiges (drill coils) :	25
III.3.1.4	Les aléseurs (Les stabilisateurs) :	25
III.3.1.5	L'outil :	25
III.3.1.6	Mode de travail d'un tricône :	26
III.4	EQUIPEMENTS D'ENTRAINEMENT DE LA GARNITURE DE FORAGE :	27
III.4.1	LA TABLE DE ROTATION :	27
III.4.2	LA TIGE D'ENTRAINEMENT (LA TIGE CARREE – KELLY) :	27
III.4.3	LA TETE D'INJECTION [SWIVELL] :	28
III.4.4	GENERATEURS DU COURANT (LE MOTEUR) :	29
III.5	REALISATION D'UN FORAGE ROTARY :	29
III.5.1	AVANT TROU :	29
III.5.2	FORATION :	30
III.5.3	FLUIDES DE FORAGE :	30
III.5.3.1	Boue de forage (Bentonite) :	30
III.5.3.2	Rôle de la boue :	31
III.5.3.3	Caractéristiques de la boue de forage :	32
III.5.4	FOSSES A BOUE :	32
III.6	CREUSEMENT :	33
III.6.1	CIMENTATION :	33
III.6.2	MISE EN PLACE DU TUBE GUIDE :	34
III.6.3	FORAGE DE RECONNAISSANCE :	34
III.6.3.1	Prélèvement des échantillons :	34
III.6.3.2	Enregistrement et interprétation des diagraphies :	35
III.7	ÉQUIPEMENTS DE FORAGE :	35
III.7.1	TUBAGES :	36
III.7.1.1	Mise en place du tubage :	37
III.7.2	LES CREPINES :	37
III.7.3	MASSIF FILTRANT (GRAVIER ADDITIONNEL, MASSIF DE GRAVIER) :	38
III.7.4	DEVELOPPEMENT DU FORAGE (OBJECTIF DE DEVELOPPEMENT) :	39
III.7.4.1	Les différentes méthodes de développement :	40
III.7.4.1.1	Le développement par pompage et sur pompage :	40
III.7.4.1.2	Développement par pistonnage :	40
III.7.4.1.3	Développement par Lavage aux jets à grande vitesse :	40
III.7.4.1.4	Développement à l'air lift (pneumatique) :	41
III.7.4.2	Développement chimique :	41
III.8	LES ESSAIS DE POMPAGE :	43
III.8.1	OBJECTIFS DES ESSAIS DE POMPAGE :	43
IV.	REALISATION D'UN FORAGE :	44

IV.1	ENTREPRISE DE LA REALISATION :	44
IV.2	INSTALLATION DU CHANTIER :	44
IV.2.1	INSTALLATION DE LA MACHINE :	44
IV.2.2	INSTALLATION DES BASSINS :	45
IV.3	FORATION :	46
IV.3.1	TUBE GUIDE :	46
IV.3.2	FORAGE DE RECONNAISSANCE :	46
IV.3.2.1	Le cuttings :	46
IV.3.2.2	Enregistrement Diagraphique :	49
IV.3.3	OPERATION D’ALESAGE :	51
IV.4	PROGRAMME D’EQUIPEMENT :	51
IV.4.1	PLAN DU TUBAGE :	52
IV.4.1.1	Tube crépine utilise :	52
IV.4.2	MASSIF FILTRANT :	55
IV.5	OPERATION DE DEVELOPPEMENT :	56
IV.5.1	CIMENTATION :	57
IV.6	LES ESSAIS DE POMPAGE :	57
IV.6.1	ESSAI PAR PALIER :	58
IV.6.1.1	Résultats de l’essai de pompage :	58
IV.6.2	ESSAI A LONG DUREE :	59
IV.7	CALCUL DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES :	61
IV.7.1	TRANSMISSIVITE :	61
IV.7.2	COEFFICIENT DE PERMEABILITE :	62
IV.7.3	COEFFICIENT D EMMAGASINEMENT :	63
IV.7.4	LE RAYON D’ACTION RA :	63
IV.8	ESSAIS DE REMONTEE :	64

Liste des Figures

Figure 1 : Situation géographique de la plaine Mitidja.	2
Figure 2 : Situation géographique de Bouinan	3
Figure 3 : Image satellitaire représente l'emplacement de la station de ANRH	4
Figure 4 : Histogramme des variations des pluies mensuelles de la station de référence	6
Figure 5 : Courbe des précipitations interannuelles de la station de SOUMAA de la période (2010-2020).	7
Figure 6 : Diagramme ombrothermique de la station de SOUMAA	8
Figure 7 : Diagramme d'emberger (2010-2020)	9
Figure 8 : Carte géologique de la plaine de la Mitidja	10
Figure 9 : Sondages électrique.	16
Figure 10 : La plateforme de Forage.	17
Figure 11 : Forage battage.	18
Figure 12 : BOTTOM HOLE ASSEMBLY.	19
Figure 13 : Forage rotary.	21
Figure 14 : Appareil de forage.	23
Figure 15 : MAT d'appareil de forage.	24
Figure 16 : Garniture de Forage.	26
Figure 17 : LA Table de Rotation.	27
Figure 18 : Tige d'entraînement.	28
Figure 19 : Tête d'injection.	29
Figure 20 : Fluides de forage.	31
Figure 21 : Fosse à Boue.	33
Figure 22 : Différents types de tubages.	36
Figure 23 : Différents types de tubages Crépines.	38
Figure 24 : Massif filtrant.	39
Figure 25 : La machine de forage	45
Figure 26 : Bassin de boue	46
Figure 27 : Les cuttings (échantillons)	47
Figure 28 : Coupe lithologique de forage	48
Figure 29 : Outil de diagraphie	49
Figure 30 : l'outil de 17'' et 19''	51
Figure 31 : Tubage TNRS	52
Figure 32 : Coupe technique de forage F2	54
Figure 33 : Massif de gravier	55
Figure 34 : Photo d'un compresseur	57
Figure 35 : La courbe caractéristique	59
Figure 36 : Courbe décente de la nappe	61
Figure 37 : Courbe de remontée de la nappe	64

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques de la station ANRH de la région se SOUMAA	4
Tableau 2 : Températures moyennes mensuelles (1999-2021)	5
Tableau 3 : Moyenne des répartitions mensuelles des pluies (période : 2010-2020).	5
Tableau 4 : précipitations interannuelles de la station de SOUMAA.....	6
Tableau 5 : Les moyennes des températures et des précipitations dans la région. (ANRH).....	7
Tableau 6 : Résumé l'ensemble des étages définis par la région méditerranéenne.....	8
Tableau 7 : L'enregistrement diagraphique	50
Tableau 8 : Essai de pompage par paliers	58
Tableau 9 : Les Essai de pompage a long duré	60

Liste des abréviations

ADE : Algérienne Des Eaux

AEP : alimentation en eau potable

ANRH : agence nationale des ressources hydrauliques

BHA: Bottom Hole Assembly.

D: Diamètre

DRE : direction de ressource en eau

E.F.T.H : Entreprise de forage et travaux hydraulique.

H : hauteur

H : profondeur

K : coefficient

M : la température du mois le plus chaud (°C)

m : la température minimale du mois le plus froid (°C)

ND : Niveau dynamique

NS : Niveau statique

P : précipitations annuelles (mm)

Q : débit

Q1 : facteur des précipitations d'Emberger

S : rabattement

SEV : Sondage électrique vertical.

T : température

T : transivité

TNRS : Tôle noir roulé soudé.

F2 : c'est le forage numéro 2

Introduction générale

La ville de BOUINAN a connu ces dernières années un accroissement rapide de la population et un important développement agricole, développement Urbain. Cette situation a engendré une grande demande de mobilisation des ressources en eau. La nappe alluviale quaternaire de la Mitidja est la principale ressource en eau dans de la Région. Plusieurs localités connaissent un déficit en alimentation en eau potable dans la ville de BOUINAN, ce qui influe sur la disponibilité de l'eau ainsi que le régime de distribution. Aussi, le problème de l'éloignement de l'adduction vers le réseau de l'alimentation en eau potable de ces localités.

Le Projet de réalisation de forage s'inscrit dans le programme de fonction à l'AEP de la daïra de BOUINAN

L'objectif de ce travail consiste à réaliser le suivre étape par étape la concrétisation de cet ouvrage du point e vue géologique, hydrogéologique et des techniques utilisées, ainsi que la méthode des essais de débit utilisée pour contrôler la bonne exécution du forage, et de déterminer ces paramètres hydrauliques : son débit d'exploitation, sa courbe caractéristique, sa formule caractéristique du forage, son débit spécifique et son rabattement spécifique

Ce mémoire est structuré selon les 4 chapitres suivants :

- Chapitre 1 : Situation de la zone d'étude.
- Chapitre 2 : Contexte géologique et Hydrogéologique.
- Chapitre 3 : Généralités sur les techniques du forage.
- Chapitre 4 : Operations de suivi technique du forage F2 MAASOUMA (BOUINAN).

CHAPITRE 1

Situation de La zone d'étude

Introduction :

Ce chapitre présente les traits majeurs du milieu d'étude notamment la localisation géographique du terrain, le cadre climatique. Ces éléments vont contribuer à situer le système aquifère dans le contexte régional et à identifier les éléments utiles à la compréhension des problématiques abordées au cours de l'étude.

I. Situation de La zone d'étude :

I.1 . Le cadre général de la zone d'étude :

I.1.1. Situation géographique et présentation de la plaine de la Mitidja :

Le site d'étude est localisé dans la partie centrale de la plaine de la Mitidja avec une altitude moyenne de 60 à 65 m. La plaine de la Mitidja est riche par ses terres fertiles et par ses ressources en eau souterraines, elle a une superficie de 1400 km² (100 km de longueur et de 8 à 18 km de largeur) orientée suivant un axe WSW-ENE. Cette plaine, limitée à l'Est par l'Oued Boudouaou et à l'Ouest par l'Oued Nador. Elle est bordée par deux zones élevées : le Sahel (260 m) au Nord et l'Atlas (1200 m) au Sud [1].

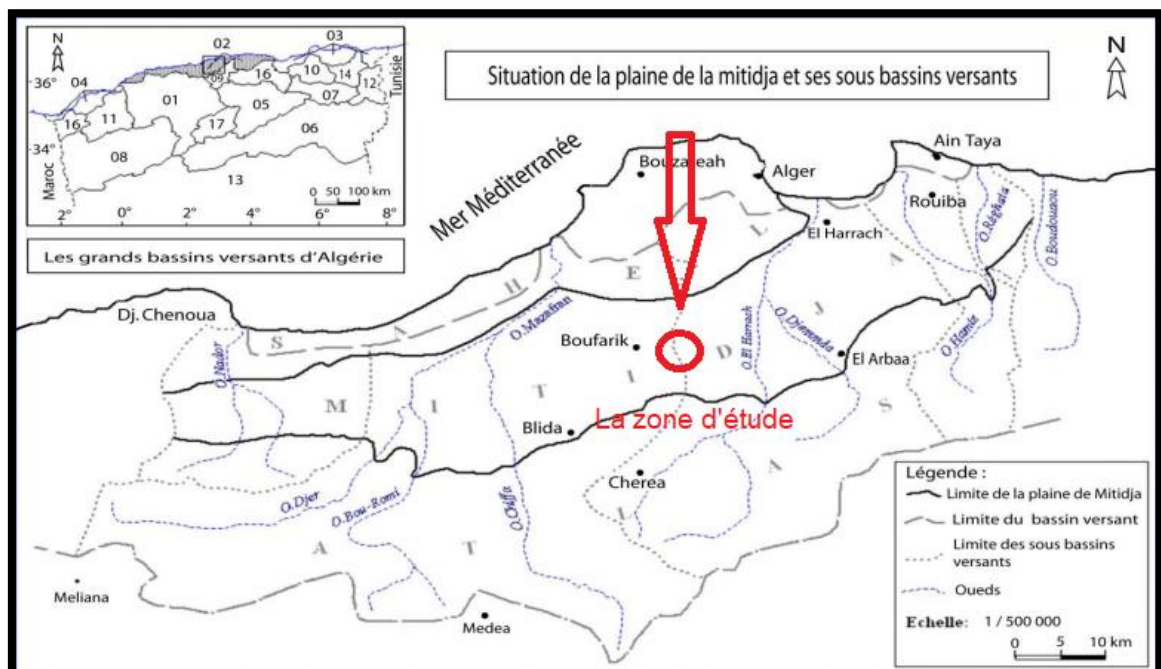


Figure 1 : Situation géographique de la plaine Mitidja. [1]

I.1.2 Situation géographique de la ville de BOUINAN et la localité de MAASSOUMA :

La ville de BOUINAN est située à 14 km à l'est de BLIDA et a 35 km au sud d'ALGER.

BOUINAN est à la fois chef-lieu de Daïra et centre de commune de la wilaya de Blida, elle est limitée par [2] :

- La commune de Boufarik au Nord.
- Les deux communes Chréa et Hammam Meloune au sud.
- La commune de Chebli à l'est.
- La commune de Soumaa à l'ouest.

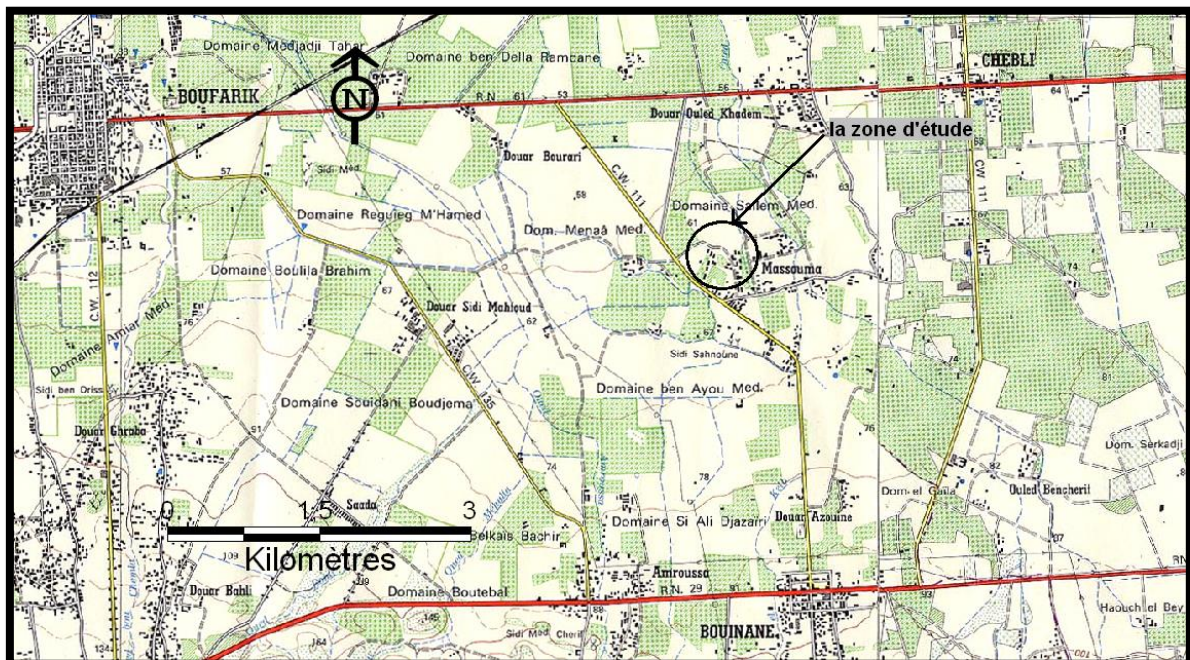


Figure 2 : Situation géographique de Bouinan [27]

I.2 Aperçu climatique

I.2.1 Objectif de l'étude

La connaissance des caractéristiques hydroclimatiques est nécessaire pour les études hydrogéologiques, pour évaluer l'alimentation des réservoirs souterrains par infiltration et pour établir le bilan hydrique. Les données climatiques avec lesquelles nous allons travailler sont issues d'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de BLIDA. Étale sur une période de temps

I.2.2 Cadre climatique

Le climat est désormais le facteur déterminant de premier ordre pour une approche du milieu, il s'agit de l'ensemble des phénomènes météorologiques qui sont principalement la température, les vents et les précipitations.

I.2.3 Les Sources Climatiques

Pour réaliser notre travail, nous avons prendre les informations au niveau de station avec l'aide de MS. SAÏD.

Tableau 1 : Caractéristiques de la station ANRH de la région se SOUMAA

La station	Code de la station	Coordonnées		
		Latitude	Longitude	Altitude
SOUMAA	Station 021234	517.45	355.9	177



Figure 3 : Image satellitaire représente l'emplacement de la station de ANRH [28].

I.2.4 Température :

L'étude hydrologique d'une région comporte l'analyse de son bilan thermique. La température est définie comme l'état atmosphérique de l'air ; elle varie selon les altitudes et la latitude de chaque région

Dans notre région, les températures moyennes mensuelles sont comprises entre les valeurs de 10 et 28 °C

Mois	Jav	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Station ANRH	10.83	12.27	14.58	16.76	21.06	25.54	28.63	28.13	25.4	21.72	15.48	11.88

Tableau 2 : Températures moyennes mensuelles (1999-2021) [27]

Interprétation des résultats :

D'après le tableau 2 on remarque que la température mensuelle est maximale en mois de juillet 28,63 °C et minimale en janvier 10,83 °C.

I.2.5 Les Précipitations :

Les précipitations sont toutes les précipitations atmosphériques qui tombent à la surface de la Terre sous forme liquide et solide. C'est la principale source d'eau douce. Avec des précipitations efficaces, les eaux de pluie alimentent les eaux souterraines par infiltration (I) et les eaux de surface par ruissellement (R) [6].

Tableau 3 : Moyenne des répartitions mensuelles des pluies (période : 2010-2020).

Mois	Jav	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Années
P (mm)	101.8	77.84	88.05	79.89	55.26	17.79	0.26	8.76	21.77	50.6	102	85.5	57.26

I.2.5.1 Précipitations moyennes mensuelles :

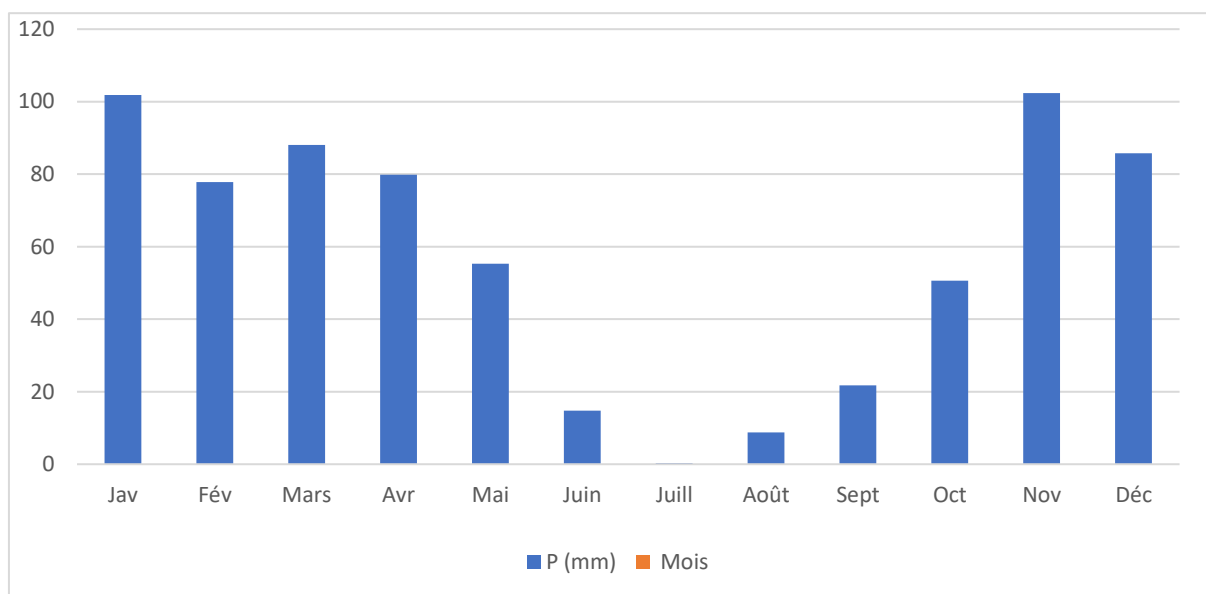


Figure 4 : Histogramme des variations des pluies mensuelles de la station de référence source ANRH (période : 2010-2020).

Interprétation des résultats :

Selon l'histogramme des variations des pluies mensuelles de la station, on observe que la pluviométrie maximale est de l'ordre de 102,35 mm pendant le mois de novembre, et le minimum est de l'ordre de 0,26 mm observée pendant le mois de juillet avec une hauteur moyen totale 57,26 mm.

I.2.5.2 Les précipitations interannuelles :

Tableau 4 : précipitations interannuelles de la station de SOUMAA. [27]

Années	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Précipitation (mm)	790,8	687,3	588,3	610,1	626,5	687,2	882,4	660,8	585,9	466,3	687,1

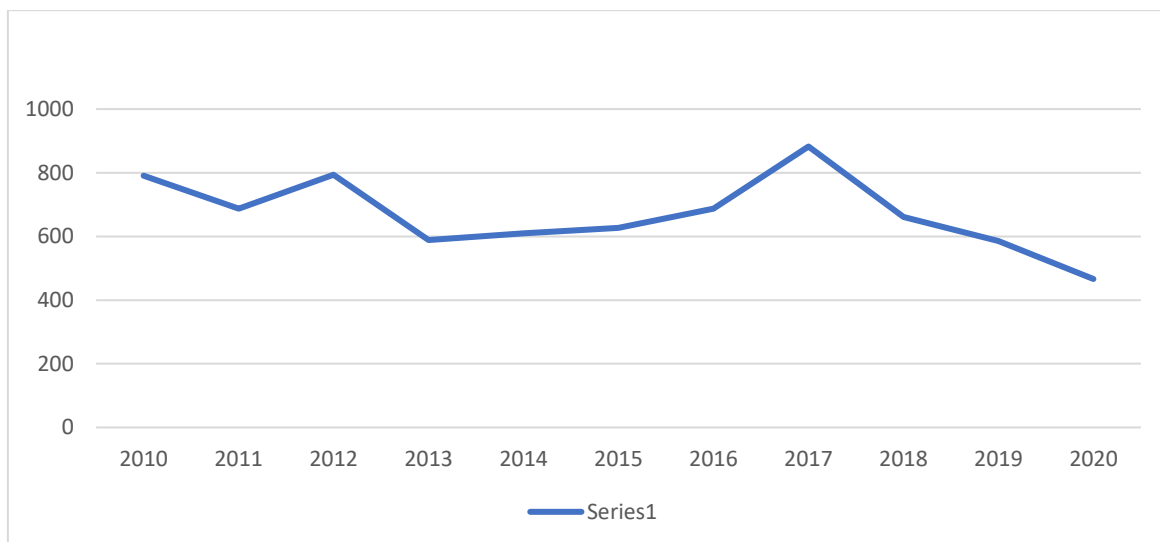


Figure 5 : Courbe des précipitations interannuelles de la station de SOUMAA de la période (2010-2020).

La figure 5 représente la courbe des précipitations interannuelles entre (2010-2020), où on remarque une pique maximale en 2017 et une valeur minimale en 2020.

I.2.6 . Synthèse climatique de la région

I.2.6.1 Diagramme Ombro-thermique

Ce diagramme est obtenu par un graphique où les mois de l'année sont en abscisse, les précipitations moyennes mensuelles (P en mm), en ordonnée de gauche, les températures (T en degrés centigrades), en ordonnée de droite et à une échelle double. La période sèche s'individualise lorsque la courbe des précipitations passe sous celle des températures, c'est à dire lorsque $P < 2T$ [3].

Tableau 5 : Les moyennes des températures et des précipitations dans la région. (ANRH).

Mois	Jav	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
T (°C)	10.83	12.27	14.58	16.76	21.06	25.45	28.63	28.13	25.4	21.72	15.48	11.88
P(mm)	101.8	77.84	88.05	79.89	55.26	17.79	0.26	8.76	21.77	50.6	102	85.5

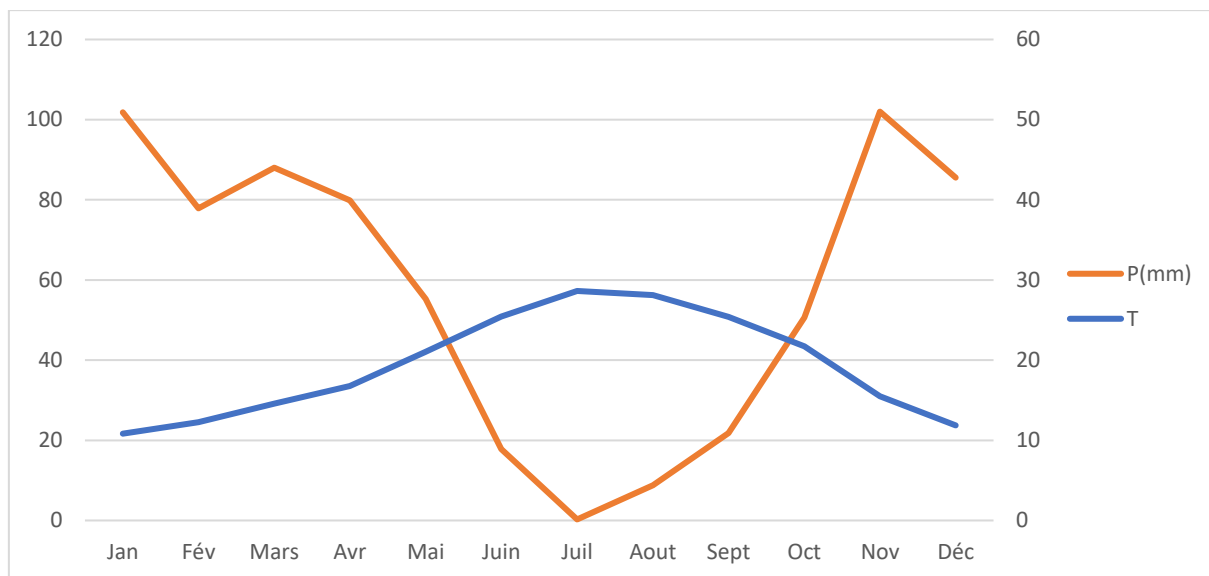


Figure 6 : Diagramme ombrothermique de la station de SOUMAA

La figure (6) montre la présence de deux saisons. La première sèche et chaude, elle s'étend du mois de Juin, jusqu'au mois de septembre (duré plus de 4 mois) avec des températures élevées et des précipitations très basses. La seconde humide, s'étalant sur le reste de l'année, c'est-à-dire du mois de septembre jusqu'au mois de mai.

I.2.6.2 Diagramme d'Emberger (Climagramme d'Emberger)

Les étages bioclimatiques (zone ou ambiance bioclimatique) sont définis par référence au climagramme, cela consiste en un système de coordonnées (m en abscisse et Q1 en ordonnées) [7].

Tableau 6 : Résumé l'ensemble des étages définis par la région méditerranéenne [3].

Q1	P en mm	Zones bioclimatiques
$Q1 < 10$	$P < 100$	Saharienne
$10 < Q1$	$100 < P < 400$	Aride
$45 < Q1$	$400 < P < 600$	Semi-aride
$70 < Q1$	$600 < P < 800$	Sub-humide
$110 < Q1$	$800 < P < 1200$	Humide
$Q1 > 150$	$P > 1200$	Per- humide

Formule suivante :

$$Q1 = (3.43 \times P) / (M - m)$$

Où :

Q1 : facteur des précipitations d'Emberger

P : précipitations annuelles (mm)

M : la température du mois le plus chaud (°C)

m : la température minimale du mois le plus froid (°C)

D'après les données de la période de 10 ans on a : P=687.1mm et M=28.63 °C et

m=10.83 °C donc Q1=132.40mm/°C

Après la position sur le Diagramme d'Emberger, la région d'étude est caractérisée par un climat sub humide

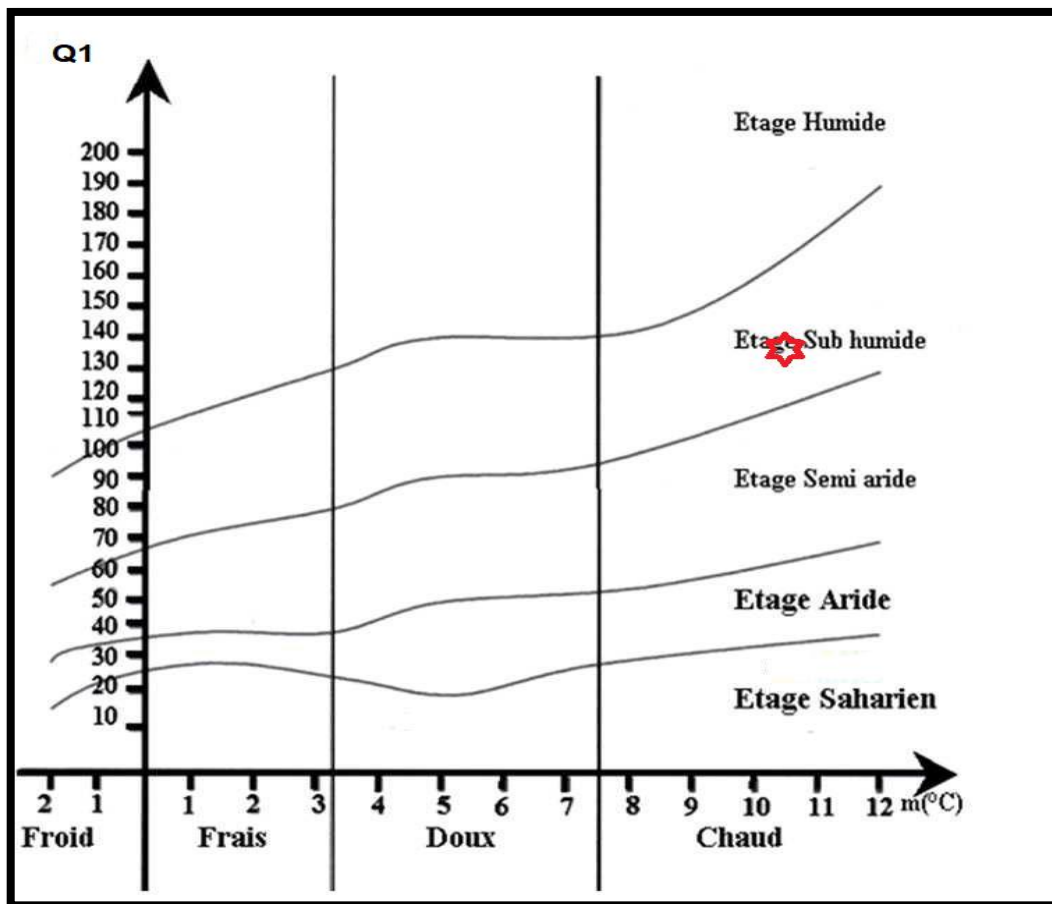


Figure 7 : Diagramme d'emberger (2010-2020) [25].

CHAPITRE 2

Contexte géologique et Hydrogéologique

Introduction :

La Géologie de la Mitidja a fait l'objet de plusieurs études fondées sur les travaux majeurs de Glangeaud et Aymé ,1952 qui avaient établi que la Mitidja était un bassin intra-montagneux formé par effondrement rempli de dépôts d'âge plio-quaternaire [4].

II.Contexte géologique et Hydrogéologique :

II.1.1 Aperçu géologique

La formation du bassin synclinal d'affaissement en-dessous de la plaine actuelle de la Mitidja, a débuté au cours de la période Miocène et s'est poursuivie au cours du Pliocène. Pendant cette période, d'épaisses roches maritimes argileuses (connus sous le nom de Plaisancien et d'Astien argileux) se sont déposées en mer profonde sur des roches carbonatées crétacée. Vers la fin du Pliocène, une série de marnes, de grès et d'argiles (connus sous le nom d'Astien) s'est déposée dans le bassin qui devenait de moins en moins profond. Un plissement léger, qui s'est produit à la fin du Pliocène, et le soulèvement du bassin ont isolé le bassin de la Mitidja de la mer. Au cours de la période post-Pliocène, la sédimentation fluvio - lacustre a été périodiquement interrompue par des intervalles de forte érosion [4].

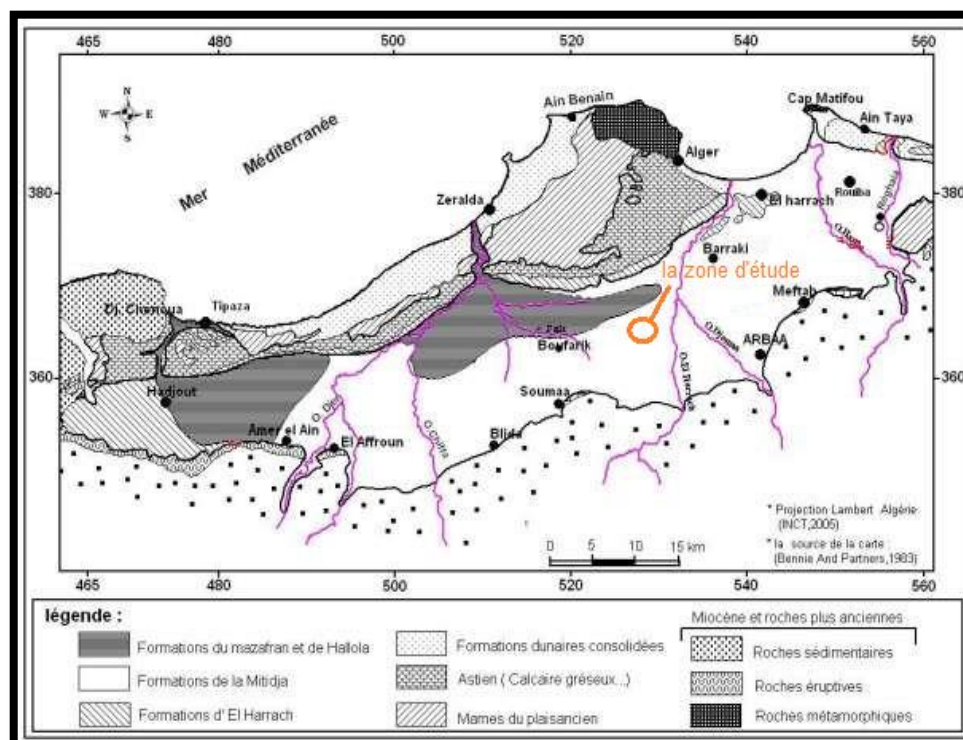


Figure 8 : Carte géologique de la plaine de la Mitidja[29]

II.2 Aperçu hydrogéologique :

Les paramètres lithologiques et hydrodynamiques permettent de personnaliser les 2 principales unités aquifères :

-Les Alluvions du quaternaire

-L'astien gréseux ou grésocalcaire

Les deux aquifères sont plus ou moins continûment séparés par la marne El Harrach [8].

II.2.1 L'aquifère des alluvions du quaternaire :

La nappe alluviale quaternaire de la Mitidja occupe toute la plaine. Il existe dans les formations du Quaternaire (graviers, sables, galets et argiles). Elle repose principalement sur la marne d'El Harrach.

La limite supérieure de l'aquifère est la surface et la limite inférieure est la formation d'El Harrach. Son épaisseur moyenne est d'environ 100 à 130 m

Dans la partie orientale de la plaine, Hamiz et Rouiba 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-Mazafran et Lac Halloula, 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 [5].

II.2.1.1 L'aquifère de l'Astien :

L'aquifère est constitué de grès appelé grès d'Astien, qui se situe sur les marnes bleues de Plaisance. Ils ont des affleurements répandus dans le Sahel, en particulier dans les collines entre Birtota, Birkhadem, El Biar et Birmouredrais. Le grès plonge ensuite vers le sud-est sous les alluvions quaternaires.

La nappe d'Astien présente peu de pression, sauf dans les zones dépourvues d'alluvions quaternaires ou représentées uniquement par des couches argileuses importantes. Les forages pour capter Astien se situent entre 200 et 300 m de profondeur, avec des débits très faibles (entre 15 l/s et 20 l/s en moyenne) [9].

Il a une épaisseur moyenne d'environ 100 m, mais à l'est, surtout Reghaia et Dergana, il n'est que de 40 m. De plus, les aquifères alluviaux n'existent pas dans ces zones, et l'Astien

en récupération constitue le seul aquifère aménagé. 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) [4].

II.3 Aperçu démographique :

II.3.1 Les ressources en eau :

Il convient de rappeler que les ressources en eau sont très inégales selon les pays et même les régions. On considère aujourd'hui qu'un réseau d'eau potable est sûr s'il est capable de fournir à peu près 180 litres par jour et par habitant. Autant dire que ces réseaux sont inexistantes sur la majeure partie de la Planète.

II.3.2 Les Besoins :

La création d'un réseau d'eau potable nécessite de bien estimer les ressources et les besoins. On distingue alors plusieurs types d'usages :

- Besoins Domestiques
- Besoins Industriels
- Besoins des Services Publics

En additionnant les consommations réservées aux usages domestiques, municipaux et industriels, On obtient une consommation totale de 200 litres par jour et par habitant.

II.3.3 La Demande en Eau :

C'est la quantité d'eau qu'il faut mobiliser au niveau des ressources pour faire face aux besoins quantitatifs. Entre demande et besoins, s'intercalent les pertes de transferts et le gaspillage des utilisateurs non industriel. L'écart entre ces deux quantités est donc fonction de l'efficacité de la chaîne de fourniture et de ce que représente l'eau pour l'utilisateur. On considère alors la demande en eau comme la quantité qu'il faut prélever dans le réservoir pour faire face aux besoins de l'utilisateur. Suivant l'intervalle de temps pris en compte, on aura une demande annuelle, mensuelle, hebdomadaire, quotidienne ou horaire. Le terme demande doit donc toujours être précisé en lui adjoignant un qualificatif d'ordre temporel. Elle doit enfin s'apprécier en terme statistique permettant de préciser les valeurs

significatives net les écarts. Ces éléments sont essentiels pour la fiabilité et la sécurité d'un réseau. On considère alors plusieurs cycles de la demande en eau :

Le cycle annuel lié au climat, aux migrations de populations (vacances).

Le cycle hebdomadaire (moins de consommation le Week-End).

Le cycle journalier [10].

II.3.4 Le débit consommé par notre région :

On a admis une norme de 200 litres par jour et par habitant. Il s'agit d'une consommation moyenne annuelle comprenant les usages domestiques et municipaux. En considérant les consommations municipales et industrielles de la région, il faut prévoir à peu près **200 litres** par jour et par habitant.

$$P = P_0 * (1 + \tau)^n$$

$$P_n = 5529 * (1 + 0.018)^{15} \approx 7226$$

$$Q = (\text{dotation} * \text{nbr habitant}) / \text{le temps}$$

$$Q = (200 * 7226) / 84600$$

$$Q \approx 17,08 \text{ l/s}$$

Avec :

P : Population future à l'horizon 2037. (hab).

P₀ : Population actuelle (hab).

n : Nombre d'années séparant l'année de référence à l'horizon considéré.

τ : Taux moyen annuel d'accroissement de la population en (%)

CHAPITRE 3

Généralités sur les techniques du 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 reconnaissance et 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

III. Généralités sur les techniques du forage:

III.1 Méthodes de reconnaissances géophysiques :

La prospection et la recherche des eaux souterraines utilisent d'abord des méthodes de reconnaissances de géophysiques qui sont :

- Méthodes Electriques.
- Méthodes électromagnétiques.
- Méthodes gravimétriques.
- Méthodes sismiques.

Pour la prospection hydrogéologique, la méthode de prospection électrique est la plus utilisée que nous allons la décrire ci-dessous.

III.1.1 Méthodes Electriques

III.1.1.1 A partir de sources naturelles avec la mesure de la polarisation spontanée

Il s'agit d'une très ancienne méthode de prospection géophysique qui a été utilisée en 1830 par Robert FOX pour trouver l'extension d'un dépôt de cuivre deux variantes :

- Mesure de l'amplitude du potentiel :

Dispositif : une électrode est placée loin de la zone d'étude de sorte que l'on puisse la considérer comme à l'infini. Elle reste fixe tandis que la seconde électrode est déplacée le long de profils ou suivant un maillage pour dresser une carte des potentiels.

- Mesure du gradient de potentiel :

Dispositif : on déplace les deux électrodes le long des profils en gardant une distance constante mais faible entre elles.

On divise les voltages mesurés par l'écart entre les électrodes afin de tracer une carte de gradient [26].

III.1.1.2 A partir de sources artificielles avec la mesure de la polarisation induite ou la mesure de la résistivité

Cette méthode de prospection a été inventée par le français François Conrad Schlumberger (1878-1936) originaire de Mulhouse, polytechnicien et ingénieur des mines.

En 1927, ayant effectué des mesures de la résistivité dans un forage pétrolier à Pechelbronn, il réalisa qu'il était possible d'identifier les formations géologiques traversées dans le forage par leur résistivité électrique et en particulier les formations productrices d'hydrocarbures. Dès 1929, associé à son frère Marcel, Conrad Schlumberger mis en œuvre cette technique pour le compte de compagnies pétrolières.

En 1930, ils proposèrent la réalisation de « cartes des résistivités apparentes » pour localiser en surface les anomalies géologiques profondes avec en particulier la réalisation de « Sondages électriques verticaux ».

III.1.1.2.1 Le sondage électrique vertical Schlumberger :

Le sondage électrique vertical Schlumberger est une enquête ponctuelle basée sur la profondeur du site. Le but est de déterminer la distribution de résistivité électrique du site en fonction de la profondeur en vue de l'établissement de la coupe géo-électrique du terrain en ce point. On l'obtient grâce à l'envoi de courant continu dans un dispositif (AMNB) où on fait varier le paramètre d'écartement des électrodes : AB (distance entre les deux électrodes de courant) et MN (distance entre les deux électrodes de potentiel) et de ce fait la profondeur qui leur est proportionnelle [20].

III.1.1.2.2 Objectif du sondage vertical :

La technique du sondage électrique vertical (SEV) est largement utilisée pour la recherche d'eau, permet d'obtenir des informations relatives aux épaisseurs et aux résistivités des différentes couches du terrain, dans le cas de couches approximativement horizontales.

Un SEV est généralement utilisé à [11]:

- Établir la coupe géologique du terrain.
- Déterminer les différents niveaux aquifères.
- Définir le meilleur mode de captage pour la, ou les formations aquifères rencontrées.

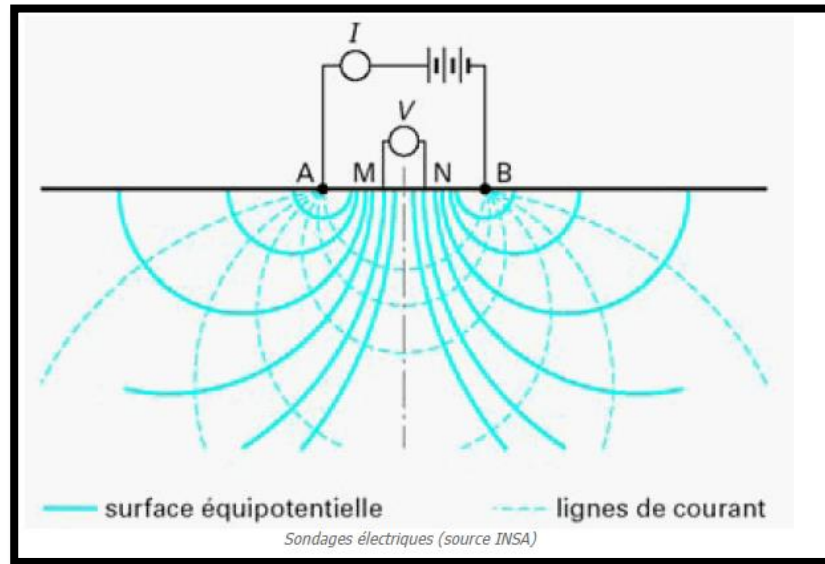


Figure 9 : Sondages électrique.

III.2 Les différentes techniques de forage :

Le système de forage se compose de deux parties : le forage et l'installation du garnissage, comme indique le schéma (Figure10) :

- Installation de forage : C'est la partie qui est au sol. Il est constitué d'une tour appelée derrick (mât), où se trouvent des équipements de levage et de de plancher, permettant la manutention, le vissage et le dévissage des tiges, et le changement d'outils.
- La garniture : fait référence à la partie souterraine du système de forage. Il se compose de deux parties principales :
 - La partie haute formée par le train de tiges,
 - La partie basse formée par le de l'assemblage de fond, communément appelé BHA (« Bottom Hole Assembly » [12]).

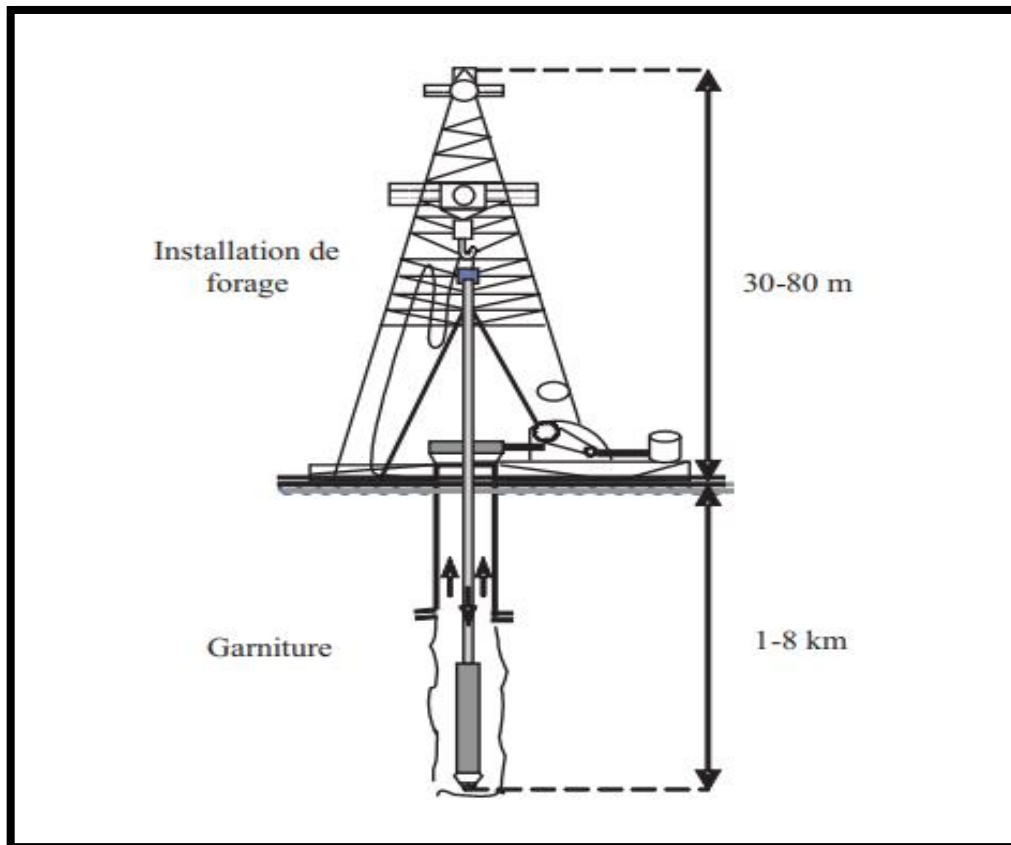


Figure 10 : La plateforme de Forage.

III.2.1 Technique de Battage (à percussion) :

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 fréquence et La hauteur de chute change selon la dureté des formations.

Il existe deux types de battage : le battage par treuil et le battage par câble. La dernière méthode est la plus courante. Le trépan est suspendu à un câble qui est alternativement tendu et relâché. Le mouvement est rapide et le travail de l'outil se fait plus par l'effet de martèlement de l'énergie cinétique que par l'effet de poids pareil pour le battage au treuil. La rotation permet au trépan de tourner automatiquement à chaque coup. Le nettoyage du trou se fait en abaissant la soupape pour soulever les débris (cuttings) [11].

Ce procédé permet de réaliser des forages sans utilisation d'eau ou de boue.

- **Avantage :**

- Il s'agit d'un processus simple et relativement peu coûteux (investissement généralement inférieur à celui des autres processus de forage).
- Pas de fluide de forage (boue), pas de risque de contamination des nappes (pollution).
- Les trépan peuvent être rechargés, reforgés et affûtés sur le chantier.
- Méthode bien adaptée au forage à moyenne profondeur.
- Il est conseillé dans les terrains fissurés, il fournit de très bons résultats.

- **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.

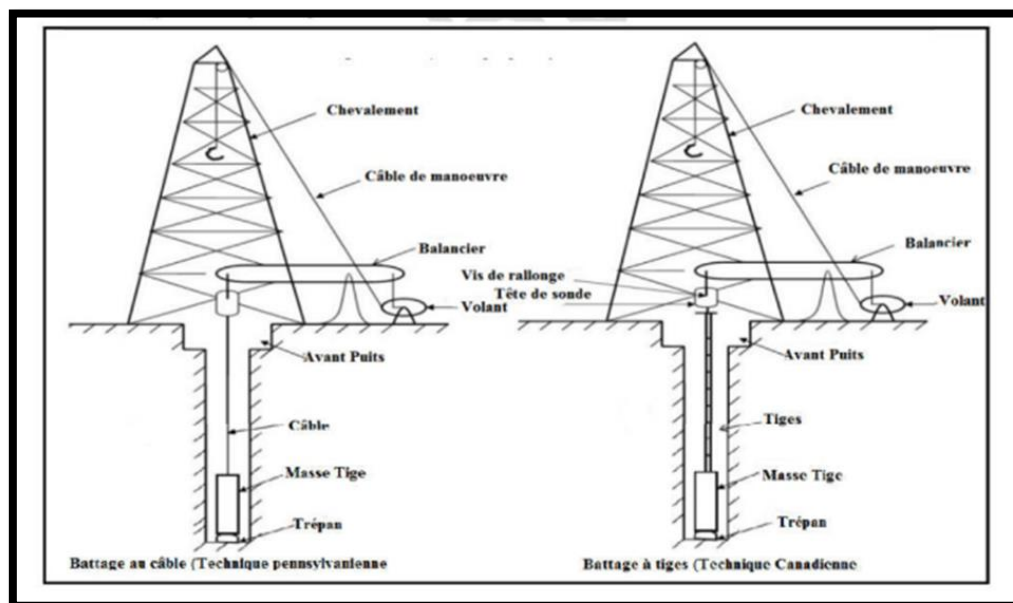


Figure 11 : Forage battage.

III.2.2 La technique Rotary :

Le forage rotary est le processus le plus utilisé et le plus performant dans l'exploitation des eaux et les recherches pétrolières.

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 mis au train de forage et à l'outil par un moteur situé sur la tête de puits de la machine de forage. Les tiges sont creuses, permettant d'injecter de la boue au fond du forage.

Les outils utilisés dans la rotation sont plusieurs types de trépan, en fonction de la dureté du terrain rencontré (outils à lame, outils à particules, molettes ou tricône, outils diamant ou carbure métallique).

Cela indique que l'ensemble du train de tiges ou « ligne de sonde » est composé des éléments suivants (figure12) :

- Une tête d'injection.
- Une tige carrée (Des tiges courantes).
- Des masses-tiges (elles donnent un poids supplémentaire et aide à maintenir la verticalité du trou).
- Un outil.

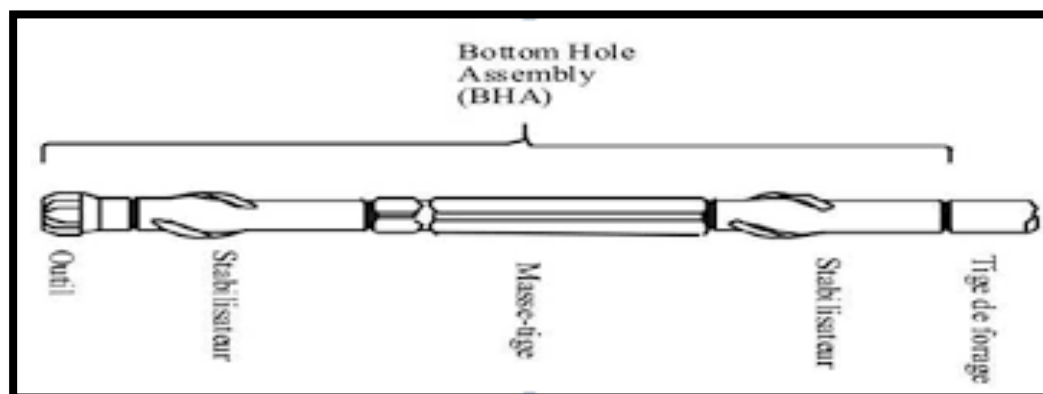


Figure 12 : BOTTOM HOLE ASSEMBLY.

Tous les éléments suspendus à un mouflage installé dans le derrick (mât) dans le cas d'une sondeuse autoportée.

Le forage au rotary nécessite l'emploi d'un fluide de forage préparé sur le chantier, injecté en continu sous pression dans les tiges creuses de la ligne de sonde, sortant au niveau d'évents sur l'outil, et remontant à la surface dans l'espace annulaire (entre les tiges et les parois du trou).

Ce fluide de forage peut être :

- De l'eau claire.
- Une boue à la bentonite (type d'argile).
- Une boue à base de polymères d'origine synthétique, biodégradables.

Le principal défaut de la boue benthonique est d'obturer les niveaux de venues d'eau par un « cake » trop épais, ce qui conduit parfois les hydrogéologues à imposer aux foreurs l'emploi d'eau claire ou de boues biodégradables dans les formations aquifères.

Une fois la foration terminée, le cake forme sur les parois du forage une croûte plus ou moins étanche qu'il faut éliminer au droit des horizons productifs. Parfois, lorsque la pression de l'eau dans le forage est suffisante, le cake se détache de lui-même. Dans le cas contraire, on utilise de l'héxamétaphosphate pour nettoyer le trou.

Dans certains cas particuliers, notamment le nettoyage de trous de gros diamètres, la boue peut être injectée dans l'espace annulaire pour remonter les cuttings dans la ligne de sonde (on parle alors de circulation inverse). Au-dessus du trépan, on peut placer une ou plusieurs masses-tiges [11].

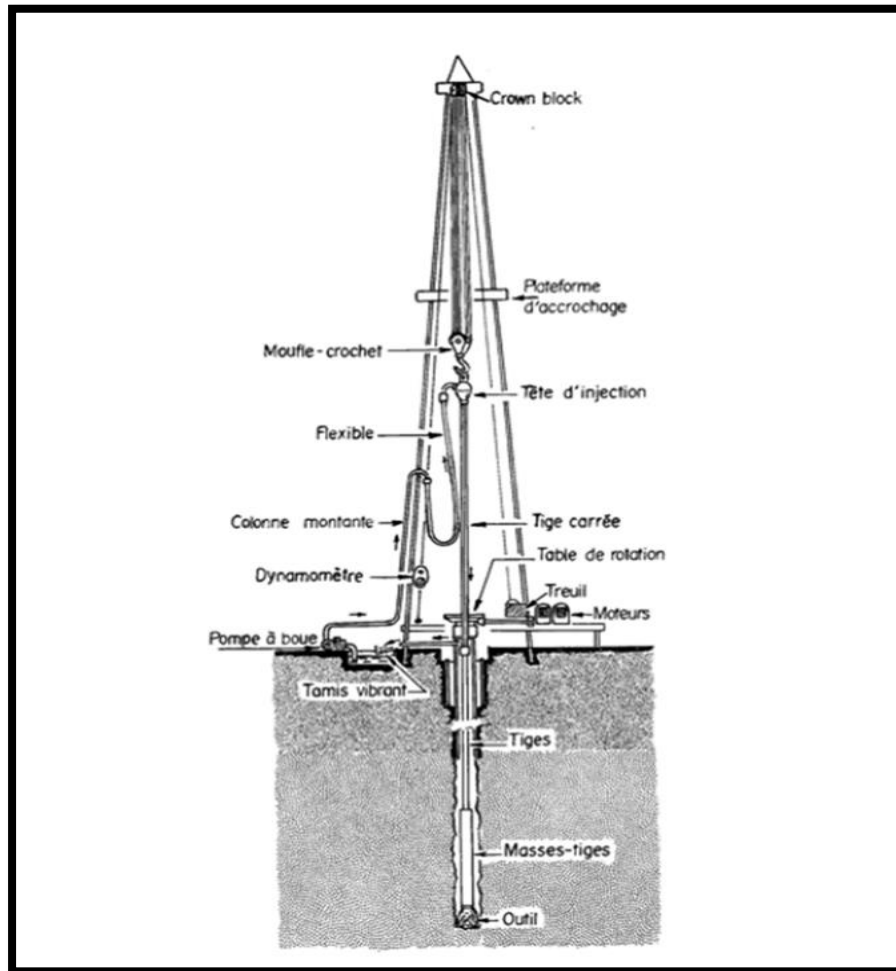


Figure 13 : Forage rotary.

III.2.2.1 Les avantages du forage au rotary :

- Les profondeurs atteintes peuvent être considérables.
- La vitesse de pénétration du sol avance rapidement, jusqu'à 100 m-150 m par jour.
- Le système permet un bon contrôle des paramètres de forage (poids de l'outil, vitesse de rotation, qualité de la boue, taux d'injection de boue) en fonction du terrain à traverser.
- Le forage rotary entraîne une consolidation des parois en terrains meubles par dépôt d'un cake.

III.2.2.2 Les inconvénients du forage à rotary :

- 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.
- 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 [11].

III.3 Exécution du forage :

III.3.1 Les composants d'un appareil de forage :

L'appareil de forage est composé de cinq systèmes :

- **Le système de suspension :**

- Il se compose d'un derrick et d'un treuil électrique qui atteignent une hauteur de 80m.
- Il est situé au sol à sa base.
- Il sert à faire descendre et remonter l'équipement de forage.
- Il fixe également le poids sur le trépan en réduisant partiellement le poids. De toute la garniture.

- **Le système rotation :**

Il est composé de toutes les parties qui permettent la transmission de la rotation à L'outil, c'est à dire, la table de rotation et sa motorisation, la tige d'entraînement ainsi que le train de tiges et la tête d'injection.

- **Le système de circulation de boue :**

Il est relié à une station de pompage qui fait circuler la boue de forage et traite la boue de forage. La boue est en fait un mélange d'eau, d'argile et d'additifs. L'injection continue de boue dans le puits est réalisée sur toute la durée du creusement. La pompe à boue est située à l'intérieur du train de tiges et aspire la boue de l'étang à travers un tube flexible qui monte à travers l'espace annulaire entre la tige et le trou de forage. La circulation de la boue contribue à la lubrification et au refroidissement des pièces mobiles, et au forage en drainant les débris arrachés par le trépan vers la surface. Il en est de même de l'équilibre hydrostatique du puits et de la rotation du trépan par la turbine. Enfin, la boue est très utile pendant le processus de forage car elle fournit des informations sur les propriétés géologiques de l'environnement à travers lequel l'analyse est passée.

- **Le système de production d'énergie**

L'énergie est générée par un moteur à courant continu. Il est envoyé vers divers systèmes, soit électriquement, soit mécaniquement.

• Le système de contrôle du puits

Il sert à détecter et gérer les apparitions soudaines des fluides sous pression, ces irrptions connues sous le nom de kick, peuvent être extrêmement violentes [12].

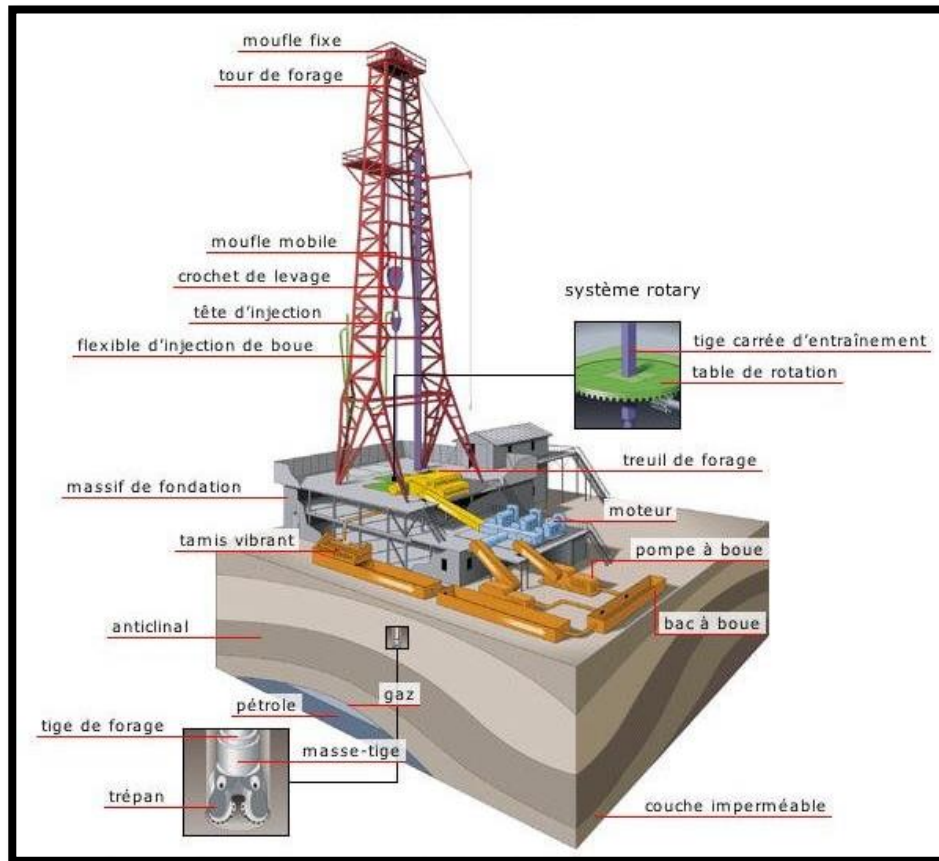


Figure 14 : Appareil de forage.

III.3.1.1 Le mat de forage :

Le mat est une structure en forme de (A) bien étiré. 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 spécial. Cette tour de forage est adaptée aux appareils de forage terrestre nécessitant une grande mobilité. La passerelle d'accrochage est en porte-à-faux et le gerbage se fait sur un plancher indépendant (set back) de la structure du mât.

Les spécifications des mats sont :

- Charge au crochet maximale compte tenu du moufrage.
- Hauteur libre dans le mat.

- Largeur à la base.
- Résistance au vent avec ou sans garniture gerbée.

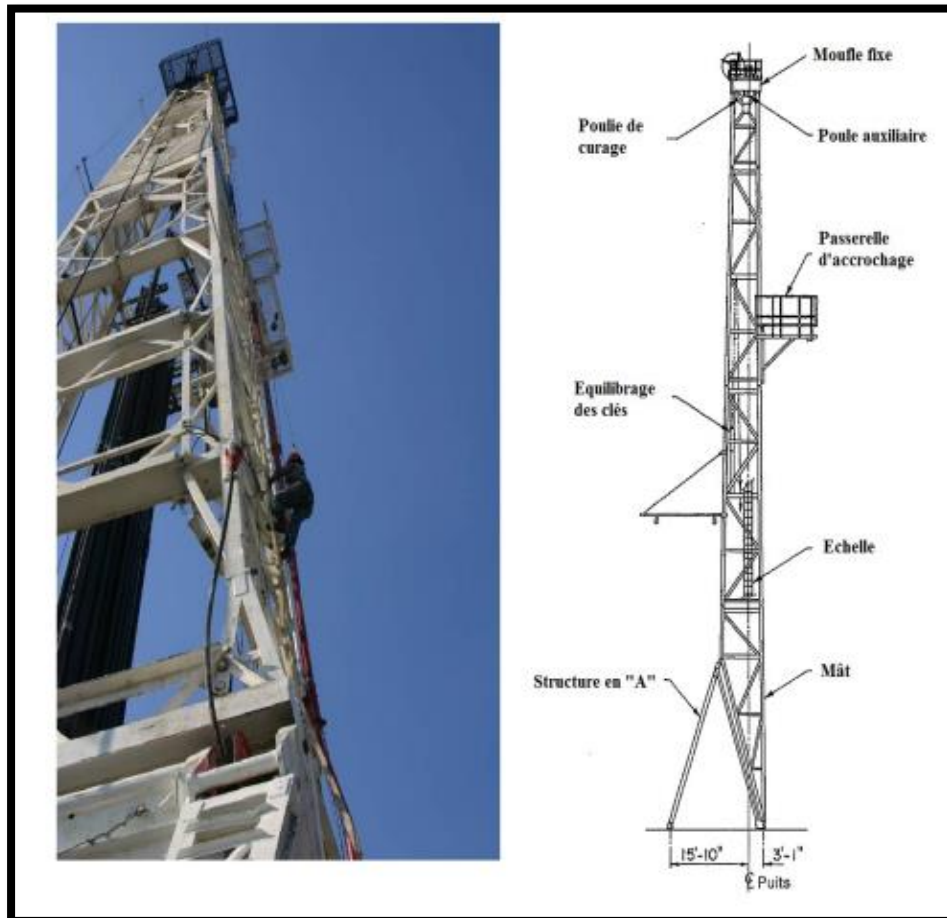


Figure 15 : MAT d'appareil de forage.

III.3.1.2 Les tiges (Drill-pipes) :

Le train de tiges qui est dans la ligne de sonde, est situé au-dessus des masses-tiges, constitue l'arbre de transmission du mouvement de rotation de l'outil, ainsi que la canalisation qui amène la boue au fond du trou.

Cependant le train de tiges doit être maintenu en tension sur toute la longueur, le point neutre, dans des conditions normales de travail, devrait toujours se trouver en dessous, dans les masses tiges.

L'une des préoccupations du foreur est donc de surveiller constamment le Martin-Decker et connaissant la composition de toute la ligne de sonde, de déterminer par différence, la charge sur l'outil et la position du point neutre [11].

III.3.1.3 Les masse-tiges (drill coilars) :

Elles sont placées juste au-dessus de l'outil. Il s'agit d'une série de tubes massifs en acier. Leur rôle consiste à faire du poids sur l'outil.

Si nous nous représentons une ligne de Sonde descendue dans un forage de telle sorte que l'outil ne repose pas sur le fond. Chaque tronçon de cette ligne supporte le poids de ceux qui se trouvent au-dessous de lui. Tous travaillent à la traction, exclusivement (si la ligne ne tourne pas) [18].

- Pas de torsion
- Pas de flambage
- Pas de compression

III.3.1.4 Les aléateurs (Les stabilisateurs) :

Ce sont des tubes beaucoup plus courts que celle des masse-tige, Le diamètre extérieur est proche du diamètre extérieur de trépan. Ils sont placés au niveau des masses tiges et parfois intercalés entre deux masses-tiges pour assurer le centrage et le guidage.

De l'assemblage de fond. Ils maintiennent le trépan perpendiculaire à la formation ce qui améliore ses performances [12].

III.3.1.5 L'outil :

Selon la nature des terrains et l'objet de l'opération, on utilise [11] :

- Les outils à lames (queues de poisson) qui agissent en rabotant le fond du trou.
- Les outils à molettes (rock bits) à trois ou quatre molettes, de denture adaptée au terrain, qui broient, éclatent ou écrasent les roches et produisent les cuttings (déblais, sédiments) remontés par la boue dans l'espace annulaire, entre tiges et terrain, jusqu'au jour.
- Les carottiers, munis de couronnes diamantées ou à carbures métalliques, qui agissent

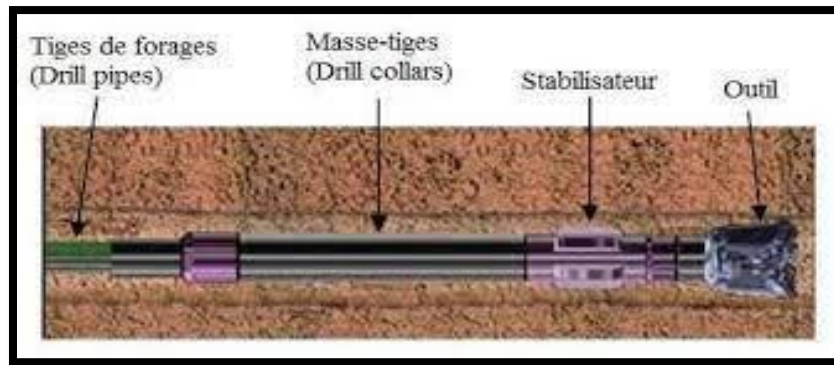


Figure 16 : Garniture de Forage.

III.3.1.6 Mode de travail d'un tricône :

Tricônes ou Quadricornes Trois ou quatre molettes à axe horizontal ou légèrement incliné, montées sur de solides roulements à billes ou à galets.

Ces outils sont munis (comme les outils à lames) d'une partie fileté sur cône qui assure un montage très rapide et, après blocage à la clef, un joint rigoureusement étanche.

La denture des molettes varie selon la nature du terrain fy Les dents sont longues et écartées pour les terrains tendres, elles sont courtes, fines et rapprochées pour les terrains durs.

Ces outils procèdent par écrasement et éclatement de la roche.

Des événements calibrés (duses) ajoutent à l'efficacité des molettes en désagrégeant le terrain sous de puissants jets.

Les outils à molettes sont rapidement mis hors d'usage, rares sont les entrepreneurs qui rechargent les dents usées et, le plus souvent, ces outils périssent par leurs roulements. Dès qu'ils ont pris un peu de jeu, il serait dangereux de les redescendre dans le trou, car ils ne tarderaient pas à laisser au fond leurs molettes et leurs roulements qu'on aurait bien du mal à « repêcher » [11].

III.4 Equipements d'entraînement de la garniture de forage :

III.4.1 La table de rotation :

La table de rotation fournit la puissance nécessaire à travers le train de tiges, à l'outil de forage.

Les sources de dissipation de cette énergie incluent le frottement rotary et L'amortissement des vibrations [12].

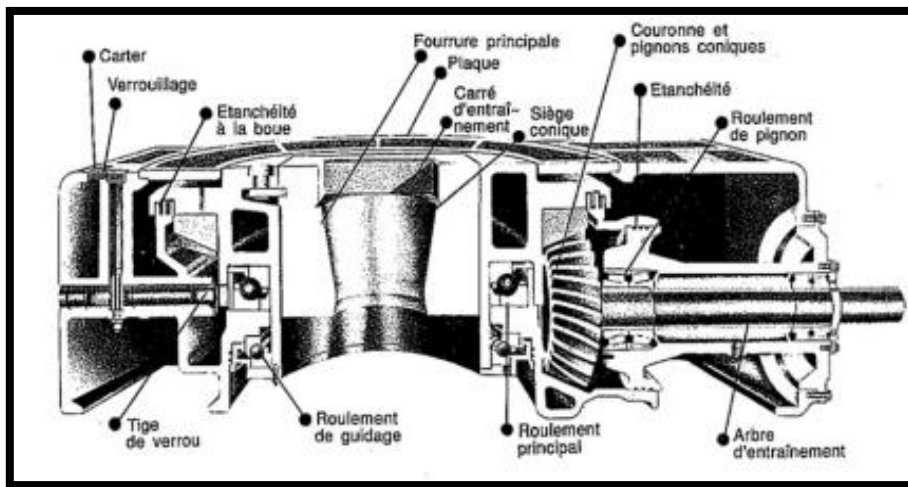


Figure 17 : LA Table de Rotation.

III.4.2 La tige d'entraînement (La tige carrée – Kelly) :

C'est une pièce unique dans la ligne de sonde. Il est exécuté avec précision à l'usine et doit être traité avec le plus grand soin pendant les manœuvres. Il est conseillé de vérifier fréquemment le filetage du raccord inférieur de la tige carrée ou de la Kelly. En effet, s'il est avarié, il ne manquera pas d'abîmer successivement toutes les tiges qui viendront s'y raccorder. Il est bon d'ajouter un raccord supplémentaire dit « raccord d'usure » qui pourra être changé fréquemment.

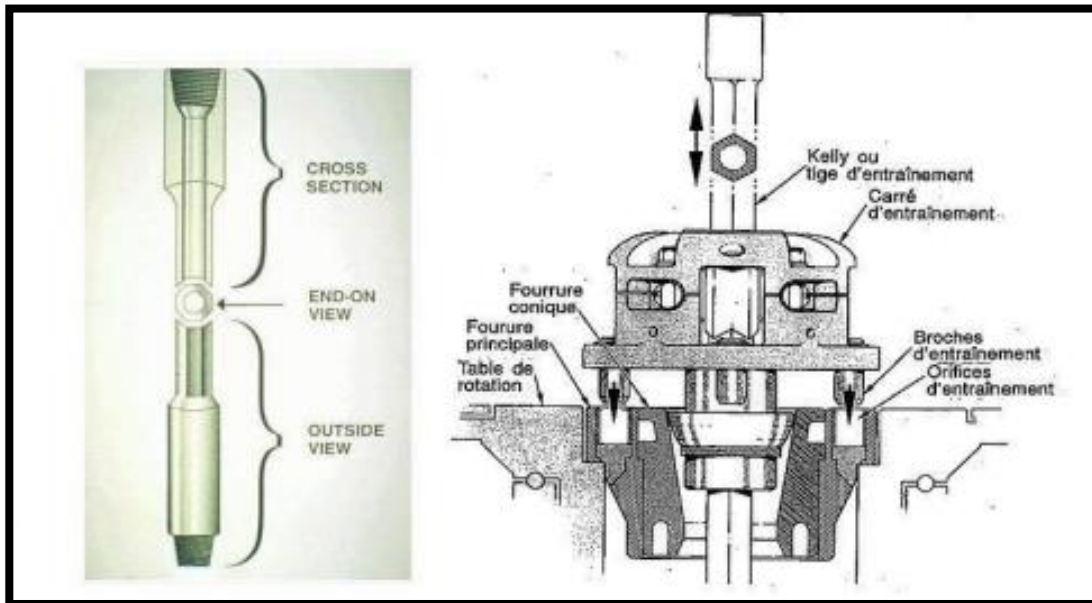


Figure 18 : Tige d'entraînement.

III.4.3 La tête d'injection [swivell] :

La tête d'injection représente le mécanisme qui relie la partie mobile d'une installation de forage à la partie fixe. En effet La tête d'injecteur est accrochée au crochet d'un côté et vissée sur la tige carrée de l'autre côté pour [17]:

- Des roulements à l'assemblage du train de tige pendant le forage.
- Il garantit que la boue de forage d'un tuyau fixe (Flexible d'injection) pénètre dans un tuyau entraîné par un mouvement rotatif (train de sonde).
- La tête d'injection est constituée d'une partie mobile fixée à la partie fixe au moyen de roulements à billes principaux, l'étanchéité de ce point est assurée par des joints spéciaux. Il est également fixé sur la partie inférieure de la tête d'injection pour éviter que l'huile ne s'échappe du presse-étoupe

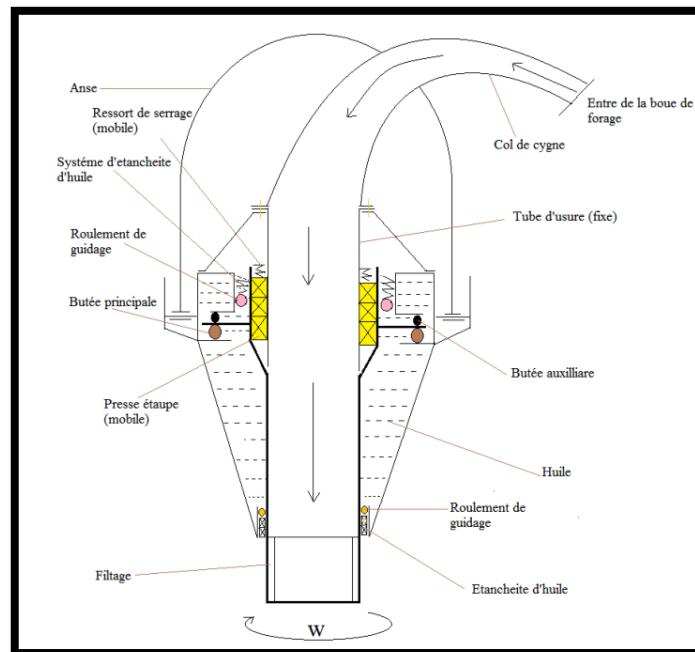


Figure 19 : Tête d'injection.

III.4.4 Générateurs du courant (Le moteur) :

Dans presque tous les cas, le moteur diesel fournit la puissance nécessaire pour forer le puits. L'électricité est alors délivrée électriquement ou mécaniquement. Dans le cas du forage profond, les générateurs entraînés par des moteurs diesel sont le plus souvent utilisés. L'option "électrique" présente de nombreux avantages, notamment une réduction du bruit et une organisation de chantier plus facile.

III.5 Réalisation d'un forage rotary :

III.5.1 Avant trou :

Tous les forages sont réalisés en plusieurs étapes et sont soumis à une réglementation solide et rigoureuse. Après un avant-trou préparatoire réalisé par le génie civil, un premier trou de diamètre 36" (~0.914 m) est réalisé depuis la surface jusqu'à une centaine de mètres pour stabiliser le site de lancement (enferme une formation plate pour éviter la possibilité de glissements de terrain et pour assurer l'imperméabilité des puits afin d'éviter la contamination des eaux souterraines). Ce premier trou est immédiatement consolidé par un premier cuvelage (casing) de diamètre 30" (0.762m) en acier, légèrement plus petit, qui est cimenté pour assurer la cohésion entre le terrain et le tube [19].

III.5.2 Foration :

Un outil (trépan) (avec la tige vissée) fixé à l'extrémité de la ligne de sonde est entraîné à vitesse variable en rotation et en translation verticale sous l'action d'une partie du poids de la ligne de transducteur ou de la pression hydraulique... Ce mouvement permet d'injecter de la boue au fond du forage.

Les outils rotatifs sont différents types de forêts (outils à lames, outils à pastilles, molettes ou tricône, outils diamantés ou à carbures métalliques) selon la dureté du terrain rencontré. Un ou plusieurs masses-tiges très lourds peuvent être placés sur le dessus du trépan pour augmenter la pression verticale sur l'outil et augmenter la pénétration et la rectitude du trou. La rotation est donnée au train de tiges et aux outils par un moteur situé dans la pelle de tête de puits [19].

III.5.3 Fluides de forage :

III.5.3.1 Boue de forage (Bentonite) :

Les bentonites sont caractérisées par les limites d'Atterberg [11] :

- 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.

On distingue plusieurs types de bentonites :

- Les bentonites calciques naturelles ;
- Les bentonites sodiques naturelles qui gonflent plus que les bentonites calciques naturelles, ce sont elles qui seront utilisées dans les boues de forage.
- Les bentonites permutées qui sont des bentonites calciques transformées en bentonites sodiques par ajout de carbonate de soude, le gonflement de ces bentonites peut varier de 10 à 15 fois.
- Les bentonites calciques activées qui sont des bentonites permutées, dopées par ajout de polymères améliorant leur gonflement (de 10 à 25 fois)

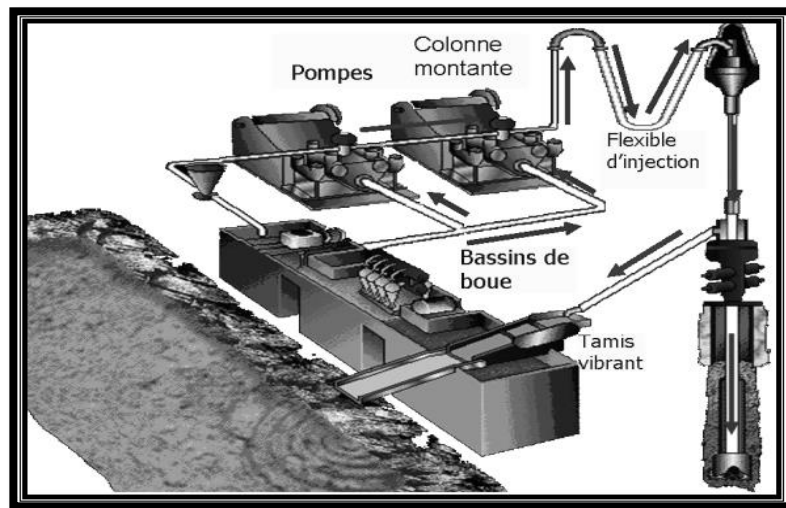


Figure 20 : Fluides de forage.

III.5.3.2 Rôle de la boue :

Le fluide de forage a plusieurs fonctions, notamment :

- 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).
- Donner des renseignements utiles sur d'éventuelles venues d'eau ou pertes de charge grâce au suivi du niveau dans les bacs à boue.

Etant donné ses multiples fonctions, la composition du fluide doit être étudiée avec le plus grand soin. On en distingue classiquement deux grandes familles :

- Les fluides à base d'eau.
- Les fluides à base d'air.

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 [11].

III.5.3.3 Caractéristiques de la boue de forage :

La boue est un mélange colloïdal dont les caractéristiques doivent être vérifiées régulièrement et modifiées selon les cas pour conserver les qualités rhéologiques qui lui sont nécessaires : densité, viscosité, filtrat, cake, pH et teneur en sable [11].

III.5.4 Fosses à Boue :

Les fosses à boue constituent une réserve de fluide de forage et permettent son recyclage par décantation. Elles se forment d'une fosse de décantation, d'une fosse de pompage et de canaux.

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 ≥ 2 m) et d'une section de 0,2x0,2 m. L'axe du second canal doit être décalé de celui du premier pour favoriser la décantation. Sa section est de 0,2x0,2 m.

Les fosses et les canaux sont régulièrement curés et nettoyés des sédiments déposés en cours de forage. Le dimensionnement des fosses à boue se fait en fonction de la profondeur du forage à réaliser. Une méthode approximative de dimensionnement est avancée par E. Drouart et J.M. Vouillamoz [23] :

- Le volume total des fosses = 3. Volume du forage.
- La fosse de décantation :
 - Largeur (m) = $[\text{volume du forage (en litre).0,57}]^{1/3}$.
 - Longueur (m) = 1,25. Largeur
 - Profondeur (m) = 0,85. Largeur
- Fosse de pompage :
 - Largeur = $[\text{volume du forage (en litre).0,57}]^{1/3}$.
 - Longueur = 2,5. largeur
 - Profondeur = 0,85. largeur

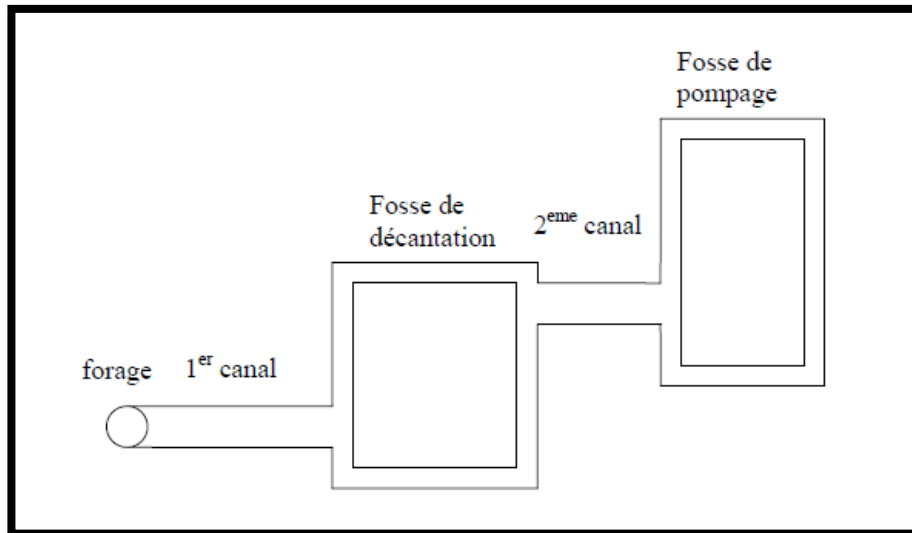


Figure 21 : Fosse à Boue.

III.6 Creusement :

III.6.1 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 [11] :

- 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.

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

III.6.2 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 [24].

III.6.3 Forage de reconnaissance :

Ce fait par un outil 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 (poids ou pression d'un vérin hydraulique ou pneumatique). Une boue, dont la composition et la consistance sont fonction du terrain rencontré, circule à l'intérieur des tiges et de l'outil, lui-même muni d'évents, et provoque la remontée au sol des déblais (cuttings) détachés du fond par cet outil.

En même temps, cette boue tapisse les parois du trou qu'elles consolident en attendant la mise en place du tubage de soutènement. Arrivée au sol, la boue est décantée dans des canaux et arrive dans un ou plusieurs bacs ou fosses étanches où se produit l'aspiration d'une pompe à boue qui Le circuit est fermé en repoussant la boue qui l'a enlevée (cuttings) dans la ligne de sondage. Ces derniers, déposés dans les canaux, sont soigneusement recueillis et examinés, ils constituent les échantillons du terrain en cours de forage.

Nous attirons cependant son attention sur les points suivants [21] :

- Bien observer la circulation de la boue,
- Poursuivre le forage de reconnaissance en profondeur pour détecter et situer éventuellement les diverses couches aquifères stratifiées qui peuvent se trouver séparées par des lits stériles

III.6.3.1 Prélèvement des échantillons :

Le forage à la boue permet, nous l'avons vu, de fournir à la surface, dans les canaux de décantation, des échantillons, broyés ou non, du terrain rencontré par l'outil au fond du trou. S'il s'agit de forage rotary, ces échantillons contiennent une forte proportion de la boue de circulation. Il faudra en tenir compte au moment de l'analyse.

Il est toujours préférable de prendre trop d'échantillons que de regretter d'avoir manqué de prélever les plus intéressants. Voici le programme minimum [21] :

- 1 - Prendre un échantillon dès que l'on rencontre une formation aquifère.

2 - Prendre un échantillon chaque fois qu'apparaît, en forage, un changement de terrain ou bien, si l'on n'observe pas de changement, prendre un échantillon tous les 2 mètres environ

III.6.3.2 Enregistrement et interprétation des diagraphies :

La diagraphie est une technique géophysique mise en œuvre à l'intérieur d'un forage de faible diamètre. Elle sert à mesurer en place les paramètres physiques du terrain, avec la meilleure résolution verticale possible (résistivité, radioactivité, vitesse de son) ou des paramètres géométrique tels que le diamètre intérieur du trou et l'épaisseur des dépôts de la boue (cake). Elle consiste à descendre une sonde électrique à l'intérieur du forage avec un enregistrement en surface par l'intermédiaire d'un appareillage bien spécifique.

Les enregistrements effectués sont :

- Polarisation spontanée
- Les Résistivités électriques : PN 16" - GN 64"
- Diamètre (Caliper)
- Gamma-ray

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 la PS qui ont permis de situer les niveaux argileux. L'enregistrement des résistivités permet d'apprécier la qualité lithologique des niveaux aquifères [21].

III.7 Équipements de forage :

Les forages sont conçus pour permettre l'extraction de l'eau des formations aquifères. C'est pourquoi, quelle que soit la méthode de foration choisie, l'équipement est toujours constitué d'une colonne de d'exploitation qui maintient la surface au-dessus du non aquifère, et une partie crépine alignée avec l'aquifère lui-même (sauf dans le cas très particulier de crépines suspendues). Il ne faut pas oublier que d'un point de vue qualitatif, il faut faire l'exploitation dans les meilleures conditions possibles :

- Pas de pollution de l'eau au droit de l'ouvrage.
- Pas d'entraînement d'éléments solides.

Du point de vue quantitatif :

- Obtention du plus fort débit compatible avec les caractéristiques de l'aquifère et la proximité éventuelle d'autres ouvrages exploitant le même aquifère.
- Recherche du plus fort débit spécifique possible (débit par unité de rabattement).

III.7.1 Tubages :

Le diamètre du tubage sera fonction du débit espéré. Et dans les cas les plus fréquents le diamètre s'évalue par le débit maximal.

Le choix du type du tubage sera ensuite fonction de la résistance aux diverses sollicitations [11]:

- Efforts de traction.
- Efforts d'écrasement.
- Efforts d'éclatement.
- Efforts de flambage

Le tubage de réalisation de forage peut se faire suivant trois formes : Tubages complets, Tubages télescopique et Tubage en colonne perdus [23].

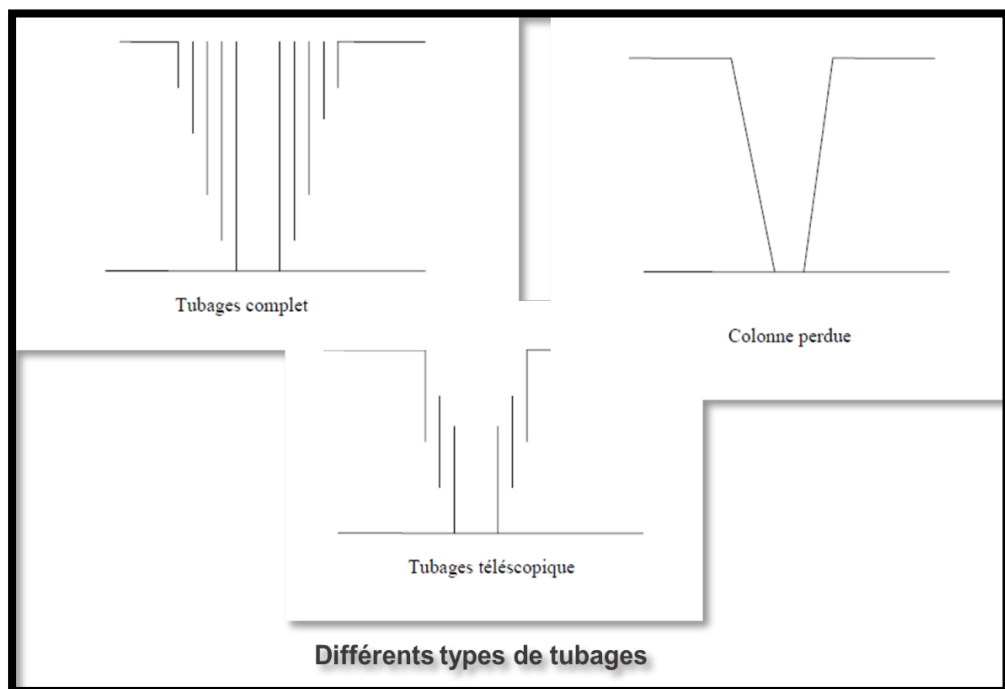


Figure 22 : Différents types de tubages.

III.7.1.1 Mise en place du tubage :

Pour éviter les risques d'effondrement de terre dans le trou du forage (qui sont de plus en plus importants si la profondeur du forage devient importante), on recommande de placer le tubage le plus rapidement possible.

Le plan de tubage (longueur et emplacement de tubes pleins et de tubes crépines) s'établit en fonction de la coupe hydrologique et hydrogéologique du forage. Le bas du tubage doit être constitué d'un tube plein d'environ 0,5 m bouché à sa base. Le tubage ne descend pas toujours jusqu'au fond du forage, il est nécessaire de réduire la longueur du tubage de 0,5 à 1 m par rapport à la profondeur réelle forée. Le dernier tube doit être au-dessus de la surface de sol d'environ 0,5 m. Le tubage doit descendre librement sous son poids propre. Il est recommandé parfois de descendre le tube sans bouchant de fond pour pouvoir glisser le long des parois puis on obture le fond du forage par un laitier de ciment [23].

III.7.2 Les 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 [11]:

- Permettre 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 ;
- Avoir une longévité maximale ;
- Induire des pertes de charges minimales.
- Le plus souvent, dans le cas d'une nappe artésienne unique, les ouvrages de captage sont de l'un des deux types suivants :
- Ouvrage à équipement monolithique
- Ouvrage télescopé à crépine de diamètre inférieur à celui du tubage d'occultation des niveaux supérieurs

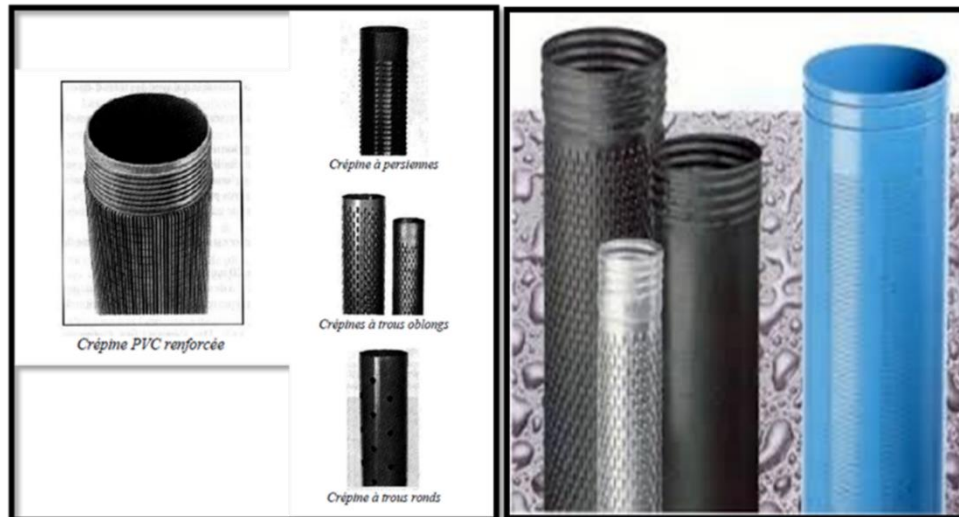


Figure 23 : Différents types de tubages Crépines.

III.7.3 Massif filtrant (gravier additionnel, massif de gravier) :

Le massif de gravier sera constitué d'un matériau :

- Propre, sans éléments fins argileux ;
- À éléments plutôt arrondis qu'anguleux, pour limiter les pertes de charges ;
- Siliceux (surtout pas calcaire) pour éviter tout risque de cimentation ou de dissolution au contact avec l'eau ou durant les phases d'acidification.

L'épaisseur du massif de gravier doit se situer entre 3 et 8" (75 et 200 mm), en fonction du diamètre de foration. Il sera généralement mis en place jusqu'à une cote supérieure de plusieurs mètres à la cote du toit de l'aquifère ou du toit de la partie crépine. Cette réserve de gravier est indispensable pour compenser le tassement par gravité du massif filtrant.

Par ailleurs, il faut savoir qu'un massif filtrant de granulométrie surdimensionnée dans une formation sableuse fine, peut provoquer un ensablement de l'ouvrage. Par contre, un massif filtrant de granulométrie trop fine peut conduire à une exploitation partielle du potentiel de la nappe et rend difficile l'élimination de la boue de forage. D'où l'intérêt de ne pas utiliser la boue bentonique [11].

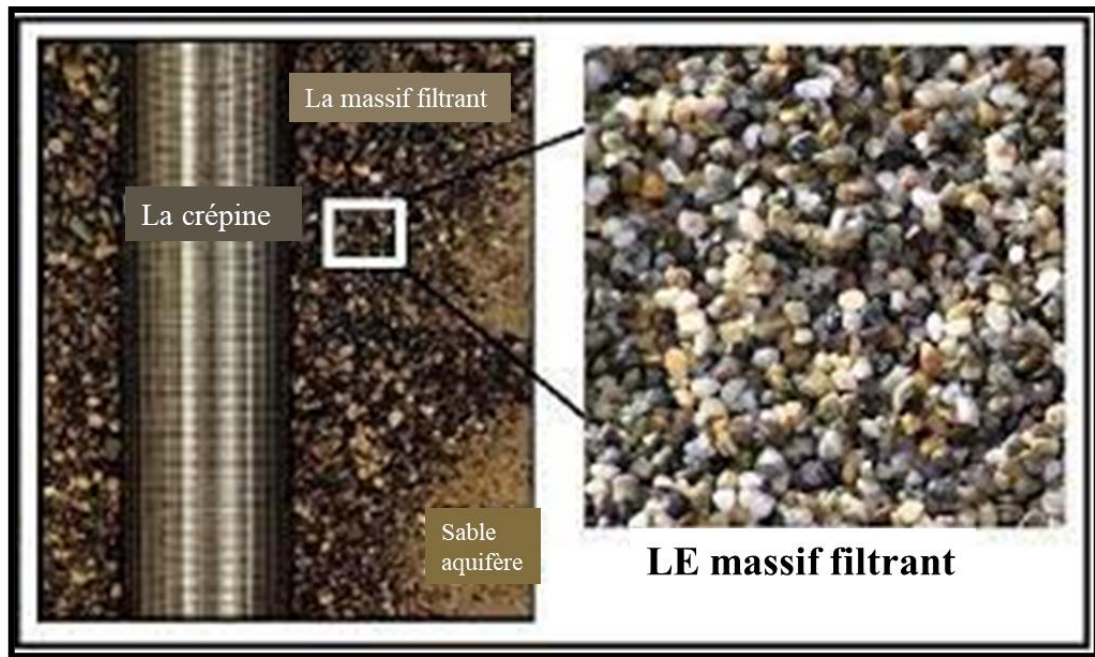


Figure 24 : Massif filtrant

III.7.4 Développement du forage (Objectif de 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 [11].

III.7.4.1 Les différentes méthodes de développement :

III.7.4.1.1 Le développement par pompage et sur pompage :

- Développement par sur pompage :

- C'est la méthode la plus simple. Elle consiste en un pompage à un débit très supérieur au débit d'exploitation estimé.
- Il y a des risques de développement irrégulier selon les variations verticales de perméabilité du terrain.
- Il est possible que ce type de développement provoque une compaction des sédiments fins entraînant une diminution de la perméabilité.
- Il y a enfin des risques de création de « ponts de sable » et donc d'une diminution de la perméabilité, par un flux unidirectionnel.

- Développement par pompage alterné :

- Alternance de démarrages et d'arrêts brusques de la pompe afin de créer de brèves et puissantes variations de pression sur la couche aquifère, inversant le flux à travers la crépine.
- Facilite la destruction des ponts de sable.
- Risques d'usure du matériel de pompage [11].

III.7.4.1.2 Développement par pistonage :

- Mouvement vertical ascendant et descendant d'un piston dans l'ouvrage créant, à la descente, une compression de la nappe avec refoulement de l'eau et des fines dans la formation et, à la remontée, une dépression attirant les fines et l'eau dans la crépine (les fines sont ensuite récupérées dans la crépine).
- Pour être efficace le piston doit rester dans la partie supérieure non crépine.
- Inversion du flux à travers la crépine permettant l'élimination des ponts de sable [11].

III.7.4.1.3 Développement par Lavage aux jets à grande vitesse :

- C'est une méthode simple, dans laquelle un outil à jets d'eau sous pression permet, par rotation et déplacement vertical, de traiter toute la longueur de crépine.
- Les particules fines pénètrent dans la crépine où elles sont récupérées ensuite par pompage ou avec une soupape ;

- L'efficacité du procédé dépend du type de crépine : elle sera maximale pour des crépines à ouverture continue du type Johnson [11].

III.7.4.1.4 Développement à l'air lift (pneumatique) :

Ce procédé utilise le même principe que le développement par pistonage, en combinant l'action de flux et de reflux de l'aquifère autour de la crépine, provoquée par les grands volumes d'air introduits dans le forage. Ce procédé s'utilise aussi bien dans les terrains consolidés que non consolidés. Deux méthodes distinctes peuvent être utilisées :

- La méthode à forage ouvert, qui consiste à alterner les phases de pompage à l'émulseur et de soufflage brusque.
- La méthode à forage fermé, pour laquelle le casing est hermétiquement clos par un joint [11].

Le barbotage est une technologie in situ qui consiste à injecter de l'air dans la zone saturée et sous le niveau supérieur de la nappe phréatique pour oxygéner l'eau souterraine et favoriser la volatilisation des contaminants de l'eau ou des sols.

Durant le traitement, de l'air sous pression est injecté dans la zone saturée contaminée. Au contact de l'air, les composés organiques se volatilisent et migrent vers la zone d'infiltration pour être récupérés. L'injection d'air peut se faire à partir de puits verticaux ou horizontaux, à l'aide de tranchées ou de barrières réactives.

Les contaminants ne sont pas détruits par cette technologie, ils sont transférés physiquement de la phase liquide ou adsorbée à la phase gazeuse afin de faciliter leur récupération. Le barbotage est souvent mis en œuvre conjointement avec un système d'extraction des vapeurs dans le sol, afin que les contaminants à l'état gazeux soient ensuite captés, puis traités.

Le barbotage stimule également la biodégradation des composés organiques dans les zones de percolation et de saturation due à l'apport d'oxygène [19].

III.7.4.2 Développement chimique :

Ce moyen est utilisé pour les terrains aquifères renfermant des éléments que le produit employé permet d'éliminer en les solubilisant :

L'acide, injecté par gravité ou mieux sous pression, protège les crayons et les tubes en ajoutant des inhibiteurs de corrosion et parfois des agents mouillants pour favoriser la

corrosion. Grâce à l'injection continue d'acide et d'eau sous pression, la perméabilité au sous-sol est améliorée. L'acide chlorhydrique peut élargir les canaux d'eau dans les sols calcaires. Ça bouge très vite. Il peut être répété en fonction des améliorations observées. L'alternance de pompage et de pulvérisation élimine les impuretés formées d'oxyde de fer ou d'oxyde d'aluminium dont les dépôts peuvent colmater les fissures. Ces impuretés sont retenues en solution en abaissant le pH à des valeurs basses en ajoutant de l'acide citrique ou de l'acide lactique (10 grammes par litre). Le volume de la première injection correspond au volume du forage : augmenter le volume du canal pour tenir compte de la dissolution du sol.

L'acidification est rapide et il n'est pas nécessaire de laisser la solution en place ; il est préférable de faire une pompe propre et de répéter. Le produit de sortie doit avoir l'état d'acidification résiduelle le plus bas possible. Cependant, si des produits de nettoyage sont rejetés dans les cours d'eau, des précautions doivent être prises pour éviter d'endommager la faune piscicole. Il s'agit notamment de réduire les niveaux de chlorure en allongeant le temps de pompage ou d'injecter une solution de soude dans le drain pour ajuster le pH à celui de la rivière.

Aux polyphosphates : Agissant sur les échanges sodium-calcium, ils provoquent la défloculation des argiles, ensuite éliminées par pompage. Ils ne sont à employer que dans des terrains peu colmatés par des éléments argileux. Ils donnent de très mauvais résultats dans les terrains nettement argileux. Leur mise en œuvre s'effectue par des pistonages successifs pour obtenir un effet mécanique qui déstabilise le dépôt argileux. Différents produits provenant de sels de soude (pyrophosphates tétrasodiques hexamétaphosphate de sodium, etc..) peuvent être utilisés. Leur limite d'emploi est fixée par la température qui doit rester inférieure à 60-70° C. Leur action varie avec le pH. Les échantillons du terrain aquifère seront analysés pour consulter les fournisseurs et fixer un choix. A doses faibles, les solutions de polyphosphates permettent de dissoudre le dépôt formé sur la paroi du forage par le fluide de circulation. Les techniques de développement peuvent faire succéder de courts pompages de débit supérieur au débit d'exploitation (de 20 à 30 %), des circulations d'air comprimé et des injections intermittentes de polyphosphates afin de dé flocculer les argiles. En cas d'acidification des précautions sont à prendre. Les polyphosphates placés dans un

milieu acide tendraient à effectuer une réversion en ortho phosphates agissant comme un flocculant pour les argiles.

III.8 Les essais de pompage :

Des expériences de pompage à débit constant dans des puits et des forages ont été menées avec un test de débit (pompage d'essai) qui comprenait la mesure de l'augmentation de la baisse du niveau d'eau piézométrique en fonction du temps de pompage et de l'augmentation après l'arrêt du pompage.

Les interprétations sont données par résolution graphique des équations de l'hydrodynamique souterraine en régime transitoire (non permanent). Les essais de pompage sont des tests portant sur les modifications hydrodynamiques du complexe formé de l'ouvrage d'exploitation (forage, puits) et le milieu aquifère enregistrées après provocation par pompage à un débit donné [23].

III.8.1 Objectifs des essais de pompage :

- 1) La détermination des différentes caractéristiques hydrodynamiques de la nappe
Aquifère :
 - La perméabilité K
 - La Transmissivité T
 - L'étendue de la nappe : le rayon d'action R_a (rayon d'influence)
 - Le coefficient d'emmagasinement S
- 2) Le réglage optimal d'exploitation d'un forage pour éviter la surexploitation et l'assèchement de la nappe, à travers :
 - La détermination du débit spécifique, du rabattement spécifique, la productivité de l'ouvrage, le débit maximum admissible et le rabattement maximum admissible.
 - La détermination des durées et des périodes de pompage.
 - La détermination de la position optimale pour l'emplacement de la pompe.

Et ce par l'étude de l'évolution des rabattements en fonction des débits.

- 3) La détermination des différentes réserves d'eau dans la nappe (réserve exploitable, réserve renouvelable, réserve non renouvelable) [23].

CHAPITRE 4

**Operations de suivi technique du forage F2 localité de
MAASOUMA (daïra BOUINAN)**

Introduction :

Dans ce chapitre nous développerons tous les opérations de suivi technique de la réalisation de forage auxquelles nous avons assistés.

IV. Realisation d'un forage :

IV.1 Entreprise de la réalisation :

L'entreprise du forage E.F.T.H ARBIA Ahmed (entreprise du forage et Travaux Hydraulique), dispose d'un potentiel humain et matériel capable de réaliser des prestations dans le domaine : du forage d'eau, de la reconnaissance, de la géotechnique, des Equipements de forage....

Les prestations touchent différents domaines :

- Forage d'eau (rotary, battage, marteau fond de trou).
- Forage de reconnaissance.
- Forage de géotechnique.
- Equipement de forages.
- Développement et essais de débits.
- Conseilles et consulting en matière d'implantations de forages, équipement de forages en tubage, équipent hydro électromécanique.
- Travaux de raccordement des forages en conduites d'adduction d'eau.
- Prospection géophysique (Méthode géo électrique, diagraphie...).

IV.2 Installation du chantier :

IV.2.1 Installation de la machine :

Il faut veiller à prévoir tous les moyens nécessaires à la réalisation du forage, qui doivent être compatibles avec les procédures provisoires données par l'hydrogéologue (capacité de la machine)

Le chantier est mis en place d'on la réalisation d'une plateforme eu béton pour la stabilisation des appareils de forage

Les machiner est installé selon l'emplacement du forage et de son degré d'inclinaison



Figure 25 : La machine de forage

IV.2.2 Installation des bassins :

-Le premier bassin : (bassin de décantation)

Il facilite la sédimentation amorcée dans le canal. Son volume est de 8 m^3 . ($2 \times 2 \times 2 \text{ m}$). L'axe de second canal doit être décalé de celle du premier canal cela permet la formation d'une chicane pour ralentir le flux et favoriser la décantation.

-Le second bassin : (bassin d'aspiration)

C'est une réserve où la boue est injectée dans le train de tige. Son volume est environ de 10 m^3



Figure 26 : Bassin de boue

IV.3 Foration :

IV.3.1 Tube guide :

Le trou a été foré avec un outil de 24" de 0 à 10m de profondeur, puis un tube TNRS de diamètre de 22" est introduit sur une profondeur de 10m,

La fixation de ce dernier a été effectuée avec un béton dosé à 150 kg/m^3 , dans l'espace annulaire entre le tube et le trou à une profondeur de 10 m.

IV.3.2 Forage de reconnaissance :

Forage de reconnaissance a été réalisé par un outil de 12", et réalisé par l'entreprise E.F.T.H ARBIA, par l'appareil type felling T 1500. Jusqu' à la profondeur de 200 m

IV.3.2.1 Le cuttings :

Les cuttings (échantillons) sont collectés mètre par mètre, séchés et lavés, mis dans de petits sacs marqués en fonction de la profondeur d'échantillonnage, et envoyés à l'ingénieur hydrogéologue de l'administration.

La description des cuttings a permis de créer un profil lithologique du forage comme indiqué par la figure



Figure 27 : Les cuttings (échantillons)

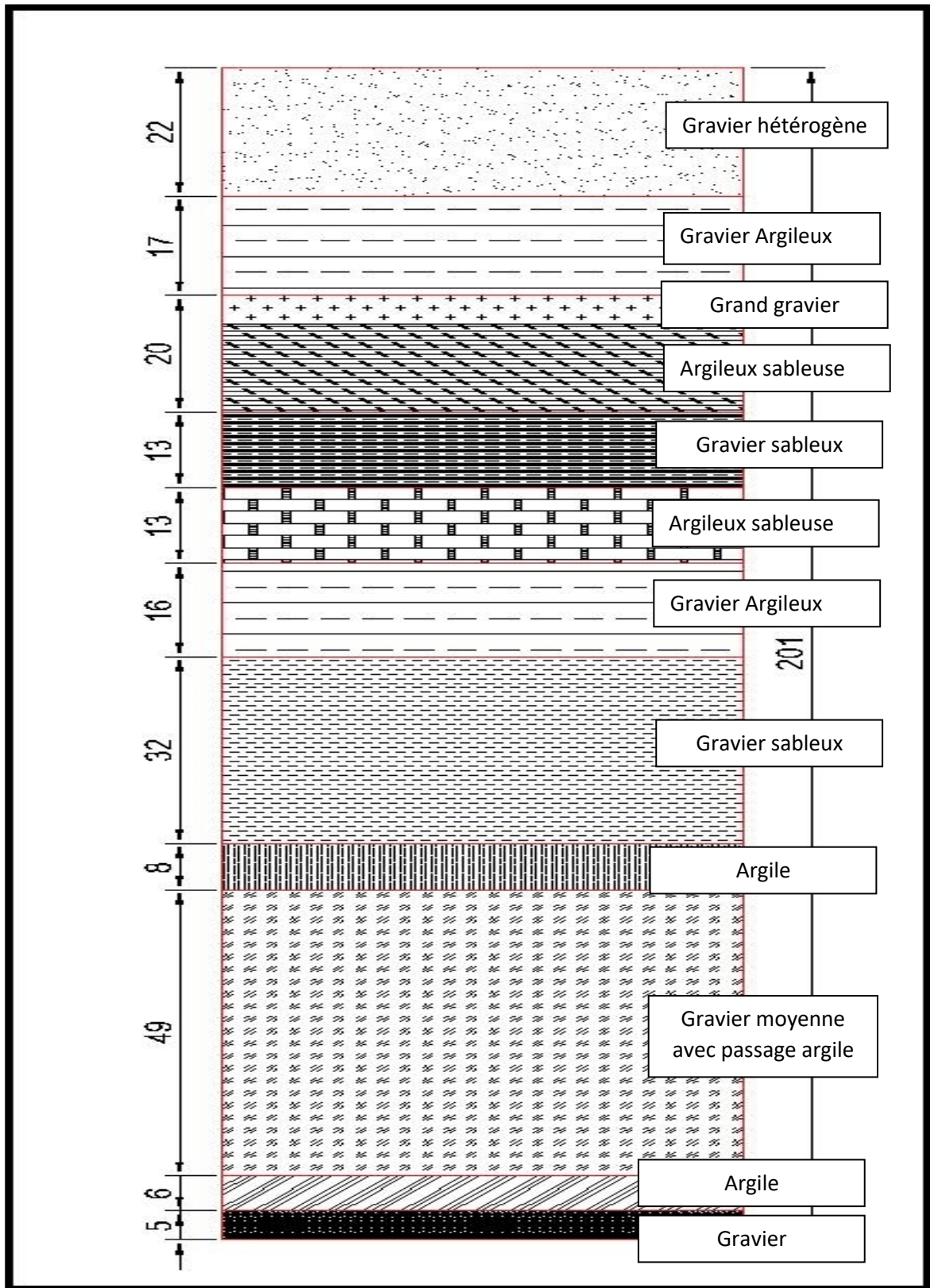


Figure 28 : Coupe lithologique du forage

IV.3.2.2 Enregistrement Diagraphique :

La diagraphie consiste à descendre une sonde électrique à l'intérieur du forage avec un enregistrement en surface par l'intermédiaire d'un appareillage bien spécifique. Enregistrement diagraphique mesure de la résistivité et de la polarisation spontanée en fonction de la profondeur et représentée sur la figure on annexe. Interprétation de cet enregistrement a permis d'établir les niveaux perméables et imperméables reportés dans le tableau suivant :



Figure 29 : Outil de la diagraphie

Tableau 7 : l'interprétation de l'enregistrement diagraphique

La profondeur	Perméabilité	La résistivité	
		16 N	64 N
0-60	Imperméable	30	33
60-72	Perméable	57	59
72-85	Imperméable	23	25
85-90	Semi Perméable	37	32
90-100	Imperméable	23	26
100-106	Perméable	47	50
106-114	Imperméable	24	33
114-130	Perméable	54	57
130-144	Imperméable	18	23
144-152	Perméable	52	47
152-158	Imperméable	17	26
158-168	Semi Perméable	39	34
168-173	Imperméable	22	33
173-178	Semi Perméable	34	33
178-185	Imperméable	20	28
185-192	Perméable	52.5	77
192-200	Semi Perméable	33	20

IV.3.3 Opération d'alésage :

L'analyse des cuttings et l'interprétation des diagraphies du forage d'exploration à 200 m de profondeur nous ont conduit à constater qu'il y a de l'eau dans la profondeur 200 m. Sur la base de ces résultats, nous recommandons ce qui suit :

- Alésage du forage en 17" jusqu'à 200m de profondeur.
- Réalésage en 19" jusqu'à la cote 200m de profondeur.



Figure 30 : l'outil de 17'' et 19''

IV.4 Programme d'équipement :

À l'aide de l'enregistrement diagraphique et des cuttings on peut faire un programme d'équipement du forage.

IV.4.1 Plan du tubage :

Le Plan de tubage du forage est mise en place par une seule colonne de captage en TNRS de 12", jusqu'à 200 m de profondeur.



Figure 31 : Tubage TNRS

IV.4.1.1 Tube crépine utilise :

La crépine utilisée est de type TNRS. L'ouverture horizontale de la crépine slot 1-2 mm, avec une épaisseur de 06 mm.

L'exécution de programme a été faite selon le programme suivant :

00 à 65 m tube plein

65 à 72 m tube crépine

72 à 85 m tube plein

85 à 95 m tubes crépine

soit :

95 à 100 m tube plein

tube plein =125m

100 à 106 m tubes crépine

tubes crépine =75m

106 à 112 m tube plein

112 à 130 m tubes crépine

130 à 142 m tube plein

142 à 152 m tubes crépine

152 à 158 m tube plein

158 à 168 m tubes crépine

168 à 173 m tube plein

173 à 180 m tubes crépine

180 à 185 m tube plein

185 à 192 m tubes crépine

192 à 200 m tube plein avec sabot de décantation

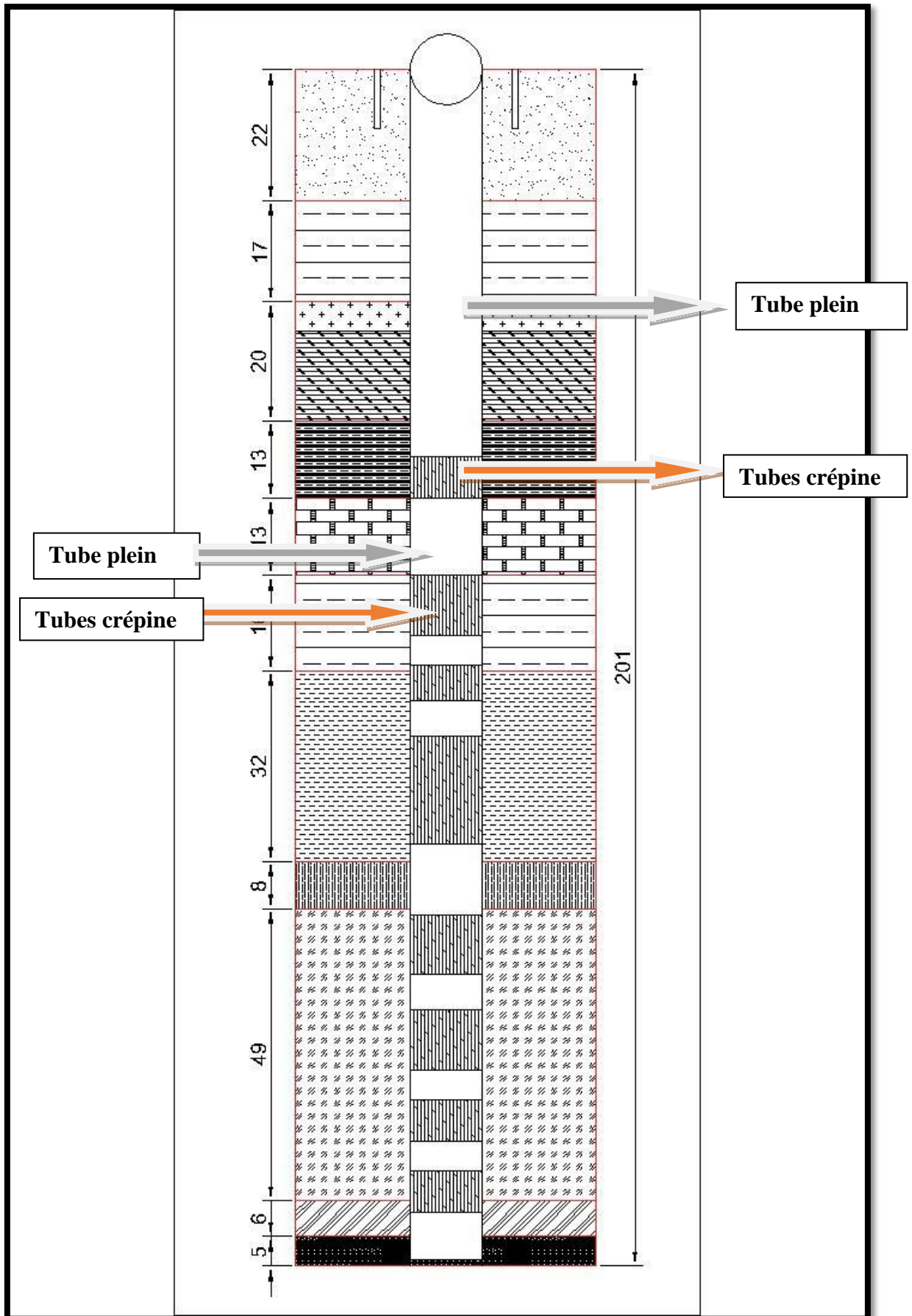


Figure 32 : Coupe technique de forage F2

IV.4.2 Massif filtrant :

Le massif filtrant injecté dans l'espace annulaire entre le forage et le tubage est un gravier traditionnel de granulométrie $3^{5/8}$ mm, de nature arrondie et de calibre siliceux pour un bon filtrage il doit être bien tamisé et lavé



Figure 33 : Massif de gravier

Calcule de volume de gravier utilise :

$$V=0.8*H*(D0^2 - D1^2) \rightarrow V=V1+V2=0.8[[(10-7) *(0.5588^2 - 0.3048^2)] + [190*(0.4826^2 - 0.3048^2)]]$$

$$V=0.8*26.6+1.541$$

$$V=22.51m^3$$

Avec :

V1 : Volume de l'annulaire entre 24" et tubage 22".

V2 : Volume de l'annulaire entre le trou réalisé 19" et (Crépine +Tube plein) 12".

D0 : le diamètre de trou

D1 : le diamètre de tube

H : la profondeur

IV.5 Opération de développement :

Le développement s'effectue sur l'air lift avec un compresseur d'air 30 Bar, et fonctionne selon les quatre paliers suivants de haut en bas :

1^{er} palier :

Tube d'eau : 108 m

Tube d'air : 103 m

2^{ème} palier :

Tube d'eau : 153 m

Tube d'air : 148 m

3^{ème} palier :

Tube d'eau : 181 m

Tube d'air : 176 m

4^{ème} palier :

Tube d'eau : 193 m

Tube d'air : 188 m

Jusqu' à l'obtention d'une eau parfaitement claire dépourvue de toutes particules en suspension, puis injection de 300kg de l'héxamétaphosphate en une seule phase, dans 24 heures, le temps de sa réaction chimique, puis redémarrage du compresseur à nouveau, jusqu' à l'obtention d'une eau parfaitement claire et ne procéder pas au barbotage qu'après l'amélioration de qualité de l'eau



Figure 34 : Photo d'un compresseur

IV.5.1 Cimentation :

L'exécution de la cimentation de l'espace annulaire situé entre 0 et 10 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.

IV.6 Les essais de pompage :

Des essais de pompage permettent de déterminer les propriétés hydrodynamiques de l'aquifère. Ils consistent à abaisser la surface piézométrique de la nappe phréatique en pompant de l'eau et en mesurant l'évolution du niveau d'eau sur cette surface au fil du temps ainsi que le débit d'eau pompée. Le pompage s'effectue pendant le forage et l'évolution de la surface piézométrique dans le temps (le rabattement en fonction du temps)

L'essai permet de calculer :

- le rayon d'action du pompage.
- le facteur d'emmagasinement,
- le coefficient de perméabilité de la couche testée,

IV.6.1 Essai par palier :

Plus précisément, des tests par paliers peuvent évaluer les performances de l'ouvrage de captage. Il se déroule en plusieurs débits incrémentiels sur une courte période de temps. La durée de ces phases est si courte que le rabattement due au pompage continu est encore fortement influencée par les caractéristiques de l'ouvrage, telles que la qualité du gravier ou les fractures environnantes. Si le temps de pompage est plus long, comme test à long durée, le rayon d'exploration aura le temps de s'étendre dans l'aquifère.

IV.6.1.1 Résultats de l'essai de pompage :

Les résultats des essais de pompage par palier obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Essai de pompage par paliers

Palier	Débit (l/s)	ND(m)	Rabattement Δ (m)	NS(m)	Débit spécifique Q/Δ (l/s/m)	Rabattement spécifique Δ/Q (m/l/s)
1	10	94	9	85	1.11	0.9
2	12	98	13	85	0.92	1.08
3	15	103	18	85	0.83	1.2

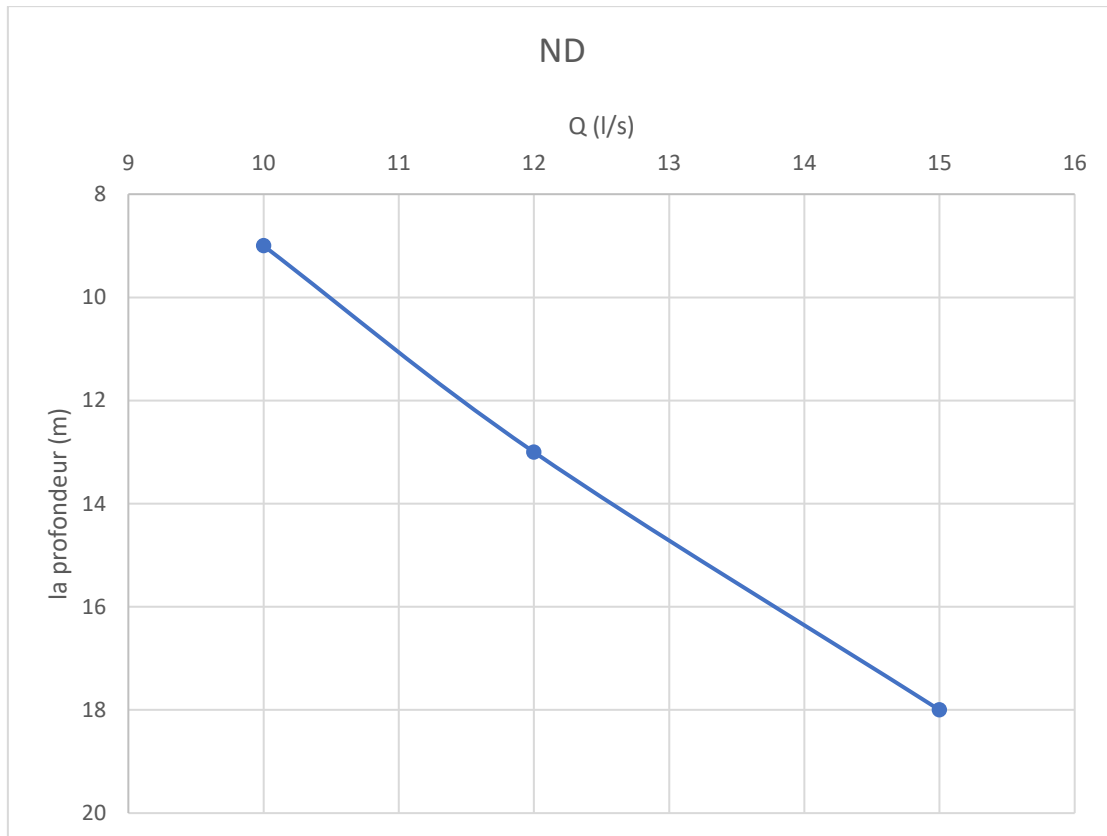


Figure 35 : La courbe caractéristique

Remarque : On ne peut pas déterminer le débit critique parce qu'on a utilisé un débit réduit

IV.6.2 Essai a long durée :

Il s'agit d'un pompage réalisé généralement sur 42 heures avec un débit constant de 15 l/s. Mais pouvant atteindre des durées bien plus importantes, la durée de pompage peut être plusieurs mois continu, l'objectif du pompage de longue durée (essais de nappe) est pour déterminer les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère, Telle que la transmissivité.

Tableau 9 : Les Essai de pompage a long duré

Temp (h)	Temp (min)	Temp (s)	debit(L/s)	Niveau dynamique (m)	Rabatement (m)
8 :00	0	0	15	98	13
5	5	300	15	98.2	13,2
10	10	600	15	98.5	13,5
15	15	900	15	98.75	13,75
30	30	1800	15	99	14,75
45	45	2700	15	99.2	14,88
9 :00	60	3600	15	99.4	14,97
15	75	4500	15	99.6	15,36
30	90	5400	15	99.9	15,67
45	105	6300	15	100.3	15,79
10 :00	120	7200	15	100.45	15,85
30	150	9000	15	100.5	15,9
11 :00	180	10800	15	100.8	16
30	210	12600	15	101	16,2
12 :00	240	14400	15	101.2	16,3
13 :00	300	18000	15	101.4	16,4
14 :00	360	21600	15	101.5	16,5
15 :00	420	25200	15	101.7	16,7
16 :00	480	28800	15	102	17
17 :00	540	32400	15	102.1	17,1
18 :00	600	36000	15	102.4	17,23
19 :00	660	39600	15	102.6	17,38
20 :00	720	43200	15	102.9	17,5
21 :00	780	46800	15	103	17,68
22 :00	840	50400	15	103	17,82
23 :00	900	54000	15	103	17,9
00 :00	960	57600	15	103	17,99
3 :00	1140	68400	15	103	18
8 :00	1440	86400	15	103	18
10 :00	1560	93600	15	103	18
12 :00	1680	100800	15	103	18
15 :00	1800	108000	15	103	18
20 :00	2100	126000	15	103	18
00 :00	2340	140400	15	103	18
2 :00	2460	147600	15	103	18
4 :00	2580	154800	15	103	18

IV.7 Calcul des paramètres hydrodynamiques :

La courbe de descente du forage d'eau :

Les résultats obtenus par l'opération de mesure des niveaux sont :

- Niveau statique : 85 m
- Niveau dynamique final : 103 m
- Rabattement final : 18 m
- Temps de pompage : 42 heures

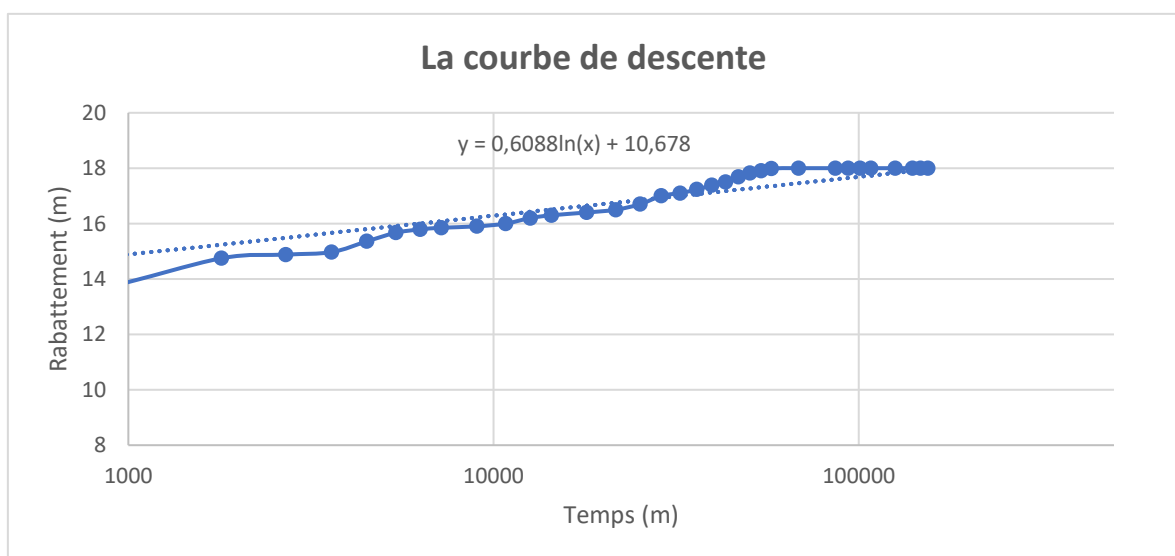


Figure 36 : Courbe décente de la nappe

IV.7.1 Transmissivité :

Ce deuxième point que nous allons analyser, c'est un facteur très important pour la gestion de la ressource. Le pompage d'essai de longue durée, est exécuté par un seul palier à débit constant de 15 l/s, durant 42 heures.

L'interprétation de l'essai de pompage a été établie par l'application de la méthode de **C.E. Jacob**. Cette méthode découle de l'équation de **THEIS**, qui se réduit à la formule d'approximation logarithmique de Jacob, quand le temps de pompage croît et devient assez grand (u inférieur ou égal à 0,01).

L'équation de JACOB s'écrit :

$$\Delta = I = 0.183 * Q / T \log 2.25Tt / x^2$$

Δ = rabattement théorique en m

S =coefficient d emmagasinement

Q =débit de pompage en m³/s

T =Transmissivité en m²/s

t =temps écoulé depuis le départ de pompage

Donc la valeur de T est $\rightarrow T = \frac{0.183Q}{I}$

Et I est :

$$I = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Log}t_2 - \text{Log}t_1} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Cycle logarithmique}}$$

$$I = 0.6$$

Avec

Q : débit en m³/s et T : Transmissivité m²/s

ΔC : la pente de rabattement (m) : 2.25 m

$$T = \frac{0.183Q}{I} = \frac{0.183 * 15 * 10^{-3}}{1} = 4,57.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

IV.7.2 Coefficient de perméabilité :

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

Avec : T (la Transmissivité)= 4,57.10⁻³ m²/s

$$K = \frac{4,57.10^{-3}}{75}$$

$$K = 6,1.10^{-5} \text{ m/s}$$

IV.7.3 Coefficient d emmagasinement :

$$S = \frac{2,25 * T * t_0}{X^2}$$

Avec : T (la Transmissivité) = $4,57.10^{-3}$ m²/s

t₀ (temps graphiquement (logt)) = 900s

X (distance du piézomètre de contrôle avec le forage) = 100 m

$$S = 9,25. 10^{-4}$$

IV.7.4 Le rayon d'action Ra :

$$R = \sqrt{\frac{2,25 * T * t}{S}}$$

Avec : T (la Transmissivité) = $4,57.10^{-3}$ m²/s

t₀ (temps graphiquement (logt)) = 900s

S (coefficient d emmagasinement) = $9,25. 10^{-4}$

$$R = \sqrt{\frac{2,25 * 0,00457 * 900}{0,000925}}$$

$$R = 100 \text{ m}$$

IV.8 Essais de Remontée :

Il comprend la surveillance de la montée du niveau d'eau après l'arrêt du pompage à la fin du test de débit constant. Ceci est utile pour examiner les propriétés des aquifères. Mais cela ne fonctionne que si un clapet anti-retour est placé sur la colonne de refoulement.

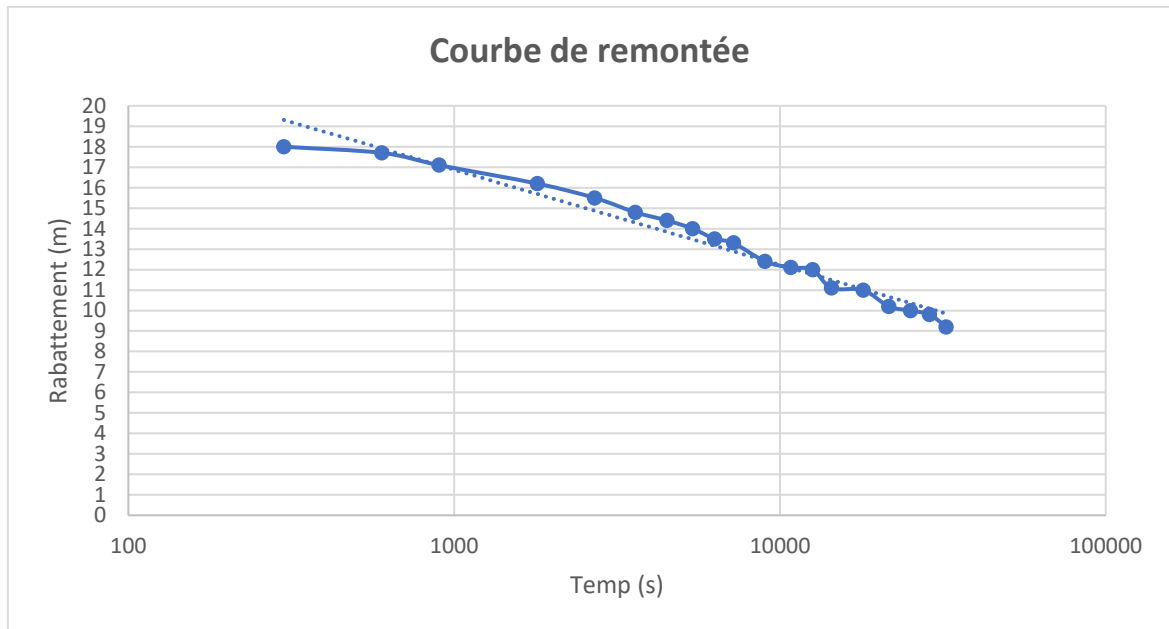


Figure 37 : Courbe de remontée de la nappe

Conclusion :

Les essais de puits exécuté sur le forage nous ont permis de déterminer ces caractéristiques Hydrauliques, qui sont le débit du forage et le niveau dynamique, niveau statique, Rabattement, rabattement spécifique et débit spécifique.

- Niveau statique : 85 m
- Niveau dynamique : 103 m
- Mesure débit compresseur : 15 l/s
- Essais réalisés avec pompe immergée de 52 KW.
- Un groupe électrogène de 300 KVA.
- Niveau relevé à la jauge électrique.
- Débit mesurés avec un débit mètre manuelle

Généralités sur le projet

➤ Localisation des travaux

Commune :	CHABLI (25)
Adresse :	CHEBLI
Section :	/
Parcelles n° :	/
Coordonnées :	36° 33' 34.102 N / 02° 58' 45.324 E

* L'emplacement de l'ouvrage dépendra de la configuration finale des installations prévues par ingénieur. Une note complémentaire à ce dossier sera adressée au service instructeur dès que l'emplacement de l'ouvrage sera validé.

➤ Nature du projet

Nature :

Réalisation d'un forage de 200 m de profondeur.

Caractéristiques des forages :

Profondeur max :	200 m
Diamètre :	168 mm
Mode d'exécution :	Non retenu
Date prévisionnelle des travaux :	Eté 2022

Caractéristique du pompage temporaire :

Durée des travaux du forage :	2 MOIS
Pompages temporaires :	Oui
Début du pompage :	Eté 2022

- Durée prévisionnelle du pompage : **16 heures pour les paliers (débits indicatifs : 10 L/S, 12 L/S, 15 L/S)**
- 42 heures pour le pompage long duré de 15 L/S

Conclusion générale :

Dans le cadre de ce mémoire on a effectuée des études pour définir les points suivants :

Sur le plan géologique la région de BOUINAN fait partie de l'ensemble de la plaine de la Mitidja qui est un bassin de subsidence rempli de matériel quaternaire. il est limité au nord par les formations des monts du sahel et au sud par les formations tertiaire de l'atlas Blidéen.

Sur le plan hydrogéologique la zone d'étude se compose de deux nappes souterraines, la première est appelée Les Alluvions du quaternaire et la deuxième est appelée L'astien.

Sur le plan climatique notre zone est considérée comme une zone semi-humide avec une précipitation annuelle qui atteint 687 mm en 2020 et une température qui varie entre 12 et 30 °C.

L'ensemble des opérations de réalisation du forage F2 que nous avons suivie ont été exécutées dans les termes à savoir :

- Mise en place d'un tube guide et cimentation
- Forage de reconnaissance de 12 pouces
- L'Enregistrement diagraphique et l'examen des cuttings ont permis d'établir la coupe lithologique du forage et établir un programme d'équipement
- L'opération d'alésage a été effectuée avec des diamètres 17'',19''
- La descente du tubage en TNRS a été réalisée en bonne forme.
- Le massif filtrant du gravier a été mise en place dans les normes
- Développement du forage a l'air lift pendant 100 h jusqu'à l'obtention d'une eau claire.
- Essai de pompage pendant 100 h, détermination des paramètres hydrodynamique (T, S et coefficient de perméabilité)

Donc le forage réalisé a donné un bon débit qui répond aux objectifs de départ qui permet de contribue en renforcement l'AEP de la ville d'BOUINAN.

Bibliographe

- [1]. MOHAMED Ali « Le suivi de la réalisation de cinq forages pour l'alimentation en eau potable de la nouvelle de Blida (Bouinan) » mémoire de fin d'étude ,2016
- [2]. BOUKAKA Mouloud « DIAGNOSTIC DU SYSTEME D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE LA VILLE DE LARBAA (W BLIDA) », mémoire fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique, 2003 Blida
- [3]. Moulay Omar Younes et Seddiki Yousef « Suivi d'un forage d'eau dans la région de Bouhraoua (Wilaya de Ghardaïa) », mémoire de master en hydraulique, 2017
- [4]. DRE, 2003, « rapports interne présentatifs de sur la plaine de la Mitidja et ses nappes souterraines »
- [5]. Cours hydrogéologique : Université de Blida
- [6]. RABAKOTONDRABE Felaniaina « étude de la vulnérabilité des ressources en eau », mémoire de recherches en hydrogéologie, 2006
- [7]. SEJAR Amina « Biodiversite-et-dynamique-de-la-vegetation-dans-un-ecosysteme-forestier », magister biologie ,2012
- [8]. MOUSSELMAL Mohammed « contribution à l'étude de la recharge des nappes par procédés artificielles », mémoire de master en aménagement et ouvrages hydrotechniques, 2015
- [9]. KHOUMARI Mohamed lamine « suivi hydrogéologique de forage de meftah », mémoire de master en hydraulique, 2020

[10].SITE«<https://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD9598/travaux/optsee/beisee95/groupe2/be7/estim.htm#:~:text=On%20consid%C3%A8re%20aujourd'hui%20qu,par%20jour%20et%20par%20habitant> ».

[11]. (Kchikach, A., Andrieux, P., Jaffal, M., Amrhar, M., Mchichi, M., Boya, B., Amaghazaz, M., Veyrieras, T., & Iqizou, K. (2006). Les sondages électromagnétiques temporels comme outil de reconnaissance du gisement phosphaté de Sidi Chennane (Maroc) : apport à la résolution d'un problème d'exploitation. *Comptes Rendus Géoscience*, 338(5), 289–296.<https://doi.org/10.1016/j.crte.2006.02.003>)

[12]. Farag Abdulgalil. Commande non linéaire dans les systèmes de forage pétrolier : contribution à la suppression du phénomène de “ stick-slip ”. *Automatique / Robotique*. Université Paris Sud - Paris XI, 2006. Français. Fftel-00272937

[13]. AMARMOUNIR. « Techniques de forage » Mémoire,2007

[14]. CPGF-HORIZON « CREATION D'UN FORAGE D'EXPLOITATION POUR LE LAVAGE DE MATERIAUX INERTES » ETUDE 19-037/25 ,2019

[15]. Comité international de la Croix-Rouge19, avenue de la Paix 1202 Genève, Suisse ,2012

[16]. SEDDIKI-MOULAY. « Suivi d'un forage d'eau dans la région de Bouhraoua (Wilaya de Ghardaïa) » Mémoire, 2017

[17]. CHERIFI MAHFOUDH. « Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme Master en Génie mécanique option Maintenance Industrielle » Mémoire.2012

[18]. Malek BEN HAMIDA « Doctorat ParisTech (T H È S E) pour obtenir le grade de docteur délivré par L'École Nationale Supérieure des Mines de

Paris Spécialité “Technique et économie de l’exploitation du sous-sol” »
THÈSE.2017

[19]. CHEHIMA Sofiane & DEDDOUCHE Houria « ETUDE ET SUIVI TECHNIQUE D’UN FORAGE PROFOND ALBIEN DANS LA REGION DE SEBSEB/CAS DU FORAGE DE LEHRITH » Mémoire, 2021

[20]. Sandra L.A. VODONOU « SUIVI DE LA MISE EN PLACE D’UN POINT DE CAPTAGE D’EAU SOUTERRAINE EN ZONE SEDIMENTAIRE : CAS DU FORAGE DE TANKPINOUHOUE ».2014

[21]. Mabillot, A. (1995). *Le Forage d’eau*. impr. Dumas-Titoulet.

[22]. M. Riane Rami Thème « Contribution à la Synthèse d’observateur Adaptatif à Entrées Inconnues d’un Système de Forage Rotary » mémoire .2015

[23]. Dr Mehdi METAICHE. « FORAGE TECHNIQUES ET PROCÉDES » Université de Bouira, Octobre 2013

[24]. Dr Bouselsal Boualem. Université de Kasdi Merbah-Ouargla. « FORAGE D’EAU Procédés et mesures » Conférence,

[25]. <https://www.bonobosworld.org/fr/glossaire/geographie/climatogramme-d-emberger>


[26]. Dr BRESSON Gilles. « LA PROSPECTION GEOPHYSIQUE » conférence.2014

[27]. Documents, Agence nationale des ressources hydrauliques, 2022

[28]. Google Earth (photo satellitaire de localisation) ,2022

[29]. BESSAILET Abdelhak «Suivi hydrogéologique des travaux de réalisation d'un forage d'eau F26 pour l'AEP de la ville de L'Arbaa » mémoire de master en hydraulique, 2019

ANNEXE

	<p>Company Name DIALOG HGS</p> <p>Client Name EFTH ARBIA</p> <p>Services ELOG 16"N 64"N SP</p>
<p>Client EFTH ARBIA</p> <p>Well Name F2 bis Maasouma</p> <p>Field Blida</p> <p>Country Algerie</p> <p>Latitude 36° 33' 34.102" N</p> <p>Longitude 02° 58' 45.324" E</p>	<p>Other Services Caliper Gamma</p> <p>Log Datum GL</p> <p>Drill Datum GL</p> <p>Perm Datum GL</p> <p>Elevation m</p>
<p>Date 07/10/2021</p> <p>Run # 1</p> <p>Type Of Log ELOG 16"N 64"N SP</p> <p>Depth Driller 201m</p> <p>Depth Logger 201m</p> <p>Fluid In Hole</p> <p>Salinity</p> <p>Density</p> <p>Fluid Level</p> <p>Maximum Temp.</p>	<p>Rig Operator</p> <p>Logging Engineer A.Chenak</p> <p>Logging Unit GEOVISTA</p> <p>Witness</p> <p>Comments</p> <p>Echelle 1/200</p> <div style="text-align: right; color: lightblue; font-size: small; opacity: 0.5;"> <p>DIALOG H.G.S Service Diagraphie Tel: 021 82 44 13 / Fax: 021 82 52 81</p> </div>

0 SP MV 220

0 16N OHMM 110

0 64N OHMM 110

