République Algérienne Démocratiqueet Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et Sciences Agronomiques
Département des Sciencces Géologiques

Mémoire de fin d'étude
En vue d'obtention du
Diplôme de Master 2 en Hydrogéologie

Thème

Réalisation et équipement d'un forage d'eau dans la Mitidja orientale :
Cas du forage F8 Ouled Moussa

Présenté par :
BENFATTOUM Abderahmane
BOUKHALFA Sadek

Soutenu le 16/12/2021, devant le jury composé de :

M. MAKHLOUF Ali.....	MCA à l'UMMTO.....	Président
M. DROUICHE Abdelmadjid.....	MAA à l'UMMTO.....	Promoteur
Mme DJEMA Manal.....	Ingénieur à la DRE W Boumerdes.....	Co-promoteur
M. KARDACHE Ramdane.....	MCA à l'UMMTO.....	Examinateur

Promotion 2020/2021

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, merci à Dieu, le tout puissant qui nous a donné force et courage pour réaliser ce travail.

Nous remercions M. MAKHLOUF A., qui a bien voulu présider le jury

Nous tenons à remercier M. DROUICHE A., encadrant du présent mémoire, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Nos remerciements s’adressent également à Mme DJEMA M., ingénieure à la DRE de Boumerdes.

Nos vifs remerciements vont à M. KARDACHE R., qui a accepté d’examiner notre travail.

Nous remercions également toute l’équipe pédagogique et administrative de l’université de Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ainsi que les intervenants professionnels dans notre formation.

Nos remerciements s’adressant à toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre stage de terrain et qui nous a aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Enfin, Par crainte d'avoir oublié quelqu'un, que tous ceux et toutes celles dont nous sommes redevables se voient vivement remerciés.

Dédicaces

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL À :

MES CHERS PARENTS, POUR TOUS LEURS SACRIFICES, LEUR AMOUR, LEUR TENDRESSE, LEUR SOUTIEN ET LEURS PRIÈRES TOUT AU LONG DE MES ÉTUDES.

MES CHERS SŒURS ET FRÈRES, POUR LEURS ENCOURAGEMENTS PERMANENTS ET LEUR SOUTIEN MORAL.

TOUTE MA FAMILLE POUR LEUR SOUTIEN TOUT AU LONG DE MON PARCOURS UNIVERSITAIRE.

MES AMIS QUI M'ONT ACCOMPAGNÉ DURANT MON CURSUS UNIVERSITAIRE

TOUTE LA PROMOTION D'HYDROGÉOLOGIE « 2020/2021 » ET TOUS LES GÉOLOGUES DE L'UMMTO

QUE CE TRAVAIL SOIT L'ACCOMPLISSEMENT DE VOS VŒUX TANT ALLÉGUÉS, ET LE FRUIT DE VOTRE SOUTIEN INFAILLIBLE

BENFATTOUM ABDERAHMANE

Je dédie ce modeste travail à :

Ma mère et mon père qui m'ont accordé toute leur attention et leur amour et qui ont semé dans mon cœur la confiance en moi pour progresser et réussir.

À mes frères et sœurs, en particulier mon frère "Mohammed" qui était toujours à côté de moi.

À mon partenaire dans ce travail qui m'a beaucoup donné et a été patient avec moi.

À tous ceux qui me connaissent, en particulier mes camarades de classe, et à tous ceux qui ont directement ou indirectement contribué à la réalisation de ce travail.

BOUKHALFA Sadek

RÉSUMÉ

Résumé :

L'augmentation de la demande en eau dans le Nord de l'Algérie est liée essentiellement à l'augmentation du nombre d'habitants, le développement industriel et agricole. La faible pluviométrie observée dans ces dernières années a compliqué la situation dont le niveau d'eaux stockée dans les barrages a baissé considérablement.

Un programme de réalisation de forages a été lancé par les décideurs du domaine hydraulique pour compenser le déficit. La wilaya de Boumerdes a bénéficié d'un lot de 72 forages pour capter les eaux souterraines afin de renforcer les capacités d'alimentation en eau potable.

Le forage F8 Ouled Moussa (F8 OM), localisé dans la daïra de Khemis El Khechna, a été retenu pour le suivi dans le cadre de notre projet de fin d'étude. C'est un forage de 152 m de profondeur, réalisé par rotary, pour capté le système aquifère de la Mitidja formé par la superposition de deux nappes. Le Quaternaire libre est séparé de l'Astien captif par les argiles du villafranchien. Les marnes du plaisancien constituent le mur de la nappe captive.

Le programme de réalisation du forage est composé de plusieurs étapes. Lors du forage de reconnaissance, l'analyse des cuttings et les résultats de la prospection par diagraphie ont permis d'identifier les niveaux d'eau et d'établir un programme de tubage. Après la mise en place des tubes en PVC et le massif filtrant, le forage a été nettoyé par développement à l'air lift. La dernière étape consistait à effectuer un essai de puits afin de déterminer le débit critique de l'ouvrage, suivi d'un essai de pompage de longue durée pour estimer les caractéristiques du réservoir.

Abstract:

The increase in water demand in northern Algeria is mainly linked to the increase in the number of inhabitants, industrial and agricultural development. The low rainfall observed in recent years has complicated the situation, whose water level stored in dams has dropped considerably.

Decision-makers in the hydraulic field to compensate for the deficit have launched a drilling program. The wilaya of Boumerdes has benefited from a batch of 72 boreholes to capture groundwater in order to strengthen drinking water supply capacities.

The F8 Ouled Moussa (F8 OM) borehole, located in the Khemis El Khechna daira, was selected for monitoring as part of our end-of-study project. It is a 152 m deep borehole, carried out by rotary, to capture the Mitidja aquifer system formed by the superposition of two aquifers. The Free Quaternary is separated from the captive Astian by the clays of the Villafranchien. The marls of the plaisancien constitute the wall of the captive tablecloth.

The drilling program is composed of several stages. During the reconnaissance drilling, the analysis of the cuttings and the results of the logging prospection made it possible to identify the water levels and to establish a casing program. After the installation of the PVC tubes and the filter solid, the borehole was cleaned by development with airlift. The final step was to perform a well test to determine the critical flow rate of the structure, followed by a long-term pumping test to estimate the characteristics of the reservoir.

Liste des abréviations

ANRH	: Agence National des Ressources Hydriques
BRGM	: Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BV	: Bassin Versant
H min	: Altitude minimale
H max	: Altitude maximal
h med	: Altitude médiane
h moy	: Altitude moyenne
Ig	: Indice de pente globale
Kc	: Indice de compacité GRAVILUS
L	: Longueur du rectangle équivalent (km)
l	: Largeur du rectangle équivalent (km)
ONM	: Office Nation de la Météorologie
P	: Périmètre
PS	: Polarisation Spontanée
PVC	: Polyvinyle Chloride
S	: Surface
SBV	: Sous Bassin Versant
TNRS	: Tôle Noir Roulée Soudée

Sommaire

Introduction générale : 1

Chapitre 1 : présentation de la zone d'etude

1 . Introduction 2
2 . Situation géographique et administrative 2
3 . Caractéristiques géomorphologiques de la Mitidja orientale 2
4 . Caractéristiques hydrologiques 3
4.1 . Les sous-bassins versant de la Mitidja Orientale 3
4.2 . Caractéristiques hypsométriques et altitudes caractéristique 4
4.3 . Réseau hydrographique 5
5 . Couvert végétal 6
6 . Contexte climatique 6
6.1 . Précipitations 8
6.1.1 . Précipitations mensuelles 8
6.1.2 . Précipitations annuelles 9
6.2 . Températures 11
6.3 . Diagramme Ombrothermique 12
6.4 . Vitesse du vent 13
6.5 . Humidité de l'air 14
7 . Conclusion 15

Chapitre 2 : Géologie et hydrogéologie

1 . Introduction 16
1.1 . Géologie générale 16
1.2 . Géologie locale 16
1.2.1 . Miocène et roches plus anciennes 16
1.2.2 . Dépôts pliocènes 16
1.2.3 . Villafranchien (Calabriens) : formation d'El Harrach 18
1.2.4 . Soltanien – Tensiftien (Tyrrhénien) : Formation de la Mitidja 18
1.2.5 . Rharbien (Flandrien) : dépôts récents 18
1.3 . Aperçu paléogéographique et Tectonique 19
1.4 . Conséquences hydrogéologiques 21
2 . Hydrogéologie 22
2.1 . Les formations aquifères 22
2.1.1 . Aquifère de l'Astien 22

2.1.2 . Aquifère quaternaire 22
2.2 . Piézométrie et évolution de la profondeur de la nappe de la Mitidja orientale entre 1995 et 2000 23
3 . Conclusion 29

Chapitre : Le forage F8 Ouled Moussa

1 . Introduction 30
2 . Forage d'eau 30
3 . Techniques de forage 31
3.1 . Marteau fond trou 31
3.2 . Odex 31
3.3 . Battage 31
3.4 . Havage 31
3.5 . Rotary 31
4 . Etude et travail au laboratoire 31
4.1 . Cartographie 32
4.2 . Cartes hydrogéologiques 32
4.3 . Cartes structurales 32
5 . Installation du chantier de forage 32
6 . Le forage F8 Ouled Moussa 33
6.1 . Forage rotary : description de la machine 33
6.1.1 . Système de rotation 35
A. La table de rotation 35
B. Les tiges de forage 35
C. Aléseur 36
D. L'outil de forage 37
6.1.2 . Système de circulation 37
A. La pompe à boue 37
B. La tête d'injection 38
6.1.3 . Système de lavage 38
A. Le mât 38
B. Le treuil de forage 39
C. Le câble 39
D. Le mouflage 40
6.2 . Réalisation et suivi du forage F8 Ouled Moussa 40

6.2.1 . Travaux de surface 40
6.2.2 . Avant puits et tube guide 41
6.2.3 . Forage de reconnaissance 42
6.2.4 . La diagraphie 42
A. Gamma ray (GR) 47
➢ Zone 1 : De 10 à 25 m 47
➢ Zone 2 : De 25 à 30 m 48
➢ Zone3 : De 30 à 50 m 48
➢ Zone 4 : De 50 à 55,4 m 48
➢ Zone 5 : De 55,4 à 81 48
➢ Zone 6 : De 81 à 151 48
B. Résistivité : Petite et grande normale 48
➢ Zone 1(10 à 49 m) 48
➢ Zone 2 (49 à 58 m) 48
➢ Zone 3 (58 à 84 m) 48
6.2.5 . Elargissement et alésage 48
6.2.6 . Tubage 49
6.2.7 . Massif filtrant 51
6.2.8 . Cimentation 51
6.2.9 . Développement du forage 52
6.2.10 . Les essais de pompage 52
A. Essai de pompage par paliers : 52
➢ Courbe caractéristique 57
B. Essai de pompage de longue durée 59
➢ Essai de descente 59
➢ Essai de remontée 62
7 . Conclusion 65
Conclusion Générale 66
Références bibliographiques 67

Liste des figures

Figure 1 : Situation géographique de la Mitidja Orientale (Khoualed et Remili 2016). 2
Figure 2 : Les sous-bassins versants de la Mitidja Orientale. 3
Figure 3 : Carte des altitudes de la Mitidja Orientale (Khoualed et Remili, 2016). 4
Figure 4 : Réseau hydrographique de la Mitidja Orientale. 6
Figure 5 : La répartition des stations pluviométrique dans la Mitidja orientale (Khoualed et Remili, 2016). 7
Figure 6 : Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles (1985-2015). 9
Figure 7 : Précipitations moyennes annuelles des stations du Hamiz et Réghaïa (1979-2009). 11
Figure 8 : Graphique des températures mensuelles moyenne, maximale et minimale de la station de Dar El Beida (1980-2010). 12
Figure 9 : Diagramme Ombrothermique de la zone d'étude. 13
Figure 10 : Graphique des vitesses moyenne mensuelles de vent (1995-2004). 14
Figure 11 : Graphique de l'humidité relative moyenne mensuelles, station de D.E.B. (1995-2004). 15
Figure 12 : Carte géologique de la plaine de la Mitidja orientale (Mac Donald et Partners, 1992). 17
Figure 13 : Série de coupes montrant l'évolution du Sahel et de la Mitidja pendant le pliocène et le quaternaire (Glangeaud et Aymé 1952). 20
Figure 14 : Coupe géologique dans la région d'El Harrach. SE/NW (Binnie et Partners ,1983). 23
Figure15 : Evolution de la profondeur de la nappe de la Mitidja (carte N°21 Alger) (Belaidi et Rabhoui, 2001). 24
Figure 16 : Evolution de la profondeur de la nappe de la Mitidja (Carte N° 42 Larbâa) (Belaidi et Rabhoui, 2001).La piézométrie 25
Figure 17 : Carte des positions des points utilisés pour la piézométrie. 26
Figure 18 : Carte piézométrique des hautes eaux de la Mitidja orientale (2012). 27
Figure 19 : Carte piézométrique des basses eaux de la Mitidja orientale (2012). 28
Figure 20 : forage d'exploitation (BRGM, Des forages de qualité en région centre). 30
Figure 21 : critères d'implantation d'un forage d'eau (BRGM, 2012). 33
Figure 22 : Les composants d'un appareil du forage Rotary (Bouslsal. B. 2017). 34
Figure 23 : Table de rotation. 35
Figure 24 : Tige carrée. 35
Figure 25 : Masse tige. 36
Figure 26 : Tige de forage. 36
Figure 27: Aléseur. 37
Figure 28 : l'outil de forage. 37
Figure 29 : Pompe à boue. 38
Figure 30 : Tête d'injection. 38
Figure 31 : Photo du mât. 39
Figure 32 : Treuil de forage. 39
Figure 33 : Câble de forage (Séridi n, 2017). 39

Figure 34 : Moufle fixe et moufle mobile. 40
Figure 35 : Bassin de boue. 41
Figure 36 : Foration avec le Trépan 26''. 41
Figure 37 : Tubage en acier de 24''). 42
Figure 38 : Trépan 12''$_{1/4}$. 42
Figure 39 : Cuttings. 42
Figure 40 : Matériel de diagraphie. 43
Figure 41 : Enregistrement de diagraphie. 47
Figure 42 : Elargissement avec le trépan 17''$_{1/20}$. 49
Figure 43 : Opération de tubage. 49
Figure 44 : Programme de tubage du forage F8 Ouled Moussa. 50
Figure 45 : Graphe représentatif de la descente et la remonté des trois paliers de pompage. 54
Figure 46 : Graphe représentative de la droite des pertes de charge. 56
Figure 47 : Courbe caractéristique du forage F8 O.M. 58
Figure 48 : Courbe représentative de l'essai de la descente. 61
Figure 49 : Courbe représentative de l'essai de la remontée. 64

Liste des tableaux

Tableau 1 : Paramètres morphométriques des bassins versants de Hamiz et d'El Harrach……. 5
Tableau 2 : Altitudes caractéristiques des bassins versants de Hamiz et d'El Harrach. ……..……..... 5
Tableau 3 : Caractéristique des stations pluviométriques……. 8
Tableau 4 : Précipitations moyennes mensuelles de Mitidja orientale (1985-2015)... 8
Tableau 5 : Précipitations moyennes annuelles des stations du Hamiz et Réghaïa (1979-2009)……. 10
Tableau 6 : Température mensuelles en °C observées à Dar El Beida (1980-2010).... 11
Tableau 7 : Moyennes mensuelles des vitesses du vent (m/s)…….. 13
Tableau 8 : Humidité relative moyenne en % mesurée à Dar El Beida (1995-2004).. 14
Tableau 9 : Essai de pompage : premier palier à Q_1 = 36 m3/h……... 52
Tableau 10 : Essai de pompage : premier deuxième palier à Q_2 = 72 m3/h……... 53
Tableau 11 : Essai de pompage : troisième palier à Q_3 = 90 m3/h……. 53
Tableau 12 : Mesures effectuées lord de l'essai de pompage par palier 55
Tableau 13 : Essai de pompage de descente……... 50
Tableau 14 : Essai de pompage du remonté……... 63

Introduction générale

Introduction générale :

La wilaya de Boumerdes a connu ces dernières années un accroissement rapide de la population et un important développement agricole et industriel. De plus, les dernières années se sont caractérisées par une faible pluviométrie. Cette baisse avait un impact direct sur le niveau d'eau dans les barrages.

Cette situation a engendré un déficit dans l'alimentation en eau dans la wilaya de Boumerdes d'une façon générale et dans la commune d'Ouled Moussa en particulier. Pour remédier à ce problème un lot de 72 forage a été alloué à la wilaya de Boumerdes dont le forage F8 Ouled Moussa (F8 OM) fait partie.

L'objectif de notre travail consiste à effectuer un suivi technique pour la réalisation du forage F8 Ouled Moussa. Pour cela, des visites du chantier ont été organisées en compagnie du représentant de la Direction des Ressources en eau de la wilaya de Boumerdes (DRE). Lors de ces visites, on a assisté aux différentes étapes de foration, la prospection par diagraphie, mise en place du tubage et du massif filtrant et de développement. Les observations et les remarques notée sur le terrain ont été exploitées dans la rédaction du présent rapport. Ce dernier est organisé comme suit :

- Une introduction générale pour présenter le contexte général de la réalisation de notre travail ;
- Le chapitre 1 est consacré aux généralités sur la zone d'étude qui s'articulent essentiellement sur la situation géographique, la morphologie, les caractéristiques géomorphologiques et le contexte climatique ;
- Dans le chapitre 2, on s'intéresse aux cadres géologique et hydrogéologique de la plaine de la Mitidja ;
- Le chapitre 3 commence par un aspect théorique sur le forage d'eau basé sur les techniques de foration, les études de laboratoire et l'installation du chantier de forage, suivi par les travaux effectués pour la réalisation du F8 Ouled Moussa. En effet, on a tenté d'interpréter toutes les observations de terrain.

CHAPITRE 1
Présentation de la zone d’étude

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1 . Introduction

L'objet du présent travail est le suivi du forage F8 OM implanté dans la commune d'Ouled Moussa, appartenant à la wilaya de Boumerdes. En effet, notre zone d'étude, se situe dans la plaine de la Mitidja orientale, à quelques dizaines de kilomètres de la capitale Alger (figure 1). Dans ce chapitre, on présente l'aspect géomorphologique, hydrologique et climatique de la zone d'étude.

2 . Situation géographique et administrative

Ouled Moussa est une commune de la wilaya de Boumerdes, située dans la daïra de Khemis El Khechna. Elle est localisée à 32 km au Sud-est d'Alger. Le territoire d'Ouled Moussa s'étend d'Ouled el hadj à l'ouest jusqu'aux monts de Bouzegza sur une superficie de 29 Km^2.

Sur le plan administratif, Ouled Moussa est limitée :

- Au Nord par Ouled Haddadj ;
- À L'Est par Boudouaou ;
- Au Sud par Larbaatache et Kharouba ;
- A l'Ouest par Khemis El Khechna.

Figure 1 : Situation géographique de la Mitidja Orientale (Khoualed et Remili 2016).

3 . Caractéristiques géomorphologiques de la Mitidja orientale

L'évaluation des caractéristiques morphologiques d'une région donnée permet de caractériser son comportement hydrologique et hydrogéologique, car la variation de ces paramètres influe sur les écoulements superficiels ce qui, par conséquent, influe sur les écoulements souterrains.

Dans la Mitidja orientale, on peut distinguer quatre caractéristiques morphologiques très différentes.

- L'Atlas Blidéèn : C'est une chaine montagneuse culminant à 1600 mètres d'altitude, sculptées par l'activité érosive, Orientée OSO-ENE. Ce relief s'étend jusqu'au Sud de la plaine.
- Contreforts de l'Atlas : formés par l'érosion. Avec une altitude qui varie entre 100 et 140 m, il sépare la plaine et l'Atlas de Blida.
- Sahel : Situé au Nord-est de Mitidja orientale, il sépare la plaine de la mer.
- Plaine : Comprise entre le Sahel et l'Atlas, Son altitude varie entre 40 et 45 m. Elle est de pente très faible.

4 . Caractéristiques hydrologiques

Sur le plan hydrologique, la zone d'étude appartient au bassin versant de la Mitidja orientale. Elle est située au Sud d'Alger et s'allonge suivant une direction orientée légèrement Est-ouest. Au Nord, elle est isolée de la mer méditerranée par la ride du Sahel dans sa partie occidentale. Au Sud, elle est bordée par l'Atlas de Blida qui constitue une véritable barrière ; plus à l'Est, elle est limitée par l'oued BOUDOUAOU et à l'Ouest par oued El-Harrach.

4.1 . Les sous-bassins versant de la Mitidja Orientale

La Mitidja Orientale est partagée en trois sous-bassins versants (figure 2) qui sont :

- Le bassin de l'oued El-Harrach d'une superficie de 1236 km^2.
- Le bassin de l'oued Hamiz : il occupe une superficie de 370 km^2 et se situe à l'Est de la plaine.
- Le bassin de Réghaïa : vu sa faible superficie, il est souvent intégré dans le bassin du Hamiz dans les études hydrologiques.

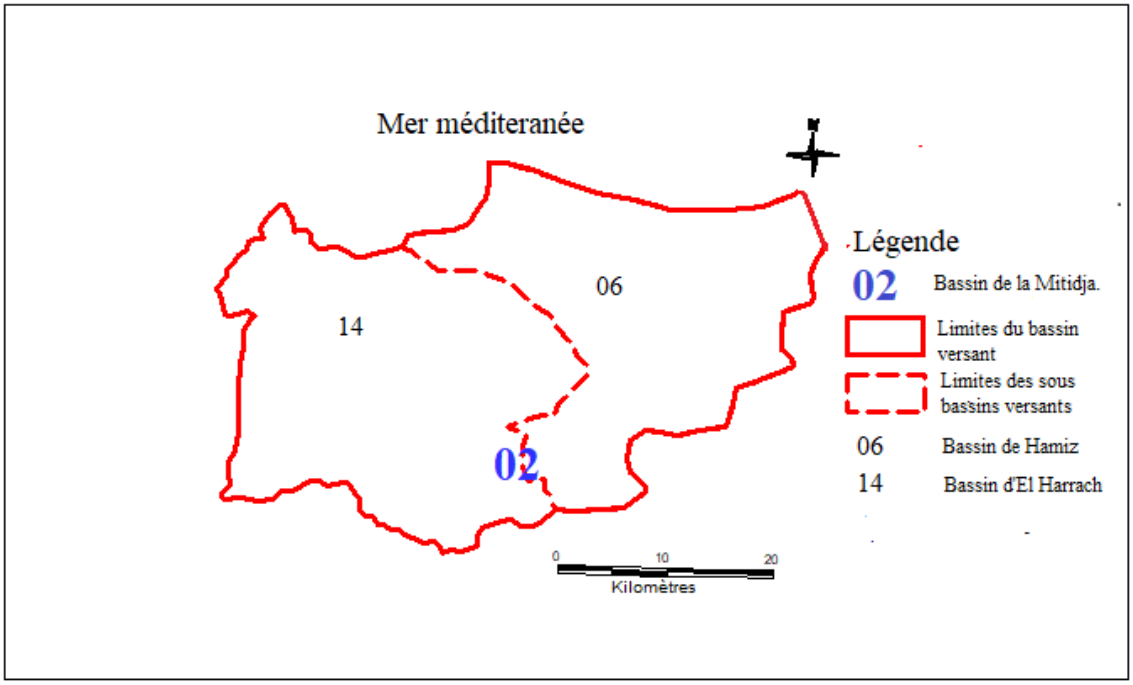


Figure 2 : Les sous-bassins versants de la Mitidja Orientale.

La forme du bassin joue un rôle important dans l'écoulement de surface. Un bassin allongé ne réagit pas de la même manière qu'un bassin de forme ramassée. En effet, dans le cas d'un bassin allongé, le temps de concentration de l'eau sera plus long car la distance entre le point le plus éloigné et l'exutoire est plus grande. Cela favorise l'infiltration au dépend du ruissèlement si les conditions de surface (lithologie, occupation du sol…) le permettent.

4.2 . Caractéristiques hypsométriques et altitudes caractéristique

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures, etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. La figure 3 montre la variation de l'altitude dans la Mitidja orientale. Vers le Sud, l'altitude est très importante et dépasse 1000 m dans l'Atlas de Blida. Au Nord-ouest altitudes modérées sont enregistrées. Au niveau de la plaine l'altitude est faible.

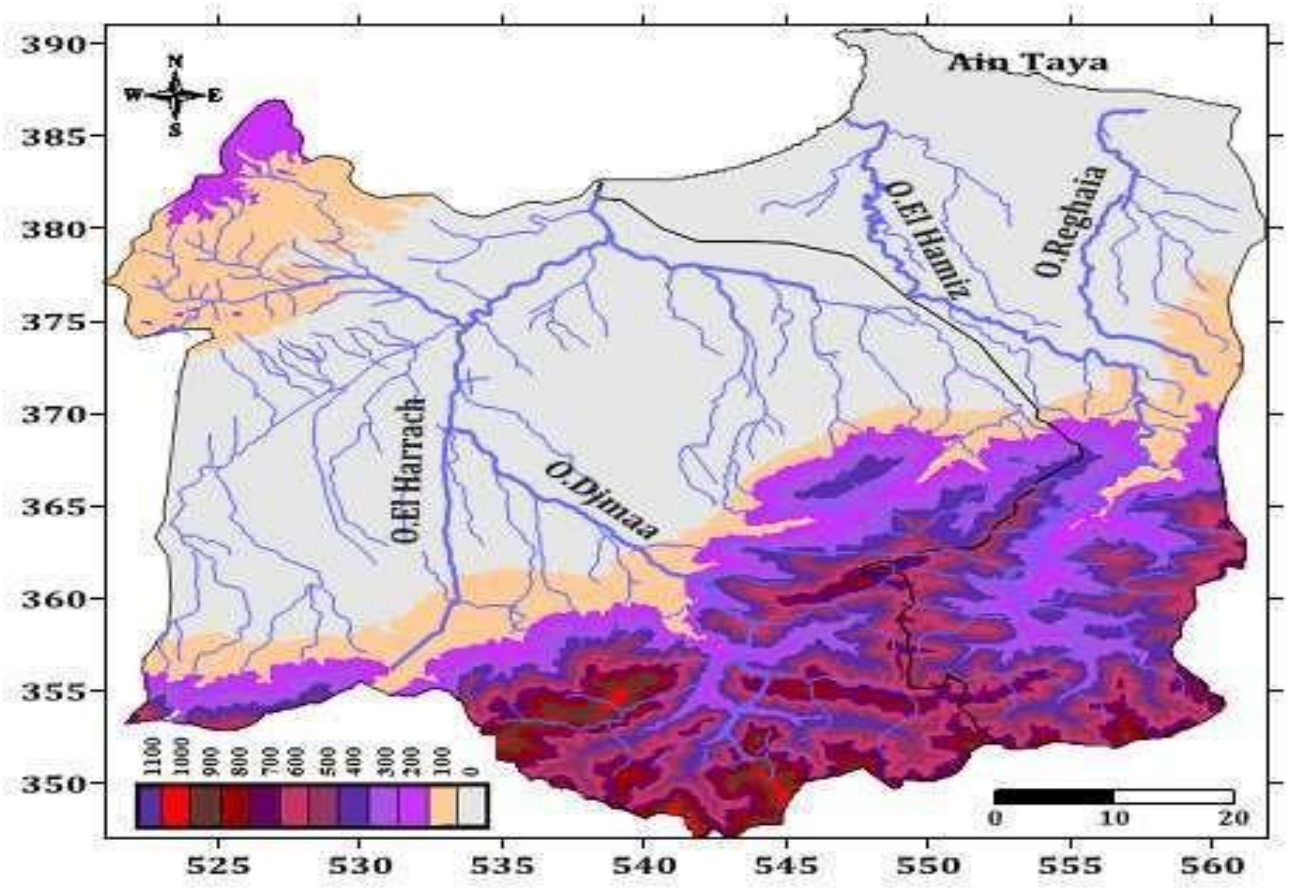


Figure 3 : Carte des altitudes de la Mitidja Orientale (Khoualed et Remili, 2016).

Le relief se détermine lui aussi au moyen des indices ou des caractéristiques suivantes :

a. Caractéristiques morphométriques

Les caractéristiques morphométriques des bassins de Hamiz et d'El Harrach sont présentées dans le tableau ci-après, le bassin de Réghaïa est intégré dans le bassin de Hamiz.

Tableau 1 : Paramètres morphométriques des bassins versants de Hamiz et d'El Harrach.

Paramètre	**Unité**	**Formule de calcule**	**Valeur**	
Superficie (S)	Km_2		Hamiz	El Harrach
			370,9	388
Périmètre (P)	Km		127,5	90
Indice de compacité GRAVILUS (Kc)	%	$Kc = 0{,}28\frac{P}{\sqrt{A}}$	1,7	1,28
Longueur du rectangle équivalent (L)	Km	$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1{,}12}[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1{,}12}{Kc}\right)^2}]$	53,91	39,08
Larguer du rectangle équivalent (I)	Km	$I = \frac{Kc\sqrt{A}}{1{,}12}[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1{,}12}{Kc}\right)^2}]$	7,62	11,70

La lecture du tableau 1 permet de constater que les deux bassins ont des surfaces relativement similaires mais des formes différentes. Avec un indice de compacité de l'ordre de 1,7 le bassin Hamiz est un bassin allongé tandis que le bassin El Harrach possède une forme ramassée. En effet, la forme allongée du premier bassin traduit un temps de concentration plus long que celui d'El Harrach. Les formes des bassins versants obtenues selon l'indice de compacité sont confirmées par les dimensions des rectangles équivalents.

b. Les altitudes caractéristiques :

Le tableau ci-dessous résume les différentes altitudes et l'indice de pente globale des bassins versants du Hamiz et d'El Harrach.

Tableau 2 : Altitudes caractéristiques des bassins versants de Hamiz et d'El Harrach.

Paramètres	Unité	Formule de calcule	Valeur	
			Hamiz	El Harrach
Altitude Max (H max)	m		110	1200
Altitude Min (H min)	m		28	25
Altitude médiane (h med)	m		410	35
Altitude moyenne (h moy)	m	$Hmoy = \frac{1}{A}\sum Hi.Ai$	375,03	430
La dénivelée totale	m	Hmax − Hmin	1072	1175
Indice de pente globale (Ig)		$Ig = \frac{h5\% - h95\%}{L} = \frac{D}{L}$	19,88	1,49

L'indice de pente global montre que les bassins versants, Hamiz et El Harrach ont un relief relativement faible favorisant l'infiltration détriment du ruissellement.

4.3 . Réseau hydrographique

Trois oueds principaux drainent la plaine de la Mitidja orientale (figure4), ce sont :

- L'oued El Harrach qui reçoit sur sa rive droite l'oued Djemaa et l'oued Smar ;
- L'oued El Hamiz ;

- L'oued Réghaïa.

Ces trois oueds s'écoulent du Sud vers le Nord et se jettent dans la mer méditerranée sans rencontrer d'obstacles de relief.

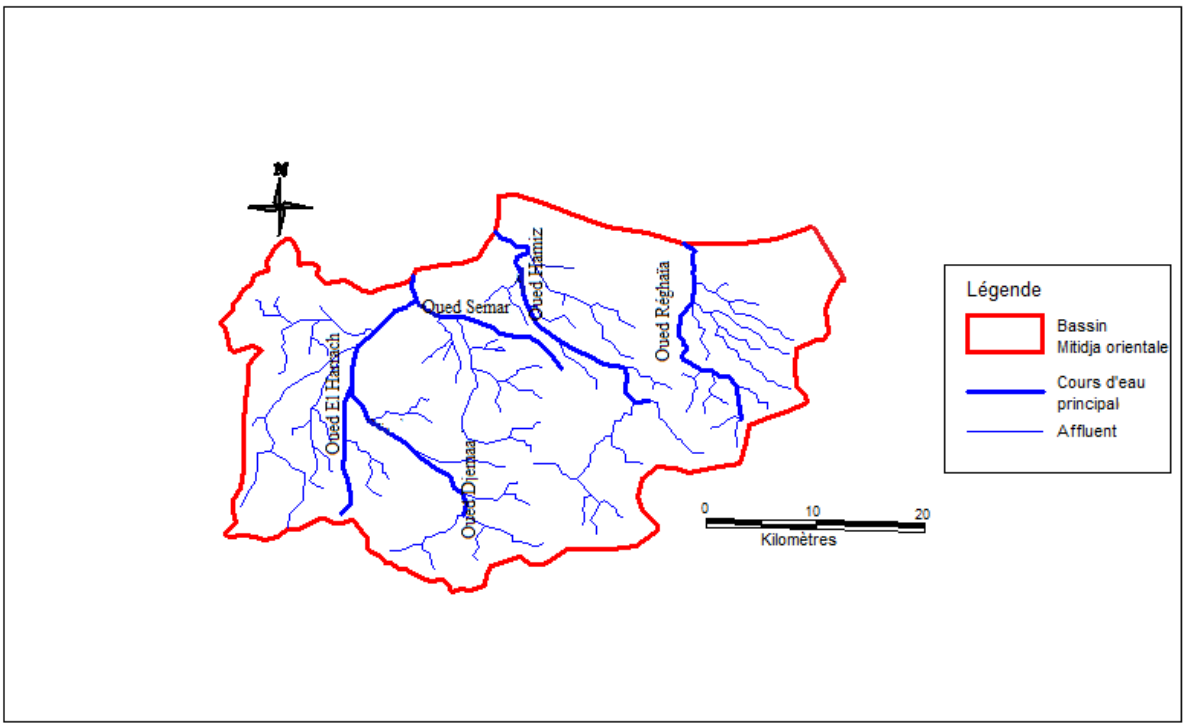


Figure 4 : Réseau hydrographique de la Mitidja Orientale.

5 . Couvert végétal

La végétation joue un rôle important dans le comportement hydrologique du bassin. Elle a une influence mécanique sur le ruissellement superficiel, en plus du fait qu'elle conditionne l'évapotranspiration et donc le bilan hydrologique du bassin.

La plaine de la Mitidja orientale est une région agricole, en raison de sa topographie et de la fertilité de ses sols. Les activités agricoles les plus répandues sont l'arboriculture et les cultures maraîchères.

La végétation en tant que facteur de pédogénèse a été presque complètement détruite par une exploitation intensive, autant dire qu'aujourd'hui, elle n'existe presque plus. Cependant, les forêts de Réghaïa et le bois de Boulogne au Sud de la ville de Larbâa sont parmi les seuls vestiges de cette végétation naturelle. Cette végétation est constituée, principalement, d'une association de chêne-vert et d'épais bosquets de maquis méditerranéen. Cette végétation naturelle exerçait un rôle prépondérant dans l'évolution des sols.

6 . Contexte climatique

La zone d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen avec un hiver frais et humide et un été chaud et sec.

Pour présenter l'essentiel des caractéristiques climatiques de la zone d'étude, on se base sur les données disponibles, mesurées au niveau Hamiz Dar El Beida et Réghaïa (figure 5).

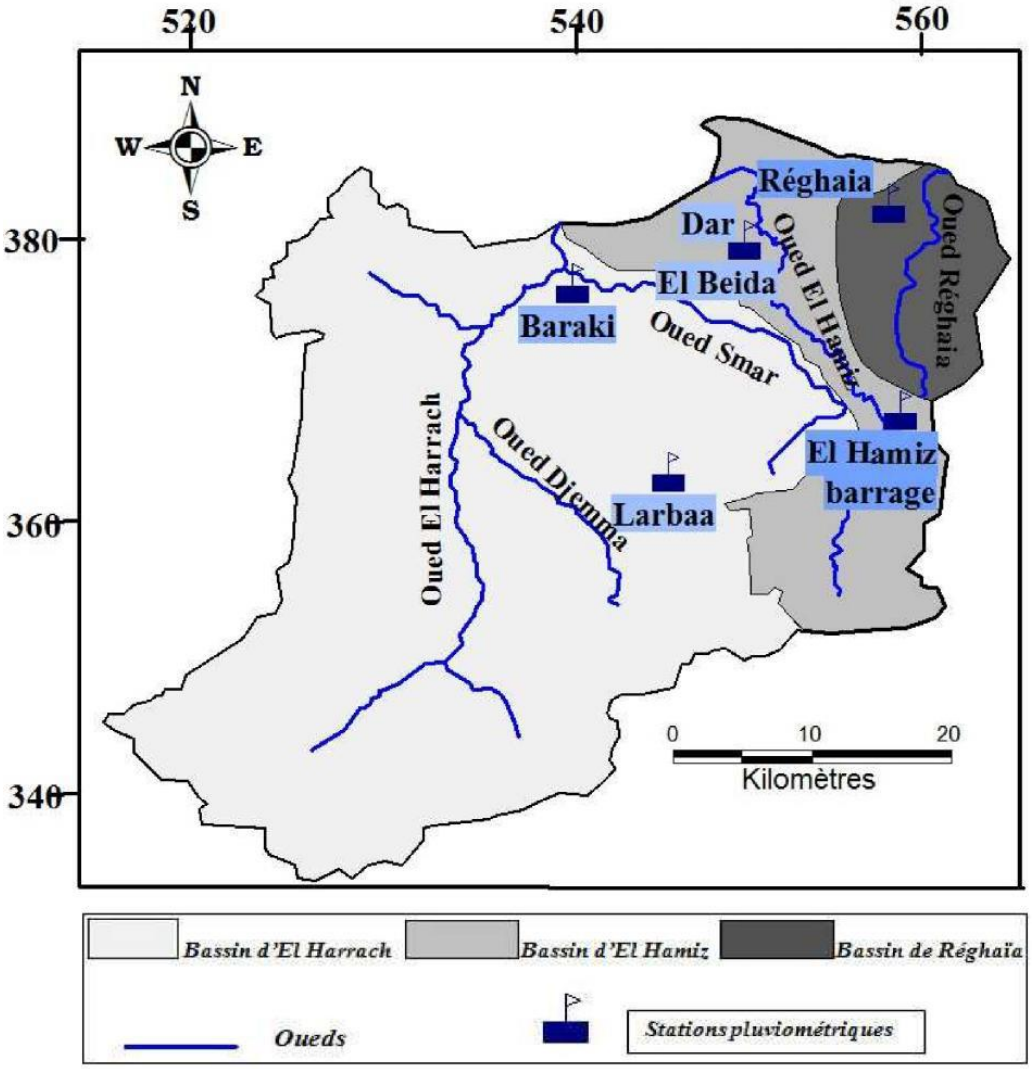


Figure 5 : La répartition des stations pluviométrique dans la Mitidja orientale (Khoualed et Remili, 2016).

Les données de la précipitation et de la température couvrent une période dépassant les 30 ans, cependant, la durée d'observation de l'humidité de l'air et la vitesse du vent est de 10 ans. Les différentes caractéristiques relatives aux stations adoptées sont regroupées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristique des stations pluviométriques.

Station/ gestionnaire	Code ANRH	X Lambert (m)	Y Lambert (m)	Z (m)	Paramètres climatique
Dar El Beida (D.E.B.) /O.N.M.	020611	557,350	379,600	24	• Humidité (1995-2004) • Vitesse du vent (1995-2004) • Température mensuelle (1980-2010)
Hamiz (Barrage)/ A.N.R.H	020602	558,550	367,400	130	• Précipitation annuelle (1979-2009)
Réghaïa/ A.N.R.H	020632	557,800	382,200	20	• Précipitation annuelle (1985-2009)

6.1 . Précipitations

Les précipitations jouent un rôle très important dans l'entretient de l'écoulement superficiel dans le réseau hydrographique ainsi que dans le processus de la recharge des aquifères de notre zone d'étude.

6.1.1 . Précipitations mensuelles

Le tableau 6 présente les valeurs des précipitations mensuelles observées au niveau des stations Réghaïa et Hamiz.

Tableau 4 : Précipitations moyennes mensuelles de Mitidja orientale (1985-2015).

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Annuelle
Réghaïa	28,3	47,5	100,6	90	78,2	77,3	55,1	52,6	42,8	9,6	2	5,2	589,2
Hamiz	32,6	57,9	102,7	103,9	93,5	94,6	72,6	75,5	51,2	9,5	2,4	5,7	702,1

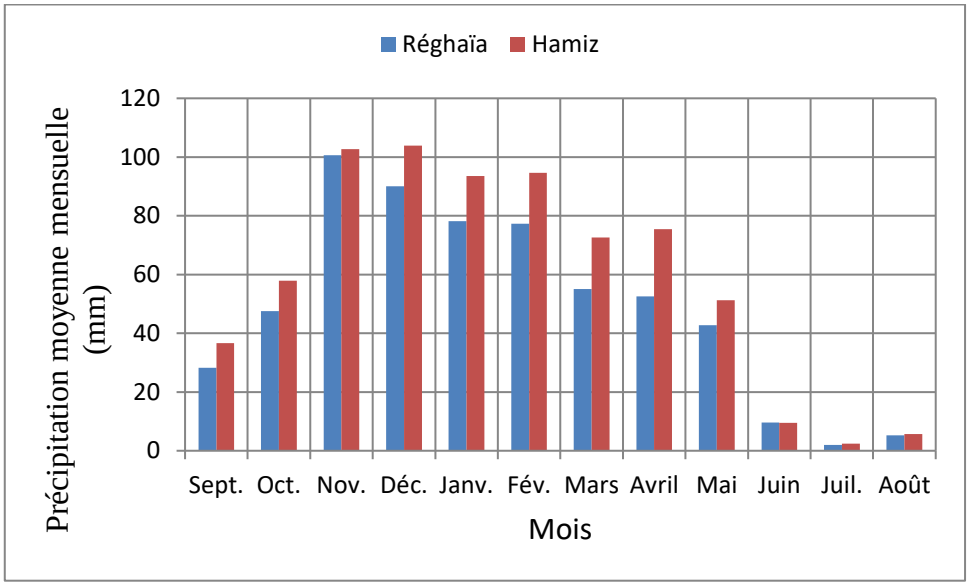


Figure 6 : Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles (1985-2015).

L'observation de la figures 6, permet de constater que les mois de novembre, décembre et janvier enregistrent des précipitations considérables dont le maximum de 103,9 mm est enregistré à la station de Hamiz en décembre. Le mois de juillet est le plus sec dans les deux stations avec des valeurs qui varient entre 2 mm à Réghaïa et 2,4 mm mesuré à la station de Hamiz.

6.1.2 . Précipitations annuelles

Le tableau suivant montre les précipitations moyennes annuelles des stations du Hamiz et Réghaïa entre 1979 et 2009.

Tableau 5 : Précipitations moyennes annuelles des stations du Hamiz et Réghaïa (1979-2009).

Années	**Hamiz**	**Réghaïa**
1979	819	755
1980	811	659
1981	691	550
1982	626	703
1983	593	575
1984	784	894
1985	784	894
1986	728	629
1987	530	482
1988	548	296
1989	388	203
1990	624	401
1991	842	644
1992	611	493
1993	546	355
1994	695	628
1995	878	685
1996	341	304
1997	863	737
1998	705	607
1999	531	561
2000	541	407
2001	360	345
2002	1058	840
2003	883	719
2004	672	596
2005	689	777
2006	722	580
2007	805	663
2008	773	693
2009	750	720
Moyenne	683,580	593,387
	638,483	

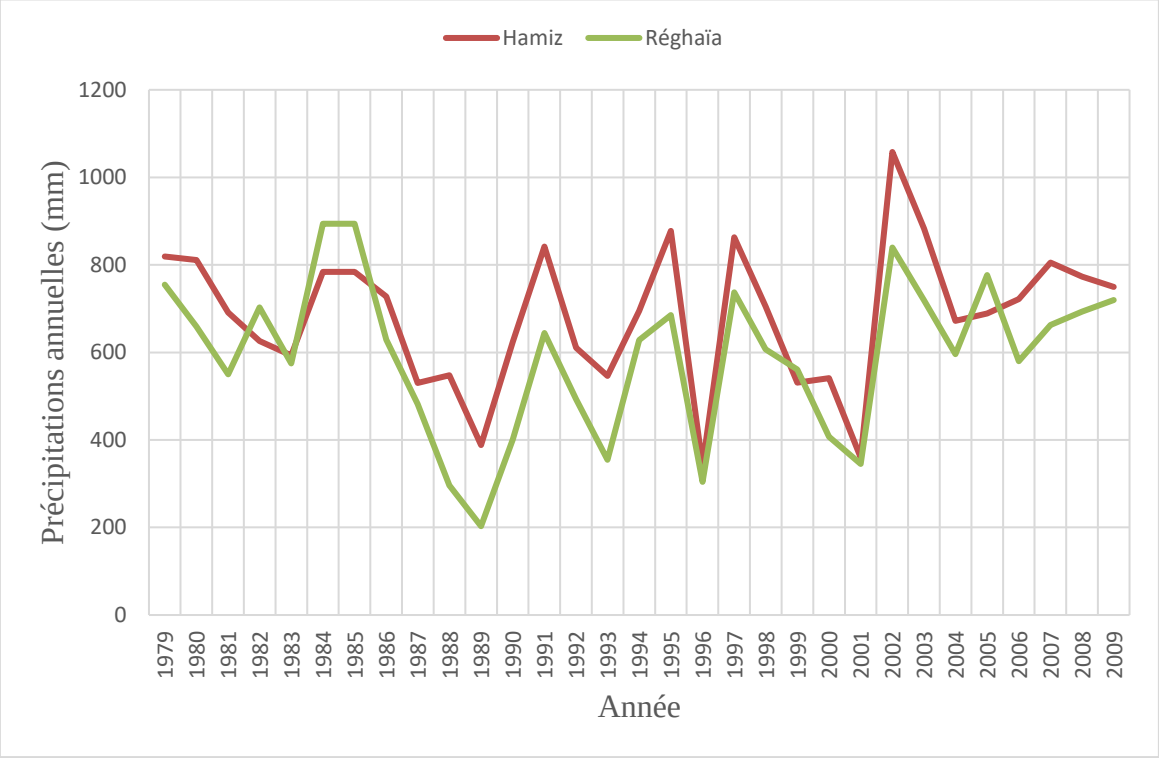


Figure 7 : Précipitations moyennes annuelles des stations du Hamiz et Réghaïa (1979-2009).

L'analyse de la figure 7 montre que l'année 2002 est l'année la plus pluvieuse durant la période 1979-2009 avec une précipitation de 1058 mm enregistrée dans la station de Hamiz. L'année 1989 est la moins pluvieuse avec une précipitation de 203 mm enregistré dans la station de Réghaïa.

6.2 . Températures

La température de l'air est l'un des facteurs qui régissent les conditions climatiques d'une région donnée.

Le tableau suivant montre les données relevées dans la station de Dar El Beida entre 1980 et 2010.

Tableau 6 : Température mensuelles en °C observées à Dar El Beida (1980-2010).

	Sept.	**Oct.**	**Nov.**	**Déc.**	**Janv.**	**Fév.**	**Mars**	**Avril**	**Mai**	**Juin**	**Juil.**	**Août**	**Année**
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
Min	17,6	14,2	10	6,9	5,6	5,1	7,1	9,4	13	16,5	19	20,1	12,04
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

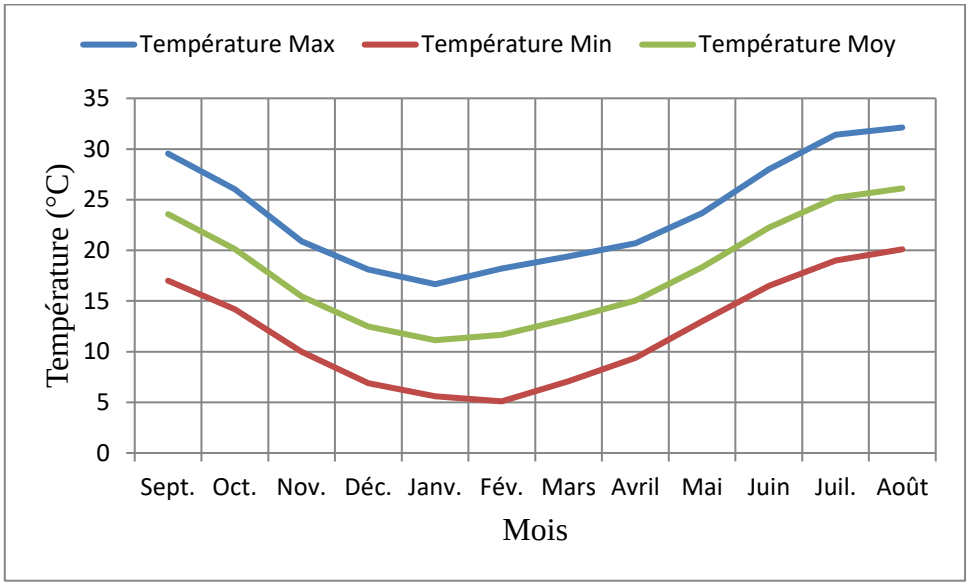


Figure 8 : Graphique des températures mensuelles moyenne, maximale et minimale de la station de Dar El Beida (1980-2010)

D'après la figure 8, on constate que :

- De septembre à février, la température baisse dont la température moyenne la plus basse, enregistrée en mois de février, est de 11,13°C.
- A partir de mars, les températures sont croissantes et atteignent un maximum de 26,11° C en mois d'août pour la température moyenne.
- Les valeurs extrêmes varient entre 23,12 °C observée en mois d'août et 5,1 °C enregistrée en mois de février.

6.3 . Diagramme Ombrothermique

Un mois sec se définit, comme celui ayant un total pluviométrique « p » (moyenne en millimètres) égal ou inférieur au double de la température « T » ($P \leq 2T$). Ainsi, on constate que la saison sèche est formée par plusieurs mois secs consécutifs.

Le diagramme ombrothermique de Gaussen permet de mettre en évidence une saison humide débutant en mois d'octobre et se termine en mois de mai, et une saison sèche qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois de septembre (figure 9).

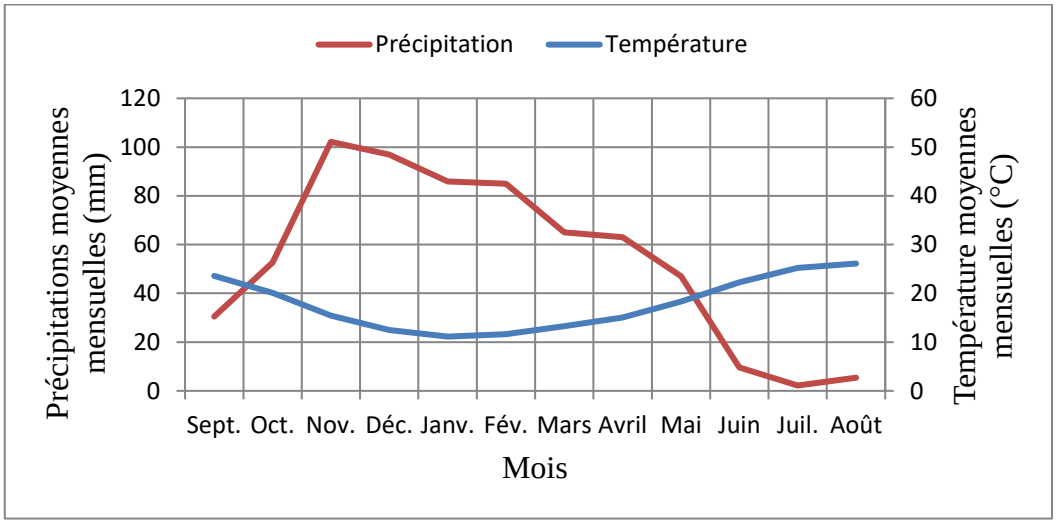


Figure 9 : Diagramme Ombrothermique de la zone d'étude.

6.4 . Vitesse du vent

Le tableau 8 montre les moyennes mensuelles des vitesses du vent enregistrées dans la station de D.E.B entre 1995 et 2004.

Tableau 7 : Moyennes mensuelles des vitesses du vent (m/s).

Année	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
1995	2,3	1,7	2,2	2,0	2,8	2,8	2,4	2,3	2,3	1,2	2,4	2,9	2,3
1996	2,9	3,6	2,9	2,8	2,4	2,4	2,2	2,0	2,2	1,3	2,3	2,0	2,4
1997	2,6	1,2	1,5	2,1	2,1	2,4	2,7	2,3	2,0	1,8	2,9	2,0	2,1
1998	2,2	1,2	1,4	2,6	2,2	2,1	2,1	2,1	2,5	1,7	1,8	1,3	1,9
1999	2,1	2,2	2,1	1,7	2,8	3,1	2,8	2,2	2,8	2,6	2,4	3,4	2,5
2000	1,2	1,9	2,1	4,2	2,5	3,0	3,2	3,2	2,8	2,9	3,3	3,2	2,8
2001	3,3	2,4	3,1	3,0	3,3	3,6	3,2	2,7	3,0	1,9	2,5	1,4	2,8
2002	1,5	2,0	2,8	2,7	3,1	3,1	3,1	2,4	2,9	2,4	3,0	2,8	2,7
2003	4,0	3,2	2,0	2,7	2,5	2,9	2,6	2,5	2,4	2,0	2,6	3,3	2,7
2004	2,4	2,0	2,3	3,2	3,1	2,4	2,4	2,4	2,0	1,6	1,6	3,2	2,4
Moyen	2,5	2,1	2,2	2,7	2,7	2,8	2,7	2,4	2,5	2,0	2,5	2,5	2,5

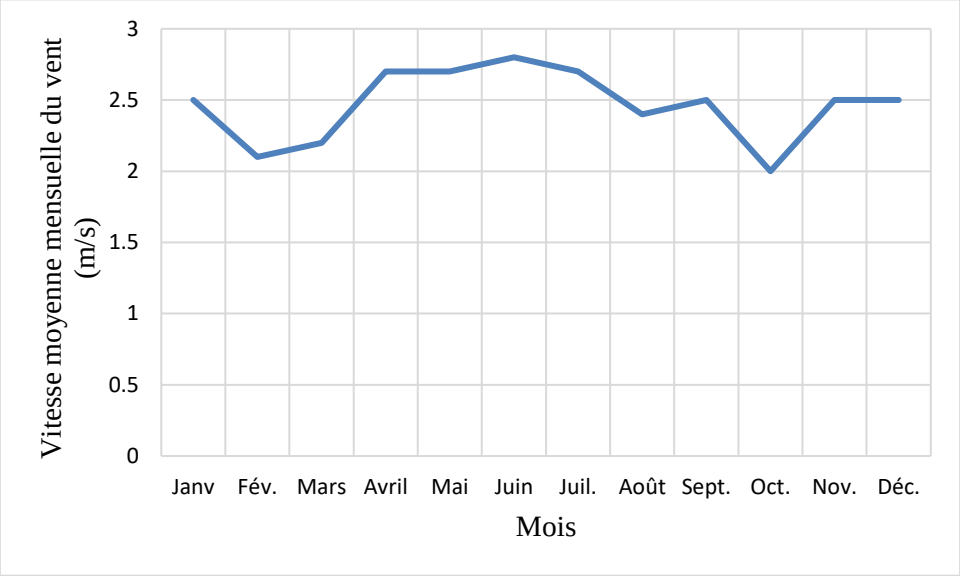


Figure 10 : Graphique des vitesses moyenne mensuelles de vent (1995-2004).

La figure 10 montre que la vitesse du vent est relativement faible dans la région d'étude, les valeurs basses sont enregistrées pendant les mois de février, mars et octobre (2,0 à 20,2 m/s). En dehors de ces mois, les vents sont plus forts et atteignent une valeur maximale de 2,7 m/s en juin.

6.5 . Humidité de l'air

Le tableau 9 présente l'humidité relative moyenne en % enregistrée dans la station de D.E.B (1995-2004)

Tableau 8 : Humidité relative moyenne en % mesurée à Dar El Beida (1995-2004).

Année	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Moyenne
1995	71	75	66	79	79	79	77	73	70	75	70	70	73
1996	71	80	77	79	73	81	78	78	77	73	70	71	75
1997	70	71	75	78	69	83	74	73	78	66	69	67	73
1998	70	72	79	77	75	85	76	72	80	73	69	71	75
1999	70	70	79	81	78	78	75	71	73	70	67	67	73
2000	71	76	77	73	80	74	74	69	78	73	68	63	73
2001	76	75	80	84	79	81	71	77	76	63	68	72	75
2002	72	76	78	80	83	81	76	78	69	71	74	76	76
2003	75	78	78	78	82	81	80	81	80	68	68	68	77
2004	71	70	87	82	82	82	83	78	80	75	76	71	78
Moyenne	72	74	78	79	78	81	76	75	76	71	70	69	75

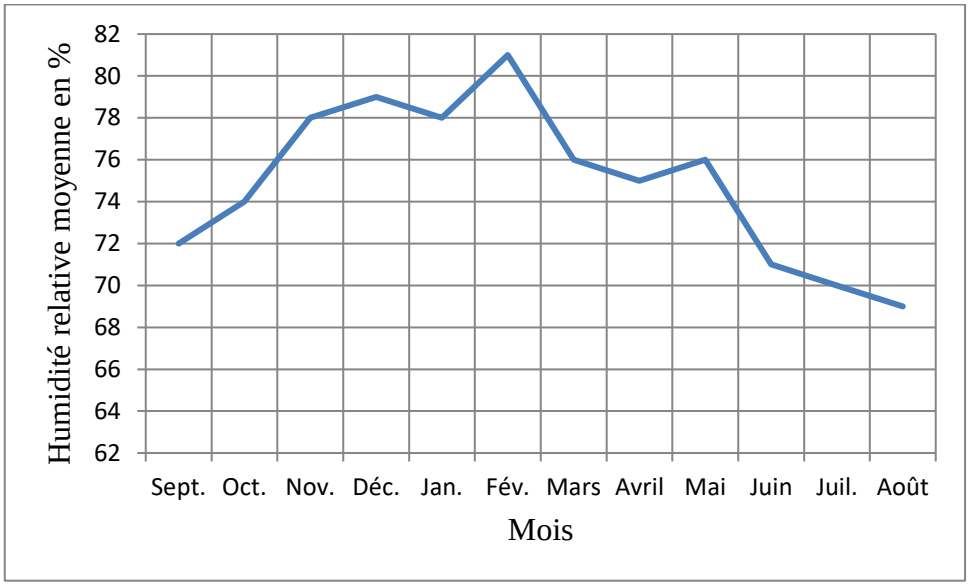


Figure 11 : Graphique de l'humidité relative moyenne mensuelles, station de D.E.B. (1995-2004).

L'humidité moyenne mensuelle montre une tendance à la hausse entre le mois de septembre et le mois de février avec une valeur maximale de 81 %, suivie d'une tendance baissière avec une valeur minimale de 69 % relevée en Août.

7 . Conclusion

La plaine de la Mitidja couvre une superficie de 1 450 km$_2$. Cette plaine est située dans l'arrière-pays d'Alger. De l'Ouest en Est, la plaine traverse successivement les wilayas de Tipaza, Blida, Alger, Boumerdes et l'extrême Nord-est de Médéa.

La zone d'étude, représentée par la Mitidja orientale, fait partie du bassin versant Côtier Algérois codé (02) dans le répertoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques.

La Mitidja orientale est Limitée par le Sahel et la mer méditerranée au Nord, l'Atlas blidéen au Sud, Oued Réghaïa à l'Est et El Harrach à l'Ouest.

La zone d'étude, caractérisé par trois oueds principaux ; oued El Harrach, oued El Hamiz et oued Réghaïa qui s'écoulent du Sud vers le Nord et se jettent dans la mer méditerranée.

Le climat de la Mitidja est de type méditerranéen à deux saisons distinctes ; une saison humide débutant au mois d'octobre qui se termine au mois de mai, et une saison sèche qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois de septembre, avec une précipitation moyenne annuelle de 638,5 mm et une température moyenne annuelle de 17,9 °C.

CHAPITRE 2
Contexte géologique et hydrogéologique

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE

1 . Introduction

Dans ce chapitre, on présente la géologie, la lithologie et la tectonique qui ont caractérisé la zone d'étude. De plus on s'intéresse aux caractéristiques hydrogéologiques générales de Mitidja orientale.

1.1 . Géologie générale

La plaine de la Mitidja est l'un des bassins néogènes de l'Algérie qui a fait l'objet de plusieurs études géologiques. Les plus connus sont essentiellement les travaux de Glangeaud et Aymé (1935) et Glangeaud (1932). Cette plaine, siège d'une subsidence continue marquée par des remplissages plio-quaternaires, se situe au Nord du domaine tellien. Elle est circonscrite entre deux blocs positifs :

- Au Nord, l'anticlinal du Sahel de 270 m d'altitude moyenne, bande collinaire côtière. Il est constitué par des roches anciennes surmonté par des terrains tertiaires plissés.
- Au Sud, l'Atlas Blidéen, vaste massif montagneux tranchant brusquement la plaine, est constitué d'épaisses séries d'âge crétacé-paléocène.

1.2 . Géologie locale

La Mitidja orientale appartient au bassin de la Mitidja qui est considéré comme un bassin sédimentaire post-nappe constitué de terrains plio-quaternaires, c'est un synclinal néogène à fond dissymétrique reposant sur un substratum marneux plaisancien, par endroits d'âge miocène ou quelquefois crétacé (figure 13).

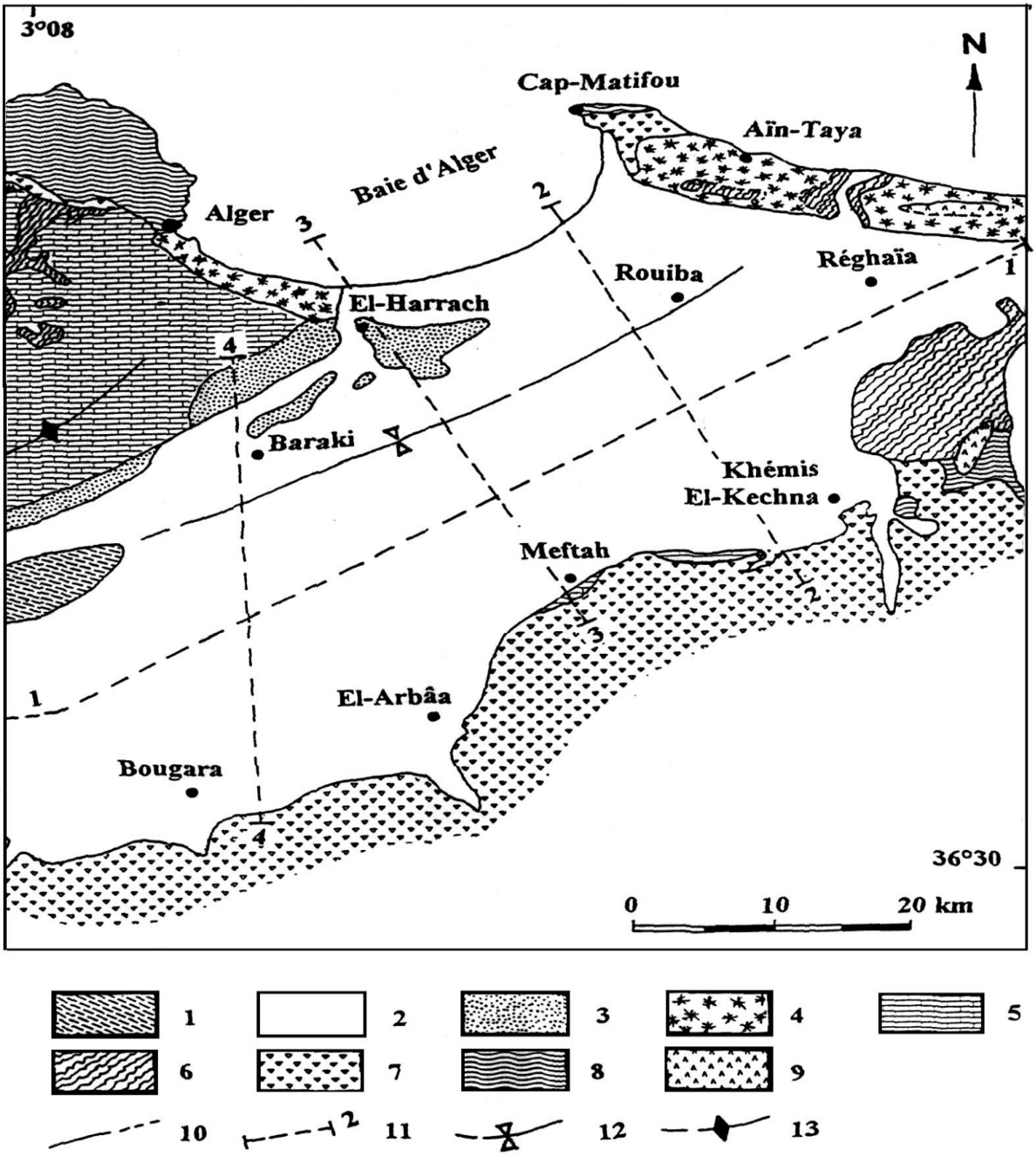
1.2.1 . Miocène et roches plus anciennes

Le miocène est constitué de marnes à intercalations de lentilles de calcaires ou degrés centimétriques (40 à 50 cm) d'âge vindobonien ou burdigalien. Il affleure essentiellement le long de l'Atlas, entre Meftah et Khemis El Khechna, et au Nord de la ville de Rouiba. Le socle cristallophyllien représenté par des schistes, micaschistes et gneiss affleure dans le massif d'Alger en particulier à Cap Matifou et à l'Est de Khemis El Khechna (figure 12).

1.2.2 . Dépôts pliocènes

Deux étages peuvent être individualisés dans le pliocène inférieur, le plaisancien et l'Astien :

– **Le Plaisancien** : Formé principalement de marnes bleues et localement de bancs de grès faiblement glauconieux. Son épaisseur, importante sous le Sahel et le Nord de la Mitidja (environ 1000m) diminue progressivement vers le Sud où il ne subsisterait qu'un linéament entre Fondouk et Oued El Alleug (L. Glangeaud, Aymé, 1952).



***Quaternaire** : (1) Formation du Mazafran ; (2) Formation de la Mitidja : Alluvions de graviers et d'argiles ; (3) Formation d'El Harrach : argiles et cailloutis (Villafranchien) ; (4) Formation dunaires consolidées, quelques lumachelles, poudingues et grès ;*
***Pliocène** : (5) Astien : Calcaires gréseux, calcaires construits, marnes jaunes, sables ;*
(6) Plaisancien : Marnes et argiles bleues ;
***Miocène et roches plus anciennes** : (7) Roches sédimentaires ; (8) Roches métamorphiques ; (9) Roches éruptives.*
(10) Ligne de contact ; (11) Line de coupe géologique ; (12) axe du synclinal ; (13) Axe de l'anticlinal.
Projection MTU. Tirée : Carte hydrogéologique d'Alger (ANRH, 1973)

Figure 12 : Carte géologique de la plaine de la Mitidja orientale (Mac Donald et Partners, 1992)

- **L'Astien**

Cette formation se compose de sédiments marins de hauts fonds, qui débute par une couche de glauconie et se poursuit par de la molasse récifale ou subrécifale. Il se présente sous différents types de faciès :

- Le faciès marno-sableux : du point de vue puissance et étendue, c'est le faciès dominant. Les terrains de ce faciès sont en profondeur gris cendré ; en surface, ils sont jaunes.
- Le faciès gréso-calcaire : il est constitué le plus souvent de calcaires gréseux et granuleux parfois glauconieux, on peut rencontrer des faciès de calcaires à lumachelles (huîtres, échinodermes et gastéropodes). Également, vers la base, on a des intercalations de marnes brunes ou d'argiles jaunes.
- Le faciès molassique : c'est un faciès récifal ou sub-récifal. Il est constitué par un calcaire spongieux, grumeleux, tendre ou encore par des dalles de calcaires pouvant avoir un mètre d'épaisseur. Ce faciès est très localisé dans la banlieue d'Alger. La mollasse repose sur un niveau de glauconie dont l'épaisseur peut atteindre 4 m et se réduire ailleurs à quelques centimètres.
- Le faciès gréseux et sableux : C'est le sommet de l'Astien, très détritique, continental en bordure de la Mitidja, de 30 m d'épaisseur.

1.2.3 . Villafranchien (Calabriens) : formation d'El Harrach

Cette formation est constituée par une séquence relativement uniforme d'argiles plastiques jaunes ou grises localement, légèrement caillouteuses, contenant un petit nombre de lentilles de graviers de 2 à 6 m d'épaisseur. Quelquefois, la formation d'El Harrach, en raison de la présence de graviers, a été confondue avec les formations alluviales sus-jacentes qui sont essentiellement caillouteuses.

La rareté des forages ayant atteint cette formation fait qu'on a un manque de détails descriptifs. Les argiles sont totalement absentes autour de Rouiba (figure 12). L'épaisseur moyenne de la formation au centre du bassin est estimée à 100 m et diminue vers le Sud.

1.2.4 . Soltanien – Tensiftien (Tyrrhénien) : Formation de la Mitidja

Cette formation est composée principalement d'alluvions grossières (graviers, galets, limons et argiles en quantités variables). Les alluvions de la formation de la Mitidja sont épaisses et sont présentes dans le centre du bassin. Elle est puissante au centre (100 à 200 m) et devient de plus en plus faible en allant vers les bordures et la baie d'Alger.

1.2.5 . Rharbien (Flandrien) : dépôts récents

Ils sont représentés par des sables meubles éoliens ou des sables dunaires épais de 20 à 40 m, de graviers et de couches fossilifères consolidées ou cimentées.

Le piémont de l'Atlas est recouvert de débris anguleux cimentés par une matrice argileuse provenant d'un cône de déjection et d'une solifluxion de matériaux du massif blidéen. Ces débris ne représentent qu'une faible partie du remplissage du bassin de la Mitidja. Ils regroupent les dépôts de sables dunaires, les dépôts du piémont de l'Atlas Blidéen ainsi que les sables et les graviers provenant des lits des oueds. La baie d'Alger et la région de Réghaïa sont bordées par des dépôts marins et des dunes.

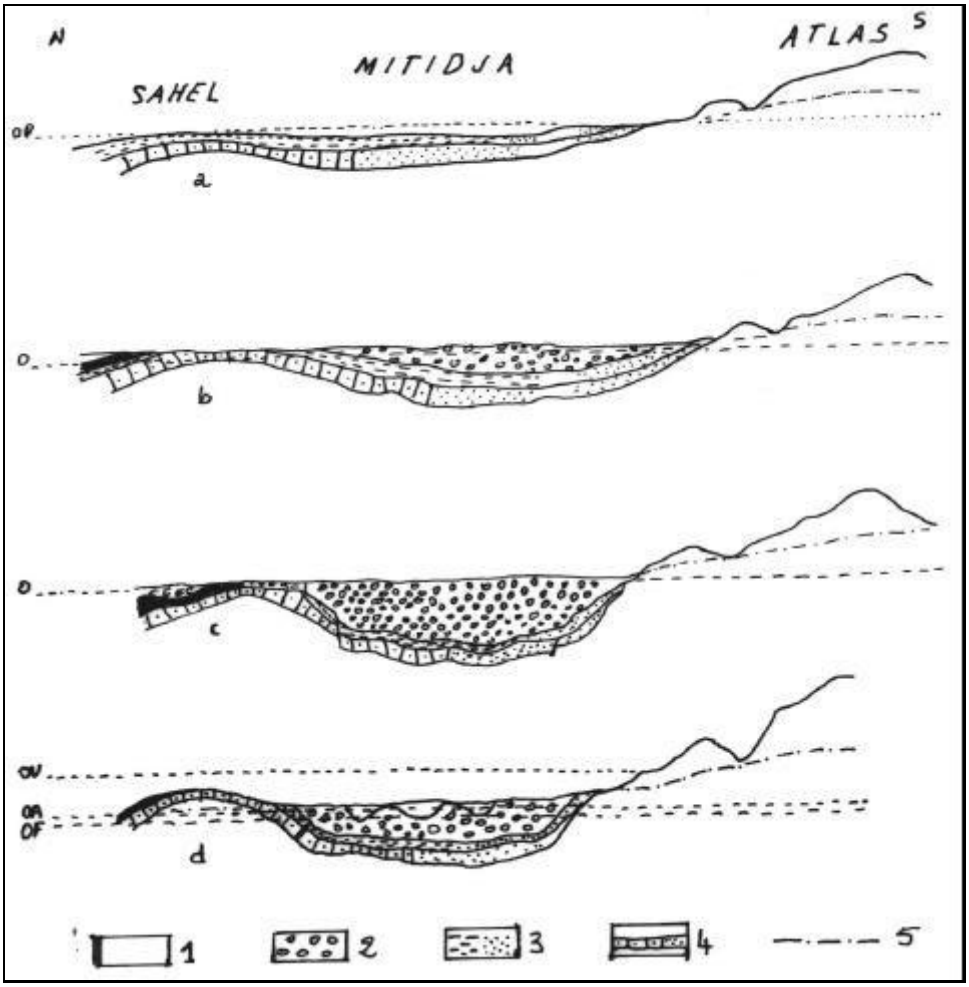
1.3 . Aperçu paléogéographique et Tectonique

L'histoire géologique du bassin de la Mitidja remonte à l'Eocène. Il s'est formé par affaissement d'un socle rigide, entre les failles d'orientation E-W et NE-SW. Après la sédimentation de dépôts marins du Plaisancien et de l'Astien, le Sahel s'individualise en une ride anticlinale, l'Atlas continue à se soulever, les dépôts du Miocène, du Pliocène et du Quaternaire réagissent comme une couverture flexible entre deux unités ascendantes (Glangeaud, 1932).

- Le Pliocène marque la fin d'une longue période de sédimentation durant laquelle des argiles et argilites s'étaient accumulées en mer profonde ou ouverte (Glangeaud, 1932). Un léger plissement et un soulèvement de l'anticlinal du Sahel apparaissent à la fin du Pliocène isolant complètement la Mitidja de la mer.
- Au début du Quaternaire s'accumulent des formations fluvio-lacustres (marnes jaunes d'El Harrach) originaires de l'Atlas dans le sillon subsident. Des matériaux essentiellement argileux contenant quelques lentilles de graviers se déposent dans le bassin qui se creuse davantage au Villafranchien (Calabrien).

La sédimentation Villafranchienne se termine par une baisse continue du niveau de la mer. A ce moment, les phénomènes d'érosion s'amorcent et la subsidence s'accentue (érosion de la formation d'El Harrach).

A la fin du Pléistocène, les dépôts du Villafranchien sont en grande partie érodés, mettant à nu l'Astien dans la Mitidja orientale. Dès lors, les oueds creusent profondément leurs lits, et les cônes de déjection s'avancent vers la plaine (figure 13).



1 : Alluvions récentes (épaisseur exagérée).
2 : Marnes d'El-Harrach et alluvions villafranchiennes.
3 : Grès et Boudingues de la fin d'Astien.
4 : Mollasses et grès de l'Astien.
5 : Profil supposé des oueds atlasiques aux différents stades de leur évolution
Les tirets correspondent au niveau de la mer (côtes zéro) aux différents stades de l'évolution de la Mitidja.
OP : Mer du Pliocène inférieur.
OV : Fin du remblaiement Villafranchien.
OF : Fin du creusement préflandrien.
OA : Niveau actuel.
Le figuré noir correspond aux dépôts marins du Quaternaire (calabrien principalement)

Figure 13 : Série de coupes montrant l'évolution du Sahel et de la Mitidja pendant le pliocène et le quaternaire (Glangeaud et Aymé 1952).

1.4 . Conséquences hydrogéologiques

Le secteur d'étude représente l'extrémité orientale de la plaine de la Mitidja, siège d'une subsidence continue dont les éléments sont fournis par les unités positives des bordures, l'Atlas en particulier.

Les principaux évènements géologiques, ayant affecté la plaine de la Mitidja, ont contribué à la formation de deux réservoirs aquifères principaux :

- L'Astien à faciès gréseux, en général d'épaisseur 100 à 200 m ;
- Les Alluvions grossières du Quaternaire dont l'épaisseur est en moyenne de 200 m.

2 . Hydrogéologie

2.1 . Les formations aquifères

2.1.1 . Aquifère de l'Astien

L'aquifère astien est généralement présent dans toute la plaine et affleure sur le bourrelet du Sahel (figure14). Cet aquifère intercalé dans des grès fins consolidés s'enfouit rapidement dans la plaine à une profondeur de 200 à 400 m.

Cet horizon est continu dans la région d'El Harrach–Hamiz, son épaisseur (150m dans la région d'El Harrach), diminuant vers le Sud-est (15 à 30m). Il est généralement captif avec des niveaux piézométriques juste au-dessus du sol. Il est probablement libre dans les zones d'affleurement de l'Astien dans le Sahel (Figure 14).

Au cours des trente dernières années, peu de forages ont été effectués assez profondément pour intercepter l'aquifère captif astien, c'est pour cela qu'il n'existe aucun historique piézométrique enregistré à partir d'un forage crépinée seulement dans l'Astien ; par conséquent, il n'est pas possible de savoir comment la piézométrie de l'Astien a évolué en fonction du temps et de l'accroissement du prélèvement d'eau à partir de l'aquifère de la Mitidja.

L'aquifère astien s'alimente par :

- Infiltration efficace des précipitations dans les zones où la nappe est libre ;
- Infiltration des eaux de l'aquifère alluviale par drainance à travers la formation d'El Harrach (présence de passages de sable et de graviers).

Les seuls exutoires de l'aquifère sont constitués par un flux de drainance ascendant vers la nappe alluviale à travers les passées caillouteuses de la formation d'El Harrach et les forages de captage.

2.1.2 . Aquifère quaternaire

Cette unité est séparée de l'aquifère astien par une couche épaisse de marnes jaunes, sauf à l'Est du Hamiz (poche de Rouiba) où ils sont en contact direct. La nappe libre s'étend sur l'ensemble du bassin de la Mitidja orientale (figure 14).

- **Lithologie**

Flandrien/Rharbien ; limons, argiles limoneuses avec sables consolidés à lumachelles de 20 à 30 m d'épaisseur.

Soltanien/tensifien ; alternance de gravier et d'argile, avec une épaisseur de 150 m.

Calabrein/Villafranchien ; Argile et cailloutis avec une épaisseur de 100 m (Benzaiada, 1994).

La nappe alluviale de la Mitidja est alimentée par :

- L'infiltration des précipitations sur la plaine.
- Infiltration à partir des cours d'eau et du ruissellement sur les piémonts de l'Atlas.
- Fuites des réseaux de distribution en eau.
- Infiltrations des eaux d'irrigation excédentaires.

Les exhaures sont assurées par :

- Pompage dans les puits et les forages de la plaine.
- Drainage des Oueds dans leur cours aval.
- Les fuites souterraines vers la mer.

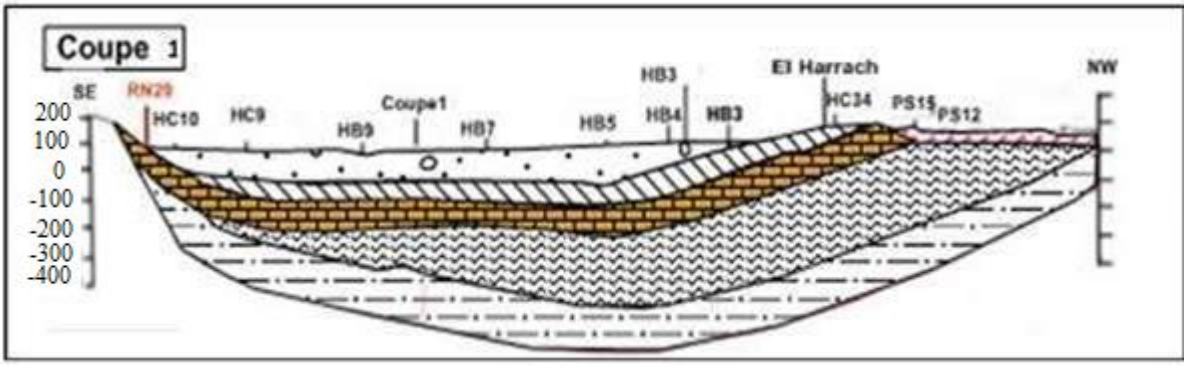


Figure 14 : Coupe géologique dans la région d'El Harrach. SE/NW (Binnie et Partners ,1983).

2.2 . Piézométrie et évolution de la profondeur de la nappe de la Mitidja orientale entre 1995 et 2000

a. Évolution de la profondeur de la nappe de la plaine de la Mitidja :

La plaine de la Mitidja orientale se répartie sur deux cartes à l'échelle 1/50000 selon l'ancien découpage, la carte d'Alger N° 21 et la carte de Larbâa N° 42.

L'ANRH a retenu des points de mesures constitués de puits, de piézomètres et de forages non exploités pour faire l'objet d'un réseau de surveillance piézométrique de la nappe dans l'espace et dans le temps, en faisant deux campagnes de mesures par an (hautes eaux et basses eaux).

Des graphiques (figure 15 et 16) montrent bien la variation de la profondeur de la nappe (Belaidi et Rabhaoui, 2001). Le niveau de la nappe de la Mitidja pendant cette période (1995 – 2000) a varié de 28 m à 34 m selon les endroits. On note que la fin de la décennie 1990 est marquée par une baisse importante du niveau d'eau dans la Mitidja orientale, en particulier durant les années 1997-2000.

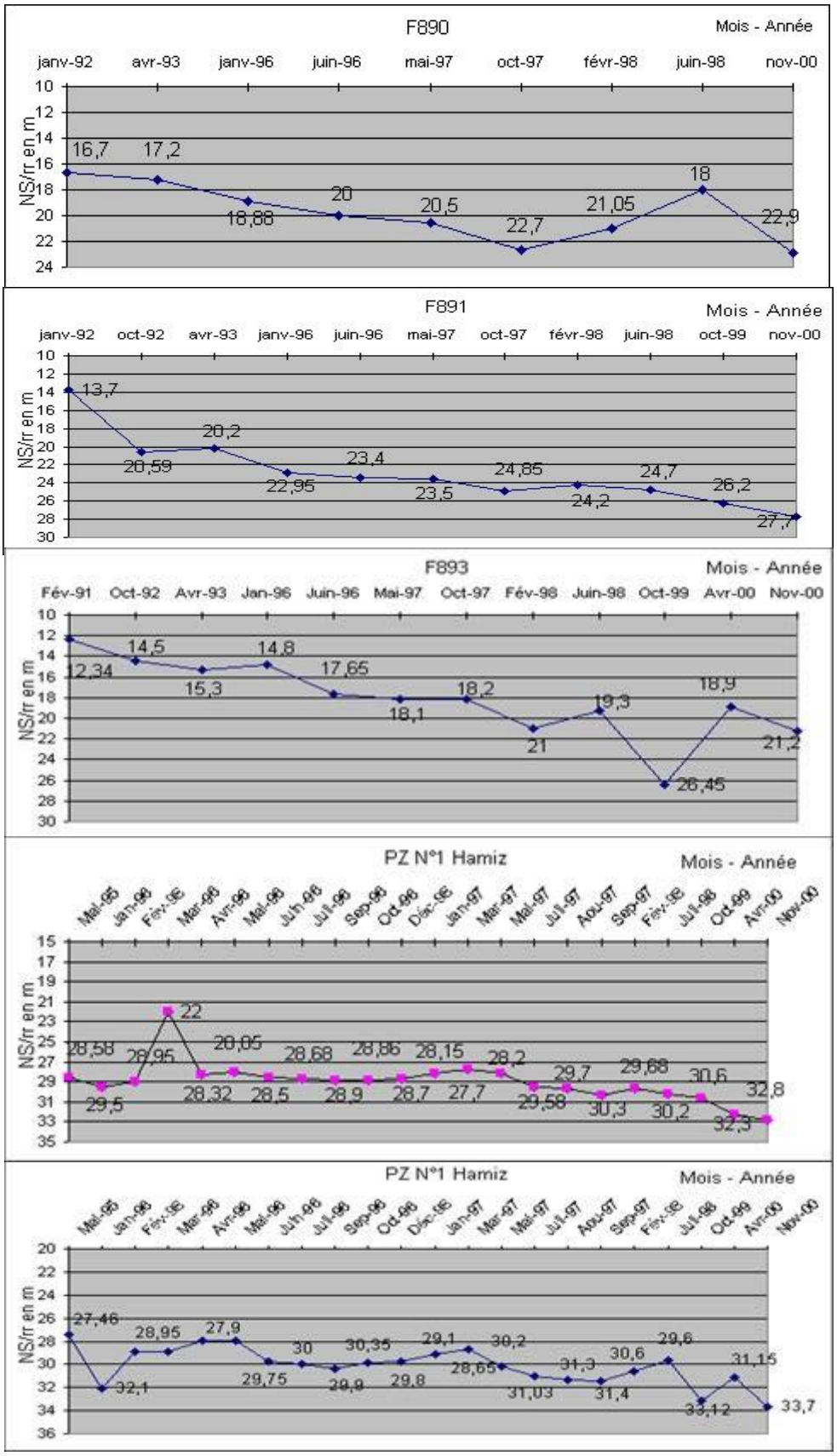


Figure15 : Evolution de la profondeur de la nappe de la Mitidja (carte N°21 Alger) (Belaidi et Rabhoui, 2001).

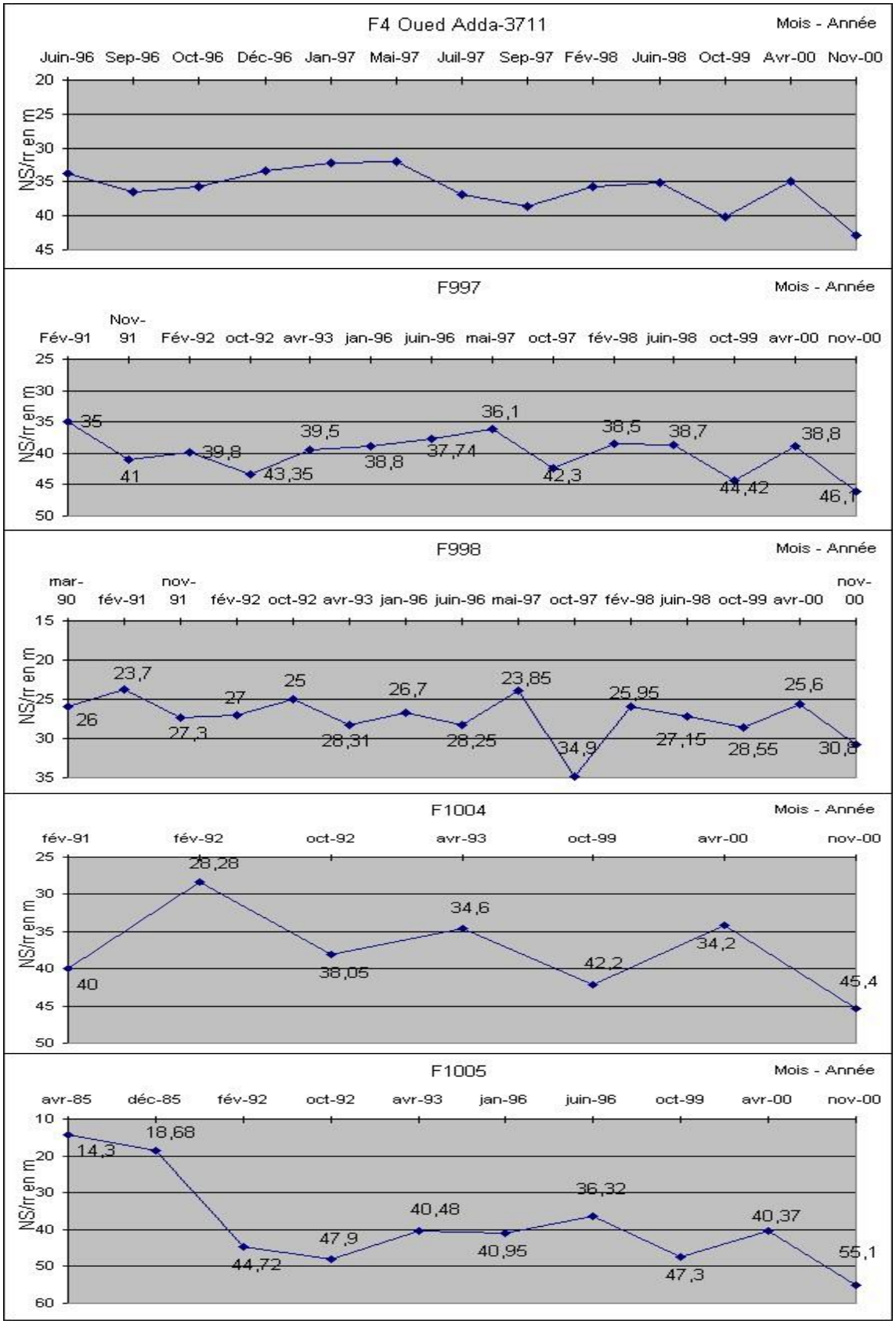


Figure 16 : Evolution de la profondeur de la nappe de la Mitidja (Carte N° 42 Larbâa) (Belaidi et Rabhoui, 2001).La piézométrie

b. La piézométrie :

La figure 17 présente la position des points de mesure de la compagne piézométrique des hautes et basses eaux effectuées dans la Mitidja orientale en 2012.

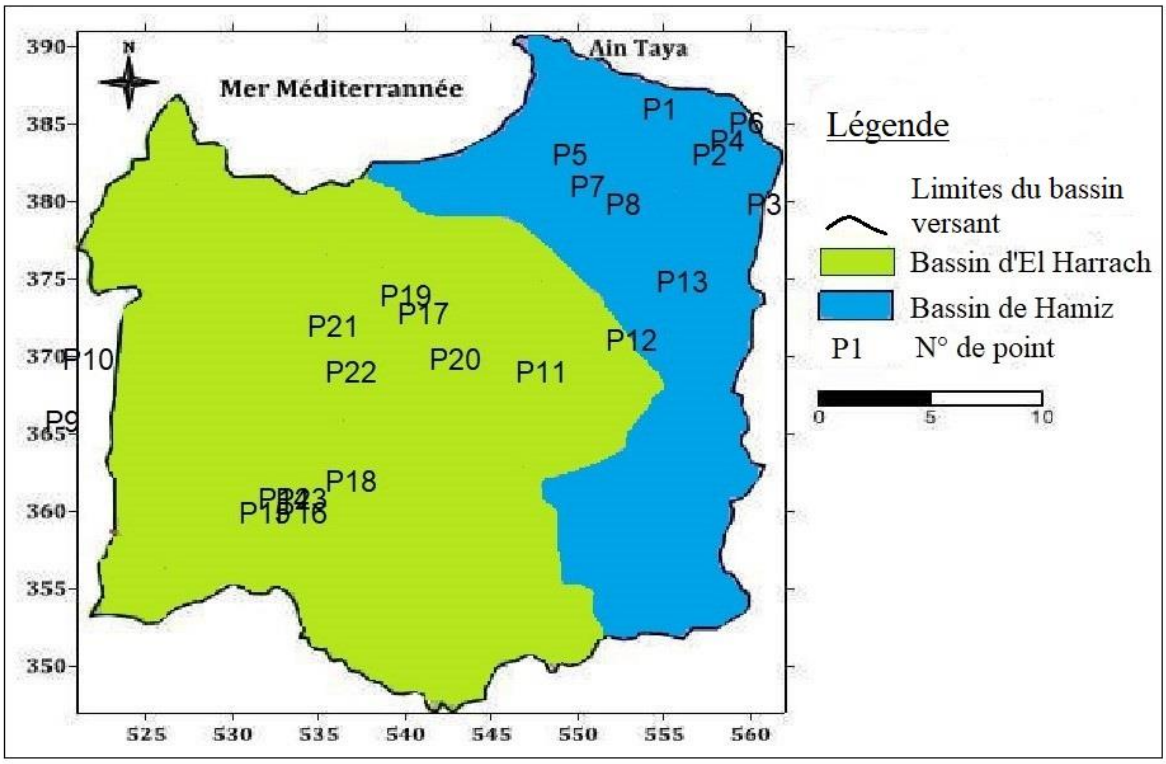


Figure 17 : Carte des positions des points utilisés pour la piézométrie.

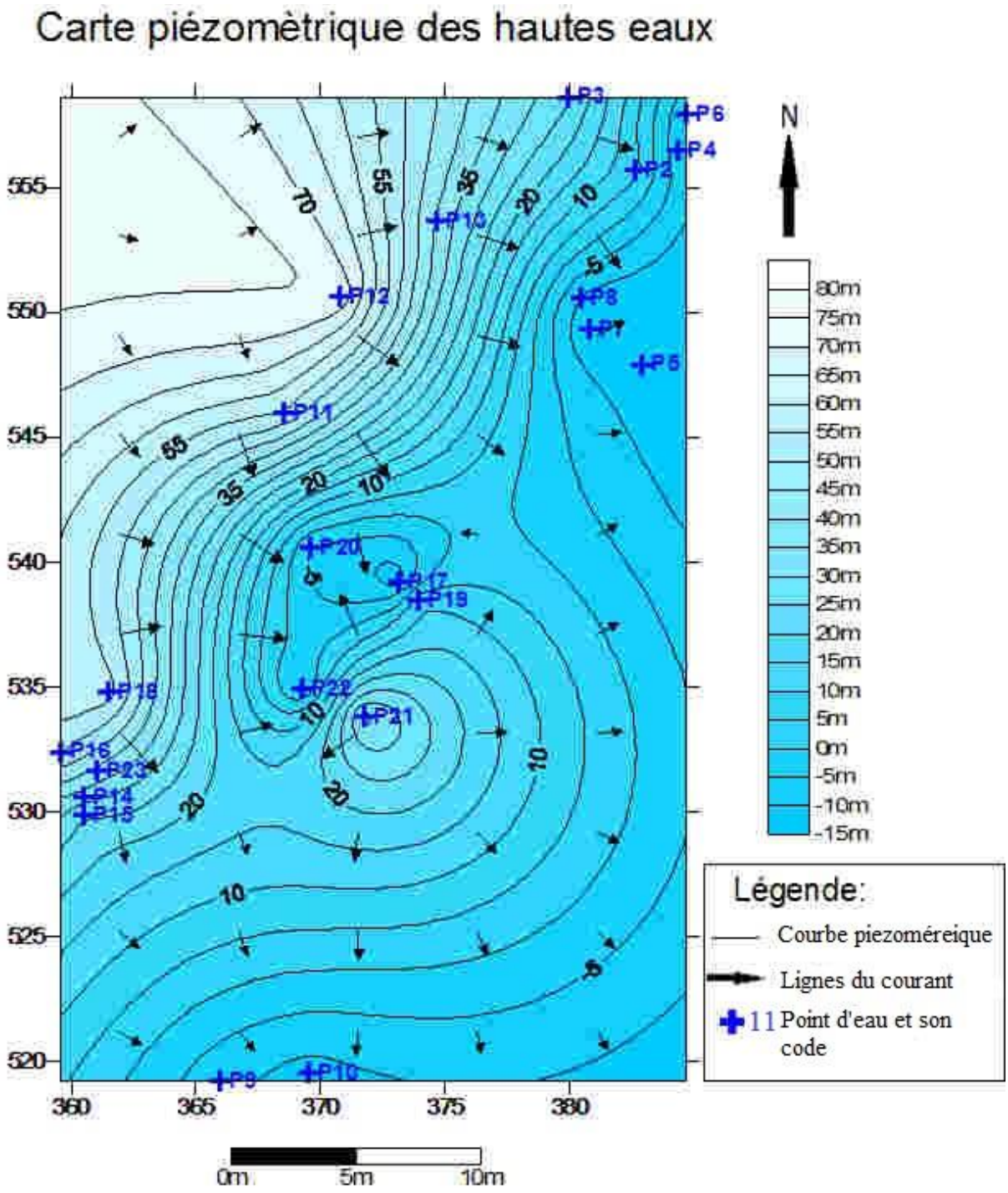


Figure 18 : Carte piézométrique des hautes eaux de la Mitidja orientale (2012).

La carte établie à partir de 23 points d'eau relevés en mai 2012 (figure 18) montre dans la partie nord une convergence des écoulements vers les ouvrages implantés dans le Nord-Est où les courbes isopièzes sont relativement serrées et indique une vitesse plus élevée à l'Est qu'à l'Ouest. Au centre de la zone d'étude, la forte sollicitation des eaux souterraines au niveau des points d'eau P17, P19, P20 et P22 s'est traduite par une dépression piézométrique qui atteint la côte -10,56 m au niveau du P17. Dans la partie sud, les lignes du courant sont orientées selon une direction générale Nord-sud où les piézomètres P9 et P10.

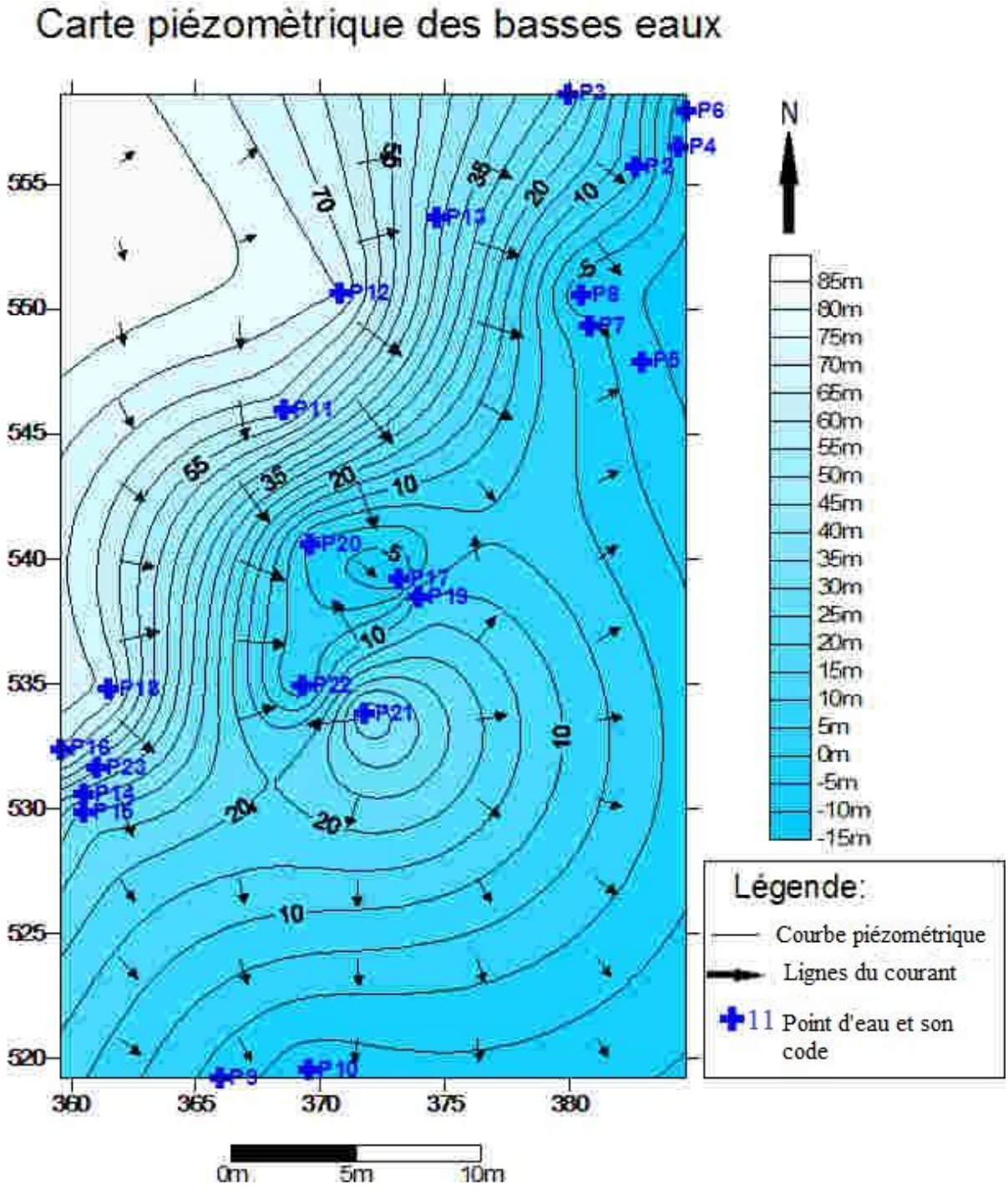


Figure 19 : Carte piézométrique des basses eaux de la Mitidja orientale (2012).

La carte piézométrique des basses eaux, basée sur les relevés du mois d'octobre 2012 (Figure 19), présente une allure générale qui ressemble à celle des hautes eaux de la même année. Le sens d'écoulement demeure relativement identique mais le niveau piézométrique enregistre une baisse généralisée sur la zone d'étude. Au centre de la Mitidja orientale, la dépression piézométrique atteint -12,6 m.

3 . Conclusion

La synthèse géologique et hydrogéologique de la zone d'étude montre trois niveaux importants qui sont de bas en haut :

- Les grès astiens reposant sur un substratum argileux-marneux du Plaisancien.
- Les marnes d'El Harrach qui constituent un niveau semi-perméable.
- En couverture superficielle vient la formation de la Mitidja, formée d'alluvions grossières.

La formation de la Mitidja et celle de l'Astien constituent un important aquifère. Il s'étale pratiquement à travers toute la plaine avec une épaisseur variable.

L'étude piézométrique a permis de définir les sens d'écoulements de la nappe, qui sont orienté selon une direction Ouest/Est dans la partie nord de la carte et selon une direction Nord-sud dans sa partie sud. Au centre de la zone, d'étude Les courbes isopièzes traduisent une dépression piézométrique qui atteint la côte -12,6 m en période des basses eaux en 2012. Ceci est dû au pompage excessif des eaux souterraines de la nappe de la Mitidja orientale.

CHAPITRE 3
Le forage d’eau F8 Ouled Moussa

CHAPITRE 3 : LE FORAGE D'EAU F8 OULED MOUSSA

1 . Introduction

Dans ce chapitre, nous allons d'abord présenter l'aspect théorique de la réalisation d'un forage hydraulique en mettant en exergue les différentes techniques de foration, les travaux sur le chantier depuis son installation, ainsi que les travaux de laboratoire nécessaire avant tout travail de terrain telle que la prospection géologique et structurale indispensable pour l'implantation du forage. Après cette présentation, on s'intéresse aux travaux du forage F8 Ouled Moussa en commençant par une description du forage rotary et ses différents systèmes, suivi par les travaux de réalisation du forage F8 Ouled Moussa.

2 . Forage d'eau

Le forage consiste à creuser un trou dans la terre dans le but de la recherche ou l'exploitation d'un aquifère (réservoir) (figure 20).

L'équipement ; comme le tubage et les techniques générales d'excavation, sont fonction de ses dimensions et de son objectif.

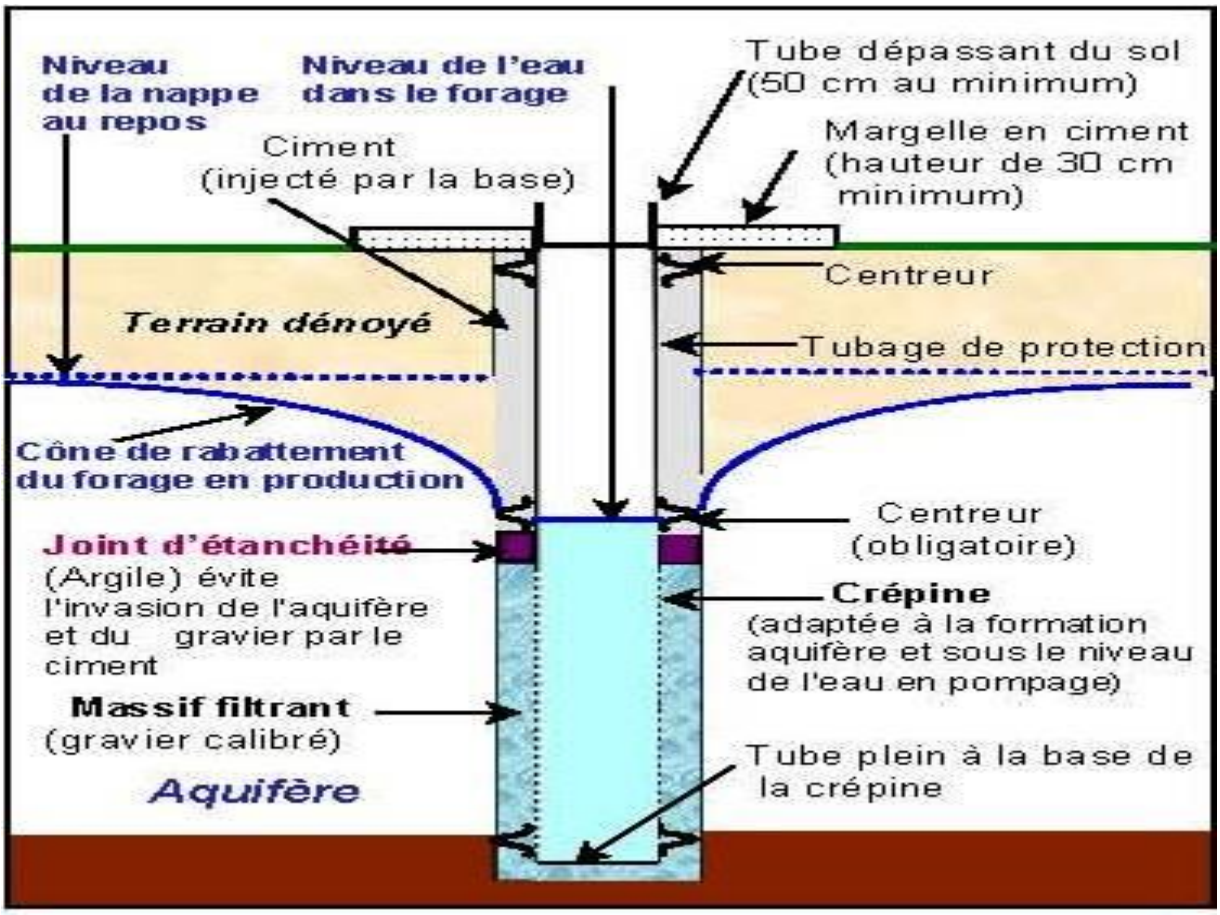


Figure 20 : forage d'exploitation (BRGM, Des forages de qualité en région centre).

Le forage vertical permet de forer le puits à l'aplomb vertical de la zone du gisement où l'aquifère est susceptible d'être présent dans le sous-sol.

3 . Techniques de forage

Un forage peut être effectué en employant diverses méthodes. L'entreprise de forage est chargée de mettre en œuvre les techniques de forage adaptées aux conditions des terrains rencontrés. Le choix technique dépend de plusieurs paramètres :

- Les caractéristiques géologiques des terrains (roches dures et massives, roches tendres et friables…)
- La profondeur à atteindre.
- Le diamètre souhaité du forage.

On peut notamment distinguer les techniques suivantes : le marteau fond de trou, odex, rotary, battage et havage.

3.1 . Marteau fond trou

Cette méthode de forage utilise la percussion assortie d'une poussée sur l'outil qui se trouve lui-même en rotation. L'énergie utilisée pour actionner cet outillage est l'air comprimé à haute pression (10 à 25 bars). C'est une méthode adaptée pour la recherche hydrogéologique en terrains durs.

3.2 . Odex

Identique à la technique marteau fond de trou avec tubage à l'avancement. Cette méthode permet de forer dans un contexte géologique peu stable.

3.3 . Battage

Cette méthode consiste à soulever un outil lourd (trépan) et à le laisser retomber sur le terrain à traverser. La hauteur et la fréquence de chute varient selon la dureté des formations. Ce procédé est simple et relativement peu coûteux, bien adapté aux terrains fissurés, mais la vitesse d'avancement est faible. La méthode est peu adaptée pour les terrains peu stables ou plastiques.

3.4 . Havage

Plus connue sous le nom de procédé Benoto, dans ce type de forage par curage ou havage, les tubes pénètrent dans la formation sous l'effet de leur propre poids ou sous l'action de vérins hydrauliques. Une benne « preneuse » vide progressivement l'intérieur du tubage tant que celui-ci se trouve au-dessus du niveau statique. En-dessous du niveau statique, l'emploi d'une soupape est recommandé. Cette méthode est adaptée pour des ouvrages de gros diamètre en terrains alluvionnaires (formations meubles).

3.5 . Rotary

Cette méthode utilise un outil (trépan) monté au bout d'un train de tiges vissées les unes aux autres, animé d'un mouvement de rotation de vitesse variable et d'un mouvement de translation verticale sous l'effet d'une partie du poids du train de tiges ou d'une pression hydraulique. La profondeur de forage peut être très importante, par ailleurs la foration n'est pas perturbée par les terrains peu stables ou plastiques comme argiles.

Dans le cas de notre forage F8 Ouled Moussa, cette technique est la plus indiquée.

4 . Etude et travail au laboratoire

Avant d'aller sur le terrain, il faut faire une étude sur les caractéristiques géologiques et hydrogéologique du site pour bien choisir le lieu d'implantation du forage.

4.1 . Cartographie

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

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

4.2 . Cartes hydrogéologiques

Les données obtenues par les études géologiques et structurales conduisent à la réalisation des cartes et coupes hydrogéologiques. Ces coupes hydrogéologiques sont élaborées par la superposition sur des coupes géologiques, des données de l'écoulement souterrain (la surface piézométrique, la surface d'alimentation directe ou indirecte, le drainage et les pertes en surface et en profondeur).

4.3 . Cartes structurales

Les cartes structurales dont leur but est de présenter les formations perméables (réservoir), sont élaborées par la synthèse des données géologiques, des conditions aux limites et des paramètres hydrodynamiques (perméabilité, vitesse, gradient hydraulique). Ce type de cartes permet d'établir la carte hydro-isohypse (piézométrique), la carte isobathe (profondeur), et la carte isopaches (épaisseur de l'aquifère).

5 . Installation du chantier de forage

L'organisation du chantier de forage doit permettre au foreur d'intervenir rapidement en cas de problème. Les précautions à prendre doivent conduire à déterminer :

- Un périmètre de sécurité autour du chantier.
- Le bon choix du site de forage.
- Un approvisionnement en eau (citernes).
- Une zone de déblais.
- L'emplacement et le creusage des fosses à boue.
- Le positionnement du compresseur de façon à ce qu'il ne reçoive pas la poussière de forage.

L'ouvrage doit respecter les distances minimales vis-à-vis d'éventuelles pollutions comme préconisé dans la réglementation en vigueur (figure 21).

Il doit également tenir compte des orientations, restrictions ou interdictions applicables à la zone concernée, en particulier lorsqu'il s'agit d'une zone d'expansion de crues et d'une zone où existent :

- Un schéma d'aménagement et de gestion des eaux.
- Un plan de prévention des risques naturels.
- Un périmètre de protection lié à un prélèvement d'eau destiné à la consommation humaine (déclaré d'utilité publique par arrêté de wilaya ou simplement proposé par l'avis d'un hydrogéologue agréé) ou un périmètre de protection des sources d'eau minérale naturelle.
- Un périmètre de protection des stockages souterrains de gaz, d'hydrocarbures ou de produits chimiques.

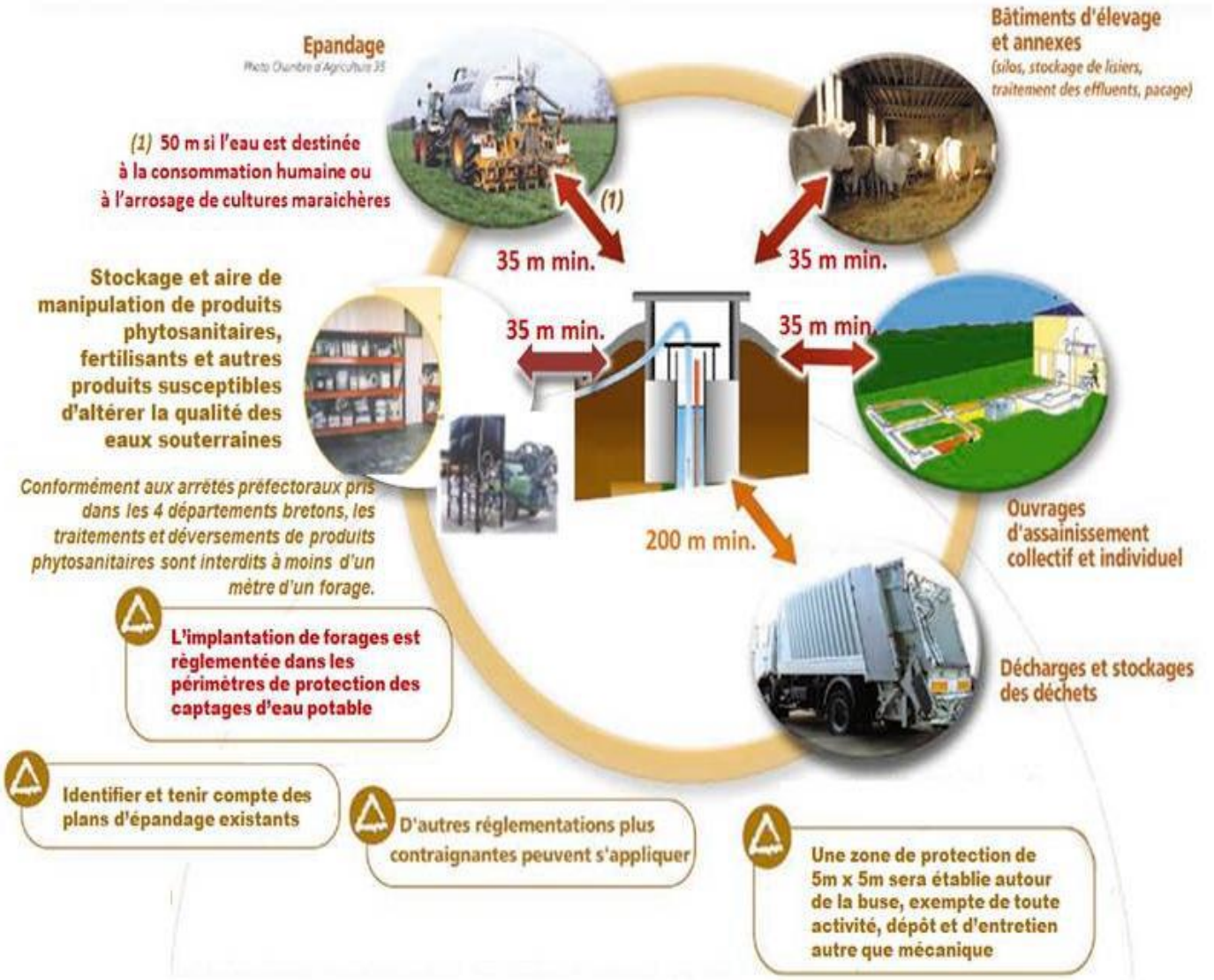


Figure 21 : critères d'implantation d'un forage d'eau (BRGM, 2012).

6 . Le forage F8 Ouled Moussa

6.1 . Forage rotary : description de la machine

Le rotary est une méthode de rotation et broyage. Les déblais de forage sont amenés à la surface par la circulation de fluide de forage (boue de forage) dans l'espace annulaire entre le sol et le train de tige. La technique est relativement moderne dont sa première utilisation remonte à 1920.

Cette méthode est particulièrement adaptée aux terrains sédimentaires non consolidés pour les machines légères, mais une machine puissante peut fonctionner dans les terrains durs.

Par rapport à d'autres techniques cette méthode est plus rapide, efficace et plus économique.

Le train de tiges est entrainé en rotation et l'outil (trépan) broie la roche. Les déblais sont remontés par la boue, en générale à la bentonite, qui sert en même temps de lubrifiant et de refroidisseur de l'outil (figure 22).

Les avantages du forage au rotary

- La perméabilité de la formation autour du trou est peu perturbée par le fluide de forage ;
- Les forages de grands diamètres sont exécutés rapidement et économiquement ;
- La mise en place du tubage ne se fait pas pendant la foration ;
- La facilité de la mise en place de la crépine ;
- Bons rendements dans les terrains tendres ;
- Consommation économique de l'énergie ;

Les inconvénients du forage au rotary

- La technique nécessite un volume d'eau important ;
- La technique nécessite un fluide de forage qui empêche l´observation directe de la qualité des eaux des formations traversées ;
- La possibilité de colmatage des formations aquifères par utilisation de certaines boues en particulier lors de l'utilisation de la bentonite.

Le forage au rotary se compose de 3 systèmes majeurs :

- Système de rotation ;
- Système de circulation ;
- Système de levage ;

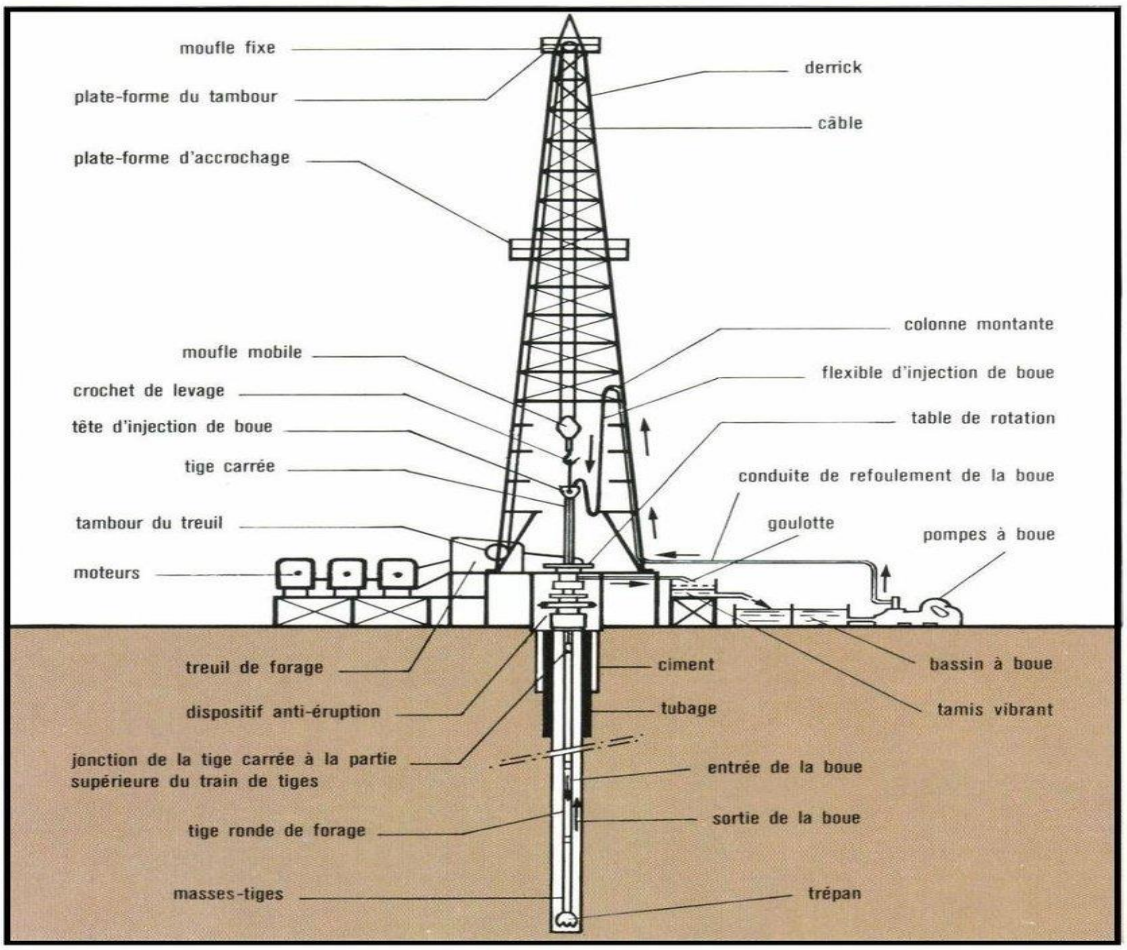


Figure 22 : Les composants d'un appareil du forage Rotary (Bouslsal. B. 2017).

6.1.1 . Système de rotation

Les photos présentées dans cette présentation ont été prise lord des visites du chantier.

A. La table de rotation

La table de rotation (figure 23) est destinée à l'entrainement d'une colonne de forage suspendue verticalement. Elle se compose d'un bâti fixe supportant une partie mobile intérieur reposant sur la partie fixe par l'intermédiaire d'un roulement principal à billes.

Figure 23 : Table de rotation.

B. Les tiges de forage

❖ **Tige d'entrainement**

Il s'agit d'une tige spéciale de section carrée parfois hexagonale. Installée entre la tête d'injection et les tiges de forage transmettant le mouvement de rotation de la table de rotation au train de tige (figure 23).

Figure 24 : Tige carrée.

- **Masse tige**

Le rôle des masses tige est d'éviter aux tiges de travailler en compression pendant le forage. Aussi mettre du poids sur outil (figure25).

Figure 25 : Masse tige.

- **Tige ronde**

Ils sont interposés entre la tige d'entrainement et les masses tiges.

Ce sont des tiges qui descendent le long du forage et qui transmettent le mouvement de rotation à l'outil (Trépan).

Celles-ci permettent aussi le passage de la boue de forage (figue 26).

Figure 26 : Tige de forage.

C. Aléseur

Le rôle de l'aléseur dans le forage est d'agrandir le trou, racler les bords, ou encore compacter le fond du forage (figure 27).

Figure 27: Aléseur.

D. L'outil de forage

Le trépan (figure 28) est entraîné dans son mouvement de rotation au fond de trou par une colonne de tiges creuses vissées les unes aux autres.

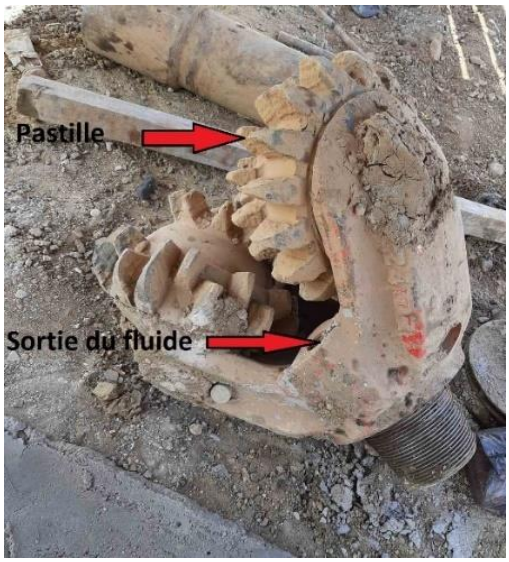


Figure 28 : l'outil de forage.

6.1.2 . Système de circulation

A. La pompe à boue

Le rôle de la pompe à boue est d'assurer l'aspiration de la boue de forage, puis la refouler dans la colonne de refoulement vers le forage (figure 29).

Figure 29 : Pompe à boue.

B. La tête d'injection

La tête d'injection représente un mécanisme qui relie le moufle non tournant à la partie qui tourne au cours du forage ; donc elle appartient autant à l'outillage de circulation de boue qu'à l'outillage de rotation (figure 30). En effet la tête d'injection joue un double rôle dont :

- Elle Permet la circulation de la boue jusqu'au trépan, animé d'un mouvement de rotation.
- Elle supporte le poids de la garniture pendant le forage.

Figure 30 : Tête d'injection.

6.1.3 . Système de lavage

A. Le mât

Il est aussi appelé « derrick », le mât a la particularité d'être articulé à sa base ce qui lui permet d'être assemblé ou démonté horizontalement puis relevé en position verticale en utilisant le treuil de forage et un câble de relevage spécial. Il permet la manœuvre de remontée et de descente du train de sonde (figure 31).

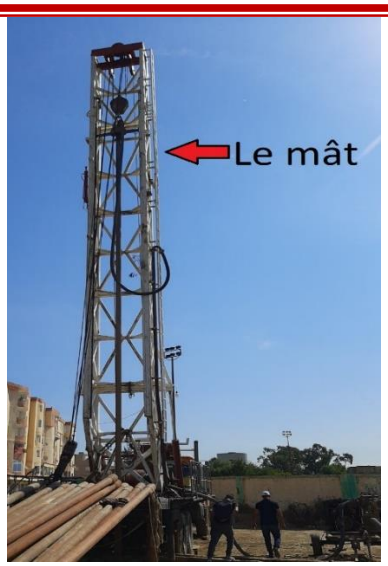


Figure 31 : Photo du mât.

B. Le treuil de forage

C'est le cœur de l'appareil de forage. En effet c'est la capacité du treuil qui caractérise un appareil de forage et indique la classe des profondeurs de forages que l'on pourra effectuer (figure 32).

Figure 32 : Treuil de forage.

C. Le câble

Les câbles utilisés sur l'installation de sondage sont des câbles en acier 18mm mais dont l'âme peut parfois être en chanvre. Autour de l'âme sont enroulés des torons, chacun de ces torons étant composés d'un certain nombre de fils d'acier (figure 33).

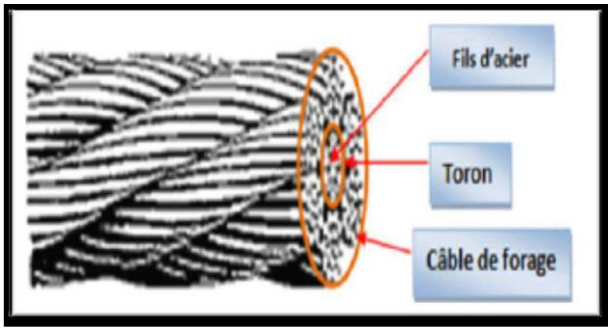


Figure 33 : Câble de forage (Séridi n, 2017).

D. Le mouflage

Le mouflage est l'enroulement du câble de forage entre les poulies des moufles fixe et mobile en plusieurs brins. Le mouflage permet de démultiplier le poids de la garniture du forage et diminuer la vitesse de son déplacement. En négligeant les frottements, la charge au crochet est divisée par le nombre de brin.

❖ ***Le moufle fixe***

Le moufle fixe a des poulies alignées sur le même axe. Cet axe est supporté à cette extrémité par deux paliers montés sur des poutrelles fixées au sommet du mât. L'axe du moufle fixe est perforé pour permettre le graissage des différents roulements des poulies (figure 34).

❖ ***Le moufle mobil***

Il est en général dit intégré c.à.d. que l'ensemble des poulies et du crochet sont assemblés d'une manière compacte. Le moufle mobile comporte une poulie de moins que le moufle fixe correspondant dont une poulie du moufle fixe est attachée au treuil (figure 34).

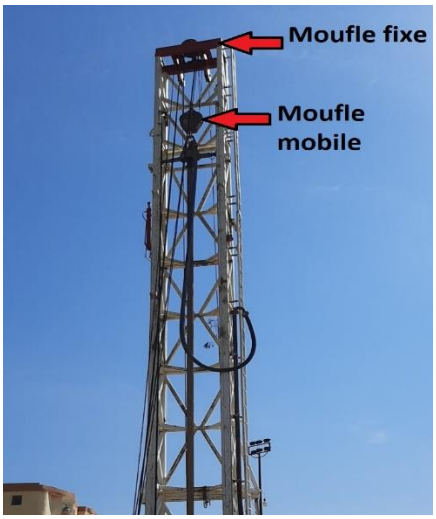


Figure 34 : Moufle fixe et moufle mobile.

6.2 . Réalisation et suivi du forage F8 Ouled Moussa

6.2.1 . Travaux de surface

- Terrassement et aménagement de la plateforme.
- Réalisations des fosses à boue et rigoles :

Les fosses à boue constituent une réserve de fluide de forage (la boue) et permettent son recyclage par décantation. Elles se forment d'une fosse de décantation, d'une fosse de pompage et de rigoles (figure 35).

Le rôle de rigole est le prélèvement des échantillons. L'analyse des cuttings prélevés permet d'établir la courbe granulométrique pour définir les caractéristiques des crépines et du gravier additionnel.

Figure 35 : Bassin de boue.

6.2.2 . Avant puits et tube guide

L'avant puits est exécuté avec un diamètre de 26'' (figure 36) et équipé par un tube en acier de 24'' de diamètre (figure 37). Ce dernier, réalisé en tôle noire roulée et soudée (TNRS), assure la stabilité et la verticalité du forage. L'espace annulaire entre le tube guide et le forage est cimenté. Dans le cas du forage F8 Ouled Moussa, la profondeur de l'avant-puits est de 10 m.

Figure 36 : Foration avec le Trépan 26''.

Figure 37 : Tubage en acier de 24'').

6.2.3 . Forage de reconnaissance

Le forage de reconnaissance est un forage de petit diamètre de 12''$_{1/4}$(outil 12''$_{1/4}$) sur une profondeur de 152 m (figure 38) dont sa réalisation et équipement est similaire à ceux des forages d'exploitation. Il permet de vérifier les hypothèses émises et apportent des informations indispensables ; investigation, prélèvement d'échantillons de sol (cuttings) tous les 1 m, comprenant un totale de 152 échantillons (figure 39). Comme il permet d'effectuer les diagraphies. Ce travail permet aussi de déterminer le niveau des aquifères potentiels. En effet, la poursuite des travaux de foration tributaire des résultats obtenus lors du forage de reconnaissance.

L'analyse des échantillons récupérés lors des travaux du forage de reconnaissance ainsi que nos observations lors de cette première étape du forage a conduit à l'établissement d'une coupe lithologique qui montre les différentes formations rencontrées sur les 152 m traversées (figure 38).

Figure 38 : Trépan 12''$_{1/4}$.

Figure 39 : Cuttings.

6.2.4 . La diagraphie

On appelle diagraphie tout enregistrement en fonction de la profondeur, d'une caractéristique d'une formation géologique traversée par un sondage.

Elle consiste à utiliser différents dispositifs d'électrodes afin de mesurer des résistivités directement dans le trou de forage. Elle est réalisée juste à la fin de la foration de reconnaissance

pour permettre de localiser avec grande précision les zones productrices d'eau et donc définir la position optimale des crépines.

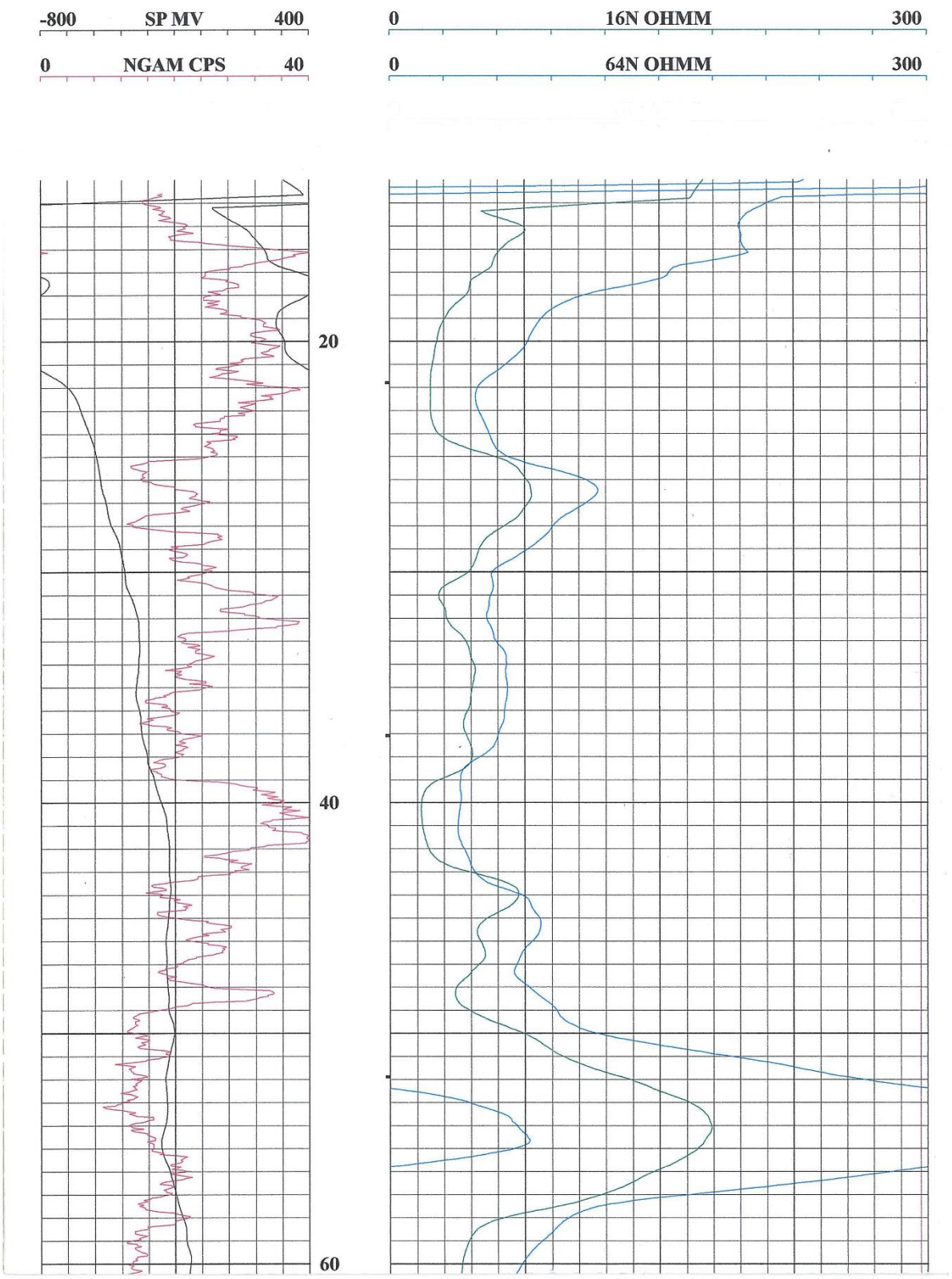
Dans le forage F8 Ouled Moussa, l'entreprise SARL DIALOG HYDRO-GEO SERVICE a réalisé un levé diagraphique le 20 avril 2021 à l'aide d'une sonde multiparamétrique (figure 40 a et b), qui était connectée à un câble installé sur un treuil (figure 40 c). On a utilisé deux logiciels pour traiter les mesures des paramètres suivant (figure 40 d) : la profondeur, la résistivité, le rayonnement gamma ou Gamma ray (GR), la polarisation spontanée, et le diamètre du forage. L'enregistrement a été effectué du fond du forage vers la surface du sol. Le résultat obtenu est montré dans (figure 41).

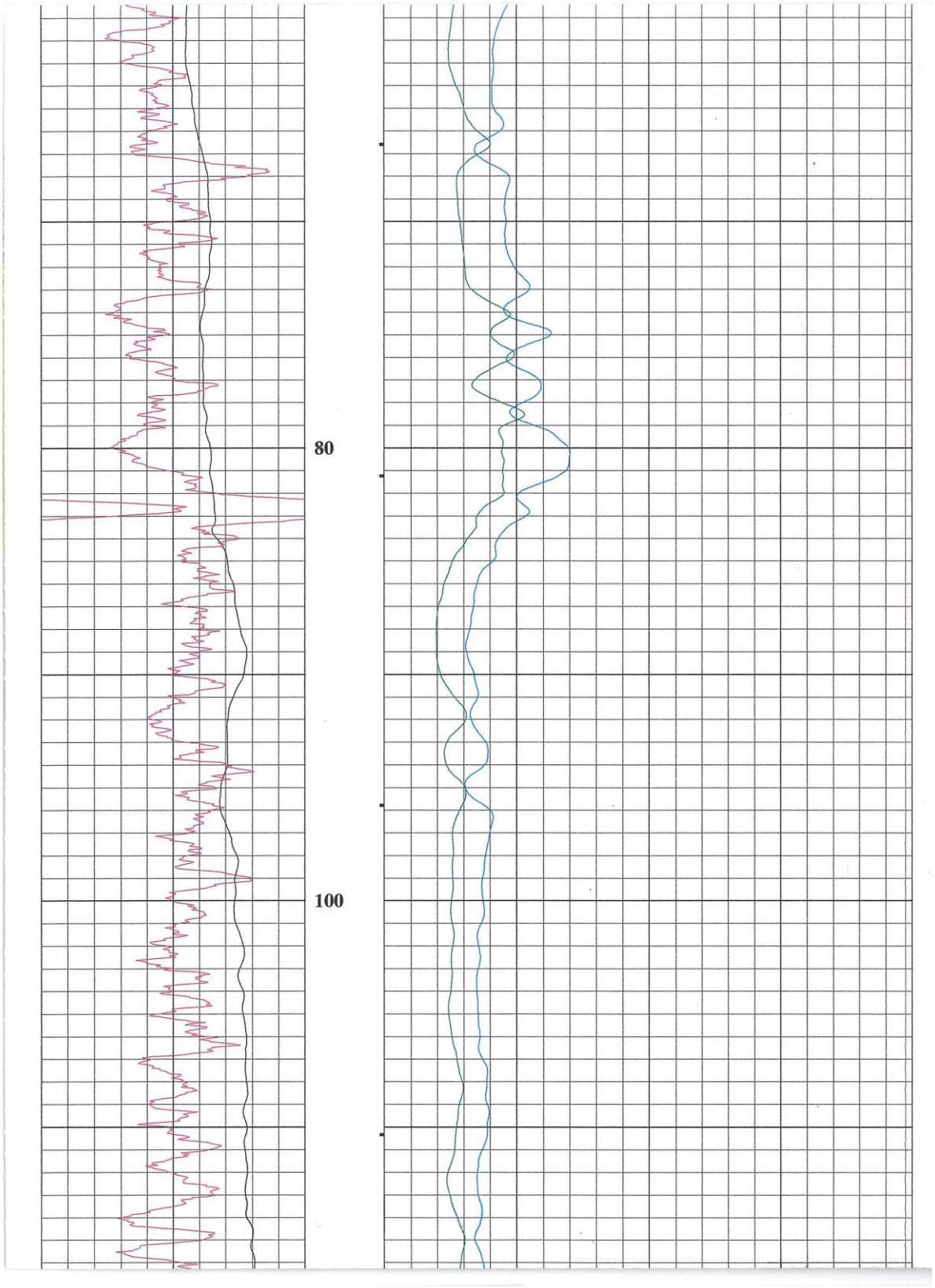
Figure 40 : Matériel de diagraphie.

Company Name	DIALOG HGS
Client Name	Halim Chbabeb
Services	Caliper Gamma

Client	EFTH ARBIA	Other Services	ELOG 16N 64N SP
Well Name	F8 Ouled Moussa	Log Datum	GL
Field	Boumerdes	Drill Datum	GL
Country	Algerie	Perm Datum	GL
Latitude	36° 41' 3.11" N	Elevation	45 m
Longitude	03° 17' 48.92" E		

Date	20/04/2021	Rig Operator	
Run #	2	Logging Engineer	A.Chenak
Type Of Log	Caliper Gamma	Logging Unit	GEOVISTA
Depth Driller	152 m	Witness	
Depth Logger	151 m		
Fluid In Hole		Comments	
Salinity			
Density		Echelle	1/200
Fluid Level			
Maximum Temp.			


-800
SP MV
400
0
NGAM CPS
40
0
16N OHMM
300
0
64N OHMM
300
20
40
60


80
100

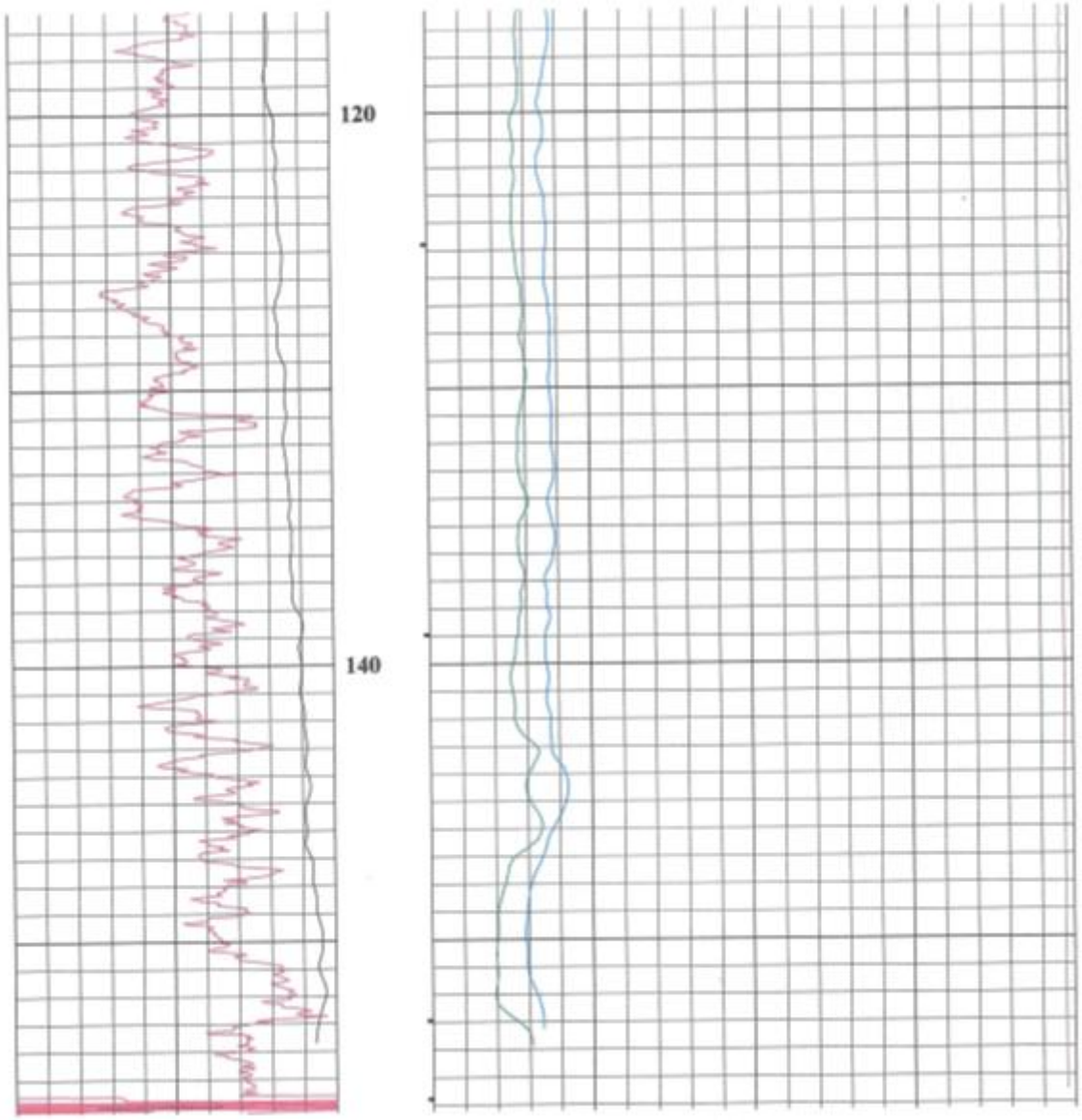


Figure 41 : Enregistrement de diagraphie.

A. Gamma ray (GR)

Les rayons gamma mesurent la teneur des roches en argile. On rappelle que les argiles sons riches en éléments radioactifs.

D'après le graphe du gamma ray, on distingue six (6) zones :

- **Zone 1 : De 10 à 25 m**

Gamma ray est élevé. Qui signifie une couche imperméable chargée plus en éléments radioactifs, soit par exemple des argiles.

- **Zone 2 : De 25 à 30 m**

Les valeurs de gamma ray varient entre 12 et 28 CPS. Formation hétérogène, soit un semi-perméable, contenant probablement de l'eau.

- **Zone3 : De 30 à 50 m**

En remarque que les valeurs de gamme ray sont élevés (40 CPS) (formation imperméable), soit par exemple des Argiles avec intercalation de matériau perméable.

- **Zone 4 : De 50 à 55,4 m**

On relève une baisse de la valeur du gamma ray (12 CPS) et l'augmentation des valeurs des deux résistivités (PN16 et GN64) ce qui traduit l'existence d'un aquifère franc.

- **Zone 5 : De 55,4 à 81**

Les valeurs de gamma ray varient entre 10 et 34 CPS. Formation hétérogène, soit un semi-perméable, contenant probablement de l'eau.

- **Zone 6 : De 81 à 151**

Formation imperméable chargée plus en éléments radioactifs, soit par exemple des argiles.

B. Résistivité : Petite et grande normale

La résistivité d'un matériau représente sa capacité à s'opposer à la circulation du courant électriques elle est exprimée en (ohm.m).

- **Zone 1(10 à 49 m)**

On remarque que la résistivité de la GN (64'') et PN (16'') marque une moyenne valeur dans cette zone entre (20 et 115 ohm.m), ce qui signifie une infiltration car le terrain est perméable (figure 40).

- **Zone 2 (49 à 58 m)**

On remarque que la résistivité de la GN (64'') et PN (16'') marque une valeur élevée dans cette zone entre (20 et plus de 300 ohm.m), ce qui signifie une infiltration importante car le terrain d'une aquifère (figure 40).

- **Zone 3 (58 à 84 m)**

On remarque que la résistivité de la GN (64'') et PN (16'') diminué dans cette zone entre (40 et 115 ohm.m).

6.2.5 . Elargissement et alésage

Cette opération est effectuée après l'interprétation des résultats des enregistrements diagraphiques et l'analyse des cuttings.

L'élargissement est réalisé avec un outil de 17''$_{1/20}$ (figure 42).

Figure 42 : Elargissement avec le trépan 17''$_{1/20}$.

6.2.6 . Tubage

Le rôle du tubage est le soutènement de talus cylindrique du trou de forage contre la poussée de terre ainsi que pour éviter les risques d'effondrement dans le trou du forage (les poussées sont proportionnelles avec la profondeur du forage). Il est recommandé de placer le tubage le plus rapidement possible après l'opération d'élargissement du trou de forage. Dans le cas du F8 OM, le tubage a été effectué en PVC 13''$^{3/8}$ (figure 43).

Figure 43 : Opération de tubage.

Le choix de cette matière revient essentiellement à rapport prix/qualité offert pour des profondeurs relativement faibles. Le tubage est composé d'éléments de 4 m de longueur filetés les uns aux autres. En face des niveaux contenant de l'eau, un élément crépine est introduit. Les crépines sont des ouvertures fines. Leur rôle est d'éviter l'entrée de sables et des éléments fins

de l'aquifère à l'intérieur de la colonne afin de ne pas être aspirés par la pompe, car ils constituent un grand risque pour cette dernière (corrosion, usure).

Le tube crépinée doit être placée dans une position où les caractéristiques hydrauliques sont les meilleures (figure 43). Pour choisir cette position, on doit se baser sur :

- Les diagraphies instantanées.
- L'analyse granulométrique des échantillons prélevés lors de la reconnaissance.

La figure 44 montre le programme de mise en place du tubage (tubes plein et tubes crépinée).

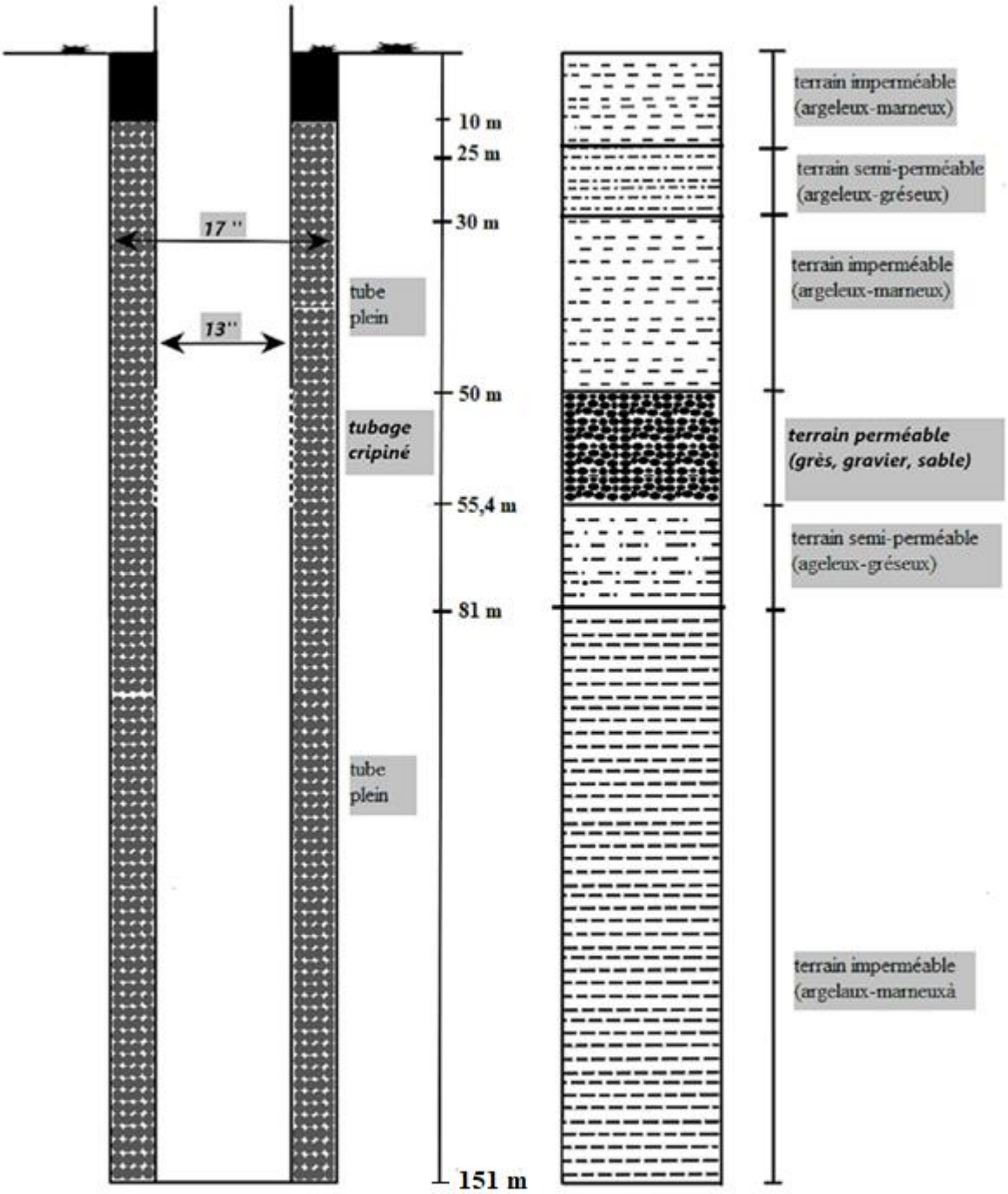


Figure 44 : Programme de tubage du forage F8 Ouled Moussa.

6.2.7 . Massif filtrant

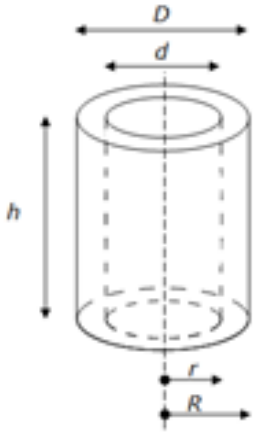
Le massif filtrant est mis en place juste après l'opération de tubage. Le rôle du gravier additionnel est :

- D'augmenter les débits d'exploitation.
- Éviter le risque d'érosion en évitant l'entrée des sables fins.

Le massif filtrant est défini par la granulométrie de la formation et par l'ouverture de la crépine. Il doit être uniforme, propre, calibré et siliceux. Il est mis dans l'espace annulaire entre le tubage et la paroi du forage. Une remontée de boue par le tube de forage indique une descente correcte du gravier. Lorsque le niveau du gravier atteint un niveau plus haut que les crépines, la boue ne remonte pas par le tube mais par l'espace annulaire. Le massif de gravier doit alors dépasser le haut des crépines sur quelques mètres. Les 10 premiers mètres ne seront pas remplis avec du gravies car ils doivent être cimentés.

En considérant les rayons du cylindre creux R et r plutôt que ses diamètres D et d, le volume nécessaire du gravier défini est de la manière empirique suivante

$$A = \pi\, h\, (R^2 - r^2)$$



Où

A : volume du gravier en litre.

h : hauteur du massif de gravier en m.

D : diamètre du trou en pouces.

d: diamètre des tubes en pouces.

Dans le cas du F8 OM, on a introduit un volume de massif filtrant de 9,655 m^3 (h = 141 m (les 10 premiers mètres seront cimentés), D = 17'', d = 13'' R = 0,2159 m et r = 0,1575 m).

6.2.8 . Cimentation

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

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

Le dosage de laitier de ciment est d'environ 50 l d'eau pour 100 kg de ciment.

Une opération de cimentation du vide annulaire a été effectuée dans le F8 OM su une hauteur de 10 m.

6.2.9 . Développement du forage

Le développement peut réparer les dommages que le processus de forage a causés à l'aquifère adjacent, développer l'aquifère (accroitre la transmissivité) et améliorer le rendement du forage.

Le développement se fait à l'aide d'un dispersants (hexamétaphosphate), de l'acide, d'un nettoyage mécanique et d'un compresseur par air lift.

6.2.10 . Les essais de pompage

L'essai de pompage consiste à abaisser par pompage la surface piézométrique de la nappe et à mesurer, en fonction du temps, les variations du niveau de cette surface ainsi que le débit pompé.

L'essai de pompage par palier permet de déterminer les caractéristiques de l'ouvrage (débit d'exploitation), cependant, l'essai de longue durée est réalisé pour estimer les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe captée par l'ouvrage d'essai (transmissivité et coefficient d'emmagasinement).

La réalisation de cette opération nécessite une pompe électrique immergée, un débitmètre pour contrôler le débit de pompage, tuyauterie pour évacuer l'eau loin du forage.

On a procédé en deux étapes à un essai de pompage par paliers et un essai de pompage de longue durée.

A. Essai de pompage par paliers :

Il s'effectue en réalisant des paliers de débit constant pendant une courte durée. On mesure le rabattement de chaque palier ainsi que le débit. Chaque palier est suivi par un arrêt d'une durée égale celle du pompage, permettant la remontée du niveau d'eau. Les tableaux ci-dessous récapitulent les résultats de l'essai de pompage par paliers du forage (Ns = 44 m).

Tableau 9 : Essai de pompage : premier palier à Q_1 = 36 m^3/h.

Temps	T(s)	Q_1= 36m^3/h			
		Descente	Rabattement(m)	Remonté	Rabattement(m)
1	60	47,50	3 ,5	47,25	3,25
2	120	47,55	3,55	45,85	1,85
3	180	47,57	3.57	45,83	1,83
5	300	47,59	3,59	45,80	1,80
7	420	47,60	3,60	45,73	1,73
10	600	47,61	3,61	45,65	1,65
12	720	47,65	3,65	45,60	1,60
15	900	47,71	3,71	45,56	1,56
20	1200	47,80	3,80	45,52	1,52
25	1500	47,89	3,89	45,49	1,49
30	1800	47,98	3,98	45,48	1,48
35	2100	48,05	4,05	45,54	1,54
40	2400	48,10	4,10	45,55	1,55
50	3000	48,15	4,15	45,53	1,53
60	3600	48,20	4,20	45,53	1,53
80	4800	48,40	4,40	45,53	1,53
100	6000	48,41	4,41	45,54	1,54
120	7200	48,50	4,50	45,53	1,53
150	9000	48,52	4,52	45,51	1,51
180	10800	48,55	4,55	45,52	1,52

Tableau 10 : Essai de pompage : deuxième palier à Q_2 = 72 m^3/h.

Temps	**T(s)**	**Q_2 =72 m^3/h**			
		Descente	**Rabattement(m)**	**Remonté**	**Rabattement(m)**
1	60	51,50	7,50	49,00	5
2	120	51,91	7,91	47,23	3,23
3	180	52,20	8,20	47,24	3,24
5	300	52,45	8,45	47,26	3,26
7	420	52,62	8,62	47,09	3,09
10	600	52,80	8,80	46,94	2,94
12	720	52,85	8,85	46,87	2,87
15	900	52,92	8,92	46,74	2,74
20	1200	53,05	9,05	46,60	2,60
25	1500	53,12	9,12	46,47	2,47
30	1800	53,26	9,26	46,39	2,39
35	2100	53,33	9,33	46,26	2,26
40	2400	53,37	9,37	46,16	2,16
50	3000	53,38	9,38	46,04	2,04
60	3600	53,40	9,40	46,02	2,02
80	4800	53,30	9,30	45,99	1,99
100	6000	53,47	9,47	45,92	1,92
120	7200	53,64	9,64	45,85	1,85
150	9000	53,85	9,85	45,78	1,78
180	10800	54,04	10,04	45,71	1,71

Tableau 11 : Essai de pompage : troisième palier à Q_3 = 90 m^3/h.

Temps	**T(s)**	**Q_3= 90 m^3/h**			
		Descente	**Rabattement(m)**	**Remonté**	**Rabattement(m)**
1	60	52,83	8,83	48,00	4
2	120	54,93	10,93	47,25	3,25
3	180	55,90	11,90	47,65	3,65
5	300	56,40	12,40	47,27	3,27
7	420	56,77	12,77	47,12	3,12
10	600	57,00	13,00	46,98	2,98
12	720	57,17	13,17	46,88	2,88
15	900	57,45	13,45	46,75	2,75
20	1200	57,40	13,40	46,56	2,56
25	1500	57,49	13,49	46,40	2,40
30	1800	57,52	13,52	46,28	2,28
35	2100	57,57	13,57	46,13	2,13
40	2400	57,68	13,68	46,08	2,08
50	3000	57,78	13,78	46,06	2,06
60	3600	57,86	13,86	46,01	2,01
80	4800	57,70	13,70	45,97	1,97
100	6000	57,62	13,62	45,89	1,89
120	7200	57,67	13,67	45,83	1,83
150	9000	57,60	13,60	45,73	1,73
180	10800	57,44	13,44	45,65	1,65

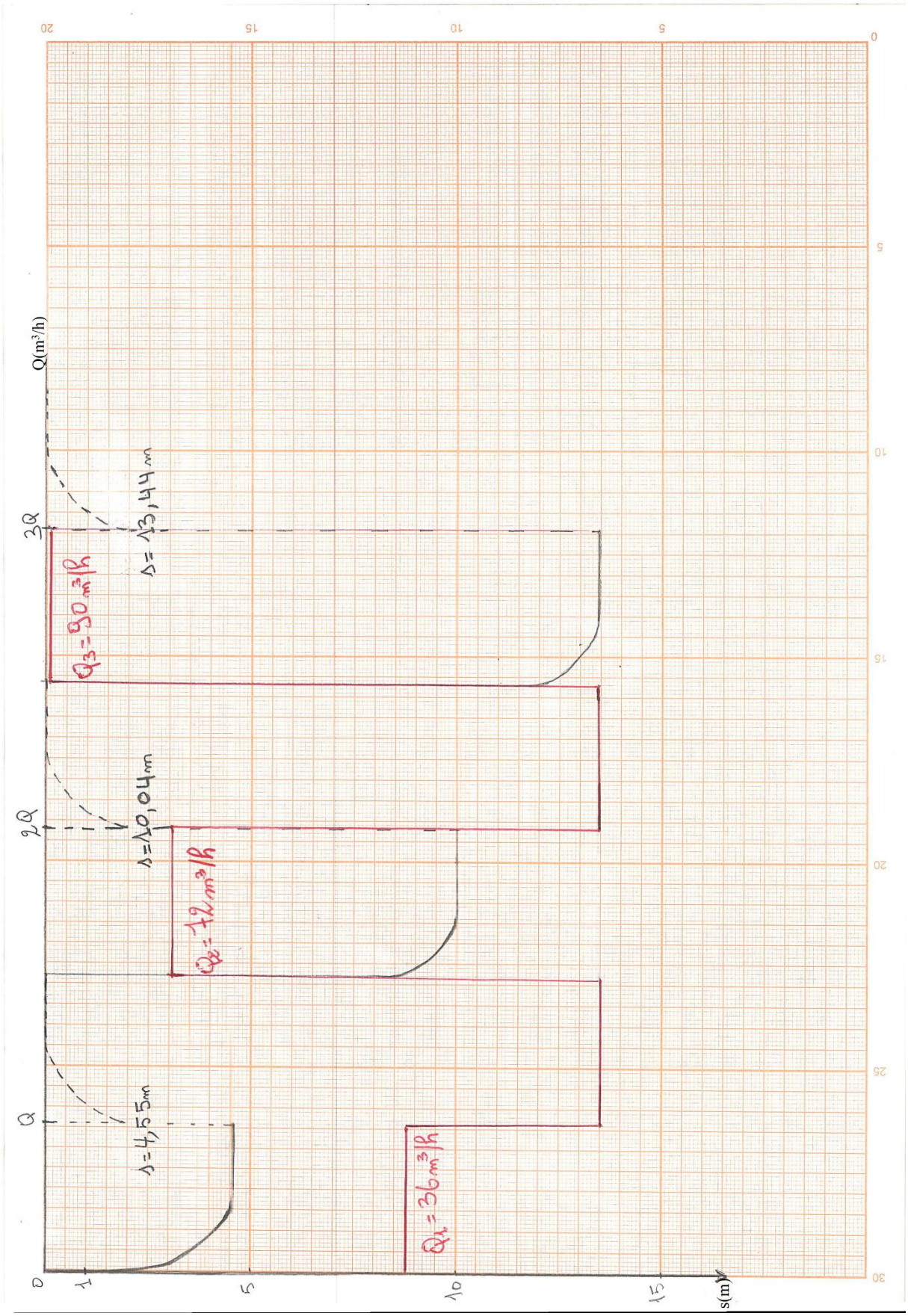


Figure 45 : Graphe représentatif de la descente et la remonté des trois paliers de pompage.

Les résultats de l'essai de pompage par palier du forage F8 OM sont récapitulés dans le tableau suivant.

Tableau 12 : Mesures effectuées lors de l'essai de pompage par palier.

Palier	Débits Q (m^3/h)	Rabattements s (m)	s/Q ($m/m^3/h$)
1	36	4,55	0,126
2	72	10,04	0,139
3	90	13,44	0,149

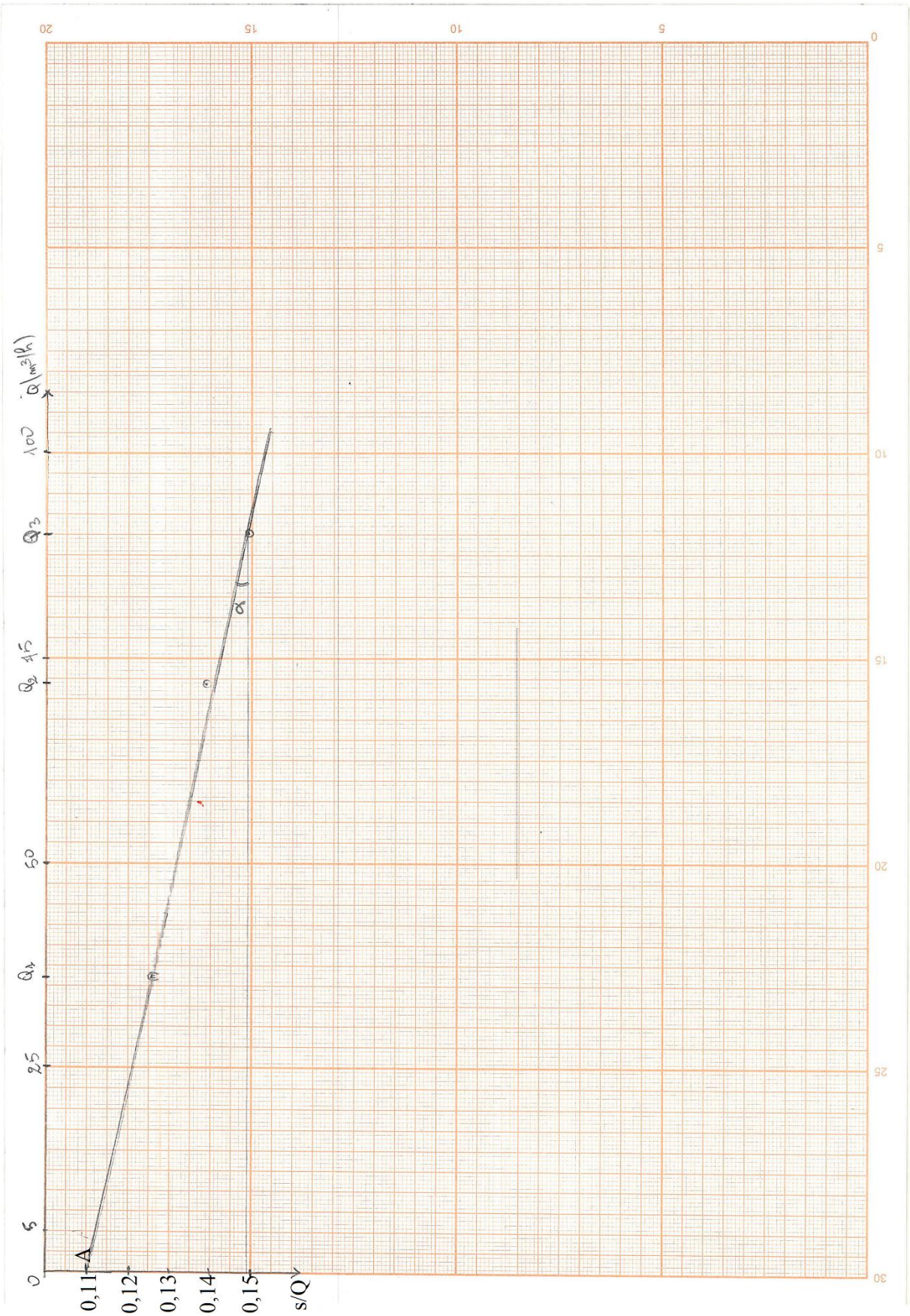


Figure 46 : Graphe représentative de la droite des pertes de charge.

$s = AQ + BQ^2$

Sur le graphe (figure 46) ;

$A = 0{,}11\ m/(m^3/h)$

$B = tg\ \alpha$

$B = 4{,}33.10^{-4}\ m/(m^3/h)$

Donc : $s = 0{,}11\ Q + 4{,}33.10^{-4}\ Q^2$

- **Courbe caractéristique**

La courbe caractéristique du forage consiste à représenter les rabattements mesurés à la fin de chaque palier en fonction du débit de pompage correspondant. Les résultats de l'essai de pompage par paliers ont permis de tracer le graphique montré dans la figure 46. Le débit critique est le débit maximal pour lequel le pompage ne conduit pas à dénoyer la pompe immergée. Ce débit est calculé en écoulement laminaire.

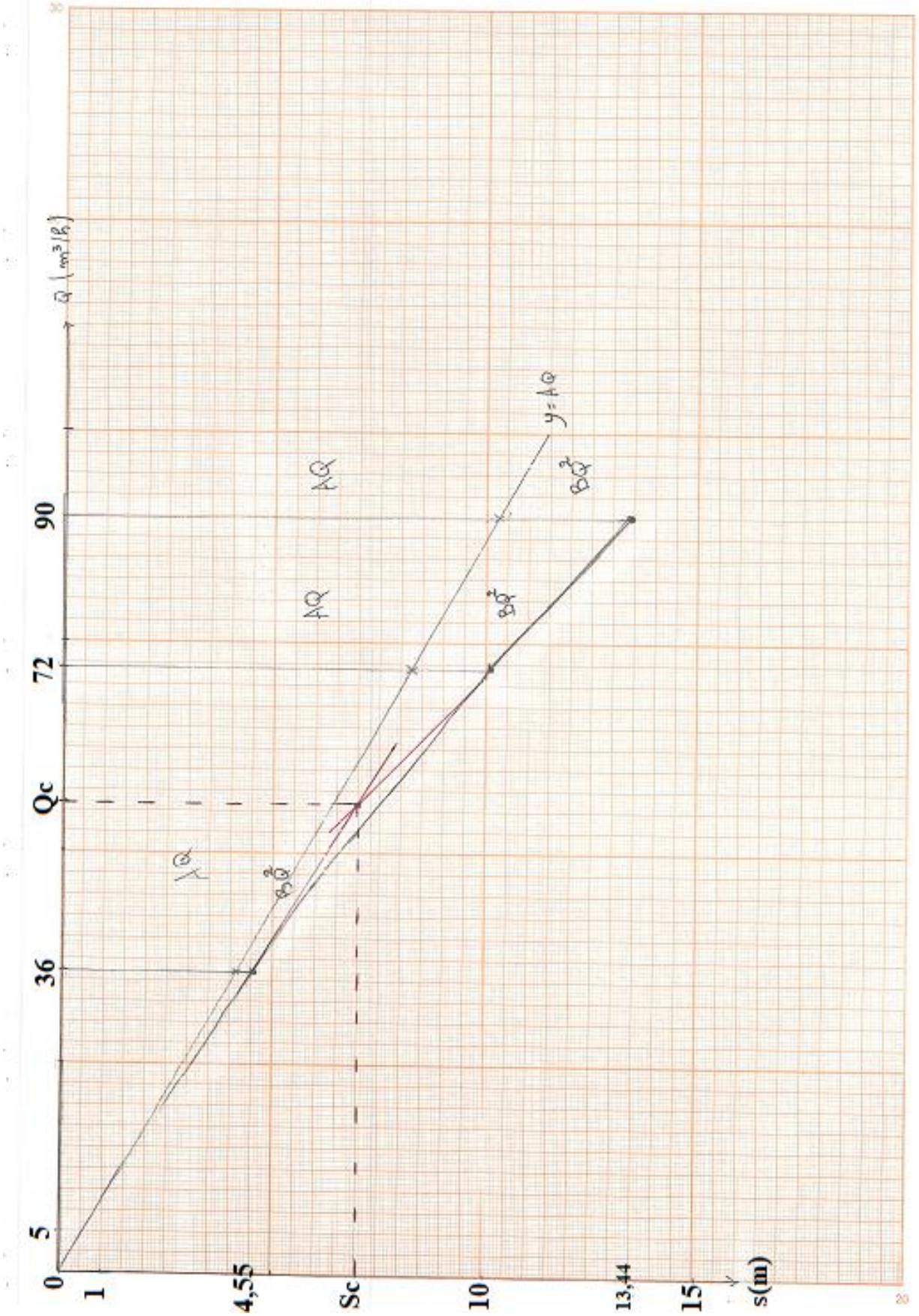


Figure 47 : Courbe caractéristique du forage F8 O.M.

De la figure 47 on lit sur la courbe caractéristique le débit critique Q_c = 56 m ^{3}/h. On constate que le débit d'exploitation du F8 OM ne doit pas dépasser le débit critique.

Par ailleurs, il était souhaitable de réaliser un palier supplémentaire déterminer avec plus de précision le débit critique caractéristique de l'ouvrage.

B. Essai de pompage de longue durée

Ce type d'essais est exécuté à un seul palier de débit constant (Q = 90 m^3/h, Ns= 49,75 m) pendant 24 heures. La remonté du niveau d'eau doit être observée pendant une durée égale, les tableaux suivants montrent les résultats de l'essai de pompage de longue durée.

- **Essai de descente**

Tableau 13 : Essai de pompage de descente.

Date	Heure	Temps de pompage (t)	Temps (s)	Niveau dynamique	Rabattements (m)
03/06/2021	19h30	0	0	49,75	
		1 min	60	61,00	11,25
		2 min	120	61,11	11,36
		3 min	180	61,12	11,37
		4 min	240	61,14	11,39
		5 min	300	61,15	11,40
		6 min	360	61,20	11,45
		7 min	420	61,21	11,46
		8 min	480	61,24	11,49
		9 min	540	61,25	11,50
		10 min	600	61,27	11,52
		15 min	900	61,29	11,54
		20 min	1200	61,31	11,56
		25 min	1500	61,32	11,57
		30 min	1800	61,35	11,60
		40 min	2400	61,37	11,62
		45 min	2700	61,40	11,65
		50 min	3000	61,43	11,68
		55 min	3300	61,45	11,70
	20:30	60 min(1 h)	3600	61,47	11,72
	21:30	2 h	7200	61,51	11,76
	22:30	3 h	10800	61,57	11,82
	23:30	4 h	14400	61,65	11,90
04/06/2021	00:30	5 h	18000	61,67	11,92
	01:30	6 h	21600	61,70	11,95
	02:30	7 h	25200	61,74	11,99
	03:30	8 h	28800	61,75	12,00
	04:30	9 h	32400	61,77	12,02
	05:30	10 h	36000	61,80	12,05
	06:30	11 h	39600	61,83	12,08
	07:30	12 h	43200	61,86	12,11
	08:30	13 h	46800	61,89	12,14
	09:30	14 h	50400	61,92	12,17
	10:30	15 h	54000	61,95	12,20
	11:30	16 h	57600	61,97	12,22
	12:30	17 h	61200	61,99	12,24
	13:30	18 h	64800	62,01	12,26
	14:30	19 h	68400	62,04	12,29
	15:30	20 h	72000	62,07	12,32
	16:30	21 h	75600	62,09	12,34
	17:30	22 h	79200	62,11	12,36
	18:30	23 h	82800	62,14	12,39
	19:30	24 h	86400	62,16	12,41

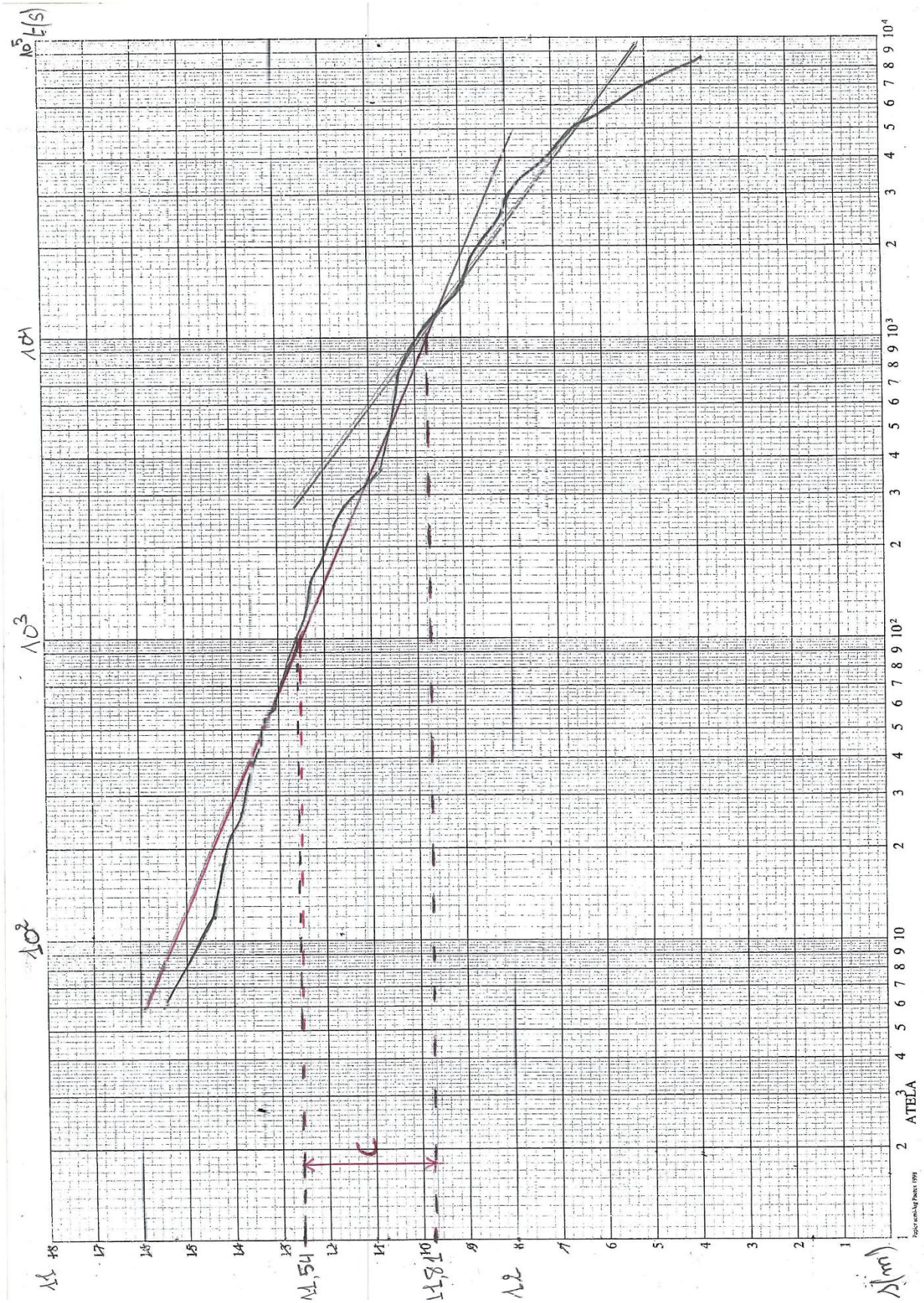


Figure 48 : Courbe représentative de l'essai de la descente.

La courbe de descente (figure 48) montre deux pentes distinctes, l'une moyenne, dans ce cas il y a une alimentation. Et l'autre forte, ceci dû à une limite latérale par une limite étanche (changement de faciès, faille, etc).

Calculs des paramètres hydrodynamiques

Transmissivité (T)

La transmissivité c'est le pouvoir d'un aquifère de transmettre de l'eau sous pression. Elle est exprimée en m^2/s.

Selon Jacob ; $T = 0,183Q/C$ (1)

Avec :

T : Transmissivité ;

Q : Débit de pompage ;

C : la pente calculée par la formule $C = (S_1-S_2) / \text{Log } t_2 - \text{Log } t_1$ à partir du graphe.

Selon le graphique de la figure 44 ;

C= 0,27 m

L'application numérique de la formule (1) donne $T = 1,69.10^{-2}$ m^2/s

Coefficient d'emmagasinement (S)

Le coefficient d'emmagasinement S est le rapport du volume d'eau libéré ou emmagasiné, par unité de surface de l'aquifère en m^2, donné selon Jacob comme suit : $S = 2,25Tt_0/X^2$

Avec :

S : Coefficient d'emmagasinement ;

T : Transmissivité ;

t_0 : Point d'intersection de la droite de Jacob avec l'axe des ordonnées (rabattement) ;

X : la distance entre le piézomètre d'observation et le forage

A défaut d'un piézomètre d'observation, le calcule de S n'est pas possible.

- **Essai de remontée**

La remontée consiste à observer la remontée du niveau d'eau dans le forage**,** après l'arrêt du pompage**,** à la fin d'un essai à débit constant**.** Le tableau suivant présente les résultats de l'essai de pompage de remontée.

Tableau 14 : Essai de pompage du remonté.

Date	Heure	Temps (t)	Temps (s)	Niveau dynamique	Remonté (m)	1+(tp/t')
04/06/2021	19h30	0	0	62,16	12,41	
		1 min	60	58,85	9,1	1441,00
		2 min	120	54,72	4,97	721,00
		3 min	180	51,22	1,47	481,00
		4 min	240	50,63	0,88	361,00
		5 min	300	50,55	0,80	289,00
		6 min	360	50,46	0,71	241,00
		7 min	420	50,42	0,67	206,70
		8 min	480	50,37	0,62	181,00
		9 min	540	50,34	0,59	161,00
		10 min	600	50,29	0,54	145,00
		15 min	900	50,21	0,46	97,00
		20 min	1200	50,17	0,42	73,00
		25 min	1500	50,14	0,39	58 ,60
		30 min	1800	50,12	0,37	49,00
		35 min	2100	50,12	0,37	42,00
		40 min	2400	50,11	0,36	37,00
		50 min	3000	50,11	0,36	29,80
	20:30	60 min (1 h)	3600	50,10	0,35	25,00
		1 h15	4500	50,08	0,33	20,20
		1 h30	5400	50,06	0,31	17,00
	21:30	2 h	7200	50,04	0,29	13,00
		2 h30	9000	50,02	0,27	10,60
	22:30	3 h	10800	50,02	0,27	9,00
	23:30	4 h	14400	50,00	0,25	7,00
05/06/2021	00:30	5 h	18000	50,00	0,25	5,80
	01:30	6 h	21600	49,99	0,24	5,00
	02:30	7 h	25200	49,97	0,22	4,42
	03:30	8 h	28800	49,95	0,20	4,00
	04:30	9 h	32400	49,93	0,18	3,60
	05:30	10 h	36000	49,91	0,16	3,30
	06:30	11 h	39600	49,91	0,16	3,18
	07:30	12 h	43200	49,90	0,15	3,00
	08:30	13 h	46800	49,90	0,15	2,80
	09:30	14 h	50400	49,89	0,14	2,70
	10:30	15 h	54000	49,89	0,14	2,60
	11:30	26 h	57600	49,89	0,14	2,50
	12:30	27 h	61200	49,89	0,14	2,40
	13:30	18 h	64800	49,88	0,13	2,30
	14:30	19 h	68400	49,88	0,13	2,26
	15:30	20 h	72000	49,88	0,13	2,20
	16:30	21 h	75600	49,87	0,12	2,10
	17:30	22 h	79200	49,87	0,12	2,09
	18:30	23 h	82800	49,86	0,11	2,04
	19:30	24 h	86400	49,86	0,11	1,00

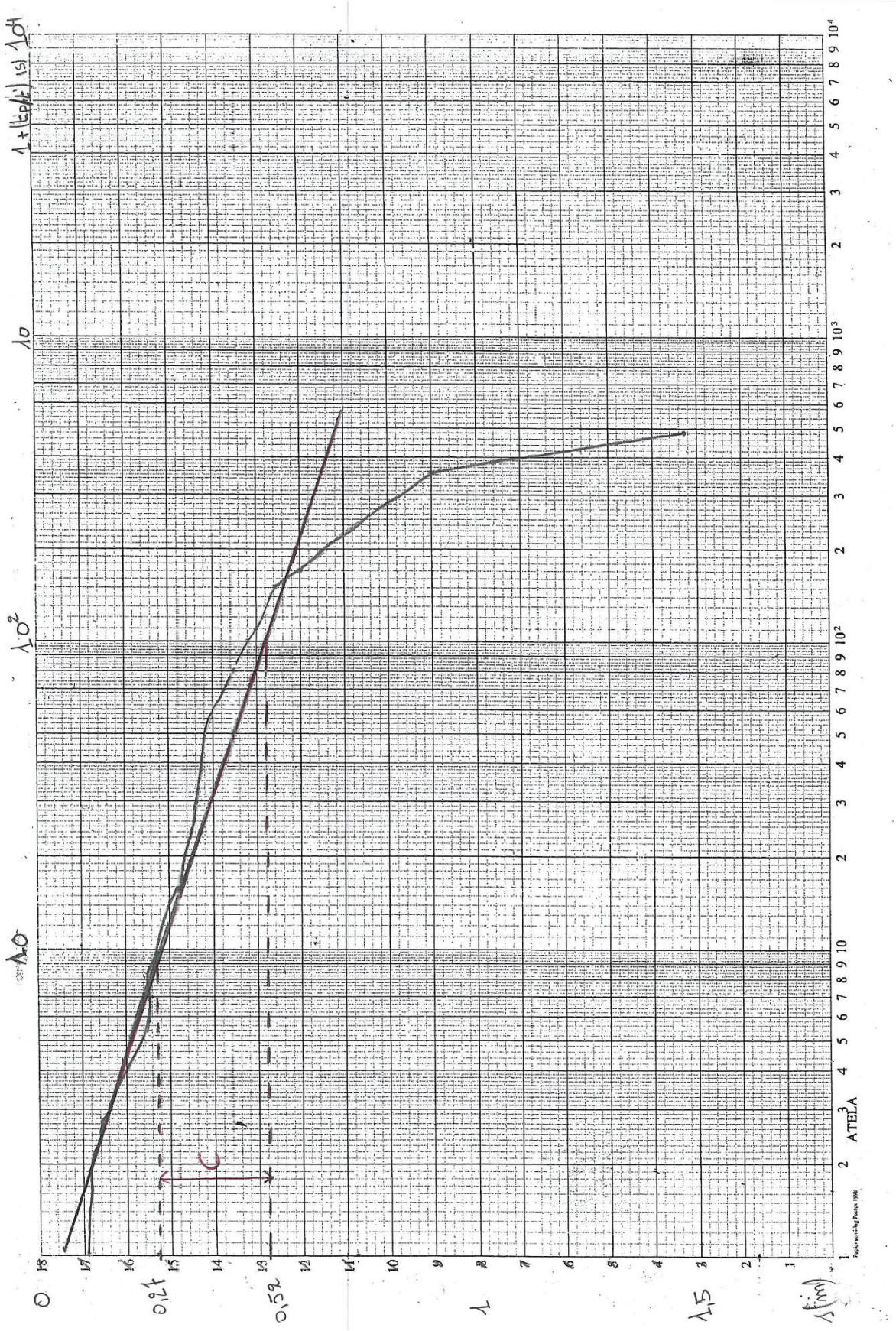


Figure 49 : Courbe représentative de l'essai de la remontée.

De la figure 48 et en la appliquant la formule de Jacob : T = 0,183Q/C.

Pour C = 0,25 m (figure 47), T = $1,83.10^{-2}$ m^2/s.

La valeur de la transmissivité retenue pour caractériser la nappe captée par le F8 OM est la moyenne arithmétique entre les résultats obtenus des essais de descente et de remontée. La transmissivité moyenne est de $1,76.10^{-2}$ m^2/s.

7 . Conclusion

Le rotary est une méthode de rotation et broyage. La machine rotary se compose de 3 systèmes majeurs, le système de rotation, système de circulation, et le système de levage.

Avant tout travail de terrain, les travaux de laboratoire sont nécessaires telle que la prospection géologique et structurale qui sont indispensables pour l'implantation du forage.

Le forage F8 Ouled Moussa a été réalisé par l'entreprise FORAQUA selon la méthode de rotary. Après l'installation du tube guide de 24'' de diamètre, l'entreprise a commencé le forage de reconnaissance à l'aide d'un trépan de 12'' sur une profondeur de 152 m avec un échantillonnage effectué chaque 1 mètre, suivie d'une prospection diagraphique pour identifier les niveaux aquifères. Par la suit, le forage a été élargi à l'aide d'un outil de 17''de diamètre, la phase d'élargissement de l'ouvrage a été suivie par la mise en place du tubage et du massif filtrant. Les tubes crépinés ont été déposé sur une hauteur de 10 m entre les côtes 49 m et 59 m.

Une étape de développement était nécessaire pour nettoyer le forage et procéder aux essais de pompage.

L'essai de pompage par palier a permis de calculer un débit critique égale à 56 m^3/h. par ailleurs, la transmissivité de la nappe a été estimée à $1,76.10^{-2}$ m^2/d selon l'interprétation de l'essai de longue durée.

Conclusion Générale

Ce travail qui a pour objet le suivi de la réalisation d'un forage d'eau dans la commune d'Ouled Moussa qui fait partie, sur le plant hydrogéologique, à la Mitidja orientale, localisée à 32 km au Sud-est d'Alger.

La zone d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen avec une saison humide allant du mois d'octobre au mois de mai avec une précipitation moyenne mensuelle maximale de 638,483 mm enregistré en mois de décembre à la station de Hamiz, et une saison sèche qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois de septembre avec une précipitation moyenne mensuelle minimale de 2 mm mesurée en mois de juillet dans la station de Réghaïa. A l'échelle annuelle, la précipitation moyenne est de 645,7 mm sur la période (1985-2015). Par ailleurs, la température moyenne annuelle est de 17,88 °C observée à Dar El Beida sur la période 1980-2010.

La synthèse géologique et hydrogéologique de la zone d'étude montre trois niveaux importants. Les grès astiens reposent sur un substratum argileux-marneux du plaisancien et les marnes d'El Harrach sus-jacent constituent un niveau semi-perméable. En couverture superficielle, vient la formation quaternaire de la Mitidja, formée d'alluvions grossières.

La formation de la Mitidja et l'Astien forment un important aquifère, qui s'étale pratiquement sur toute la plaine avec une épaisseur variable.

La partie pratique de ce travail a consisté à suivre les différentes étapes du forage hydraulique réalisé par la méthode rotary. L'interprétation des résultats de diagraphie et des échantillons recueilles lors du forage de reconnaissance ont conduit à déterminer niveau aquifère entre 50 et 55,4 m de profondeur.

L'essai de pompage par palier a permis de calculer le débit critique $Q_c = 56\ m^3/h$. par ailleurs, la transmissivité de la nappe est égale à $1{,}69.10^{-2}\ m^2/s$, selon l'interprétation de l'essai de pompage de longue durée.

Avant la mise en service de ce forage. Il est recommandé de l'équiper d'une pompe immergée calée dans la partie pleine du tubage et de procéder à la vérification des paramètres de qualité de l'eau selon les normes de potabilité algériennes.

Références bibliographiques

- Belaïdi. M et Rabehaoui. H. 1995-200. Note sur l'évolution de la profondeur de la nappe de la Mitidja. Section surveillance des nappes. A.N.R.H. Blaida. Algérie.
- Benaceur (wilaya de Ouargla). 44 p. Université de Ouargla, Algérie.
- Bennie et Partners, 1983. Schéma d'aménagement des ressources en eau d'Alger-Sébaou. Mission B ; Evolution des ressources, rapport B1 ; reconnaissances des bassins versants.
- Benziada. M., 1994. Etudes hydrogéologique et hydrologiques de la plaine de la Mitidja-Est. Application d'un modèle mathématique «ASM » au bassin cotiser Algérois, Algérie). Mémoire de thèse de docteur en sciences de la terre.
- Bouslsal Boualem, 2017. Forage d'eau procédés et mesures 125 p. Université de Ouargla, Algérie.
- CDER, 2003. Hydrogéologie de la plaine de la Mitidja orientale.
- DRIRE, DIREN et BRGM, 1999. Des forages de qualité en région Centre.
- Durand-Delga. M. 1969. Mise au point sur la structure de la Bérbérie. Bull. Serv. Carte. Géol. Algérie. N°30
- Glangeaud, A., 1952. Etude géologique de la région littorale d'Alger. Bull. Serv. Carte. Géol. Algérie., 2éme série, n°8, 2 tomes.
- Glangeaud, A., 1952**.** Etude géologique de la région littorale d'Alger. Bull. Serv. Carte. Géol. Algérie., 2éme série, n°8, 2 tomes.
- Glageaud. L. et Ayeme. A., 1952. Histoire géologique de la province d'Alger. XIX. Congrès international, Alger. Monographies régionales, première série, Algérie, N°25 (SGA). Alger.
- Guide d'application de l'arrêté interministériel, 2003. Fiches 3 les étapes de la procédure pour la réalisation d'un forage.
- Guide d'application de l'arrêté interministériel, 2003. Fiches 6 conditions techniques de réalisation d'un forage : précautions particulières et foration.
- Khoualed et Remili 2016. Mise en évidence de l'intrusion marine ver les aquifères côtiers : cas de la plaine de la Mitidja orientale 73 p. Université de Ouargla, Algérie.
- Limane S. et Ben Hmmouda I, 2018. Suivi d'un forage d'eau dans la région de
- Mokadem T, 2016. La cartographioe des nitrates de la Mitidja. 42 p. Mémoire de master. Ecole nationale supérieure d'hydraulique Arbaoui Abdellah.
- Séridi Nouh, 2017. Utilisation d'outils au service de la maintenance d'un Treuil de forage OIL WELL 840E. Mémoire de Master, Université d'Annaba, Algérie.

Tableau 1 : Relevés piézométrique des hautes eaux et basses eaux.

N°	N° Carte/ Point	Nature du Point	Coordonnées		Z (m)	Mai NS (m)	Np	Oct. Ns (m)	Np
			X (Km)	Y (Km)					
P1	W021-5	Puits	552 ,750	385,600	25,470	2,60	22,87	5,60	19,87
P2	W021-193	Puits	555,700	382,600	17,653	10,65	7,003	10,95	6,703
P3	W021-417	Puits	558,620	379,920	37,030	9,10	27,93	11,30	25,73
P4	W021-892	Puits	556,500	384,350	10,040	17,75	-7,71	18,30	-8,26
P5	W21-893	Forage	547,900	382,900	14,040	22,10	-8,06	25,85	-11,81
P6	W021-894	Puits	557,900	384,670	2,320	11,85	-9,53	12,20	-9,88
P7	W021-PZ 1 HZ	Piézomètre	549,300	380,750	25,705	28,60	-2,895	40,30	-14,625
P8	W021-PZ 2 HZ	Piézomètre	550,550	380,450	27,347	38,11	-10,763	38,10	-10,753
P9	W041/PZ 5 Boufarik	Piézomètre	519,200	365,950	36,849	38,80	-1,951	45,35	-8,501
P10	W042/PZ 6 Tessala.M	Piézomètre	519,55	369,500	35,467	43,60	-8,133	47,25	-11,783
P11	W042-439	Puits	545,950	368,500	65,030	3,10	61,93	10,10	54,93
P12	W042-450	Puits	550,650	370,750	78,480	3,40	75,08	4,30	74,18
P13	W042-688	Puits	553,650	374,620	48,880	6,86	42,02	9,35	39,53
P14	W041/PZ 49	Piézomètre	530,575	360,502	89,976	51,18	38,796	57,08	32,896
P15	W041/PZ 50	Piézomètre	529,867	360,486	86,726	58,60	28,125	61,35	25,376
P16	W041/PZ 7 Tabainet	Piézomètre	532,375	359,550	99,49	33,82	65,67	49,40	50,09
P17	W042-997	Forage	539,200	373,150	30,700	41,26	-10,56	43,30	-12,6
P18	W042-100	Forage	534,770	361,500	106,500	37,80	68,7	49,15	57,35
P19	W042-f 4 Oed Adda	Forage	538,460	373,920	27,000	15,70	11,3	18,43	8,57
P20	W042/PZ 4 Eucalyptus	Piézomètre	540,550	369,600	51,199	52,90	-1,701	56,80	-5,601
P21	W042/PZ 9 Baraki	Piézomètre	533,800	371,750	79,247	38,80	40,447	42,35	36,897
P22	W042/PZ 10 Sidi moussa	Piézomètre	534,900	369,250	45,244	45,82	-0,576	50,85	-5,606
P23	W041/PZ 51	Piézomètre	531,635	361	87,701	41,95	45,751	48,78	38,921