

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة خميس مليانة
Université Djillali Bounaama de Khemis-Miliana



Mémoire de fin d'étude

*En vue de l'obtention d'un diplôme de **Master** en*

***Domaine** : Sciences de la Nature et de la Vie*

***Filière** :. Géologie appliquée*

***Spécialité**: Hydrogéologie*

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 par :

MOHAMED ALI Bachir

KAHBOUB Brahim

Soutenu le : Juin 2017

Devant le Jury

Président M. SADOUNE. A	MCB	UDBKM
Promoteur : M. BENZAADA M	MAA	UDBKM
Examineur : M. SAID Ramdane	MAA	UDBKM
Examineur : M ^{me} BENHENNI	MAA	UDBKM

Année universitaire : 2016 / 2017

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer tout d'abord nos remerciements à Mr BENSAADA Mohamed, Enseignant à l'université de Khemis-miliana, d'avoir dirigé ce travail. Nous lui sommes également très reconnaissants pour la qualité de ses conseils et son encadrement.

Aussi, nous tenons à exprimer nos remerciements aux membres du jury, qui ont accepté d'évaluer notre travail de mémoire.

Merci à Mr, _____ à l'université de Khemis-miliana d'avoir accepté de présider le jury de ce mémoire,

Nos meilleurs remerciements vont également aux personnes qui nous ont encouragés et aider à la réalisation de ce travail.

Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du Département de l'hydro géologie à l'université de Khemis Miliana, nos camarades étudiants, collègues de travail de DRE Blida, l'ensemble du personnel de l'ANRH de Soumaa (BLIDA), l'entreprise de réalisation du forage Arbia Rachid.

DEDICACE

A mes Parents, je dois tant et je ne rendrais jamais assez.

A mon épouse qui, avec ses sacrifices, ce travail a pu voir le jour

A mes enfants A llaEddine, Zakaria et Meriem

A toute ma famille A mes amis (es).

Mohamed Ali Bachir

DEDICACE

je dédie ce travail

A mes parents pour leur amour, leur encouragement, et leur soutien.

A ma femme pour leur soutien.

A mes filles **ZINEB** et **MARIA**

A ma grande mère

A toute ma famille

KAHBOUB BRAHIM

Résumé

Un forage d'eau est destiné à alimenter en eau potable une agglomération ou à couvrir les besoins en eau d'une population.

Le suivi de travaux de la réalisation de forages d'eau nécessite une attention particulière de la part d'un hydrogéologue.

Le rôle de l'hydrogéologue est de veiller à établir un log lithostratigraphique parfait, ce dernier lui permet de continuer à équiper ou pas le forage en question.

Les forages d'eau étudiés ont donnés un débit global de 70 l/s , débit répondant aux besoins demandés ou étudiés.

ملخص

النقب المائي الموجه للمياه الصالحة للشرب من أجل تزويد المدينة الجديدة (بوينان البلدية) تعتبر المتابعة التقنية للانجاز الآبار ذات أهمية خاصة للمهندس الهيدروجيولوجي.

دور المهندس هو الحرص و السهر على إنجاز مقطع تقني لمختلف الطبقات المصادفة إثناء عملية الحفر مما يسمح له باستغلال البئر من عدمه.

الآبار التي كانت موضوع المتابعة أعطت قدرة التدفق الإجمالية 70 لتر/ث وهذا بعد استكمال كل التجارب التقنية .

هذا المنسوب يلبي حاجيات السكان .

Summary

A water drilling is intende to supply drinking water to an agglomeration or to cover the water needs of a population.

Monitoring of water drilling projects requires special attention from a hydrogeologist.

The role of the hydrogeologist is to ensure a perfect lithostratigraphic log, which allows it to continue to equip or not drill the drilling in question.

The water boreholes studied gave an overall flow rate of 70 l / s, a flow corresponding to the requirements demanded or studied.

Listes des figures

<i>Fig .1</i> Présentation la plaine de la Mitidja	1
<i>Fig. 2.</i> Photo indiquant la zone d'implantation des forages et la nouvelle ville Bouinan	2
<i>Fig. 3</i> Le sous bassin versant 02-14 Oued El Harrach	3
<i>Fig.4</i> Carte de la répartition des stations pluviométrique	5
<i>Fig.5 :</i> Précipitations moyennes mensuelle période 1980-2014	6
<i>Fig.6 :</i> Précipitations moyennes annuelles période 1980-2014	7
<i>Fig 7</i> Variation de la température moyenne, maximale et minimale à la station de Dar El Beida	8
<i>Fig.8 :</i> Carte géologique de la Mitidja (ANRH Alger)	9
<i>Fig.10</i> Carte de situation des sondage électrique (CGG)	13
<i>Fig.11.</i> Coupe géo électrique « T)	14
<i>Fig.12.</i> Coupe géo électrique « U »	14
<i>Fig.13</i> Carte d'inventaire des points d'eau	16
<i>Fig.14.</i> Coupe interprétative transversal de la Mitidja dans le bassin de Mazafra	17
<i>Fig.15.</i> Carte piézométrique de la nappe de la Mitidja (Campagne, avril 2015)	20
fig.16 : Description schématique d'un Appareil de forage rotary	22
<i>Fig.17 :</i> Appareil de Forage Rotary	23
<i>Fig. 18</i> L'interprétation de la diagraphie électrique et la lithologie du forage F1	33
<i>Fig.19</i> l'interprétation de la diagraphie électrique et la lithologie du forage F2	34
<i>Fig.20</i> l'interprétation de la diagraphie électrique et la lithologie du forage F3	35
<i>Fig.21</i> l'interprétation de la diagraphie électrique et la lithologie du forage F4	36
<i>Fig .22</i> Coupe technique du forage F1et F2	41
<i>Fig 23.</i> Coupe technique du forage F3et F4	42
<i>Fig.24</i> Situation géographique du forage F1 NV Bouinane	48
<i>Fig.25</i> courbe de descente de forage F1 NV Bouinane	51
<i>Fig. 26</i> courbe de remonté forage F1 NV Bouinane	52
<i>Fig. 27</i> courbe caractéristique F1 NV Bouinane	52
<i>Fig.28</i> Situation géographique du forage F3 NV Bouinane	53
<i>Fig. 29</i> courbe de descente forage F3 NV Bouinane	55
<i>Fig. 30</i> courbe de la remontée F3 NV Bouinane	55
<i>Fig. 31</i> courbe caractéristique de forage F3 NV Bouinane	56
<i>Fig.32</i> Situation géographique du Forage F4 NV Bouinane	57
<i>Fig. 33</i> courbe de la descente du forage F4 NV Bouinane	58
<i>Fig.34</i> courbe de remonté du forage F4 NV Bouinane	59
<i>Fig.35</i> courbe caractéristique du forage F4 NV Bouinane	60
<i>Fig. 36</i> Situation géographique du forage F2 NV Bouinane	61
<i>Fig.37</i> Courbe de descente du forage F2 NV Bouinane	62
<i>Fig.38</i> courbe de remontée du forage F2 NV Bouinane	62
<i>Fig. 39</i> Courbe caractéristique du forage F2 NV Bouinane	63
<i>Fig. 40</i> Diagramme de piper	70
<i>Fig . 41</i> diagramme de Schoeller Berkloff	71
<i>Fig.42</i> carte de la vulnérabilité de la nappe de la Mitidja à la pollution (ANRH)	73
<i>Fig. 43:</i> Schéma représentatif des périmètres de protection	79
<i>Fig. 44</i> Détermination des isochrones (méthode de wissling)	81

Liste des photos

<i>Photo .1</i> pompe à boue marque (GARDIN DINVER)	24
<i>Photo.2</i> Photo montrant stock de bentonite	29
Photo.3 Photos montrant une série du cuttings	32
<i>Photo. 4</i> montres la mise en place du tubage	38
Photo 5 La mise en place du massif filtrant	44
<i>Photo. 6</i> le développement à l'air lift (pneumatique), compresseur 16bar	46
<i>photo.7</i> Photo lors des essais de pompage	49

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	7
Tableau .5 : variations de la température moyenne, maximale et minimale à la station de Dar El Beida (1980-2010).....	7
Tableau .6: Les caractéristiques des forages	15
Tableau .7 : Coefficients d'emménagement cités par McDonald.....	18
Tableau.9. les différents diamètres des outils utilisés.....	37
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).....	40
Tableau. 11 : Essai de débit par paliers F1 NV :.....	50
Tableau .12 : Essai de débit par paliersF3 NV.....	54
Tableau .13: Essai de débit par paliers.....	58
Tableau.14 :Essai de débit par paliers.....	61
Tableau.15 les valeurs de la perméabilité.....	64
Tableau.16 les valeurs des gradients hydrauliques.....	65
Tableau .17 : les valeurs des vitesses d'écoulement.....	65
Tableau. 18 les résultats des analyses chimique.....	66
Tableau. 19 : classifications des eaux selon la formule de stabler.....	70
Tableau.20 : calcul d'isochrones 50 jours.....	77
Tableau. 21 : valeurs des rayons d'appel.....	81

Sommaire

Remerciement

Résumé

Summary

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale

Chapitre I présentation du secteur d'étude

I.1. Situation géographique et présentation de la plaine de la Mitidja.....	1
I.2. Situation géographique de la nouvelle ville de Bouinane	2
I.3. Aperçu géomorphologique.....	3
I.3.1 Introduction.....	3
I.3.2 Analyse des paramètres physiques et morphologiques du bassin versant de l'oued Harrach :	3
I.3.3 Relief.....	3
I.3.4.Caractéristiques de forme du bassin versant	4
I.3.5.Conclusion.....	4
II. Aperçu hydroclimatologique.....	5
II.1.introduction.....	5

Sommaire

II.2. Les paramètres climatologiques.....	5
II.2.1 les précipitations	5
II.2.2.précipitation moyennes mensuelles.....	6
II.2.3précipitations moyennes annuelles	7
II.2.4. Températures :.....	7
II.3. Conclusion	8
<i>III Aperçu géologique</i>	9
III.1. Introduction :.....	9
III 2.Aperçu Lithostratigraphie.....	9
III.2.1.Quaternaire.....	9
III .2.1.1 Rharbien.....	9
III.2.1.2 LeTyrrhénien (formations de la Mitidja)	10
III.2.1.3 Formation d’El Harrach(Villafranchien).....	10
III.2.2 Tertièr	10
III.2.2.1Pliocènesupérieur (Astien).....	10
III.2.2.2 Pliocène inferieure (plais ancien).....	11
III .2.3 Miocène	11
III.2.4. Oligocène	11
III.2.5 Secondaire	11
III.2.6 Primaire	12
III.3.la Tectonique :.....	12
III.3.1-la bordure Nord :	12
III.3.2-la bordure sud :	12
III.4.Exploitation des données géophysiques existatntes	13
III.5.conclusion	14
IV. Aperçue Hydrogéologique.....	15
IV.1. Introduction.....	15

Sommaire

IV.2 Inventaire des points d'eau	15
IV.3. Identification des aquifères	16
IV.3.1. L'aquifère de l'Astien	16
IV.3.2 L'aquifère des alluvions du quaternaire	16
IV.4. Mécanismes d'alimentation et d'écoulement des eaux souterraines	17
IV.5. les paramètres hydrodynamiques	17
IV.5.1 La transmissivité	17
IV.5.2. Le coefficient d'emménagement	18
IV.6. La piézométrie	18
IV.6.1 Analyse piézométrique	18
IV.6.2. Interprétation de la carte piézométrique, basse eau (Avril 2015)	19
IV.7. Conclusion	20

Chapitre II description de la sondeuse

II.1. Introduction	21
II.2 Appareil de forage rotary et accessoires	21
IV.3. Description de la machine et train de sonde	21
II.3.1- Foreuse à table de rotation	21
II-3-2 : Foreuse à tête de rotation	21
II .4. Les organes de la machine	21
II.4.1 le mât	21
II.4.2 : Moufle fixe	22
II .4-3 Moufle mobile	23
II :4-4- Tête d'injection	23
II 4-5- Table de rotation	24
II 4-6 : Pompes à boue	24
II .4-6-1 : caractéristique d'une pompe	25

Sommaire

II.4-7 Treuil	25
II.4.8 mouflage	25
II.4-9 câble du forage	25
II.5. train de sondes	26
II.5.1 la tige d'entraînement(Kelly)	26
II.5.2 les tiges (drill pipes)	26
II.5.3 les masses tiges (drill collars).....	26
II.5.4 les outils de forage	26
 <i>Chapitre III déroulement des travaux de fonçage</i>	
III.1.Introduction	28
III.2. Préparation du chantier	28
III.3. Organisation du chantier	29
III.3.1. Les précautions pratiques à prendre sont les suivantes	29
III.4.La préparation des bassins à boue	29
III.4.1. Le premier bassin	30
III.4.2.Le second bassin	30
III.5. Dimensionnement des fosses	30
III.6.Préparation de la boue de forage	30
III.6.1Caractéristique de la boue utilisée	30
III.7.Creusement	31
III.7.1 Tube guide.....	31
III.7.2.Forage de reconnaissance	31
III.7.3.Prélèvement des échantillons	31
III.7.4Enregistrement et interprétation des diagraphies	32
III.7.5. Alésage et réalésage	37
III.8.Misse en place du tubage	37

Sommaire

III.8.1.Diamètre de tubage	38
III.8.2.La résistance des tubes	38
III.9.Equipement de la colonne de captage	39
III.9.1.Les crépines	39
III.9.2.Longueur et position des crépines	39
III.9.3.Ouverture des crépines	40
III.10. Massif filtrant	43
III.10.1.Rôle et mode d'action	43
III.10.2 Volume du gravier	43
III.11.Développement	44
III.12 Traitement à l'hexamétophosphate	47

IV Etude hydrodynamique des différents FORAGES

IV.1. Introduction	53
IV.2 Forage F1 nouvelle Ville Bouinane	53
IV.2.1 Présentation de l'ouvrage	53
IV.2.2 Les essais de pompage	54
IV.2.3 Essais à long durée	55
IV.2.4. Calcul des paramètres hydrodynamiques	55
IV.2.4.1 Le tracé de la courbe de descente du forage d'eau (F_1).....	55
IV.2.4.2 Transmissivité	56
IV.2.4.3 Essais de Remontée	57
IV.2.4.4 Courbe Rabattement en fonction de débit	57
IV.3. Forage F3ville Nouvelle	58
IV.3.1. présentation de l'ouvrage	58
IV.3.2. Calcul des paramètres hydrodynamiques	59
IV.3.2.1 Le tracé de la courbe de descente du forage d'eau (F_3).....	59
IV.3.2.2 Transmissivité	59

Sommaire

IV.3.2.3 Courbe de remontée du Forage F3 V.N Bouinane	60
IV.3.2.4 Courbe Rabattement en fonction de débit	60
IV.4 Forage F4 V.N Bouinane.....	62
IV.4.1Caractéristique du Forage	62
IV.4.2 Calcule des paramètres hydrodynamiques	63
IV.4.2.1 Le tracé de la courbe de descente du forage d'eau (F4).....	63
IV.4.2.2Transmissivité	64
IV.4.2.3 Courbede remontée du Forage F4 V.N.....	64
IV.4.2.4 Courbe caractéristique F4.....	64
IV.5. Forage F2ville Nouvelle	65
IV.5.1.Caractéristiqu du forage	65
IV.5.2Calcule des paramètres hydrodynamiques	66
IV.5.2.1 Le tracé de la courbe de descente du forage (F2).....	66
IV.5.2.2 Transmissivité	67
IV.5.2.3 Courbe de remontée du Forage F2 V.N.....	67
IV.5.2.4 Courbe caractéristiqueF2.....	68
IV.6 Conclusion	68
IV.7. Perméabilité	69
IV.8. Gradient hydraulique	69
IV.9. Vitesse d'écoulement des eaux souterraines	70
IV.10 Conclusion	70
<i>IV.11</i> Qualité chimique des eaux.....	71
IV.11.1.Introduction	72
IV.11.2.Caractérisation générale des eaux souterraines.....	72
IV.11.3.Paramètres physiques.....	72

Sommaire

IV.11.3.1. Conductivité.....	72
IV.11.3.2. Température.....	72
IV.11.3.3. pH.....	72
IV.11.3.4. Résidu sec.....	72
IV.11.4 Paramètres chimiques.....	73
IV.11.4.1. titre alcalimétrique complet (TAC) :.....	73
IV.11.4.2. La dureté totale (TH).....	73
IV.11.4.3. Sodium et potassium.....	73
IV.11.4.4. Chlorures et sulfates.....	73
IV.11.4.5. Les Nitrates.....	74
IV.11.5. Classification des eaux souterraines.....	74
IV.11.5.1. Selon STABLER.....	74
IV.11.5.2. Diagramme de Piper.....	75
IV.11.5.3. Diagramme de Shoeller-Berkaloff.....	76
IV.11.6. Conclusion.....	77
 <i>Chapitre V dimensionnement des périmètres de protection</i>	
V.1 Vulnérabilité à la pollution	78
V.2 la Pollution	79
V.3 Méthode utilisée pour le dimensionnement des zones de protection.....	79
V.3.1 Critères de détermination des zones de protection.....	79
V.4. Temps de transfert	80
V.4.1 Détermination des temps de transfert par calcul	80
V.5 Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines	82
V.6. Les différents types de périmètres de protection	83
V.6.1 Evolution de la législation	83
V.7. Objectif de la Protection du champ captant de N.V Bouinan	84
V.7.1 Zone de protection immédiate.....	85

Sommaire

V.7.2 Zone de protection rapprochée	85
V.8 Conclusion	86
Conclusion générale.....	87

**INTRODUCTION
GÉNÉRALE**

Introduction générale

Les ressources en eaux souterraines sont de plus en plus sollicitées pour couvrir les besoins en eau qui ne cesse de croître dans divers domaines (alimentation, irrigation, industrie, etc.). Ces ressources en eaux souterraines sont toutefois menacées par plusieurs facteurs liés à la mauvaise gestion, la surexploitation et l'utilisation intensive des engrais et pesticides dans le domaine d'agriculture.

Avec le développement socio-économique d'une part et la forte pression démographique et urbanistique d'autre part la demande en eau ne cesse pas de s'accroître.

La pérennisation des ressources en eau souterraines nécessite donc la mise en place des périmètres de protection destinés à éviter les diverses pollutions pouvant altérer la qualité des nappes phréatiques.

L'objectif de l'étude est de suivre les travaux de la réalisation de quatre forages d'eau implantés dans la plaine de la Mitidja centrale (Région de Bouinane).

Ces forages d'eau sont destinés à alimenter en eau potable une agglomération de 30 000 habitants de la nouvelle ville de Bouinane.

Le mémoire est structuré en cinq chapitres:

Le premier chapitre donne une présentation du secteur d'étude, à savoir un aperçu sur l'hydroclimatologie, la géologie et l'hydrogéologie

Le second chapitre, une description de la sondeuse.

Le troisième chapitre, le déroulement des travaux de fonçage.

Le quatrième chapitre, étude hydraulique des différents forages d'eau.

Le dernier chapitre traite le dimensionnement des périmètres de protection.

CHAPITRE I
PRÉSENTATION DU
SECTEUR D'

I.1 Situation géographique et présentation de la plaine de la Mitidja

La plaine de la Mitidja est l'une des plaines les plus riches d'Algérie que se soit par ses terres fertiles ou bien par ses ressources en eau souterraine, elle a une superficie de 1300km² (100 km de longueur et de 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 : le Sahel (260m) au Nord et l'Atlas (1200m) au Sud.

Le site d'étude est localisé dans la partie centrale de la plaine de la Mitidja à relief plat d'altitude moyenne de 60 à 65 m.

Du Nord au Sud de la région de la Mitidja on peut définir trois ensembles géomorphologiques :

- **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 200 m.

- **La plaine de la Mitidja**

Au Sud du Sahel, elle 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

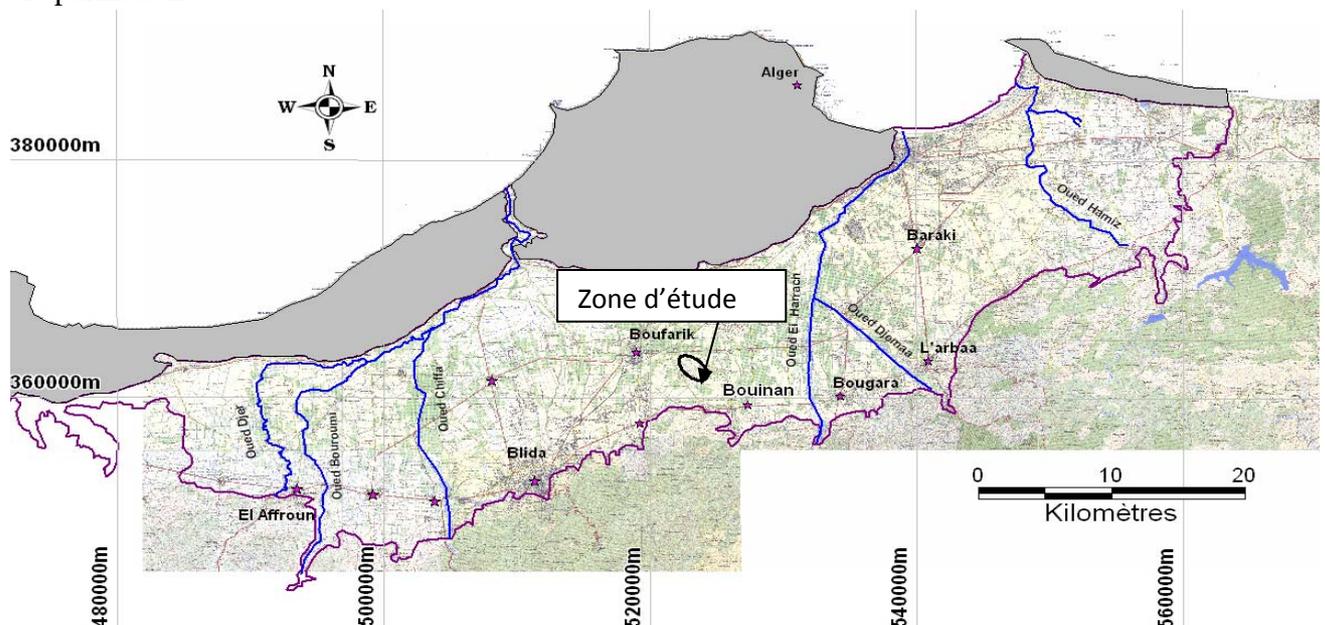


Fig .1 Présentation la plaine de la Mitidja

I.2 : Situation géographique de la nouvelle ville de Bouinan :

La région étudiée est située à 35 km au sud d'Alger et à 14 km à l'est de la wilaya de Blida. Le site de la nouvelle ville s'étale sur l'agglomération de Bouinan, Amroussa, Mellaha et Hassania une superficie de 2175 ha. La nouvelle ville de Bouinan est divisée en deux secteurs chaque secteur est une petite ville en soi. Le Premier secteur est composé d'un nouveau tissu, alors que le deuxième est intégré principalement dans le tissu urbain de l'agglomération existante, et elle est limitée par les communes suivantes :

Au Nord : Boufarik

A Sud : Mellaha

Al' est : Amrossa, bouinan

Al 'ouest : Soumaa

Situation géographique de la Nouvelle ville Bouinane

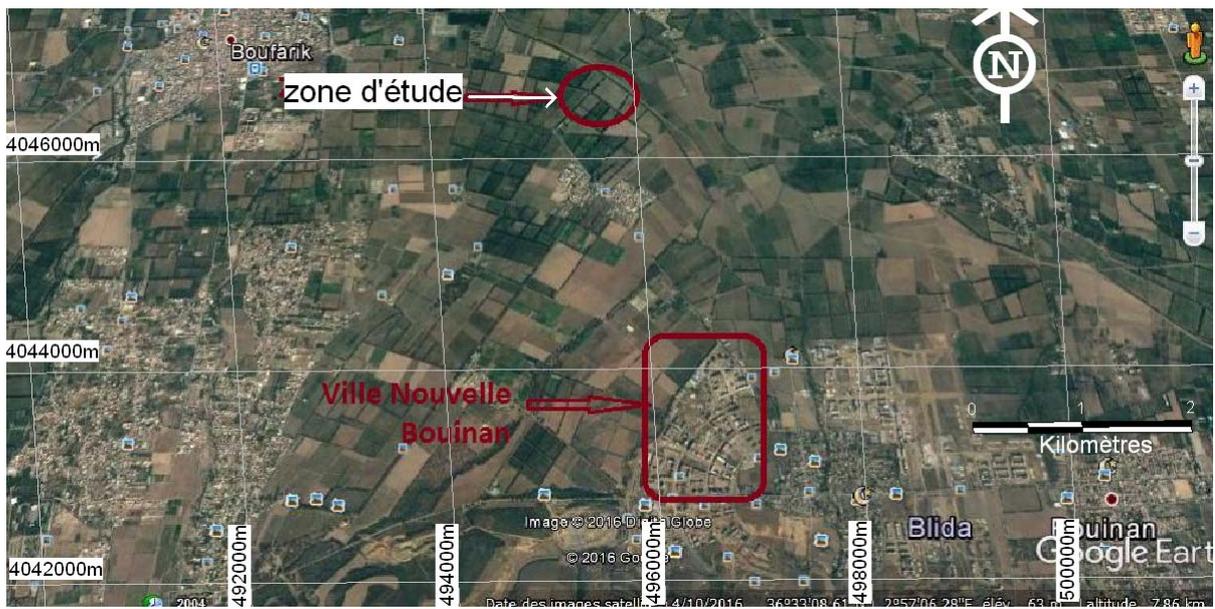


Fig. 2. Photo indiquant la zone d'implantation des forages et la nouvelle ville Bouinan

I.3. Aperçu géomorphologique :

I.3.1. 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 d'en faire un bref aperçu.

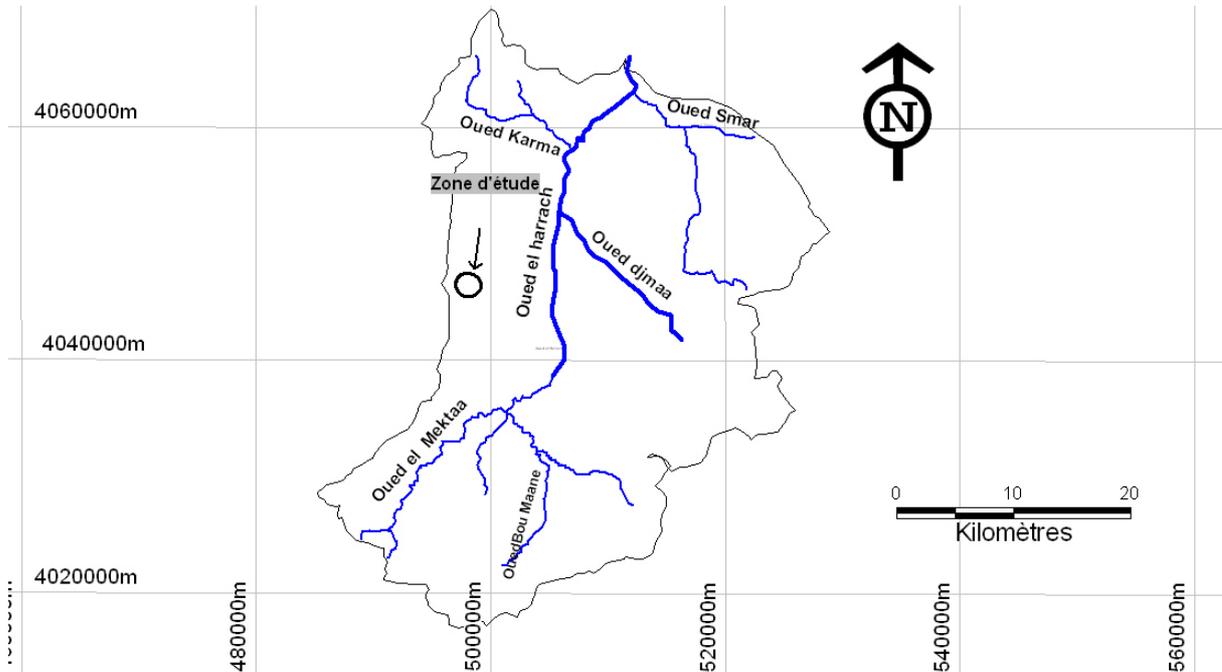


Fig. 3 Le sous bassin versant 02-14 Oued El Harrach

I.3.2 Analyse des 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 d'oued el Harrach qui appartient au grand bassin versant Côtier et couvre une superficie de 1250km².

I.3.3 Relief

Le bassin versant s'étend très au Sud et est divisé topographiquement en trois régions distinctes.

En amont, le bassin versant est composé principalement par un massif montagneux.

Dans sa partie Nord-Ouest, le bassin 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.

Les points les plus hauts du bassin versant sont :

- Kef Takhrina (1478 m), Chéra (1526 m) au Sud – Ouest du bassin versant.

- Le point le plus bas se trouve à l'embouchure d'Oued El Harrach sur la mer Méditerranée.

I.3.4 Caractéristiques de forme du bassin versant

La forme du bassin versant influence fortement l'écoulement et notamment le temps de réponse de 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. 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.

Dans cette étude des caractéristiques de forme, plusieurs modèles 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 suit la longueur et largeur équivalente.

Ces différentes caractéristiques sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : caractéristiques de la forme du BV

P (km)	187
S(km²)	1250
KC	1.48
Leq (km)	78
leq (km)	16.2

I. 3.5 Conclusion

Suite aux résultats obtenus de l'indice de capacité, $KC = 1,48 > 1,12$, on conclue que le bassin versant est assez allongé, et par conséquent, le temps de réponse est relativement long

II. Aperçu hydroclimatologique

II.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude des paramètres climatologiques (précipitation, température, évaporation) qui interviennent dans l'établissement du bilan hydrologique pour la période considérée de 34 ans (1980-2014).

Les données traitées ont été recueillies à l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH).

II.2. Les paramètres climatologiques

II.2.1 les précipitations :

Pour mieux caractériser le régime climatique dans la région d'étude, nous avons choisi trois stations pluviométriques, (Tableau 2)

Tableau. 2 Caractéristique des stations pluviométriques

Station pluviométrique	Code ANRH	Coordonnées LAMBERT		Altitude (m)
		X(Km)	Y(Km)	
L'Arbaa	02-14-03	541.150	362.950	100
Douar Makli	02-14-27	532.450	355.750	130
Baraki	02-14-21	535.050	376.500	20
Dar El Bidha	02-06-11	347.350	379.600	24

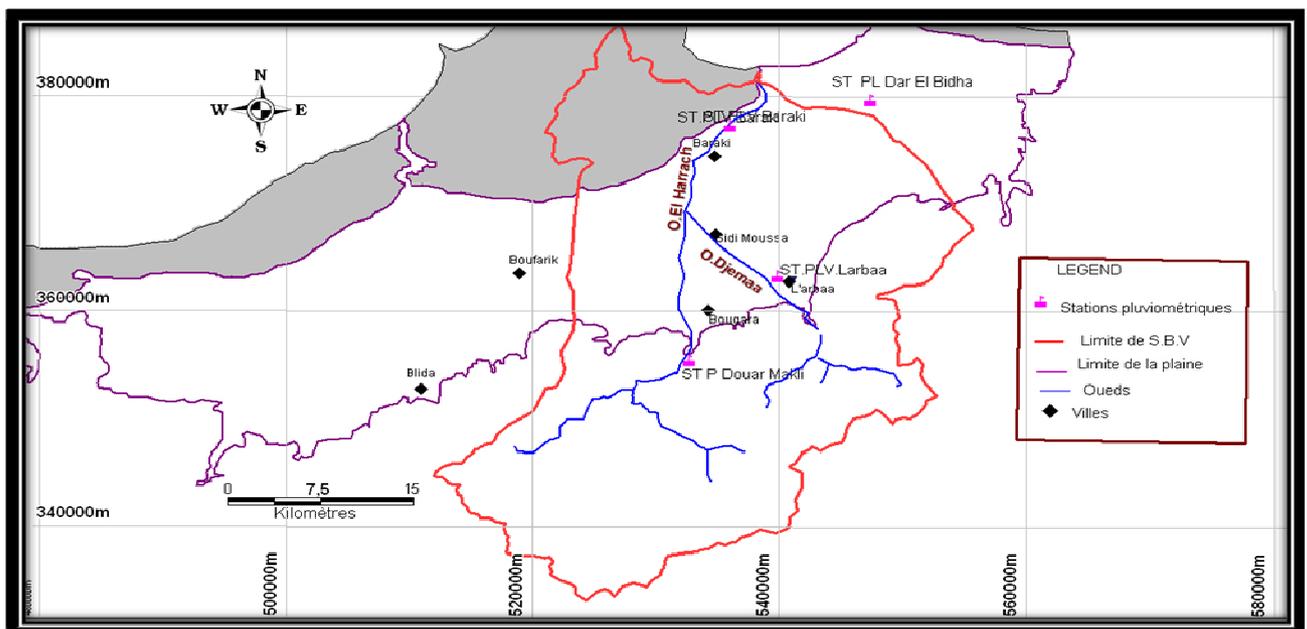


Fig.4 Carte de la répartition des stations pluviométrique dans le bassin

II.2.2 Précipitations moyennes mensuelles

Les précipitations moyennes mensuelles sur une période d'observation de 34 ans (1980-2014) pour les trois stations (Baraki,DouarMakli, L'Arbaa), Sont obtenues en faisant la somme de tous les mois des années d'observation et on calculant la moyenne par la suite.

Tableau .3 : Précipitations moyennes mensuelles (1980-2014)

	Sept	Oct.	Nov.	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Baraki	27,3	52,44	93,2	100	81,4	71,6	53,5	49,9	35,8	9,5	4	6,7
L'arbaa	28.7	50.7	78.2	112.1	92	81.7	68.9	56.5	49.3	9.7	2.5	6
Makli	24.4	50.6	77.6	99.2	89.8	83	69.6	61.2	55.1	8.6	3.1	6.3

L'analyse des variations des précipitations (figure n°5) montre que les trois stations ont la même allure, avec une période pluvieuses s'étalant du mois d'Octobre au mois de Mai avec un maximum de 112,1mm au mois de Janvier enregistrée à la station de L'Arbaa. Les mois de juillet et Aout sont les plus secs, avec un minimum de précipitation au mois de Juillet mesuré à la station de L'Arbaa

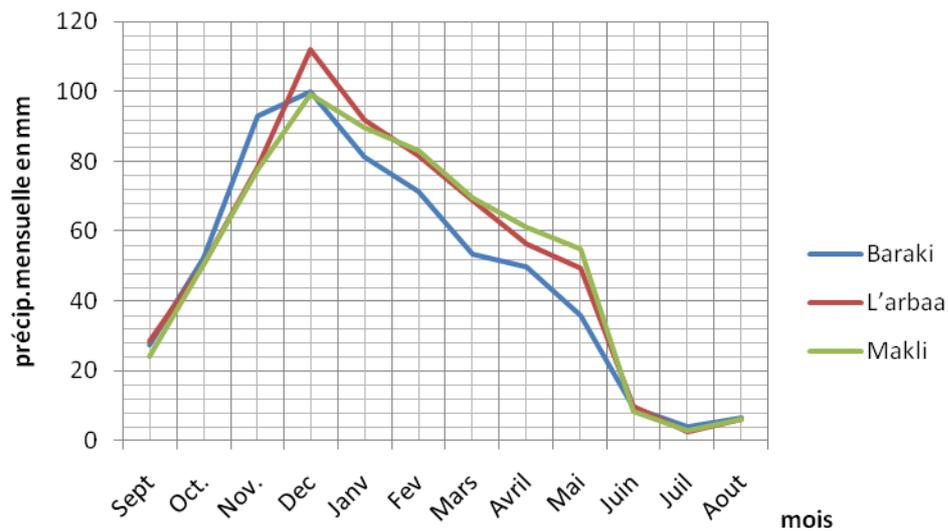


Fig.5 : variation des Précipitations moyennes mensuelle période 1980-2014

II.2.3 précipitations moyennes annuelles

Les précipitations moyennes annuelles sont obtenues en faisant la somme de tous les années d'observation et on calculant la moyenne par la suite

Tableau .4 : précipitations moyennes annuelles

Station	L'Arbaa	Douar Makli	Baraki
Précipitation moyennes annuelles (mm)	636,4	628,5	585,7

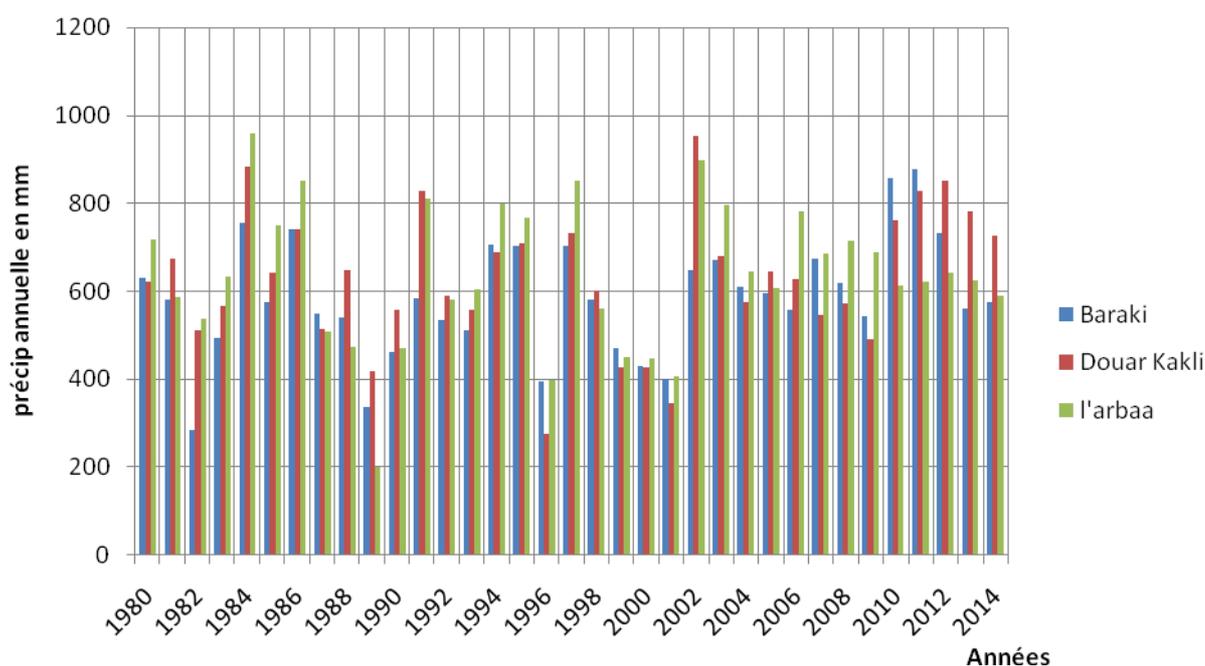


Fig.6 : Précipitations moyennes annuelles période 1980-20145(ANRH)

II2.4 Températures :

Les observations effectuées à la station de Dar El Beida sont les plus complètes et les plus régulières. Elles sont représentatives de la Mitidja orientale.

Tableau n°05 : variations de la température moyenne, maximale et minimale à la station de Dar El Beida 1980-2010 (ONM)

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jen	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Années
Moy	23,57	20,12	15,44	12,5	11,13	11,65	13,25	15,05	18,33	22,25	25,2	26,11	17.88
Min	17,6	14,2	10	6,9	5,6	5,1	7,1	9,4	13	16,5	19	20,1	12.04
Max	29,54	26,04	20,88	18,1	16,66	18,2	19,4	20,7	23,66	28	31,4	32,12	23.72

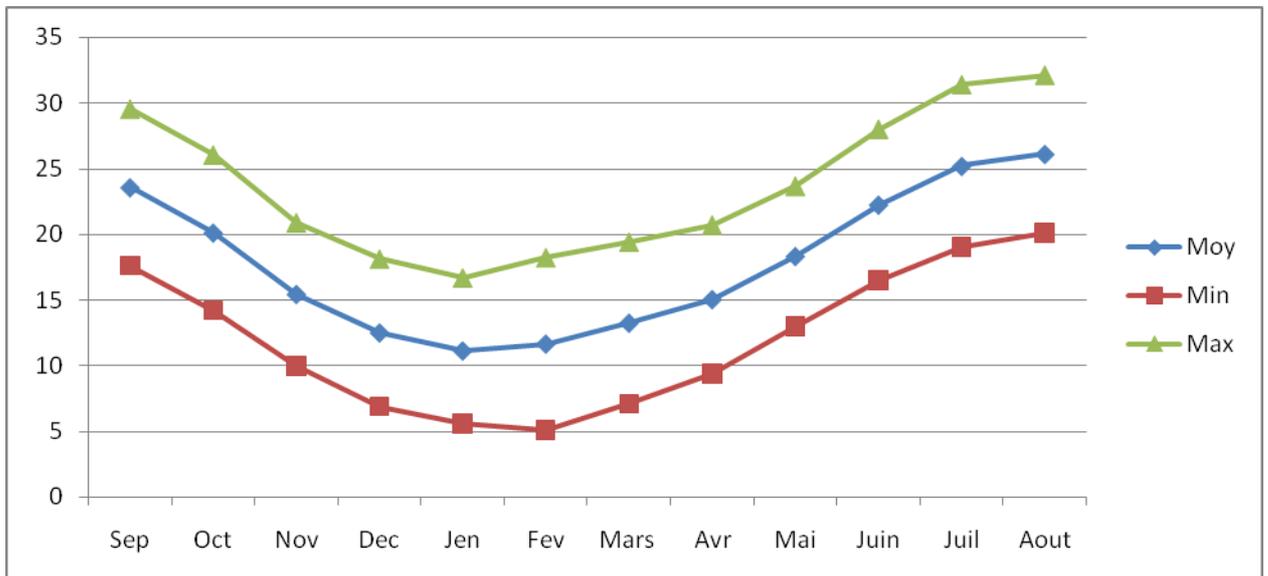


Fig. 7 Variation de la température moyenne, maximale et minimale à la station de Dar El Beida
1980-2010(ONM)

La température moyenne annuelle pour la période de 1980-2010 est de 17.88°C.

Ce graphe permet de distinguer dans cette série hydrologique deux périodes :

- ❖ Une période froide s'étalant depuis Novembre jusqu'à Avril avec une température moyenne inférieure à la température moyenne annuelle.
- ❖ Une période chaude s'étalant de Mai jusqu'à Octobre avec une température moyenne supérieure à la température moyenne annuelle.

II.3. Conclusion

L'étude hydro climatologique montre que le secteur étudié est caractérisé par un climat régional méditerranéen très froid en hivers, et chaud en été. La station pluviométrique de l'Arbaa enregistre annuellement une moyenne de 637 mm pour la période (1980, 2014) de pluie, avec une température moyenne de 17.88°C.

III .Aperçu géologique

III.1 Introduction

La Mitidja est une vaste plaine dont la superficie est estimée à environ 1300Km² 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 :

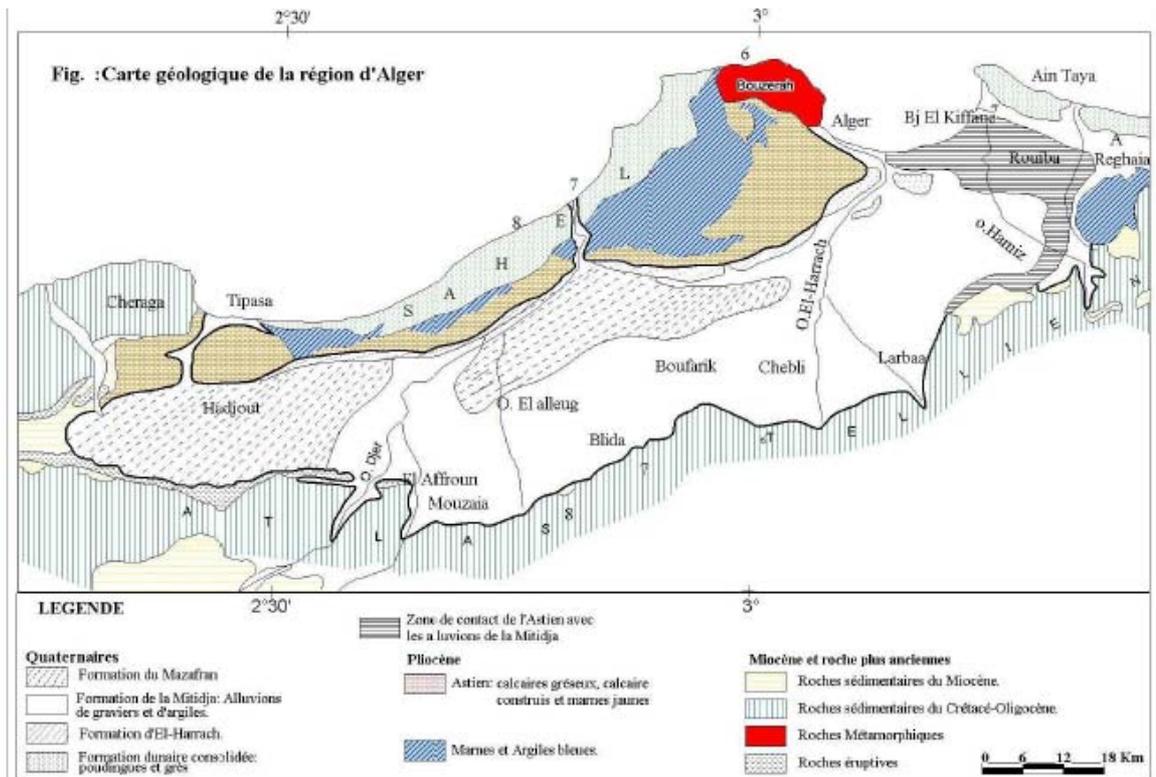


Fig.8 : Carte géologique de la Mitidja (ANRH Alger)

III .2. Aperçu litho stratigraphique

III.2.1 Le Quaternaire

III .2.1.1 Le Rharbien

Cette formation comprend :

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

La formation de Mazafran représente 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.

III .2.1.2 Le Tyrrhénien (formation de la Mitidja)

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

III.2.1.3 Le Villafranchien (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 caillouteuse et contenant des lentilles de graviers de 2 à 6 m d'épaisseur.

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

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

III.2.2 Le Tertiaire

III.2.2.1 Le Pliocène supérieur (Astien)

Il est constitué d'une grande variété de lithologies associées à une sédimentation marine mois profonde.

Les plus couramment rencontrées sont les sables, les calcaires sableux, les grés calcaires molassiques et les argiles sableuses jaunes (Glangeaud and Aymé 1935).

On remarque toutefois la prédominance des faciès sableux avec des grés calcaires bien cimentés.

Les zones où cette formation affleure sont le Sahel d'Alger et la périphérie de Meftah.

Cette série présente une épaisseur moyenne entre 100 et 130 m, est se trouve à des profondeurs allant de 250 à 300 m. On la rencontre particulièrement à l'est de Rouïba à de faibles profondeurs.

III.2.2.2 Le Pliocène inférieure (Plais ancien)

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

III.2.3. Le Miocène

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

III.2.4 L'Oligocène

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

III.2.5 Le Secondaire

➤ Le Crétacé supérieur

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

➤ Le Crétacé moyen

Le Crétacé moyen est constitué par des calcaires marneux à passées régulières de calcaires compacts du Cénomani.

➤ Le Crétacé Inférieur

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

III.2.6 Le Primaire

➤ Les roches sédimentaires

Elles sont composées de grés micacés rouges, de poudingues à galets de quartz blanc dans une matrice argileuses parfois marneuses. L'affleurement est très réduit est localisé dans l'atlas au Sud de Meftah et Khemis El Khechna.

➤ Les roches métamorphiques

Ce sont des roches du socle cristallin affleurant localement sur des surfaces réduites au Nord et à l'Est du bassin de la Mitidja (Glangeaud 1932, binnie and Atkins 1983). Elle sont constituées de schistes, micaschistes et gneiss.

➤ Les roches éruptives

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

III.3 La Tectonique

La plaine de la Mitidja est un vaste synclinal, limité par deux flexures nord et sud plus ou moins visibles. Les deux extrémités sont déférentes.

III.3.1-la bordure Nord :

Elle est constituée par l'Astien, le pendage prend une forme subverticale, il est formée de faciès calcaire gréseux, alternant de faciès gréseux.

III.3.2-la bordure sud :

L'Astien est formé par les faciès grésocalcaire qui n'apparaît que localement aux environs de *Meftah*, sous forme de deux petites mamelons à la cote 138 entre *Bouinan* et *Soumaa* de direction Est Ouest et de pendage Nord 30° à 40° est sous la forme de lambeaux entre Hadjout et *El Affroun*.

III.4. Exploitation des données géophysiques existantes :

D'après l'étude géophysique réalisé par la compagnie générale de géophysique CGG (paris/France) dans la plaine de la Mitidja en 1967, des profils géo électrique ont été réalisés suivant une direction Nord-Sud.

Les profils électriques (T et U) traversant la zone d'étude, ont été exploité dans le but de voir les différents terrains traversés par les quartes forages projetés .

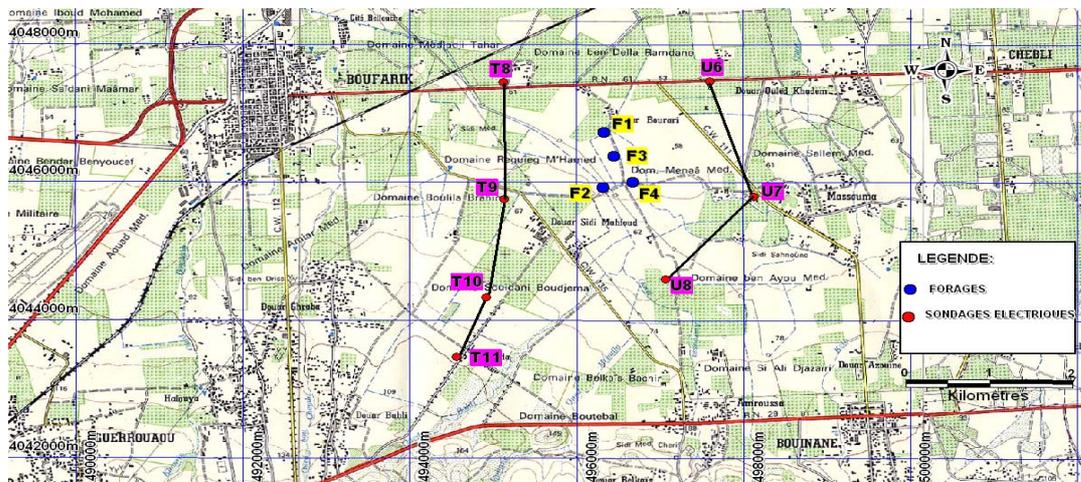


Fig.10 Carte de situation des sondage électrique (CGG)

Les coupe géo électrique T et U montrent le biseautage du miocène au sud, ce dernier est surmonté par un substratum marneux du palaisancien présentant des résistances comprises entre 03 et 10 Ωm , le substratum est surmonté par l'astien gréseux avec des résistivités de l'ordre de 70 -100 Ωm , l'ensemble tertiaire est surmonté par un niveau quaternaire d'alluvion grossier argileux peu perméable dans la résistivité sont comprise entre 20-30 Ωm avec l'intercalation d'alluvions grossiers perméable présentant une résistivité de 50-100 Ωm Alors que, le recouvrement alluvionnaire présente des variations de faciès d'où la corrélation entre les divers horizons s'avère très difficile. La sédimentation étant très hétérogène et les niveaux de sables et graviers étant souvent répartis irrégulièrement dans un ensemble généralement très argileux

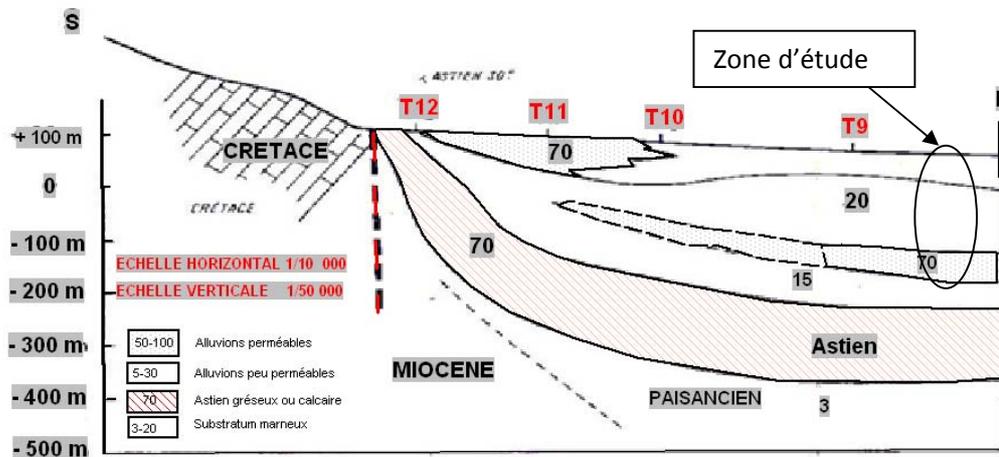


Fig.11. Coupe géo électrique « T » (CGG)

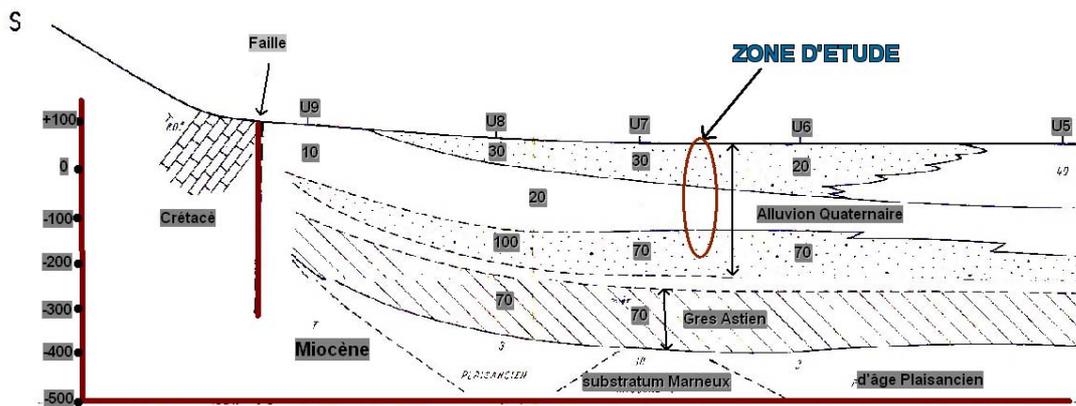


Fig.12. Coupe géo électrique « U » (CGG)

III.5. Conclusion

L'étude géologique et géophysique met en évidence deux aquifères principaux.

Les alluvions grossiers du Quaternaire constituent la nappe alluviale de la Mitidja qui sont peu profond car le substratum est constituée d'argile jaunes du Villafranchien, alors que la deuxième nappe astienne constituée par les Grés de l'Astien à des profondeurs moyennes entre 250 à 400m sauf à proximité des affleurements Nord (Attatba –Koléa).

IV Aperçu Hydrogéologique

IV.1. Introduction

L'objectif de notre étude hydrogéologique est d'identifier et définir les unités géologiques ayant une importance du point de vue ressources en eau souterraine l'étude hydrogéologique que nous présentons est basée sur l'examen d'études antérieures, notamment celles de la géophysique réalisé par la CGG, partenaires et Binnie.

IV.2. Inventaire des points d'eau

L'inventaire que nous avons fait dans la zone d'étude, nous a permis de recenser 17 forages destinés à l'alimentation en eau potable, ces derniers ne dépassent pas les 200 mètres de profondeur, comme le montre le tableau ci-dessous :

Tableau .6: Les caractéristiques des forages

Forages	Cordonnées		Prof	Débit (l/s)	NS(m)	Elévation Z(m)
	X	Y				
F1 ville	523.161	363.161	200	22	45	54.3
F2 ville	523.131	362.416	188	21	57	44.30
F3 ville	523.279	362.848	200	20	48	52.50
F4 ville	523.484	362.543	192	12	60	64.8
F5 ville	522.982	360.999	200	05	70	71.60
F1 amroussa	523.00	360.710	110	10	25.70	63
F3 amroussa	523.175	363.525	150	27	37	47
F1 massouma	526.040	361.110	140	13	42	59
F Soudani	522.610	361.030	175	10	23	64
F2 Massouma	525.380	361.440	140	12	45	58
F Ben della	522.420	363.410	140	5	42	43
F4 Bouinan	526.950	360.370	180	12	54	60
F5 Bouinan	527.060	360.950	210	25	40	58
F1 Bouinan	527.610	359.410	150	12	58	70
F3 Bouinan	527.510	360.150	150	12	51	57
F2 Hssania	527.161	359.410	198	15	55	60
F6 Bouinan	526.843	361.032	200	13	46	58

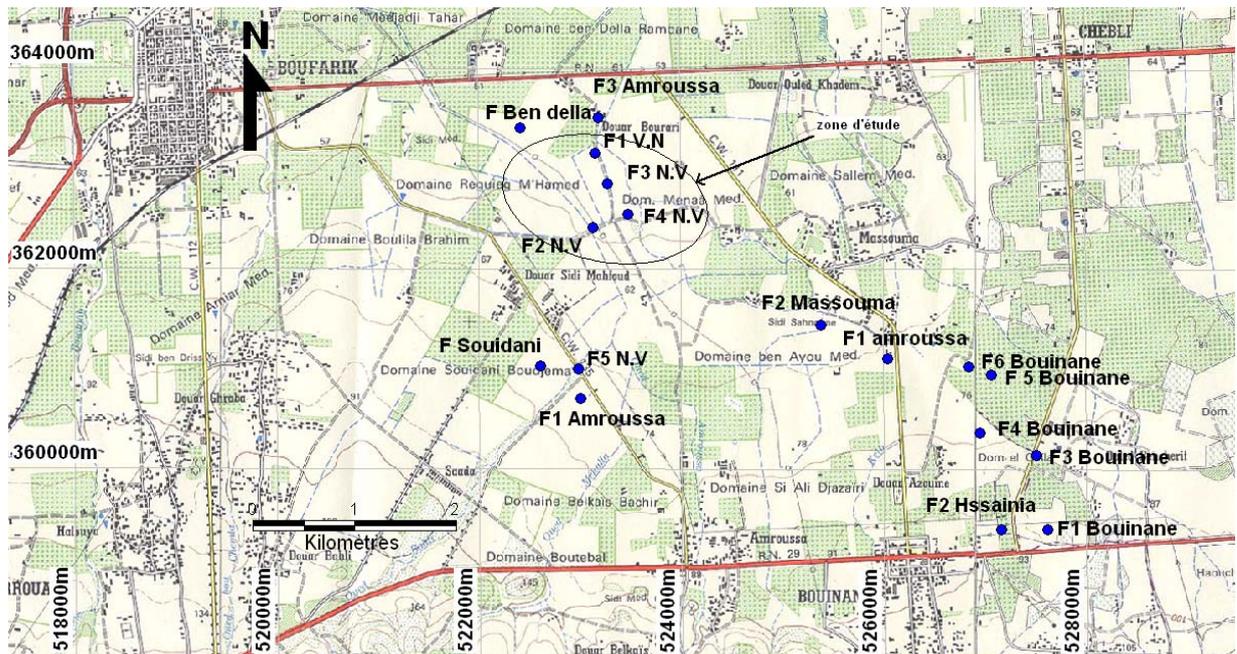


Fig.13 Carte d'inventaire des points d'eau

IV.3. Identification des aquifères :

IV.3.1 L'aquifère de l'Astien :

Il s'étend sur presque la totalité de la plaine et affleure principalement dans le Sahel et au Sud au niveau de Meftah. Il est bien délimité entre un substratum marneux (plaisanciennes) et la couverture des marnes d'El Harrach (ou marnes de Maison-Carrée).

L'épaisseur moyenne de l'aquifère est de 100 à 130 mètres. Il se situe généralement à une Profondeur allant de 250 à 300 m par rapport au niveau du sol. A l'Est de Rouiba cependant, la formation de l'Astien se rencontre à de faibles profondeurs.

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

IV.3.2 L'aquifère des alluvions du Quaternaire :

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

L'aquifère a pour limite supérieur la surface du sol et inférieure la formation d'El Harrach, Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 100 à 200m

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

Dans la partie occidentale (bas-Mazafran et Lac Halloula), l'aquifère se continue au dessous de la formation orgilo limoneuse du Rharbien. Cette formation de très faible perméabilité, rend la nappe captive dans cette partie de la plaine.

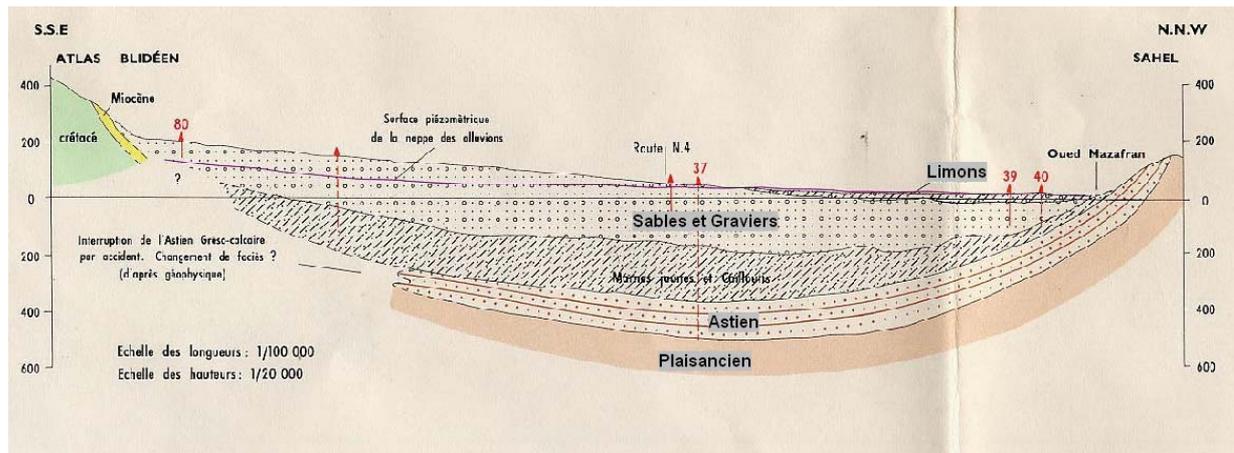


Fig.14. Coupe interprétative transversal de la Mitidja dans le bassin de Mazafran

IV.4. Mécanismes d'alimentation et d'écoulement des eaux souterraines :

A) L'aquifère de l'astien est alimenté par :

L'infiltration des précipitations sur le sahel ou il affleure, réalimentation à partir de la nappe de la Mitidja sus-jacent dans les piémonts de l'Atlas, l'Astien est alimenté par la nappe de la Mitidja par drainance à travers les marnes jaunes de la formation d'El Harrach.

B) Alimentation de la nappe alluviale du Quaternaire

Alimenté essentiellement par des eaux de ruissellement des oueds décédant de l'Atlas Blidéen, et l'ascendance verticale des eaux de l'Astien à travers les formations d'El harrach.

IV.5. Les paramètres hydrodynamiques:

IV.5.1. La transmissivité

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

M. Clouet d'Orval estime en 1968 que les transmissivités de l'aquifère des alluvions varie dans la plaine de la Mitidja entre 53.10^{-3} et $0,3.10^{-3}$ m²/s avec des transmissivités plus faibles au niveau du bassin du lac Halloula (Est de la Mitidja). La valeur médiane de l'ensemble des valeurs mesurées (80 points d'eau) 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 estimé est : 1.10^{-4} – 2.10^{-2} m²/s.

IV.5.2. Le coefficient d'emmagasinement

M. Clouet d'Orval estime en 1968 que la valeur médiane des 40 valeurs connues du coefficient d'emmagasinement de l'aquifère des alluvions en zone basse de Mazafran, soit dans la zone captive de l'aquifère de 17.10^{-5} .

Mac Donald (1993) cite des coefficients d'emmagasinement sans préciser les ouvrages qui ont permis de les mesurer (voir tableau n8).

Tableau .7: Coefficients d'emmagasinement(McDonald)

Aquifère	Condition hydrodynamique	Fourchette de valeurs mesurées (sans unité)
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 $1.6.10^{-4}$

IV.6. La piézométrie :

IV.6.1 Analyse piézométrique :

Pour la connaissance de l'hydrodynamisme de la nappe alluviale de la Mitidja, on s'est basé essentiellement sur les relevés piézométriques relatifs aux périodes des basses eaux 2015 effectués par l'ANRH.

IV.6.2. Interprétation de la carte piézométrique des basses eaux (Avril 2015)

La carte piézométrique de la période basse eau 2015, montre un écoulement général des eaux souterraines de la nappe alluviale de la Mitidja 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 superposent 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 due probablement à une variation de perméabilité à cet endroit avec un gradient 0.02 (2_0^0).

La carte piézométrique montre une convergence au niveau d'Oued El Alleug sa due au la surexploitation à ce niveau vue 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 où il est de 0.01 (1_0^0) 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 espacée avec un gradient hydraulique très important 0.0025 soit (0.25_0^0) ça due à la faible perméabilité

On observe aussi des courbes isohypses négatives, c'est à cause de la surexploitation de la nappe surtout au niveau du champ de captage Mazfran I.

Le secteur d'étude est situé entre les courbe isopièze 30 et 40 avec un gradient hydraulique 0.005 soit (0.5_0^0)

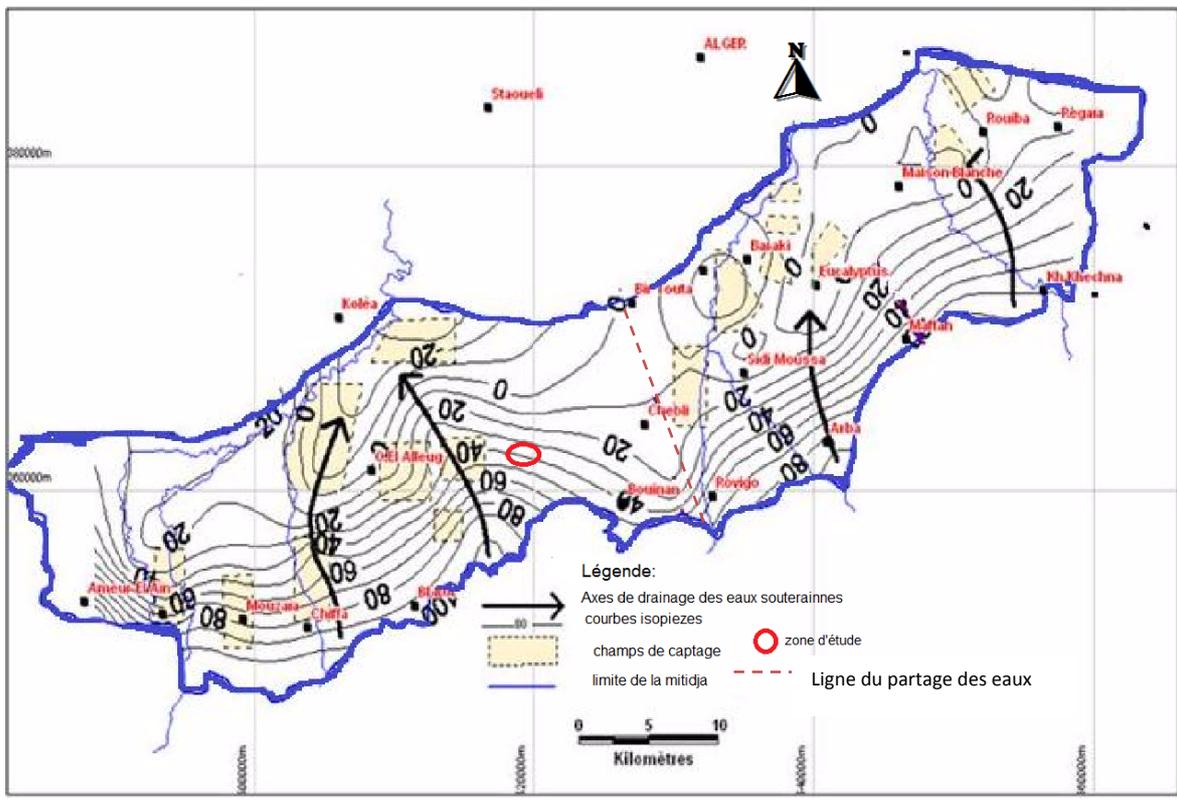


Fig.15. Carte piézométrique de la nappe de la Mitidja (Campagne, avril 2015)

IV.7.Conclusion

La plaine de Mitidja est limitée au Nord par le bombement du Sahel où affleurent les terrains d'âge pliocène, et au Sud par l'Atlas Blidéen formé par des terrains d'âge Crétacé.

Au niveau de la plaine de la Mitidja, on peut définir deux ensembles de réservoirs aquifères : L'Astien gréseux ou grésocalcaire et les alluvions du Quaternaire.

La nappe alluvionnaire du Quaternaire est formée par des sables et graviers argileux, dont l'épaisseur variant entre 100 à 200m, avec un substratum argileux du Villafranchien. Elle montre un écoulement général des eaux souterraines du Sud vers le Nord, avec une alimentation directe par les précipitations efficaces, par les infiltrations des eaux superficielles des cours d'eau et par drainage à partir de l'aquifère Astien.

CHAPITRE II
DESCRIPTION DE LA
SONDEUSE

II.1.Introduction

Ils existent différents modes de fonçage des forages, parmi ces méthodes on a trois catégories les plus utilisées en Algérie ont classés comme suit :

- ✓ Forage par mouvement alternatif (battage ou percussion)
- ✓ Forage par combinaison des deux mouvements (rotation – percussion)
- ✓ Forage par rotation (rotary) On a opté pour la méthode de forage par rotary

II.2 . Appareil de forage rotary et accessoires

Le cas choisi dans notre intervention est le forage rotary avec circulation de boue benthonitique dont le but de rechercher et exploiter l'eau en profondeur. Actuellement ce cas est plus utilisé pour la réalisation des forages hydrauliques et qui a donné des résultats appréciables du point de vue qualité de l'ouvrage.

II.3. Description de la machine

Il existe deux types de procédés de forage rotary :

1-Foreuse à table de rotation.

2-Foreuse à tête de rotation.

II.3.1-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 la barre de commande qui s'appelle (KELLY) ou (tige carré)

II .3.2 Foreuse à tête de rotation

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

II .4.Les organes de la machine

II.4.1. le mât

Est 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.

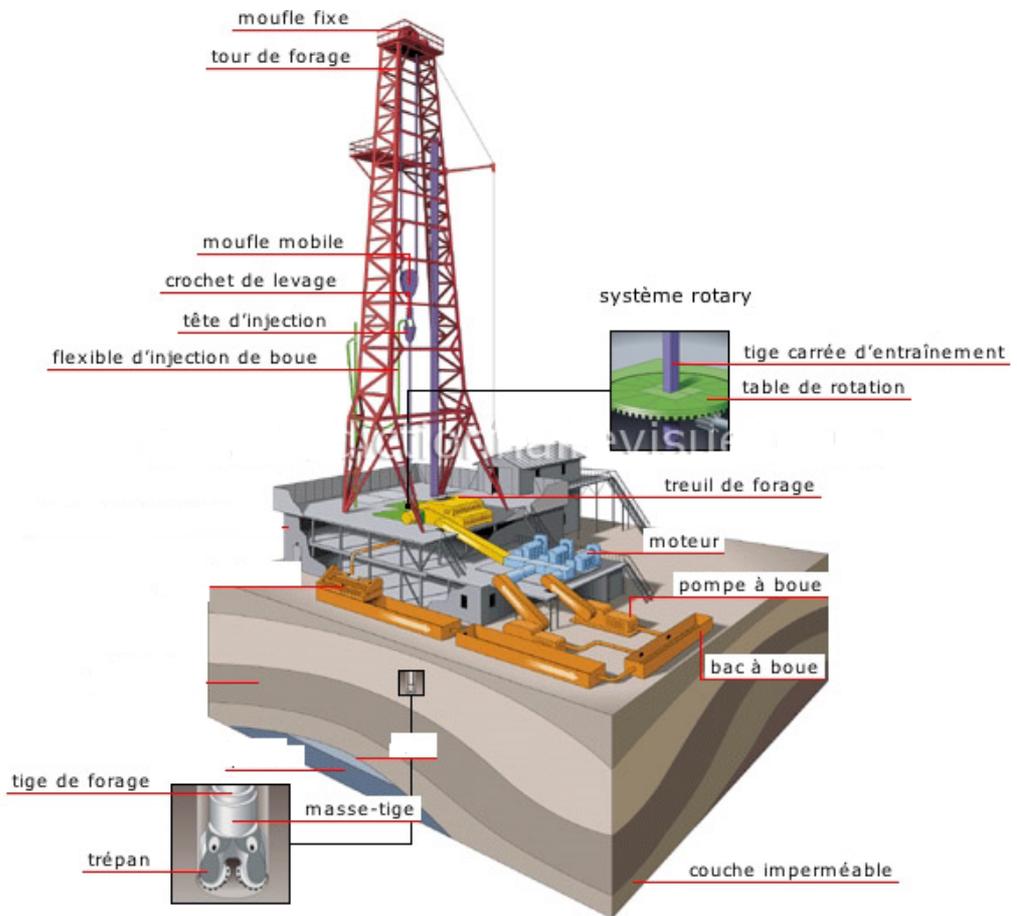


Fig.17 : Appareil de Forage Rotary

II.4.3 :-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.

II.4.4.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.

II.4.5. Table de rotation

C'est l'organe qui entraîne par rotation par un moteur et 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 comporte trois parties principales :

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

II.4.6. Pompes à boue

C'est organe qui aspire et refoule la boue sous pression à l'intérieur de trou de forage, le contenue dans les bassins.

Ces pompes peuvent fournir des débits importants ($>300\text{l/mn}$) et à des pressions ($>300\text{Kgf/cm}^2$).



photo .1 : pompe à boue de marque (GARDIN DINVER)

II.4.6.1 Caractéristique d'une pompe

- 1) Nombre de pistons.
- 2) Ouverture maximale de la chemise en pouce
- 3) Course (stocke) du piston en pouce
- 4) Débit
- 5) Pression maximale de service
- 6) puissance

II.4.7 Treuil

C'est organe assurant la transmission de la puissance adéquate à partir des moteurs pour permettre le levage à des vitesses différentes.

Il est constitué de :

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

II.4.8 mouflage

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

II.4.9 câble du forage

Utilisé dans les manœuvres du train de sonde et le soutien des charges. L'élément de basse est le fil d'acier à haute résistance, plusieurs fils torsadés et assemblés en tresse forment un toron. Plusieurs torons (en générale 06) enroulés en hélice autour d'une âme centrale forment un câble.

II.5. train de sondes

II.5.1 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.

II.5.2 les tiges (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.

II.5.3 les masses tiges (drill collars)

Elles sont utilisées pour :

Mettre du poids sur outil

Eviter aux tiges de travailler en compression pendant le forage

Meilleur guidage du trépan et la limitation de sa tendance à dévier

II.5.4 les outils de forage

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 trilame.

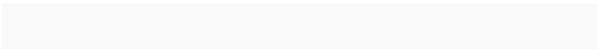
Selon son diamètre, l'outil peut peser de quelques kilogrammes à plusieurs centaines de kilogrammes. On distingue différents types d'outils de forage :

- **Couronnes** qui sont des tiges, améliorées ou non, munies de dents ou de picots renforcés.
- Forages au **diamant** (diamant synthétique polycristallin), qui sont des outils de formes très variées (y compris les formes de type tricones et trilames) dont l'utilisation est restreinte à l'industrie pétrolière et minière du fait du coût d'exploitation élevée. Les diamants ont la forme de pastilles noires prises dans la masse métallique de l'outil.
- **Tricônes**, outils montés par trois cônes rotatifs ou molettes (libres) munis de picots pour les terrains durs (longs picots pour les terrains très compétents, tels les quartzites, et picots courts pour les terrains moins compétents tels les schistes), et de dents pour

les terrains durs (calcaires) à argileux (marnes) les dents étant plus longues lorsque le terrain est plus argileux. On trouve également des tricônes à pastilles faites de matériaux ultra-résistants (diamant et carbure de tungstène par exemple).

- **Trilames** 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 le diamètre de trou, ou simplement d'en racler les bords et parfois de compacter le fond du forage. On distingue donc les aléseurs compacteurs, en forme de pointe, ouverts à lames ou cylindriques, étagés, etc.



CHAPITRE III

DÉROULEMENT DES

TRAVAUX DE FONÇAGE

III.1.Introduction :

L'hydrogéologue est le premier intervenant pour la réalisation d'un forage hydraulique.

Il implante le forage sur la base de :

- Carte géologique et hydrogéologique
- Enquête sur le terrain
- Prospection géophysique

Les travaux de forçage d'un forage suivent les phases suivantes :

- a- Phase de construction de la plate forme, des bacs à boue et rigole
- b- Phase d'installation du chantier
- c- Phase de creusement de l'avant puits
- d- Phase de reconnaissance
- e- Phase d'élargissement
- f- Phase de tubage
- g- Phase de cimentation (s'il Ya lieu)
- h- Phase de gravillonnage
- i- Phase de développement
- j- Phase des essais de pompages

III.2. Préparation du chantier

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

La mise en place du chantier est entamée par la stabilisation de l'appareil de forage sur une plate forme conçue avec béton. On creuse 02 bassins sur le côté d'aspiration de la pompe à boue, (L'un sert à la décantation et l'autre à la circulation). Ces deux bassins sont reliés au trou du forage par une rigole.



Photo 2. stock de bentonite

III.3. Organisation du chantier

L'organisation du chantier doit permettre au foreur d'en visualiser la totalité et donc d'intervenir rapidement en cas de problèmes.

III.3.1. Les précautions pratiques à prendre sont les suivantes

- déterminer un périmètre de sécurité autour du chantier.
- prévoir un accès au chantier pour les véhicules et l'approvisionnement en eau (citernes d'eau).
- prévoir un accès facile pour le remplissage des fosses.
- prévoir un endroit sec pour la rédaction.
- prévoir une zone de déblais (cutting).
- aplanir le terrain pour faciliter le calage de la machine.
- prévoir le creusage des fosses à boue et son emplacement.
- positionner le compresseur de façon à ce qu'il ne reçoive pas la poussière de forage (pas sous le vent de la machine).
- installer toutes les unités de pompage, de pression hydraulique et les moteurs sur un plan horizontal.

III.4. préparation des bassins à boue

Les bassins à boue constituent une réserve de fluide de forage, et permettent le recyclage de la boue par décantation.

III.4.1. Le premier bassin

Il facilite la sédimentation amorcée dans le canal. Son volume est de 10 m^3 . ($2.5 \times 2 \times 2 \text{ m}$).

Le second canal doit être décalé de l'axe du premier afin de former une chicane qui ralentit le flux et favorise la décantation.

III.4.2. Le second bassin

C'est une réserve où est pompée la boue pour être injectée dans le train de tige. Son volume est environ de 10 m^3 . Les bassins sont régulièrement curés et nettoyés des sédiments déposés en cours de forage.

III.5. Dimensionnement des bassins

Le dimensionnement des fosses à boue se fait en fonction de la profondeur du forage à réaliser : idéalement, le volume total des bassins doit être égal à 3 fois le volume du forage

III.6. Préparation de la boue de forage

Dans les terrains argileux, il est préférable de forer à l'eau simple sans bentonite pour éviter de colmater l'aquifère. L'eau se chargera, en l'absence d'informations fiables sur la nature des terrains, on mélange à l'eau de forage de la bentonite, pour augmenter la densité de l'eau et préparer une boue que l'on pourra épaissir ou alléger par la suite.

III.6.1. Caractéristique de la boue utilisée

C'est une argile en poudre qu'il faut doser entre 15 et 30 kg par m^3 d'eau de densité 2.6. Son risque majeur de colmatage de l'aquifère fait aussi son avenage dans des terrains très perméables (aquifère, gravier, sable, silts) où les pertes de boue peuvent être importantes ainsi que les risques d'effondrement.

La boue a les fonctions suivantes

- ✓ Consolider les parois du forage
- ✓ Faire remonter au jour les sédiments broyés.
- ✓ Lubrifier et refroidir les outils de forage.
- ✓ Faciliter et contrôler l'opération de mise en place de gravier additionnel et de cimentation.
- ✓ Augmenter par le jet à la sortie de l'évent de l'outil, l'action abrasive de celui-ci sur le terrain en cours de forage.
- ✓ Renseigner par l'observation de la variation de niveau dans les bacs ou les fosses à boue ou bien par celle pression au refoulement de la pompe sur la nature de terrain découvert par l'outil et sur son potentiel aquifère.

III.7.Creusement

III.7.1. Tube guide

L'opération de creusement commence par la réalisation d'un avant trou au diamètre final de 24" et d'une profondeur de 10 m. On pose un tube guide en tôle noir soudé de 20" cimenté au terrain.

Le biton dosé à 250 Kg m^3 est mis en place dans l'espace annulaire entre le tube et le trou sur toute sa profondeur.

La reprise du forage se fait 24 heures après la cimentation (temps de prise).

Pour les forages F1,F2,F3 et F4 de la Nouvelle ville, le creusement de tube guide a été réalisé en diamètre 24" sur une profondeur de 10 m, avec la pose d'un tube guide en tôle noir soudé de 20".

III.7.2.Forage de reconnaissance :

cette phase est réalisée par des outils de petits diamètres ($8^{1/2}$ ou $12^{1/4}$) pour obtenir un important avancement à moindre coût et donner une précision d'enregistrement de diagraphie. Son but est de connaître la lithologie de terrain traversé.

Pour le forage F1Nouvelle Ville la reconnaissance a été réalisée par un outil de $12^{1/4}$

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

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

III.7.3.Prélèvement des échantillons:

La circulation de la boue permet de fournir des échantillons broyés à la surface.

Au moment de l'analyse, il faudra tenir compte que ces échantillons contiennent une forte proportion de la boue de circulation, il est toujours préférable de prendre plusieurs d'échantillons (3 à 4).

Pour cela, il faut :

- Prendre un échantillon dès que l'on rencontre une formation aquifère
- Prendre un échantillon chaque fois qu'apparaît un changement de terrain.
- Dans les autres cas, prendre un échantillon tous les mètres

Après l'opération de prélèvement, l'échantillon final sera rincé et puis on le place dans des sachets en plastique avec étiquettes avec mention de la côte de prélèvement.

La description des cuttings, nous a permis d'établir les coupes lithologique



Photo.3 Photos montrant une série du cuttings

III.7.4. Enregistrement et interprétation des diagraphies

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

Les enregistrements effectués dans notre forage F1 sont :

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

L'enregistrement de diagraphie des forages F1, F2, F3 et F4 voir annexe 3 à 6

L'interprétation de l'enregistrement de la diagraphie du Forage F1 « R 16, R64»

Profondeur (m)	Perméabilité	La Résistivité (Ohmm)		Nature de Formation
		16 N	64 N	
0-10				
10 - 37	perméable	17	20	Gravier fin Argiles
37-71	Peu Perméable	40	45	Argile graveleux
71-93	Imperméable	12 à 15	15 à 17	Argiles un peu graveleux
93-115	Perméable	50	30	Gros Gravier et moyenne un peu argileux
115-125	Imperméable	15	15	Argiles un peu graveleux
125-130	Perméable	30	30	Graviers moyenne un peu argileux
130-150	Imperméable	12	12	Argiles
150-165	Perméable	35	30	Gravier avec passage d'argiles
165-180	Imperméable	13	15	Argiles
180-190	Perméable	30	30	Gravier moyenne avec passage d'argiles
190-200	imperméable	10	10	argile

Fig.18 L'interprétation de la diagraphie électrique et la lithologie du forage F1 « R 16, R64»

L'interprétation de l'enregistrement de diagraphie du Forage F2 « R 16, R64»

Profondeur (m)	Perméabilité	La Résistivité (Ohmm)		Nature de Formation
		16 N	64 N	
0-10				
10 - 20	perméable	100à20	100à20	Gravier fin
20-30	impermeable	18à10	18à12	Argile
30-40	Peu perméable	22à 20	18	gravier un peu argileux
40-55	impermeable	15	15	Argile
88-90	perméable	75	85	Gravier moyenne propre
90-96	Peu perméable	15	18	Argile un peu graveleux
96-108	perméable	25à15	15	Gravier moyenne argileux
108-115	impermeable	15	15	argile
115-125	Peu perméable	25	25	Gravier moyenne graveleux
125-135	Perméable	70à75	70à75	Gravier moyenne
135-145	Peu perméable	15à20	15à20	Argile un peu graveleux
145-150	perméable	70à75	70à75	Gravier moyenne
150-160	Peu perméable	20à25	15	Argile avec passage de gravier
160-170	perméable	60	60	Gravier moyenne
170-178	impermeable	18	18	argile
178-183	perméable	55	50	Gravier moyenne un peu argileux
183-190	impermeable	55	50	argile

Fig.19 l'interprétation de la diagraphie électrique et la lithologie du forage F2

L'interprétation de l'enregistrement de la diagraphie du Forage F3 « R 16, R64»

Profondeur (m)	Perméabilité	La Résistivité (Ohmm)		Nature de Formation
		16 N	64 N	
0-10				
10 - 37	Peu perméable	17	18 -24	Gravier fin argileux
37-47	impermeable	18	18	Argile peu graveleux
47-70	perméable	25à 50	20	gravier un peu argileux
71-93	Peu perméable	18à20	20	Argile graveleux
93-118	perméable	55	52	Gros et moyenne gravier un peu argileux
118-124	Peu perméable	20	20	Argile un peu graveleux
124-130	perméable	58	55	Gravier moyenne
130-138	impermeable	15	15	argile
138-142	perméable	13	15	Gravier moyenne un peu argileux
142-150	Peu Perméable	30	30	Argile graveleux
150-190	perméable	55à60	55à60	Gravier moyenne un peu argileux
190-200	impermeable	15	10	argile

Fig.20 l'interprétation de la diagraphie électrique et la lithologie du forage F3

L'interprétation de l'enregistrement de la diagraphie du Forage F4 « R 16, R64»

Profondeur (m)	Perméabilité	La Résistivité (Ohmm)		Nature de Formation
		16 N	64 N	
0-10				
10 - 30	Peu perméable	17	20	Galet très Argileux
30-47	Perméable	30	35	Galet propre
47-55	Imperméable	12 à 15	15 à 17	Argiles un peu graveleux
55-66	Perméable	30	30	Gros Gravier et moyenne un peu argileux
66-75	Imperméable	15	15	Argiles un peu graveleux
75-87	Perméable	30	30	Gravier moyenne un peu argileux
87-115	Imperméable	20	25	Argiles graveleux
150-128	Perméable	35	30	Gravier avec passage d'argiles
128-138	Imperméable	13	15	Argiles
138-180	Perméable	30	30	Gravier moyenne avec passage d'argiles
180-200	imperméable	10	10	argile

Fig.21 l'interprétation de la diagraphie électrique et la lithologie du forage F4

III.7.5. Alésage et réalésage

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

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

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

Tableau.9.les différents diamètres des outils utilisés

Diamètre Alésage	12" ^¼	17" ½	20''	24''
Diamètre approprié	8"	12"	13" ^{3/8}	20"

Pour le forage F1 Ville Nouvelle et après l'interprétation de la diagraphie et l'analyse des cuttings, une profondeur de 200m a été alésée en diamètre de 17"^{1/2}. Et réalésage en diamètre de 20".

III.8.Mise en place du tubage

Le plan de tubage (longueur et position des tubes pleins et des tubes crépines) est établie en fonction de la coupe géologique du forage ou sont notées les différentes couches de terrain et les venues d'eau, ainsi qu'en observant de visu la coupe géologique grâce aux échantillons, des essais diagraphie (résistivité électrique, gammaray, polarisatoïn spontané) 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 0.5m ou dessus de la surface du sol.



Photo. 4 montre la mise en place du tubage

III.8.1. Diamètre du 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 supérieur au diamètre du tubage 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 nos forage, le diamètre de tubage utilisé est de 12".

III.8.2. 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 sur qualité physique –chimique des eaux qui peuvent être prélevées dans des forages qui captent le même aquifère nous permettront de connaître le caractère incrustant ou agressif des eaux par comparaison du PH d'équilibre avec le PH mesure. 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 est 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 tôle noir souder.

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

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

Calcul de la pression hydrostatique :

Cette pression est déterminée 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 de 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 :

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

Ou:

- **T** : Epaisseur du tubage.
- **D** : Diamètre extérieure de tubage.
- **Re** : Résistance due à l'écrasement.

En faisant les calculs, nous obtiendrons :

L'épaisseur du tubage est égale à : 6 mm

III.9.Equipement de la colonne de captage

III.9.1.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.

III.9.2. Longueur et position des crépines

La longueur de la crépine est en fonction de l'épaisseur de la formation à capter. 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 (cutingus)

Ces deux paramètres conditionnent les longueurs des crépines à adopter (voir coupe technique des forages (Figure 21 et 22))

III.9.3. Ouverture des crépines

Le choix de l'ouverture de crépine est lié aux dimensions des fentes de la crépine de telle sorte qu'elle ne laisse passer des grains fins.

Dans notre forage, nous avons rencontré un terrain graveleux alterné par des argiles. Le choix de crépine de type nervures repoussées, ouverture (1- 2) mm « tôle noir souder » le tableau ci-dessous montre les valeurs de choix des ouvertures des crépines en fonction de la granulométrie de l'aquifères.

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)

Taille des grains de l'aquifères	Taille des grains des graviers filtres	Taille des ouvertures des crépines
0,1 à 0,6	0,7 à 1,2	0,50
0,2 à 0,8	0,1 à 0,5	0,75
0,3 à 1,2	1,5 à 2,0	1,00
0,4 à 2,0	1,7 à 2,5	1,5
0,5 à 3,0	3,0 à 4,0	2,0

Coupe Technique du Forage F1 ville nouvelle de BOUINAN

Coupe Technique du Forage F2 ville nouvelle de BOUINAN

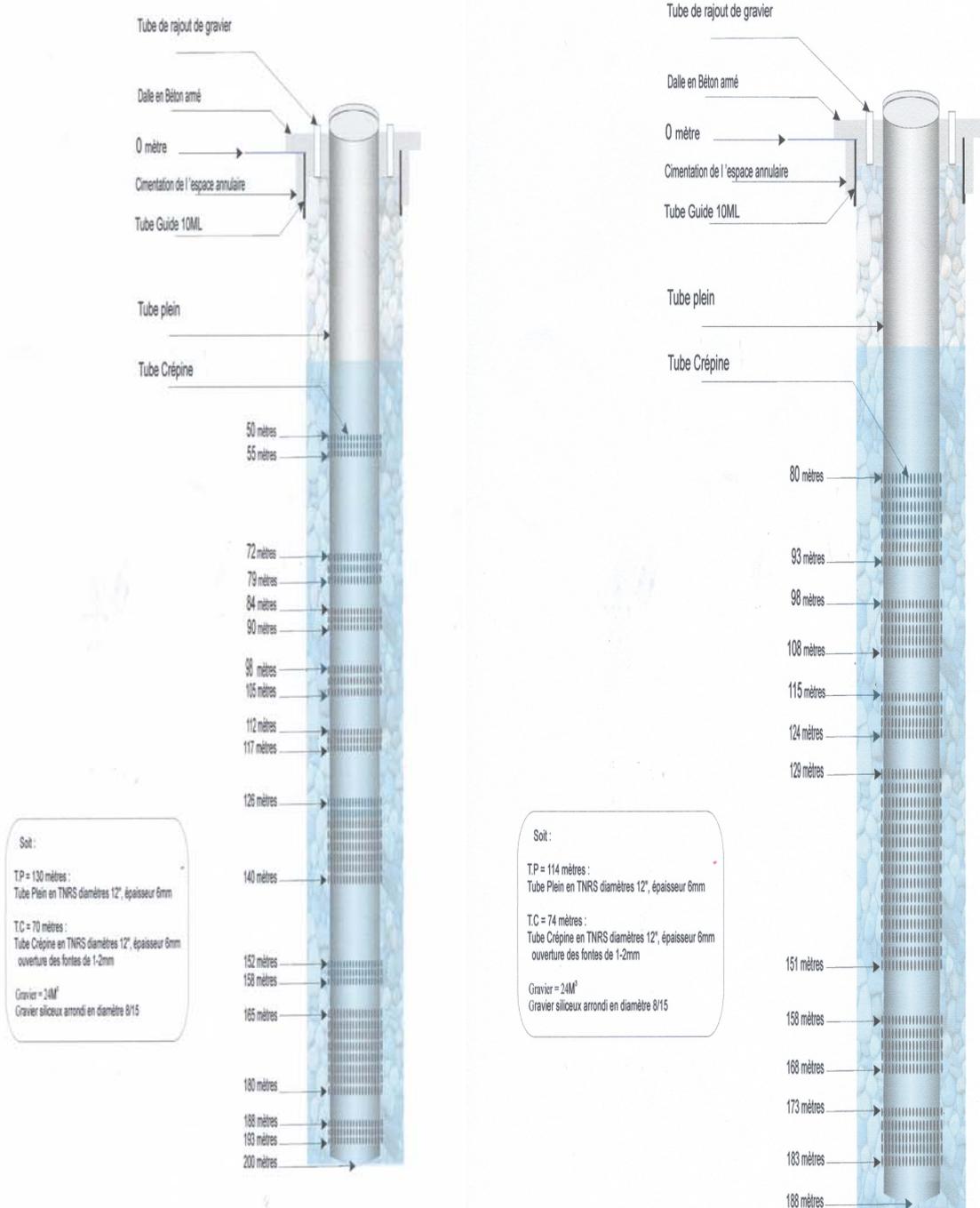


Fig.21 Coupe technique du forage F1 et F2.

Coupe Technique du Forage F3 ville nouvelle de BOUINAN

Coupe Technique du Forage F4 ville nouvelle de BOUINAN

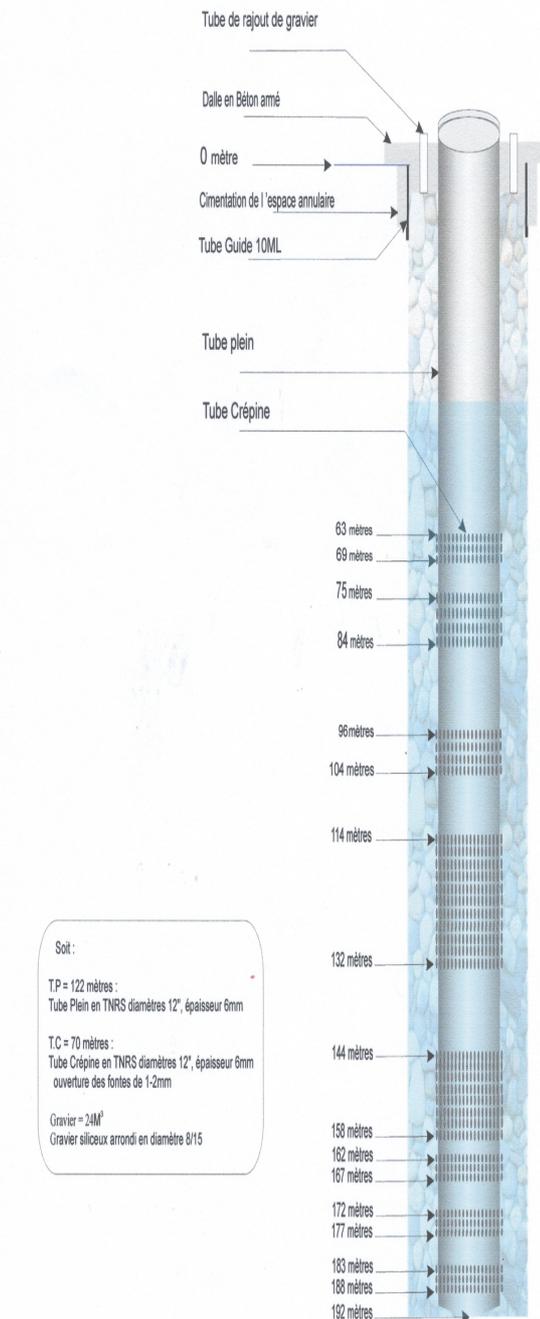
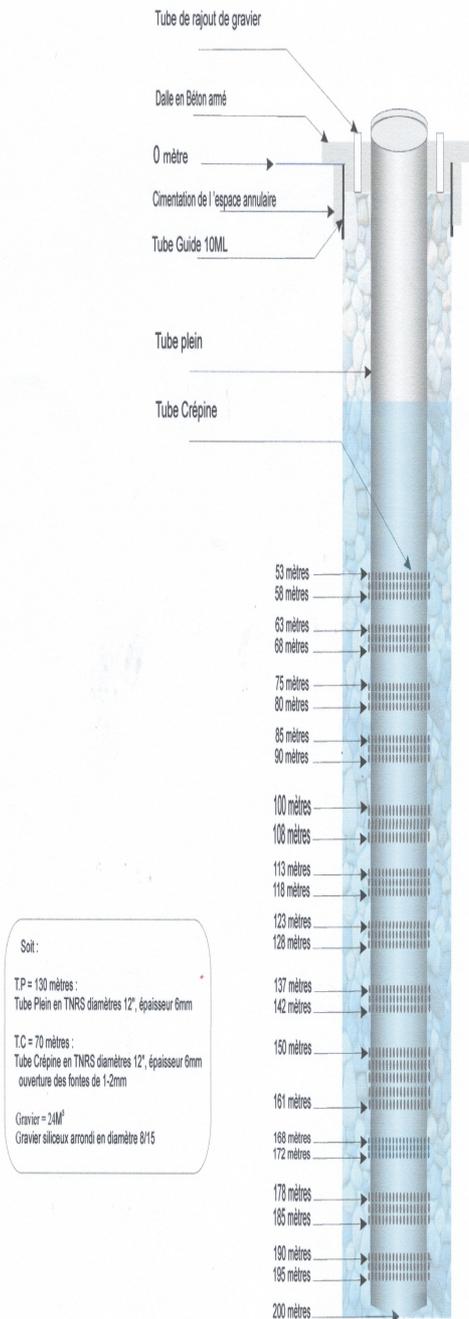


Fig. 22. Coupe technique du forage F3et F4.

III.10. Massif filtrant

III.10.1. Rôle et mode d'action

Le rôle d'un massif de gravier additionnel est d'améliorer de la capacité spécifique et le rendement de l'ouvrage.

Nous avons utilisé la méthode de gravillonnage en boue gravitaire, le gravier descend dans l'espace annulaire le long du tubage, une remontée de boue par le tube de forage indique que le gravier descend correctement, le volume nécessaire de gravier peut être défini théoriquement (volume du trou foré moins volume de tubage)

III.10.2. Volume du gravier

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

$$V = h * 0.8 * (D^2 - d^2) \text{ avec :}$$

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



photo 5. la mise en place du massif filtrant.

III.11.Développement

Le développement d'un forage est une étape très importante qui permet d'éliminer la plupart des particules fines du terrain et du gravier filtre qui pourraient pénétrer dans le forage ainsi que le reste du cake de boue et d'arranger le terrain autour de la crépine afin d'en augmenter la perméabilité.

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

Le but de l'opération du développement est :

- D'améliorer la capacité spécifique de l'aquifère
- D'éliminer de la zone critique les éléments fins indésirables et de stabiliser la formation.
- D'éliminer le « cake » déposé par la boue sur les parois.

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)

Cette dernière méthode est retenue dans le contrat pour notre forage.

Cette méthode est certainement efficace si elle est bien adaptée et bien conduite. Elle présente l'avantage de n'entraîner aucune détérioration du matériel employé.

Elle permet de combiner l'action de flux de reflux provoqué par de grands volumes d'air introduit dans l'ouvrage avec celle de mise en production par air-lift (éjecteur ou émulseur).

Nous indiquons ci-dessous les deux méthodes pour le développement pneumatique :

- Méthode à forage fermé.
- Méthode à forage ouvert

L'opération consiste à alterner les phases de pompe à l'air-lift et de soufflage brusque. Cette opération est réalisée en descendant le tube d'air à l'intérieur de la crépine pour faciliter la manœuvre, le robinet d'air doit être d'une ouverture et fermeture rapide au quart de tour. Cela se fait comme suit :

Descendre le pied du tube d'eau à 0.60 m environ de la crépine

- ✓ Descendre ensuite le tube d'air de façon que sa base soit à environ 0.30m au-dessus de celle du tube d'eau.
- ✓ Ouvrir l'air et laisser s'écouler l'eau pulsée par l'air lift jusqu'à ce qu'elle ne contienne plus de sables
- ✓ Fermer la vanne et laisser les pressions montant au maximum au compresseur (opération du gonflage).

- ✓ Pendant ce temps, il faut descendre le tube d'air à environ 0.30m au – dessous du sabot de tube d'eau, soit 0.60m plus bas que précédemment et à 0.30m du fond de crépine.
- ✓ Ouvrir brusquement le robinet d'air. L'eau sera violemment projetée en dehors par le tube d'eau et par le casing, mais pendant un temps très court.
- ✓ Remonter ensuite le tube d'air à sa première position ce qui provoque un violent renversement du flux dans le tube d'eau et une grande turbulence dans la formation au tour de la crépine, l'eau éjectée par l'air lift s'écoule très trouble par le tube d'eau.
- ✓ Quand elle deviendra claire, on remonter le tube d'eau de 0.60m à 1m et on recommence l'opération précédente pour traiter la formation au niveau 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 que 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 le développement est terminée.



Photo. 6 le développement à l'air lift (pneumatique), compresseur 16bar

III.12. Traitement à l'hexamétaphosphate :

Avant la mise en service du forage, un traitement à l'hexamétaphosphate sera opéré dans le but d'éliminer le cake formé par la bentonite. Cette opération qui se déroulera en trois phases se fera par injection de quantité d'hexamétaphosphate, et d'un pompage à l'air lift après quelques heures de séjour du produit dans l'ouvrage.

Un traitement à l'hexamétaphosphate sera effectué pour l'élimination complète du cake. L'hexamétaphosphate est un polymère de Meta -phosphate, sa formule est $(PO_3 NA)_n$ en solution aqueuse à 4% par m^3 , la quantité qu'on utilise dans notre forage est 300kg.

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

La solution de l'hexamétaphosphate est laissée au contact entre 24 heures le temps nécessaire de sa réaction chimique. On fait, le développement jusqu'à ce que l'eau extraite sera claire.

CHAPITRE IV

ETUDES

HYDRODYNAMIQUE DES

DIFFERENTS FORAGES

IV.1. Introduction :

Il existe plusieurs méthodes qui permettent d'évaluer les paramètres hydrodynamiques des nappes souterraines. Nous avons utilisé les résultats des essais de pompage pour les forages F1, F2, F3, F4 de la nouvelle ville de Bouinane.

IV.2 Forage F1 Nouvelle Ville Bouinane :

IV.2.1 Présentation de l'ouvrage

Le forage F1 de la nouvelle ville Bouinane est situé dans les alluvions du quaternaire de la plaine de la Mitidja, sur le point ayant les coordonnées ci-dessous :

X = 523.161 km

Y = 363.224 km

Z : 54.30 m

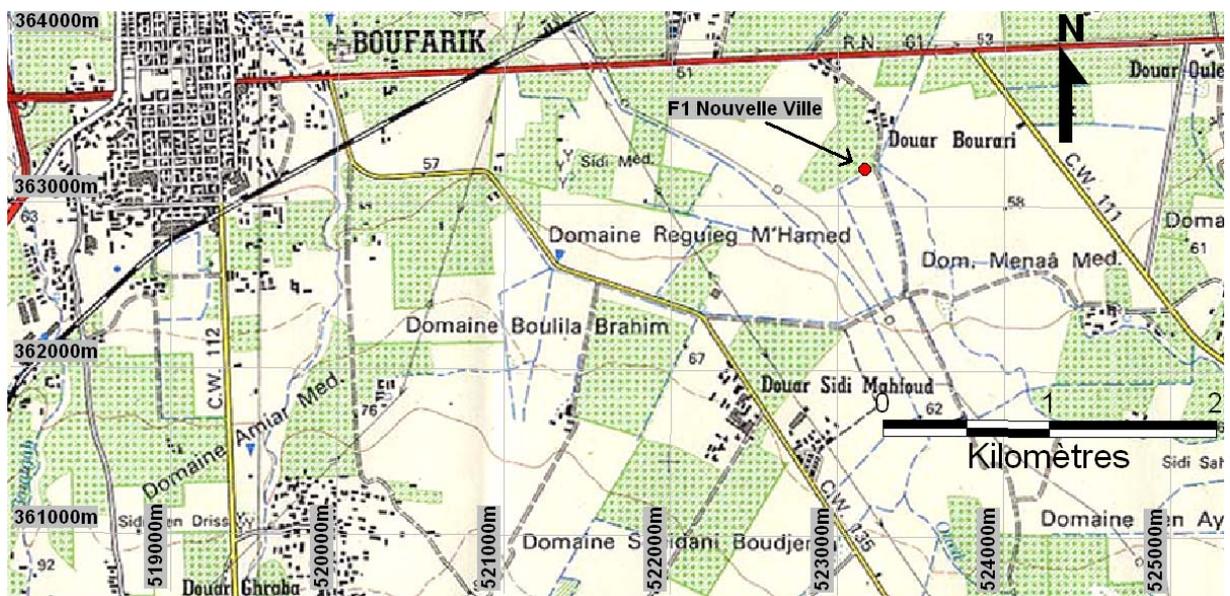


Fig.24 Situation géographique du forage F1 nouvelle ville de Bouinane

IV.2.2 Les essais de pompage

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.

L'essai par palier est conçu pour déterminer le rapport à court terme entre le rendement et rabattement dans le forage testé il consiste à effectuer une série de pompages à différentes débits un essai de débit par palier peut être réalisé comme suit :

Commencer par un débit de pompage faible, et l'augmenter à chaque palier.

Les travaux ont été réalisés par trois paliers, les débits de pompages progressant par échelons plus au moins réguliers.

Tous les paliers devraient avoir la même durée. Le débit de dernier palier devrait être ou égal ou inférieur de débit d'exploitation.



photo.7 Photo lors des essais de pompage

Tableau. 11 : Essai de débit par paliers du forage F1 NV :

Palier	Débits (m³/h)	ND(m)	Rabatement (m)	Débits spécifiques (m³/h/m)	Rabatement spécifiques (m/m³/h)
01	36	57	12	3	0.33
02	54	84	30	1.8	0.55
03	80	99	54	1.48	0.67

IV.2.3 Essais de longue durée :

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 plusieurs mois continu. L'objectif du pompage de longue durée (essais de nappe) est pour déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère.

IV.2.4. Calcule des paramètres hydrodynamiques :**IV.2.4.1 Le tracé de la courbe de descente du forage d'eau (F₁):**

Les résultats obtenus par l'expérimentation du pompage sont :

- Niveau statique : 45 m
- Niveau dynamique final : 99 m
- Rabatement final : 54 m
- Rayon du puits de pompage : 0,300 m
- Temps de pompage : 48 heures

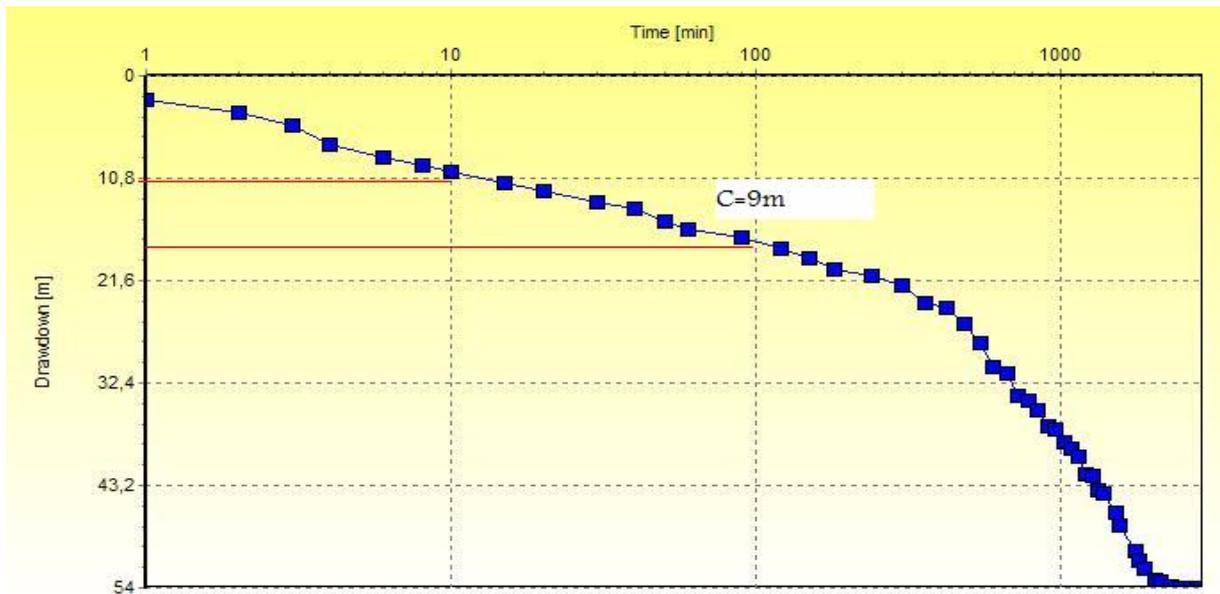


Fig.25 courbe de descente de forage F1 NV Bouinane

IV.2.4.2 Transmissivité :

Ce deuxième point que nous allons analyser, c’est un facteur très important pour la gestion de la ressource.

Le pompage d'essai de longue durée, est exécuté par un seul palier à débit constant de 22 l/s, durant 48 heures (voire Tableau 6 en annexe).

La valeur de transmissivité est : $T = \frac{0.183 Q}{C}$

Où « C » est :

$$C = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Log}t_2 - \text{Log}t_1} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Cycle logarithmique}} \quad \boxed{C=9}$$

Avec :

Q : débit en m³/s

T : transmissivité m²/s

ΔC : la pente de rabattement (m) :9 m

$$T = 0.183 * 22 * 10^{-3} / 9 = 0.44 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Dans l’absence d’un piézomètre, le coefficient d’emmagasinement n’a pas été évalué, et le seul paramètre apprécié est la transmissivité.

Données du pompage d'essai de longue durée de la descente et Remontée (Voir annexe 6)

IV.2.4.3 Essais de Remontée

Consiste à observer la remontée des niveaux d'eau après l'arrêt du pompage à la fin d'un essai à débit constant il est utile pour vérifier les caractéristiques de l'aquifère. Mais n'est valide que si une valve anti-retour est placée sur la colonne de refoulement.

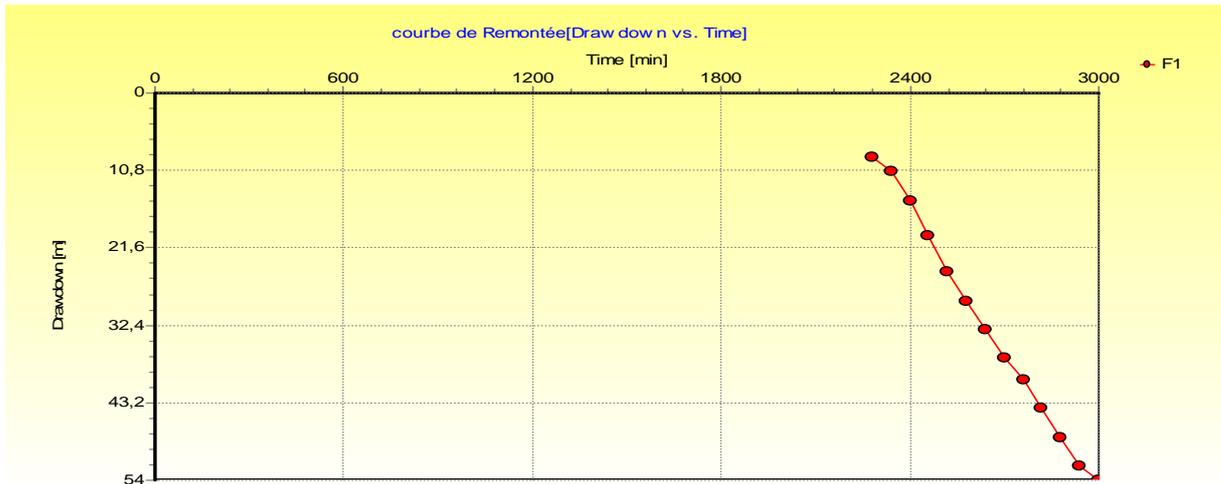


Fig. 26 courbe de remontée forage F1 NV Bouinane

IV.2.4.4 Courbe Rabattement en fonction de débit :

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 54 m³/h correspondant à un rabattement maximum, Δ_{max} , 34,2 m.

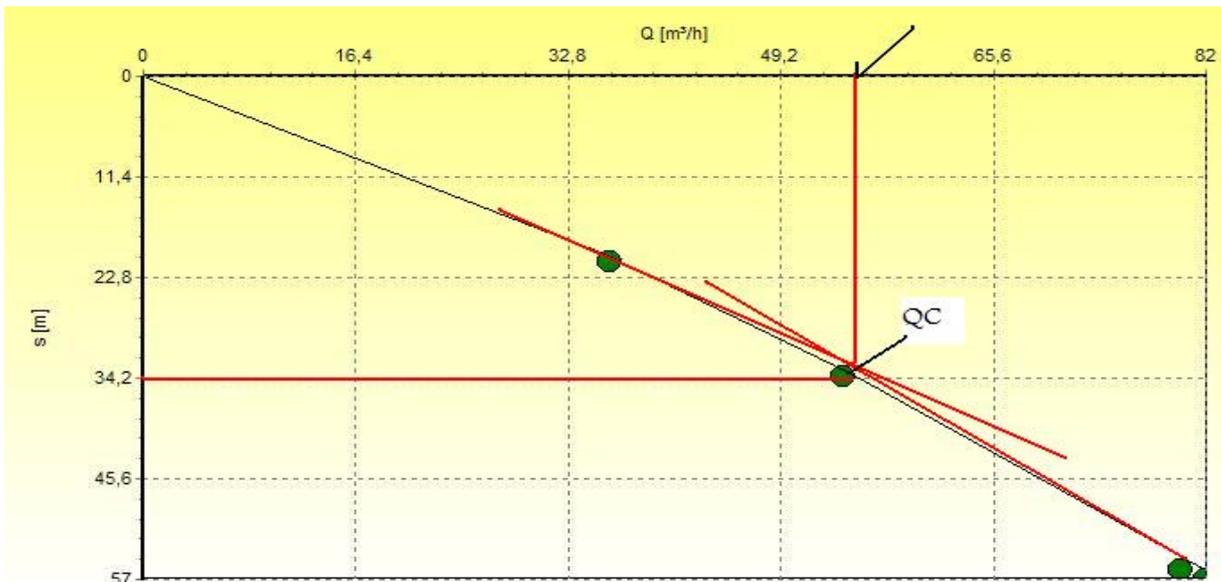


Fig. 27 courbe caractéristique F1 NV Bouinane

IV.3. Forage F3ville Nouvelle

IV.3.1.présentation de l'ouvrage

Le forage F3 est situé dans les alluvions quaternaires de la plaine de la Mitidja

Ce forage à une profondeur totale de 200m, a un niveau statique de 55 m, ainsi qu'un niveau dynamique de 101 m.

Ce forage aux coordonnées Lambert suivantes.

X=523.279 km

Y=362.848 km

Z=52.5 m

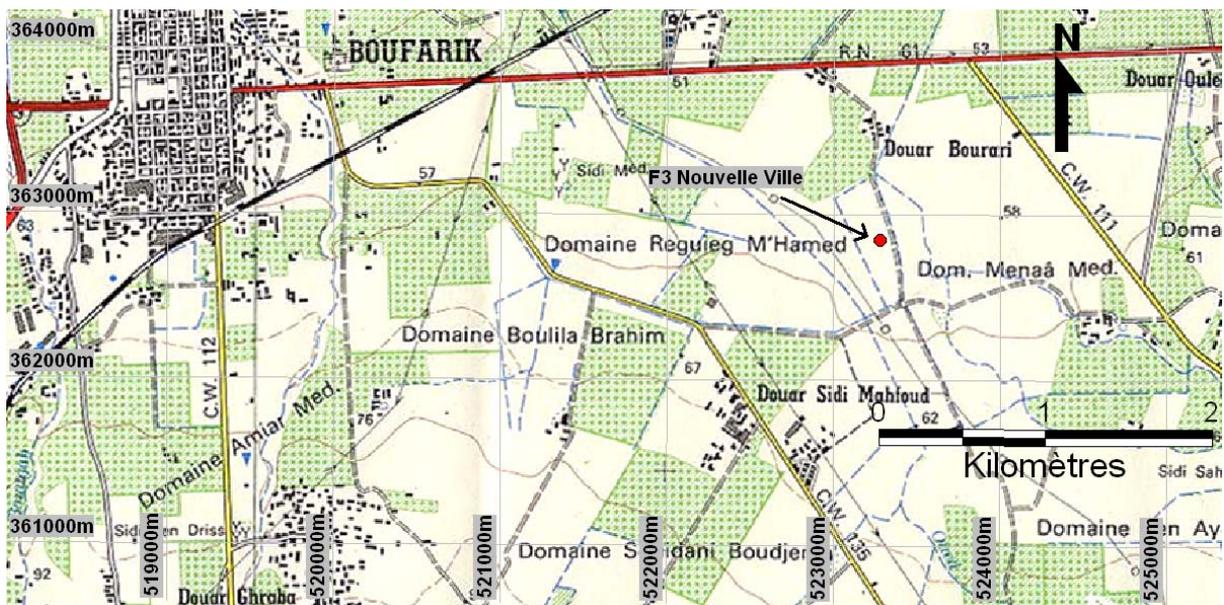


Fig.28 Situation géographique du forage F3 NV Bouinane

IV.3.2. Calcule des paramètres hydrodynamiques :

IV.3.2.1. Le tracé de la courbe de descente du forage d'eau (F₃):

Les résultats obtenus par l'expérimentation du pompage sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau .12 : Essai de débit par paliers F3 NV.

Palier	Débits (m ³ /h)	ND(m)	Rabatement (m)	Débits spécifiques (m ³ /h/m)	Rabatement spécifiques (m/m ³ /h)
01	43.2	81	26	1.65	0.60
02	57.6	87	32	1.8	0.55
03	79.2	101	46	1.72	0.58

- Niveau statique : 55 m
- Niveau dynamique final : 101 m
- Rabatement final : 46m
- Rayon du puits de pompage : 0,300 m
- Temps de pompage : 48 heures

IV.3.2.2 Transmissivité :

La valeur de transmissivité est : $T = \frac{0.183 Q}{C}$

Ou « C » est :

$$C = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Log}t_2 - \text{Log}t_1} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Cycle logarithmique}} \quad \boxed{C=12}$$

Avec :

Q : débit en m³/s

T : transmissivité m²/s

ΔC : la pente de rabatement (m) : 12m

$$T = 0.183 * 22 * 10^{-3} / 12 = 0.33 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

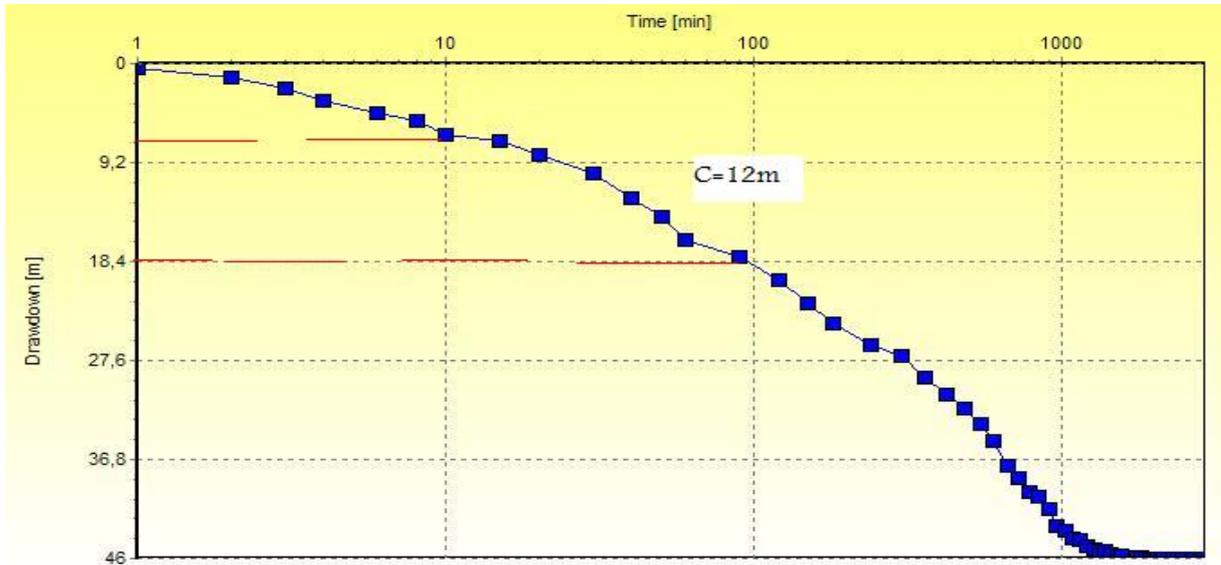


Fig. 29 courbe de descente forage F3 NV Bouinane

IV.3.2.3 Courbe de remontée du Forage F3 V.N Bouinane :

Consiste à observer la remontée des niveaux d'eau après l'arrêt du pompage à la fin d'un essai à débit constant.



Fig. 30 courbe de la remontée F3 NV Bouinane

IV.3.2.4 Courbe Rabattement en fonction de débit :

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 $55 \text{ m}^3/\text{h}$ correspondant à un rabattement maximum, Δ max, en fonction du débit critique du 30m et du rabattement maximum, 30m.

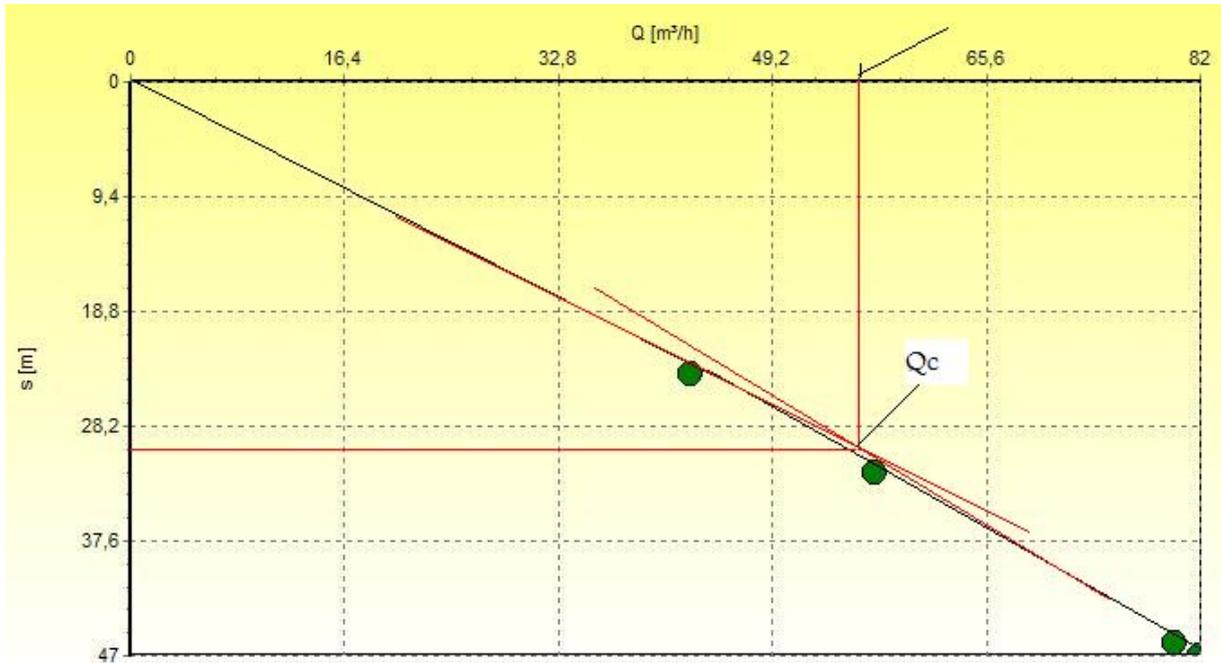


Fig. 31 courbe caractéristique de forage F3 NV Bouinane

IV.4 Forage F4 N. V Bouinane

IV.4.1 Caractéristique du Forage

Ce forage à une profondeur totale de 192m, a un niveau statique de 60 m, ainsi qu'un niveau dynamique de 108 m.

Ce forage aux coordonnées Lambert suivantes.

X=523.484 km

Y=362.543 km

Z=52.5 m

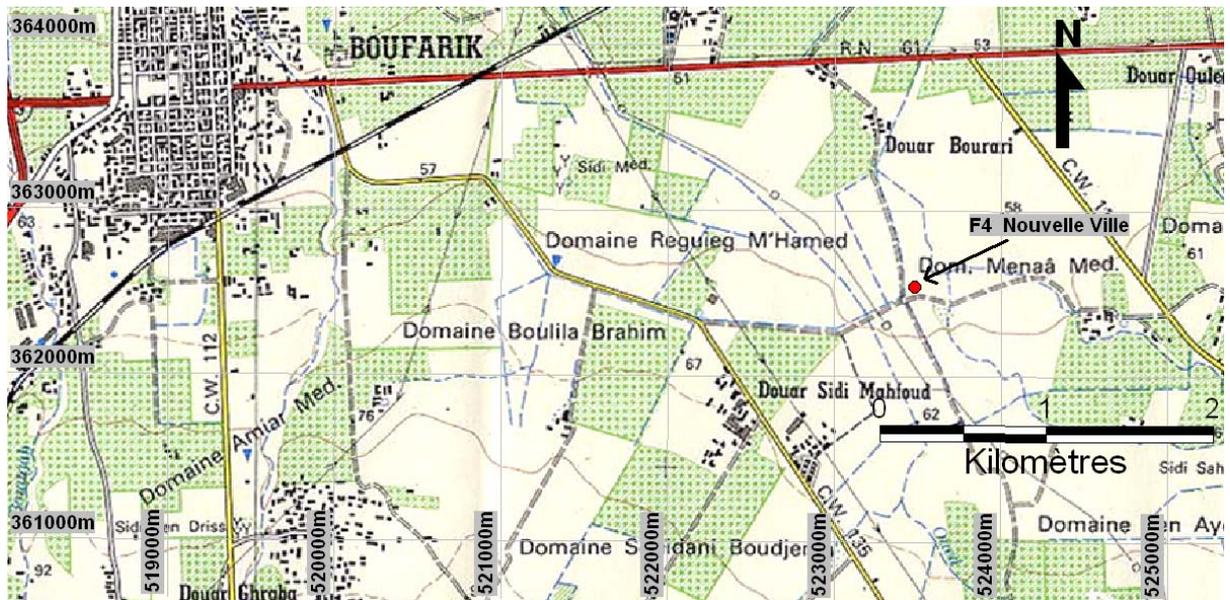


Fig.32 Situation géographique du Forage F4 NV Bouinane

IV.4.2 Calcule des paramètres hydrodynamiques :

Tableau .13: Essai de débit par paliers.

Palier	Débits (m ³ /h)	ND(m)	Rabattement (m)	Débits spécifiques (m ³ /h/m)	Rabattement spécifiques (m/m ³ /h)
01	28.8	98	38	0.75	0.02
02	36	100.5	40.5	0.88	0.02
03	43.2	108	48	0.9	0.02

IV.4.2.1 Le tracé de la courbe de descente du forage d'eau (F₄):

Les résultats obtenus par l'expérimentation du pompage sont mentionnés donnés dans le tableau ci-dessous :

- Niveau statique : 60 m
- Niveau dynamique final : 108 m
- Rabattement final : 48 m
- Rayon du puits de pompage : 0,300 m
- Temps de pompage : 48 heures

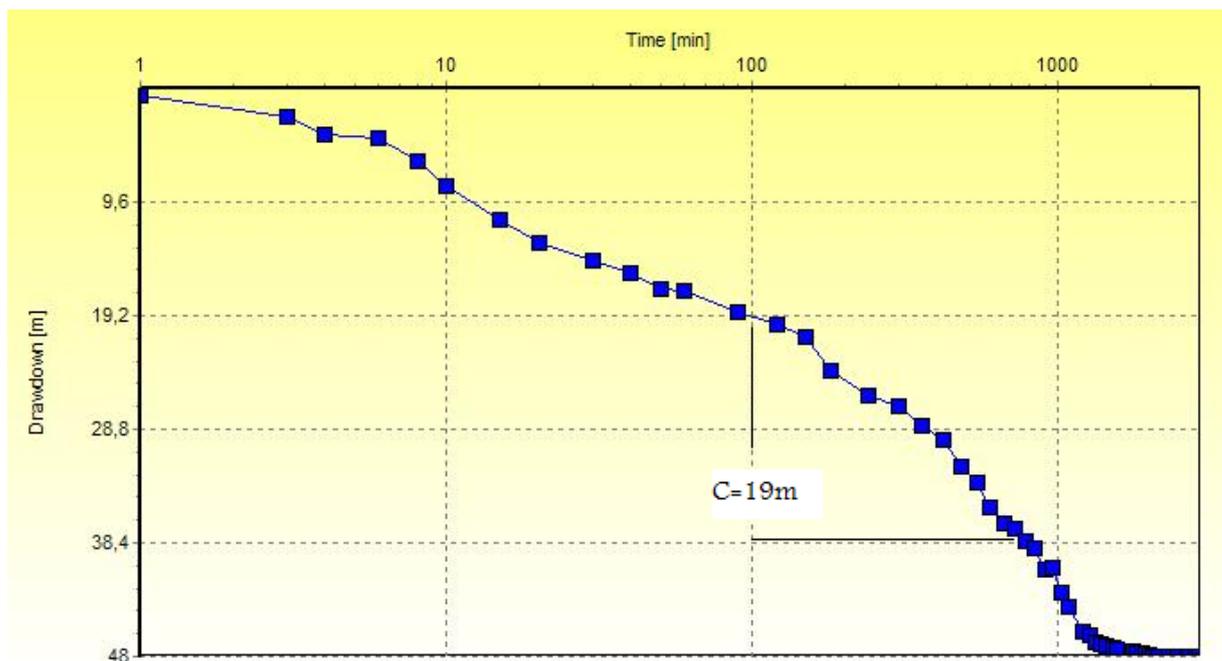


Fig. 33 courbe de la descente du forage F4 NV Bouinane

IV.4.2.2 Transmissivité :

La valeur de transmissivité est : $T = \frac{0.183 Q}{C}$ Ou C est :

$$C = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Log}t_2 - \text{Log}t_1} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Cycle logarithmique}} \quad \boxed{C=19\text{m}}$$

$$\boxed{T=0.11 \cdot 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}}$$

IV.4.2.3 Courbe de remontée du Forage F4 V.N

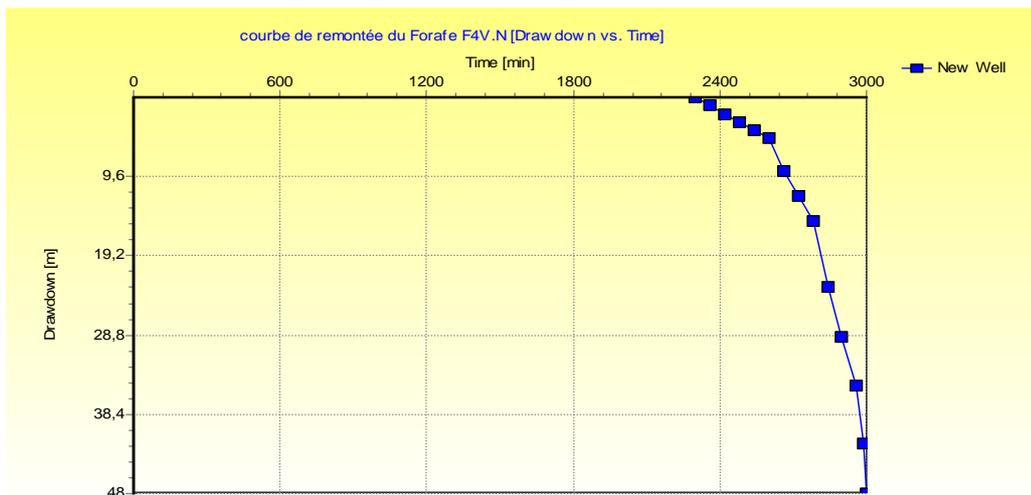


Fig.34 courbe de remontée du forage F4 NV Bouinane

IV.4.2.4 Courbe caractéristique de forage F4

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 35 m³/h correspondant à un rabattement maximum, Δ_{max} , 35m

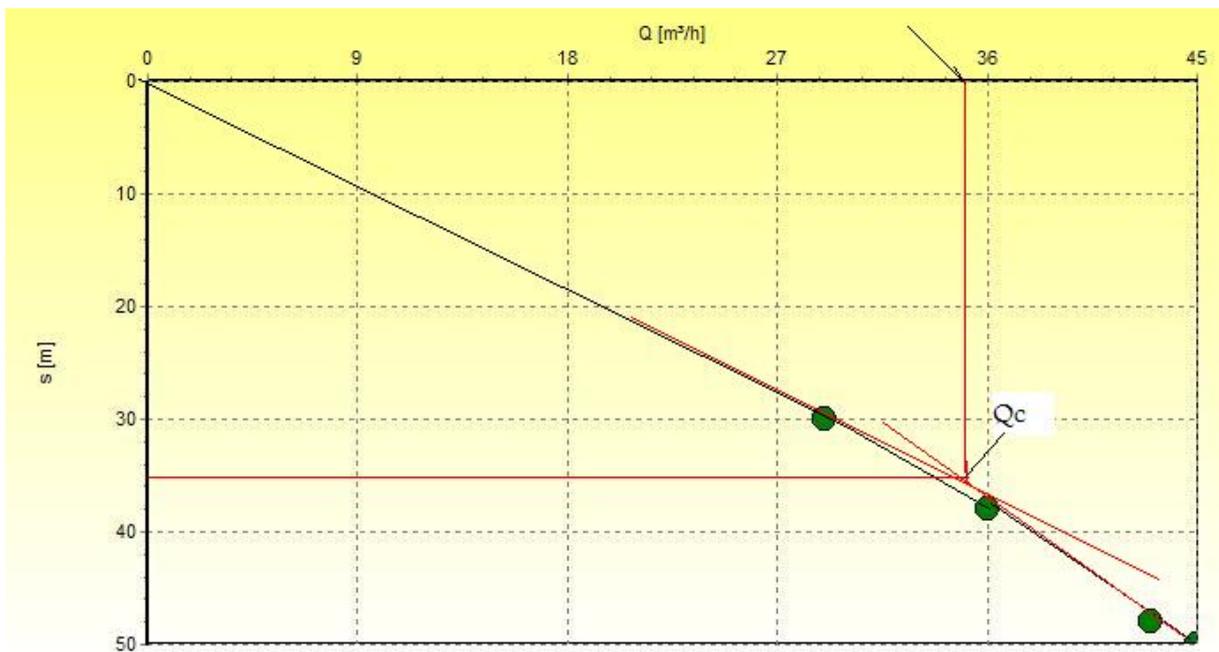


Fig.35 courbe caractéristique du forage F4 NV Bouinane

IV.5. Forage F2Ville Nouvelle :

IV.5.1.Caractéristique du forage :

Ce forage à une profondeur totale de 188m, a un niveau statique de 57 m, ainsi qu'un niveau dynamique de m.

Ce forage aux coordonnées Lambert suivantes.

X=523.131km

Y=362.416km

Z= 56 m

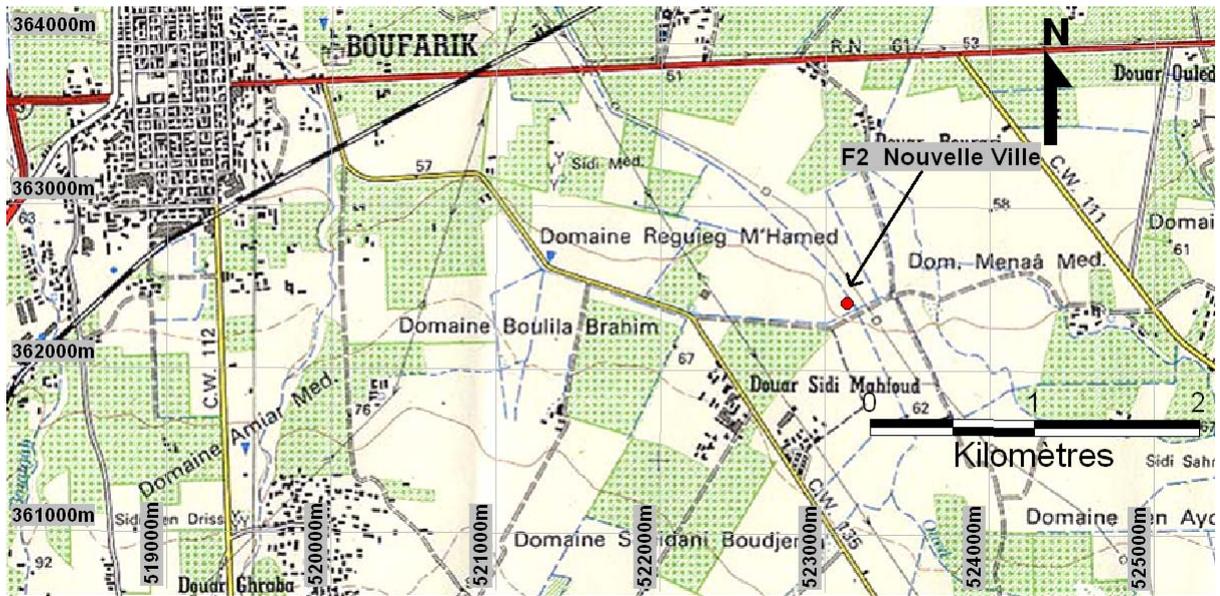


Fig. 36 Situation géographique du forage F2 NV Bouinane

IV.5.2 Calcul des paramètres hydrodynamiques :

Les essais par palier ont donné les résultats suivants :

Tableau.14 : Essai de débit par paliers.

Palier	Débits (m ³ /h)	ND(m)	Rabatement (m)	Débits spécifiques (m ³ /h/m)	Rabatement spécifiques (m/m ³ /h)
01	36	71	16	2.25	0.44
02	54	74	19	2.84	0.35
03	75.6	84	29	2.60	0.38

IV.5.2.1 Le tracé de la courbe de descente du forage (F2):

Les résultats obtenus par l'expérimentation du pompage sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

- Niveau statique : 57 m
- Niveau dynamique final : 84 m
- Rabatement final : 27 m
- Rayon du puits de pompage : 0,300 m
- Temps de pompage : 48 heures

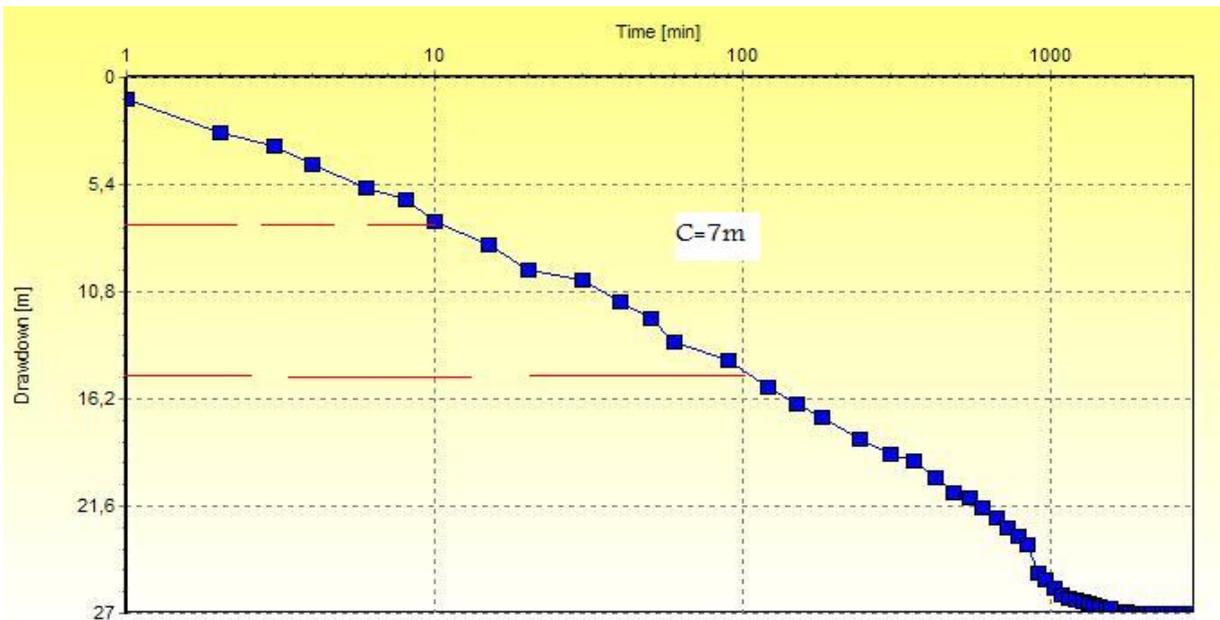


Fig.37 Courbe de descente du forage F2 NV Bouinane

IV.5.2.2 Transmissivité :

La valeur de transmissivité est : $T = \frac{0.183 Q}{C}$

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

C=7m

$$T = 0.54 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

IV.5.2.3 Courbe de remontée du Forage F2 V.N

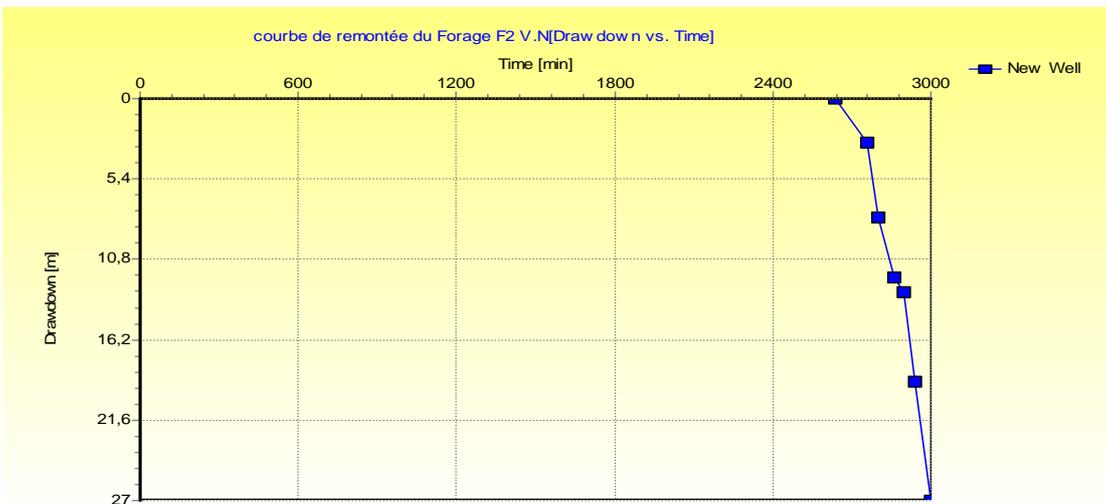


Fig.38 courbe de remontée du forage F2 NV Bouinane

IV.5.2.4 Courbe caractéristique de forage F2 V.N

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 $54 \text{ m}^3/\text{h}$ correspondant à un rabattement maximum, Δ_{max} , 15m

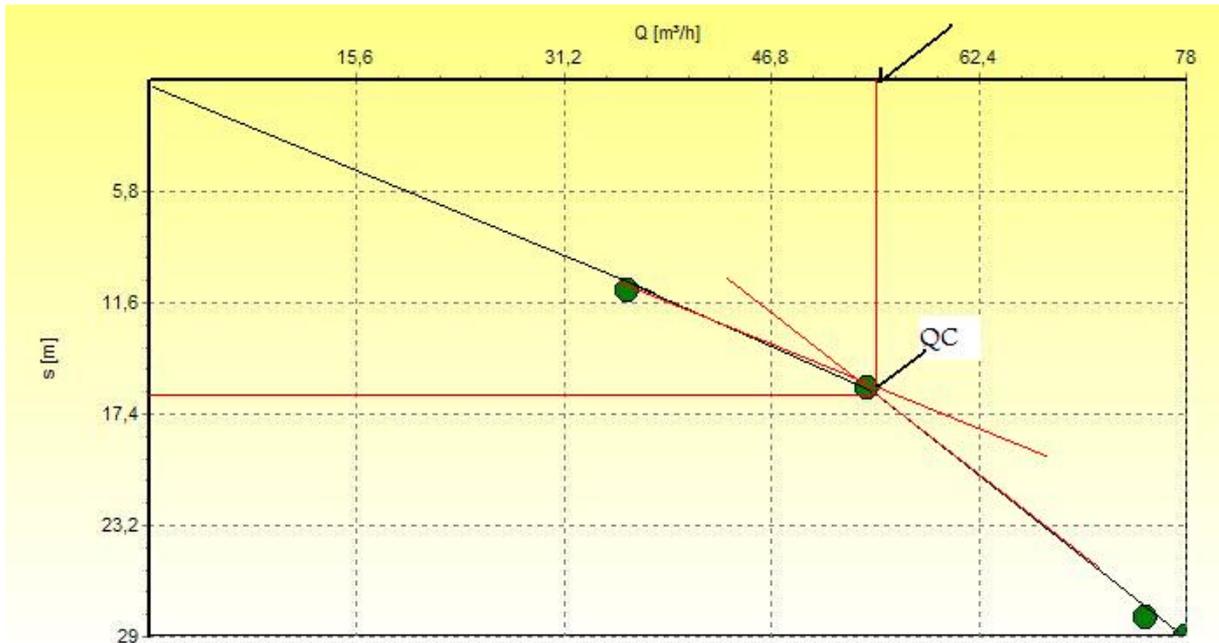


Fig. 39 Courbe caractéristique du forage F2 NV Bouinane

IV.6 Conclusion :

Suite à la forte hétérogénéité des alluvions aquifères, la nappe de la Mitidja peut être divisée en zones à transmissivité faible et autres à Transmissivité élevée. Les zones les plus transmissives sont situées dans l'axe centrale de l'aquifère.

Les zones de faible transmissivité sont situées généralement au sud de la nappe, en raison de la réduction de l'épaisseur et du caractère argileux de ses alluvions.

IV.7. Perméabilité :

Pour calculer la perméabilité nous avons utilisé la formule suivante : $T=K.b$

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

Avec :

K : Perméabilité (m/s)

T : transmissivité (m^2/S)

b : épaisseur de l'aquifère (m)

Dans le tableau ci-dessous montre les valeurs de la perméabilité de chaque Forage :

Tableau.15 les valeurs de la perméabilité

Nom Forage	Epaisseur(m)	T (m/s)	K (m/s)
F1 Ville Nouvelle	35	$0.44 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-5}$
F2 V.N	35	$0.54 \cdot 10^{-3}$	$1.54 \cdot 10^{-5}$
F3V.N	35	$0.33 \cdot 10^{-3}$	$0.9 \cdot 10^{-5}$
F4V.N	30	$0.11 \cdot 10^{-3}$	$0.27 \cdot 10^{-5}$

La nappe du Mitidja est localisée au sein des alluvionnaires de quaternaire, constitués par une alternance de formation perméables composées de galets, graviers et sables et de formation argilo marneuses quasi-imperméables. Et dont l'ensemble repose sur un Substratum imperméable de faciès essentiellement argileux et marneux villafranchien d'oued El Harrach.

IV.8. Gradient hydraulique :

Le gradient hydraulique est déterminé à partir de la carte de la carte piézométrique au niveau de chaque forage en appliquant la relation suivante

$$i = \frac{H_1 - H_2}{L_2 - L_1} = \frac{\Delta H}{\Delta L}$$

ΔH = différence de charge piézométrique exprimée en (m)

ΔL =distance horizontale séparent deux courbes iso pièzes exprime en (m)

Le tableau ci-dessous montre les valeurs de gradient hydraulique de chaque Forage :

Tableau.16 les valeurs des gradients hydrauliques

Nom du Forage	Gradient hydraulique(m)
F1 V.N	0.005
F 2 V.N	0.005
F 3 V.N	0.005
F 4 V.N	0.005

IV.9. Vitesse d'écoulement des eaux souterraines :

La vitesse d'écoulement des eaux souterraines est déterminée à partir de la formule suivante(Darcy) :

$$V=Ki$$

Avec :

V : Vitesse d'écoulement des eaux souterraines (m/j)

K : Perméabilité (m/s)

i=gradient hydraulique

Dans le tableau ci-dessous nous avons consigne les valeurs de vitesse d'écoulement des eaux souterraines des Forages :

Tableau .17 : Les valeurs des vitesses d'écoulement

Nom du forage	Perméabilité	Gradient hydraulique	Vitesse d'écoulement
F1 V.N	$1,25 \cdot 10^{-5}$	0.005	$6.25 \cdot 10^{-8}$
F2V.N	$1.54 \cdot 10^{-5}$	0.005	$7.7 \cdot 10^{-8}$
F3V.N	$0.9 \cdot 10^{-5}$	0.005	$4.5 \cdot 10^{-5}$
F4V.N	$0.27 \cdot 10^{-5}$	0.005	$1.35 \cdot 10^{-5}$

IV.10 Conclusion :

L'étude hydrodynamique montre que la nappe alluviale du quaternaire constitue un bon réservoir aquifère, pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et bousions industrielles.

IV.11. Qualité chimique des eaux

IV.11.1.Introduction

La composition lithologique du sous-sol influence de manière significative la qualité de l'eau souterraine. En outre, celle-ci dépend également de l'origine de l'eau et de son temps de séjour dans les couches aquifères. Globalement, on peut affirmer que la composition des eaux souterraines en un lieu donné et à un moment donné dépend des apports extérieurs (dépôts atmosphériques, excédent des précipitations, infiltration des eaux de surface), de la nature des zones non saturée et saturée (géochimie), du chemin parcouru par l'eau, du temps de séjour et des variations dans la vitesse d'écoulement ..

IV.11.2.Caractérisation générale des eaux souterraines

Les paramètres physico-chimiques constituent une base de données indispensable à l'évaluation de la qualité de l'eau naturelle.

L'objet de cette étude hydrochimique est d'avoir une idée sur la qualité et les concentrations des eaux souterraines (forages F3, F4) en divers éléments chimiques.

Cette approche est basée sur l'analyse des échantillons prélevés lors des essais de pompage.

Les concentrations moyennes de chaque forage (F3 et F4), ont été résumé dans le tableau ci-dessous :

Tableau. 18 résultats des analyses physico chimique

Forage	Ca ⁺⁺ mg /l	Mg ⁺⁺ mg /l	Na ⁺ mg /l	K ⁺ mg /l	Cl ⁻ mg /l	SO ₄ [—] mg /l	HCO ₃ ⁻ mg /l	CO ₃ ⁻⁻ mg /l	OH mg /l	NO ₃ ⁻ mg /l	pH	CE μ/cm	Résidu Sec	TH °F	TAC °F
F3	27	31	76	1	106	24	214	0	0	39,0	7,9	974	609	19	18
F4	44	27	60	1	78	60	214	0	0	23,0	8,3	857	606	22	18

IV.11.3. Paramètres physiques

IV.11.3.1. Conductivité

La conductivité permet d'avoir une appréciation de la teneur en sels dissous ; elle constitue donc une estimation approchée de sa minéralisation. Les valeurs de la conductivité moyenne pour les forages F3 et F4 sont enregistrées durant la période d'étude est de 974 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 857 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Il est à déduire que l'eau des forages se caractérise par une bonne minéralisation.

IV.11.3.2. Température

La température de l'eau est un très bon descripteur du fonctionnement des écosystèmes souterrains, elle renseigne sur l'origine de l'eau et l'importance des apports superficiels

Elle dépend principalement de la situation géographique et du climat général, les variations thermiques du sol sont moins influencées par celles du climat local lorsque la profondeur du point de mesure est plus grande.

Les relevés thermiques effectués au niveau des forages étudiés ont montré une moyenne thermique : **21°C**

IV.11.3.3. pH

Le pH de l'eau conditionne les équilibres physico-chimiques, en particulier l'équilibre calco-carbonique. Il est alcalin dans les aquifères calcaires, il est acide dans les aquifères sableux.

Le potentiel Hydrogène (pH) au niveau du forage F3 est de 7.9 et de 8.3 pour F4, ce qui indique une faible alcalinité des eaux, valeurs incluses dans les normes internationales de pH acceptable de (6.5 à 8.5).

IV.11.3.4. Résidu sec

Le Résidu sec permet aussi d'évaluer d'une manière plus rapide la minéralisation des eaux de la nappe. Les valeurs obtenues sont 609mg/l pour le forage F3 et 606mg/l pour le forage F4. Ces valeurs expliquent la bonne minéralisation de l'eau.

IV.11.4. Paramètres chimiques

IV.11.4.1. Titre alcalimétrique complet (TAC) :

Le titre assimilé généralement à ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{--}$) exprimé en °F, les eaux ne contiennent pratiquement pas de carbonates mais les bicarbonates.

Le TAC est de l'ordre de 18°F (ce qui correspond à 180 mg/l de CaCO_3) et qui est inférieure à la norme (50°F) et que ces eaux peuvent être considérées comme une eau **dure**.

IV.11.4.2. La dureté totale (TH)

La dureté totale ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques. Dans la plupart des cas, elle est surtout liée aux ions Ca^{++} et Mg^{++} .

L'eau renferme des teneurs qui varient de 27 à 44 mg/l en Ca^{++} , de 38 à 43 mg/l en Mg^{++}

A partir des résultats, nous pouvons observer que la dureté totale ne dépasse pas la norme de 30°F (voir tableau n°19)

IV.11.4.3. Sodium et potassium

Le cation sodium (Na^+) est très abondant, on le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites). La roche Halite (évaporite Na Cl). Il est très soluble dans l'eau.

Le potassium (K^+) est assez abondant, mais peu fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombinaison dans les sols (sur les argiles notamment). Les sources principales de potassium sont les roches cristallines (mais dans des minéraux moins altérables que ceux qui contiennent du sodium), les évaporites (sylvinite KCl) et les argiles. Selon les normes de qualité des eaux destinées à la production d'eau potable qui exigent une 'valeur limite' de 200 mg /l de sodium et 12 mg /l de potassium les eaux des 2 forages répondent à cette valeur (de 76 mg/l à 60 mg/l Na^+ et 1 mg/l de K^+).

IV.11.4.4. Chlorures et sulfates

Selon les normes de qualité des eaux destinées à la production d'eau potable qui exigent une 'valeur limite' de 200 mg /l de sulfates, la valeur médiane se situe entre 24 mg/l et 60 mg/l. Ces concentrations sont assez faibles comparées à la norme de potabilité de 250 mg/l.

Les teneurs en ions Cl⁻ varient d'un forage à l'autre elles sont situées entre 78mg/l pour le forage F4 et 106 mg/l pour le forage F3. Selon les normes Algériennes de potabilité des eaux, qui exigent un maximum de 250 mg./ l, les eaux des forages sont dans les normes.

IV.11.4.5. Les Nitrates

Les niveaux naturels en Nitrates dans les eaux souterraines sont, en général, très faibles (typiquement moins de 10 mg/l NO₃⁻), mais les concentrations en Nitrates augmentent avec l'activité humaine, comme par exemple l'utilisation excessive d'engrais azotés chimiques dans l'agriculture, l'industrie, les effluents domestiques et les émissions de produits de combustions.

la valeur maximale admissible en cet élément a été fixée à **50** mg./l par la totalité des normes internationales.

Dans la zone d'étude les teneurs sont inférieures à la norme de potabilité, Les valeurs sont comprises entre 23 mg/et 39 mg/l

Cela révèle certainement que :

- les forages F3 et F4 sont situés loin de toute source de pollution.
- l'agriculture dans la zone d'étude n'est pas intensive.

IV.11.5. Classification des eaux souterraines :

IV.11.5.1. Selon STABLER

Les formules caractéristiques des eaux analysées sont obtenues à partir des quantités en réaction (r%) des différents ions.

Les faciès chimiques des eaux obtenus (tableau n°19) se rapportent à la famille des eaux Bicarbonatées sodiques pour les deux forages (F3, F4)

Tableau. 19 : classifications des eaux selon la formule de stabler

Faciès chimique	Formule caractéristique	Point d'eau
Bicarbonaté sodique	$rHCO_3^- > rCl^- > NO_3^- > rSO_4^{2-}$ $rNa^{++}, K^+ > rMg^{++} > rCa^{++}$	F3
Bicarbonaté sodique	$rHCO_3^- > rCl^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$ $rNa^{++}, K^+ > rMg^{++} > rCa^{++}$	F4

IV.11.5.2. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper est utilisé pour définir le faciès type des eaux. Il permet de présenter sur un même schéma un grand nombre d'analyses qui peuvent être comparées visuellement de façon simple. Les unités de mesure utilisées dans le diagramme Piper sont les % de meq /l.

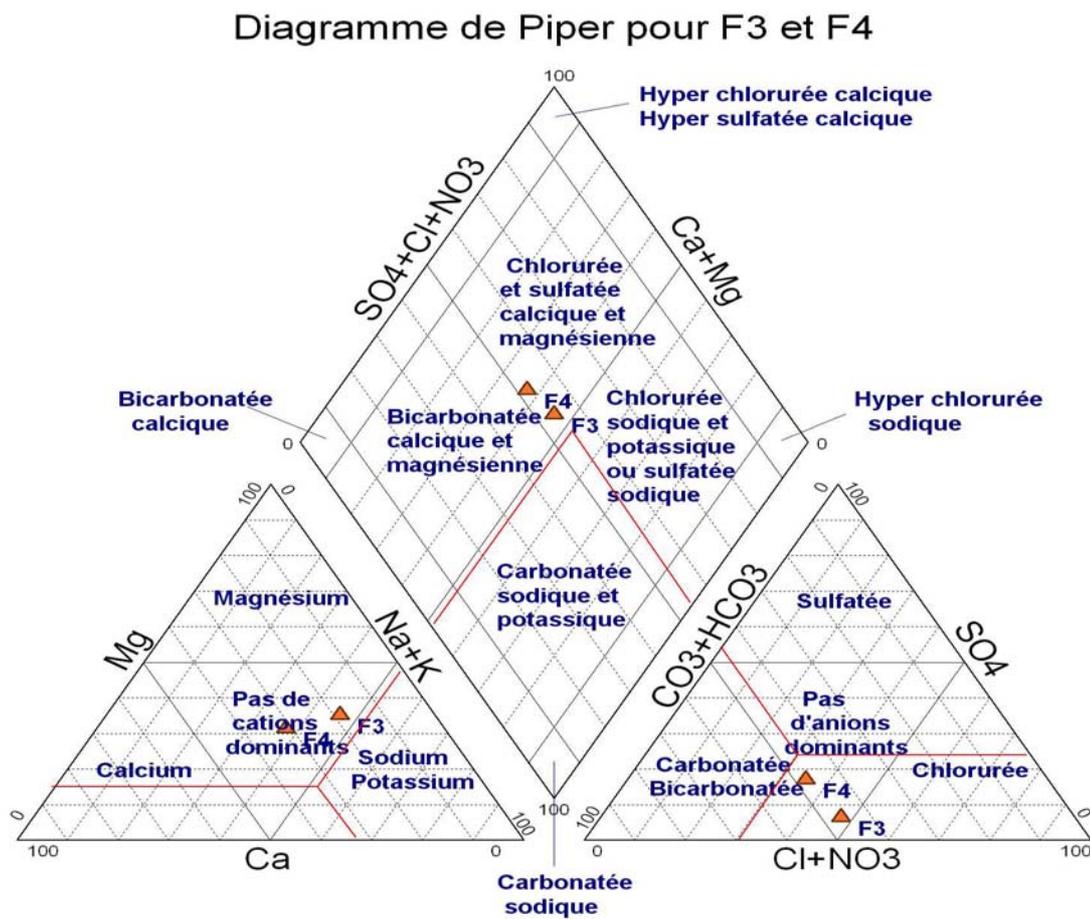


Fig. 40 Diagramme de piper

IV.11.5.3. Diagramme de Shoeller-Berkaloff

Le diagramme de Shoeller-Berkaloff ne permet pas de présenter un nombre important d'analyses, mais autorise une comparaison quantitative des analyses: l'unité utilisée n'est plus un rapport (r%) mais le mg/l ou le meq/l. Les échelles de valeur sont graduées dans les deux unités.

Les forages F3et F4 montrent une hausse uniquement sur les alcalins. Par contre, on note une baisse sensible sur les ions nitrate et sulfate. Cl⁻, Ca²⁺ et Mg²⁺ baissent également mais dans une moindre mesure. La minéralisation naturelle des eaux est de type **Bicarbonaté Sodique**

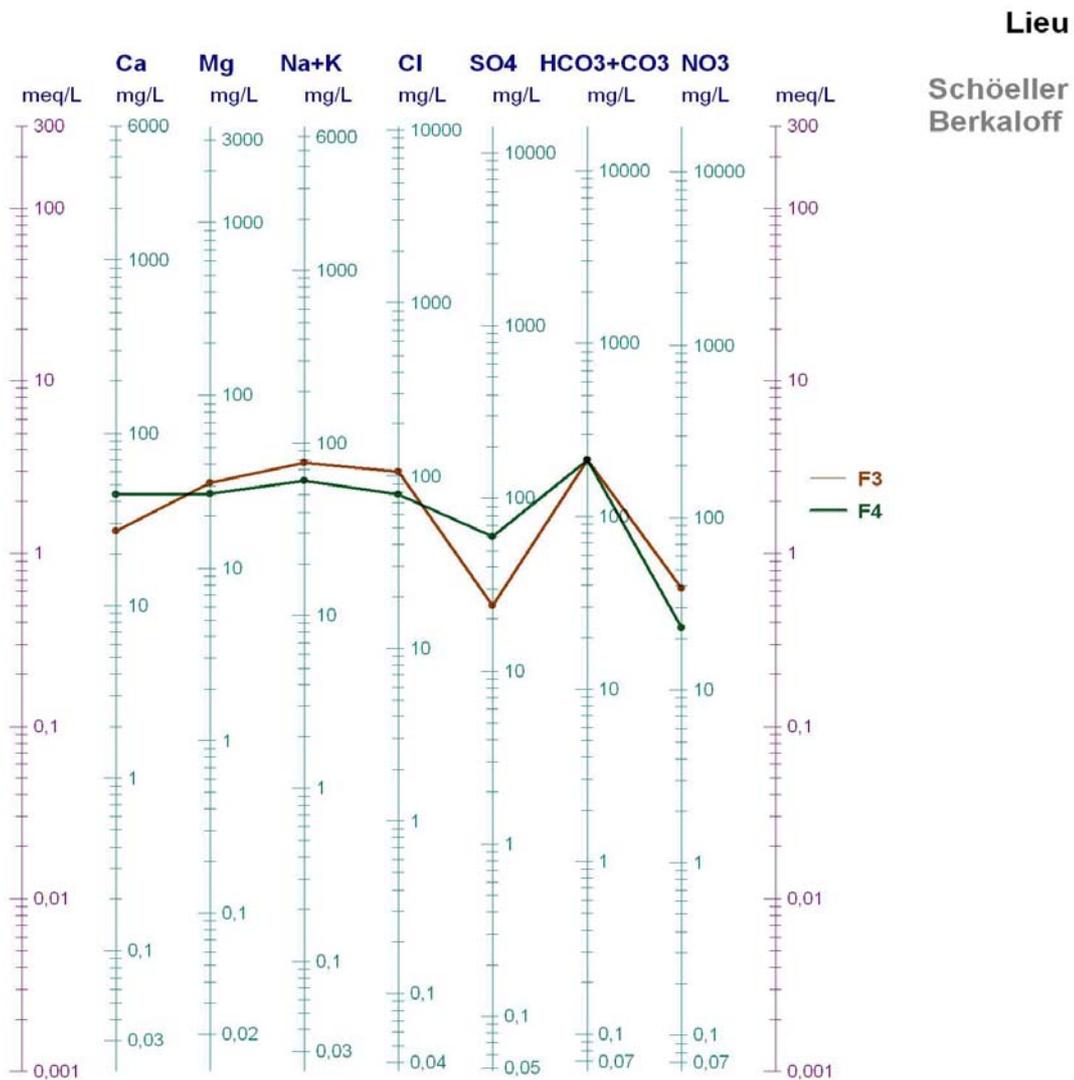


Fig . 41 diagramme de Schoeller Berkaloff

IV.11.6.Conclusion

Les analyses physico-chimiques des eaux des forages F3 et F4, ont servi à l'évaluation de la qualité de l'eau souterraine de la zone étudiée.

Les résultats des analyses physico chimique montrent une bonne aptitude, des eaux étudiées pour la production d'eau potable. Se caractérisent par une importante minéralisation, les teneurs des paramètres étudiés des échantillons analysés sont toujours inférieures aux valeurs maximales admissibles et par conséquent sont conformes aux normes Algériennes et aux recommandations de l'OMS.

CHAPITRE V
DIMENSIONNEMENT DES
PÉRIMÈTRES DE
PROTECTION

V.1 Vulnérabilité à la pollution

La vulnérabilité caractérise l'aptitude d'un point d'eau à être atteint par une pollution, quelconque. Il est fonction des facteurs du milieu qui déterminent les grands types de circulation d'eau et de l'occupation du sol.

Ainsi, la vulnérabilité se définit comme la sensibilité d'un territoire à un aléa.

L'étude de vulnérabilité aux pollutions constitue une base d'information essentielle pour la gestion de l'aquifère et par conséquent la mise en place des mesures destinées à la prévention des pollutions accidentelles.

C'est à cet effet que les hydrogéologues ont inventé le système de périmètre de protection pour protéger les points de prélèvement ou champs de captage (Forage, puits, sources) pour la protection.

D'après l'étude de l'ANRH qui a été réalisée par le bureau d'étude SOGHREAH, notre zone d'étude est située dans une zone moyennement vulnérable.

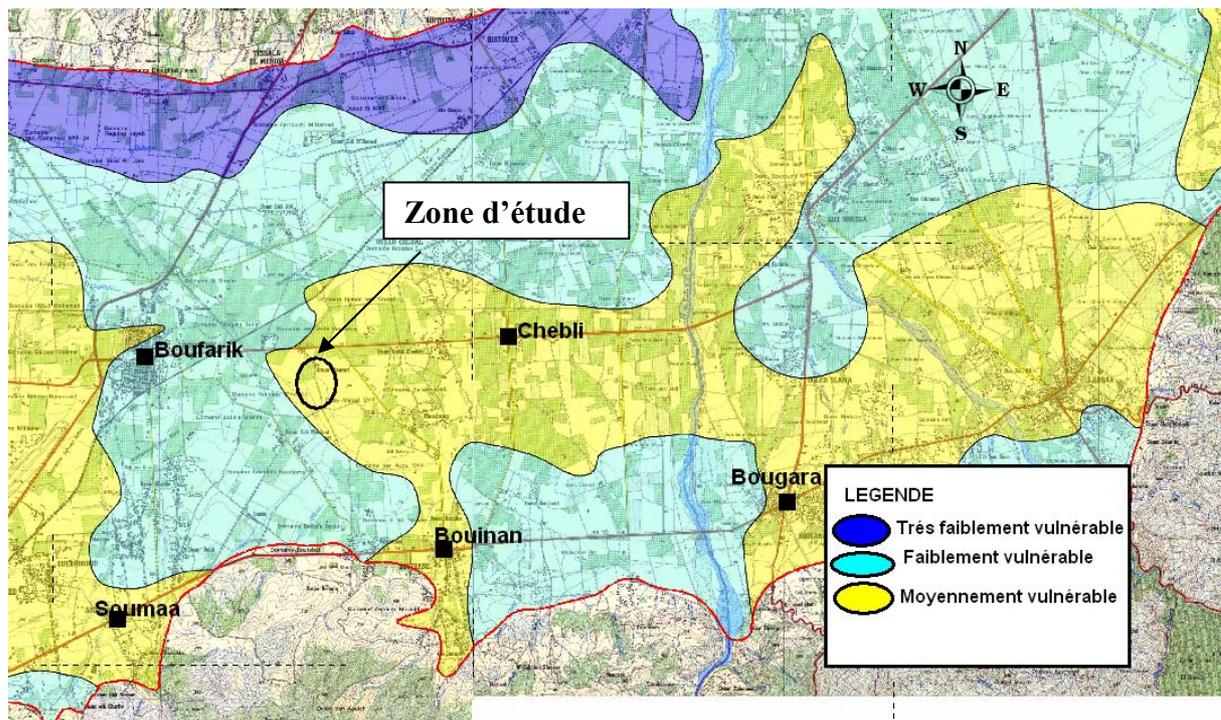


Fig.42 carte de la vulnérabilité de la nappe de la Mitidja à la pollution (ANRH)

V.2 la Pollution

On dit qu'une eau souterraine est considérée comme polluée, lorsqu'elle contient des substances autres que celles liées à la structure naturelle des terrains ou elle a séjourné, et en particulier, lorsque les concentrations des éléments dissous ou en suspension dépassant la concentration maximale admissible fixée par l'OMS. Durant ces dernières années, la nappe alluviale de la Mitidja a été affectée par trois types de pollution

- 1) La pollution agricole : l'utilisation irrationnelle des engrais chimiques et des pesticides
- 2) la pollution industrielle : elle a été définie par les rejets d'eau industrielle non traitées.
- 3) la pollution d'origine domestiques et urbaine : ce sont les rejets d'eau usées domestique et municipaux sans traitement.

Le principal risque de pollution de la nappe a été identifié par les nitrates. La présence de nitrates est produite par l'infiltration des eaux chargées en azote apporté en excès aux cultures maraichères et aux agrumes qui sont les principaux produits utilisés dans la région.

Néanmoins les teneurs en nitrates dans les eaux souterraines prélevées durant les essais de pompage indiquent des valeurs inférieures à 50mg/l, donc les concentrations sont admissibles. D'autre part, il est à signaler l'absence totale d'activité industrielle dans notre zone d'étude, cela est un paramètre avantageux pour la préservation de la nappe.

V.3 Méthode utilisée pour le dimensionnement des zones de protection

V.3.1 Critères de détermination des zones de protection

Les méthodes analytiques utilisent les mêmes critères retenus par la réglementation internationale actuelle, pour délimiter les zones de protection. Les valeurs attribuées aux critères représentent des limites au-dessus ou au-dessous desquelles les critères considérés pour fournir le degré de protection souhaité.

Les critères pris en compte sont :

- ❖ Pouvoir protecteur ou épurateur du recouvrement.
- ❖ Rabattement.
- ❖ Temps de transfert.

- ❖ Distance.
- ❖ Limites d'écoulement.

Le choix d'un de critères dépendra à la fois de considération techniques et de considération socio-économiques et réglementaires. Le but à atteindre peut être :

Soit la délimitation d'une zone à travers laquelle la concentration du polluant sera atténué avant d'atteindre le captage, dans ce cas, on choisit le pouvoir épurateur du sol et de la zone non saturée selon (Andrée L-B et Jean-Claude R 1989)

Soit la délimitation d'une zone permettant un temps d'intervention suffisant en cas de pollution, pour que le captage ne soit pas contaminé. Dans ce cas, le critère choisi sera le temps de transfert.

Dans le cas d'une pollution qui se produisant à la surface du sol, le temps de transfert inclut le temps de migration verticale dans la zone non saturée puis le temps de migration horizontale dans la nappe vers le captage.

On choisit le rabattement, dans le cas l'aménagement d'une zone de protection autour d'un champ de captant sur une grande partie de zone d'appel.

Soit la détermination d'un rayon ou d'une distance mesurée entre le point de pompage et un point concerné, dans ce cas le critère choisi sera la distance

Soit la protection de toute l'aire d'alimentation du captage, on utilise dans ce cas les limites d'écoulement

V.4. Temps de transfert

Le temps de transfert est un critère basé sur le temps qu'il faut à un polluant pour se déplacer du point d'entrée dans la nappe jusqu'à l'arrivée au captage, il faut également tenir compte du transfert en zone non saturée. Ce critère inclut plus de processus physique que les autres critères, il comprend en effet la convection, la dispersion et l'interaction solide-soluté. La convection est le facteur prédominant pour les champs captant ou les vitesses d'écoulement sont élevées, dans les nappes à vitesses faibles, la dispersion est les particules de substances polluantes n'arrivent pas simultanément au point d'eau.

V.4.1 Détermination des temps de transfert par calcul

Différentes méthodes consistent à calculer la distance correspondant à un temps de transfert, dans notre pays, ce temps est choisi égal à 50 jours, comme critère de délimitation du périmètre de protection rapproché ; c'est le temps minimal nécessaire à l'élimination d'une pollution bactériologique, et permettant un délai d'intervention suffisant en cas de pollution chimique

accidentelle. Il est déterminé soit par (technique de HOFMANN et LILLICH. Technique de WYSSLING ou bien celle de EPA) soit par des abaques (mises au point par (SAUTY & THIERY).

. Méthodes de calcul de l'isochrone 50 j :

La méthode SAUTY et THIERY :

La méthode SAUTY et THIERY Présente un moyen pratique pour la détermination Des courbes d'égal temps de transfert. Dans le cas d'une nappe en équilibre hydrostatique (avant pompage) ainsi que pour une nappe en écoulement uniforme dans un aquifère (soumis À un pompage à un débit constant).

Les données nécessaires :

Q = débit (m³/S)

t= temps de transfert (S)

r=distance au puits du point considéré en(m)

b=épaisseur aquifère(m)

n=porosité cinématique

$$t = \frac{\pi r^2 b n}{Q} \dots\dots\dots 1$$

L'isochrone est donc constituée par cercle de rayon

$$R = \sqrt{\frac{Qt}{\pi b n}} \dots\dots\dots 2$$

Avec Q (m³/h) et t (jours) on a

$$r = 2.764 \sqrt{\frac{Qt}{bn}} \dots\dots\dots 3$$

1) par application de la formule :

t=50joure

La porosité efficace est estimée à 15%

Tableau :

Tableau.20: calcul d'isochrones 50 jours.

NOM DU FORAGE	Débit (m³/h).j	Epaisseur(m)	Distance r(m)
F1V.N	1814.4	35	256.91
F2V.N	1900	35	250.18
F3 V.N	1814.4	35	256.91
F4 V.N	1036.8	30	194.21

V.5 Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines

Un périmètre de protection est un espace délimité physiquement (clôture, cercle de pierres...) afin de sauvegarder et protéger l'accès à Un espace qui présente un intérêt esthétique ou patrimonial, ou bien une dangerosité certaine. Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines sont définis comme autant un outil idéal pour aviser et réduire toute cause de pollution susceptible de nuire à la qualité des eaux destinées à l'alimentation en eau potable. La mise en place des périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation et la surveillance des prescriptions associées, améliore la sécurité sanitaire en Réduisant le risque de pollution microbienne ou toxique massive et brutale en contrôlant les activités susceptibles de générer des pollutions accidentelles pouvant avoir un impact sur la qualité des eaux. La notion des périmètres de protection est largement traitée dans la littérature internationale. Au niveau national, l'articlr38de la loi n° 05-12du28jouda Etania1426 correspondant au 04aout2005, susvisé, et selon les nécessité de prévention des risques de pollution, la protection qualitative des ressources en eau est assuré par trois types de protection des ressources en eau (forages, champs captant, barrages, sources, etc.) : la zone de protection immédiate ; la zone de protection rapprochée et la zone de protection éloignée.

V.6. Les différents types de périmètres de protection :**V.6.1 Evolution de la législation :****Décrète :**

Article 1^{er}-En application des dispositions de l'article 40 de la loi n° 05-12 du 28 jourmada ethania 1426 correspondant au 4 août 2005, le présent décret a pour objet de fixer les conditions des périmètres de protection qualitative des ressources en eau, la nomenclature des périmètres de protection requis pour chaque type d'ouvrage ou de stockage d'eau, ainsi que les mesures de réglementation d'activités dans chaque périmètre de protection qualitative.

Art.2-

Conformément à la disposition de l'article précédemment, et selon les nécessités de prévention des risques de pollution, la protection qualitative des ressources en eau est assurée par trois types de périmètres de protection :

Périmètre de protection immédiate (P.P.I):

Le périmètre de protection immédiate qui a pour but d'empêcher l'introduction directe de substances polluantes dans l'eau.

Périmètre de protection rapprochée (P.P.R) :

Le périmètre de protection rapproché qui a pour but d'empêcher la dégradation de la qualité de l'eau par migration souterraine ou superficielle de substances dangereuses, toxiques ou indésirables à partir des lieux d'émission de pollution, son étendue le lieu d'émission de la pollution et le point de prélèvement de la ressource en eau.

Périmètre de protection éloignée (P.P.E) :

Le périmètre de protection éloigné qui a pour but de prolonger le périmètre de protection rapproché pour renforcer la protection contre les risques de pollution chroniques, diffuses ou accidentelles, son étendue périmètre de protection rapproché à la limite du bassin versant pour les eaux superficielles ou du bassin d'alimentation pour les nappes d'eau souterraine.

Les schémas ci-dessous représentent les périmètres de protection :

1. Périmètre de protection immédiate
2. Périmètre de protection rapprochée
3. Périmètre de protection éloignée

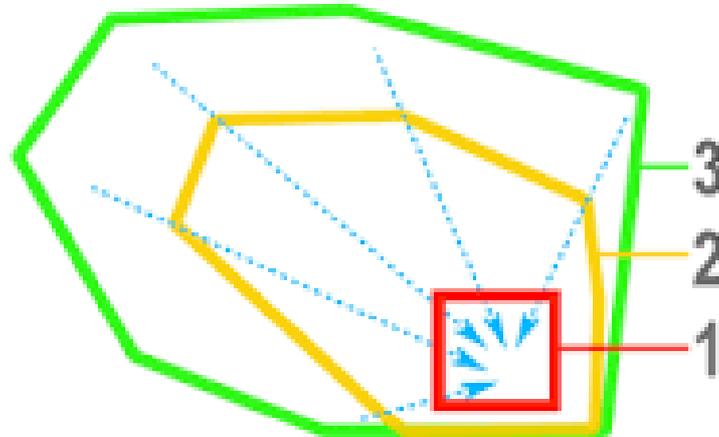


Fig. 43: Schéma représentatif des périmètres de protection :

Art.3,-conformément aux dispositions législatives en la matière, font l'objet, d'une protection qualitative par l'établissement de périmètres de immédiate, rapprochée éloignée.

-les captages de sources, les Forages et les puits de mobilisation des eaux superficielles.

Art, 4-la protection qualitative autour des parties vulnérables des nappes d'eau souterraine ou des oueds est assurée exclusivement par l'établissement d'un périmètre de protection rapproché et d'un périmètre de protection éloignée

Art, 10-une proposition de déterminer des périmètres de protection rapproché éloignée établie en fonction du temps de propagation de la pollution.

V.7. Objectif de la Protection du champ captant de la N.V de Bouinane :

Dans un champ de captage les eaux souterraines sont menacées par les différents types de pollution engendrés par les diverses activités que connaît la région. A cet effet, il est nécessaire de prendre des mesures adéquates afin de réduire le risque de contamination de ces ressources. Ce qui rend la construction des périmètres de protection une priorité.

V.7.1 Zone de protection immédiate

La zone de protection immédiate varie entre 10 à 20 m autour du captage.

En ce qui concerne les puits du champ captant du V.N Bouinane la zone de protection immédiate présentera un carré de 15m de côté.

V.7.2 Zone de protection rapprochée

Pour la délimitation du périmètre de protection rapproché, il faut calculer dans un premier temps la zone d'appel du captage, puis à chercher la distance correspondant au temps de transfert souhaité, dans la direction d'écoulement cette méthode demande un pompage d'essais et certaines données : porosité efficace, perméabilité, épaisseur de l'aquifère, gradient hydraulique.

Formule de Wyssling

Les données utilisées sont les suivantes :

b = épaisseur de l'aquifère en m

K = perméabilité en m /s

I = gradient hydraulique en m

w = porosité efficace

Q = débit du puits m^3/S

Dans un premier temps on détermine la zone d'appel par le calcul. Dans une nappe libre, si B est la largeur du front d'appel.

On a :

$Q = kBi$ $B = Q/kbi$ en mètres

Le rayon d'appel : **$X_0 = Q/2\pi Kbi$**

La largeur du front d'appel à hauteur du captage : **$B' = B/2 = Q/2Kbi$**

D'autre part la vitesse effective U est égale

$U = Ki / W$

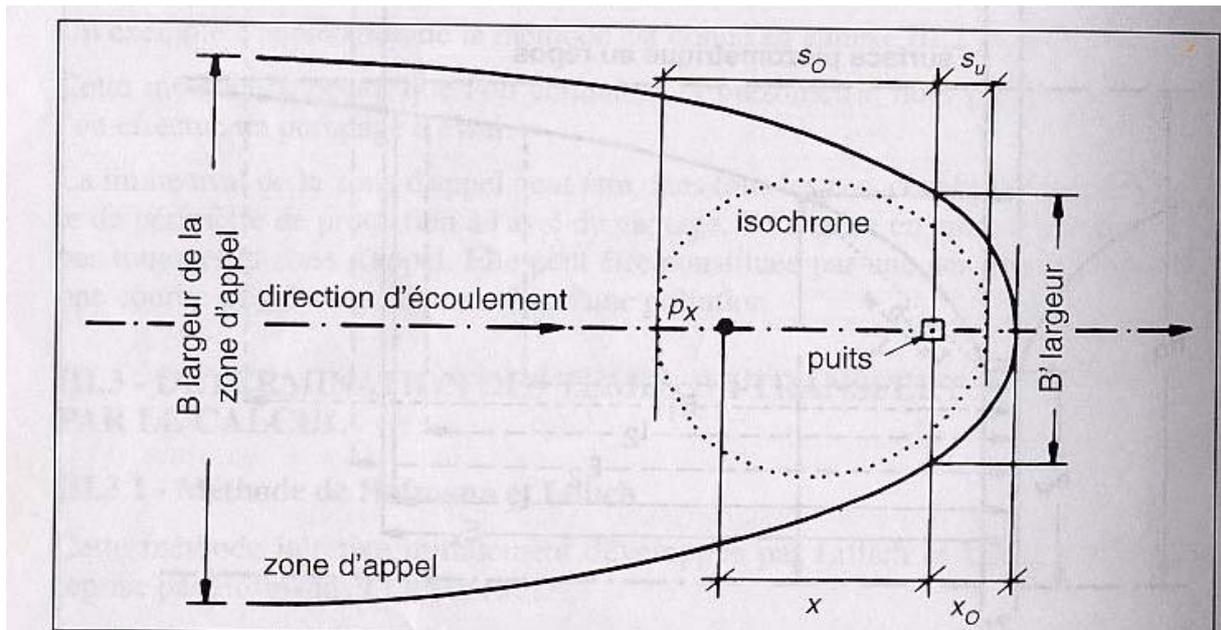


Fig. 44 Détermination des isochrones (méthode de wissling)

Tableau ci-dessous montre les valeurs de rayon d'appel, La largeur du front d'appel et isochrone de 50 jours de chaque Forage.

Tableau. 21 valeurs des rayons d'appel

Nom du Forage	Zone d'appel (m)	Rayon d'appel(m)	Largeur du front d'appel	Isochrone 50 jours
F1	1459	9523	4761.5	256.91
F2	1459	9523	4761.5	250.15
F3	1459	9523	4761.5	256.91
F4	875.91	5714	2858.5	194.21

V.8 Conclusion

Le Forage F2 est localisé à l'amont décrit une forte perméabilité et un fort gradient hydraulique par rapport aux autres forages, ainsi qu'un faible Coefficient d'emménagement. C'est pour cette raison qu'il présente l'isochrone le plus élevé avec une valeur de l'ordre 256.91 m, Le Forage F4 situé en aval, présente une faible perméabilité, définit l'isochrone le plus faible au niveau du champ captant ville nouvelle (Bouinane).

La délimitation du périmètre de protection rapproché basée dans ce cas sur le calcul de l'isochrone de 50 jours obtenues par le modèle de transfert de pollution. La délimitation de la zone du périmètre de protection est très importante, parce que toute pollution intervenant dans cette zone aboutira au champ de captage,

CONCLUSION

GÉNÉRALE

Conclusion générale

Conclusion générale

La Mitidja est une riche plaine d'Algérie du nord que ce soit par des terres fertiles ou bien par ses ressources en eau souterraines qui sont très importantes.

La région étudiée est située dans la partie centrale de la Mitidja. L'étude hydro climatologique montre que le secteur de Amroussa, Bouinan est caractérisé par un climat régional méditerranéen très froid en hivers, et chaud en été la station pluviométrique de l'Arbaa enregistrées annuellement une moyenne de 637 mm période (1980, 2014) de pluie,

L'étude géologique montre que la plaine correspond à un bassin de subsidence continue renfermant le remplissage Plioquaternaire, le massif de l'atlas Blidéen composé d'un socle métamorphique d'âge crétacé, le massif d'Alger entouré par des dépôts sédimentaires d'âge plio-quaternaire et le Sahel. Ces deux constituants sont limités en leur partie méridionale par le bassin de la Mitidja. Plus au Sud les reliefs de l'Atlas Blidéen, limitent la Mitidja

L'étude géophysique réalisée par la CGG(1967) a permis d'illustrer la géométrie des aquifères (les alluvions du quaternaire et l'astien gréseux) les marnes et les argiles bleues du Miocène et du Palisancien jouent le rôle de substratum.

Par ailleurs, La plaine de la Mitidja a un potentiel très important de ressources en eaux, elle est constituée de deux aquifères séparés par des formations marneuses imperméables dites les marnes d'El-Harrach L'aquifère Astien est présente un faciès gréseux. L'aquifère du Quaternaire, qui a une surface libre, est formé par des alluvions récentes et anciennes. C'est l'aquifère le plus exploité. Après l'étude hydrogéologique ; ont mis en évidence deux grands réservoirs aquifères.

Les travaux de creusement de la réalisation des forages ont été exécutés par plusieurs étapes de fonçages (forage de reconnaissances, l'enregistrement du diagraphe électrique, l'alésage, réalésage, mise en place de tubage, l'injection du gravier additionnel, développement à l'air lift, traitement chimiques et essais de pompages)

Pour la détermination des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère de la Mitidja, au niveau de champs de captage d'eaux souterraines, un pompage d'essais de longue durée a été effectué et a permis de déterminer la transmissivité, Les vitesses sont très différentes selon la direction considérée.

Les analyses chimiques effectuées montrent que l'eau est de bonnes qualités chimiques et conformes aux normes de l'OMS.

Conclusion générale

Les périmètres de protection immédiate est environs de 10m², la délimitation des périmètres de protection rapproché sont établis en se basant sur le calcule des zones d'appel des captages et en calculant la distance correspondant à une tempe de transfert d'une pollution égal à 50 jours, nous avons considéré comme étant le périmètre de protection rapproché, pour une protection maximale soit environ 250m autour de chaque forage.

Recommandations

Recommandations

Le développement socio-économique et démographique est rapide dans la zone d'étude, la demande en eau ne cesse de plus en plus de s'accroître, donc il est le temps, de mettre en pratique une politique claire basée sur une étude approfondie afin de préserver cette ressources vital qui permettra d'avoir une eau de qualité chimique acceptable et une quantité suffisante.

À cet effet, plusieurs recommandations ont été établies à savoir :

- 1) A l'intérieur de périmètre de protection immédiate, toutes les activités autres que celles liées à l'exploitions du captage sont interdits.
- 2) A l'intérieur de périmètre de protection rapprochée, tous les dépôts, utilisations et activités de nature à nuire directement en terme de qualité à l'eau au à la rendre impropre à la consommation, de cela l'autorisation ne doit être attribuée sans l'accord préalable des services concernées.
- 3) L'autorisation pour les nouveaux forages ne doit être attribuée sans l'accord préalable de la commission composée des déférentes directions, (direction de ressources en eau (D.R.E), direction de l'agriculture (D.S.A). Agence nationale des ressources en eau (A.N.R.H))
- 4) La réalisation d'une station d'épuration pour la zone d'étude pour le traitement du flux d'effluent urbain.
- 5) Extension du réseau d'assainissement aux zones non assainie.
- 6) Implanter les périmètres de protection du champ de captage, qui sont destinés à la (A.E.P) de la nouvelle ville, les périmètres établis par notre étude peuvent être pris en compte.
- 7) Dans le but de préserver les ressources en eau souterraines, il est préconisé l'alimentation en eau potable de la nouvelle ville de Bouinane à partir de champ du captage de chebli, afin d'éviter le rabattement critique de la nappe phréatique.
- 8) Procéder une étude de la réalimentation de la nappe phréatique à partir de la recharge artificielle qui visé l'augmentation des volumes d'eau souterraine disponible.

ANNEXES

Annexe

Annexe n° 01 la piézométrie de la plaine de la Mitidja

N° Carte / Point	Nature	x	y	z	mai-15
W021-193	puits	555700	382600	17,653	30,73
W021-417	puits	558620	379,920	37,030	9,15
W021-890	forage	549200	383,070	14,880	24,4
W021-892	puits	556500	384,350	10,040	18,20
W021-893	forage	547900	382,900	14,040	19,2
W021-894	puits	557900	384670	2,320	11,79
W021-PZ 2 HZ	piezometre	550550	380450	27,347	36,30
W041/PZ 18-MZ I	piézometre	513100	369600	17,421	44
W041/PZ 23-MZ I	piézometre	509750	368750	16,947	43,9
W041/PZ 25-MZ I	piézometre	511600	370800	16,561	46
W041/PZ 18-MZ II	piézometre	504800	361500	48,054	53,1
W041/PZ 6-BL I	piézometre	511850	361900	66,700	51
W041/PZ 7-BL I	piézometre	510050	361450	62,300	54,58
W041/PZ 8-BL I	piézometre	512050	360200	71,700	59,8
W041/PZ1 O,alleug	piézometre	507250	365800	21,308	41,5
W041/PZ3 Ben khelil	piézometre	512350	366250	15,988	5,15
W041/PZ6 Tessala,M	piézometre	519500	369500	35,467	46,45
W042-439	puits	545950	368500	65,030	3,85
W042-450	puits	550650	370750	78,480	4,42
W042-688	puits	553650	374620	48,880	8,90
W041/PZ 50	piézometre	529867	360486	86,726	64,75
W041/PZ7 Tabainet	piézometre	532375	359550	99,49	35,5
W042-997	forage	539200	373500	30,700	33,55
W042-1000	forage	534770	361500	106,530	37,50
W042-1010	forage	534900	367700	45,910	45
W042-f4 Oed Adda	forage	538460	373920	27,000	18,33
W042/PZ4 Eucalyptus	piezometre	540550	369600	51,199	46,25
W042/PZ9 Baraki	piezometre	533800	371750	79,247	31,20
W042/PZ10 Sidi moussa	piezometre	534900	369250	45,244	40,03
W062-332	puits	496120	352200	100,000	13
W062-333	forage	493720	353500	86,950	39
W062-334	forage	493250	359700	59,420	23,5
W062-335	forage	491200	355640	72,850	39,4
W062/PZ 2 El affroun	piézometre	493300	359500	64,519	29,2
W063-594	puits	503950	352600	93,210	17,8
W063/PZ 1-BL II	piézometre	504150	355700	78,031	23,8
W063/PZ 2-BL II	piézometre	504400	356500	83,707	30,9
W063/PZ 3-BL II	piézometre	503500	356950	65,490	30,05
W063/PZ CHIFFA	piézometre	505700	351300	112,809	21,2
W063/PZ 7Zaouia	piézometre	509500	358600	126,743	84,2
W063/PZ 8 Guérouaou	piézometre	516400	357800	153,749	52,55
W041/PZ6 Baba Ali	Piezometre	531461	369043	27,4	37,8

Annexe

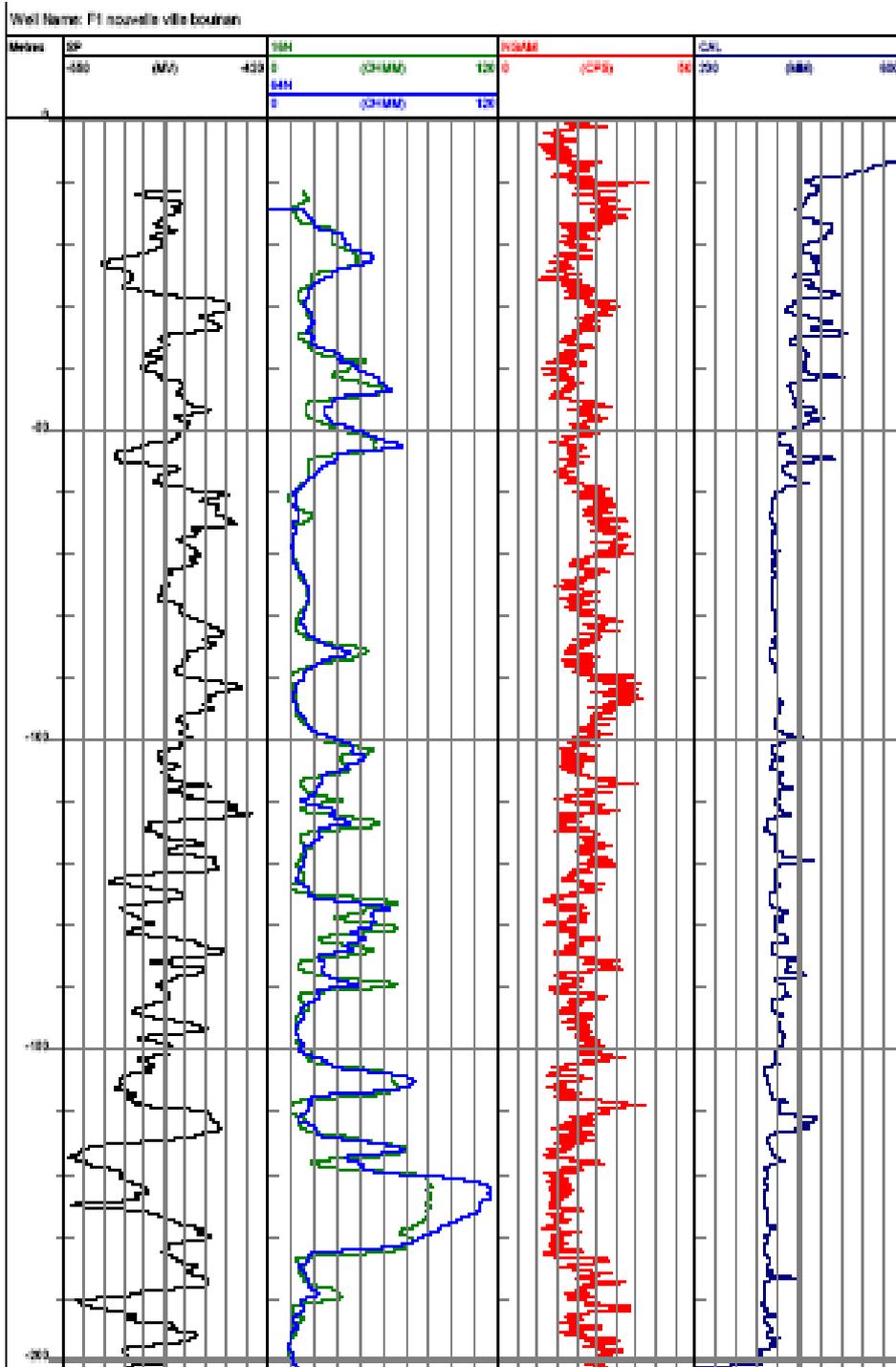
Annexe n° 02 Précipitation annuelle 1980 2014

	Baraki	Douar Kakli	l'arbaa
1980	629,3	622,5	718,6
1981	581	672,8	586,3
1982	284,8	512,8	538,5
1983	492,6	567,2	632,6
1984	755,1	883,6	959,5
1985	576,4	642,9	749
1986	740,6	741,7	850,2
1987	548,2	513,7	508,1
1988	541,7	646,6	473,7
1989	335,6	418,4	201,1
1990	463	558,6	471,4
1991	585,4	827,9	810,2
1992	533,3	590,1	580,3
1993	512,4	557,6	605,6
1994	707,3	687,3	797,8
1995	701,9	708,8	766,1
1996	396,2	274,8	397,9
1997	703,5	732	851,3
1998	581,3	600	561,9
1999	470,3	426,4	451,3
2000	430,7	428,4	447,5
2001	401,5	344,6	405,8
2002	648,7	954,3	898,1
2003	671,7	678,8	797,5
2004	610,6	574	644,5
2005	596,9	645,9	607,1
2006	558,1	626,6	782,8
2007	674,3	546,8	685,9
2008	619,8	572,5	714,4
2009	541,9	490,4	689,3
2010	857,2	762	613,1
2011	878,2	828,7	620,9
2012	733,5	852,3	641,8
2013	561	781,6	625,2
2014	575,7	726,4	588,6

Annexe

Annexe 03

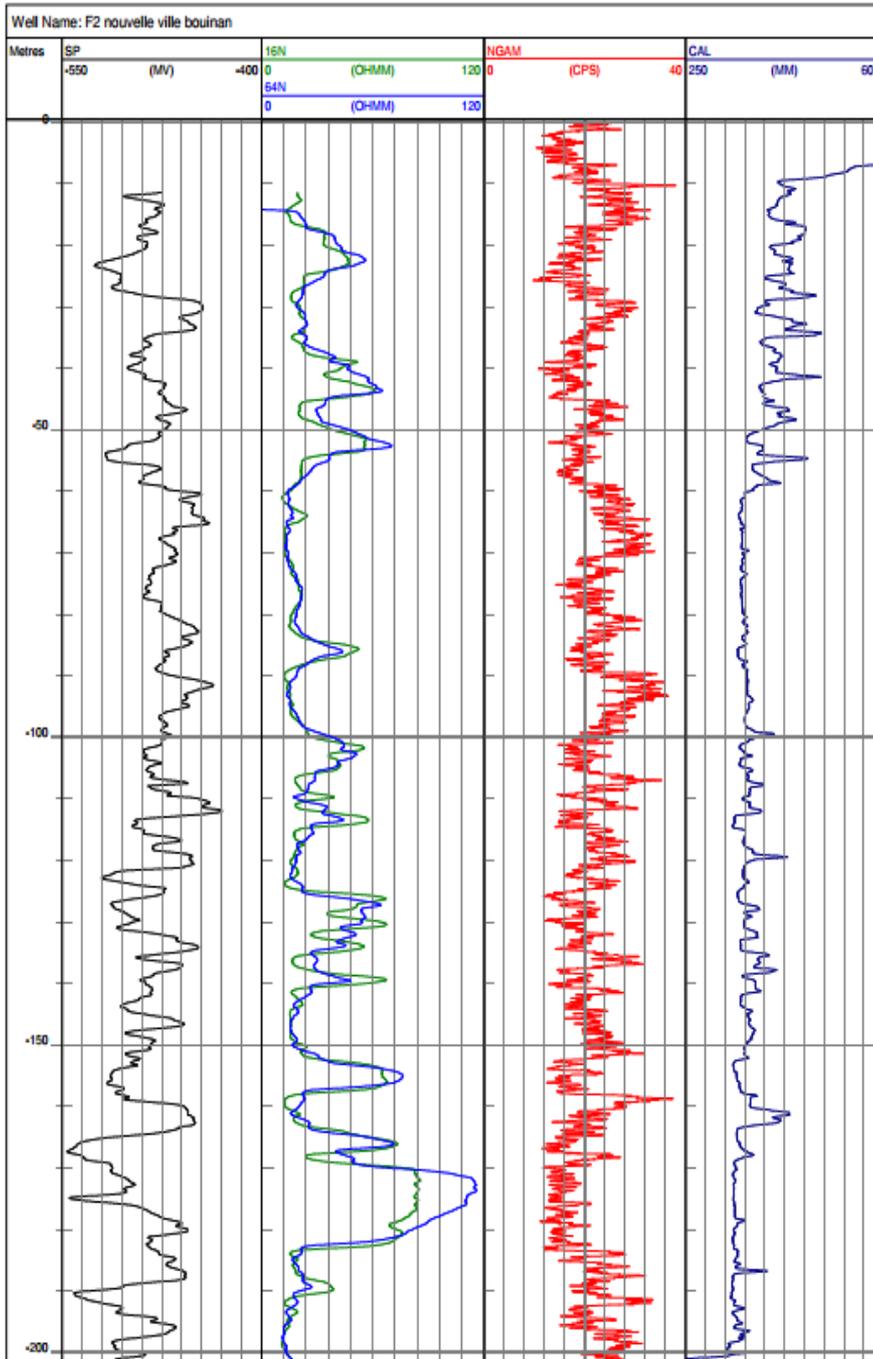
Enregistrement de la diagraphie électrique du forage F1



Annexe

Annexe 04

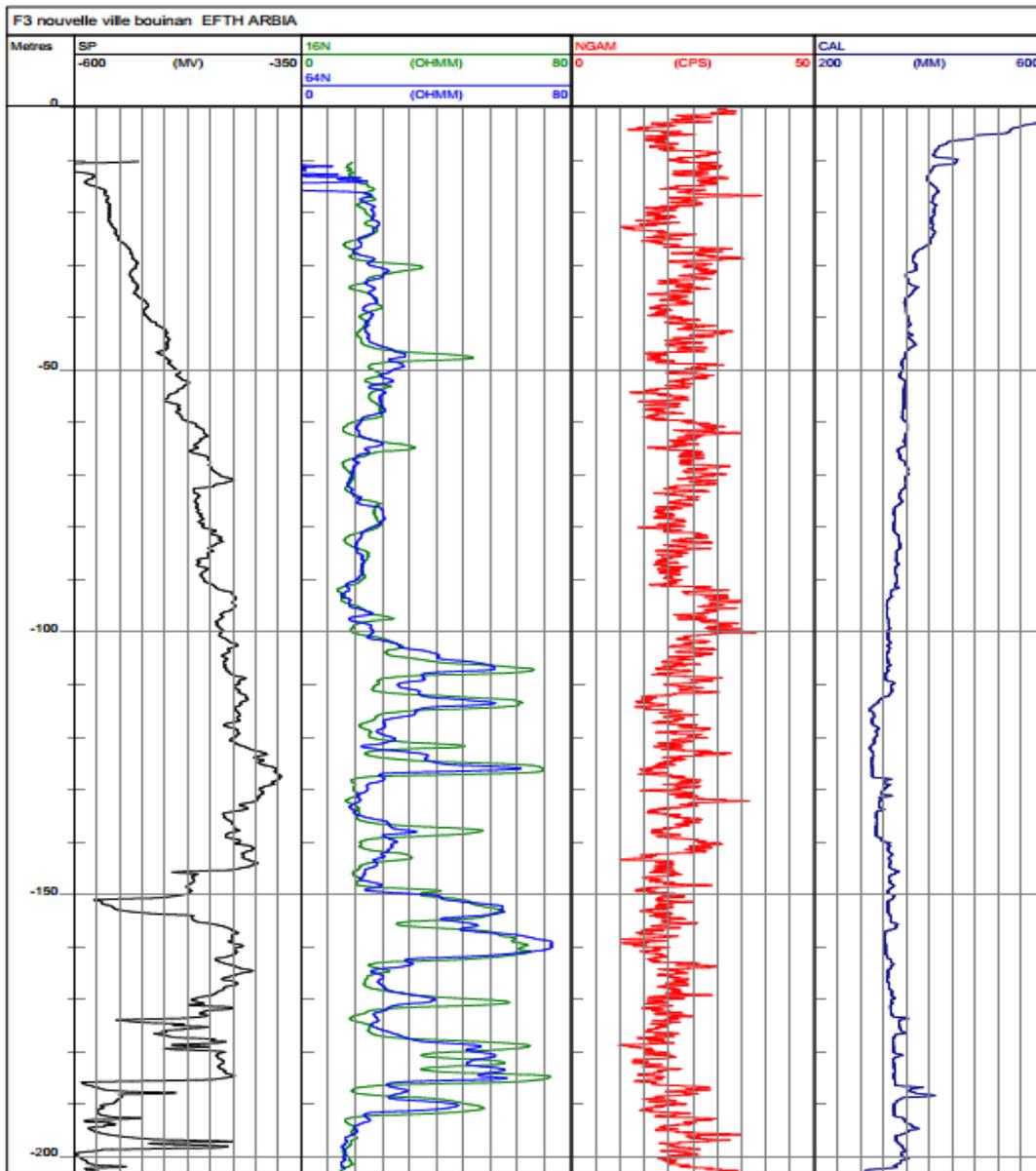
Enregistrement de la diagraphie électrique du forage F2



Annexe

Annexe 05

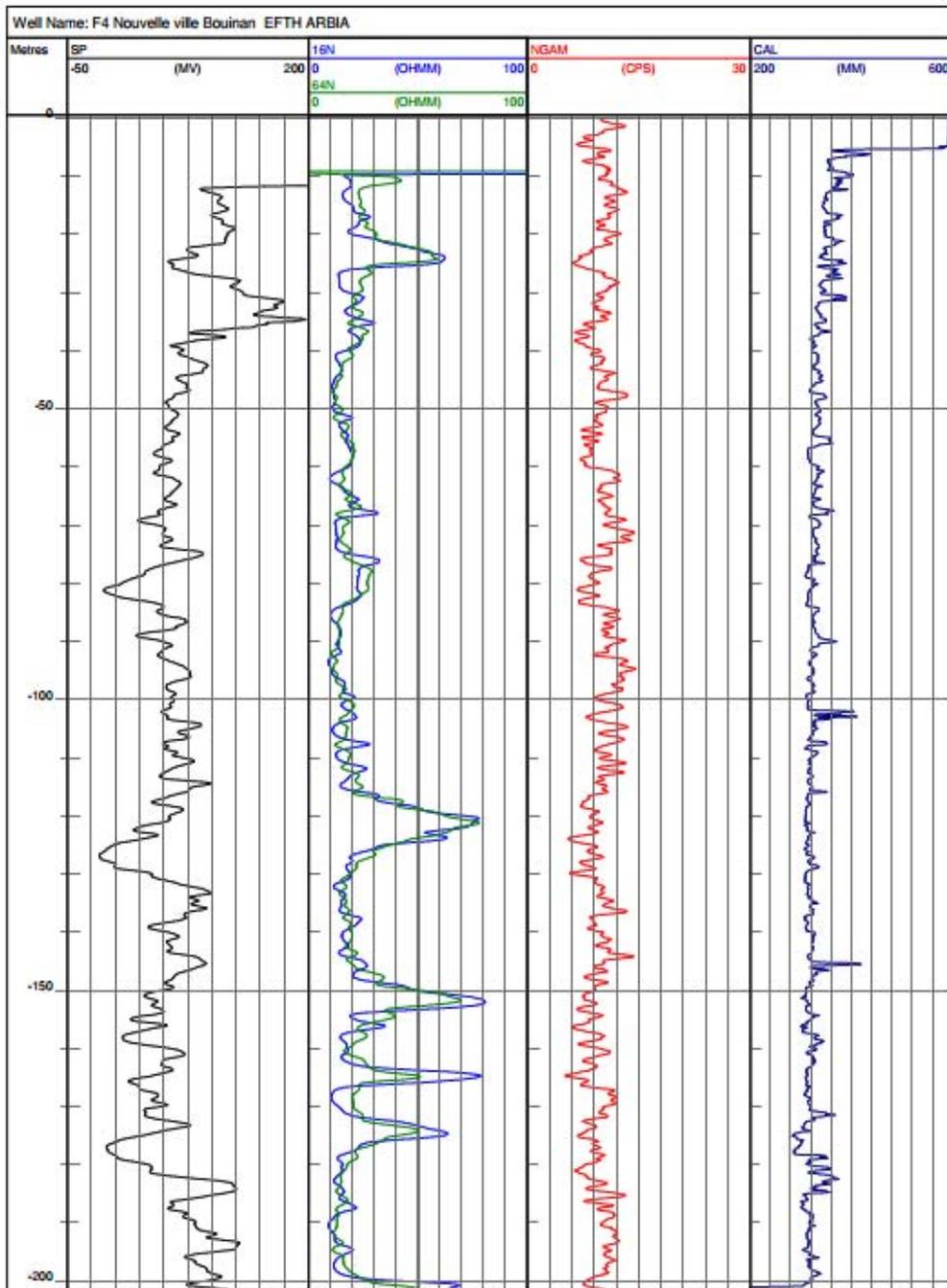
Enregistrement de la diagraphie électrique du forage F3



Annexe

Annexe 05

Enregistrement de la diagraphie électrique du forage F4



Annexe

Annexe .6.Données du pompage d'essai de longue durée (la descente) Forage F1 .V.N

Date : 23au 25/03/2016. Source (D.R.E).Blida, Débit constant : 22l/s

Temps (mn)	ND (m)	Rabattement (m)	Temps (mn)	ND (m)	Rabattement (m)
0	45,00	0	1740	95,20	50,2
1	47,60	2,6	1800	96,20	51,2
2	48,90	3,9	1860	96,98	51,98
3	50,15	5,15	1920	97,23	52,23
4	52,20	7,2	1980	97,64	52,64
6	53,60	8,6	2040	98,12	53,12
8	54,40	9,4	2100	98,36	53,36
10	55,20	10,2	2280	98,85	53,85
15	56,30	11,3	2460	98,93	53,93
20	57,10	12,1	2640	99,00	54
30	58,30	13,3	2820	99,00	54
40	59,00	14	2880	99,00	54
50	60,30	15,3	La remontée de la nappe		
60	61,23	16,23	2885	91,10	45.1
90	62,10	17,1	2890	83,40	38.4
120	63,30	18,3	2896	75,20	30.2
150	64,20	19,2	2905	65,30	20.3
180	65,40	20,4	2915	60,20	15.2
240	66,15	21,15	2921	58,30	7.3
300	67,10	22,1	2950	52.30	4.25
360	68,98	23,98	2973	49.25	3.23
420	69,45	24,45	2982	46,23	1.23
480	71,24	26,24	3000	45.00	0
540	73,23	28,23	/	/	
600	75,68	30,68	/	/	
660	76,47	31,47	/	/	
720	78,75	33,75	/	/	
780	79,25	34,25	/	/	
840	80,23	35,23	/	/	
900	81,89	36,89	/	/	
960	82,25	37,25	/	/	
1020	83,63	38,63	/	/	
1080	84,40	39,4	/	/	
1140	85,15	40,15	/	/	
1200	86,95	41,95	/	/	
1260	87,22	42,22	/	/	
1320	88,68	43,68	/	/	
1380	89,12	44,12	/	/	
1440	90.45	45.45	/	/	
1500	91,00	46	/	/	
1560	92,45	47,45	/	/	

Annexe

exe 6 Données du pompage d'essai de longue durée (la descente) Forage F2 . V.N

Date : 19 au 21/12/2016. Source (D.R.E).Blida . Débit constant : 21l/s

Temps (mn)	ND (m)	Rabattement (m)	Temps (mn)	ND (m)	Rabattement (m)
0	57	0	1740	83,91	26,91
1	58,10	1,1	1800	83,97	26,97
2	59,75	2,75	1860	83,99	26,99
3	60,45	3,45	1920	84,00	27
4	61,35	4,35	1980	84,00	27
6	62,55	5,55	2040	84,00	27
8	63,20	6,2	2100	84,00	27
10	64,23	7,23	2280	84,00	27
15	65,47	8,47	2460	84,00	27
20	66,72	9,72	2640	84,00	27
30	67,25	10,25	2820	84,00	27
40	68,32	11,32	2880	84,00	27
50	69,14	12,14	La remontée de la nappe		
60	70,35	13,35	2885	78,20	21,2
90	71,25	14,25	2890	74,50	17,5
120	72,61	15,61	2905	70,30	13,3
150	73,47	16,47	2920	69,20	12,2
180	74,10	17,1	2950	66,40	9,4
240	75,22	18,22	2980	63,80	6,8
300	76,00	19	3010	59,30	2,3
360	76,33	19,33	3070	58,10	1,1
420	77,14	20,14	3100	57,40	0,4
480	77,95	20,95	3160	57,12	0,12
540	78,20	21,2	3180	57,00	0
600	78,65	21,65	/	/	
660	79,22	22,22	/	/	
720	79,66	22,66	/	/	
780	80,10	23,1	/	/	
840	80,55	23,55	/	/	
900	81,95	24,95	/	/	
960	82,33	25,33	/	/	
1020	82,73	25,73	/	/	
1080	83,11	26,11	/	/	
1140	83,25	26,25	/	/	
1200	83,33	26,33	/	/	
1260	83,42	26,42	/	/	
1320	83,51	26,51	/	/	
1380	83,59	26,59	/	/	
1440	83,65	26,65	/	/	
1500	83,72	26,72	/	/	
1560	83,78	26,78	/	/	

Annexe

Annexe .7. Données du pompage d'essai de longue durée (la descente) Forage F3.V.N

Date : 20 au 22/07/2016. Source (D.R.E). Blida . Débit constant : 22l/s

Temps (mn)	ND (m)	Rabattement (m)	Temps (mn)	ND (m)	Rabattement (m)
0	55	0	1740	100,85	45,85
1	55,45	0,45	1800	100,92	45,92
2	56,23	1,23	1860	100,97	45,97
3	57,32	2,32	1920	100,99	45,99
4	58,45	3,45	1980	101	46
6	59,62	4,62	2040	101	46
8	60,34	5,34	2100	101	46
10	61,56	6,56	2280	101	46
15	62,23	7,23	2460	101	46
20	63,45	8,45	2640	101	46
30	65,24	10,24	2820	101	46
40	67,47	12,47	2880	101	46
50	69,21	14,21	La remontée de la nappe		
60	71,42	16,42	2885	95,24	40,24
90	73,00	18	2890	88,20	33,2
120	75,12	20,12	2905	82,40	27,4
150	77,22	22,22	2920	75,10	20,1
180	79,14	24,14	2950	70,10	15,1
240	81,11	26,11	2980	65,20	10,2
300	82,10	27,1	3010	61,50	6,5
360	84,22	29,22	3070	58,20	3,2
420	85,76	30,76	3100	57,60	2,6
480	87,12	32,12	3160	55,20	10,2
540	88,45	33,45	3180	55,00	0
600	90,12	35,12	/	/	
660	92,44	37,44	/	/	
720	93,47	38,47	/	/	
780	94,76	39,76	/	/	
840	95,22	40,22	/	/	
900	96,33	41,33	/	/	
960	97,98	42,98	/	/	
1020	98,47	43,47	/	/	
1080	99,10	44,1	/	/	
1140	99,24	44,24	/	/	
1200	99,78	44,78	/	/	
1260	10,12	44,88	/	/	
1320	10,24	44,76	/	/	
1380	10,35	44,65	/	/	
1440	10,52	44,48	/	/	
1500	100,73	45,73	/	/	
1560	100,78	45,78	/	/	

Annexe

Annexe .8.Données du pompage d'essai de longue durée (la descente) Forage F4.V.N

Date : 19 au 21/09/2016. Source (D.R.E).Blida .Débit constant : 12 l/s

Temps (mn)	ND (m)	Rabattement (m)	Temps (mn)	ND (m)	Rabattement (m)
0	60	0	1740	107,51	47,51
1	60,55	0,55	1800	107,64	47,64
2	61,23	0,63	1860	107,74	47,74
3	62,45	2,45	1920	107,83	47,83
4	63,88	3,88	1980	107,91	47,91
6	64,22	4,22	2040	107,95	47,95
8	66,10	6,1	2100	107,98	47,98
10	68,30	8,3	2280	108,00	48
15	71,12	11,12	2460	108,00	48
20	73,10	13,1	2640	108,00	48
30	74,50	14,5	2820	108,00	48
40	75,65	15,65	2880	108,00	48
50	76,98	16,98	La remontée de la nappe		
60	77,12	17,12	2885	100,20	40,2
90	78,95	18,95	2890	92,50	32,5
120	79,92	19,92	2905	89,30	24,3
150	81,00	21	2920	84,40	29,4
180	83,78	23,78	2950	87,60	23,6
240	85,94	25,94	2980	75,10	15,1
300	86,87	26,87	3010	70,30	10,3
360	88,45	28,45	3070	64,20	4,2
420	89,66	29,66	3100	61,40	1,4
480	91,88	31,88	3160	60,45	0,45
540	93,24	33,24	3180	60,00	0
600	95,44	35,44	/	/	
660	96,74	36,74	/	/	
720	97,23	37,23	/	/	
780	98,23	38,23	/	/	
840	99,87	39,87	/	/	
900	100,65	40,65	/	/	
960	100,55	40,55	/	/	
1020	102,54	42,54	/	/	
1080	103,78	43,78	/	/	
1140	104,66	44,66	/	/	
1200	105,89	45,89	/	/	
1260	106,23	46,23	/	/	
1320	106,78	46,78	/	/	
1380	106,95	46,95	/	/	
1440	107,10	47,1	/	/	
1500	107,22	47,22	/	/	
1560	107,33	47,33	/	/	

Annexe
