

UNIVERSITE SAAD DAHLAB – BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département des Sciences de l'Eau et Environnement



MEMOIRE DE MASTER

Filière: **Hydraulique**

Spécialité : **Ressources Hydrauliques**

Thème:

Suivi de la réalisation d'un forage d'eau potable pour la réalimentation en eau potable de ville de Larbâa

Présenté par

**TAHIR Khadidja
FLITA Sihem**

Devant le jury composé de :

M.A.BUIKNI
M.A.GUENDOZ
M.N.MSOUD NACER
M.A.OULARBI
M.B.MOHAMED ALI

MAA, U, de Blida
Professeur, U, de Blida
MAA, U, de Blida
MAB, U, de Blida
Ingénieur d'Etat, DRE, de Blida

Président
Examineur
Examineur
Promoteur
Co-Promoteur

Promotion 2018/2019

Remerciement :

Ce travail n'aurait pas vu le jour sans le soutien, les aides et les encouragements d'un grand nombre des personnes :

Nous tenons d'abord à remercier notre encadreur Dr. OULARBI pour ses précieux conseils et orientation tout au long de notre travail. A notre co-promoteur Mr.BACHIR pour son soutien, aides et pour les sorties au chantier qui nous ont permis de prendre une idée sur la vie professionnelle.

A Mr. BOUIKNI, Mr.MESSAOUD NACER et Mr.GUENDOUZ pour leurs contributions à nous diriger dans la bonne voie de ce contexte.

Nous remercions les membres jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail en acceptant de l'examiner.

Nos meilleurs remerciements vont également à notre chef de département Mr. BENSAFIA et à tous les enseignants du département de Science de l'Eau et d'environnement pour les efforts qu'ils consacrent durant notre formation.

Nos sincères remerciements à l'équipe de service de forage de la direction des Ressources des Eaux de la wilaya de Blida pour la prise en charge tout au long de l'élaboration de notre projet. Ainsi que toute l'équipe de laboratoire d'hygiène de Blida, laboratoire physico-chimique d'ADE Blida et les laboratoires des matériaux des départements de Génie des procédés et Génie civil.

Sans oublier un grand remerciement à notre camarade REGUI Zakaria pour ses aides.

Nous remercier à toutes les personnes qui ont contribués de près ou loin à la réalisation de ce travail.

FLITA Sihem

TAHIR Khadidja



DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A ma mère, mon père qui ont fait des sacrifices et cru en moi tout
au long de mon parcours scolaire.

A mes sœurs Halima et Meriem, à mon petit frère Abdelali

A Mes grands parents.

A Mes cousines et cousins

A toute la famille.

A ma chère binôme pour sa patience avec moi aussi bien pour sa
collaboration et son aide pendant toute la période d'étude.

A tous mes amis.

Et à toute la promotion 2018/2019 de Ressource

Hydrique.

A toutes mes adorables qui j'ai connu pendant toute ma vie.

A Rayan et Maya

Tahir khadidja

DÉDICACE

Je dédie ce travail :

A ma chère mère,

A mon cher père,

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir,

Et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes chères sœurs Lamia et Radia et leur maris Hamza et Islam,

A ma petit sœur Ikram,

Pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout aux long de mes études.

A mes adorables nièces: yacine, hadil et sirine.

A ma chère grand-mère,

Qui je souhaite une bonne santé.

A ma chère binôme, Khadidja,

Pour sa entente, sa sympathie et sa patience infinie avec moi.

A tout ma famille,

A tout mes ami(e)s,

A toute la promotion 2018/2019 de Ressource hydraulique.

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

FLITA Sihem

المخلص :

حاليا يتم ضمان إنتاج مياه الشرب في مدينة الاربعاء من خلال مجموعة من الآبار التي يبلغ تدفقها الاجمالي 13363.49 متر مكعب في اليوم والتي لا تزال إنتاجيتها غير كافية مع وجود عجز على المدى الطويل 52325.4 متر مكعب في يوم. لذلك، أرادت البلدية إجراء عمليات حفر آبار أخرى لتحسين الطاقة الإنتاجية. كجزء من هذه الدراسة تطوعنا للمساهمة في تحديد مصدر المياه الجوفية المنتجة. على هذا النحو ، شاركنا في تحقيق اختبارات الضخ وفي النهاية نوصي بتدفق تشغيل لحفرنا بمعدل 97.6 متر مكعب في الساعة أو 27 لتر في الثانية. عند بدء الحفر، تم تحديد التدفق النهائي على 24 لتر في الثانية ، أي 86.4 متر مكعب فب الساعة ، مما سيزيد من الطاقة الإنتاجية ، لضخ 20 ساعة ، من 1728 متر مكعب في اليوم.

الكلمات المفتاحية: الحفر، إمدادات مياه الشرب، اختبار الضخ، الأربعاء ، الهيدروديناميكية

Résumé :

Actuellement la production en eau potable de la ville de Larbâa est assurée par un ensemble de forages pour un débit total de 13363.49 m³/j dont la productivité reste insuffisante avec un déficit pour le long terme 52325.4 m³/j.

Par conséquent, la commune a souhaité faire réaliser d'autres forages pour améliorer les capacités de production.

Dans le cadre de cette étude nous nous sommes proposé d'apporter notre contribution dans l'identification de la ressource en eau souterraine productive.

A ce titre nous avons participé à la réalisation des essais de pompage et à l'issue desquels nous préconisons un débit d'exploitation pour notre forage de 97.6 m³/h soit 27 l/s.

Lors de la mise en service du forage le débit final a été fixé à 24 l/s soit 86.4 m³/h, ce qui viendrait accroître la capacité de production, pour un pompage de 20 h, de 1728 m³/J.

Mots clés : Forage, AEP, pompage d'essai, Larbâa, hydrodynamique.

Summary:

Currently the production of drinking water in the city of Larbaa is ensured by a set of boreholes for a total flow of 13363.49m³/d. therefore, the municipality wanted to carry out other drilling to improve production capacity. As part of this study we volunteered to contribute to the identification of the productive groundwater resource. As such we participated in the realization of pumping tests and at the end of which we recommend an operating flow for our drilling of 97.6m³/h or 27l/s. when drilling was commissioned, the final flow was set at 34l/s, is 86.4m³/h, which would increase the production capacity, for a 20h pumping, of 1728m³/d.

Key words: Drilling, DWS, test pumping, Larbaa, hydrodynamics.

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
الملخص	
Résumé	
Summary	
Sommaire	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste d'abréviation	
Introduction générale	

Chapitre I : La présentation de la ville de Larbaa

	Introduction	1
I-1.	Situation géographique et administrative	1
I-2.	Données économique.....	2
I-2-1.	Donnée démographique	2
I-2-2.	La dotation	2
I-2-3.	Calcul des ratios	3
I-2-4.	production en eau potable.....	4
I-3.	Adéquation besoins ressources	6
	Conclusion	7

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

	Introduction	8
II-1.	Situation géographique	8
II-1-1.	Le Sahel	8
II-1-2.	La plaine de la Mitidja	8
II-1-3.	L'Atlas Blidéen	8
II-2.	Aperçu géomorphologique	9
II-2-1.	Paramètres physiques et morphologiques du bassin versant de l'Oued El Harrach	9
II-2-2.	Relief	9
II-2-3.	Caractéristiques de la morphologie du bassin versant	11

Sommaire

II-2-4.	Rectangle équivalent	11
II-3.	Aperçu Hydro-climatique	12
II-3-1.	Précipitation	12
	Précipitation moyennes	
II-3.1.1.	mensuelles	13
II-3.1.2.	Précipitations moyennes annuelles	14
II-3-2.	Températures	14
II-4.	Aperçu géologique	15
II-4.1.	Cadre géologique général	16
II-4.2.	La litho-stratigraphie	17
II-4.2.1.	Le Quaternaire	17
II-4.1.	Apport de la reconnaissance géophysique	19
II-5.	Aperçu Hydrogéologique	21
II-5.1.	Présentation de l'aquifère de la Mitidja	21
II-5.2.	Mécanismes d'alimentation et d'écoulement des eaux souterraines	21
II-5.3.	Les paramètres hydrodynamiques	22
II-6.	La piézométrie	23
II-6.1.	Analyse piézométrique	23
	Interprétation de la carte piézométrique, basse eau (Avril 2015[2]	23
II-6.2.	Conclusion	25

Chapitre III : Description de la machine de foration

III-1.	Appareil de forage rotary et accessoires	26
	Introduction	26
III-1-1.	Principe d'un appareil de forage rotary	26
III-1-2.	Description de la machine et train de sonde	27
III-1-3.	Description Sommaire d'un Appareil de Forage Rotary	28
III-1-3-1.	Le mât	29
III-1-3-2.	Moufle fixe	29
III-1-3-3.	Moufle mobile	30
III-1-3-4.	Tête d'injection	30
III-1-3-5.	Table de rotation	31
III-1-3-6.	Pompes à boue	32
III-1-3-7.	Treuil	33
III-1-3-8.	Mouflage	33
III-1-3-9.	câble du forage	33
III-1-3-10.	train de sondes	34
III-1-3-11	Les outils de forage	36

Sommaire

Chapitre IV: Description des travaux de foration

	Introduction	38
IV-1.	Déroulement des travaux de foration	38
IV- 2.	Technique et Matériel de foration	38
IV-2-1.	Technique de foration	38
IV-2-2.	Logistique du chantier	38
IV-2-2- 1.	Les moyens humains	38
IV-2-2-2.	Les moyens matériels	38
IV-2-2-3.	Stocks des matériaux	39
IV-2-2-4.	Organisation du chantier	39
IV-3.	La préparation des bassins à boue	40
IV-3-1.	Caractéristiques géométrique des bassins	40
IV-3-2.	Caractéristique de la boue utilisée.....	41
IV-4.	L'opération de creusement	42
IV-4-1.	Forage de reconnaissance	42
IV-4-2.	Prélèvement et échantillonnage	42
IV-4-3.	Reconnaissance géophysique par diagraphie	44
IV-4-3-1.	Présentation des enregistrements	45
IV-4-3-2.	Interprétation des enregistrements F1, R16 GN64	46
IV-4-4.	Alésage et réalésage	48
IV-4-5.	Mise en place du tubage.....	49
IV-4-5-1.	Diamètre de tubage	50
IV-4-5-2.	La résistance des tubes	51
IV-4-5-3.	Calcul de la pression hydrostatique	52
IV-4-5-4.	Equipement de la colonne de captage	53
IV-4-5-4-1.	Les crépines	53
IV-4-5-4-2.	Longueur et position des crépines	53
IV-4-5-4-3.	Ouverture des crépines	53
IV-4-5-4-4.	L'analyse granulométrique	54
IV-4-5-4-5.	Dimensionnement du slot des crépines	56
IV-4-5-5.	Programme de tubage	57
IV-4-6.	Le massif filtrant	58
IV-4-6-1.	Volume du gravier	58
IV-4-7.	Développement mécanique	61
IV-4-7-1.	Mode opératoire	61
IV-4-8.	Développement chimique (Traitement à l'héxamétaphosphates)	65
	Conclusion	65

Sommaire

Chapitre V: Réalisation des pompages d'essai forage FC6

	Introduction	66
V-1.	Organisation des essais de pompage	66
V-1-1.	Moyens matériels	66
V-1-1-1.	Observation de niveau d'eau	66
V-1-1-2.	Observation des débits de pompage	67
V-2.	Les essais de pompage	69
V-2-1.	Les pompages par paliers de débits	69
V-2-2.	Le pompage de longue durée	69
V-3.	Les essais de pompage de forage FC6	70
V-3-1.	Présentation de l'ouvrage	70
V-3-2.	Résultats et interprétation	71
V-3-2-1.	Résultats expérimentaux	71
V-3-2-2.	Interprétation de pompage par paliers.....	71
V-3-2-3.	Interprétation du pompage de longue durée	73
V-3-3.	Détermination des propriétés hydrodynamique de l'aquifère libre.....	74
V-3-3-1.	Transmissivité T	75
V-3-3-2.	Perméabilité ou conductivité hydraulique K.....	75
V-3-3-3.	Coefficient d'emménagement S.....	75
	Conclusion	77

Chapitre VI: Etude de la qualité physico-chimique de l'eau du forage FC6

	Introduction	78
VI-1.	Qualité physico-chimique	78
VI-2.	Matériel et méthode d'analyse	78
VI-3.	Paramètres physiques	78
VI-3-1.	Conductivité électrique	78
VI-3-2.	Température	79
VI-3-3.	Le potentiel hydrogène pH	79

Sommaire

VI-3-4.	Turbidité	81
VI-4.	Paramètres chimiques.....	81
VI-4-1.	Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	81
VI-4-2.	Titre Alcalimétrique (TA)	81
VI-4-3.	La dureté totale (TH)	81
VI-4-4.	Teneur en Matière Organique (MO)	81
VI-4-5.	Teneur de l'azote ammoniacal (NH ₄ ⁺).....	81
VI-4-6.	Teneur des Nitrates NO ₃ ⁻	
	(Méthode au salicylate de sodium)	82
VI-4-7.	Teneur des nitrites (NO ₂ ⁻)	82
VI-4-8.	Teneur en chlorures (Cl ⁻).....	83
VI-4-9.	Teneur Calcium Ca ²⁺	83
VI-4-10.	Teneur en fer total (Fe)	83
VI-4-11.	Teneur en Sulfates (SO ₄ ²⁻).....	84
VI-4-12.	Teneur en calcium (Ca ²⁺) et en magnésium (Mg ²⁺).....	84
VI-5.	Résultats et interprétation	85
	Conclusion	86

Références bibliographique

Références web graphique

Annexe

Liste des tableaux

Tableau 1 : caractéristiques de la forme du BV.....	4
Tableau. 2 Caractéristique des stations pluviométriques.....	5
Tableau.3 : Précipitations moyennes mensuelles (1980-2014).....	6
Tableau .4 : précipitations moyennes annuelles	
Tableau .5 : variations de la température moyenne, maximale et minimale à la station de Dar El Beida (1980-2010).....	7
Tableau .6. Les résistivités des couches traversées.....	17
Tableau .7: Les caractéristiques des forages	18
Tableau .8 : Coefficients d'emmagasinement cités par McDonald	21
Tableau.9. les différents diamètres des outils utilisés.....	41
Tableau .10: Choix des ouvertures des crépines en fonction de la granulométrie de l'aquifère (Source : ACF, (2007), Eau, assainissement, hygiène pour les populations à risque, Editions Hermann).....	44
Tableau. 11 : Essai de débit par paliers F1 NV :.....	55
Tableau .12 : Essai de débit par paliers F3 NV.....	59
Tableau .13: Essai de débit par paliers.....	63
Tableau.14 : Essai de débit par paliers.....	66
Tableau.15 les valeurs de la perméabilité.....	69
Tableau.16 les valeurs des gradients hydrauliques.....	70
Tableau .17 : les valeurs des vitesses d'écoulement.....	70
Tableau. 18 : calcule des rayons d'action de la zone étudiée	71
Tableau. 19 les concentrations des forages F3 et F4.....	72
Tableau. 20 : classifications des eaux selon la formule de stabler.....	76
Tableau.21 : calcul d'isochrones 50 jours.....	85
Tableau. 22 : valeurs des rayons d'appel.....	87

Listes des figures

Fig .1 Présentation la plaine de la Mitidja	1
Fig. 2. Photo indiquant la zone d'implantation des forages et la nouvelle ville Bouinan	2
Fig. 3 Le sous bassin versant 02-14 Oued El Harrach	3
Fig.4 Carte de la répartition des stations pluviométrique	5
Fig.5 : Précipitations moyennes mensuelle période 1980-2014	6
Fig.6 : Précipitations moyennes annuelles période 1980-2014	7
Fig 7 Variation de la température moyenne, maximale et minimale à la station de Dar El Beida	8
Fig.8 : Carte géologique de la Mitidja (ANRH Alger)	10
Fig.9 coupe montre le coorelation entre les forages	14
Fig.11. Coupe géo électrique « T »	
Fig.10 Carte de situation des sondage électrique (CGG)	15
Fig.12. Coupe géo électrique « U »	16
Fig.13 Carte d'inventaire des points d'eau	19
Fig.14. Coupe interprétative transversal de la Mitidja dans le bassin de Mazafran	20
Fig.15. Carte piézométrique de la nappe de la Mitidja (Campagne, avril 2015)	23
Fig.16 : Appareil de Forage Rotary	26
Fig .17 : pompe à boue marque (GARDIN DINVER)	28
Fig.18. Photo montrant stock de bentonite	32
Fig.19 Photos montrant une série du cuttings	36
Fig.20 enregistrement de la diagraphie électrique et la lithologie du forage F1	37
Fig.21 enregistrement de la diagraphie électrique et la lithologie du forage F2	38
Fig.22 enregistrement de la diagraphie électrique et la lithologie du forage F3	39
Fig.23 enregistrement de la diagraphie électrique et la lithologie du forage F4	40
Fig. 24 photo montre la mise en place du tubage	42
Fig .25 Coupe technique du forage F1et F2	45
Fig 26. Coupe technique du forage F3et F4	46
Fig.27. Photo montrant la mise en place du massif filtrant	48
Fig. 28 Photo montrant le développement à l'air lift (pneumatique), compresseur 16bar	50
Fig.29 Situation géographique du forage F1 NV Bouinane	53
Fig.30 Photo lors des essais de pompage	54
Fig.31 courbe de descente de forage F1 NV Bouinane	56
Fig. 32 courbe de remonté forage F1 NV Bouinane	57
Fig. 33 courbe caractéristique F1 NV Bouinane	57
Fig.34 Situation géographique du forage F3 NV Bouinane	58
Fig. 35 courbe de descente forage F3 NV Bouinan	60
Fig. 36 courbe de la remontée F3 NV Bouinane	60
Fig. 37 courbe caractéristique de forage F3 NV Bouinane	61
Fig.38 Situation géographique du Forage F4 NV Bouinane	62
Fig. 39 courbe de la descente du forage F4 NV Bouinane	63
Fig.40 courbe de remonté du forage F4 NV Bouinane	64
Fig.41 courbe caractérisyique du forage F4 NV Bouinane	65
Fig. 42 Situation géographique du forageF2 NV Bouinane	65
Fig.43 Courbe de déscente du forage F2 NV Bouinane	66
Fig.44 courbe de remontée du forage F2 NV Bouinane	67
Fig. 45 Courbe caractéristique du forage F2 NV Bouinane	68
Fig. 46 Diagramme de piper	77
Fig . 47 diagramme de Schoeller Berkloff	78
Fig.48 carte de la vulnérabilité de la nappe de la Mitidja à la pollution (ANRH)	79
Fig. 49: Schéma représentatif des périmètres de protection	85
Fig. 50 Détermination des isochrones (méthode de wissling)	87

La liste d'abréviation

Liste d'abréviation

A.E.P : Alimentation en Eau Potable

D.R.E : Direction des Ressources en Eau

N.G.A : National géologique altitude

A.P.C : assemblée populaire communale

NE-SW : Nord Est-Sud ouest

A.N.R.H : Agence National des Ressources Hydriques

B.V : Bassin Versant

C.G.G : Compagnie Générale De Géophysique

T.N.R.S : Tôle Noir Roulé Soudé

T.P : Tube Plaine

T.C : Tube Crépiné

N.S : Niveau Statique

N.D : Niveau Dynamique

Q_c : Débit critique

Q_{exp} : Débit exploité

O.M.S : Organisation Mondiale de Santé

S.E.A.A.L : Société des Eaux et d'Assainissement d'Alger

Introduction générale

La wilaya de Blida a connaît un accroissement rapide de la population et un développement socio-économique ces dernières années. Cette situation a engendrée une grande demande d'eau. L'une des communes qui connaît un déficit en eau potable évalué à 60 % c'est la ville de Labraà.

C'est dans ce contexte qu'il a été inscrit le projet de réalisation de 6 forages dans la région de Chebli d'une capacité totale de 160 l/s captant la nappe libre de la Mitidja.

Dans ce cadre le sujet de notre projet de fin d'étude consiste en un suivi de la réalisation de forage d'eau potable et l'interprétation des essais de pompage.

Notre PFE est scindé en deux parties ; la première partie traite sur une étude bibliographique. Et la deuxième partie représente l'aspect pratique.

La partie bibliographique est composée de trois chapitres énumérés comme suit :

Le premier chapitre, récapitule les calculs d'estimation des besoins en eau potable de l'agglomération urbaine de Larbaa.

Le second chapitre, présente le site du champ de captage, d'un point de vue situation géographique, morphologique, climatologique, hydrogéologique et géologique.

Le troisième chapitre, décrit les moyens matériels mis à la disposition de l'équipe pour le fonçage.

La seconde partie est composée aussi de trois chapitres énumérés comme suit :

Dans le premier chapitre, nous exposons le déroulement de travaux de fonçage pour le forage FC6, ainsi que l'installation de chantier, le creusement, le carottage électrique, le tubage, le massif à gravier et le développement physique et chimique.

Le second chapitre concerne à proprement les essais de pompage. A l'issue de ces essais, nous allons déterminés le débit d'exploitation et les différentes caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère libre: Transmissivité, perméabilité et coefficient d'emmagasinement.

Nous terminerons par un troisième chapitre concernant la potabilité de l'eau du forage FC6 en rapport avec les normes Algérienne et l'OMS.

Introduction :

Dans ce qui suit, nous allons présenter la commune de Larbâa, en indiquant sa situation géographique, puis nous allons estimer ses besoins de consommation en eaux potable.

I-1. Situation géographique et administrative :

La ville de Larbâa se situe à une altitude de 100 mètre NGA, au nord-est de la wilaya de Blida. Elle est localisée sur la partie Est de la plaine de la Mitidja, et relève du secteur administratif de la Wilaya de Blida. Ses limites administratives sont :

- ✓ Au nord, les Eucalyptus (Wilaya D'Alger) ;
- ✓ Au sud la ville d'Ouled Slama ;
- ✓ A l'Est la ville de Djebabra ;
- ✓ Á l'ouest Ouled Slama

Son chef-lieu est situé à 25 km au sud-est d'Alger et à 34 km au nord-est de Blida et à 60 km au nord-est de Médéa [*].

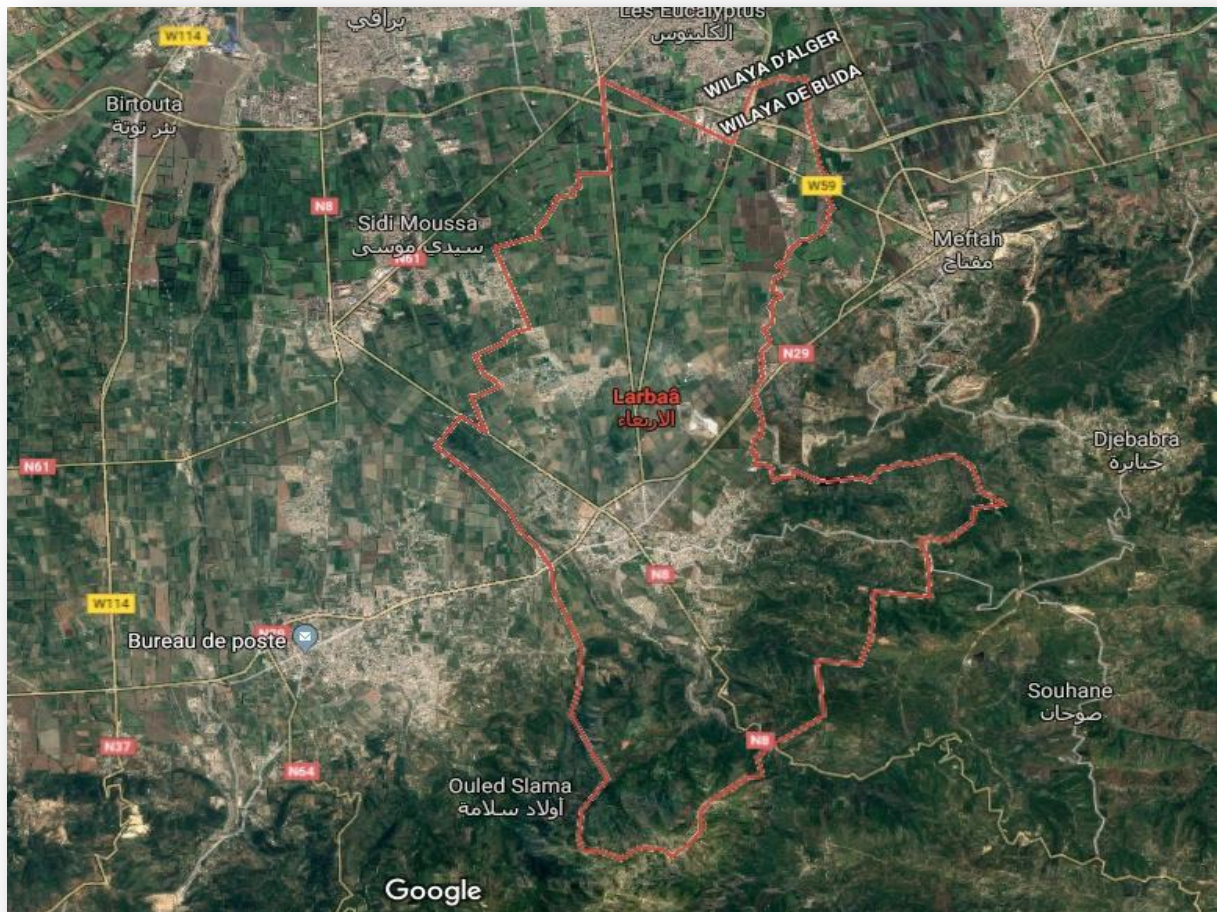


Figure I-1 : Localisation de la ville de Larbâa (source : Google Earth)

Chapitre I : Présentation de la ville de Larbâa

I-2. Données socio-économique :

I-2-1. Donnée démographique :

D'après le recensement qui a été effectué par le service de l'APC de Larbâa en 2017, la commune était composée de 124000 habitants.

Le calcul prévisionnel de la population future obéit à la relation :

$$P_n = P_0(1 + \tau)^n$$

P_0 : Population à l'année de référence

P_n : Population future

τ : taux démographique estimé à 3.4 %

n : nombre d'années

Tableau I.1 : Population actuelle et prévisionnelle

Horizon	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Population (hab)	113248	125197	147978	174903	206729	244345	288806

I-2-2. La dotation :

La dotation unitaire domestique varie dans le temps et selon la typologie de l'agglomération. Notre zone d'étude est considérée comme une zone urbaine dit « supérieur » selon le PNE 2010[5] (Plan National de l'Eau 2010) compte tenu de la dimension de sa population estimée en 2017 à 124000 habitants.

Tableau I-2: Evolution de la Dotation nette en l/j/hab. (source PNE).

Typologie agglomération / Strates de population	
Désignation	Caractéristique
les métropoles à statut particulier de délégation (SPE)	Alger ; Oran ; Constantine ; Annaba
Les métropoles	villes de plus de 300.000 habitants
L'urbain dit « supérieur »	100.000 < pop < 300.000 habitants
L'urbain	20.000 < pop < 100.000 habitants
Semi urbain	5.000 < pop < 20.000 habitants
Semi rural	3.000 < pop < 5.000 habitants
Rural aggloméré	600 < pop < 3.000 habitants
Rural épars	population inférieure à 600 habitants (100 unités d'habitation).

Source PNE

Chapitre I : Présentation de la ville de Larbâa

Tableau I-3: Evolution de la Dotation unitaire de la zone urbaine dit supérieur.

Typologie agglomération	Horizon								
	Actuelle			Prévisionnelle					
	2010	2015	2017	2020	2025	2030	2035	2040	
Urbaine dit « supérieur »	128	128	130	135	150	165	211	217	

Les valeurs des colonnes en surbrillance ont été calculées à partir du procédé d'interpolation de Neville[4].

I-2-3. Calcul des ratios :

- Débit moyen journalier brute Q_m^j :

Par définition c'est le rapport entre le volume écoulé, durant une journée complète (de 0 à 24 h), et la durée correspondante. Ce volume est calculé à partir de la chronique des débits instantanés. Si le débit est exprimé en (m³/s), le volume est calculé en (m³) et la durée est de 86 400 (s).

La consommation moyenne journalière est exprimée en mètre cube par jour et donnée par la relation suivante :

$$Q_m^j = \frac{Dot \times pop}{1000} \text{ m}^3/\text{j}$$

Q_m^j : Débit moyen journalier en m³/j ;

Dot : Dotation unitaire en l/j/hab. ;

pop : Nombre de consommateurs.

Tableau I.4 : Débit moyen journalier brute aux différents horizons.

Horizon	2017	2020	2025	2030	2035	2040
La population	113248	125197	147978	174903	206729	244345
La dotation	130	135	150	165	211	213
Q_m^j (l/s)	170.40	195.62	256.91	334.01	504.86	602.37

- Débit maximal journalier $Q_{\max}^j$:

Le débit maximal journalier noté $Q_{\max}^j$ est défini comme étant le débit d'une journée de l'année où la consommation est maximale.

$$Q_{\max}^j = Q_{\text{moy}}^j / R \text{ en (m}^3/\text{j)}$$

$Q_{\max}^j$: Débit maximal journalier en (m³/j) ;

Q_{moy}^j : Débit moyen journalier en (m³/j) ;

R: Rendement.

Chapitre I : Présentation de la ville de Larbâa

a\ Débit maximal journalier :

$$Q_{\max}^j (\text{dis}) = Q_{\text{moy}}^j / Rg \text{ m}^3 / j$$

Tableau I.5 : Rendement global fixé selon le Plan National de l'Eau de 2010

Horizon	2017	2020	2025	2030	2035	2040
Rendement de distribution (Rd)	54	54	59	63	68	72

• Débit de pointe journalier Q_p^j :

Le débit journalier de pointe noté Q_p^j sera obtenu en affectant à la demande de base un coefficient de pointe journalière k_p^j et en tenant compte du rendement du système global de distribution d'eau.

Et il exprimé par la formule suivante :

$$Q_p^j = k_p^j \times Q_{\max}^j \text{ m}^3 / j$$

Q_p^j : Débit de pointe journalière en (m^3 / j) ;

k_p^j : Coefficient de pointe journalière $1,05 \leq k_p^j \leq 1,15$;

Nous choisissons la valeur moyenne $k_p^j \approx 1.1$

Tableau I.6 : tableau des besoins de consommation

Horizon	Unité	2017	2020	2025	2030	2035	2040
Population	hab.	113248	125197	147978	174903	206729	244345
Dotation	l/hab./j	130	135	150	165	211	217
Q_m^j	l/s	170.40	195.62	256.91	334.01	504.86	602.37
Q_m^j	m^3/j	14722.56	16901.57	22197.02	28858.46	43619.90	52044.77
Rg	%	54	54	59	63	68	72
$Q_{\max}^j$	m^3/j	277264	31299.20	37620.67	45807.08	64146.91	72284.40
K_p^j	/	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Q_p^j	m^3/j	29990.40	34429.12	413842.74	50387.79	70561.60	79512.84

I-2-4. production en eau potable:

Environ 4877640 m^3/an équivalent à 154,67 l/s ont été distribué à la ville de Larbâa.

La ville de Larbâa est alimentée actuellement à partir d'un champ de captage doté de 25 forages d'un débit moyen de 7 l/s, ce qui correspond à un débit total de production de 175 l/s.

Chapitre I : Présentation de la ville de Larbâa

L'A.P.C de Larbâa et la Direction des Ressources en Eaux ont décidées d'implanté un champ de captage dans la région du Chabli (le choix de ce site était conditionné par la bonne performance de l'aquifère en terme de débit de production). Ce champ de captage est doté de 6 forages (ouvrages de captage). Les travaux que nous avons réalisé sur la région de projet nous a permis de dresser un inventaire concernant les forages existant, dont la profondeur de captage ne dépassent pas les 200 mètres de profondeur, comme le montre le tableau ci dessous :

Tableau I.7: Les caractéristiques des forages projetés FC.

Forages	Cordonnées		Prof	Débit (l/s)	NS(m)	Elévation Z(m)
	X (m)	Y(m)				
FC1 Chebli	530 976.85	368 795.03	170	25	54.50	37
FC2 Chebli	530 968.10	368 388.54	170	25	53.00	36
FC3 Chebli	531 267.48	368 796.06	160	25	55.50	40
FC4 Chebli	531 744.67	364 616.13	160	25	60.00	62
FC5 Chebli	531 092.06	368 598.52	170	30	46.90	36
FC6 Chebli	531 491.41	366 624.37	174	30	54.2	63

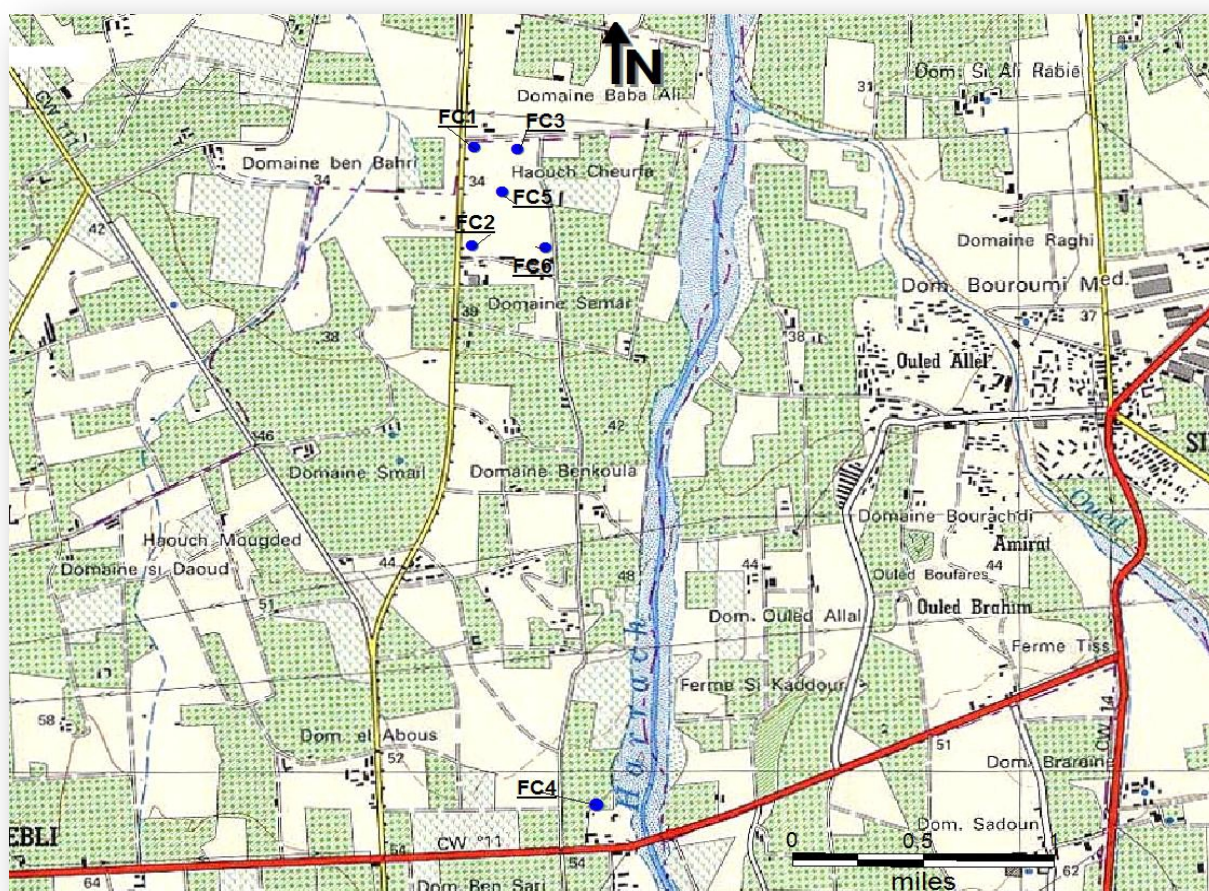


Figure I-2 : Carte d'inventaire des points d'eau (DRE, Service Forage)

Chapitre I : Présentation de la ville de Larbâa

La mise en service de ces 6 forages sera assurée à partir du début de l'an 2020 avec un débit total de production complémentaire de 160 l/s.

I-3. Adéquation besoins ressources :

Tableau I.8: Bilan hydrique.

Horizon	Unité	2017	2020	2025	2030	2035	2040
Population	hab.	113248	125197	147978	174903	206729	244345
Dotation	l/hab./j	130	135	150	165	211	217
Q_m^j	l/s	170.40	195.62	256.91	334.01	504.86	602.37
Q_m^j	m ³ /j	14722.56	16901.57	22197.02	28858.46	43619.90	52044.77
Rg	%	54	54	59	63	68	72
$Q_{\max}^j$	m ³ /j	277264	31299.20	37620.67	45807.08	64146.91	72284.40
K_p^j	/	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Q_p^j	m ³ /j	29990.40	34429.12	41384.74	50387.79	70561.60	79512.84
Q_{DISP}^j	m ³ /j	13363.49	27187.48	27187.49	27187.48	27187.48	27187.48
Bilan hydrique	m ³ /j	-16626.9	-7241.6	-14197.3	-23200.3	-43374.1	-52325.4

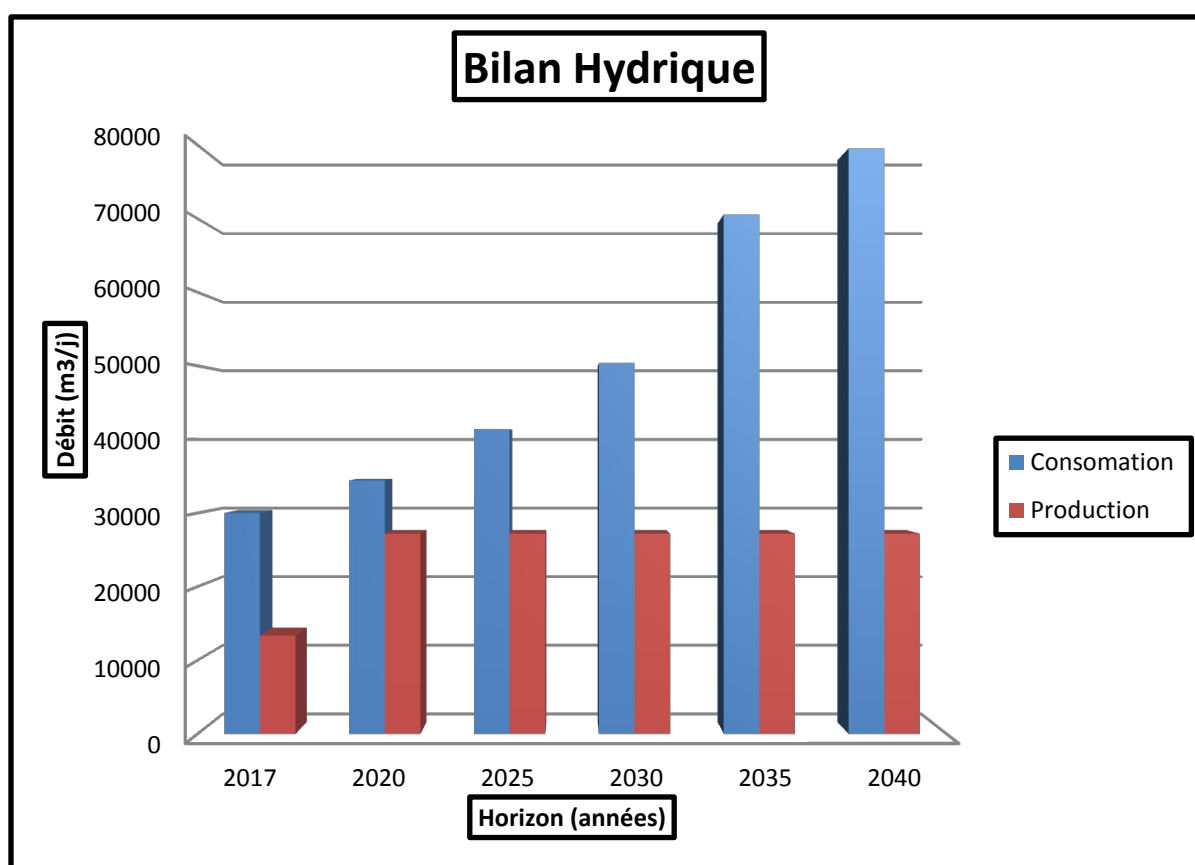


Figure I-3 : La courbe de bilan hydrique.

Chapitre I : Présentation de la ville de Larbâa

- Après l'adduction de nouveau champ de captage avec le réseau d'AEP de la ville de Larbaa, nous constatons une petite augmentation de débit disponible. Malgré cette augmentation le débit disponible sera insuffisant par rapport au débit de consommation.

✓ Proposition :

Pour résoudre le problème de déficit. Et comme la ville de larbaa située au niveau de la nappe de la Mitidja. Nous pouvons implanter un nombre de forage dans la même aquifère de champ de captage étudié au niveau de Chebli avec un débit d'exploitation moyen=30 l/s.

Le nombre de forage qu'il fallait implanter est comme suit :

Tableau I.9: Le nombre de forages possible pour résoudre le déficit.

Horizon	2020	2025	2030	2035	2040
Q consommé (m³/j)	31299.20	37620.67	45807.08	64146.91	72284.40
Q consommé (l/s)	362.26	435.42	530.17	742.44	836.25
Le nombre de forage	12	15	18	25	28

Conclusion :

Le bilan hydrique à révéler qu'actuellement la production en eau potable de la ville de Larbâa est insuffisante en particulier en période d'étiage. Par conséquent pour parer à ce déficit et satisfaire les consommateurs en eau potable à moyen et à long terme, il est nécessaire de renforcer les capacités de production en eau par la réalisation d'autres forages dont l'implantation serait prévue sur un champ de captage le plus adéquat tel que celui situé sur le site de Chebli dont le sous sol renferme des ressources en eau souterraine productive.

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter la zone d'étude ; nous commencerons par présenter son cadre, celui de la plaine de la Mitidja. Nous présenterons ensuite ses caractéristiques géographique, climatologique, géologique, hydrogéologique et les résultats de l'exploitation des données géophysique existantes.

II-1. Situation géographique

Le champ captant du forage projeté se trouve dans la région de Chebli exactement dans la partie centrale de la plaine alluviale de la Mitidja, cette plaine s'étale sur une superficie de 1300 km² (100 km de longueur et 8 à 18 km de largeur) orientée suivant un axe WSW-ENE. Cette plaine, limitée à l'ouest par l'oued Nador et à l'est par l'oued Boudouaou. Elle est bordée par deux zones élevées : au nord le Sahel d'altitude 260 m, et au sud l'Atlas d'altitude 1200 m.

Du nord au Sud de la région de la Mitidja nous pouvons définir trois ensembles géomorphologiques :

II-1-1. Le Sahel

Il correspond à un ensemble de collines, formant la limite nord de la plaine de la Mitidja où l'altitude moyenne est de 200m.

II-1-2. La plaine de la Mitidja

Au sud du Sahel, La plaine de la Mitidja s'étend sur une grande superficie, orientée WSW-ENE. Elle est limitée par l'Atlas Blidéen au Sud. Son altitude moyenne varie de 50 à 100 m. La pente au niveau de la plaine tend vers zéro ce qui favorise l'infiltration des eaux, là où les conditions géologiques le permettent.

II-1-3. L'Atlas Blidéen

Au Sud de la plaine de la Mitidja se développe un massif montagneux de haut sommet accusant une direction NE – SW, il se relève rapidement de la bordure de la plaine pour atteindre une altitude de 1200 à 1600 mètres. Dans l'ensemble, la morphologie de cette chaîne montagneuse est caractérisée par une succession de crêtes rabotées par une érosion intense des eaux ruissellements favorisés par la faible couverture végétale et la pente forte.



Figure II-1:Présentation de la plaine de la Mitidja (source : ANRH)

II-2. Aperçu géomorphologique

Introduction :

Les paramètres géomorphologiques sont des facteurs importants dans la répartition des eaux à l'échelle d'un bassin versant, c'est pourquoi, nous avons jugé utile de présenter un bref aperçu.

II-2-1. Paramètres physiques et morphologiques du bassin versant de l'Oued El Harrach :

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

II-2-2. Relief :

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

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude.

- Les points les plus hauts du bassin versant sont :
Kef Takhrina situé à une altitude de 1478 m et Chéra situé à une altitude de 1526 m localisée au Sud – Ouest du bassin versant.
- Le point le plus bas se trouve à l'embouchure de l'Oued El Harrach sur la mer Méditerranée.

Ses principaux affluents sont :

- ✓ L'Oued Djamaa, issu de l'Atlas Blidéen (B.V de 225 Km²).
- ✓ L'Oued Baba Ali avec l'Oued Terro, issu de la Mitidja (B.V de 166 Km²).
- ✓ L'Oued Smar, issu de la Mitidja, cours d'eau récepteur des zones industrielles de l'Oued Smar et El-Harrach Sud (B.V de 117 Km²).
- ✓ L'Oued El Kerma, issu du Sahel (B.V de 74 Km²)
- ✓ L'Oued Ouchaiah issu du Sahel, cours d'eau récepteur des communes et quartiers urbains fortement peuplés (Kouba, Birkhadem...) à un Kilomètre de l'embouchure de l'Oued El-Harrach (B.V de 22 Km²)
- ✓ L'Oued Adda cours d'eau récepteur des quartiers urbains d'El-Harrach et des Eucalyptus.

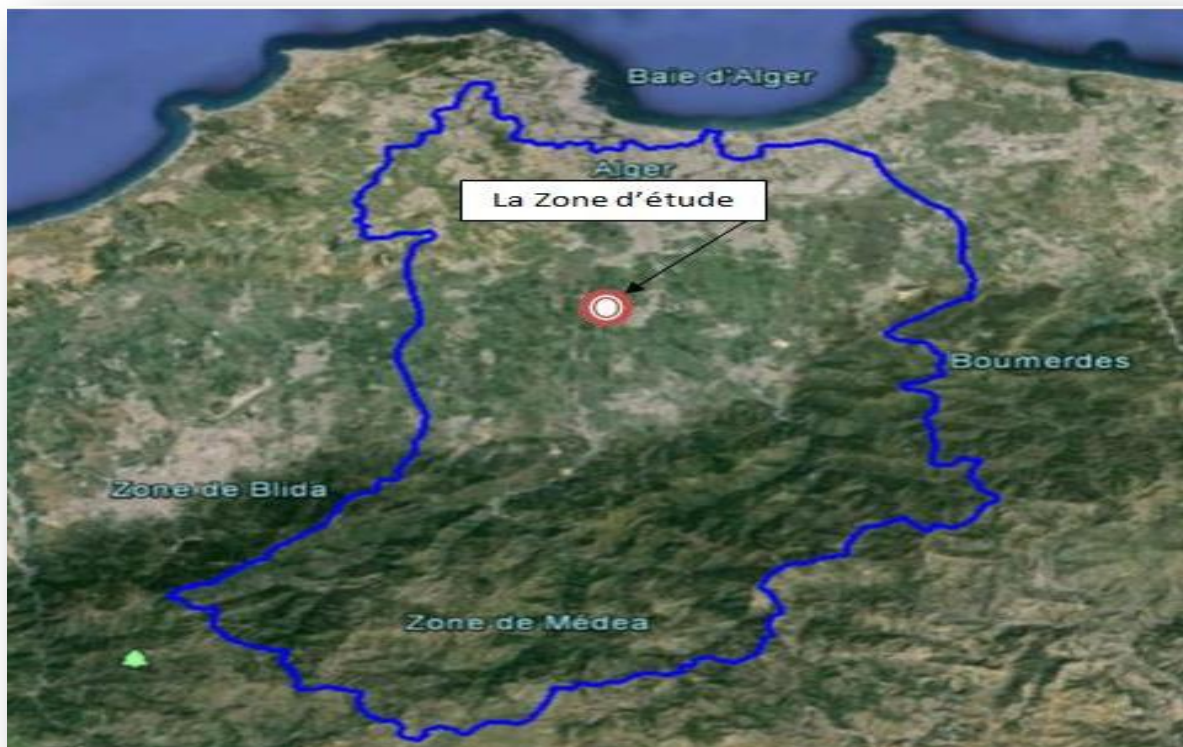


Figure II-2 : Localisation du champ captant du forage projeté (source : Google Earth)

II-2-3. Caractéristiques de la morphologie du bassin versant :

La forme du bassin versant influence fortement l'écoulement et notamment le temps de réponse du bassin versant aux précipitations, c'est à dire la durée du ruissellement de surface et le temps de parcours à travers le réseau de drainage. Par ailleurs un bassin versant allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin ramassé même s'ils sont placés dans les mêmes conditions météorologiques.

Pour l'étude des caractéristiques morphologiques, plusieurs paramètres ont été proposés par Gravelius.

- La superficie et le périmètre du bassin versant ;
- L'indice de capacité ou coefficient de Gravelius ;
- Rectangle équivalente et par suite la longueur et largeur équivalente ;
- La forme du bassin est caractérisée par l'indice de compacité de Gravelius noté K_c , défini par la formule :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{3.14 \times A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

P : Périmètre du bassin versant (Km)

A : Surface du bassin versant (Km²)

$$K_c = 0.28 \times \frac{85}{\sqrt{230.5}} = 1.48$$

La valeur calculée de K_c indique que la forme du bassin versant de l'Oued El Harrach est allongée, suggérant un ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration.

II-2-4. Rectangle équivalent

La méthode consiste à déterminer les dimensions d'un bassin fictif de forme rectangulaire ayant même superficie, même périmètre et même indice de compacité que ceux du bassin versant initial. Les dimensions du rectangle équivalent (longueur et largeur) sont données par :

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] = 78 \text{ Km}$$

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] = 16.2 \text{ Km}$$

L : Longueur équivalente du rectangle en km

l : Largeur équivalente du rectangle en Km.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude.

Nous constatons que la largeur l du rectangle équivalent est approximativement quatre fois plus petite que sa longueur L , indiquant ainsi une pente moyenne pour le Bassin versant considéré.

Les différentes caractéristiques sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Tableau II-1 : Caractéristiques de la forme du BV.

P	km	187
S	km ²	1250
Kc	Sans dimension	1.48
L	km	78
l	km	16.2
L/l	Sans dimension	4.8

II-3. Aperçu Hydro-climatique :

Dans cette partie, consacrée à l'étude des paramètres climatologiques (précipitation, température) intervenant dans l'établissement du bilan hydrologique, nous avons procédé à une collecte de données climatologiques, auprès de l'Agence National des Ressources Hydrauliques (ANRH), valables pour la période s'étalant de 1980 à 2017.

II-3.1. Précipitation :

Pour caractériser le régime climatique dans la région de la zone d'étude, nous avons choisi quatre stations climatiques dont les caractéristiques sont reportées dans le tableau I-2 et localisées sur la carte de la figure I-3

Tableau. II-2 Caractéristiques des stations pluviométriques.

BV	Station pluviométrie	Code ANRH	Coordonnées Lambert (Km)		Altitude (m)
			X	Y	
SBV1	Larbaà	02-14-03	541.150	362.950	100
	Baraki	02-14-21	535.050	376.500	20
	Douar Makli	02-14-27	532.450	355.750	130
SBV2	Dar El Beida	02-06-11	347.350	379.600	24

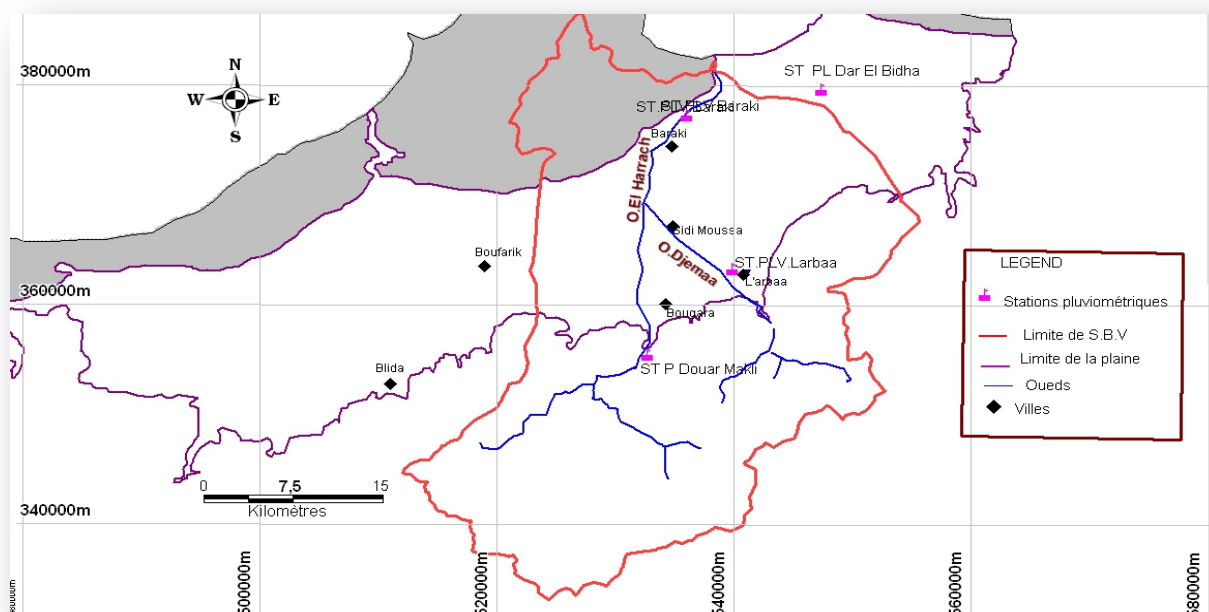


Figure. II-3 : Carte de localisation des stations pluviométriques (source : ANRH-Blida)

II-3.1.1. Précipitation moyennes mensuelles :

La répartition moyenne mensuelle des précipitations relevées au niveau des trois stations (Baraki, Larbaà, Douar Makli) sont consignées dans le tableau I-3. En ce qui concerne la station de Douar Makli les valeurs relevées s'étalent sur une période plus réduite allant de 1980 à 2014, par contre celles des deux stations de Baraki et Larbaà vont jusqu'à 2017.

Tableau II-3 : Précipitations moyennes mensuelles (1980-2017).

	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
Baraki	22,7	47,3	103,0	94,3	110,6	80,4	80,8	56,8	35,7	12,5	2,0	3,4
Larbâa	21,2	25,6	88,8	101,7	106,8	71,5	98,9	70,5	43,2	21,4	0,0	3,0
Douar Makli	24.4	50.6	77.6	99.2	89.8	83,0	69.6	61.2	55.1	8.6	3.1	6.3

L'analyse des courbes de variations des précipitations relevées au niveau des deux stations (Figure. II-4) révèle des allures similaires, caractérisées par une période pluvieuse s'étalant du mois d'octobre au mois de mai avec un pic de 110.6 mm au mois de janvier relevé au niveau de la station de Baraki, les mois de juillet et aout sont relativement plus secs, avec un minimum de précipitation au mois de juillet constaté à la station de Larbaà

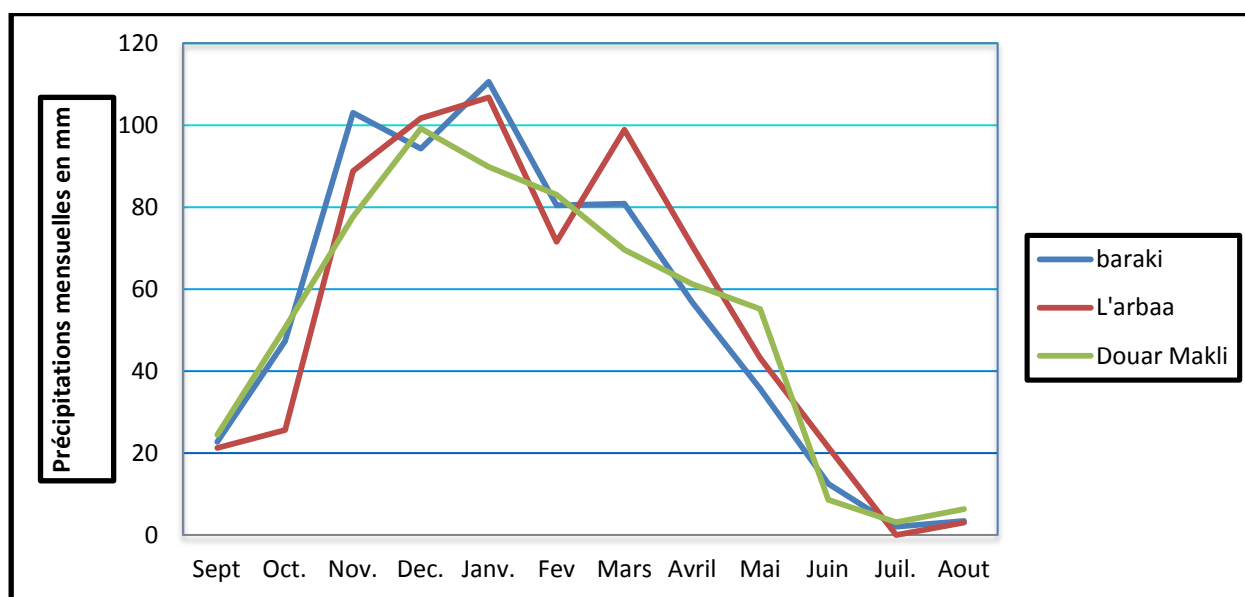


Figure II.4 : Variation des précipitations moyennes mensuelles pour la période (1980-2017)

II-3.1.2. Précipitations moyennes annuelles

Les mesures des précipitations relevées sont consignées dans le Tableau .I-4

Tableau II-4 : Précipitations interannuelle moyennes des précipitations (1980-2017)

Station	Larbaà	Baraki	Douar Makli
Précipitation moyennes annuelles (mm)	649.3	652.5	628.5
Valeur moyenne (mm)	650.9		

II-3.2. Températures :

La température joue un rôle très important dans l'évaluation du bilan hydrologique et la connaissance des caractéristiques climatiques d'une région. Elle joue un rôle important en particulier dans l'estimation de l'évapotranspiration potentielle.

Compte tenu de l'absence des stations de mesure locales de la zone d'étude nous nous sommes référés aux données disponibles de la station la plus proche qui est celle de Dar El Beida.

Il est à noter que les mesures relevées au niveau de la station de Dar El Beida sont complètes et régulières. Elles sont représentatives de la Mitidja orientale. Les différentes mesures de température sont consignées dans le tableau ci-dessous.

Tableau II-5 : Température moyenne, maximale et minimale à la station de Dar El Beida (1980-2010)

	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Années
Moy	23,57	20,12	15,44	12,50	11,13	11,65	13,25	15,05	18,33	22,25	25,2	26,11	17.88
Min	17,60	14,20	10,00	6,90	5,60	5,10	7,10	9,40	13,0	16,50	19,00	20,10	12.04
Max	29,54	26,04	20,88	18,10	16,66	18,20	19,40	20,70	23,66	28,00	31,40	32,12	23.72

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude.

La température moyenne est de 17.88 °C. D'après le graphe (Figure. II- 6) nous pouvons observer deux périodes dans cette série hydrologique :

- Une période froide s'étalant du mois de novembre jusqu'au mois d'avril avec une température moyenne inférieure à la température moyenne annuelle.
- Une période chaude s'étalant du mois de mai jusqu'au mois d'octobre dont la température moyenne est supérieure à la température moyenne annuelle.

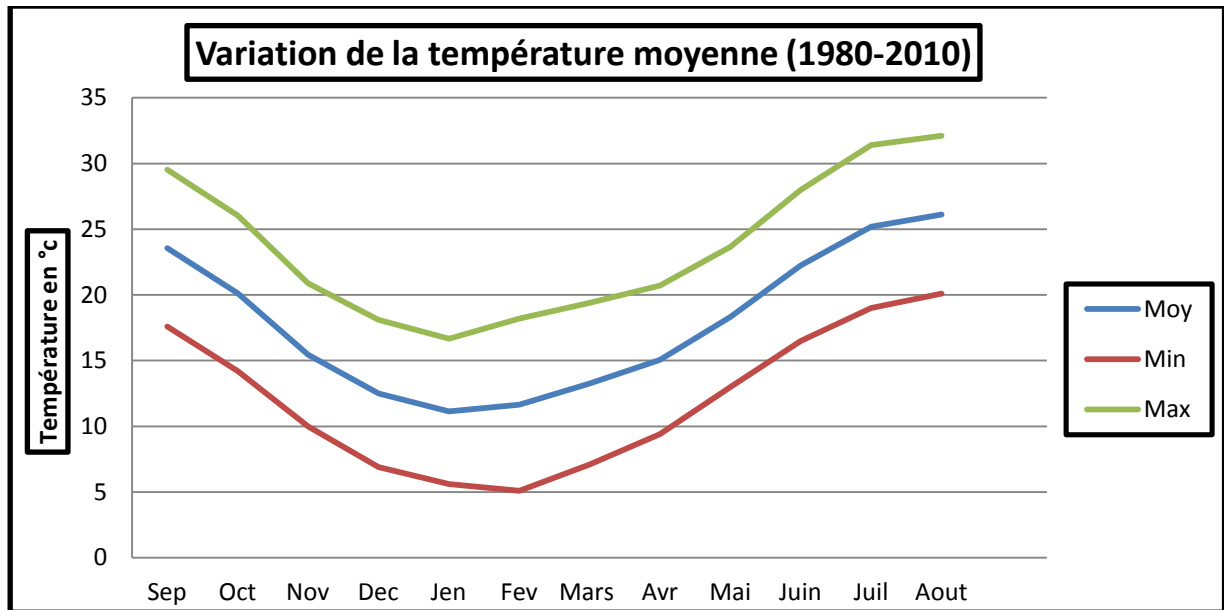


Figure. II- 6 : Variation des Température à la station de Dar El Beida (1980-2010)

• Remarque :

La température moyenne annuelle varie de 16° C à 18° C; notons que la variation est fonction de l'éloignement par rapport à la mer; ces températures sont plus douces à proximité du littoral qu'à l'intérieur. L'humidité relative décroît très largement de la côte à l'intérieur, elle est plus élevée en hiver qu'en été. Les stations qui se situent à proximité de la mer, enregistrent des températures qui varient entre 6 et 12°C en hiver et de 21 à 33 ° C en été. Cela montre ainsi l'influence de la mer dans l'adoucissement climatique des températures.

II-4. Aperçu géologique

Introduction :

La Mitidja est une vaste plaine dont la superficie est estimée à environ 1300 Km², elle à une forme allongée et s'étend au sud d'Alger, entre Hadjout à l'Ouest et Réghaia à l'Est.

Elle est délimitée par deux régions surélevées :

- ✓ Au Nord, le bombement du Sahel d'altitude n'excédant pas 280 mètres, et des pentes faibles ;
- ✓ Au Sud, l'Atlas Blidéen formé par une succession de massifs montagneux dont l'altitude maximale est de 1629 mètres. les pentes sont généralement fortes.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude.

II-4.1. Cadre géologique général

La formation de la Mitidja est constituée essentiellement de matériaux alluvionnaires : sables, argiles sableuses, argiles graveleuses, graviers, galets, graviers et galets gréseux souvent argileux ou limoneux. Celle-ci est présente sur toute l'étendue de la plaine à l'exception de la partie occidentale où ces alluvions sont recouvertes par les marnes et argiles de la basse plaine du Mazafran et de Halloula.

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. Les différents stades de l'évolution de la plaine de Mitidja sont aujourd'hui bien connus depuis les travaux de L.Glangenau et A. Aymé.1932 [1].

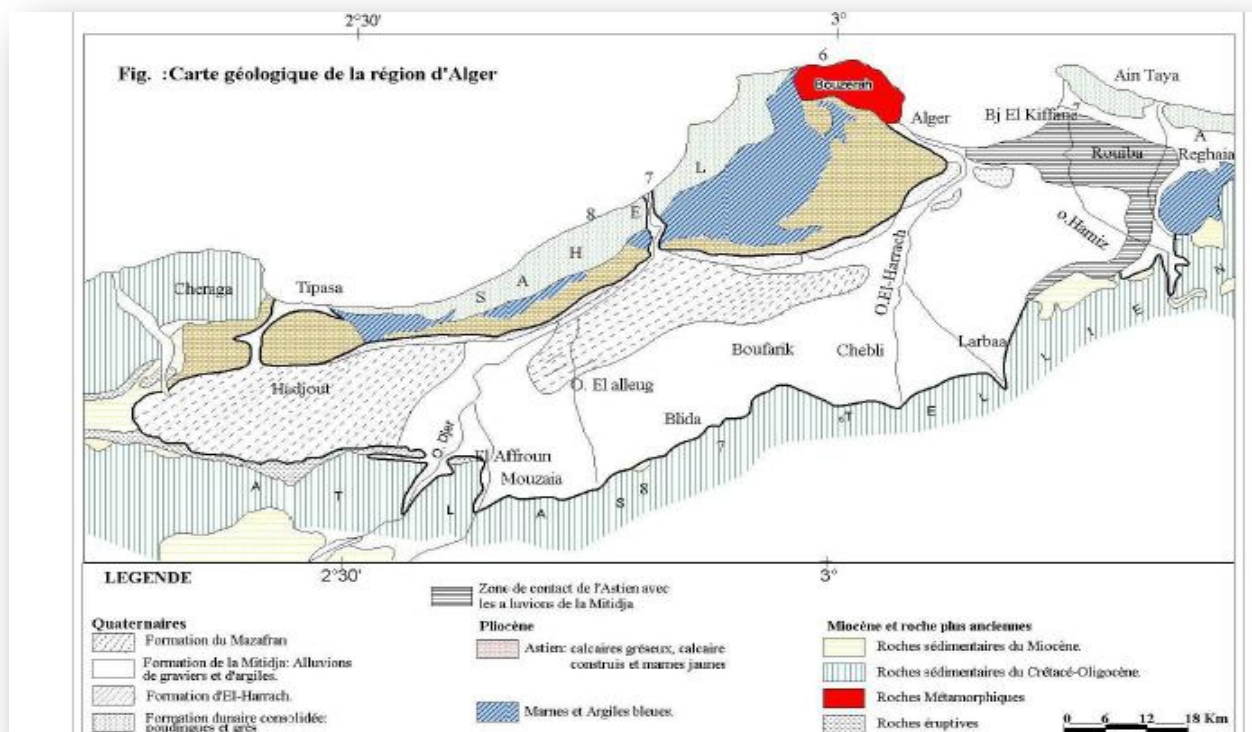


Figure II-8 : Carte géologique de la plaine de la Mitidja (ANRH Alger).

II-4.2. La litho-stratigraphie :

II-4.2.1. Le Quaternaire :

- **Le Rharibien :**

Cette formation comprend :

La formation dunaire constituée de sables dunaires, graviers et grés le tout plus au moins consolidé, a une épaisseur qui varie de 20 à 40 m et de la formation de Mazafran composée par les Alluvions récentes de la Mitidja .Les dépôts sont limoneux et argilo-limoneux et contiennent quelque fois des graviers, a une épaisseur d'environ 10m en moyenne mais qui peut atteindre 60 m

- **Le Tyrrhénien (La formations de la Mitidja) :**

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

- **Villafranchien (La formation d'El Harrach) :**

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

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

Quelquefois la formation d'El-Harrach en raison de la présence des graviers a été confondue avec la formation alluviale sus-jacente qui est essentiellement caillouteuses. Donc il est très difficile d'obtenir des informations sur les variations à l'intérieur même des dépôts de cette formation, les forages ayant pénétré dans celle-ci à une profondeur suffisante sont très rares. L'épaisseur moyenne de la formation au centre du bassin est estimée à 100 m et diminue progressivement en allant vers le sud.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude.

Tableau II-6 : litho stratigraphique de la plaine de la Mitidja (Quaternaire) ^[1].

SYSTEME	ETAGE	LITOLOGIE	Epaisseur (m)	Profondeur (m)
QUATERNAIRE	Holocène	Actuel / récent	20	20
	PLEISTOCENE	Flandrien/ Rharibien	30	50
		Sables consolidés	30	80
		Soltanien/ Tensiftien	150	230
		Calabrien/ Villafranchien	100	330

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude.

II-4.3. Apport de la reconnaissance géophysique :

la plaine de la métidja a fait l'objet d'une étude géophysique par la méthode de prospection électrique réalisée par la compagnie (CGG) entre 1969-1972 [2]. L'objet de cette étude a porté sur l'identification des formations susceptibles de renfermer un aquifère à partir de leur caractéristique géologique et de résistivité transversale.

C'est ainsi que plusieurs sondages électriques verticaux avec une longueur d'émissions AB égale à 2000 m ont été réalisés.

Les résultats obtenus portent sur la définition d'une échelle de résistivité, l'élaboration de coupes géoélectriques des cartes de la résistivité.

- **L'interprétation des coupes géo-électrique :**

Le profil électrique (W) traversant la zone d'étude en direction Nord-sud, a été établie et analysé dans le but de voir les différentes formations traversées par le futur forage FC6. Le substratum marneux du Plaisancien présentant des résistances comprises entre 3 et 8 Ωm , le substratum est surmonté par l'astien gréseux avec des résistivités de l'ordre de 70 Ωm profil (W) l'ensemble tertiaire est surmonté par un niveau quaternaire d'alluvion grossier argileux peu perméable dans les résistances sont comprises entre 15-20 Ωm avec l'intercalation d'alluvions grossiers perméables présentant une résistivité de 100 Ωm .

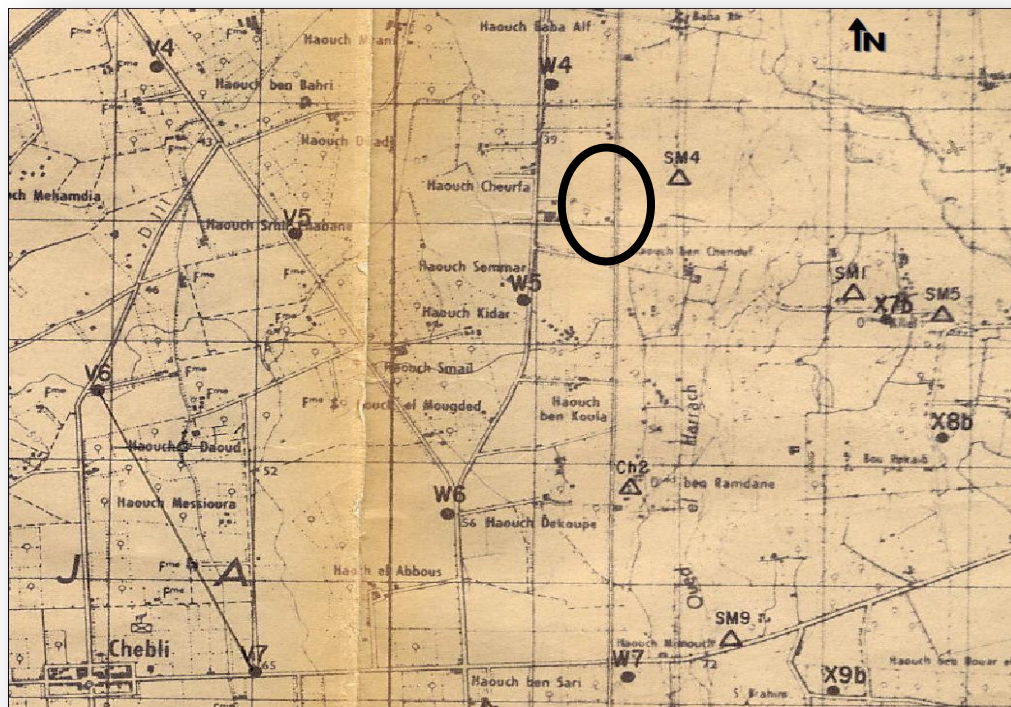


Figure II-10 : Carte de situation des sondages électriques (CGG) [2]

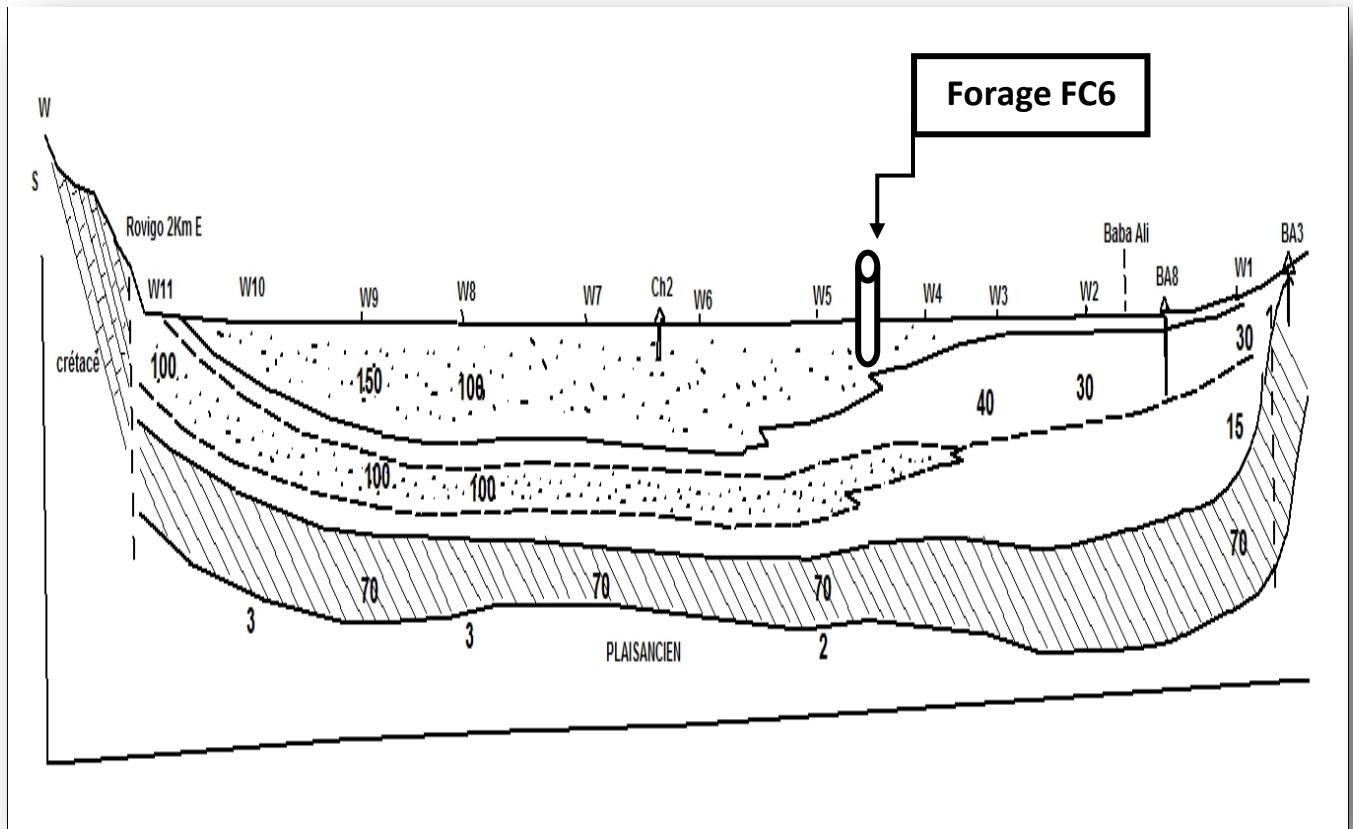


Figure II-11 : Coupe géo électrique « w ».

Les échelles de résistivité de différentes couches détachées par les sondages électrique effectués à transversale secteur étudié sont regroupé dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.7 : Les résistivités des couches traversées.

Etage	Nature	Résistivité (Ωm)
Quaternaire	Alluvions perméables	50-100
Pliocène	Astien gréseux Substratum du Plaisancien	70 3 à 20

II-5. Aperçu Hydrogéologique :

Introduction :

L'objectif de l'étude hydrogéologique est consisté en une identification et en la définition des unités géologiques ayant une importance du point de vue ressources en eau souterraine.

Cette étude hydrologique sera basée sur l'examen de données des études antérieures, notamment celles CGG (1973-1979-1998) réalisées par Parteners et Binnie ^[2]

II-5.1. Présentation de l'aquifère de la Mitidja :

Le système aquifère de la plaine de la Mitidja est encaissé dans un bassin de subsidence, d'âge Plio-Quaternaire, et dont la structure lithologique est très variée. Cette structure est caractérisée par une superposition de bas en haut (Figure II-14) :

- Une série marneuse formant le substratum qui peut être considéré comme imperméable ;
- Un ensemble calcaire-sablo-gréseux correspondant à l'Astien ;
- Un ensemble argileux contenant par endroit de sables et de graviers correspondant à la formation dite (formation d'El-Harrach) ;
- Un ensemble gravelo-sableux dit (Alluvion de la Mitidja).

Deux types de nappes peuvent être distingués, selon la nature des roches, et selon la nature du toit et du mur qui les limitent.

L'aquifère des alluvions du quaternaire d'épaisseur moyenne variant de 100 à 150 m, et l'aquifère contenu dans les calcaires et grès de l'Astien, reposant sur les marnes du plaisancien formant la limite étanche de presque tout le bassin. Son épaisseur moyenne de 100 à 130 m et se situe généralement à une profondeur allant de 250 à 300 m par rapport au niveau du sol.

Ces deux aquifères sont séparés par la formation semi perméable du villafranchien, appelée marne d'El-Harrach.

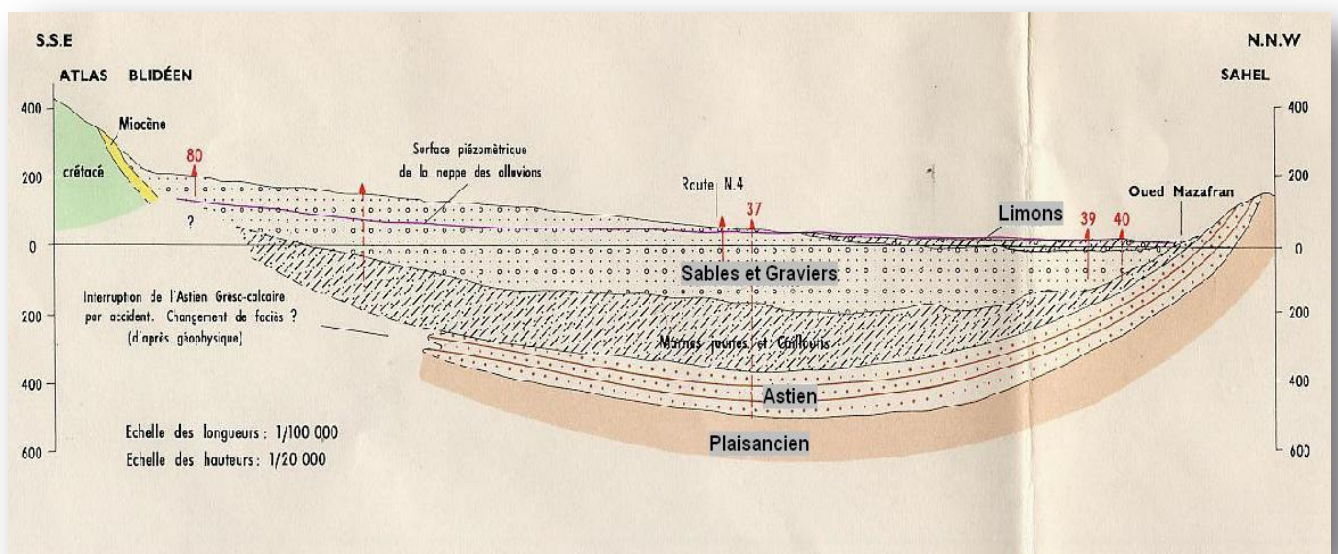


Figure II-13 : Coupe interprétative transversale de la Mitidja dans le bassin de Mazafran

II-5.2. Mécanismes d'alimentation et d'écoulement des eaux souterraines

- ✓ Alimentation de la nappe de l'aquifère de l'Astien :

L'alimentation de cette aquifère se fait essentiellement par les infiltrations des eaux de pluie sur le sahel ou les affleurements. Il est également alimenté par la nappe alluviale sus-jacente par drainance à travers les marnes jaunes et dont la perméabilité varie de 10^{-7} à 10^{-8} m/s.

- ✓ Alimentation de la nappe alluviale de Quaternaire :

Alimenté essentiellement par des eaux de ruissellement des oueds descendant de l'Atlas Blidéen, et l'ascendance verticale des eaux de l'astien à travers les argiles à cailloutis du villafranchien.

II-5.3. Les paramètres hydrodynamiques

Nous allons présenter pour l'essentiel deux paramètres : La transmissivité T et Le coefficient d'emménagement S.

- **La transmissivité T :**

Elle représente le produit de la conductivité hydraulique K (perméabilité exprimée en mètre/seconde) par l'épaisseur productive de l'aquifère e. Elle caractérise donc la facilité avec laquelle l'eau souterraine peut s'écouler.

[2] que les transmissivité de l'aquifère des alluvions varient dans la plaine de la Mitidja entre 53.10^{-3} et $0,3.10^{-3}$ m²/s avec des transmissivité plus faibles au niveau du bassin du *lac Halloula*. La valeur médiane d'un ensemble de 80 mesures est de $2,55.10^{-2}$ m²/s. Mac Donald a estimé à partir de 61 forages la transmissivité moyenne de l'aquifère des alluvions à 319 m²/j soit 4.10^{-3} m²/s. L'intervalle de confiance est estimé à : 1.10^{-4} – 2.10^{-2} m²/s.

- **Le coefficient d'emménagement S**

M. Clouet Orval [2] a estimé en 1968 que la valeur médiane de 40 valeurs connues de coefficient d'emménagement sur l'aquifère des alluvions en zone basse de Mazafran, soit dans la zone captive de l'aquifère, est de 17.10^{-5} .

Mac Donald 1993 [2] a cité des coefficients d'emménagement sans préciser les ouvrages qui ont permis de les mesurer.

Tableau II-8 : Coefficients d'emmagasinement S rapportés par McDonald ^[2]

Formation	Condition	Fourchette de valeurs mesurées
Astien	Libre	0.03 à 0.05
	Captive	5.10^{-3} à 5.10^{-6}
Mitidja	libre	0.02 à 0.07
	captive	3.10^{-3} à $1.6.10^{-4}$

II-6. La piézométrie :

II-6.1. Analyse piézométrique :

Pour la connaissance de l'hydrodynamisme de la nappe alluviale de la dépression du Mitidja, nous nous sommes basés essentiellement sur les relevés piézométriques relatifs aux périodes des basses eaux de 2015 effectués par l'ANRH de Blida.

II-6.2. Interprétation de la carte piézométrique, basse eau (Avril 2015 ^[2]) :

La carte piézométrique de la période basse eau de 2015, montre un écoulement général des eaux souterraines de la nappe alluviale du Mitidja dans la direction du Sud vers le Nord, avec une alimentation directe par les précipitations ainsi que par les infiltrations des eaux superficielles des différents cours d'eau, avec des axes de drainage principaux se superposant aux axes d'écoulement des cours d'eau : Oued Chiffa, Oued Bou Roumi, Oued Djemaa et Oued El Harrach.

On observe que dans la zone sud-ouest de la plaine (entre *Ameur Ain* et *El Affroun*), un resserrement des courbes isohypses, ceci est dû probablement à une variation de perméabilité à cet endroit avec un gradient 0.02 (2 %).

La carte piézométrique montre une convergence au niveau d'Oued El Alleug qui est due à la surexploitation à ce niveau vu l'existence des champs de captages de Mazafran I et II.

Le gradient hydraulique est presque constant en amont de la partie Est de la Mitidja d'une valeur de 0.01 soit 1 % avec un cône de dépression au niveau du champ de captage de *Baraki*

Au centre de la Mitidja au niveau de *Birtouta* les courbes isopièze sont espacées avec un gradient hydraulique très important 0.0025 soit 0.25 % ceci est dû à la faible perméabilité

On observe aussi des courbes isohypses négatives, provoquée par la surexploitation de la nappe surtout au niveau du champ de captage Mazafran I.

Notre secteur d'étude est situé entre les courbes isopièze 30 et 40 avec un gradient hydraulique 0.005 soit 0.5 %.

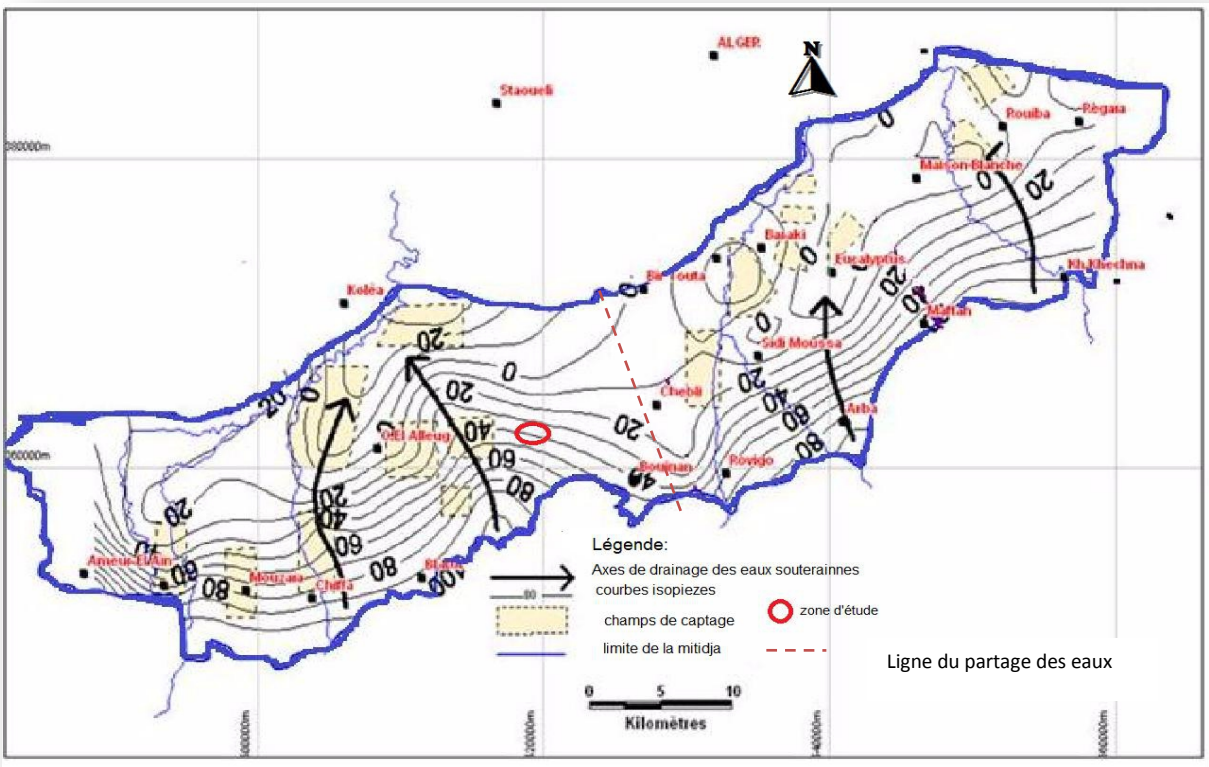


Figure II-14. Carte piézométrique de la nappe de la Mitidja (Campagne, avril 2015) ^[2]

Conclusion :

La plaine de la Mitidja Est, comporte deux sous bassins versants:

- ✓ Le bassin versant d'El Hamiz à l'Est.
- ✓ Le bassin versant d'El Harrach à l'Ouest.

La valeur de l'indice de compacité calculé indique que ces deux bassins versant sont de forme allongée, ce qui signifie que l'infiltration l'emporte sur le ruissèlement, quant à l'indice de pente globale, il indique que ces deux bassins se caractérisent par un relief assez faible. Enfin le réseau hydrographique de la plaine est représenté par quatre oueds principaux, Oued Djamaa et Smar, Oued Réghaia et Oued el Hamiz.

Le climat de la zone étudiée subit, compte tenu de sa situation géographique, la double influence de la mer et de la montagne, son climat est de type méditerranéen caractérisé par une saison sèche s'étalant du mois de mai au mois de septembre, suivi d'une saison humide s'étalant du mois d'octobre au mois d'avril.

Pour les études hydrogéologiques en vue de l'implantation d'un forage destiné à la prospection géophysique ça a nécessité une étude géologique pour le choix des sites les plus favorables.

La nappe Alluvionnaire du quaternaire qui concerne notre zone d'étude est formée par des sables et graviers argileux dont l'épaisseur variant entre 100 à 200 m, avec un substratum marneux du Villafranchien. Elle montre un écoulement général des eaux souterraines de Sud vers le Nord, avec une alimentation directe par les précipitations efficaces, par les infiltrations des eaux superficielles des cours d'eau et directement quand les alluvions sont en contact avec les grès de l'Astien dans la bordure du Sahel.

III-1. Appareil de forage rotary et accessoires

Introduction :

Le cas retenu dans notre intervention est le forage rotary avec circulation de boue de bentonite, destiné à la recherche et à l'exploitation de l'eau en profondeur. La technique est relativement moderne, dont les premières utilisations remontent à 1920. Le rotary est utilisé spécialement dans les terrains sédimentaires non consolidés. La méthode rotary est plus rapide, plus efficace et économique que tout autre.

III-1-1. Principe d'un appareil de forage rotary :

Le rotary est une méthode par rotation et broyage. Les déblais sont entraînés vers la surface par la circulation d'un fluide de forage, en général de la boue de forage, dans l'espace annulaire entre le terrain et le terrain et le train de tiges. L'avancement de l'outil s'effectue par abrasion et broyage (deux effets) du terrain sans choc, mais uniquement par translation et rotation (deux mouvements). Le mouvement de translation est fourni principalement par le poids des tiges au dessus de l'outil. La circulation d'un fluide permet de remonter les cutings à la surface. La boue est injectée à l'intérieur des tiges par une tête d'injection à l'aide d'une pompe à boue, et remonte dans l'espace annulaire en mouvement ascensionnel, en circuit fermé sans interruption.

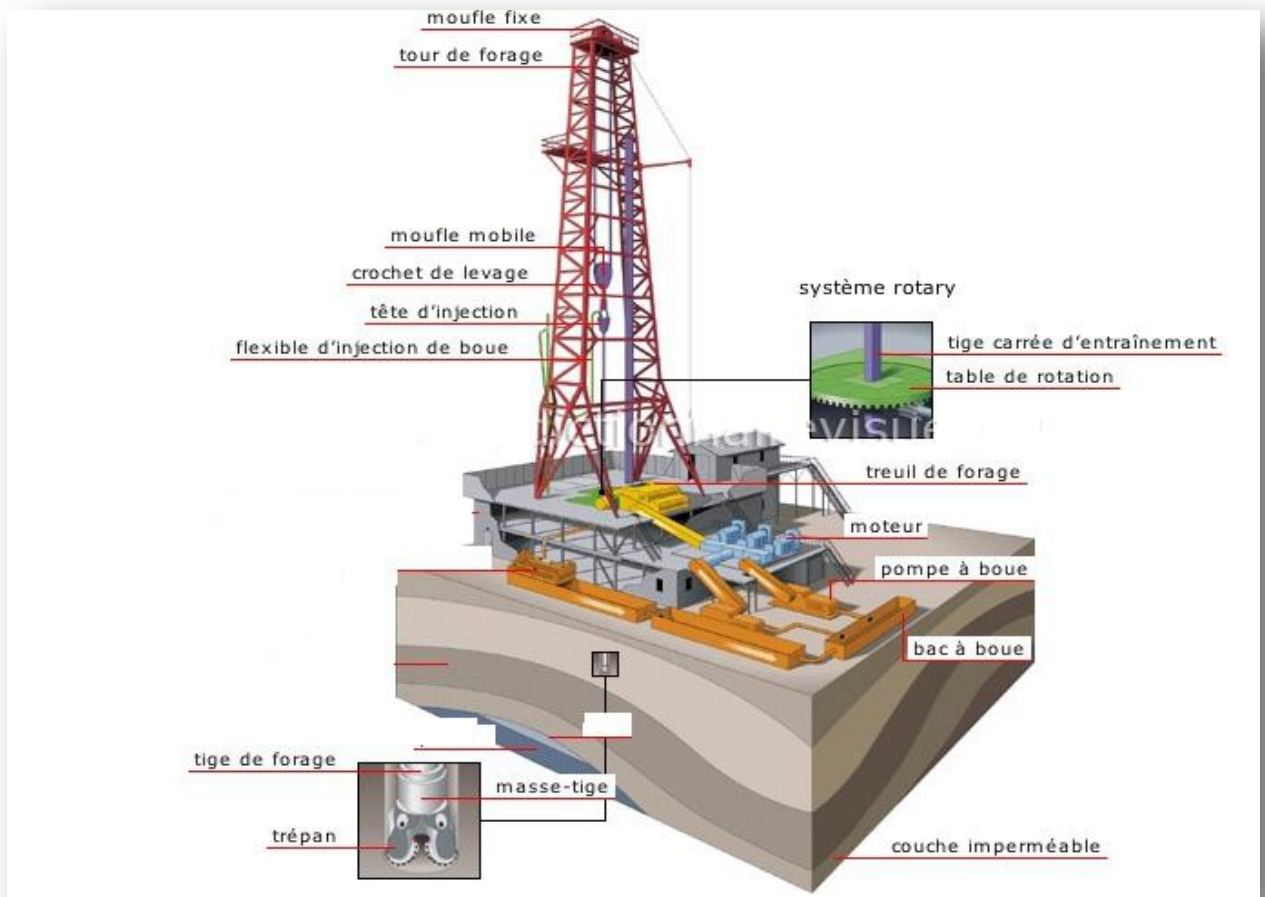


Figure. III-1: les composants d'un appareil de forage rotary

Chapitre III : Description de la machine de foration

Avantage :

- ✓ Les forages de grand diamètre sont exécutés rapidement et économique.
- ✓ Facilité de mise en place des équipements de forage.
- ✓ Bons rendements dans les terrains tendres.

Inconvénients :

- ✓ Nécessite beaucoup d'eau.
- ✓ Nécessite un grand investissement (matériels très importants).

III-1-2. Description de la machine et train de sonde :

Il existe deux types de procédés de forage rotary :

- ✓ Foreuse à table de rotation.
- ✓ Foreuse à tête de rotation.
- **Foreuse à table de rotation :**

L'appareil de forage rotatif à entraînement à table de rotation applique le mouvement rotatif au trépan à travers une table de rotation fixe située au pied du mat conjointement avec barre de commande qui s'appelle (KELLY) ou (tige carré).

- **Foreuse à tête de rotation :**

L'appareil de forage à tête rotative fournit de rotation par une tête rotative qui monte et descend le mât.

Chapitre III : Description de la machine de foration

III-1-3. Description Sommaire d'un Appareil de Forage Rotary :

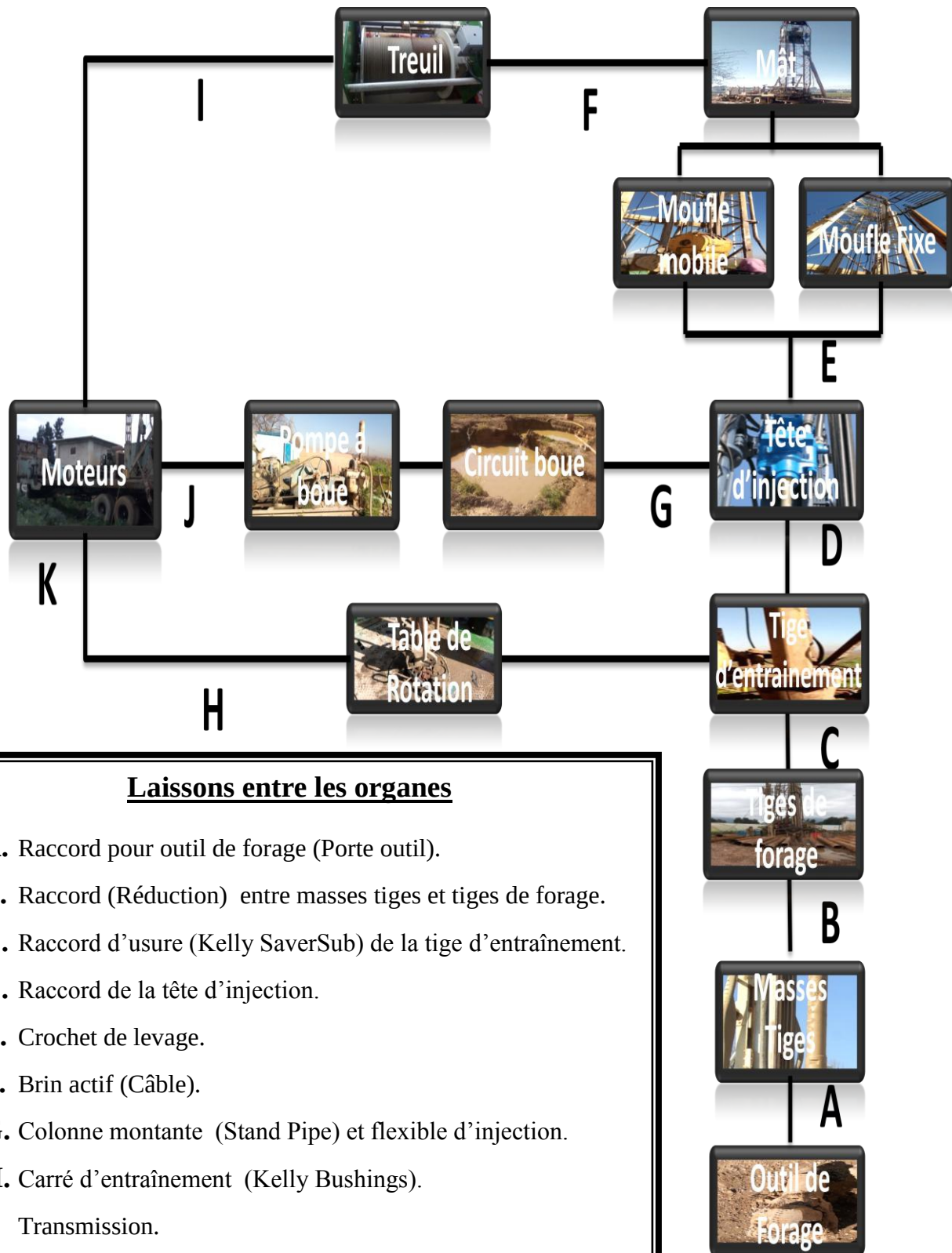


Figure. III-2 : Schéma montrant les organes de la machine.

III-1-3-1. Le mât :

Permet la manœuvre de remontée et de descente du train de sonde, les stockages des tiges après la remontée de l'outil si le mât est muni d'une passerelle d'accrochage, il permet aussi la descente de la colonne de tubage, les dimensions d'un mat dépendent de la profondeur à atteindre de la capacité maximale au crochet, de la capacité de stockages des tiges et sa résistances aux vents. L'axe de symétrie du mat doit être toujours dans le prolongement de l'axe du puits, pour les forages hydrauliques, on utilise des mats télescopiques à vérins hydraulique pour faciliter le déménagement, le mât peut être haubané avec des câbles pour augmenter sa stabilité contre les vents.



Figure. III-3: Photo de mât

III-1-3-2. Moufle fixe :

Ou crown block, composé d'une série de poulies montées généralement sur un même axe, ces tournent librement et indépendamment autour de cet axe, leur nombre est supérieur d'une unité à la moitié du nombre de brins du mouflage maximal, le moufle fixe est monté sur un bâti qui est lui-même posé et fixé sur la petite base se trouvant au sommet du mât.



Figure. III-4: Photo de Moufle fixe

III-1-3-3. Moufle mobile :

Ou traveling block, composé d'une série de poulies montées sur un même axe. Ces tournent librement autour de cet axe, leur nombre est égale à la moitié du nombre de brins du mouflage maximal, l'ensemble des poulies est enformé dans un carter de tôle rigide. Des fenêtres faites dans ce carter permettent le passage des brins de mouflage et empêchent le câble de sortir hors des poulies.



Figure. III-5 : Photo de Moufle mobile

III-1-3-4. Tête d'injection :

Support le train de sonde, permet l'injection de la boue à travers ce dernier soit en rotation ou non et joue le rôle de palier entre le train de sonde et le moufle mobil.



Figure. III-6 : Photo de Tête d'injection

III-1-3-5. Table de rotation :

C'est l'organe qui entraîne par rotation par un moteur, fait tourner l'outil au fond du trou par l'intermédiaire de la garniture de forage, le carré d'entraînement et la tige d'entraînement.

Pendant les manœuvres la table de rotation supporte la garniture par les cales.

La table de rotation est composée de trois parties principales :

- ✓ Le corps ou bâti
- ✓ La partie tournante
- ✓ L'arbre d'entraînement



Figure. III-7: Photo de Table de rotation

III-1-3-6. Pompes à boue :

Organe qui aspire et refoule sous pression et à l'intérieur de la garniture, la contenu dans les bassins. Ces pompes peuvent fournir des débits importants ($>300\text{l/mn}$) et à des pressions ($>300\text{Kgf/cm}^2$). C'est des pompes volumétriques alternatives à simple ou double effet (single ou double acting) et à plusieurs pistons.



Figure. III-8 : Photo de Pompe a boue

III-1-3-7. Treuil :

Organe assurant la transmission de la puissance adéquate à partir des moteurs pour permettre le levage à des vitesses différentes.

Il constitué de :

- 1) châssis rigide.
- 2) Tambour de manœuvre (lisse ou cannelé)
- 3) Arbre tambour de manœuvre
- 4) Dispositif de freinage.

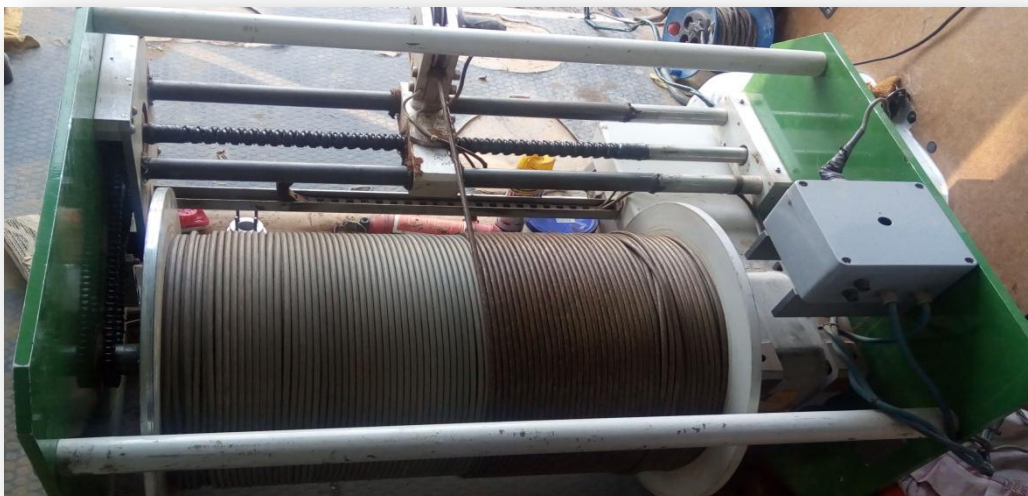


Figure. III-9 : Photo de treuil

III-1-3-8. Mouflage :

C'est le moyen de démultiplication le plus répandu et le plus simple pour lever de lourdes charges.

III-1-3-9. câble du forage :

Utilisé dans les manœuvres du train de sonde et le soutien des charges. L'élément de base est le fil d'acier à haute résistance, plusieurs fils torsadés et assemblés en tresse forment un toron. Plusieurs torons (en générale 6) enroulés en hélice autour d'une âme centrale forment un câble.

III-1-3-10. train de sondes :

a. la tige d'entraînement(Kelly) :

La tige d'entraînement est insérée en haut du train de sonde entre les tiges de forages et la tête d'injection.



Figure. III-10 : Photo de tige d'entraînement

b. les tiges de forage (drill pipes) :

Elles s'insèrent entre les masses tiges et la tige d'entraînement et elles assurent la transmission du mouvement de rotation et le passage du fluide d'injection.



Figure. III-11 : Photo de tiges forage

c. les masses tiges (drill collars) :

Elles sont utilisé pour :

- ✓ Mettre du poids sur outil
- ✓ Eviter aux tiges de travailler en compression pendant le forage
- ✓ Meilleur guidage du trépan et limitation de sa tendance à dévire



Figure. III-12 : Photo de masses tige

III-1-3-11 Les outils de forage :

Pour le foreur, l'outil qui se trouve au bout des tiges qui forent le sol est une des clés de son activité. L'outil doit être choisi dans un catalogue aussi varié que peut être la lithologie rencontrée. Si un outil de type marteau peut briser une roche compacte, il aura du mal à creuser une argile comme le ferait beaucoup mieux une tarière et les outils de type trillâmes.



Figure. III-13 : Photos des outils avec différent diamètre

Chapitre III : Description de la machine de foration

Selon son diamètre, l'outil peut peser de quelques kilogrammes à plusieurs centaines de kilogrammes. On distingue différents types d'outils de forage :

- **couronnes** qui sont des tiges, améliorées ou non, munies de dents ou de picots renforcés.
- forages au **diamant** (diamant synthétique poly cristallin), qui sont des outils de formes très variées (y compris les formes de type tricônes et trillâmes).
- **tricônes**, outils montés par trois cônes rotatifs ou molettes (libres).
- **Trillâmes** outils montés par trois "lames" en chevron pour les terrains les plus argileux et en gradin ou escalier pour les terrains plus durs (marnes et calcaires).
- **marteaux fond de trou** (MFT), qui sont des outils à percussion prédestinés aux sols durs et cassants.

Les **aléseurs** ne sont pas à proprement dit des outils de tête, puisqu'ils peuvent être montés en complément de l'outil principal. Le but des aléseurs est d'agrandir un trou, ou simplement d'en racler les bords et parfois de compacter le fond du forage.

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons décrire le déroulement des travaux de réalisation du forage projeté (forage à la fois de reconnaissance et de production).

L'emplacement précis du forage projeté dans le champ de captage est fixé compte tenu des résultats de synthèse d'une étude hydrologique, hydrogéologique et géophysique.

IV-1. Déroulement des travaux de foration :

Une fois le choix de l'emplacement fixé, différentes phases pour la première opération de foration sont exécutées selon le protocole suivant :

- Préparation de la plate forme, des bacs à boue et de rigole ;
- Installation du chantier ;
- Creusement de l'avant puits ;
- Forage reconnaissance ;
- Elargissement ;
- Tubage ;
- Cimentation en cas de besoin ;
- Gravillonnage ;
- Développement ;
- Les essais de pompes

IV-2. Technique et Matériel de foration :

IV-2-1. Technique de foration :

Les techniques de foration les plus utilisées en Algérie sont :

- Forage par mouvement alternatif (battage ou percussion)
- Forage par combinaison des deux mouvements (rotation – percussion)
- Forage par rotation (rotary)

La technique utilisée dans le cadre de notre projet est la foration par rotary

IV-2-2. Logistique du chantier :

IV-2-2-1. Les moyens humains :

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

IV-2-2-2. Les moyens matériels :

Les différents équipements utilisés : La foreuse, les accessoires (tiges, masses tiges outils, clés à chaînes, clés huit cent, porte outil, raccord etc.), groupe électrogène et chargeur de batterie, compresseur avec l'équipement de test (tube d'eau et tube d'air, flexible et vanne), citerne d'eau.

Chapitre IV : Description des travaux de foration.

IV-2-2-3. Stocks des matériaux :

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

IV-2-2-4. Organisation du chantier :

Les précautions à prendre doivent conduire à prévoir :

- Un périmètre de sécurité autour du chantier.
- Un approvisionnement en eau (citernes).
- Un accès pour les véhicules.
- Un accès facile pour le remplissage des fosses.
- Un endroit sec et protégé pour la rédaction de rapports de suivi (bureau).
- Une zone de déblais (cutting).
- Un terrain aplani pour faciliter le calage de la machine.
- L'emplacement et le creusage des fosses à boues.
- L'installation de toutes les unités de pompage, de pression hydraulique et de moteur sur un plan horizontal.



Figure IV-1 : Photo de la machine de foration

IV-3. La préparation des bassins à boue :

IV-3-1. Caractéristiques géométrique des bassins :

Les fosses ou bassin à boues constituent une réserve de fluide pour l'opération de foration, ils permettent son recyclage par décantation. Deux bassins seront nécessaires:

- Le 1^{er} bassin qualifié de bassin de décantation est prévu pour recevoir la boue évacuée par la machine lors de la foration pour permettre la décantation de la boue. Son volume est de 10 m^3 et ses dimensions sont $(2.5*2*2)$.
 - Le 2^{ème} bassin dit bassin de pompage est prévu pour recevoir la boue décantée pour être pompée dans la machine (injectée dans le train de tige). Son volume est de 10 m^3 et de même dimensions $(2.5*2*2)$.
- Les deux bassins sont régulièrement nettoyés des sédiments déposés en cours de la foration.
- Le volume total des bassins est fixé en fonction de la profondeur du forage.

Volume des bassins=3* Volume du forage



Figure IV-2 : Photo du bassin à boue

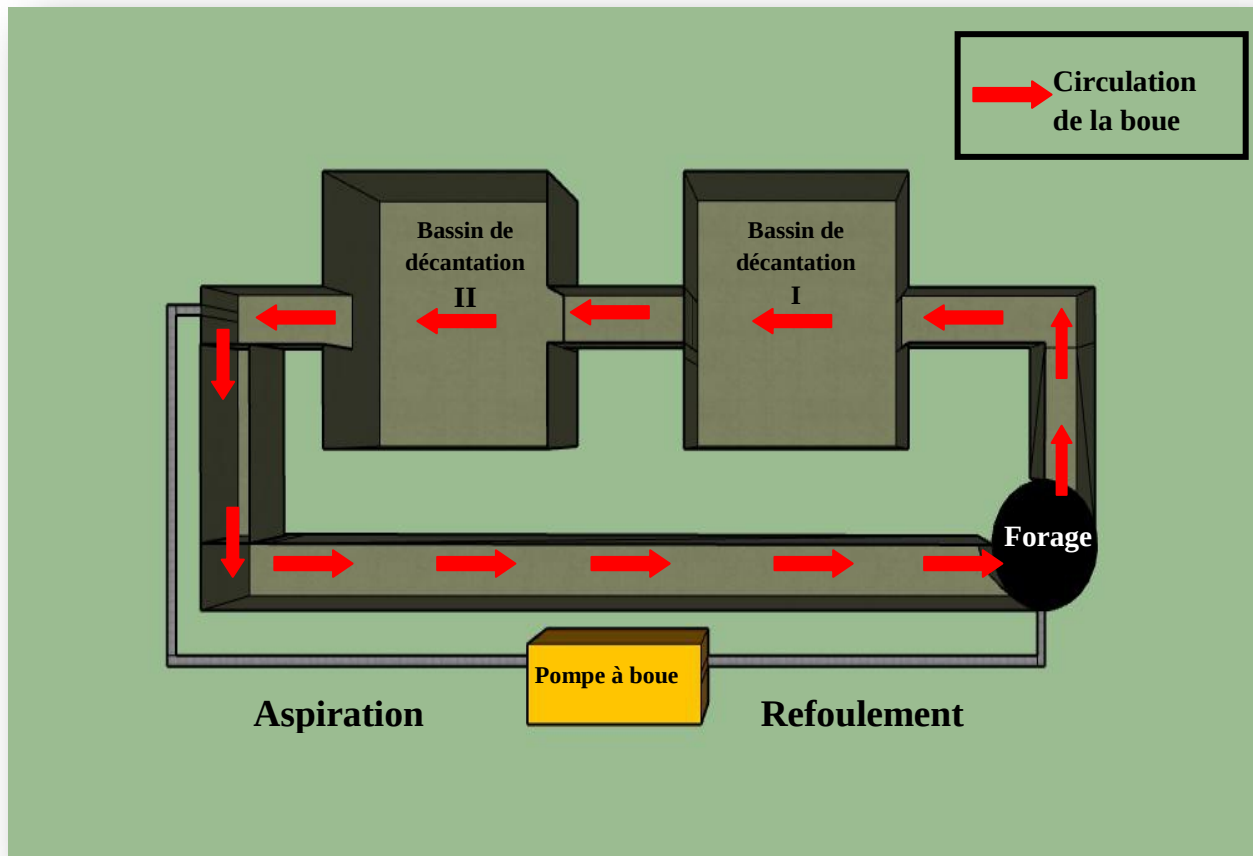


Figure IV-3 : Coupe technique transversale de la circulation de la boue.

IV-3-2. Caractéristique de la boue utilisée :

C'est une argile en poudre dosée entre 15 et 30 kg par m³ d'eau de densité 2.6.



Figure IV-4 : Photo de la poudre de bentonite.

IV-3-3. Le rôle de la boue

Le rôle de la boue de bentonite consiste en ce qui suit :

- Stabilise les parois du tunnel de forage
- Transporte les particules de forage
- Suspend les particules pour une meilleure évacuation
- Lubrifie la tige (tube) de forage, la tête de forage et l'aléteur.
- Lubrifie le tube à installer.
- Optimise la performance des équipements
- Facilite la circulation à l'intérieur du train de tige
- Refroidit l'outil lors du fonçage
- Consolide les parois du trou
- Maintient les effluents des réservoirs traversés
- Remonte les déblais des terrains forés en surface

IV-4. L'opération de creusement :

- **Tube guide**

L'opération de l'installation du tube guide se fait selon les étapes suivantes :

- ✓ **1^{ère} opération** : le forage est exécuté à l'aide d'un outil de 24" de diamètre et de 0 à 10m de profondeur.
- ✓ **2^{ème} opération** : un tube de TNRS de diamètre de 20" sur une profondeur de 10 m.
- ✓ **3^{ème} opération** : cimentation qui consiste en un remplissage du béton entre le trou de diamètre de 24" et le tube de 20" sur une profondeur de 10 m.
- ✓ Le forage est exécuté après 24 heures de la cimentation.

IV-4-1. Forage de reconnaissance :

Le forage de reconnaissance a été exécuté à l'aide d'un outil de 12"^{1/4}.

Durant cette phase, l'entreprise de réalisation a effectué cette opération en respectant les étapes suivantes :

Prélèvement des cuttings tous les 1 m de profondeur, mesure et contrôle des paramètres physiques du fluide de forage (densité, viscosité, perte partielle et totale), et des paramètres du forage (la vitesse de rotation et le débit d'injection).



Figure IV-5 : Illustration de l'opération de creusement

IV-4-2. Prélèvement et échantillonnage :

L'analyse granulométrique des échantillons prélevés (cuttings) permet l'établissement de la courbe granulométrique du massif de l'aquifère. Le but principal de cette analyse consiste à définir les caractéristiques des crépines et du gravier additionnel pour le massif filtrant.

L'échantillonnage est effectué lors de la foration à la boue par prélèvement à la surface, des échantillons broyés ou non du terrain rencontré par l'outil au fond du trou.

Au moment de l'analyse, il faudra tenir compte du fait que les échantillons ainsi prélevés renferment une forte proportion de boue de circulation, et qu'il est de ce fait conseillé de prélever plusieurs échantillons, 3 à 4 échantillons.

Généralement, nous prélevons un échantillon dès que nous rencontrons une formation aquifère, et à chaque fois qu'il y a changement de formation. Autrement, on prend un échantillon tous les mètres.

L'échantillon final est rincé puis placé dans des sachets en plastique avec étiquettes portant la mention de la côte de prélèvement.

La description granulométrique des cuttings, nous fournis une aide précieuse lors de l'établissement de la coupe lithologique du forage.



Figure IV-6 : Photo du conditionnement des cuttings dans des sachets étanches.

Chapitre IV : Description des travaux de foration.

IV-4-3. Reconnaissance géophysique par diagraphie :

Réaliser juste à la fin de la Foration, la diagraphie est une méthode de géophysique permettant de localiser avec grande précision les zones productrices d'eau, et donc de définir la position optimale des crépines.

Elle consiste à utiliser différents dispositifs d'électrodes afin de mesurer verticalement des résistivités des différentes couches de sol directement dans le trou de forage.

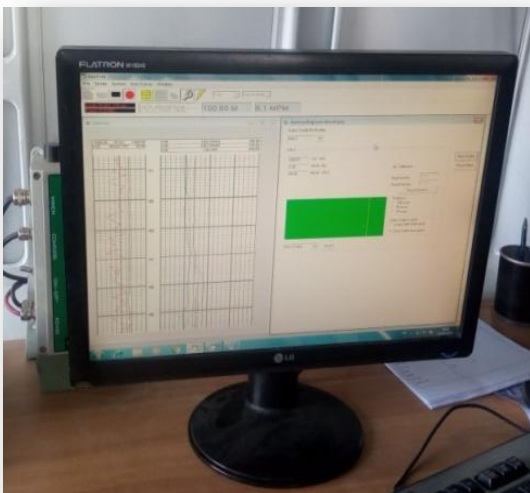


Figure IV-7 : Illustrations des équipements employés pour réaliser une diagraphie.

IV-4-3-1. Présentation des enregistrements :

Le principe de l'opération de la diagraphie consiste en la mesure de deux principales grandeurs : le potentiel, et la résistivité électrique des terrains traversés par le forage de reconnaissance.

La couche de potentiel donnera une idée de la nature géologique des couches et fixera, grâce à l'échelle verticale, leur position dans le forage.

La courbe de résistivité nous renseignera sur la teneur en eau de ces couches, sachant que les formations argileuses ont une faible résistivité et que les formations aquifères douces (sable, grés, gravier ou calcaire) ont une résistivité relativement plus importantes.

Les résultats d'enregistrements effectués dans le cas de notre forage sont illustrés sur les figures III-5 et III-6 s:

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

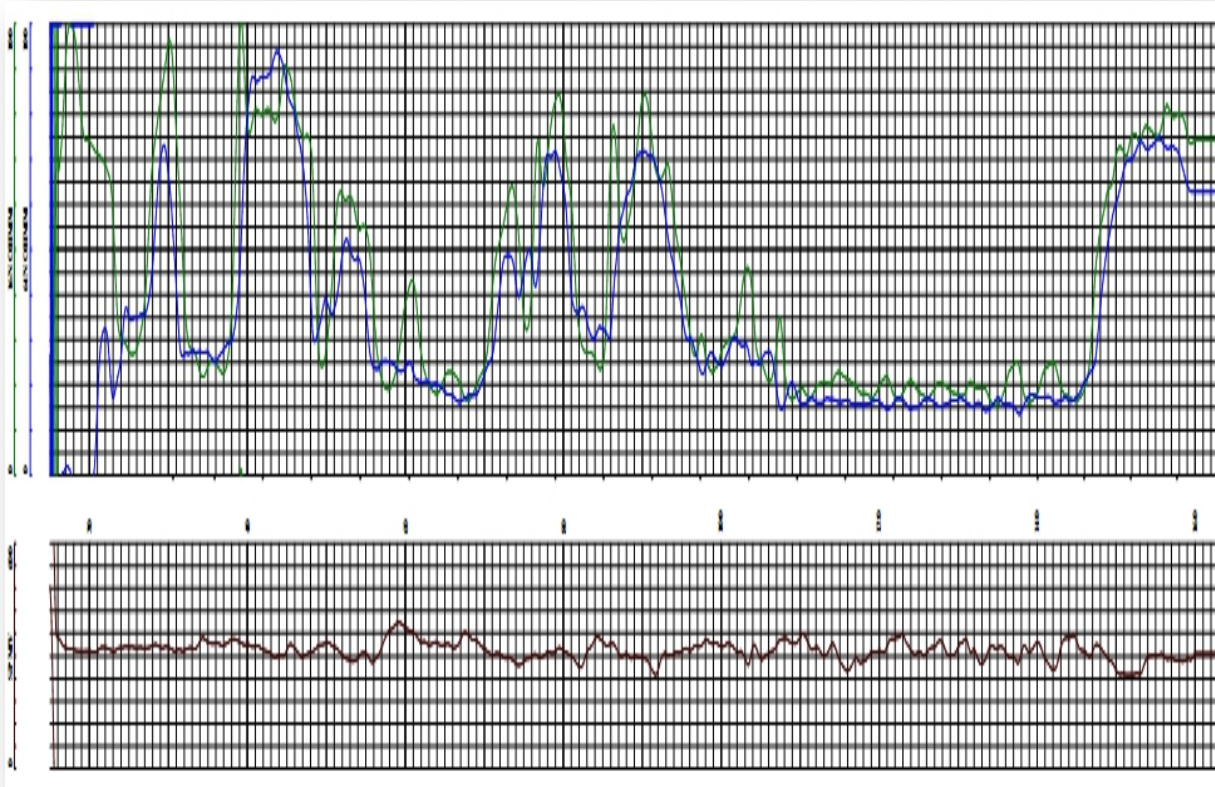


Figure IV-8: Diagramme de polarisation spontanée et de résistivité électriques PN 16" - GN 64"

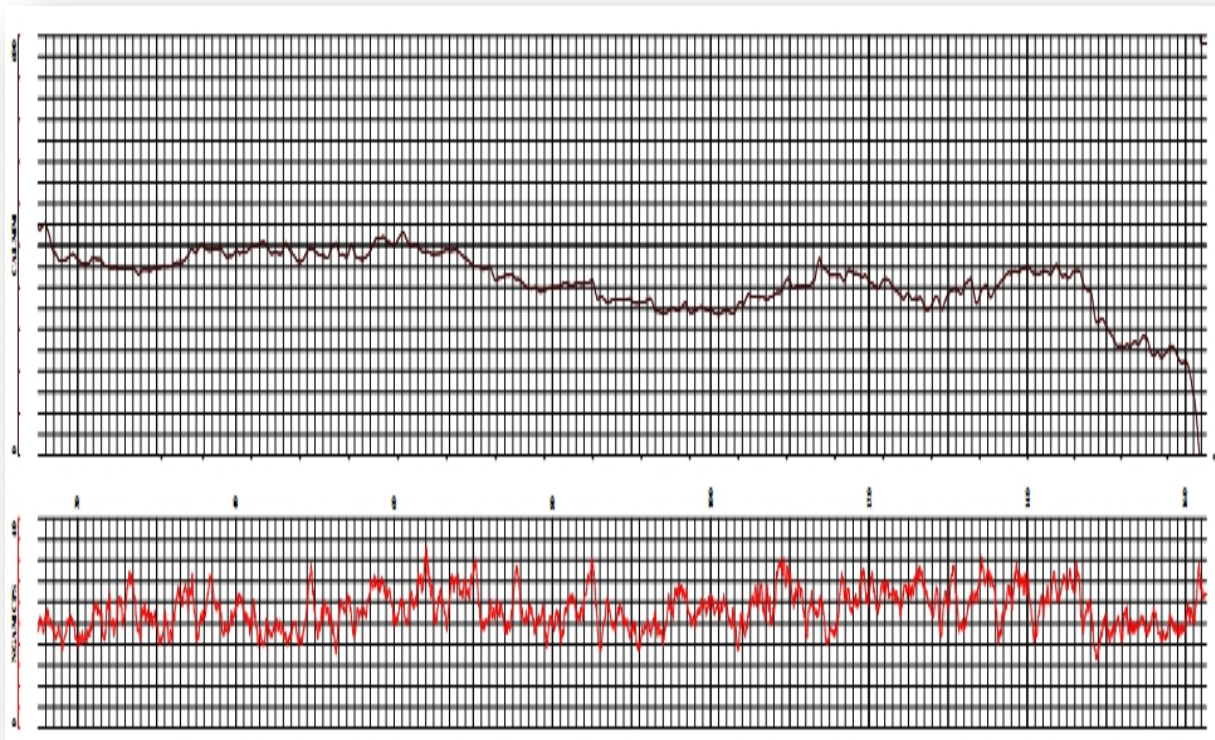


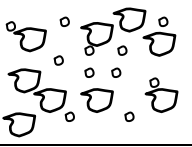
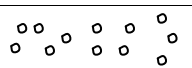
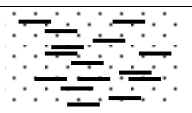
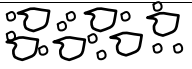
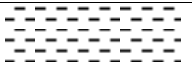
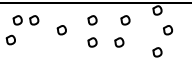
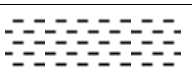
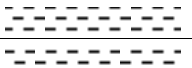
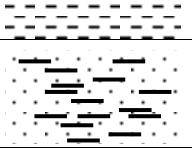
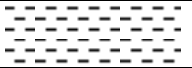
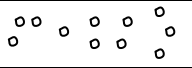
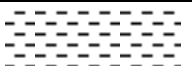
Figure IV-9: Diagramme Diamètre Caliper et Gamma-ray.

Chapitre IV : Description des travaux de foration.

IV-4-3-2. Interprétation des enregistrements F1, R16 GN64 :

Les résultats synthétiques (de haut en bas) sur une profondeur de 175 m sont consignés dans le suivant :

Tableau IV-1 : Résultats des sondages électrique

Profondeur (m)	Conductivité hydraulique (m/s)	La Résistivité (Ωm)		Nature de la Formation	
		16 N	64 N		
0-02					
02 – 23	perméable	65	30	Gros gravier+galet+ passage de grés	
23-27	Semi-perméable	30	30	Galet	
27-32	perméable	90	70	Gravier moyen	
32-38	Semi-perméable	30	25	Argile peu de graviers	
28-56	perméable	50	45	Gravier+galet	
56-70	imperméable	15	10	Argiles	
70-80	perméable	50	50	Gravier moyen	
80-85	imperméable	20	20	Argiles	
85-95	perméable	50	45	Argiles	
95-110	Semi-perméable	40	30	Gravie argiles	
110-140	imperméable	15	15	Argiles	
140-170	Perméable	50	50	Gravier	
170-175	imperméable	10	10	Argiles	

- Les techniciens ont arrêtés le fonçage à 165m, après la diagraphie, ils ont constatés que les résistivités dans les derniers 25m (de 140-165m) sont élevées. C'est pour cela, ils ont continues le creusement jusqu'à 175m (de 170-175m il y a une couche d'argile).

Chapitre IV : Description des travaux de foration.

IV-4-4. Alésage et réalésage :

Cette opération intervient suite aux résultats d'interprétation de l'enregistrement de la diagraphie et de dépouillement des cuttings prélevés. L'alésage est le réalésage du puits de reconnaissance en gros diamètre, cet élargissement du trou s'effectuera à l'aide :

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

Tableau IV-2 : Différents diamètres des outils utilisés

Diamètre Alésage	12" ^{1/4}	17" 1/2	20"	24"
Diamètre approprié	8"	12"	13" ^{3/8}	20"



Figure IV-10 : Différents diamètres des outils de foration

IV-4-5. Mise en place du tubage :

Le plans de tubage (longueur, position des tubes pleins et des tubes crépinés) est établie en fonction de la coupe géologique du forage où sont notées les différentes couches de terrain et les venues d'eau, ainsi qu'en observant de visu(reconnaissance mécanique) la coupe géologique grâce aux échantillons, des essais de diagraphie (résistivité électrique, gamma ray, polarisation spontanée) peuvent être effectués avant l'équipement pour améliorer le plan de captage, les crépines sont placées en face des niveau aquifères ou des venues d'eau, le bas de tubage doit être constitué d'un tube plein(tube décanteur),le dernier tube doit dépasser d'environ 0.5 m au dessus de la surface du sol.



Figure IV-11 : Photo mise en place du tubage

IV-4-5-1. Diamètre de tubage :

Le diamètre intérieur du tubage doit être suffisamment dimensionné pour pouvoir permettre la pose d'une pompe et des colonnes montantes. L'espace nécessaire pour cette installation doit être de 12 pouces.

Pour le diamètre extérieur, il doit être plus de 7 pouces au moins que celui du trou nu afin de permettre un espace annulaire assez pour la mise en place du massif filtrant.

Pour notre forage, le diamètre de tubage utilisé est de 12".

IV-4-5-2. La résistance des tubes :

La colonne de tubage est soumise aux efforts suivants :

- Résistance au colmatage.
- Résistance à la corrosion (chimique, électrolytique).
- Résistance aux chocs pendant le transport et la manipulation.
- Résistance mécanique (flambage, écrasement par pression extérieure, et d'éclatement par pression intérieur et efforts de flexion).

Pour le choix de la colonne (diamètre, épaisseur et nuance du métal) nous procédons comme suit :

Les analyses de la qualité physico –chimique des eaux qui peuvent être prélevées dans des forages qui captent le même aquifère, ce qui nous permettra de connaître le caractère incrustant ou agressif des eaux par comparaison entre le PH d'équilibre et le PH mesuré. Ceci nous permettra d'orienter notre choix sur la nature du métal du tubage.

Si les eaux sont agressives (acides) il ya risque de corrosion du tubage, Il serait donc nécessaire de choisir des colonnes en métal inoxydable nuance 316L ou en PVC qualité alimentaire. Si ce n'est pas le cas nous pouvons se contenter de matériaux moins coûteux de type TNRS.

Dans le cas de notre forage nous ne pouvons pas nous prononcer sur ce choix car nous ne disposons pas d'analyse chimique. Mais dans le programme prévisionnel, il est prévu du métal TNRS.



Figure IV-12 : Photo des Tubes pleins

Chapitre IV : Description des travaux de foration.

Par ailleurs, pour choisir l'épaisseur et la nuance du métal nous nous baserons sur les calculs suivants :

IV-4-5-3. Calcul de la pression hydrostatique :

Cette pression est exprimée par la formule suivante :

$$PH = (Db \times H)/10$$

Tel que:

- **PH** : Pression hydrostatique de la colonne de boue en (Kgf/cm²).
- **Db** : Densité de la boue.
- **H** : Profondeur du forage en (m).

On prend la résistance à l'écrasement qui est équivalente au PH, à l'aide d'un tableau déjà utilisé par M^r MABILLOT. Ce qui nous permet de calculer l'épaisseur de la façon suivante :

$$T = \frac{D}{Re}$$

- **T** : Epaisseur du tubage en (mm).
- **D** : Diamètre extérieure de tubage en (mm).
- **Re** : Résistance due à l'écrasement en (N).

Après calcul, nous obtenons les caractéristiques une épaisseur de tubage de 6 mm.



Figure IV-13 : les différents tubes pour le tubage de forage

IV-4-5-4. Equipement de la colonne de captage :

IV-4-5-4-1. Les crépines :

La crépine est un des éléments essentiels d'un forage d'eau, c'est une pièce de précision et son usinage doit permettre d'obtenir des ouvertures calibrées au dixième de millimètre.

IV-4-5-4-2. Longueur et position des crépines :

La longueur de la crépine est fonction de l'épaisseur de la formation à capter, du niveau de rabattement (niveau dynamique) et de la nature de stratification des couches.

La crépine est placée dans les parties ayant les meilleures caractéristiques hydrauliques.

Les éléments nécessaires servant à positionner les crépines sont :

- Diagraphie
- Analyse des échantillons

Ces trois paramètres conditionnent les longueurs des crépines à adopter (voir coupe technique de notre forage **Figure IV-20**).

IV-4-5-4-3. Ouverture des crépines :

Le choix de l'ouverture des crépines est lié aux dimensions des fentes de la crépine de telle sorte qu'elle ne laisse passer des grains trop fins indésirables. La dimension des fentes sera donc définie par l'étude des courbes granulométrique établies d'après les échantillons recueillis pendant le forage.

L'analyse granulométrie a été faite sur un échantillon de cuttings présentant la fraction la plus fine des horizons traversés par le forage. Cette analyse granulométrique a été réalisée au laboratoire de Génie civil avec la collaboration du technicien du laboratoire.



Figure IV-14 : Cuttings conditionnés dans des sachets étanches.

IV-4-5-4-4. L'analyse granulométrique :

Nous allons effectuées l'analyse granulométrique au niveau de laboratoire des matériaux de département de Génie Civil de l'université Saad DAHLEB Blida.

- **Le but de l'analyse :**

Il s'agit de construire la courbe granulométrique, c'est-à-dire les tamisât (en pourcentage pondéral) en fonction des ouvertures des passoires ou des mailles des tamis utilisés. Puis nous traçons la courbe granulométrique en coordonnées semi-logarithmiques

- **Mode opératoire :**

Le tamisage s'effectue à l'aide d'une série de tamis normalisés empilés les uns sur les autres. La dimension des ouvertures des mailles allant en décroissant de haut en bas. Après le séchage a une température de 105°C. Une prise d'essai de masse ($m=1000g$) est placée sur le premier tamis et l'ensemble est secoué par un agitateur mécanique jusqu'à ce que toutes les parties aient été tamisées pendant un quart d'heure. La colonne est alors démontée et la portion de l'échantillon restée dans chacun des tamis est rigoureusement pesée.

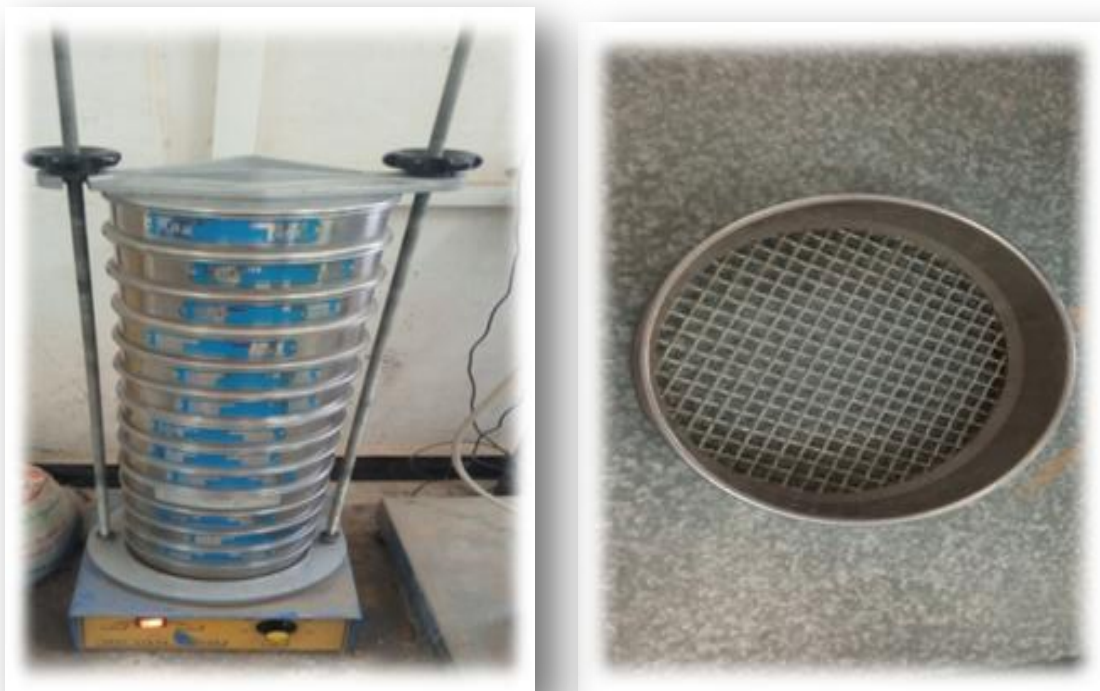


Figure IV-15 : Photo gauche Tamiseur et photo droite Tamis.

Chapitre IV : Description des travaux de foration.

Les résultats obtenus après pesage des refus sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau IV-3 : Résultats de l'analyse granulométrique.

Tamis	Refus	Poids partiel	Tamisât	Passants cumulés décroissants en%
(μm)	(g)	(%)	(g)	(%)
10000	0	0	982	100
8000	2	0.2	980	99.8
6300	11	1.1	969	98.7
5000	27	2.7	942	96
4000	52	5.2	890	90.8
3150	135	13.5	755	77.3
2500	169	16.9	586	60.4
1600	138	13.8	448	46.6
1250	100	10	348	36.6
630	152	15.2	196	21.4
315	161	16.1	35	5.3
160	19	1.9	16	3.4
80	9	0.9	7	2.5
Reste	7	0.7	0	1.8

La courbe granulométrique du terrain permet de choisir l'ouverture de la crépine, sachant que quand il n'y a pas de massifs de graviers (roches compactes à fissures ouvertes propres, sans argiles), la crépine doit retenir 40 à 50 % des particules du terrain. Dans le cas de notre forage, nous sommes en présence de massifs de gravier, l'ouverture des fentes de la crépine doit être donc inférieure au diamètre de la particule la plus fine du gravier utilisé. Mais en pratique on se contente d'un diamètre d_{10} . Le slot des crépines sera calculé après dimensionnement du gravier.

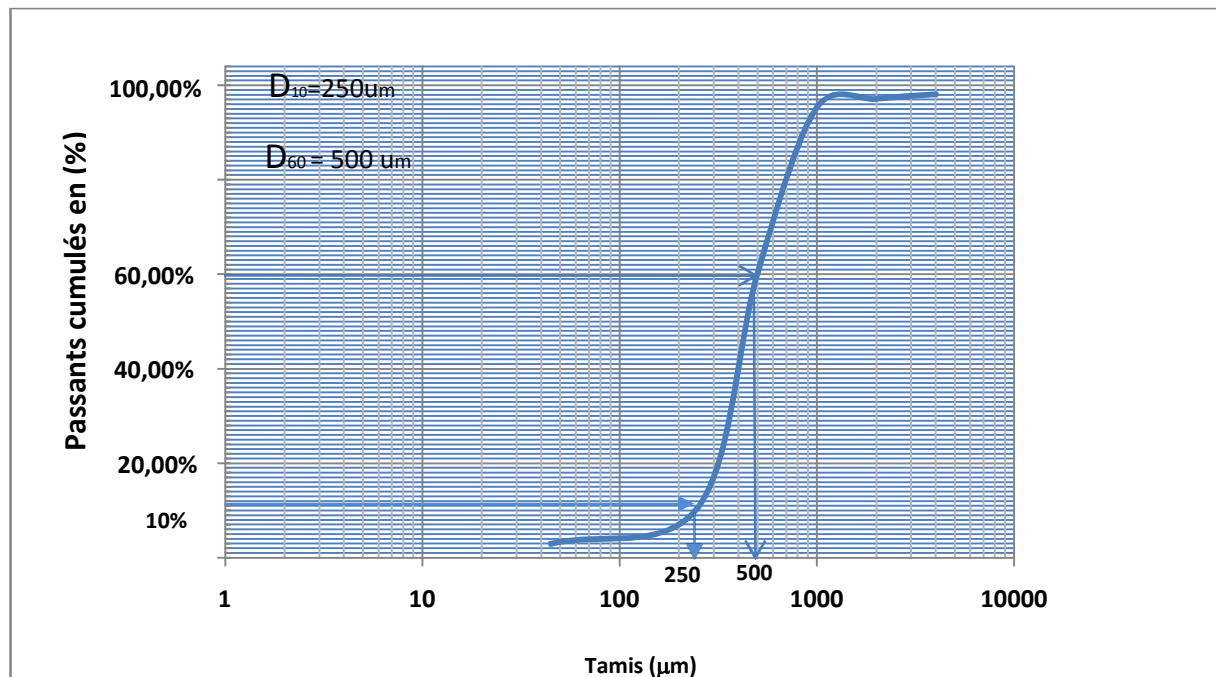


Figure IV-16 : Courbe granulométrique du massif naturel de l'aquifère.

IV-4-5-4-5. Dimensionnement du slot des crépines :

Les dimensions du massif de gravier sont établies par différentes méthodes. Le choix d'une méthode est conditionnée par la valeur du coefficient d'uniformité de l'aquifère C_u . Dans le cas de notre massif, C_u calculé est inférieur à 2,5, ce qui oriente notre choix, selon les recommandations techniques, à la formule de Johnson.

Selon la formule de Johnson-USA :

Le massif filtrant d'alluvions grossiers (gravier) à utiliser doit avoir, un coefficient d'uniformité C_u égal à 2, de sorte que le diamètre d_{10} du massif filtrant soit égal à 8 fois le diamètre D_{10} de l'aquifère.

Nous retiendrons alors que le rôle du massif filtrant permet une ouverture plus large des fentes des crépines et donc diminuer les pertes de charge de l'écoulement au voisinage des crépines. En plus de cet avantage qui impacte le rendement du forage, le massif de gravier a pour rôle aussi de contribuer à l'équilibre des parois de l'aquifère sableux et le maintient de l'aquifère dans un état stable, une fois le développement terminé.

Pour la Formule de Johnson- USA, nous prendrons un massif de gravier présentant un coefficient d'uniformité $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 2$, de sorte que son diamètre d_{10} soit égal à 8 fois le diamètre de D_{10} de l'aquifère.

$$D_{10} = 8 \times D_{10} = 8 \times 0.25 = 2\text{mm}$$

Selon la formule de Johnson- France[2] :

$$4D_{30} \text{ pour un terrain très homogène}$$

Dans notre cas l'aquifère est moins homogène, on prendra alors un massif filtrant, dont les éléments présentent un diamètre d_{30} égal à 6 fois le diamètre D_{30} de l'aquifère, ce qui veut dire que $d_{30} = 6 \times D_{30} = 6(0.3) = 1.8\text{vmm}$, soit 0.070866 pouce.

Selon ces résultats, le slot des crépines doit être inférieur à 70.



Figure IV-17 : Photo des tubes crépinés

IV-4-5-5. Programme de tubage :

Après l'alésage en 17" ½ et le réalésage en 19" jusqu'à la cote 174 m à la descente des colonnes de tubage en tôle noire roulée soudée (**TNRS**), diamètre 12" épaisseur 0.6 mm ouverture de crépine 1-2mm.

Le programme de tubage du forage FC6 sera comme suit :

Tableau IV-4 : Le programme de tubage.

Profondeur	Type de tube
0-70m	T.P
70-94m	T.C
94-100m	T.P
100-107m	T.C
107-112m	T.P
112-120m	T.C
120-140m	T.P
140-170m	T.C
170-174m	T.P avec sabot de décantation

T.P=105 m, ϕ =300mm

T.C=69m, ϕ =300mm

Chapitre IV : Description des travaux de foration.

- Pour assurer la bon position du tubage, Il faut mettre chaque 50 m de profondeur un centreur.



Figure IV-18 : Photo de Centreur acier pour tube forage.

IV-4-6. Le massif filtrant :

Pour améliorer la protection vis-à-vis des particules fines de l'aquifère, un massif additionnel de gravier peut être mise en place entre le tube de forage et la couche naturelle de l'aquifère.

Le rôle du gravier additionnel est d'augmenter les débits d'exploitation, de diminuer les vitesses d'écoulement, pour minimiser le risque d'érosion du massif naturel de l'aquifère et éviter ainsi l'entraînement des sables fins vers la crépine.

Le massif filtrant est défini par la granulométrie de la formation et par le tube et l'ouverture de la crépine. Il doit être uniforme, propre, calibré, siliceux et bien lavé.

IV-4-6-1. Volume du gravier :

Le volume nécessaire de gravier peut être défini théoriquement (volume du trou foré moins volume de tubage) ou de manière empirique Cf.BOX.

Calcule du volume gravier, d'après la formule empirique :

$$V = h \times k \times (D^2 - d^2) \text{ avec :}$$

V : volume de gravier, en litres

H : hauteur du massif de gravier, en mètre

D : diamètre du trou, en pouces

d : diamètre des tubes, en pouces

k : 0.8 est un coefficient empirique défini en fonction de l'ouverture de la crépine

Dans le cas de notre forage, nous allons utilisés la méthode de gravillonnage en boue gravitaire. Nous injectons le gravier additionnel après la descente de tubage et la circulation de la boue, le gravier étant d'une taille de **5/8 mm**



Figure IV-19 : Gravier additionnel du massif filtrant



Figure IV-20 : Mise en place du massif filtrant.

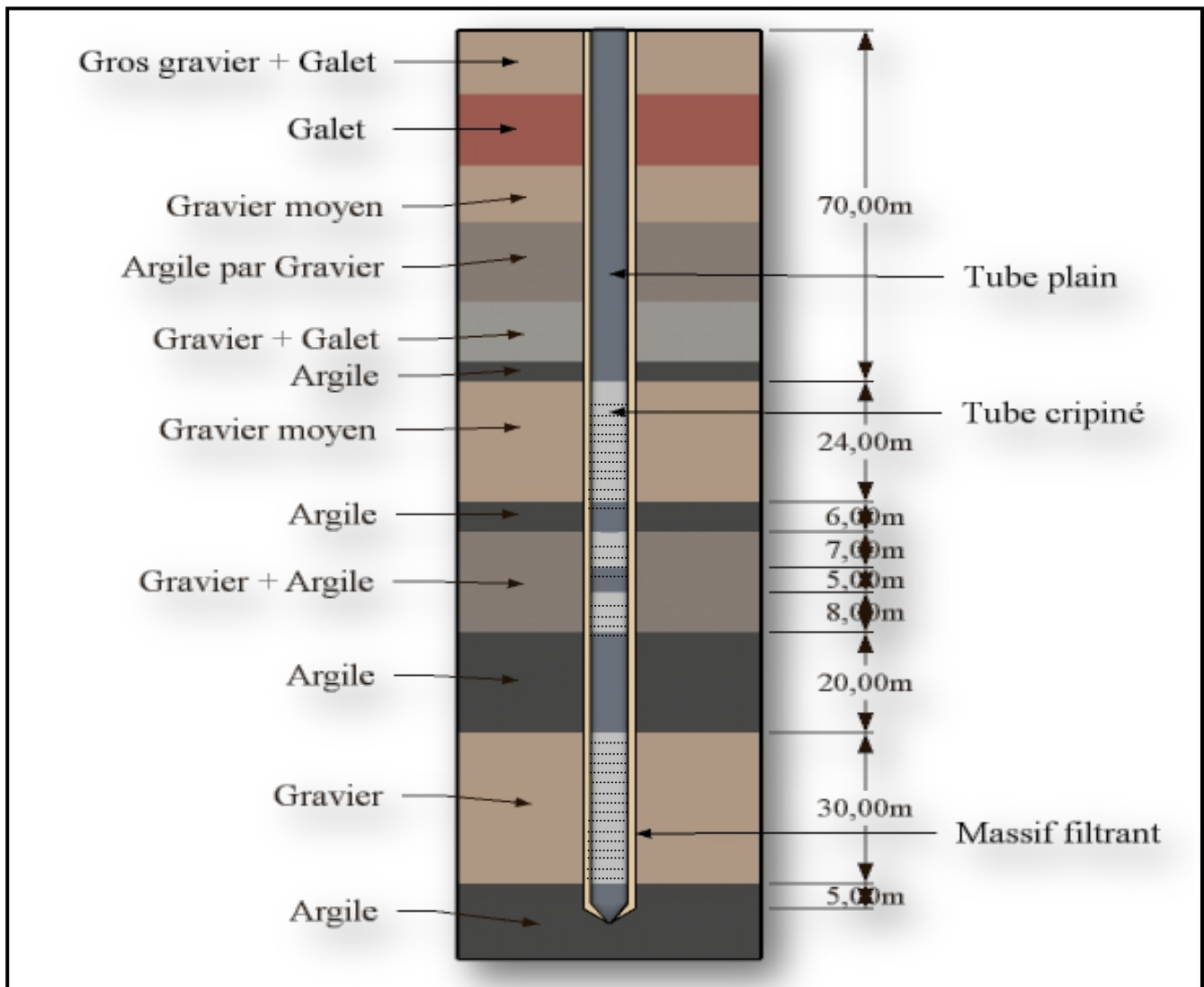


Figure IV-21 : Coupe technique longitudinale de notre forage.

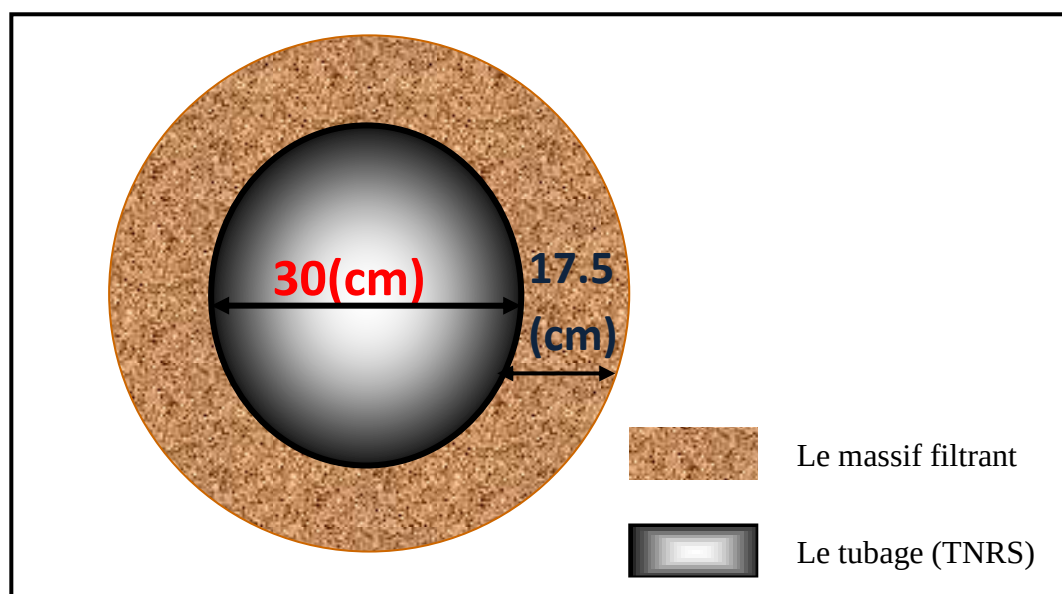


Figure IV-22 : Coupe technique transversale de notre forage.

IV-4-7. Développement mécanique :

Après l'installation du tubage et du massif filtrant, le trou contiendra de l'eau sale, de la boue, de la roche broyée, de l'huile provenant de la machine de foration et peut être d'autres débris. Par mesure préventive il est nécessaire de procéder à un nettoyage du trou de foration, Cette opération de nettoyage est qualifiée de développement d'un forage.

Le développement d'un forage est une phase très importante qui permet de nettoyer le trou, la crépine et le massif de gravier dans le but d'améliorer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère autour de la crépine, pour augmenter le débit exploitable et de produire une eau de bonne qualité. La perméabilité du massif de l'aquifère terrain près de crépine est ainsi améliorée, notamment, d'une part, par élimination au maximum d'éléments fins et d'autre part par limitation et stabilisation du massif de gravier.

Parmi les nombreuses méthodes utilisées pour le développement d'un forage nous citons :

- Méthode de développement par pompage alternée
- Méthode développement par pistonage
- Méthode de développement à l'air lift (pneumatique)

Dans le cas de notre forage, nous avons utilisées la méthode de développement pneumatique à l'air lift.

Cette méthode est la plus efficace si elle est bien adoptée et bien conduite. Elle présente l'avantage de n'entraîner aucune détérioration du matériel employé. Elle permet de combiner l'action de flux et de reflux provoquée par de grands volumes d'air introduit dans l'ouvrage avec celle de mise en production par air lift.

IV-4-7-1. Mode opératoire :

➤ La méthode à forage ouvert :

L'opération consiste à alterner les phases de pompage et de soufflage brusque. Cette dernière phase est réalisée en descendant le tube d'air à l'air lift l'intérieur de la crépine. Pour faciliter la manœuvre, le robinet d'air doit être du type à boisseau, à ouverture et fermeture rapides au quart de tour.

Nous procédons suivant le protocole suivant :

- Descendre le pied du tube d'eau à 0.60 m environ du sabot de la crépine.
- Descendre ensuite le tube d'air de façon que sa base soit à environ 0.30 m au dessus de celle du tube d'eau.
- Fermer l'air et laisser la pression s'écouler l'eau pulsée par l'air -lift, jusqu'à ce qu'elle ne contienne plus de sable.
- Fermer l'air et laisser la pression monter au maximum au compresseur.
- Pendant ce temps, descendre le sabot du tube d'air à environ 0.30 m au-dessous du sabot du tube d'eau, soit 6 m plus bas que précédemment, et à 0.30 m du fond de la crépine.
- Ouvrir brusquement, le robinet d'air. L'eau sera violemment projetée au-dehors par le tube d'eau et par le casing, mais pendant un temps très court.

Chapitre IV : Description des travaux de foration.

- Remonter en suite le tube à sa première position, ce qui provoque un violent reversement de flux dans le tube d'eau et une grande turbulence dans la formation autour de la crépine. L'eau éjectée par air-lift s'écoule, très trouble, par le tube d'eau.
- Quand l'eau redevient claire, remonter le tube d'eau de 0.60 m à 1m et recommencer les opérations précédentes pour traiter la formation au niveau du sabot du tube d'eau, et ainsi de suite, sur toute la hauteur de la crépine.
- Il sera alors nécessaire de redescendre le tube d'eau à sa première position afin de sortir, par air-lift, le sable qui s'est déposé tout au fond de la crépine.
- Lorsque l'eau, extraite à ce dernier stade, sort claire, sans sable, on peut considérer que l'opération est terminée.

Remarque : nous utilisons un compresseur de 16 bars pour injecter l'air lift.



Figure IV-23 : Photo d'un compresseur de 16 bars



Figure IV-24: Opération de développement à l'air lift du captage (vanne ouvert)

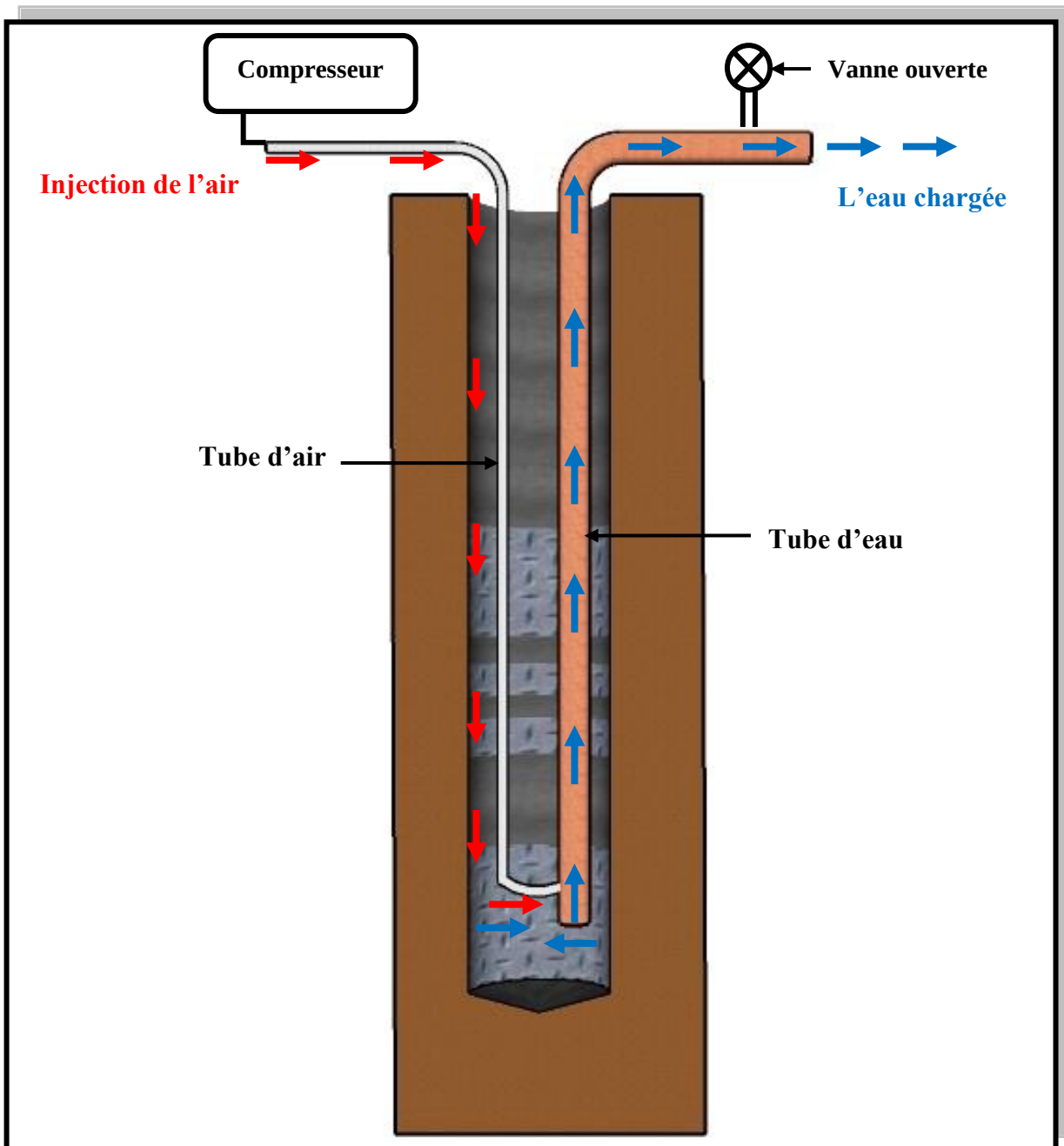


Figure IV-25: Coupe technique longitudinale de l'opération de développement à l'air lift (vanne ouverte)



Figure IV-26: Opération de développement à l'air lift du captage (vanne ouvert)

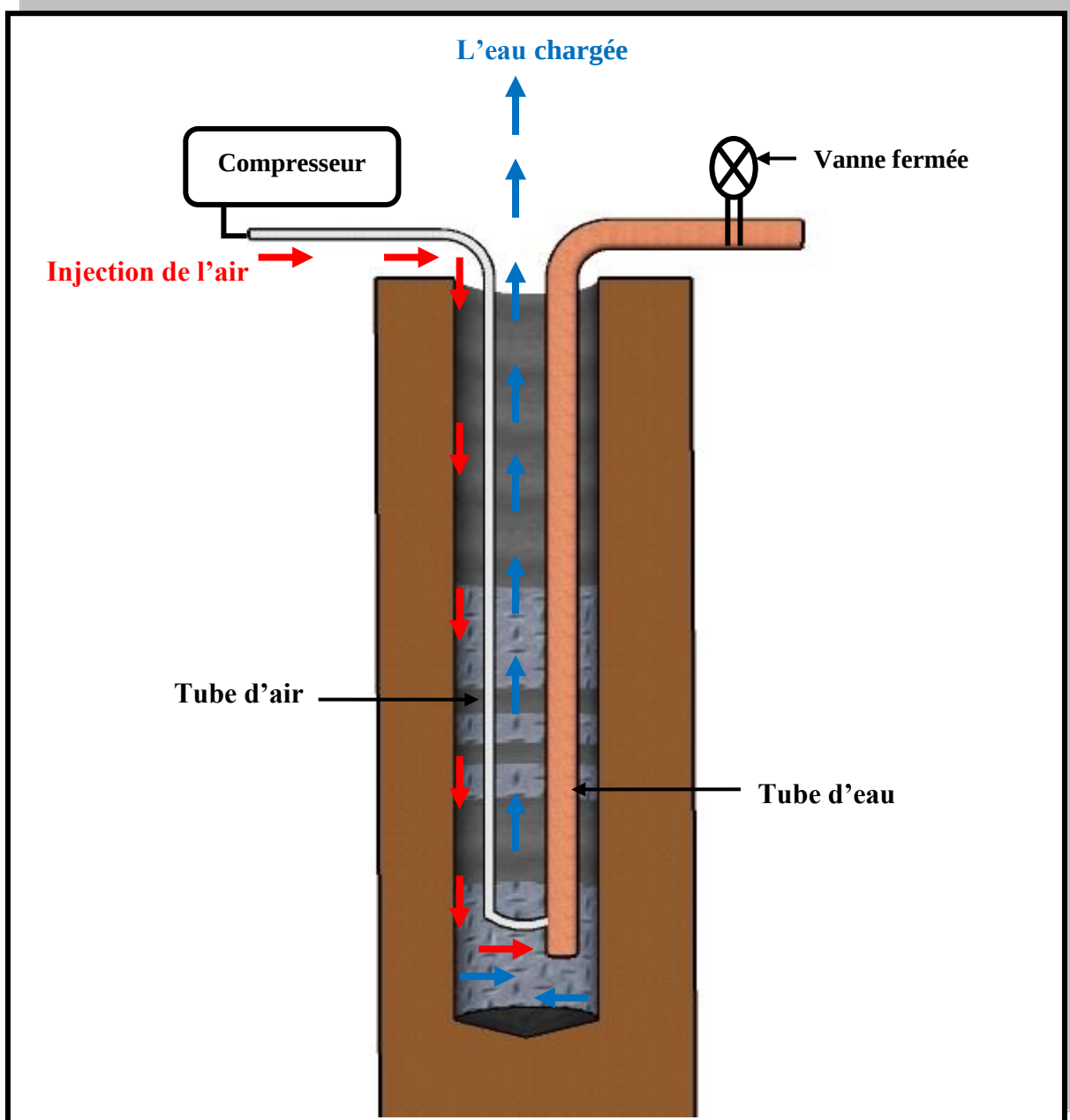


Figure IV-27: Coupe technique longitudinale de l'opération de développement a l'air lift (l'opération de barbotage)

Chapitre IV : Description des travaux de foration.

IV-4-8. Développement chimique (Traitement à l'héxamétaphosphates) :

L'opération d'élimination des boues de bentonite est très difficile. Le meilleur moyen de disperser la bentonite est d'utiliser des produits contenant du poly-phosphate, ce produit contient de l'héxamétaphosphates (c'est un polymère de Méta-phosphate, sa formule est $\text{PO}_3 \text{NA}$ en solution aqueuse à 4% par m^3).

Nous avons utilisées une quantité de 300 kg dans le cas de notre forage.

Le déroulement de cette opération de traitement se fait en 3 phases :

Phase 1 : Injection d'une quantité de l'héxamétaphosphates au moyen d'un tube face à la zone à traiter, nous pouvons utiliser également le cutting, en particulier lorsque on se trouve en présence d'incrustation de la boue dans la crépine.

Phase 2 : Pompage à l'air lift.

Phase 3 : Laisser la solution de l'héxamétaphosphates au contact avec la boue bentonite, le temps nécessaire pour la réaction chimique jusqu'à 24 heures

Nous réitérons cette opération jusqu'à ce que l'eau extraite devienne claire et propre.

Le développement chimique est la dernière étape avant la mise en service du forage.

Conclusion :

La réalisation de ce forage a été effectuée par la technique rotary, le creusement de forage a été exécuté à l'aide d'un outil de 12"¼, dans cette opération l'entreprise de réalisation prend des prélèvement des cuttings tous les 1m pour faire une analyse granulométrique pour déterminer le diamètre e massif a gravier et le diamètre des slots des crépines.

Après le creusement il ya l'étape de reconnaissance géophysique l'importance de cette étape est de connaitre les différent couche de sol et déterminer l'emplacement des tubes plain et crépinés. Après la diagraphie il vient l'alésage en 17" ½ et le réalésage de 19" de trou de forage en suite le tubage.

L'avant dernier étape avant la mise en service de forage c'est le développement mécanique et chimique pour le nettoyage du trou de foration de l'eau chargée avec la boue de la bentonite, de la roche broyée et de l'huile provenant de la machine de foration.

Introduction :

Dans ce chapitre, nous avons mis le point sur les essais de pompage, et définir les différents caractéristique hydrodynamique de notre nappe, ainsi que les conditions optimales d'exploitation.

Une fois que la réalisation de forage terminé, un essai de pompage effectué
Les essais de pompage ont comme objectifs :

- Détermination des différentes caractéristiques hydrodynamiques de la nappe aquifère :
 - ✓ La transmissivité **T**.
 - ✓ La perméabilité **K**.
 - ✓ Le coefficient d'emmagasinement **S**.
 - ✓ L'étendue de la nappe : le rayon d'action **Ra** (rayon d'influence).
- Le réglage optimal d'exploitation d'un forage pour éviter la surexploitation 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 admissible.
 - ✓ La détermination des durées et des périodes de pompage.
 - ✓ La détermination de la position optimale pour l'emplacement de la pompe (l'étude de l'évolution des rabattements en fonction des débits).

Pour une nappe libre telle que la nappe de la Mitidja un essai de durée de 100h suffisant pour déterminer les caractéristiques de la nappe, le rabattement du niveau de la nappe a été régulièrement suivi par une sonde électrique.

V-1. Organisation des essais de pompage :

V-1-1. Moyens matériels :

Les deux paramètres nécessaires qui doivent être mesurés lors de l'essai de pompage sont le niveau d'eau dans le forage et le débit d'extraction de l'eau.

Le matériel utilisé pour observer ces deux paramètres est le suivant :

V-1-1-1. Observation de niveau d'eau :

- **Sonde piézométrique manuelle :**

La sonde piézométrique est un instrument utilisé pour mesurer la profondeur de la surface de la nappe souterraine. Elle est exprimée en m.



Figure V-1 : Sonde piézométrique manuelle

V-1-1-2. Observation des débits de pompage :

- **Débitmètre :**

Lorsqu'un équipement plus sophistiqué est disponible, les débits peuvent être mesurés par des débitmètres, qui sont de divers types. Il utilise des pistons à ressort qui sont défléchis par le flux d'eau, et le débit est lu sur l'échelle graduée. Il est important de vérifier le débit en utilisant une autre méthode, d'utiliser correctement la jauge et de maintenir le matériel en bon état.



Figure V-2 : Débitmètre

Chapitre V: Réalisation des pompages d'essai forage FC6.

- **Compteur analogique d'eau :**

Certains débitmètres enregistrent le volume d'eau cumulé qui passe par le compteur, donc il est nécessaire de faire des relevés à des heures précises et de calculer le débit, après avoir vérifié les unités que le compteur utilise.



Figure V-3 : Compteur analogique.

- **Conduite d'évacuation :**

Pour transporter l'eau pompée assez loin de forage. Dans notre cas l'eau pompée sera évacuée dans un canal de réseau d'assainissement.



Figure V-4 : Conduite d'évacuation.

- nous utilisons un compresseur de 16 bars.



Figure V-5 : Compresseur pneumatique.

V-2. Les essais de pompage :

Les rabattements dus aux essais de pompage sont répartis en deux catégories : essai de puits et essai de nappe dont les solutions théoriques, servent à déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère.

V-2-1. Les pompages par paliers de débits ou essai de puits:

Il s'effectue en réalisant des paliers de débit constant (régime permanent) pendant une courte durée. On mesure le rabattement à la fin de chaque palier ainsi que le débit. Chaque palier est suivi par un arrêt d'une durée permettant la remontée de niveau d'eau. Par expériences, trois paliers avec débits croissants, dont chacun de deux heures sont suffisants.

V-2-2. Le pompage de longue durée ou essai de nappe:

Il s'agit d'un pompage à débit constant réalisé généralement sur 48 heures avec un débit constant. Mais pouvant atteindre des durées bien plus importantes, la durée de pompage peut être de plusieurs mois en continu. Les rabattements dus aux essais de pompage sont répartis en deux catégories de solutions théoriques, servant à déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère.

Les solutions en régime permanent permettent d'obtenir la transmissivité T et de déduire par la suite la conductivité hydraulique K . ;

Les solutions en régime transitoire permettent en plus d'estimer le coefficient d'emménagement S .

V-3. Les essais de pompage de forage FC6 :

V-3-1. Présentation de l'ouvrage :

Le forage FC6 de Chebli est situé dans les alluvions du quaternaire de la plaine de la Mitidja ces coordonnées géographiques sont :

Tableau V-1 : Coordonnées géographiques du forage FC6.

X	Y	Z
m	m	m
531 491.41	366 624.37	63



Figure V-6: Situation géographique du forage FC6.

V-3-2. Résultats et interprétation :

V-3-2-1. Résultats expérimentaux :

Les résultats des relevées essais effectués pendant l'essai de pompage par paliers de courte durée sont récapitulés dans le tableau suivant:

Tableau V-2 : Caractéristiques de pompage par paliers de l'ouvrage de production FC6

Palier	Débits moyen	Débit moyen	Niveau Dynamique	Rabatement	Débit spécifique Q/s	Rabatement spécifique s/Q
/	(l/s)	(m ³ /h)	(m)	(m)	(m ³ /h/m)	(m/m ³ /h)
1	20	72	65	11	6.55	0.15
2	25	90	70	16	5.63	0.18
3	30	108	76	22	4.91	0.20

V-3-2-2. Interprétation de pompage par paliers:

- **Calcul des pertes de charge :**

Le rabattement s mesuré dans l'ouvrage à un instant donné, est la somme de deux composantes nommées pertes de charge caractéristiques du complexe aquifère-ouvrage : Le rabattement total noté s est exprimé par l'équation de Jacob-Cooper formule (V-1), établie pour les nappes captives, alors qu'elle n'est plus valable pour les nappes libres que pour des rabattements mesurés inférieures à un dixième de l'épaisseur de la nappe.

Dans notre cas l'épaisseur de la nappe étant de 116 m, les rabattements mesurés doivent donc être inférieurs à 11.6 m

$$s = B.Q + C.Q^2 \dots \dots (V - 1)$$

En termes de rabattement spécifique nous obtenons la relation linéaire :

$$s/Q = B + C.Q \dots \dots (V - 2)$$

s : rabattement total (m)

Q : Débit de pompage (m³/h)

B, C : Coefficient de perte de charge linéaire et quadratique respectivement.

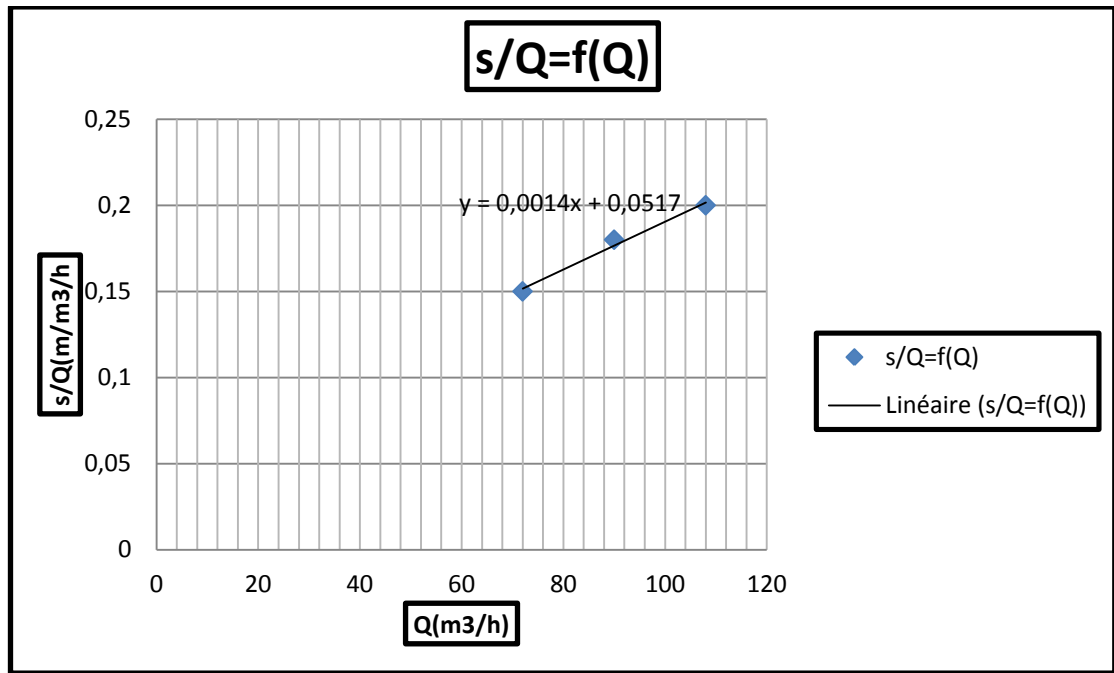


Figure V-7: La courbe d'ajustement de $s/Q=f(Q)$.

Interprétation : Nous observons que la courbe d'ajustement est une droite de pente $C=1.10^{-3}$, recoupant l'axe des ordonnées au point d'ordonnée à l'origine $B=0.065$; dans ce cas, la perte de charge résulte de l'écoulement dans l'ouvrage et dans l'aquifère.

L'équation de Jacob-Cooper est donnée par :

$$s = 0,051. Q + 0,001. Q^2 \dots \dots (V - 2)$$

- **Calcul du débit maximal d'exploitation à pomper Q_{max} :**

Cette valeur remarquable correspond au point maximal de la fonction

$$f(Q) = 0,001. Q^2 + 0,051. Q - s_{max}$$

Autrement dit à la solution de l'équation :

$$0,001. Q^2 + 0,051. Q - s = 0 \text{ avec } s = s_{max} \approx s_c = 14.5 \text{ m}$$

Le débit maximal est donné par la solution de l'équation V-1

$$Q_{max} = \frac{[\sqrt{(B^2 + 4Cs_{max})} - B]}{2C}$$

$$Q_{max} = 97.59 \text{ m}^3/h = 27.11 \text{ l/s}$$

Chapitre V: Réalisation des pompages d'essai forage FC6.

- Calcul du débit critique Q_c et du rabattement critique s_c :

Pour tracer la courbe caractéristique de forage FC6 de Chebli, nous avons utilisées le logiciel le Test Aquifère version 3.5.

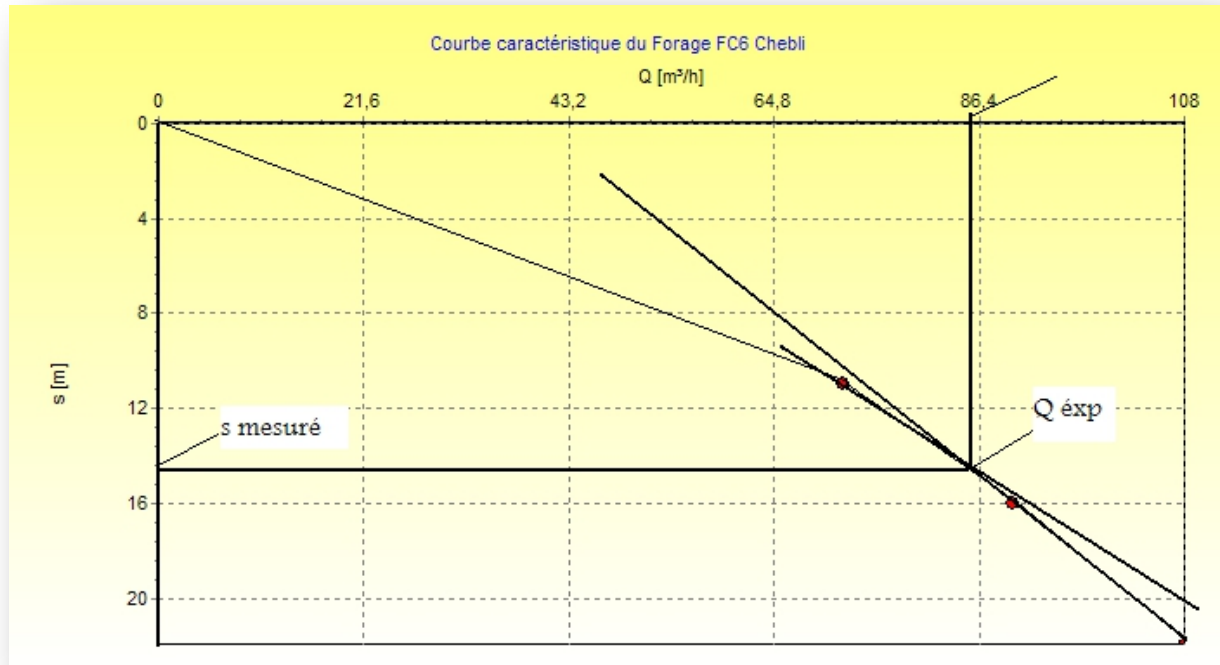


Figure V-8: courbe caractéristique de forage FC6.

Ou courbe caractéristique, c'est la représentation graphique de la relation entre les débits pompés et les rabattements mesuré dans le forage. Le débit critique $Q_c = 86.4 \text{ m}^3/h = 24 \text{ l/s}$ correspondant à un rabattement critique de $s_c = 14.5 \text{ m}$.

V-3-2-3. Interprétation du pompage de longue durée (essai de nappe) :

- Présentation :

Dans un forage, pénétrant totalement l'aquifère libre, nous avons réalisé un essai de pompages à débit constant avec $Q = 30 \text{ l/s}$ soit $1.8 \text{ m}^3/\text{min}$ pour une durée de 48 h. Le rabattement et la remontée étaient relevés à l'aide d'une sonde piézométrique manuelle dans le forage lui-même de diamètre 300 mm, soit à une distance de 0.15 m de l'axe du forage.

Les résultats des mesures sont reportés dans le tableau 1 de l'annexe.

Nous traçons la courbe $s = f[\log(t)]$ sur l'Excel par une échelle semi-logarithmique, et nous allons obtenus la courbe suivante :

- Interprétation des résultats d'essais de nappe:

Nous traçons la caractéristique $s = f[\log(t)]$ avec l'outil Excel dans un repère semi-logarithmique, et nous obtenons l'allure suivante :

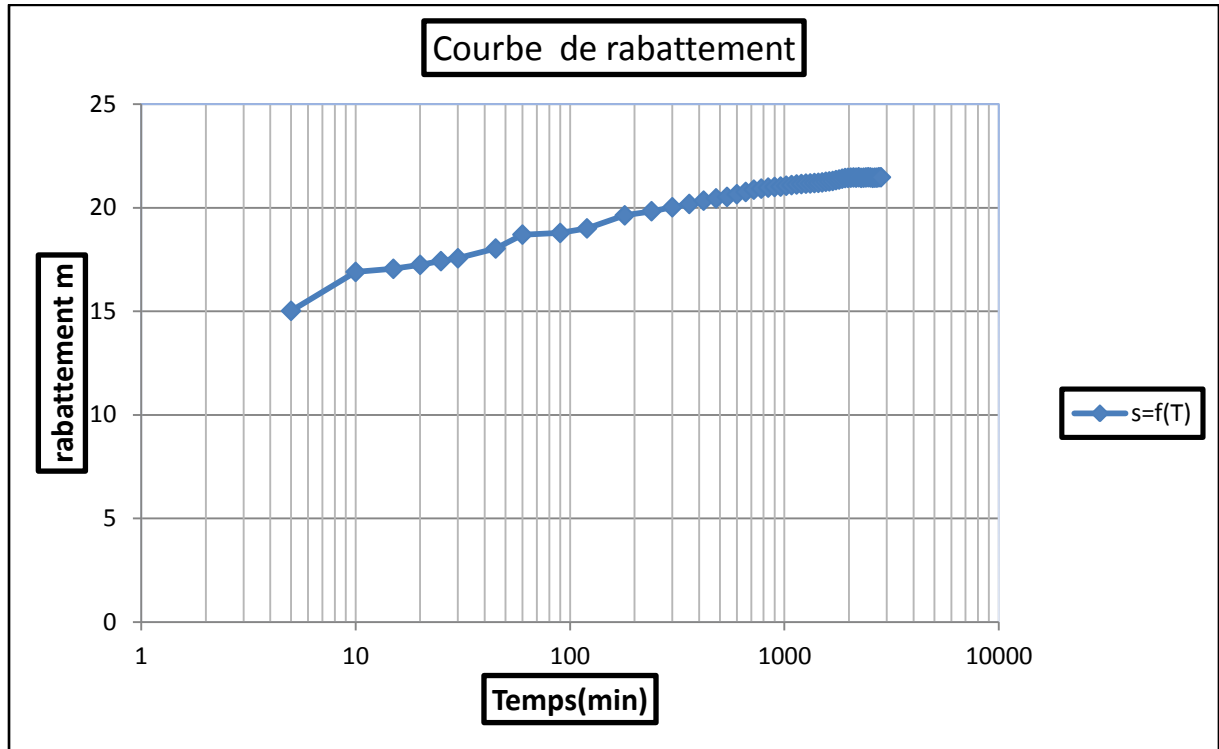


Figure V-9: Caractéristique de l'essai de nappe.

En faisant abstraction du premier point expérimental, l'allure de la courbe correspond à la forme en S, qui présente trois zones :

- Zone 1 (initiale) correspond aux effets à très court terme ;
- Zone 2 linéaire donnant les valeurs de T et S ;
- Zone 3 (final) correspond aux effets à long terme.

V-3-3. Détermination des propriétés hydrodynamique de l'aquifère libre :

Pour le traitement de nos mesures nous avons adopté l'approximation de Cooper-Jacob :

$$s = \left(\frac{Q}{4\pi T} \right) \left[\ln(t) + \log \left(\frac{2.25T}{r^2 S} \right) \right] = \Delta s \cdot \log \left(\frac{t}{t_0} \right)$$

La relation $s=f(t)$ est linéaire, avec une pente Δs par cycle de temps, et une intersection t_0 quand le rabattement est nul.

La représentation graphique de $s=f(t)$ fournira les valeurs de T par la pente Δs :

$$T = \frac{2.30}{4\pi \Delta s} Q = \frac{0.183}{\Delta s} Q$$

La valeur de S est obtenue par extrapolation de la partie rectiligne jusqu'à l'intersection avec l'axe des abscisses ($s=0, t=t_0$).

V-3-3-1. Transmissivité T :

La valeur de Transmissivité est exprimée par: $T = 0.183 Q / \Delta s$

C étant la pente de la droite de la courbe

$$\frac{\Delta s}{\text{cycle de temps}} = \Delta s = 2.04 \text{ m}$$

Q : débit de pompage en m^3/s ($Q=0.03 \text{ m}^3/\text{s}$) ;

Δs : la pente de rabattement en m (**Δs** = 2.04 m) ;

T : Transmissivité en m^2/s

$$T=2.69 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Selon M. Clouet d'Orval, cité dans le chapitre II, la transmissivité de l'aquifère des alluvions dans la plaine de la Mitidja varie entre $0.3 \cdot 10^{-3}$ et $53 \cdot 10^{-3}$ ce qui valide notre résultat.

V-3-3-2. Conductivité hydraulique K:

Nous avons déduit la perméabilité selon la formule $T = K \times e$

e : étant l'épaisseur de la nappe libre

Dans le cas de notre forage, l'épaisseur de l'aquifère à nappe libre correspond à sa charge statique de 116 m (selon la coupe du forage).

Avec $K=T/e$ nous obtenons

$$K=2,32 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

Cette valeur est associée à des formations géologique composé d'alluvions grossiers caractérisée par une bonne perméabilité ce qui réconforte le choix de notre aquifère libre.

V-3-3-3. Coefficient d'emménagement S:

Pour $s=0$ l'intersection de la droite avec l'axe des abscisses :

$\text{Log}(2.25 T t_0 / r^2 S)=0$ ce qui entraîne $2.25 T t_0 / (r^2 S)=1$

Soit $t_0 = r^2 \cdot S / (2,25 \cdot T)$

t_0 : l'abscisse du prolongement de la droite vers les abscisses.

Chapitre V: Réalisation des pompages d'essai forage FC6.

Pour faire apparaître le point d'intersection d'abscisse t_0 , nous avons étendue l'axe des abscisses.

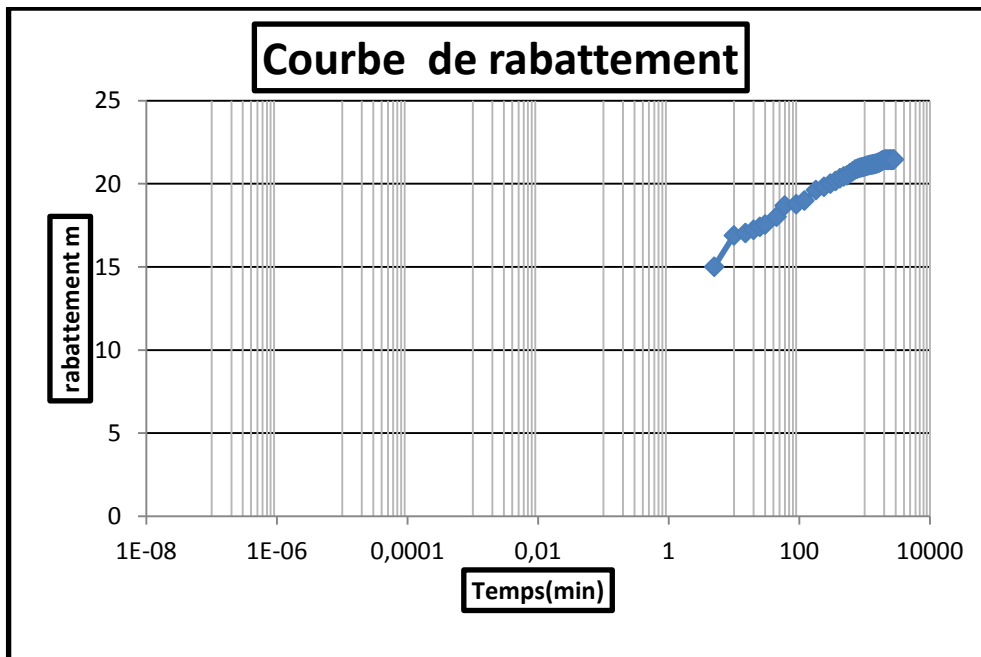


Figure V-10: Caractéristique en forme de S pour la nappe libre.

$$t_0 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ min} = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

$$S \approx 3.5 \cdot 10^{-6} = 0.00035 \%$$

Selon le tableau de McDonald (voir tableau II.8 chapitre II).

Dans la nappe libre de la Mitidja le coefficient d'emmaganement varie entre $0,02 \leq S \leq 0,07$

Ce qui ne valide pas notre résultat dont la mesure où la valeur de S est relativement très faible, ce qui été prévisible à cause de l'absence de mesures piézométrique prises en dehors du forage.

Vérification de la condition d'applicabilité de l'approximation de Jacob-Cooper :

Nous savons que :

$$u = \frac{r^2 \times S}{4 T \delta t} \leq 0.01$$

r : rayon du forage (m);

S : coefficient d'emmagasinement(%);

T : Transmissivité (m²/s);

δt :Temps de pompage (s)

Pour que l'approximation de Jacob Cooper soit valable

Application : $u=1.016 \cdot 10^{-6} < 0.01$ Donc la condition est bien vérifiée

Conclusion :

Les pompages par paliers de débits croissant exécuté sur le forage FC6 ont permis la détermination d'un débit critique $Q_{max}=86.4 \text{ m}^3/\text{h}$ soit 24 l/s et l'essai de nappe un débit maximal d'exploitation $Q_c= 97.59 \text{ m}^3/\text{h}$ soit 27.11 l/s.

Les caractéristiques hydrodynamiques obtenues lors des essais de pompage de longue durée sont comme suit :

Une transmissivité de $2.69 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, une perméabilité de $2.32 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ et un coefficient d'emmagasinement de $3.5 \cdot 10^{-6}$, trop faible pour être validé. Ces caractéristiques correspondent à celle d'un aquifère libre et transmissif.

Chapitre VI : Etude de la qualité physico-chimique de l'eau du Forage FC6

Introduction :

L'objectif de ce chapitre consiste en une caractérisation de l'eau prélevée du forage projeté (Forage FC6) uniquement d'un point de vue physico-chimique et non bactériologique pour une évaluation de sa potabilité par rapport à une grille de qualité spécifique aux eaux destinées à la production d'eau potable.

Il est connu dans la littérature spécialisée que la qualité des eaux souterraines est affectée considérablement par la lithologie des sols d'emménagement et dépend également de leurs origines et de la durée de leur séjour dans les aquifères. En effet, la composition spatio-temporelle des eaux souterraines dépend des apports extérieurs (dépôts atmosphériques, excédent des précipitations, infiltrations de surface), de la nature des zones non saturées et saturées (géochimie), de la distance parcourue par l'eau, du temps de séjour et des différences de vitesse d'écoulement.

VI-1. Qualité physico-chimique :

Les paramètres physico-chimiques forment une base de données pour l'évaluation de la qualité de l'eau naturelle. L'eau destinée à la consommation humaine doit cependant correspondre aux règles générales d'hygiène et à toutes les mesures nécessaires au maintien de la santé publique. Le but de cette analyse est donc d'évaluer la qualité et les concentrations en éléments chimiques de l'eau souterraine prélevée du forage.

L'analyse de la qualité physico-chimique des échantillons de l'eau prélevée lors de l'essai de pompage a été effectuée au niveau de laboratoire de l'ADE (Algérien des eaux) de Chiffa de la wilaya de Blida, avec la collaboration des techniciens du laboratoire.

VI-2. Matériel et méthode d'analyse :

L'étude a été menée sur des échantillons d'eau provenant du forage de FC6, prélevée lors de la période d'essais de pompage. Les prélèvements d'eau effectués ont été mis dans des flacons en plastique puis acheminés au laboratoire pour l'analyse.

Les analyses physico-chimiques ont concerné les paramètres physico-chimiques suivants : Température, pH, Conductivité électrique, Turbidité, Titre alcalin, Titre alcalin complet, Dureté totale, Matière organique, Magnésium, Calcium, Chlorure, Nitrate, Nitrite, l'azote ammoniacal, Sulfates et Fer total .

VI-3. Paramètres physiques :

VI-3-1. Conductivité électrique :

La conductivité permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau dans la mesure où la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La classification des eaux en fonction de la conductivité se présente de la manière suivante : Conductivité égale à $0.05 \mu\text{S/cm}$: eau déminéralisée ; Conductivité de 10 à $80 \mu\text{S/cm}$: eau de pluie; Conductivité de 80 à $100 \mu\text{S/cm}$: eau peu minéralisée ; Conductivité de 300 à $500 \mu\text{S/cm}$: eau moyennement minéralisée ; Conductivité de 1000 à $3000 \mu\text{S/cm}$: eau saline ; Conductivité supérieure à $3000 \mu\text{S/cm}$: eau de mer.

Chapitre VI : Etude de la qualité physico-chimique de l'eau du Forage FC6

En effet, la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, donc de sa minéralisation. La conductivité électrique dépend des charges de matière organique endogène et exogène, génératrice de sels après décomposition et minéralisation et également avec le phénomène d'évaporation qui concentre ces sels dans l'eau, elle varie aussi Suivant le substrat géologique traversé. Ainsi, plus la concentration en solide dissout sera importante, plus la conductivité sera élevée.

Matériel : Conductimètre.



Figure VI-1 : Photo d'un conductimètre.

La valeur de la conductivité électrique mesurée pour notre échantillon étant proche de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et s'avèrent donc selon ce classement, une eau fortement minéralisée.

VI-3-2. Température :

En rapport avec les normes de potabilités de l'eau fixées par l'OMS (1994), l'eau est excellente lorsque la température varie entre 20 et 22°C ; passable lorsque la température oscille dans l'intervalle de 22 à 25°C ; médiocre lorsqu'elle est comprise entre 25 et 30°C. La température mesurée dans l'échantillon d'eau prélevée du forage FC6 est de 21 °C, cette valeur est comprise entre 20 et 22 °C, ceci pourrait signifier comparativement à ces normes, que l'eau analysée est excellente.

VI-3-3. Le potentiel hydrogène pH :

Le potentiel hydrogène, plus connu sous le nom de pH permet de mesurer l'acidité ou la basicité d'une solution, Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène $[\text{H}^+]$ présent dans l'eau ou les solutions.

Matériel : PH mètre.



Figure VI-2 : Photo du PH-mètre utilisé.

La valeur obtenue du pH est de 7.27 ce qui témoigne d'une légère alcalinité du milieu.

VI-3-4. Turbidité :

Par définition c'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute.

Matériel : Turbidimètre (TL2300).



Figure VI-3 : Photo d'un Turbidimètre (TL2300).

Chapitre VI : Etude de la qualité physico-chimique de l'eau du Forage FC6

La valeur mesurée de la Turbidité est de 3.52 (NTU) ce qui correspond à une eau claire.

VI-4. Paramètres chimiques :

VI-4-1. Titre Alcalimétrique Complet (TAC) :

Le TAC est par définition la grandeur utilisée pour mesurer le taux d'hydroxydes, de carbonates et de bicarbonates d'une eau. La teneur mesurée pour le TAC est de 245.22 mg/l.

VI-4-2. Titre Alcalimétrique (TA) :

Il permet de connaître les teneurs de l'eau en carbonates et bases fortes présentes dans l'eau. Cette analyse se fait en présence de phénolphthaléine qui vire de l'incolore au rose-fuchsia à un pH de 8.2, La valeur mesurée du : TA = 0 (mg/l).

VI-4-3. La dureté totale (TH) :

La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. On distingue: une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca et Mg et une dureté non carbonatée produite par les autres sels. La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique (TH) exprimé en °F (degré français); 1°F correspond à 10 mg de carbonate de Calcium dans 1 litre d'eau. Elle résulte principalement du contact des eaux souterraines avec les formations rocheuses : Le calcium dérive de l'attaque du CO₂ dissout par les roches calcaires (dolomies) ou de la dissolution sous forme de sulfate dans le gypse. La dureté d'une eau naturelle dépend de la structure géologique des sols traversés. La concentration mesurée pour le TH est de 317.44 mg/l ce qui correspond à un TH de 31.744 °f. Compte tenu de cette valeur l'eau prélevée sera considérée comme une eau trop douce dite aussi agressive parce que corrosive pour les conduites.

VI-4-4. Teneur en Matière Organique (MO) :

La matière organique correspond à la matière qui compose les êtres végétaux ou animaux ou les micro-organismes. La matière organique est distinguée par son évolution rapide et son besoin de carbone.

Le résultat obtenu pour le MO est de 0.96 (mg/l), ce qui est acceptable pour la consommation domestique.

VI-4-5. Teneur de l'azote ammoniacal (NH₄⁺):

La teneur mesurée en NH₄⁺ est de 0.03 mg/l, suffisamment faible par rapport à la norme algérienne dont la concentration maximale admissible est de 0.5 mg/l.

Matériel : Spectrophotomètre (UV-Visible)



Figure VI-4 : Photo d'un Spectrophotomètre (UV-Visible).

VI-4-6. Teneur des Nitrates NO_3^- (Méthode au salicylate de sodium) :

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels. L'azote est un élément indispensable dans l'édification de la cellule. Dans le domaine aquatique, l'azote existe sous forme moléculaire (N_2) ou ionisée : Nitrates (NO_3^-), Nitrites (NO_2^-) et ammonium (NH_4^+) ainsi que sous forme organique dissoute ou particulaire (protéine, acides aminés, urée, etc.). Ces différentes formes de l'azote sont en perpétuelle évolution. Elles passent de l'une à l'autre par des processus physico-chimique et surtout biochimique. Les nitrates ne représentent qu'une des multiples formes de l'azote présent dans l'eau, tout en constituant, en général, la forme la plus abondante de l'azote minéral. La teneur en nitrate mesurée est de 10.18 mg/l, ce qui reste inférieure à la valeur admissible par les normes algériennes (≤ 50 mg/l). De ce fait, l'eau prélevée n'est pas sujette à un risque de pollution par les nitrates.

VI-4-7. Teneur des nitrites (NO_2^-) :

Ils sont également assez largement présents, mais à des niveaux bien moindres que les Nitrates. Les nitrites proviennent d'une oxydation incomplète des matières organiques. Comme les nitrates, les nitrites sont très répandus dans l'environnement, les uns et les autres se retrouvent dans la plupart des produits alimentaires, dans l'atmosphère et dans une grande partie des eaux. Les fortes teneurs correspondent à la réduction des nitrates en nitrites par les anaérobies sulfite-réducteurs. Elles peuvent également être liées à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac. Les teneurs en nitrites est < 0.01 mg/l durant la période d'étude, le taux maximal en nitrites est fixé à 0,1mg/l selon la norme algérienne, ce qui répond bien aux conditions de potabilité. Il est important de signaler que la présence des Nitrites dans l'eau en quantité importante dégrade la qualité de l'eau et pourrait affecter la santé humaine. La toxicité liée au nitrite est très significative en raison de leur pouvoir oxydant.

Chapitre VI : Etude de la qualité physico-chimique de l'eau du Forage FC6

Matériel : Spectrophotomètre (UV-Visible)

VI-4-8. Teneur en chlorures (Cl^-) :

Sur la base des résultats des analyses effectuées sur notre échantillon, la teneur en chlorures est de l'ordre de 99.27 mg/l. Au niveau de la zone d'étude, la teneur en chlorures est inférieure à 200 mg/l. Selon les normes algériennes relatives à la potabilité des eaux, la concentration en chlorure maximale recommandée est de 200 mg/l alors que le maximum admissible est de 500 mg/l. de ce fait, et concernant ce paramètre ainsi discuté, la qualité de l'eau au niveau de la zone d'étude est excellente.

VI-4-10. Teneur en fer total (Fe) :

Le fer est un élément assez abondant dans les roches (quelques %) sous forme de silicates, d'oxydes et hydroxydes, de carbonates et de sulfures. La craie contient des nodules de marcasite (sulfure); les terrains jurassiques présentent un niveau d'oolithes en oxydes de fer. Le fer est soluble à l'état d'ion Fe^{++} (ion ferreux) mais insoluble à l'état Fe^{+++} (ion ferrique). La valeur du potentiel d'oxydoréduction (Eh) du milieu conditionne donc sa solubilité et la teneur de l'eau en fer. Les nappes captives isolées des échanges avec la surface sont en conditions réductrices: leur eau est ferrugineuse. Ce fer dissous précipite en milieu oxydant, en particulier au niveau des sources et à la sortie des conduites. La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui précipitent le fer où corrodent les canalisations. L'eau est ferrugineuse notamment dans les nappes captives de la craie et des sables de l'Albien. Un traitement spécifique est alors nécessaire (précipitation en milieu oxydant). Les teneurs en fer total de notre échantillon est de 0,01 mg/l, concentration inférieure à la norme recommandée $\leq 0,3$ mg/l.

VI-4-11. Teneur en Sulfates (SO_4^{2-}):

Les sulfates (SO_4^{2-}) proviennent du ruissellement ou de l'infiltration dans les terrains à gypse. Ils résultent également de l'activité de certaines bactéries (chloro-thio-bactéries, rhodo-thio-bactéries, etc.). Cette activité peut oxyder l'hydrogène sulfuré (H_2S) toxique en sulfate.

Matériel : Spectrophotomètre (UV-Visible)

La teneur mesurée pour SO_4^{2-} est de 10.18 (mg/l), La valeur ainsi enregistrée reste inférieurs à la norme algérienne (200 à 400 mg/l) relative à la qualité des eaux destinées à la production de l'eau potable.

VI-4-12. Teneur en calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+}):

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau le

Chapitre VI : Etude de la qualité physico-chimique de l'eau du Forage FC6

calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature de terrains traversés. Il existe surtout à l'état l'hydrogénocarbonate et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures.

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre. La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau, même le carbonate peut être dissous jusqu'à 300 mg/l à 20°C. La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires, dolomitiques, du jurassique ou du trias moyen). Les valeurs les plus faibles sont relevées dans la plupart des eaux des massifs anciens. Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau ; sa teneur dépasse rarement 15mg/l. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogénocarbonates (Rodier, 1976). La teneur mesurée en Mg^{2+} est de 26.57 (mg/l) et en Ca^{2+} est de 82.7 (mg/l), ce qui reste conforme aux normes prévues pour ces deux éléments chimiques.

Chapitre VI : Etude de la qualité physico-chimique de l'eau du Forage FC6

VI-5. Résultats et interprétation :

Les résultats d'analyse des teneurs des différents paramètres physico-chimiques caractérisant la qualité de l'eau prélevée du forage sont rassemblés dans le tableau VI-1.

Certaines teneurs sont admissibles et d'autres non par rapport aux recommandations de l'OMS et celles prescrites selon les normes Algériennes

Tableau VI-1 : les valeurs des différents paramètres physico-chimiques de l'eau du forage FC6

Elément/ substance	Symbole	unité	Concentration eau de Forage	Normes (OMS) ^[3]	Normes (Algériennes) ^[3]	Observation
Température	T	(°C)	21		21 à 22,5	Excellente
Potentiel Hydrogène	PH	sans	7.27	6.5 à 9.5	6.5 à 8.5	Excellent
Conductivité		(µs/cm)	947	2800	≤ 2800	A
Turbidité		(NTU)	3.52	≤ 5	≤ 5	A
Titre alcalin	TA	(mg/l)	0	ABS	ABS	
Titre alcalin complet	TAC	(mg/l)	245.22	ABS	ABS	
Dureté totale ou Titre hydrométrique total	TH	(mg/l)	317.44	200	100 à 500	A
Matière Organique	MO	(mg/l)	0.96	ABS	ABS	A(*)
Magnésium	Mg ²⁺	(mg/l)	26.57	30-50	ABS	A
Calcium	Ca ²⁺	(mg/l)	82.7	200	75 à 200	A
Chlorure	Cl ⁻	(mg/l)	99.27	500	200 à 500	A
Nitrate	No ³⁻	(mg/l)	10.18	50	≤ 50	A
Nitrite	No ²⁻	(mg/l)	<0.01	0.2	≤ 0.1	A
l'azote ammoniacal	NH ⁴⁺	(mg/l)	0.03	≤ 0.3	≤ 0.5	A
Fer total	Fe	(mg/l)	0.01	0.3	≤ 0.3	A
Sulfate	So ²⁻	(mg/l)	10.18	500	200 à 400	A

(*) La norme utilisée par la SEAAL est de 3 mg/l

Les résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau prélevée du forage FC6 de la zone d'étude peuvent être considérés admissibles par rapport aux normes de potabilité et ne présentent donc aucun danger pour la consommation domestique sous réserve d'un traitement spécifique de la matière organique par ozonation sachant que le traitement par la chlorite induit un produit cancérigène .

• Remarque :

Nous ne pouvons pas effectuées la classification des eaux souterraines de forage FC6 Chebli par les diagrammes de Piper et Shoell-Berkaloff à cause de manque des données (absence des cations Na⁺, K⁺ et les ions HCO₃⁻ , CO₃⁻).

Chapitre VI : Etude de la qualité physico-chimique de l'eau du Forage FC6

Conclusion :

A l'issue de cette analyse qui a porté essentiellement sur l'évaluation de la qualité de l'eau prélevée du forage FC6 destinée à l'alimentation de la ville de Larbaà, il ressort que la quasi-totalité des paramètres analysés sont conformes aussi bien à la réglementation nationale et internationale en matière de potabilité de l'eau. En effet, les résultats obtenus sur le plan physique ont montré que le pH de ces eaux ainsi que sa Turbidité et conductivité sont excellents, et sa température est excellente. Sur le plan chimique, cette eau est répond également aux normes dans la mesure où sa dureté est bonne, sa teneur en calcium et en chlorures qui sont normales et surtout sa teneur en nitrates, connus par leurs effets néfastes sur la santé, est très faible par rapport à la valeur maximale admissible. En conclusion, l'eau du forage FC6 pour l'alimentation de la ville de Larbaà peut être considérée comme bonne à consommer si bien que les opérations de désinfection (chloration et autres) sont bien effectuées. Il serait souhaitable de mener régulièrement ce type d'études basées sur l'évaluation physico-chimique mais tout en les consolidant avec des analyses bactériologiques.

Conclusion générale

Au cours de ce travail, nous avons proposés **suivi de la réalisation de forage d'eau potable pour la ville de larbaa et interprétation des essais de pompage.**

A travers le premier chapitre, nous avons estimé et calculés les besoin en eau de la ville de larbaa avant et après la réalisation de nouveau champ de captage.

Nous avons constaté que même après la réalisation de ce champ de captage, le problème de déficit reste.

Le deuxième chapitre s'est intéressé à la présentation de site d'étude.

- La zone d'étude fait partie du sous bassin de l'Oued El Harrach qui se trouve dans le grand bassin de la Mitidja.
- L'étude hydro-climatologique montre que le climat de la région étudié est de type méditerranéen caractérisé par une saison sèche s'étalant de mois de Mai au mois de Septembre, suivi d'une saison humide s'étalant de mois d'Octobre au mois d'Avril.
- Pour les études hydrogéologiques en vue de l'implantation d'un forage destiné à la prospection géophysique ça a nécessité une étude géologique pour le choix des sites les plus favorables.

Le troisième chapitre a concerné le matériel utilisé pour la réalisation de forage. Nous avons décrit tous les pièces de la sondeuse.

- La machine et de type rotary avec circulation de boue de bentonite.

Le quatrième chapitre consacré aux déroulements des travaux de la réalisation de Forage FC6. Nous avons exposés toutes les opérations de foration.

- le forage FC6 Chebli est de 175m de profondeur, 47.5cm (19 ") de diamètre .d'un tubage de type TRNS de diamètre 30cm (17") le diamètre des slot des crépines et de 2mm, Le massif filtrant est défini par la granulométrie de la formation et par le tube et l'ouverture de la crépine. Il est uniforme, propre, calibré, siliceux et bien lavé, le gravier étant d'une taille de 5/8 m.

Le cinquième chapitre, est pour le but de déterminer les caractéristiques de forage et d'aquifère par les essais de pompage effectués au forage FC6 Chebli.

- Les caractéristique de forage sont : $Q_{\text{exploité}}=20\text{l/s}$; $S_{\text{exploité}}=16\text{m}$.
- Les caractéristique d'aquifère : $T=2.9*10^{-3}\text{m}^2/\text{s}$; $K=2,5*10^{-5}\text{m/s}$.

Le sixième et le dernier chapitre, nous avons présentés les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de forage FC6 Chebli prélevés durant les essais de pompage.

- Les analyses chimiques effectuées montrent que l'eau est de bonnes qualités chimiques et conforme aux normes Algérienne et aux recommandations de l'OMS.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Mise en évidence de l'intrusion marine vers les aquifères côtières : cas de la plaine de Mitidja orientale : présenté en vue de l'obtention du diplôme **Master** option : Hydrogéologie (2017).
- [2] Le suivi hydrogéologique des travaux de forages d'eau pour l'alimentation en eau potable de la nouvelle ville de Blida (dans la plaine de la Mitidja, Bouinane): présenté en vue de l'obtention du diplôme **Master** option : Hydrogéologie (2017).
- [3] Journal officiel N° : 51u 20 aout 2008.
- Réalisation et réhabilitation des Forages destinée à l'alimentation d'eau potable : Institut national de perfectionnement de l'équipement (Ksar El Boukhari).
- Les forages d'eau guide pratique par : Albert Mabillot.
- Suivi d'un forage d'eau dans la région de Bouhraoua (Wilaya de Ghardaïa) : présenté en vue de l'obtention du diplôme **Master** option : Forage D'eau.(2017)
- Forage d'eau Procédés et mesures par : Dr. Bouselsal Boualem Maître de Conférences
- Forage techniques et procèdes par : Dr Mehdi METAICHE Maître de Conférences
- [4]un diagnostic approfondi du système d'alimentation en eau potable de la cité Ben Achour, alimentée à partir du réseau de distribution de la ville de Blida : présenté en vue de l'obtention du diplôme **Master** option : ressource hydrique(2018)
- [5]Recommandations prévues dans le Plan National de L'Eau de 2010(PNE 2010)
- Stage d'immersion de troisième année, Organisme d'accueil : l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques Soumaa W.BLIDA par : M^{lle} Belaidene Mounia M^{lle} Benali Sara M^{lle} Berkani Amina
- Cours Techniques de Reconnaissance et Forage par : Mr. GUENDOUZ Master 2 :(Ressources Hydrauliques)
- Revue technique guide pratique pour les essais de pompage de puits par : Comité international de la Croix-Rouge
- Revue technique réalisation et réhabilitation de forages dans les conditions du terrain par : Comité international de la Croix-Rouge

Web graphie

Web graphie :

- [*][https://fr.wikipedia.org/wiki/Larba%C3%A2_\(Blida\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Larba%C3%A2_(Blida))
- <https://www.google.com/maps/place/Larba%C3%A2/@36.5770768,3.1112109,20126m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x128e558a34858019:0x3800bb0fe7e27865!8m2!3d36.5893036!4d3.1578875>
- http://sigessn.brgm.fr/IMG/pdf/fiche6c_guide-forages.pdf
- <http://docplayer.fr/79502804-Diagraphies-et-geophysique-de-forage.html>
- <http://www.energiesservices.fr/documents/norme-pompage.pdf>
- <http://www.seidc.com/pdf/WATER%20SUPPLY%20WELL%20GUIDELINES%20-third%20edition%2006-15-2015-FR.pdf>
- https://www.pseau.org/outils/ouvrages/forages_mali_guide_realisation_forages_mali.pdf
- <https://dinepa.gouv.ht/referentieltechnique/doc/1-aep/1.2.1%20DIT3%20Conception%20et%20realisation%20de%20forages.pdf>

Annexe

NOUI Hocine

Entreprise de Forage et Travaux Ruraux, ETB /TCE

Hai Cherarba N° 61 Eucalyptus – Alger

Tél N° : 0661 52 10 24 / 0552 00 35 62

ESSAI LONGUE DUREE

C/Chantier : Niveau statique : 54.16 Palier n° :
Forage : FCG CHEBLI Côte d'aspiration : Pompe Ø : 125

Date	Heures	Minute	Secondes	N.Dynamique	Debit L/s	Pression	Observations
28.02.2019	9	00					
		05		69.18	30		
		10		71.06			
		15		71.21			
		20		71.40			
		25		71.18			
		30		71.78			
	9	45		72.10			
	10	00		72.86			
	10	30		72.94			
	11	00		73.16			
	12	00		73.47			
	13	00		73.49			
	14	00		73.99			
	15	00		74.18			
	16	00		74.34			
	17	00		74.50			
	18	00		74.64			
	19	00		74.68			
	20	00		74.81			
	21	00		74.92			
	22	00		75.03			
	23	00		75.08			
01.03.2019	00	00		75.13			
	1	00		75.16			
	2	00		75.18			
	3	00		75.22			
	4	00		75.25			
	5	00		75.28			
	6	00		75.30			
	7	00		75.32			
	8	00		75.33			
	9	00		75.35			

ب. محمد علي
مدير دولة
مكتب المتابعة

Source DFE Blida

Tél N° : 0661 52 10 24 / 0552 00 35 62

Source DLE Blide

NOUI Hocine

Entreprise de Forage et Travaux Ruraux, ETB /TCE

Hai Cherarba N° 61 Eucalyptus – Alger

Tél N° : 0661 52 10 24 / 0552 00 35 62

ESSAI LONGUE DUREE

C/Chantier : Niveau statique : 54.16 Palier n° :
Forage : FCB CHEBLI Côte d'aspiration : Pompe Ø : 125

Date	Heures	Minute	Secondes	N.Dynamique	Debit L/s	Pression	Observations
28.03.2019	9	00					
		05		69.18	30		
		10		71.06			
		15		71.21			
		20		71.40			
		25		71.58			
		30		71.72			
	9	45		72.10			
	10	00		72.86			
	10	30		72.94			
	11	00		73.16			
	12	00		73.47			
	13	00		73.79			
	14	00		73.99			
	15	00		74.18			
	16	00		74.34			
	17	00		74.50			
	18	00		74.64			
	19	00		74.68			
	20	00		74.81			
	21	00		74.92			
	22	00		75.03			
	23	00		75.08			
01.03.2019	00	00		75.13			
	1	00		75.16			
	2	00		75.18			
	3	00		75.22			
	4	00		75.25			
	5	00		75.28			
	6	00		75.30			
	7	00		75.32			
	8	00		75.33			
	9	00		75.35			

ب. محمد علي
مدير
مكتب المتابعة

Source DBF Rhida